

Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung

S3-Leitlinie

der

Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. &
Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V.

und

Deutsche Arbeitsgemeinschaft Krankenhaus-Einsatzplanung (DAKEP)
Deutsche Gesellschaft der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen e.V. (DGPRÄC)
Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeral Chirurgie e.V. (DGAV)
Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI)
Deutsche Gesellschaft für Chirurgie e.V. (DGCH)
Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege und Funktionsdienste e.V. (DGF)
Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin e.V. (DGG)
Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Frauenheilkunde e.V. (DGGG)
Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie e.V. (DGH)
Deutsche Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V. (DGHNO)
Deutsche Gesellschaft für interventionelle Radiologie und minimal-invasive Therapie (DeGIR)
Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie e.V. (DGKCH)
Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie e.V. (DGNC)
Deutsche Gesellschaft für Neurorehabilitation e.V. (DGNR)
Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG)
Deutsche Gesellschaft für Thoraxchirurgie e.V. (DGT)
Deutsche Gesellschaft für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie e.V. (DGTI)
Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V. (DGU)
Deutsche Gesellschaft für Verbrennungsmedizin e.V. (DGV)
Deutsche Gesellschaft interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin (DGINA)
Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI)
Deutsche Röntgengesellschaft e.V. (DRG)
Deutscher Berufsverband Rettungsdienst e.V. (DBRD)
Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie e.V. (DGMKG)
Sektion Pflege der Deutsche Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI)

Versionsnummer: 4.1

Erstveröffentlichung: 2002

Überarbeitung von: 12/2022

Nächste Überprüfung geplant: 12/2027

AWMF Register-Nr.: 187-023

Klasse: S3



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
UNFALLCHIRURGIE



Deutsche Gesellschaft für
Orthopädie und Unfallchirurgie

Herausgeberin der Leitlinie und federführende Fachgesellschaft

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU)
Deutsche Gesellschaft für Orthopädie & Unfallchirurgie e.V. (DGOU)
Geschäftsstelle
Straße des 17. Juni 106-108
10623 Berlin

Kontakt

Leitliniensekretariat
Straße des 17. Juni 106-108
10623 Berlin
leitlinien@dgou.de

Priv.-Doz. Dr. med habil. Dan Bieler (Leitlinienkoordination)
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs- und Handchirurgie,
Verbrennungsmedizin
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Rübenacher Straße 170
56072 Koblenz
dan.bieler@uni-duesseldorf.de

Zitierweise

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.: S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung (AWMF Registernummer 187-023), Version 4.0 (31.12.2022), verfügbar unter <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/187-023.html>. Zugriff am [Datum].

Schlüsselwörter/Keywords

Schlüsselwörter: Trauma, Polytrauma, Schwerverletzte

Keywords: trauma, polytrauma, major trauma, severe injuries

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Leitlinie das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Leitlinien verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders kenntlich gemacht – auf alle Geschlechter.

Was gibt es Neues?

Insgesamt wurde die Nomenklatur angepasst. Es wird nunmehr von Prähospitalem Phase, Schockraumphase und erste OP-Phase gesprochen. Des Weiteren wurde die Systematik der Kapitelreihenfolge geändert. Auch die Systematik der Schlüsselempfehlungen ist geändert worden, um die Empfehlungen automatisch der jeweiligen Therapiephase und dort den jeweiligen Kapiteln zuordnen zu können.

Mittels eines strukturiert systematisch durchgeführten Prozesses (Ottawa-Methode), der für die Leitlinien-Aktualisierung entwickelt wurde (vgl. Gooßen et al. An adapted 'Ottawa' method allowed assessing the need to update topic areas within clinical practice guidelines. J Clin Epidemiol. 2022; 150: 1-11), sind 23 von bis dato 39 Kapitel aufgrund innerhalb der letzten fünf Jahre neu hinzugekommener Literatur als überarbeitungsbedürftig eingestuft worden.

Folgende Kapitel sind neu hinzugekommen:

1. Prähospitale Phase

- 1.1 Stop the bleeding
- 1.4 Analgesie

Das Kapitel 1.8 Urogenitaltrakt in der Version von 2016 wurde entfernt.

Bei der aktuellen Aktualisierung wurden 70 neue Schlüsselempfehlungen formuliert und 69 weitere modifiziert. Nachfolgend ist eine Übersicht der Empfehlungen der einzelnen Kapitel dargestellt. Des Weiteren sind die 23 Kapitel, die mittels systematischer Literaturrecherche überarbeitet wurden gekennzeichnet.

S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung		332 Empfehlungen			
Kapitel		A	B	O	GPP
40		83	164	34	51

1. Prähospitale Phase		98 Empfehlungen			
Kapitel		A	B	O	GPP
1.1*	Stop the bleeding	3	4	2	6
1.2*	Atemwegsmanagement, Beatmung und Notfallnarkose	11	5		5
1.3*	Gerinnungsmanagement und Volumentherapie	3	4	3	2
1.4*	Analgesie	5		2	3
1.5*	Thorax	3	8	2	1
1.6*	Schädel-Hirn-Trauma	2	3	1	1
1.7	Wirbelsäule	2	1		2
1.8	Extremitäten	2	5		
1.9	Transport und Ziellinie		2		2
1.10*	Massenanfall an Verletzten (MANV)		1		2
Anzahl Empfehlungen Prähospitale Phase		31	33	10	24

*Überarbeitung auf Basis einer systematischen Literaturrecherche

Schockraumphase		139 Empfehlungen			
Kapitel		A	B	0	GPP
2.1	Der Schockraum - apparative Voraussetzungen		3		
2.2*	Schockraum - Team und Alarmierung	3	4		2
2.3*	Reanimation	6	2	1	7
2.4*	Gerinnungsmanagement und Volumentherapie	7	14		2
2.5*	Bildgebung	1	4		2
2.6*	Interventionelle Blutungskontrolle		4	1	1
2.7*	Thorax	5	12		3
2.8	Abdomen	2	3	1	
2.9*	Becken	4	1		
2.10*	Schädel-Hirn-Trauma	7	1	1	
2.11	Wirbelsäule		6		
2.12*	Unterkiefer und Mittelgesicht		2		
2.13*	Hals	1	5	1	
2.14	Extremitäten		8	1	
2.15	Hand		3		
2.16	Fuß				
2.17	Urogenitaltrakt		8		
Anzahl Empfehlungen Schockraumphase		36	80	6	17

*Überarbeitung auf Basis einer systematischen Literaturrecherche

1. OP-Phase		95 Empfehlungen			
Kapitel		A	B	0	GPP
3.1*	Thorax	1	5	2	3
3.2	Zwerchfell		1		
3.3*	Abdomen	1	11		
3.4*	Schädel-Hirn-Trauma	1	1	1	
3.5*	Wirbelsäule		2	4	
3.6	Unterkiefer und Mittelgesicht	1	2	1	
3.7	Hals	3	1		
3.8	Obere Extremität		4	1	
3.9	Hand	5	11	2	
3.10*	Untere Extremitäten	3	5		
3.11	Fuß	1	2	2	
3.12*	Urogenitaltrakt		6	5	
3.13	Thermische Hautverletzung und Verbrennung				7
Anzahl Empfehlungen 1. OP-Phase		16	51	18	10

*Überarbeitung auf Basis einer systematischen Literaturrecherche

Die wichtigsten Empfehlungen auf einen Blick

1.1.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Aktive Blutungen der Extremitäten sollen durch folgendes Stufenschema behandelt werden: 1) Manuelle Kompression 2) Kompressionsverband, wenn möglich in Kombination mit einem Hämostyptikum 3) Tourniquet	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Henry 2021: LoE 2b [2] Taghavi 2021: LoE 2b [3] Clasper 2009: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

1.1.9	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Ein Tourniquet soll dann angewendet werden, wenn eine lebensgefährliche Blutung mit anderen Maßnahmen nicht zeitgerecht gestoppt werden kann.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Henry 2021: LoE 2b [2] Taghavi 2021: LoE 2b	
	Konsensstärke: 96%	

1.2.11	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Kapnometrie/-grafie soll prähospital und innerklinisch im Rahmen der endotrachealen Intubation zur Tubuslagekontrolle und danach zur Dislokations- und Beatmungskontrolle angewendet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[4] Helm 2003: LoE 1a [5] Gries 2008: LoE 2a [6] Thierbach 2004: LoE 2a [7] Grmec 2004: LoE 3b [8] Timmermann 2007: LoE 3b [9] Silvestri 2005: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

1.3.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Traumapatienten, bei denen ein venöser Zugang nicht gelingt, soll ein intraossärer Zugang zur Infusions- und Medikamententherapie gelegt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[10] Leidel 2012: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

1.4.8	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Fentanyl, Ketamin und Morphin weisen eine vergleichbare Effektivität auf und sollen zur Analgesie des spontanatmenden schwerverletzten Patienten zur Anwendung kommen.	
Literatur, Evidenzgrad	[11] Bounes 2011: LoE 1b [12] Galinski 2007: LoE 1b [13] Jennings 2012: LoE 1b [14] Tran 2014: LoE 1b [15] Grissa 2015: LoE 1b [16] Smith 2012: LoE 1b [17] Häske 2017: LoE 2a [18] Johanson 2009: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

2.2.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Das interprofessionelle Schockraum-Team soll aus mindestens 2 Pflegekräften und mindestens 2 Ärzten bestehen, die die notfallmedizinische und notfallchirurgische Kompetenz abbilden.	
	Konsensstärke: 100%	

2.2.5	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei folgenden Verletzungen oder Maßnahmen nach Trauma soll das Schockraumteam aktiviert werden: <ul style="list-style-type: none"> • instabiler Thorax • Mechanisch instabile Beckenverletzung • Vorliegen von penetrierenden Verletzungen der Rumpf-Hals-Region • Amputationsverletzung proximal der Hände/Füße • Sensomotorisches Defizit nach Wirbelsäulenverletzung • prähospitaler Intervention (erforderliche Atemwegssicherung, Thoraxentlastung, Katecholamingabe, Pericardiozentese, Anlage Tourniquet) 	
Literatur, Evidenzgrad	[19] Lehmann 2009: LoE 2b [20] Shawhan 2015: LoE 2b [21] Tignanelli 2018: LoE 2b [22] Heindl 2021: LoE 2b [23] Dehli 2016: LoE 3b↓ [24] Kalkwarf 2021: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

2.2.4	Empfehlung	Neu 2022
<p>Empfehlungsgrad</p> <p>A ↑↑</p>	<p>Bei folgenden pathologischen Befunden nach Trauma soll das Schockraumteam aktiviert werden:</p> <p>A/B - Problem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atemstörungen (SpO₂ <90%) /erforderliche Atemwegssicherung • AF <10 oder >29 <p>C - Problem</p> <ul style="list-style-type: none"> • systolischer Blutdruck <90 mmHg • Herzfrequenz >120/min • Schockindex >0,9 • Positiver eFAST <p>D - Problem</p> <ul style="list-style-type: none"> • GCS ≤12 <p>E - Problem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hypothermie <35,0°C 	
Literatur, Evidenzgrad	<p>[25] Bieler 2021: LoE LoE 2b</p> <p>[26] Brown 2015: LoE 2b</p> <p>[27] Hasler 2011: LoE 2b</p> <p>[28] Hasler 2012: LoE 2b</p> <p>[19] Lehmann 2009: LoE 2b</p> <p>[20] Shawhan 2015: LoE 2b</p> <p>[29] Singh 2014: LoE 2b</p> <p>[21] Tignanelli 2018: LoE 2b</p> <p>[23] Dehli 2016: LoE 3b↓</p> <p>[24] Kalkwarf 2021: LoE 3b↓</p> <p>[30] Werman 2011: LoE 3b↓</p>	
	Konsensstärke: 94%	

2.3.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
<p>Empfehlungsgrad</p> <p>A ↑↑</p>	<p>Während der kardiopulmonalen Reanimation sollen zeitgleich leitliniengerecht traumaspezifische reversible Ursachen des Herzkreislaufstillstandes (nach xABCDE-Schema; z.B. externe Blutung, Atemwegsobstruktion, ösophageale Fehlintonation, Spannungspneumothorax, Perikardtamponade und Hypovolämie) diagnostiziert, ausgeschlossen und/oder therapiert werden.</p>	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.4.14	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Gerinnungsdiagnostik und -therapie soll über viskoelastische Testverfahren gesteuert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[31] Gonzalez 2016: LoE 1b [32] Hagemo 2015: LoE 2b [33] Moore 2017: LoE 2b [34] Spagnolello 2020: LoE 2b [35] Peng 2019: LoE 3b↓ [36] Rizoli 2016: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

2.4.17	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Patienten mit lebensbedrohlichen Blutungen und/oder im Schock sowie bei nachgewiesener Hyperfibrinolyse soll möglichst frühzeitig / prähospital die Gabe von 1 g Tranexamsäure (TxA) über 10 Minuten, ggf. gefolgt von einer Infusion von 1 g über 8 Stunden, erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[37] Guyette 2020: LoE 1b [38] Roberts 2014: LoE 1b [39] Roberts 2017: LoE 1b [40] Khan 2018: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

2.4.20	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Patienten mit lebensbedrohlichen Blutungen und/oder im Schock soll zusätzlich die Gabe von Fibrinogen (initial 3-6 g bzw. 30-60 mg/kg) erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[41] Akbari 2018: LoE 1b [42] Innerhofer 2017: LoE 1b [43] Nascimento 2016: LoE 2b↓	
	Konsensstärke: 100%	

2.5.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Im Rahmen der Diagnostik von Schwerverletzten soll eine zeitnahe Ganzkörper-Computertomografie* mit traumaspezifischem Protokoll durchgeführt werden, wenn keine sofort interventions-/operations- und/oder reanimationspflichtige Situation vorliegt und der RR _{sys} nicht unter 60 mmHg ist. *(Kopf bis einschließlich Becken, CCT nativ)	
Literatur, Evidenzgrad	[44] Sierink 2016: LoE 1b [45] Cook 2015: LoE 2b [46] Huber-Wagner 2013: LoE 2b [47] Tsutsumi 2017: LoE 2b [48] Lang 2017: LoE 2b [49] Topp 2015: LoE 2b [50] Katayama 2018: LoE 2b [51] Palm 2018: LoE 2b [52] Huber-Wagner 2009: LoE 2b [53] Kanz 2010: LoE 2b [54] Stengel 2012: LoE 3b↓ [55] Bieler 2020: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

Literatur zu den wichtigsten Empfehlungen

1. Henry R, Matsushima K, Ghafil C, Henry RN, Theeuwens H, Golden AC, et al. Increased Use of Prehospital Tourniquet and Patient Survival: Los Angeles Countywide Study. *Journal of the American College of Surgeons*. 2021;22:22.
2. Taghavi S, Maher Z, Goldberg AJ, Chang G, Mendiola M, Anderson C, et al. An Eastern Association for the Surgery of Trauma multicenter trial examining prehospital procedures in penetrating trauma patients. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2021;91(1):130-40.
3. Clasper JC, Brown KV, Hill P. Limb complications following pre-hospital tourniquet use. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. 2009;155(3):200-2.
4. Helm M, Schuster R, Hauke J, Lampl L. Tight control of prehospital ventilation by capnography in major trauma victims. *Br J Anaesth*. 2003;90(3):327-32.
5. Gries A, Sikinger M, Hainer C, Ganion N, Petersen G, Bernhard M, et al. [Time in care of trauma patients in the air rescue service: implications for disposition?]. *Anaesthesist*. 2008;57(6):562-70.
6. Thierbach A, Piepho T, Wolcke B, Kuster S, Dick W. [Prehospital emergency airway management procedures. Success rates and complications]. *Anaesthesist*. 2004;53(6):543-50.
7. Grmec S, Mally S. Prehospital determination of tracheal tube placement in severe head injury. *Emerg Med J*. 2004;21(4):518-20.
8. Timmermann A, Russo SG, Eich C, Roessler M, Braun U, Rosenblatt WH, et al. The out-of-hospital esophageal and endobronchial intubations performed by emergency physicians. *Anesth Analg*. 2007;104(3):619-23.
9. Silvestri S, Ralls GA, Krauss B, Thundiyil J, Rothrock SG, Senn A, et al. The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system. *Ann Emerg Med*. 2005;45(5):497-503.
10. Leidel BA, Kirchhoff C, Bogner V, Braunstein V, Biberthaler P, Kanz K-G. Comparison of intraosseous versus central venous vascular access in adults under resuscitation in the emergency department with inaccessible peripheral veins. *Resuscitation*. 2012;83(1):40-5.

11. Bounes V, Barniol C, Minville V, Houze-Cerfon C-H, Ducassé JL. Predictors of pain relief and adverse events in patients receiving opioids in a prehospital setting. *The American journal of emergency medicine*. 2011;29(5):512-7.
12. Galinski M, Dolveck F, Combes X, Limoges V, Smail N, Pommier V, et al. Management of severe acute pain in emergency settings: ketamine reduces morphine consumption. *The American journal of emergency medicine*. 2007;25(4):385-90.
13. Jennings PA, Cameron P, Bernard S, Walker T, Jolley D, Fitzgerald M, et al. Morphine and ketamine is superior to morphine alone for out-of-hospital trauma analgesia: a randomized controlled trial. *Annals of emergency medicine*. 2012;59(6):497-503.
14. Tran KP, Nguyen Q, Truong XN, Le V, Le VP, Mai N, et al. A comparison of ketamine and morphine analgesia in prehospital trauma care: a cluster randomized clinical trial in rural Quang Tri province, Vietnam. *Prehospital Emergency Care*. 2014;18(2):257-64.
15. Grissa MH, Boubaker H, Zorgati A, Beltaïef K, Zhani W, Msolli MA, et al. Efficacy and safety of nebulized morphine given at 2 different doses compared to IV titrated morphine in trauma pain. *The American journal of emergency medicine*. 2015;33(11):1557-61.
16. Smith MD, Wang Y, Cudnik M, Smith DA, Pakiela J, Emerman CL. The effectiveness and adverse events of morphine versus fentanyl on a physician-staffed helicopter. *The Journal of emergency medicine*. 2012;43(1):69-75.
17. Häske D, Böttiger BW, Bouillon B, Fischer M, Gaier G, Gliwitzky B, et al. Analgesia in Patients with Trauma in Emergency Medicine. *Dtsch Arztebl Int*. 2017;114(46):785-92.
18. Johansson P, Kongstad P, Johansson A. The effect of combined treatment with morphine sulphate and low-dose ketamine in a prehospital setting. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2009;17(1):1-5.
19. Lehmann R, Brounts L, Lesperance K, Eckert M, Casey L, Beekley A, et al. A simplified set of trauma triage criteria to safely reduce overtriage: a prospective study. *Archives of Surgery*. 2009;144(9):853-8.
20. Shawhan RR, McVay DP, Casey L, Spears T, Steele SR, Martin MJ. A simplified trauma triage system safely reduces overtriage and improves provider satisfaction: a prospective study. *American Journal of Surgery*. 2015;209(5):856-62; discussion 62-3.
21. Tignanelli CJ, Kolk WE, Mikhail JN, Delano MJ, Hemmila MR. Noncompliance with American College of Surgeons Committee on Trauma recommended criteria for full trauma team activation is associated with undertriage deaths. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;84(2):287-94.
22. Heindl B, Trentzsch H, Flohe S. [Emergency intervention rate in the emergency room depending on the alerting criteria : Prospective data analysis of a supraregional trauma center]. *Der Unfallchirurg*. 2021;4:04.
23. Dehli T, Monsen SA, Fredriksen K, Bartnes K. Evaluation of a trauma team activation protocol revision: a prospective cohort study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2016;24(1):105.
24. Kalkwarf KJ, Goodman MD, Press GM, Wade CE, Cotton BA. Prehospital ABC Score Accurately Forecasts Patients Who Will Require Immediate Resource Utilization. *Southern medical journal*. 2021;114(4):193-8.
25. Bieler D, Trentzsch H, Franke A, Baacke M, Lefering R, Paffrath T, et al. Evaluation of a standardized instrument for post hoc analysis of trauma-team-activation-criteria in 75,613 injured patients an analysis of the TraumaRegister DGU®. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2021.
26. Brown JB, Gestring ML, Forsythe RM, Stassen NA, Billiar TR, Peitzman AB, et al. Systolic blood pressure criteria in the National Trauma Triage Protocol for geriatric trauma: 110 is the new 90. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;78(2):352-9.
27. Hasler RM, Nuesch E, Juni P, Bouamra O, Exadaktylos AK, Lecky F. Systolic blood pressure below 110 mm Hg is associated with increased mortality in blunt major trauma patients: multicentre cohort study. *Resuscitation*. 2011;82(9):1202-7.

28. Hasler RM, Nuesch E, Juni P, Bouamra O, Exadaktylos AK, Lecky F. Systolic blood pressure below 110 mmHg is associated with increased mortality in penetrating major trauma patients: Multicentre cohort study. *Resuscitation*. 2012;83(4):476-81.
29. Singh A, Ali S, Agarwal A, Srivastava RN. Correlation of shock index and modified shock index with the outcome of adult trauma patients: a prospective study of 9860 patients. *North American Journal of Medical Sciences*. 2014;6(9):450-2.
30. Werman HA, Erskine T, Caterino J, Riebe JF, Valasek T. Development of statewide geriatric patients trauma triage criteria. *Prehosp Disaster Med*. 2011;26(3):170-9.
31. Gonzalez E, Moore EE, Moore HB, Chapman MP, Chin TL, Ghasabyan A, et al. Goal-directed Hemostatic Resuscitation of Trauma-induced Coagulopathy: A Pragmatic Randomized Clinical Trial Comparing a Viscoelastic Assay to Conventional Coagulation Assays. *Annals of Surgery*. 2016;263(6):1051-9.
32. Hagemo JS, Christiaans SC, Stanworth SJ, Brohi K, Johansson PI, Goslings JC, et al. Detection of acute traumatic coagulopathy and massive transfusion requirements by means of rotational thromboelastometry: an international prospective validation study. *Critical Care (London, England)*. 2015;19:97.
33. Moore HB, Moore EE, Chapman MP, Huebner BR, Einersen PM, Oushy S, et al. Viscoelastic Tissue Plasminogen Activator Challenge Predicts Massive Transfusion in 15 Minutes. *Journal of the American College of Surgeons*. 2017;225(1):138-47.
34. Spagnolello O, J Reed M, Dauncey S, Timony-Nolan E, Innes C, Allen JMM, et al. Introduction of a ROTEM protocol for the management of trauma-induced coagulopathy. *Trauma (United Kingdom)*. 2020.
35. Peng HT, Nascimento B, Tien H, Callum J, Rizoli S, Rhind SG, et al. A comparative study of viscoelastic hemostatic assays and conventional coagulation tests in trauma patients receiving fibrinogen concentrate. *Clinica Chimica Acta*. 2019;495:253-62.
36. Rizoli S, Min A, Sanchez AP, Shek P, Grodecki R, Veigas P, et al. In Trauma, Conventional ROTEM and TEG Results Are Not Interchangeable But Are Similar in Clinical Applicability. *Military Medicine*. 2016;181(5):117-26.
37. Guyette FX, Brown JB, Zenati MS, Early-Young BJ, Adams PW, Eastridge BJ, et al. Tranexamic Acid During Prehospital Transport in Patients at Risk for Hemorrhage After Injury: A Double-blind, Placebo-Controlled, Randomized Clinical Trial. *JAMA Surgery*. 2020;5:05.
38. Roberts I, Prieto-Merino D, Manno D. Mechanism of action of tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of data from the CRASH-2 trial. *Critical Care (London, England)*. 2014;18(6):685.
39. Roberts I, Edwards P, Prieto D, Joshi M, Mahmood A, Ker K, et al. Tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploration of benefits and harms. *Trials [Electronic Resource]*. 2017;18(1):48.
40. Khan M, Jehan F, Bulger EM, O'Keefe T, Holcomb JB, Wade CE, et al. Severely injured trauma patients with admission hyperfibrinolysis: Is there a role of tranexamic acid? Findings from the PROPPR trial. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;85(5):851-7.
41. Akbari E, Safari S, Hatamabadi H. The effect of fibrinogen concentrate and fresh frozen plasma on the outcome of patients with acute traumatic coagulopathy: A quasi-experimental study. *American Journal of Emergency Medicine*. 2018;36(11):1947-50.
42. Innerhofer P, Fries D, Mittermayr M, Innerhofer N, von Langen D, Hell T, et al. Reversal of trauma-induced coagulopathy using first-line coagulation factor concentrates or fresh frozen plasma (RETIC): a single-centre, parallel-group, open-label, randomised trial. *The Lancet Haematology*. 2017;4(6):e258-e71.
43. Nascimento B, Callum J, Tien H, Peng H, Rizoli S, Karanicolas P, et al. Fibrinogen in the initial resuscitation of severe trauma (FiiRST): a randomized feasibility trial. *British Journal of Anaesthesia*. 2016;117(6):775-82.
44. Sierink JC, Treskes K, Edwards MJ, Beuker BJ, den Hartog D, Hohmann J, et al. Immediate total-body CT scanning versus conventional imaging and selective CT scanning in patients with severe trauma (REACT-2): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016;388(10045):673-83.

45. Cook MR, Holcomb JB, Rahbar MH, Fox EE, Alarcon LH, Bulger EM, et al. An abdominal computed tomography may be safe in selected hypotensive trauma patients with positive Focused Assessment with Sonography in Trauma examination. *American Journal of Surgery*. 2015;209(5):834-40.
46. Huber-Wagner S, Biberthaler P, Haberle S, Wierer M, Dobritz M, Rummeny E, et al. Whole-Body CT in Haemodynamically Unstable Severely Injured Patients - A Retrospective, Multicentre Study. *PloS one*. 2013;8(7).
47. Tsutsumi Y, Fukuma S, Tsuchiya A, Ikenoue T, Yamamoto Y, Shimizu S, et al. Computed tomography during initial management and mortality among hemodynamically unstable blunt trauma patients: a nationwide retrospective cohort study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2017;25(1):74.
48. Lang P, Kulla M, Kerwagen F, Lefering R, Friemert B, Palm HG, et al. The role of whole-body computed tomography in the diagnosis of thoracic injuries in severely injured patients - a retrospective multi-centre study based on the trauma registry of the German trauma society (TraumaRegister DGU^R). *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2017;25(1):82.
49. Topp T, Lefering R, Lopez CL, Ruchholtz S, Ertel W, Kuhne CA. Radiologic diagnostic procedures in severely injured patients - is only whole-body multislice computed tomography the answer? *International journal of emergency medicine*. 2015;8:3.
50. Katayama Y, Kitamura T, Hirose T, Kiguchi T, Matsuyama T, Sado J, et al. Delay of computed tomography is associated with poor outcome in patients with blunt traumatic aortic injury: A nationwide observational study in Japan. *Medicine*. 2018;97(35):e12112.
51. Palm HG, Kulla M, Wettberg M, Lefering R, Friemert B, Lang P, et al. Changes in trauma management following the implementation of the whole-body computed tomography: a retrospective multi-centre study based on the trauma registry of the German Trauma Society (TraumaRegister DGU^R). *European Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2018;44(5):759-66.
52. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, Korner M, Kay MV, Pfeifer KJ, et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *Lancet*. 2009;373(9673):1455-61.
53. Kanz KG, Paul AO, Lefering R, Kay MV, Kreimeier U, Linsenmaier U, et al. Trauma management incorporating focused assessment with computed tomography in trauma (FACTT) - potential effect on survival. *Journal of trauma management & outcomes*. 2010;4(1):4.
54. Stengel D, Ottersbach C, Matthes G, Weigeldt M, Grundei S, Rademacher G, et al. Accuracy of single-pass whole-body computed tomography for detection of injuries in patients with major blunt trauma. *CMAJ*. 2012;184(8):869-76.
55. Bieler D, Paffrath T, Schmidt A, Vollmecke M, Lefering R, Kulla M, et al. Why do some trauma patients die while others survive? A matched-pair analysis based on data from Trauma Register DGU R. *Chinese Journal of Traumatology*. 2020;23(4):224-32.

Inhalt

Herausgeberin der Leitlinie und federführende Fachgesellschaft.....	2
Kontakt.....	2
Zitierweise.....	2
Schlüsselwörter/Keywords.....	2
Was gibt es Neues?	3
Die wichtigsten Empfehlungen auf einen Blick	5
Geltungsbereich und Zweck.....	15
Zielsetzung und Fragestellung.....	15
Versorgungsbereich	15
Patientenzielgruppe	15
Adressaten.....	15
Weitere Dokumente zur Leitlinie	15
Wichtige Forschungsfragen.....	16
Zusammensetzung der Leitliniengruppe.....	18
Leitlinienkoordination/Ansprechpartner	18
Steuergruppe.....	18
Beteiligte Fachgesellschaften und Organisationen.....	19
Kapitelautoren.....	21
Patienten/Bürgerbeteiligung.....	42
Methodische Begleitung	42
Methodik	42
Abkürzungsverzeichnis.....	43
Vorwort	44
1 Prähospital Phase	46
1.1 Stop the Bleed (STB) – Prähospital.....	46
1.2 Atemwegsmanagement, Beatmung und Notfallnarkose.....	64
1.3 Gerinnungsmanagement und Volumentherapie	92
1.4 Analgesie	105
1.5 Thorax.....	115
1.6 Schädel-Hirn-Trauma.....	130
1.7 Wirbelsäule	137
1.8 Extremitäten.....	143
1.9 Transport und Zielklinik.....	149
1.10 Massenansturm von Verletzten (MANV).....	160
2 Schockraum-Phase.....	166
2.1 Der Schockraum – strukturelle und apparative Voraussetzungen	166
2.2 Schockraum – Team und Alarmierung	170
2.3 Reanimation	182
2.4 Gerinnungsmanagement und Volumentherapie	195
2.5 Bildgebung.....	221

2.6 Endovaskuläre Therapie von Blutungen und Gefäßläsionen	236
2.7 Thorax.....	252
2.8 Abdomen	278
2.9 Becken	289
2.10 Schädel-Hirn-Trauma.....	308
2.11 Wirbelsäule	316
2.12 Unterkiefer und Mittelgesicht.....	329
2.13 Hals	333
2.14 Extremitäten.....	337
2.15 Hand	345
2.16 Fuß.....	348
2.17 Urogenitaltrakt.....	350
3 Erste OP-Phase	363
3.1 Thorax.....	363
3.2 Zwerchfell.....	375
3.3 Abdomen	377
3.4 Schädel-Hirn-Trauma.....	391
3.5 Wirbelsäule	396
3.6 Unterkiefer und Mittelgesicht.....	402
3.7 Hals.....	408
3.8 Obere Extremitäten.....	412
3.9 Hand	418
3.10 Untere Extremitäten	431
3.11 Fuß.....	455
3.12 Urogenitaltrakt.....	466
3.13 Thermische Hautverletzung und Verbrennung.....	480

Geltungsbereich und Zweck

Zielsetzung und Fragestellung

Diese interdisziplinäre und interprofessionelle S3-Leitlinie ist ein evidenz- und konsensbasiertes Instrument mit dem Ziel, die Versorgung von Polytrauma-Patienten und Schwerverletzten mit Monotraumata zu verbessern und dadurch das bestmögliche Outcome für die Betroffenen zu erreichen. Die aktuelle Beteiligung von 24 Fachgesellschaften mit Delegierten aus verschiedenen an der Versorgung beteiligten Berufsgruppen ermöglicht die Formulierung von Empfehlungen zu Art und Zeitpunkt der Versorgung von verletzten Organen bzw. Organsystemen und des Stütz- und Bewegungsapparates sowie zu allen notwendigen Strukturen und Prozessen. Neben der Unterstützung in der Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen sollen die Empfehlungen zur Optimierung der Struktur- und Prozessqualität in den Kliniken sowie in der präklinischen Versorgung beitragen und durch deren Umsetzung zur Ergebnisqualität. Daneben soll diese Leitlinie die Basis für die Erstellung neuer Behandlungsprotokolle in Kliniken bzw. für die Überprüfung bereits existierender Protokolle, nationaler Behandlungsstandards im Rahmen von Weißbüchern und Zertifizierungskriterien dienen.

Dazu erfolgt auch die Entwicklung von Qualitätsindikatoren im Rahmen von S3-Leitlinien und deren Evaluation.

Versorgungsbereich

Der Versorgungsbereich erstreckt sich von primären Diagnostik und Notfallversorgung am Unfallort über die primäre notfallmedizinische innerklinische Diagnostik und Therapie bis hin zur spezialärztlichen ersten operativen Versorgung.

Patientenzielgruppe

Adressiert werden erwachsene Patienten mit schweren Monoverletzungen und Patienten mit Polytraumatisierung.

Adressaten

Anwenderzielgruppe der Leitlinie sind in erster Linie die an der Versorgung eines polytraumatisierten oder schwerverletzten Patienten beteiligten Ärztinnen und Ärzte sowie alle anderen an der Versorgung beteiligten medizinischen Berufsgruppen.

Weitere Dokumente zur Leitlinie

- Leitlinienreport mit Evidenztabellen
- Kurzversion

Diese Dokumente, sowie der Leitlinienreport von 2016 (Version 2.0, frühere Registernummer 012-019), sind über die folgende Seite zugänglich:

<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/187-023.html>

Wichtige Forschungsfragen

Die klinisch relevanten Forschungsfragen sind aus Sicht der Leitliniengruppe vielfältig. Daher ist nachfolgend lediglich eine Auswahl dargestellt. Exemplarisch ist das PICO-Format für folgende Fragestellung aufgeführt:

Welche invasiven Zugangstechniken zur Applikation von Volumen bzw. Medikamenten (z.B. intraossär, intravenös, zentralvenös) bestehen bei der Polytraumaversorgung?

Population: Erwachsene mit Polytrauma oder traumabedingter Schwerverletzung

Intervention: intraossärer Zugang, prähospital

Comparator: andere Zugänge (periphervenös, zentralvenös, arteriell)

Outcome: patienten-/klinisch relevante Endpunkte

Weitere Fragestellungen:

Welche Indikationskriterien zur Durchführung einer „Poly-Trauma-CT“ gibt es?

Ist die Anwendung der REBOA geeignet um die Frühmortalität zu senken?

Welche Schockraumalarmierungskriterien verringern die Übertriage?

Nutzen von Tranexamsäure zur Vermeidung einer traumatisch induzierten Koagulopathie?

Welche klinischen Risikofaktoren weisen auf eine bestehende Hyperfibrinolyse hin?

Welchen Nutzen hat die prähospitaler Transfusion auf das Überleben in der prähospitalen Versorgungsphase?

Besteht ein Atemwegsalgorithmus für die innerklinische Akutversorgungsphase in der Polytraumaversorgung?

Welche Indikationen, Vor- und Nachteile bestehen und welches Vorgehen ist bei einer Umintubation eines prähospital eingebrachten supraglottischen Atemwegs beim Polytrauma geeignet?

Grenzen sicherer Intubationszeichen unter Reanimation: Bedeutung der Reevaluation mittels der Videolaryngoskopie, Bronchoskopie (Tubus-Carina-Abstand) und des CT (Dokumentation via Videolaryngoskopie unter CPR?)

Bedeutung der Tranexamsäure für die prähospitaler Versorgung?

Bedeutung des Fibrinogens für die prähospitaler Versorgung?

Bedeutung viskoelastischer Testverfahren in der Polytraumaversorgung?

Welche neuen Aspekte gibt es in der Pathophysiologie der Gerinnungsstörung beim Polytrauma?

Welche Risiken und Komplikationen bestehen bei der prähospitalen Durchführung einer Transfusion?

Welche invasiven Notfalltechniken (Koniotomie, Thoraxdrainage, Clamshell-Thorakotomie, REBOA, prähospitaler Sonographie, Transfusion) nutzen bei der Polytraumaversorgung?

Wie sollen Patienten nach traumatisch bedingtem Herzkreislaufstillstand versorgt werden?

Welche Versorgungsstrategie ist für Patienten, die im Zusammenhang mit einem Trauma einen Kreislaufstillstand erleiden, vorgesehen?

Welche Bedeutung und Evidenz bestehen hinsichtlich Wärmeerhalt und Temperaturmanagement inkl. Wärmeaustausch-Kathetern?

Welche Gefäßzugänge sind zur Schocktherapie und Katecholamintherapie beim Polytrauma geeignet?

Welche speziellen Einsatzgebiete und Ausbildungsaspekte bestehen für die prähospitale Sonographie?

Welche klaren Empfehlungen gibt es für die Ganzkörper-Computertomographie beim Polytrauma/Schwerverletzten?

Welche Bedeutung hat der Re-FAST bei einem Patienten mit initial unauffälligem Anteil des abdominellen CT in der Ganzkörperspirale?

Welche speziellen Ausbildungsinhalte und Kompetenz einer sicheren Durchführung bestehen für invasive Notfalltechniken?

Welchen Stellenwert hat die Ultraschalldiagnostik für die Anlage von Zugängen?

Welche besondere Bedeutung gibt es für Ausbildungskonzepte bei der Polytraumaversorgung?

Welche Bedeutung haben insbesondere interdisziplinäre Teamtrainings?

Welchen Nutzen hat die prähospitale Transfusion für den hämodynamischen Zustand des Patienten / Schwere des Schocks beim Erreichen der Klinik?

Welche Empfehlung gibt es für die Instrumentierung zentralvenöser und arterieller Katheter beim Polytrauma?

Welche Diagnostik ist möglich und obligat zur Lagekontrolle zentraler Zugänge?

Welcher hygienische Standard gilt für invasive Maßnahmen im Schockraum und welche Auswirkungen haben Abweichungen auf den weiteren Verlauf?

Welche Therapiestrategien gibt es in der Intensivmedizinischen Versorgung des Polytraumas?

Therapiemaßnahmen zur Analgesie beim spontan atmenden Polytraumapatienten?

Welchen Nutzen hat die prähospitale Anwendung eines Beckengurtes? Für a) Überleben b) Transfusionsbedarf c) die Hämodynamische Stabilität

Zusammensetzung der Leitliniengruppe

Leitlinienkoordination/Ansprechpartner

Leitlinienkoordinator

Priv.-Doz. Dr. med habil. Dan Bieler
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs-
und Handchirurgie, Verbrennungsmedizin
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Rübenacher Straße 170
56072 Koblenz

Leitliniensekretariat

Herr Michael Kalsen
AUC – Akademie der Unfallchirurgie GmbH (Tochtergesellschaft der DGU)
Weißhausstraße 27
50939 Köln
Tel. 0221 88823912

leitlinien@auc-online.de

Leitlinienmethodik

Dr. Käthe Gooßen
Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM)
Universität Witten/Herdecke
Ostmerheimer Str. 200, Haus 38
51109 Köln

Steuergruppe

Mitglieder der Steuergruppe waren:

- Priv.-Doz. Dr. med. Dan Bieler, Koblenz
- Dr. med. Helena Düsing, Münster
- Prof. Dr. med. Sascha Flohé, Solingen
- Prof. Dr. med. Benedikt Friemert, Ulm
- Dr. Käthe Gooßen, Köln
- Prof. Dr. med. Frank Hildebrand, Aachen
- Prof. Dr. med. Stefan Huber-Wagner, Schwäbisch-Hall
- Prof. Dr. med. Philipp Kobbe, Aachen
- Prof. Dr. med. Sven Lendemans, Essen
- Prof. Dr. med. Gerrit Matthes, Potsdam
- Prof. Dr. Dawid Pieper, Rüdersdorf b. Berlin
- Dr. med. Heiko Trentzsch, München
- Prof. Dr. med. Christian Waydhas, Bochum

Die Leitlinie ist in die drei Themenbereiche Prähospitale Phase, Schockraum und erste Operationsphase (OP-Phase) gegliedert. Für jeden dieser drei Themenbereiche wurden aus der Steuergruppe verantwortliche Koordinatoren benannt:

Prähospitale Phase: Prof. Dr. med. Christian Waydhas (Essen)
Dr. med. Heiko Trentzsch (LMU München)

Schockraum: Prof. Dr. med. Sven Lendemans (Alfried-Krupp-Krankenhaus Essen Steele)
Prof. Dr. med. Stefan Huber-Wagner (Diakonie-Klinikum Schwäbisch Hall)
Dr. med. Helena Düsing, Universitätsklinikum Münster)

Erste OP-Phase: Prof. Dr. med. Frank Hildebrand (Uniklinik RWTH Aachen)
Prof. Dr. Philipp Kobbe (Uniklinik RWTH Aachen)

Beteiligte Fachgesellschaften und Organisationen

Tabelle 1. Mitglieder der Leitliniengruppe

Mandatstragende	Fachgesellschaft/ Organisation
Prof. Dr. Thomas Albrecht	Deutsche Gesellschaft für interventionelle Radiologie und minimal-invasive Therapie e.V.
Prof. Dr. Werner Bader	Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie & Geburtshilfe e.V.
Herr Tobias Becker	Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege und Funktionsdienste e.V.
Prof. Dr. Andreas Bender	Deutsche Gesellschaft für Neurorehabilitation e.V.
Prof. Dr. Michael Bernhard	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V.
Dr. Rainer Braunschweig	Deutsche Röntgengesellschaft e.V.
Prof Dr. Sascha Flohé	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
Prof Dr. Benedikt Friemert	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
Prof Dr. Christoph Germer	Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeral Chirurgie e.V.
Prof. Dr. Jan-Thorsten Gräsner	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V.
PD Dr. Henning Hanken	Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie e.V.
Dr. Daniel Hinck	Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin e.V.
PD Dr. Björn Hossfeld	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V.
Herr Arnold Kaltwasser	Sektion Pflege der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V.
Prof. Dr. Karl-Georg Kanz	Deutsche Gesellschaft interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin
Dr. Daniela Kildal	Deutsche Röntgengesellschaft e.V.

Mandatstragende	Fachgesellschaft/ Organisation
Prof. Dr. Ernst Klar	Deutsche Gesellschaft für Chirurgie e.V.
Prof. Dr. Ulrich Kneser	Deutsche Gesellschaft der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen e.V.
Dr. Felix Kolibay	Deutsche Arbeitsgemeinschaft Krankenhaus-Einsatzplanung
Herr Marco König	Deutscher Berufsverband Rettungsdienst
Prof. Dr. Marcus Lehnhardt	Deutsche Gesellschaft für Verbrennungsmedizin e.V.
Prof. Dr. Andreas Markewitz	Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie e.V.
Prof. Dr. Uwe-Max Mauer	Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie e.V.
PD Dr. Tim Nestler	Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V.
Frau Sabrina Pelz	Sektion Pflege der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V.
Prof. Dr. Eckhard Rickels	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V.
PD Dr. Christian Ruf	Deutsche Gesellschaft für Urologie e.V.
Prof. Dr. Peter Schmittenebecher	Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie e.V.
Dr. Christof Schreyer	Deutsche Gesellschaft für Thoraxchirurgie e.V.
Prof. Dr. Robert Schwab	Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeral Chirurgie e.V.
Prof. Dr. Frank Siemers	Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie e.V.
Prof. Dr. Erwin Strasser	Deutsche Gesellschaft für Transfusionsmedizin und Immunhämatologie e.V.
Prof. Dr. Hans-Joachim Wagner	Deutsche Gesellschaft für interventionelle Radiologie und minimal-invasive Therapie
Dr. Frank Waldfahrer	Deutsche Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V.
Prof. Dr. Johannes Zenk	Deutsche Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V.

Weitere Teilnehmende	Funktion & Fachgesellschaft/ Organisation
PD Dr. Dan Bieler	Leitlinienkoordination / Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
Dr. Käthe Gooßen	Leitlinienmethodik / Institut für Forschung in der Operativen Medizin
Dr. Monika Nothacker	Moderation Leitlinienkonferenzen / Institut für Medizinisches Wissensmanagement

Die nachfolgenden Fachgesellschaften wurden zur Novellierung der Leitlinie geladen, es konnten allerdings aufgrund von Ressourcenmangel keine Mandatsträger zur Leitlinienerstellung entsendet werden.

- Bundesarbeitsgemeinschaft der PatientInnenstellen und Initiativen (BAGP)
- Deutsche Arbeitsgemeinschaft Selbsthilfegruppen e.V. (DAG-SHG)
- Deutsche Gesellschaft für Pflegewissenschaften (DGP)
- Deutsche Gesellschaft für Physikalische Medizin und Rehabilitation e.V. (DGPMR)

Aufgrund der kürzlich veröffentlichten S2-Leitlinie Polytraumaversorgung im Kindesalter wurde im Rahmen des konstituierenden Treffens einvernehmlich vereinbart, dass die Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie e.V. (GPR) keinen Delegierten entsendet.

Kapitelautoren

* Kapitelverantwortlicher - # Methodik und systematische Literaturrecherche

+ haben zu gleichen Teilen bei der Erstellung des Kapitels beigetragen

1 Prähospitalphase
1.1 Stop the Bleeding (STB) - Prähospital
H. Trentzsch*, K. Gooßen#, B. Prediger#, U. Schweigkofler, P. Hilbert-Carius, H. Hanken, D. Gümbel, B. Hossfeld, H. Lier, D. Hinck, A. Suda, G. Achatz, D. Bieler
1.2 Atemwegsmanagement, Beatmung und Notfallnarkose
S. Braun*, B. Prediger#, J. Breuing#, M. Hertwig#, T. Becker, M. Caspers, S. Imach, H. Trentzsch, B. Hossfeld, M. Bernhard
1.3 Gerinnungsmanagement und Volumentherapie
Björn Hußmann*, Peter Hilbert-Carius, Manuel Struck, Erwin Strasser, Orkun Özkurtul, K. Gooßen#, C. Kugler#, Till Berk, Marc Maegele, Björn Hossfeld
1.4 Analgesie
M. Bernhard*, D. Bieler, B. Hossfeld, P. Hilbert-Carius, S. Braun
1.5 Thorax

1 Prähospitalphase	
C. Waydhas*, C. Kleber, M. Struck, A. Nohl, O. Kamp, H. Trentzsch, S. Schulz-Drost, B. Prediger#, J. Breuing#, C. Schreyer, R. Schwab	
1.6 Schädel-Hirn-Trauma	
U.M. Mauer*, N. Könsgen#, N. Meyer#, S. Hess#, M. Maegele, P. Hilbert-Carius	
1.7 Wirbelsäule	
P. Kobbe*, D. Häske, T. Helfen, M. Kreinest, M. Münzberg	
1.8 Extremitäten	
D. Gumbel*, M. Engelhardt, D. Hinck, C. Lott, M. Mutschler, C. Probst	
1.9 Transport und Zielklinik	
M. Münzberg*, D. Bieler, A. Franke, B. Gliwitzky, D. Häske, E. Kollig, M. Ruppert, U. Schweigkofler, C. Wölfl	
1.10 Massenanfall von Verletzten (MANV)	
A. Suda*, A. Franke, M. Hertwig#, K. Gooßen#	

*Kapitelverantwortlicher #systematische Literaturrecherche

2 Schockraum-Phase	
2.1 Der Schockraum – strukturelle und apparative Voraussetzungen	
C. Kühne*, C. Spering, S. Huber-Wagner, C. Lott, D. Bieler	
2.2 Schockraum – Team und Alarmierung	
C. Kühne*, U. Schweigkofler, A. Weise#, N. Könsgen#, A. Kaltwasser, S. Pelz, T. Becker, C. Spering, F. Wagner, D. Bieler*	
2.3 Reanimation	
J.T. Gräsner*, O. Özkurtul, K.-O. Jensen, C. Kleber, H. Trentzsch, M. Fröhlich, M. Helm, C. Kugler#, A. Weise#, M. Bernhard	
2.4 Gerinnungsmanagement und Volumentherapie	
H. Lier*, C. Kugler#, K. Gooßen#, E. Strasser, B. Hußmann, M. Maegele, P. Hilbert-Carius	
2.5 Bildgebung	
S. Huber-Wagner*, R. Braunschweig+, D. Kildal+, D. Bieler+, S. Reske, T. Wurmb, B. Prediger#, M. Hertwig#, C. Kugler#, G. Achatz, B. Friemert, C. Schoeneberg*	
2.6 Endovaskuläre Therapie von Blutungen und Gefäßläsionen	
H.-J. Wagner*, P. Hilbert-Carius, R. Braunschweig, D. Kildal, D. Hinck, T. Albrecht, N. Könsgen#, K. Gooßen#	
2.7 Thorax	
C. Schreyer*, S. Schulz-Drost, M. Struck, T. Berk, H. Trentzsch, J. Neudecker, B. Thiel, J. Breuing#, B. Prediger#, C. Waydhas	
2.8 Abdomen	
R. Schwab*, W. Bader, S. Flohé, S. Huber-Wagner, E. Klar, L. Wessel, C. Güssen	

2 Schockraum-Phase	
2.9 Becken	
	P. Mörsdorf*, D. Osche, S. Herath, K. Sprengel, A. Weise#, N. Könsgen#, U. Schweigkofler
2.10 Schädel-Hirn-Trauma	
	U.M. Mauer*, N. Könsgen#, N. Meyer#, S. Hess#, P. Hilbert-Carius, A. Bender, M. Maegele
2.11 Wirbelsäule	
	F. Högel*, O. Gonschorek, A. Woltmann
2.12 Unterkiefer und Mittelgesicht	
	H. Hanken*, C. Kugler#, A. Weise#
2.13 Hals	
	F. Waldfahrer*, N. Meyer#, S. Wahlen#, J. Zenk
2.14 Extremitäten	
	B. Hußmann*, T. Bürger, M. Mutschler, C. Probst, S. Lendemans
2.15 Hand	
	M. Schädel-Höpfner*
2.16 Fuß	
	S. Rammelt*, S. Ochmann
2.17 Urogenitaltrakt	
	T. Nestler*, J. P. Radtke, G. Schönberg, U. Schweigkofler, M. Hohenfellner, C. Ruf

*Kapitelverantwortlicher #systematische Literaturrecherche +haben zu gleichen Teilen zur Erstellung des Kapitels beigetragen

3 Erste OP-Phase	
3.1 Thorax	
	C. Schreyer*, A. Markewitz, J. Breuing#, B. Prediger#, L. Becker, C. Spering, J. Neudecker, B. Thiel, S. Schulz-Drost
3.2 Zwerchfell	
	R. Schwab*, E. Klar, C. Ludwig, G. Matthes, D. Stengel
3.3 Abdomen	
	C. Güsgen, J. Breuing#, B. Prediger#, R. Schwab*
3.4 Schädel-Hirn-Trauma	
	U.M. Mauer*, B. Prediger#, A. Bender, M. Maegele, N. Könsgen#
3.5 Wirbelsäule	
	R. Hartensuer*, K. Sprengel, S. Huber-Wagner, A. Weise#, J. Breuing#, F. Högel

3 Erste OP-Phase	
3.6 Unterkiefer und Mittelgesicht	
R. Gutwald*	
3.7 Hals	
F. Waldfahrer*	
3.8 Obere Extremitäten	
K. Horst*, H. Andruszkow, M. Frink, P. Lechler, T. Lustenberger, F. Hildebrand	
3.9 Hand	
M. Schädel-Höpfner*, F. Siemers	
3.10 Untere Extremitäten	
K.O. Jensen*, B. Prediger#, N. Könsgen#, M.P.J. Teuben	
3.11 Fuß	
S. Rammelt*, S. Ochmann	
3.12 Urogenitaltrakt	
C. Ruf*, L. A. Kluth, J. Breuing#, S. Wahlen#, T. Nestler	
3.13 Thermische Hautverletzung und Verbrennung	
M. Lehnhardt*, C. Hirche, O. Rennekampf, U. Kneser	

*Kapitelverantwortlicher #systematische Literaturrecherche

Anschriften

Autor	Affiliations	ORCID-Code
PD Dr. Gerhard Achatz	Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Rekonstruktive und Septische Chirurgie, Sporttraumatologie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Ulm, Deutschland	0000-0001-5064-5913
Prof. Dr. Thomas Albrecht	Institut für Radiologie und interventionelle Therapie, Vivantes Klinikum Neukölln, Berlin, Deutschland	-
PD Dr. Hagen Andruszkow	Klinik für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Sektion Fuß und Sprunggelenkschirurgie, Universitätsklinikum RWTH Aachen, Aachen, Deutschland	-
Prof. Dr. Werner Bader	Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe, Klinikum Bielefeld, Bielefeld, Deutschland	-
Herr Tobias Becker	Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege und Funktionsdienste e.V., Berlin, Deutschland	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
Dr. Lars Becker	Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Essen, Essen, Deutschland	0000-0001-7876-2580
Prof. Dr. Andreas Bender	Klinik für Neurochirurgie, Therapiezentrum Burgau, Burgau, Deutschland	0000-0002-6328-7104
Dr. Till Berk	Klinik für Traumatologie, Universitätsspital Zürich, Zürich, Schweiz	0000-0001-9582-1810
Prof. Dr. Michael Bernhard	Zentrale Notaufnahme, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich Heine Universität, Düsseldorf, Deutschland	-
PD Dr. Dan Bieler	Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs-, Hand- und Plastische Chirurgie, Verbrennungsmedizin, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Koblenz, Deutschland	0000-0002-0708-1259
PD Dr. Sebastian Braun	Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich Heine Universität, Düsseldorf, Deutschland	-
Dr. Rainer Braunschweig	Klinik für bildgebende Diagnostik und Interventionsradiologie, BG-Klinik Bergmannstrost Halle (Saale), Halle (Saale), Deutschland	-
Frau Jessica Breuing	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-3433-6464
Prof. Dr. Thomas Bürger	Abteilung für Gefäßchirurgie, Kurhessisches Diakonissenhaus, Kassel, Deutschland	-
PD Dr. Hagen Andruszkow	Klinik für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Sektion Fuß und Sprunggelenkschirurgie, Universitätsklinikum RWTH Aachen, Aachen, Deutschland	-
Prof. Dr. Werner Bader	Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe, Klinikum Bielefeld, Bielefeld, Deutschland	-
Herr Tobias Becker	Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege und Funktionsdienste e.V., Berlin, Deutschland	-
Dr. Lars Becker	Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Essen, Essen, Deutschland	0000-0001-7876-2580
Dr. Michael Caspers	OPUS - Klinik für Orthopädie, Plastische Chirurgie, Unfallchirurgie und Sporttraumatologie, Kliniken der Stadt Köln, Krankenhaus Köln Merheim, Deutschland	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke; Köln, Deutschland	
Dr. Michael Engelhardt	Klinik für Gefäßchirurgie und Endovaskuläre Chirurgie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Ulm, Deutschland	-
Prof. Dr. Sascha Flohé	Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie, Städtisches Klinikum Solingen, Solingen, Deutschland	-
Prof. Dr. Axel Franke	Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs-, Hand- und Plastische Chirurgie, Verbrennungsmedizin, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Koblenz, Deutschland	-
Prof. Dr. Benedikt Friemert	Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Rekonstruktive und Septische Chirurgie, Sporttraumatologie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Ulm, Deutschland	-
Prof. Dr. Michael Frink	Klinik für Unfall-, Hand und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Marburg, Marburg, Deutschland	-
PD Dr. Matthias Fröhlich	Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sporttraumatologie, Kliniken der Stadt Köln, Klinikum Köln-Merheim, Köln, Deutschland	0000-0002-8444-632X
Herr Bernhard Gliwitzky	Deutscher Rat für Wiederbelebung, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland	-
Dr. Oliver Gonschorek	Klinik für Wirbelsäulenchirurgie, BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Deutschland	-
Dr. Käthe Gooßen	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Fakultät für Gesundheit, Universität Witten/Herdecke, Witten, Deutschland	0000-0002-1436-1144
Prof. Dr. Jan-Thorsten Gräsner	Institut für Rettungs- und Notfallmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Kiel, Deutschland	0000-0001-8143-0376
PD Dr. Denis Gümbel	Abteilung Unfallchirurgie und Orthopädie, BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Deutschland	0000-0003-1330-2676
	Abteilung für Traumatologie, rekonstruktive Medizin und Rehabilitationsmedizin, Universitätsmedizin Greifswald, Greifswald, Deutschland	

Autor	Affiliations	ORCID-Code
Dr. Christoph Güssen	Klinik für Allgemein-Viszeral und Thoraxchirurgie, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Koblenz, Deutschland	0000-0001-6479-6456
Prof. Dr. Ralf Gutwald	Fakultät Medizin/ Zahnmedizin, Danube Private University, Krems-Stein, Österreich	-
PD Dr. Dr. Henning Hanken	Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Asklepios Klinik Nord Heidberg, Hamburg, Deutschland	0000-0001-7600-9181
Prof. Dr. René Hartensuer	Zentrum für Orthopädie, Unfallchirurgie, Handchirurgie und Sportmedizin, Klinikum Aschaffenburg-Alzenau, Aschaffenburg, Deutschland	0000-0002-6175-2754
Dr. David Häske	Zentrum für öffentliches Gesundheitswesen und Versorgungsforschung, Universitätsklinikum Tübingen, Tübingen, Deutschland	-
PD Dr. Tobias Helfen	Abteilung Obere Extremität, Muskuloskelettales Universitätszentrum München, München, Deutschland	-
Prof. Dr. Matthias Helm	Klinik für Anästhesiologie & Intensivmedizin, Sektion Notfallmedizin, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Ulm, Deutschland	-
PD Dr. Steven Herath	Klinik für Acetabulumchirurgie, BG Klinik Tübingen, Tübingen, Deutschland	-
Frau Miriam Hertwig	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-3119-3584
Frau Simone Hess	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0003-0421-2863
PD Dr. Peter Hilbert-Carius	Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, BG Klinikum Bergmannstrost Halle, Halle (Saale), Deutschland	0000-0002-4704-2377
Prof. Dr. Frank Hildebrand	Klinik für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum RWTH Aachen, Aachen, Deutschland	-
Dr. Daniel Hinck	Fakultät Sanitätsdienst und Gesundheitswissenschaften, Führungsakademie der Bundeswehr, Hamburg, Deutschland	0000-0002-1226-4244
Prof. Dr. Christoph Hirche	Klinik für plastische, Hand-, und rekonstruktive Mikrochirurgie, BG Unfallklinik Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
PD Dr. Florian Högel	Zentrum für Rückenmarkverletzungen, BG-Unfallklinik Murnau, Murnau, Deutschland	0000-0002-4791-7612
Prof. Dr. Markus Hohenfellner	Klinik für Urologie, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland	-
PD Dr. Klemens Horst	Klinik für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Sektion Unfall- und Wiederherstellungsmedizin, Universitätsklinikum RWTH Aachen, Aachen, Deutschland	-
PD Dr. Björn Hossfeld	Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin u. Schmerztherapie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Ulm, Deutschland	-
Prof. Dr. Stefan Huber-Wagner	Klinik für Unfallchirurgie, Wirbelsäulenchirurgie und Alterstraumatologie, Diakonie-Klinikum Schwäbisch Hall, Schwäbisch Hall, Deutschland	0000-0003-0442-3783
PD Dr. Björn Hußmann	Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Alfried Krupp Krankenhaus, Essen, Deutschland	-
Dr. Sebastian Imach	OPUS - Klinik für Orthopädie, Plastische Chirurgie, Unfallchirurgie und Sporttraumatologie, Kliniken der Stadt Köln, Krankenhaus Köln Merheim, Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-8879-9050
Dr. Kai Oliver Jensen	Abteilung für Traumatologie, Universitätsspital Zürich, Zürich, Schweiz	0000-0002-6207-8087
Herr Arnold Kaltwasser	Akademie für Weiterbildung für Intensivpflege und Anästhesie, Kreiskliniken Reutlingen, Reutlingen, Deutschland	-
Herr Oliver Kamp	Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Essen, Essen, Deutschland	0000-0001-7593-4471
Dr. Daniela Kildal	Klinik für diagnostische und interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland	-
Prof. Dr. Ernst Klar	Chirurgische Klinik und Poliklinik, Universitätsmedizin Rostock, Rostock, Deutschland	-
Prof. Dr. Christian Kleber	Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie (OUP), Universitätsklinikum Leipzig AÖR, Leipzig, Deutschland	0000-0002-0231-5116
PD Dr. Luis Alex Kluth	Klinik für Urologie, Universitätsklinikum Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland	-
Prof. Dr. Ulrich Kneser	Klinik für Hand-, Plastische- und Rekonstruktive Chirurgie, Mikrochirurgie -	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
	Schwerbrandverletzententrum, BG Klinik Ludwigshafen, Ludwigshafen, Deutschland	
Prof. Dr. Philipp Kobbe	Klinik für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Sektion Wirbelsäulenchirurgie, Universitätsklinikum RWTH Aachen, Aachen, Deutschland	-
Prof. Dr. Erwin Kollig	Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Wiederherstellungs-, Hand- und Plastische Chirurgie, Verbrennungsmedizin, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Koblenz, Deutschland	-
Frau Nadja Könsgen	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-5387-7119
Prof. Dr. Michael Kreinest	Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Sektion Wirbelsäulenchirurgie, BG Klinik Ludwigshafen, Ludwigshafen, Deutschland	-
Frau Charlotte M. Kugler	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0003-4170-3290
Prof. Dr. Christian Kühne	Klinik für Unfall- und Handchirurgie, Zentrum für Alterstraumatologie, Schön Klinik Hamburg, Hamburg Eilbeck, Deutschland	-
Prof. Dr. Philipp Lechler	Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Klinikum Fürth, Fürth, Deutschland	-
Prof. Dr. Marcus Lehnhardt	Klinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie, Schwerbrandverletzententrum, Sarkomzentrum, BG Universitätsklinikum Bergmannsheil Bochum, Bochum, Deutschland	-
Prof. Dr. Sven Lendemans	Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Alfried Krupp Krankenhaus, Essen, Deutschland	
Dr. Heiko Lier	Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universität zu Köln, Medizinische Fakultät und Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland	0000-0001-7374-4324
Dr. Carsten Lott	Klinische Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland	-
Prof. Dr. Corinna Ludwig	Klinik für Thoraxchirurgie, Florence Nightingale Krankenhaus, Düsseldorf, Deutschland	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
Prof. Dr. Thomas Lustenberger	Klinik für orthopädische Chirurgie und Traumatologie, Universitätsspital Bern, Bern, Schweiz	-
Prof. Dr. Marc Maegele	Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Klinikum Köln Merheim, Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-0634-4723
Prof. Dr. Andreas Markewitz	Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Berlin, Deutschland	0000-0002-9668-4616
Prof. Dr. Gerrit Matthes	Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Ernst von Bergmann Klinikum Potsdam, Potsdam, Deutschland	-
Prof. Dr. Uwe Max Mauer	Klinik für Neurochirurgie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Ulm, Deutschland	0000-0003-3628-7384
Frau Nora Meyer	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-1858-4396
Dr. Philipp Mörsdorf	Klinik für Unfall-, Hand-, und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg, Deutschland	-
Prof. Dr. Matthias Münzberg	Klinik für interdisziplinäre Rettungs- und Notfallmedizin, BG Klinik Ludwigshafen, Ludwigshafen, Deutschland	-
PD Dr. Manuel Mutschler	Abteilung für Fußchirurgie, Johanniter-Kliniken Bonn, Bonn, Deutschland	-
PD Dr. Tim Nestler	Klinik für Urologie, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Koblenz, Deutschland	-
Prof. Dr. Jens Neudecker	Chirurgische Klinik, Charité - Universitätsmedizin Berlin, Campus Charité Mitte Campus Virchow-Klinikum, Berlin, Deutschland	-
Dr. André Nohl	Zentrum für Notfallmedizin, BG Klinikum Duisburg, Duisburg, Deutschland	0000-0002-5106-4894
Prof. Dr. Sabine Ochman	Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Münster, Münster Deutschland	-
Dr. David Osche	Klinik für Unfall-, Hand- & Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg, Deutschland	-
Dr. Orkun Özkurtul	Klinik für Chirurgie, Chirurgie I, Universitätsklinikum Leipzig, Leipzig, Deutschland	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
Frau Sabrina Pelz	Advanced Nursing Praticce Intensivstation, Universitäts- und Rehabilitationskliniken Ulm, Ulm, Deutschland	-
Dr. Barbara Prediger	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-2012-7549
Prof. Dr. Christian Probst	Klinikum für Orthopädie, Unfallchirurgie, Hand-, Fuß- und Wiederherstellungschirurgie, Klinikum Oberberg Kreiskrankenhaus Gummersbach, Gummersbach, Deutschland	-
Prof. Dr. Jan Philipp Radtke	Klinik für Urologie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland	-
Prof. Dr. Stefan Rammelt	Zentrum für Orthopädie, Unfall- und plastische Chirurgie, Sektion Fuß und Sprunggelenk, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden, Deutschland	-
Prof. Dr. Hans-Oliver Rennekampff	Klinik für Plastische Chirurgie, Hand- und Verbrennungschirurgie, Rhein-Maas Klinikum, Würselen, Deutschland	-
Dr. Stefan Reske	Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Neuroradiologie, Heinrich-Braun-Klinikum, Zwickau, Deutschland	-
PD Dr. Christian Ruf	Klinik für Urologie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, Ulm, Deutschland	-
Dr. Matthias Ruppert	Medizin der ADAC Luftrettung, München, Deutschland	-
Prof. Dr. Michael Schädel-Höpfner	Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Handchirurgie, Rheinland Klinikum Lukaskrankenhaus Neuss, Neuss, Deutschland	-
Dr. Gita Schönberg	Klinik für Urologie, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland	-
PD Dr. Carsten Schöneberg	Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Alfried Krupp Krankenhaus Essen, Essen, Deutschland	-
Dr. Christof Schreyer	Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Koblenz, Deutschland	-
PD Dr. Stefan Schulz-Drost	Klinik für Unfallchirurgie/Traumatologie, Helios Kliniken Schwerin, Schwerin, Deutschland	0000-0002-0945-8523
Prof. Dr. Robert Schwab	Klinik für Allgemein-Viszeral und Thoraxchirurgie, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz, Koblenz, Deutschland	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
PD. Dr. Uwe Schweigkofler	Abteilung für Unfallchirurgie und orthopädische Chirurgie, BG Unfallklinik Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland	0000-0001-9863-9109
Prof. Dr. Frank Siemers	Klinik für Plastische und Handchirurgie, BG Klinikum Bergmannstrost Halle, Halle, Deutschland	-
Dr. Christopher Spering	Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie, Universitätsmedizin Göttingen, Göttingen, Deutschland	0000-0001-8962-2356
PD Dr. Kai Sprengel	Praxis medOT, Hirslanden Klinik St. Anna, Universität Luzern, Luzern, Schweiz	0000-0001-5921-8272
Prof. Dr. Dirk Stengel	Abteilung Forschung, BG Kliniken, Berlin, Deutschland	-
Prof. Dr. Erwin Strasser	Klinik für Anästhesiologie, Abteilung für Transfusionsmedizin, Zelltherapeutika und Hämostaseologie, LMU Klinikum Campus Großhadern, München, Deutschland	-
PD Dr. Manuel Struck	Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Universitätsklinikum Leipzig, Leipzig, Deutschland	0000-0002-0070-3406
Prof. Dr. Arnold Suda	Abteilung für Orthopädie und Traumatologie, AUVA Unfallkrankehaus Salzburg, Salzburg, Österreich	0000-0002-7194-8726
Dr. Michel Paul Johan Teuben	Abteilung für Traumatologie, Universitätsspital Zürich, Zürich, Schweiz	0000-0003-0310-4668
Dr. Burkhard Thiel	Klinik für Thoraxchirurgie, Klinikum Westfalen, Klinik am Park Lünen, Lünen, Deutschland	0000-0002-0414-957X
Dr. Heiko Trentzsch	Institut für Notfallmedizin und Medizinmanagement (INM), Klinikum der Universität München, München, Deutschland	0000-0002-6395-6873
Dr. Frithjof Wagner	Abteilung für septische und rekonstruktive Chirurgie, BG Unfallklinik Murnau, Murnau am Staffelsee, Deutschland	-
Prof. Dr. Hans-Joachim Wagner	Institut für Radiologie und interventionelle Therapie, Vivantes Klinikum Am Urban und Klinikum im Friedrichshain, Berlin, Deutschland	0000-0002-2915-4455
Frau Sarah Wahlen	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0002-9902-8024
Dr. Frank Waldfahrer	Hals-Nasen-Ohren-Klinik, Kopf- und Halschirurgie, Universitätsklinikum Erlangen, Erlangen, Deutschland	-

Autor	Affiliations	ORCID-Code
Prof. Dr. Christian Waydhas	Klinik für Chirurgie, Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil, Bochum, Deutschland	0000-0002-5291-0853
	Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Essen, Essen, Deutschland	
Frau Alina Weise	Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM), Universität Witten/Herdecke, Köln, Deutschland	0000-0003-4563-5782
Prof. Dr. Dr. Lucas Wessel	Klinik für Kinder- und Jugendchirurgie, Universitätsmedizin Mannheim, Mannheim, Deutschland	-
PD Dr. Christoph Wöfl	Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sporttraumatologie - Hand- und Plastische Chirurgie, Marienhaus Klinikum St. Elisabeth Neuwied, Neuwied, Deutschland	-
Prof. Dr. Alexander Woltmann	Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Allgemeinchirurgie, BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Deutschland	-
Prof. Dr. Thomas Wurmb	Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Universitätsklinikum Würzburg, Würzburg, Deutschland	0000-0001-7246-3846
Prof. Dr. Johannes Zenk	Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Universitätsklinikum Augsburg, Augsburg, Deutschland	-

Danksagung

Diese 2. Aktualisierung der S3-Leitlinie wäre ohne die Vorarbeiten der Delegierten und Autorengruppen 2011 und 2016 nicht möglich gewesen. Allen Beteiligten gilt großer Dank, da sie durch ihre ehrenamtliche Arbeit maßgeblich die Schwerverletztenversorgung in Deutschland vorangebracht haben.

Am Konsensusprozess beteiligte Fachgesellschaften mit ihren Delegierten S3-Erstversion 2011

PD Dr. med. Michael Bernhard
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Klinikum Fulda gAG
Zentrale Notaufnahme
Pacelliallee 4
36043 Fulda

Prof. Dr. med. Bernd W. Böttiger
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Universitätsklinikum Köln
Klinik für Anästhesiologie und Operative
Intensivmedizin
Kerpener Str. 62
50937 Köln

Prof. Dr. med. Thomas Bürger
(Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie
und Gefäßmedizin)
Kurhessisches Diakonissenhaus
Abteilung für Gefäßchirurgie
Goethestr. 85
34119 Kassel

Prof. Dr. med. Matthias Fischer
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Klinik am Eichert Göppingen
Klinik für Anästhesiologie, Operative
Intensivmedizin, Notfallmedizin und
Schmerztherapie
Eichertstr. 3
73035 Göppingen

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Ralf Gutwald
(Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer-
und Gesichtschirurgie)
Universitätsklinikum Freiburg
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Hugstetterstr. 55
79106 Freiburg

Prof. Dr. med. Markus Hohenfellner
(Deutsche Gesellschaft für Urologie)
Universitätsklinik Heidelberg
Urologische Klinik
Im Neuenheimer Feld 110
69120 Heidelberg

Prof. Dr. med. Ernst Klar
(Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und
Viszeralchirurgie)
Universitätsklinik Rostock
Abteilung für Allgemeine, Thorax-, Gefäß-
und Transplantationschirurgie
Schillingallee 35
18055 Rostock

Prof. Dr. med. Eckhard Rickels
(Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie)
Allgemeines Krankenhaus Celle
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und
Neurotraumatologie
Siemensplatz 4
29223 Celle

Prof. Dr. med. Jürgen Schüttler
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Universitätsklinikum Erlangen
Klinik für Anästhesiologie
Krankenhausstr. 12
91054 Erlangen

Prof. Dr. med. Andreas Seekamp
(Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie)
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein (Campus
Kiel)
Klinik für Unfallchirurgie
Arnold-Heller-Str. 7
24105 Kiel

Prof. Dr. med. Klaus Michael Stürmer
(Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie)
Universitätsmedizin Göttingen – Georg-August-
Universität
Abteilung Unfallchirurgie, Plastische und
Wiederherstellungschirurgie
Robert-Koch-Str. 40
37075 Göttingen

Prof. Dr. med. Lothar Swoboda
Deutsche Gesellschaft für Thoraxchirurgie
Eißendorfer Pferdeweg 17a
21075 Hamburg

Prof. Dr. med. Thomas J. Vogl
(Deutsche Röntgengesellschaft)
Universitätsklinikum Frankfurt
Institut für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt/Main

Dr. med. Frank Waldfahrer
(Deutsche Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf-
und Hals-Chirurgie)
Universitätsklinikum Erlangen
Hals-Nasen-Ohren-Klinik
Waldstraße 1
91054 Erlangen

Prof. Dr. med. Margot Wüstner-Hofmann
(Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie)
Klinik Rosengasse GmbH
Rosengasse 19
89073 Ulm/Donau

Am Konsensusprozess beteiligte Fachgesellschaften mit ihren Delegierten Aktualisierung 2016

Prof. Dr. med. Werner Bader
(Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie &
Geburtshilfe)
Klinikum Bielefeld Mitte
Zentrum für Frauenheilkunde und Geburtshilfe
Teutoburger Straße 50
33604 Bielefeld

PD Dr. med. Michael Bernhard
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Zentrale Notaufnahme
Universitätsklinikum Leipzig
Liebigstraße 20
04103 Leipzig

Prof. Dr. med. Bernd W. Böttiger
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Klinik für Anästhesiologie und Operative
Intensivmedizin
Universitätsklinikum (AöR)
Kerpenerstraße 62
50937 Köln

Prof. Dr. med. habil. Thomas Bürger
(Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und
Gefäßmedizin)
Agaplesion Diakonie Kliniken Kassel
Gefäßchirurgische Abteilung
Herkulesstraße 34
34119 Kassel

Dipl. med. Andreas Düran
(Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie &
Geburtshilfe)
Krankenhaus Nordwest
Gynäkologie und Geburtshilfe
Steinbacher Hohl 2-26
60488 Frankfurt am Main

Prof. Dr. med. Matthias Fischer
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Klinik für Anästhesiologie, Operative
Intensivmedizin, Notfallmedizin und
Schmerztherapie
ALB FILS KLINIKEN GmbH
Klinik am Eichert
Postfach 660
73006 Göppingen

Prof. Dr. med. Birgit Gathof
(Deutsche Gesellschaft für Transfusionsmedizin
und Immunhämatologie)
Zentrale Dienstleistungseinrichtung für
Transfusionsmedizin
Universitätsklinikum Köln (AÖR)
Kerpenerstr. 62
50936 Köln

Dr. med. Lucas Geyer
(Deutsche Röntgengesellschaft)
Institut für Klinische Radiologie
Klinikum der LMU München – Campus Innenstadt
Nussbaumst. 20
80336 München

Prof. Dr. Dr. med. Ralf Gutwald
(Deutsche Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und
Gesichtschirurgie)
Universitätsklinikum Freiburg
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Hugstetterstraße 55
79106 Freiburg

David Häske, MSc MBA
(Deutscher Berufsverband Rettungsdienst)
Eberhard Karls Universität Tübingen
Medizinische Fakultät
Geissweg 5
72076 Tübingen

Prof. Dr. med. Matthias Helm, OTA
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Klinik für Anästhesiologie & Intensivmedizin
Sektion Notfallmedizin
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Oberer Eselsberg 40
89070 Ulm

Dr. med. Peter Hilbert-Carius
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und
Notfallmedizin
BG-Klinikum Bergmannstrost Halle (Saale)
Merseburger Str. 165
06112 Halle an der Saale

Prof. Dr. med. Markus Hohenfellner
(Deutsche Gesellschaft für Urologie)
Urologische Universitätsklinik Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 110
69120 Heidelberg

Prof. Dr. med. Karl-Georg Kanz
(Deutsche Gesellschaft interdisziplinäre Notfall-
und Akutmedizin)
Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie
Klinikum rechts der Isar der Technischen
Universität München
Ismaninger Straße 22
81675 München

Prof. Dr. med. Ernst Klar
(Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und
Viszeralchirurgie)
Universitätsmedizin Rostock
Klinik und Poliklinik für Chirurgie
Schillingallee 35
18057 Rostock

Prof. Dr. med. Ulrich Kneser
(Deutsche Gesellschaft der Plastischen,
Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen)
Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik
Ludwigshafen
Klinik für Hand-, Plastische- und Rekonstruktive
Chirurgie – Schwerbrandverletztzentrum
Ludwig-Guttman-Straße 13
67071 Ludwigshafen

Prof. Dr. med. Marcus Lehnhardt
(Deutsche Gesellschaft für Verbrennungsmedizin)
Klinik für Plastische und Handchirurgie
Schwerbrandverletztzentrum
BG-Universitätskliniken Bergmannsheil Bochum
Bürkle-de-la-Camp Platz 1
44789 Bochum

Dr. med. Heiko Lier
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Klinik für Anästhesiologie und Operative
Intensivmedizin
Universitätsklinikum (AÖR)
Kerpenerstraße 62
50937 Köln

Dr. med. Carsten Lott
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Universitätsmedizin
Johannes Gutenberg-Universität
Klinik für Anästhesiologie
Langenbeckstr. 1
55131 Mainz

PD Dr. med. Corinna Ludwig
(Deutsche Gesellschaft für Thoraxchirurgie)
Klinik für Thoraxchirurgie
Florence-Nightingale-Krankenhaus
Kreuzbergstr. 79
40489 Düsseldorf

Prof. Dr. med. Ingo Marzi
(Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für
Intensiv- und Notfallmedizin)
Klinik für Unfall-, Hand- und
Wiederherstellungschirurgie
Universitätsklinikum Goethe-Universität Frankfurt
Theodor-Stern-Kai 7
60590 Frankfurt am Main

Prof. Dr. med. Uwe Max Mauer
(Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie)
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Abt. Neurochirurgie
Oberer Eselsberg 40
89070 Ulm

Prof. Dr. med. Eckhard Rickels
(Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie)
Allgemeines Krankenhaus Celle
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und
Neurotraumatologie-Bereich Neurotraumatologie
Siemensplatz 4
29223 Celle

Prof. Dr. med. Jürgen Schäfer
(Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie)
Kinderradiologie – Abteilung für Diagnostische und
Interventionelle Radiologie
Universitätsklinikum Tübingen
Hoppe Seyler-Str. 3
72076 Tübingen

Prof. Dr. med. Robert Schwab
(Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und
Viszeralchirurgie)
Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Thoraxchirurgie
Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Rübenacher Straße 170
56072 Koblenz

PD Dr. med. Frank Siemers
(Deutsche Gesellschaft für Handchirurgie)
Berufsgenossenschaftliche Kliniken
Bergmannstrost Halle
Klinik für Plastische und Handchirurgie,
Brandverletzentzentrum
Merseburger Straße 165
06112 Halle

Prof. Dr. med. Erwin Strasser
(Deutsche Gesellschaft für Transfusionsmedizin
und Immunhämatologie)
Transfusionsmedizinische und
Hämostaseologische Abteilung
Universitätsklinikum Erlangen
Krankenhausstraße 12
91054 Erlangen

Dr. med. Frank Waldfahrer
(Deutsche Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf-
und Hals-Chirurgie)
Universitätsklinikum Erlangen
Hals-Nasen-Ohren-Klinik, Kopf- und Halschirurgie
Waldstraße 1
91054 Erlangen

Prof. Dr. med. Lucas Wessel
(Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie)
Universitätsklinikum Mannheim
Kinderchirurgische Klinik
Theodor-Kutzer-Ufer 1-3
68135 Mannheim

PD Dr. rer. biol. Dr. med. Stefan Wirth
(Deutsche Röntgengesellschaft)
Institut für Klinische Radiologie
Klinikum der LMU München – Campus Innenstadt
Nussbaumst. 20
80336 München

Prof. Dr. med. Thomas Wurmb
(Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und
Intensivmedizin)
Sektion Notfallmedizin
Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie
Universitätsklinikum Würzburg
Oberdürrbacherstraße 6
97080 Würzburg

Autoren und Koautoren der einzelnen Kapitel 2011 & 2016

Autoren/Koautoren	Erstversion 2011	Aktualisierung 2016
Andruszkow, Dr. med. Hagen	-	3.8
Arnscheidt, Dr. med. Christian	-	2.4, 3.2
Aschenbrenner, Dr. med MSc. Ulf	1.9, 2.15	-
Bader, Prof. Dr. med. Werner	-	2.5
Bail, Prof. Dr. med. Hermann	1.4, 1.7, 2.5	-
Banerjee, Dr. med. Marc	3.10	-
Bardenheuer, Dr. med. Mark	1.4	-
Bartl, Dr. med. Christoph	3.2	-
Bayeff-Filloff, Dr. med. Michael	1.4, 1.6, 2.10, 3.8	-
Beck, Prof. Dr. med. Alexander	1.4, 1.6, 1.10	-
Bernhard, PD Dr. med. Michael	1.2, 2.15, 2.16	1.2 , 2.15, 2.16
Bieler, Dr. med. Dan	-	1.9
Biewener, PD Dr. med. Achim	1.4, 1.9	-
Blum, Prof. Dr. med. Jochen	3.8	-
Böttiger, Prof. Dr. med. Bernd W.	1.2, 2.15, 2.16	1.2, 2.15
Bouillon, Prof. Dr. med. Bertil	1.4, 3.10	-
Braun, Dr. med. Jörg	1.9	-
Bühren, Prof. Dr. med. Volker	2.9, 3.7	-
Bürger, Prof. Dr. med. Thomas	-	2.10, 2.17
Burkhardt, PD Dr. med. Markus	2.7	-
Dahmen, Dr. med. Janosch	-	3.10
Dresing, Prof. Dr. med. Klaus	2.2	2.3
Ekkernkamp, Prof. Dr. med. Axel	3.3, 3.4	-
Engelhardt, Dr. med. Michael	-	1.7
Fiebig, Christian	2.17	-
Fischbacher, Dr. med. Marc	1.2, 1.4	-
Fischer, Prof. Dr. med. Markus	2.14	-
Fischer, Prof. Dr. med. Matthias	1.2, 2.15	1.2, 1.5
Flohé, Prof. Dr. med. Sascha	-	2.3, 2.5, 3.4
Frank, Dr. med. Mark D.	1.9	-
Franke, PD Dr. med. Axel	-	1.9
Friemert, Prof. Dr. med. Benedikt	-	1.10
Frink, Prof. Dr. med. Michael	-	3.8
Fritzemeier, Dr. med. Claus-Robin	-	3.10
Gathof, Prof. Dr. med. Birgit	-	1.3, 2.16
Gebhard, Prof. Dr. med. Florian	3.2	-
Geyer, Dr. med. Lucas	-	2.18
Gliwitzky, Bernhard	-	1.9, 2.15
Gonschorek, Dr. med. Oliver	-	2.9, 3.7
Gümbel, Dr. med. Denis	-	1.7 , 3.10
Gutwald, Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Ralf	2.13, 3.12	2.13 , 3.12
Haas, Prof. Dr. med. Norbert P.	2.5	-

Autoren/Koautoren	Erstversion 2011	Aktualisierung 2016
Hanschen, Dr. med. Marc	-	2.16
Häske, David, MSc MBA	-	1.6, 1.9, 1.10, 2.15
Helfen, Dr. med. Tobias	-	1.6
Helm, Prof. Dr. med. Matthias	-	1.2
Hentsch, Dr. med. Sebastian	1.4	-
Hilbert-Carius, Dr. med. Peter	-	1.2, 1.3
Hildebrand, Prof. Dr. med. Frank	-	3.1, 3.8
Hinck, Dr. med. Daniel	-	1.7
Hirche, PD Dr. med. Christoph	-	3.14
Högel, PD Dr. med. Florian	-	2.9, 3.7
Hohenfellner, Prof. Dr. med. Markus	1.8, 2.8, 3.6	1.8, 2.8, 3.6
Hohlweg-Majert, PD Dr. med. Dr. med. dent. Bettina	2.13, 3.12	-
Hörmann, Prof. Dr. med. Karl	2.14, 3.13	-
Huber-Wagner, Prof. Dr. med. Stefan	-	2.1, 2.4, 2.5, 2.15, 2.18, 3.2
Hüls, Dr. med. Ewald	1.4	-
Hußmann, Dr. med. Björn	2.10	1.3, 2.10 , 3.10
Josten, Prof. Dr. med. Christoph	2.15	-
Kanz, Prof. Dr. med. Karl-Georg	1.2, 1.4	1.10 , 2.15
Kinzl, Prof. Dr. med. Lothar	3.2	-
Klar, Prof. Dr. med. Ernst	-	2.5, 3.3, 3.4
Kleber, Dr. med. Christian	1.7	1.4, 2.4, 2.15, 3.2
Kneser, Prof. Dr. med. Ulrich	-	3.14
Knöferl, Prof. Dr. med. Markus W.	3.2	-
Kobbe, PD Dr. med. Philipp	-	1.6
Kollig, PD Dr. med. Erwin	-	1.3, 1.9
Kreineist, Dr. med. Dr. rer. nat. Michael	-	1.6
Kühne, Prof. Dr. med. Christian A.	2.2, 2.3	2.2, 2.3
Lackner, Prof. Dr. med. Christian K.	1.4	-
Lechler, PD Dr. med. Philipp	-	3.8
Lehnhardt, Prof. Dr. med. Marcus	-	3.14
Lendemans, PD Dr. med. Sven	2.1, 2.10	2.1, 2.10, 2.16
Liebehenschel, Dr. med. Dr. med. dent. Niels	2.13, 3.12	-
Liener, PD Dr. med. Ulrich C.	3.2	-
Lier, Dr. med. Heiko	2.16	1.2, 2.16
Lindner, Dr. med. Tobias	1.7, 2.5	-
Linsenmaier, PD Dr. med. Ulrich		2.17
Lott, Dr. med. Carsten	-	1.2, 1.7, 1.10, 2.2, 2.3, 2.4, 2.15, 3.2
Ludwig, PD Dr. med. Corinna	-	2.4, 3.2, 3.3
Lustenberger, Dr. med. Thomas	-	3.8
Lynch, Thomas H.	1.8, 2.8, 3.6	-
Mack, Prof. Dr. med. Martin G.	2.17	-
Maegele, Prof. Dr. med. Marc	-	2.16
Marintschev, Dipl.-Med. Ivan	1.4	-

Autoren/Koautoren	Erstversion 2011	Aktualisierung 2016
Martínez-Piñeiro, Luis	1.8, 2.8, 3.6	-
Marzi, Prof. Dr. med. Ingo	-	2.16
Matthes, Prof. Dr. med. Gerrit	1.2, 1.4, 3.3, 3.4	1.2, 3.3, 3.4
Mauer, Prof. Dr. med. Uwe Max	-	1.5, 2.6, 3.5
Maxien, Dr. med. Daniel	-	2.17
Mayer, Dr. med. Hubert	1.4	-
Mor, Dr. med. Yoram	1.8, 2.8, 3.6	-
Mörsdorf, Dr. med. Philipp	-	2.7
Münzberg, Dr. med. Matthias	-	1.6, 1.9
Mutschler, Dr. med. Manuel	-	1.7, 2.10
Neubauer, Dr. med. Hubert	-	3.10
Obertacke, Prof. Dr. med. Udo	2.4	-
Ochmann, PD Dr. med. Sabine	-	2.12, 3.11
Oestern, Prof. Dr. med. Hans-Jörg	3.10	-
Perl, Prof. Dr. med. Mario	-	2.4, 3.2
Pfitzenmaier, Prof. Dr. med. Jesco	1.8, 2.8, 3.6	-
Plas, Eugen	1.8, 2.8, 3.6	-
Pohlemann, Prof. Dr. med. Tim	2.7	2.7, 2.17
Probst, PD Dr. med. Christian	-	1.7, 2.10, 3.10
Radtke, Dr. med. Jan Philipp	-	1.8, 2.8, 3.6
Rammelt, PD Dr. med. Stefan	2.12, 3.11	2.12, 3.11
Raum, Dr. med. Marcus	1.3, 1.4	1.3
Regel, Prof. Dr. med. Gerd	2.10	-
Rennekampff, Prof. Dr. med. Oliver	-	3.14
Reske, Dr. med. Alexander	2.15	-
Reske, Dr. med. Andreas	2.15	-
Rickels, Prof. Dr. med. Eckhard	1.5, 2.6, 3.5	1.5, 2.6, 3.5
Rixen, Prof. Dr. med. Dieter	3.1, 3.10	3.1, 3.10
Ruchholtz, Prof. Dr. med. Steffen	2.2	-
Ruppert, Dr. med. Matthias	-	1.9
Santucci, Richard A.	1.8, 2.8, 3.6	-
Sauerland, PD Dr. med. Stefan	1.4, 1.8, 2.8, 2.15, 3.6, 3.10	-
Schächinger, Dr. med. Ulrich	1.4	-
Schädel-Höpfner, Prof. Dr. med. Michael	2.11, 3.9	2.11, 3.9
Schäfer, Prof. Dr. med. Jürgen	-	2.18
Schiffmann, Dr. med. Bodo	2.14, 3.13	-
Schiffmann, Mechthild	2.14, 3.13	-
Schildhauer, Prof. Dr. med. Thomas	1.4	-
Schmelzeisen, Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Rainer	2.13, 3.12	-
Schönberg, Dr. med. Gita	-	1.8, 2.8, 3.6
Schöneberg, Dr. med. Carsten	-	2.18
Schreiter, Dr. med. Dierk	1.9, 2.15	-
Schulz-Drost, PD Dr. med. Stefan	-	1.4, 2.4, 3.2

Autoren/Koautoren	Erstversion 2011	Aktualisierung 2016
Schwab, Prof. Dr. med. Robert	-	1.4, 2.4, 2.5 , 2.17, 3.2, 3.3, 3.4
Schweigkofler, Dr. med. Uwe	-	1.9, 2.7, 2.8
Schwerdtfeger, PD Dr. med. Karsten	1.5, 2.6, 3.5	1.5
Seekamp, Prof. Dr. med. Andreas	1.4, 2.7	-
Seifert, Prof. Dr. med. Julia	3.3, 3.4	-
Seitz, Dr. med. Daniel	3.2	-
Serafetinides, Efraim	1.8, 2.8, 3.6	-
Siebert, Prof. Dr. med. Hartmut	2.11, 3.9	-
Siemers, PD Dr. med. Frank	-	3.9, 3.14
Simanski, PD Dr. med. Christian	3.10	-
Spering, Dr. med. Christopher	-	2.2, 2.3
Stengel, Prof. Dr. med. Dirk	3.3, 3.4	3.3, 3.4
Stolpe, Dr. med. Erwin	1.4	-
Strasser, Prof. Dr. med. Erwin	-	2.16
Sturm, Prof. Dr. med. Johannes	1.4	-
Stürmer, Prof. Dr. med. Klaus Michael	2.2	-
Swoboda, Prof. Dr. med. Lothar	3.2	-
Täger, Prof. Dr. med. Georg	2.10	-
Tjardes, Dr. med. Thorsten	3.10	-
Trentzsch, Dr. med. Heiko	-	1.1 , 1.2, 1.4, 2.15
Türkeri, Levent	1.8, 2.8, 3.6	-
Voggenreiter, Prof. Dr. med. Gregor	2.4	-
Vogl, Prof. Dr. med. Thomas	2.17	-
Wafaisade, PD Dr. med. Arasch	-	2.16
Wagner, Dr. med. Frithjof	-	1.5, 2.6, 3.5
Walcher, PD Dr. med. Felix	1.4	-
Waldfahrer, Dr. med. Frank	2.14, 3.13	2.14, 3.13
Waydhas, Prof. Dr. med. Christian	1.1, 1.2, 1.4	1.1, 1.2, 1.4
Weinlich, Dr. med. Michael	1.4	-
Wessel, Prof. Dr. med. Lucas	-	2.5, 2.17, 2.18, 3.4
Wirth, PD Dr. Dr. rer. biol. med. Stefan	-	2.17, 2.18
Wölfl, Dr. med. Christoph Georg	1.4	1.9
Woltmann, Prof. Dr. med. Alexander	2.9, 3.7	2.9, 3.7
Wurmb, Prof. Dr. med. Thomas	-	1.2, 1.10, 2.6, 2.18, 3.5
Yücel, Dr. med. Nedim	3.10	-
Zimmermann, Prof. Dr. med. Gerald	1.4	-
Zwipp, Prof. Dr. med. Hans	1.9, 2.12, 3.11	-

*Die fett markierten Kapitel wurden für die Aktualisierung vom entsprechenden Autor hauptverantwortlich koordiniert.

Patienten/Bürgerbeteiligung

Um die Perspektive von Patienten in der S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung abbilden zu können, sollten Patientenvertreter in den Aktualisierungsprozess einbezogen werden. Da es sich beim Polytrauma nicht um eine klar definierte, akute Erkrankung handelt, gibt es hierzu in Deutschland noch keine Patientenorganisationen. Die Bundesarbeitsgemeinschaft der PatientInnenstellen und Initiativen (BAGP) und die Deutsche Arbeitsgemeinschaft Selbsthilfegruppen e.V. (DAG-SHG) konnten nicht für die Aktualisierung gewonnen werden. Daher blieben intensive Versuche, Patientenvertreter direkt in die Entwicklung der Leitlinie einzubeziehen, bislang ohne Erfolg.

Methodische Begleitung

Bei der Aktualisierung wurde die Leitlinie durch Dr. Käthe Gooßen, Institut für Forschung in der Operativen Medizin (IFOM) methodisch begleitet.

Der interdisziplinäre Konsensusprozess wurde neutral moderiert durch Dr. med. Monika Nothacker (stellvertretende Leiterin, AWMF-Institut für Medizinisches Wissensmanagement) als Vertreterin der Ständigen Kommission Leitlinien der AWMF.

Methodik

Die Methodik zur Erstellung dieser Leitlinie richtet sich nach dem AWMF-Regelwerk zur Leitlinienentwicklung:

Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF)-Ständige Kommission Leitlinien. AWMF-Regelwerk „Leitlinien“, 2. Ausgabe 2020. Verfügbar unter <http://www.awmf.org/leitlinien/awmf-regelwerk.html>.

Die Leitlinienmethodik wird im Leitlinienreport zu dieser Leitlinie ausführlich beschrieben, siehe [Weitere Dokumente zur Leitlinie](#).

Abkürzungsverzeichnis

AAOS	American Academy of Orthopaedic Surgeons
AGREE II	Appraisal of Guidelines for Research & Evaluation II
AIS	Abbreviated Injury Scale
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
BTF	Brain Trauma Foundation
cCT	craniale Computertomographie
CCT	Controlled clinical trial: kontrollierte klinische Studie
CI	Confidence interval: Konfidenzintervall
CPR	Kardiopulmonale Reanimation
ECRI	Emergency Care Research Institute
ETC	European-Trauma-Course: Aus-, Fort- und Weiterbildung in der Notfallmedizin
FAST/eFAST	Focussed Assessment with Sonography for Trauma: Erkennen freier Flüssigkeiten in Peritoneal-, Perikard- und Pleurahöhle / Extended FAST: unter Einbeziehung des Thorax
FPS	First Pass Success / Intubationserfolgs im ersten Versuch
GCS	Glasgow coma scale
GIN	Guidelines international network
GoR	Grade of recommendation: Empfehlungsgrad
GOS/GOS-E	Glasgow Outcome Scale / Glasgow outcome Scale extended
GPP	Good (clinical) practice point: Expertenkonsens
ICP	Intra cranial pressure / Intercranialdruck
IF	Journal Citation Reports Impact Factor 2019
IFOM	Institut für Forschung in der Operativen Medizin der Universität Witten/Herdecke
ISS	Injury severity score
LoE	Level of Evidence: Evidenzlevel
MANV	Massenanfall von Verletzten
MAP	Mittlerer arterieller Druck: Mittelwert der Blutdruckkurve über die Zeit, Parameter für die Organdurchblutung
MeSH	Medical Subject Headings
METRC	Major Extremity Trauma and Rehabilitation Consortium
NICE	National Institute for Health and Care Excellence
NRS	Numeric Rating Scala
PHTLS	Pre Hospital Trauma Life Support: Konzept zur präklinischen Versorgung schwerverletzter Patienten
PICO	Population, Intervention, Comparison, Outcome: Population, Intervention, Kontrolle, Endpunkt
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
RCT	Randomised controlled trial: randomisierte, kontrollierte Studie
RISC	Revised Injury Severity Classification
RTS	Revised trauma score
SBP / RR _{sys}	Systolischer Blutdruck
SD	Standard deviation
SpO ₂	Sauerstoffsättigung
SR	Systematic Review: systematische Übersichtsarbeit
STB	Stop the Bleeding
TCCC	Tactical Combat Casualty Care
TRISS	Trauma and Injury Severity Score
TxA	Tranexamsäure
VL / DL	Videolaryngoskopie / direkte Laryngoskopie

Vorwort

Insgesamt gibt es in Deutschland jedes Jahr schätzungsweise fast 10 Millionen Unfallverletzte, wovon der größte Teil auf den Haushalts- und Freizeitbereich fallen. Daneben gehören schwere Traumata zu den häufigsten Todesursachen bei unter 45-Jährigen und werden in erster Linie durch Verkehrsunfälle oder Stürze verursacht. Die Versorgung dieser Patienten ist aufgrund der Komplexität der Verletzungen, der Vorhaltung der ständigen Versorgungsbereitschaft über 24 Stunden an 365 Tagen im Jahr und der Notwendigkeit des schnellen, sorgfältigen Handelns in kürzest möglicher Zeit unter Einbindung verschiedener, dem jeweiligen Fall entsprechenden Fachdisziplinen eine enorme medizinische, logistische und sozioökonomische Herausforderung. Nach gegenwärtigem Verständnis kommt der initialen Versorgung prähospital wie auch innerklinisch eine zentrale Bedeutung im Hinblick auf das Überleben der Patienten und der Wiederherstellung der physischen Funktionalität zu. Die vorliegende S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung soll mit ihren insgesamt 332 Schlüsselempfehlungen zur prähospitalen Erstversorgung (98 Empfehlungen), zur Schockraumversorgung (139 Empfehlungen) und zur 1. operativen Phase (95 Empfehlungen) helfen, dieser Herausforderung gerecht zu werden. Neben Aussagen zur Notwendigkeit von (kritischen) Interventionen, Therapien, Versorgungsstrategien und Versorgungsempfehlungen im Rahmen der ersten operativen Phase, finden sich Empfehlungen zur notwendigen Behandlungseinrichtung hinsichtlich Ausstattung, Personalressourcen und Qualifikationen wie auch für etwaige andere Strukturvoraussetzungen. Es konnten für diese Aktualisierung 26 Fachgesellschaften und Berufsverbände gewonnen werden. Dabei hervorzuheben ist, dass die interprofessionelle Bearbeitung der verschiedenen Themen gestärkt werden konnte.

Die formulierten Schlüsselempfehlungen sind auf die Versorgungsstrukturen in Deutschland angepasst. Festzuhalten bleibt, dass empfohlene Maßnahmen auch beherrscht werden und die geltenden Regularien, Vorgaben und gesetzlichen Grundlagen eingehalten werden müssen. So ist es unumgänglich, dass einzelne Maßnahmen Zentren vorbehalten sind, da diese an eine spezielle fachliche Expertise wie auch strukturelle Voraussetzungen gebunden sind.

Weiterhin bleibt zu bemerken, dass eine ständige Reevaluation des Gesamtzustandes des

schwerverletzten Patienten unentbehrlich ist, da Empfehlungen zu Versorgungsstrategien unmittelbar von diesem abhängen. Diese Tatsache kann nicht genug betont werden, da es sich bei dem in dieser Leitlinie adressierten um ein hochkomplexes Patientengut handelt, das insbesondere in der initialen Behandlung einen hochdynamischen und anspruchsvollen Verlauf aufweisen kann.

Wir hoffen, dass die vorliegende Leitlinie allen Behandlern (ärztlich wie nichtärztlich) Sicherheit bei der Behandlung von Schwerverletzten, insbesondere im Hinblick auf eine notwendige operative und konservative Versorgung wie auch hinsichtlich der Reduktion von Komplikationen gibt.

1 Prähospitale Phase

1.1 Stop the Bleed (STB) – Prähospital

H. Trentzsch*, K. Gooßen#, B. Prediger#, U. Schweigkofler, P. Hilbert-Carius, H. Hanken, D. Gumbel, B. Hossfeld, H. Lier, D. Hinck, A. Suda, G. Achatz, D. Bieler

Einleitung

Ungestoppter Blutverlust führt innerhalb der ersten Stunden nach schwerem Unfalltrauma zum Tod und ist nach schwerem Schädel-Hirn-Trauma die zweithäufigste Todesursache in der Frühphase bei Schwerverletzung [1-5]. In ca. 30% aller Fälle ist Verbluten die Todesursache beim Schwerverletzten. Unerkannter oder unzureichend gestoppter Blutverlust erwies sich auch als die häufigste vermeidbare Todesursache [6-8]. Zeitlich ließ sich Tod durch Verbluten der Prähospitalphase zuordnen [6, 9].

In diesem völlig neu erstellten Kapitel wurde der Fokus auf die Effektivität gängiger Maßnahmen zur Blutungskontrolle während der prähospitalen Versorgung des individuellen Patienten nach anatomischen Gesichtspunkten gelegt. In den letzten Jahren wurden auch invasive Verfahren wie prähospitale Thorakotomie mit Okklusion der Aorta [10, 11] und die endovaskuläre Ballonokklusion der Aorta (engl. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta, REBOA, [12, 13]) zur Kontrolle von massiven Blutungen auch im prähospitalen Setting propagiert. Auf die Auseinandersetzung mit diesen Verfahren nebst Kernempfehlungen sei auf die entsprechenden Kapitel dieser Leitlinie im Abschnitt Schockraum und erste operative Phase verwiesen. Es sei auch darauf hingewiesen, dass sich Konzepte zur prähospitalen Blutungskontrolle im Rahmen eines Massenanfalls von Verletzten (MANV)- bzw. lebensbedrohlichen Einsatzlagen (TerrorMANV) von der hier dargestellten individualmedizinischen Versorgung unterscheiden können. Wir verweisen auf das entsprechende Kapitel dieser Leitlinie.

Fallstricke bei der Erforschung von Hämorrhagie und Maßnahmen zur Blutungskontrolle

Bei der Bewertung der Literatur auf dem die Kernempfehlungen dieses Kapitels basieren, müssen eine Reihe von Limitierungen berücksichtigt werden, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt wurden.

Kontrollierte klinische Studien zu schweren Hämorrhagien und blutstillenden Maßnahmen sind aus ethischer Betrachtung nur schwer realisierbar. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass es zur Blutstillung kein Equipose (ein zu diesem Vorgehen gleichwertiges medizinisches Alternativverfahren) gibt. Ein Verzicht auf jede Intervention als Kontrollgruppe ist weder Patienten noch Behandlern zuzumuten noch zu befürworten.

Es lassen sich drei wesentliche Aspekte identifizieren, die Studienergebnisse verzerren können:

A) Klinische Heterogenität

Die meisten der Studien, die im Rahmen der Literaturrecherche gefunden wurden, sind retrospektiver Art. Oft sind es Auswertungen von Registerdaten. Oft sind die Interventionen nicht nach einem prospektiv festgelegten Protokoll erfolgt, sondern nach Ermessen der Behandler. Die genaue Durchführung wurde oft nicht exakt beschrieben. Es besteht daher oftmals Unsicherheit, ob die Maßnahme immer gleich und technisch korrekt durchgeführt wurde. Der Wert solcher Studien ist gering und es überrascht nicht, wenn sie widersprüchliche Ergebnisse berichten.

Nach den Erfahrungen der Expertengruppe aber auch in der Literatur finden sich oft Hinweise darauf, dass Maßnahmen nicht korrekt durchgeführt wurden. Damit ist die Effektivität nicht immer gegeben oder der Effekt nicht so gut, wie erwartet. Maßnahmen werden selbst von trainierten Teams in der Praxis oft nicht ausreichend beherrscht! In einer Studie zur prähospitalen Anwendung von Beckengurten mit trainierten Anwendern lagen nur 80% der Beckengurte korrekt [14]. Tourniquets zeigen unterschiedliche Erfolgsraten in Abhängigkeit vom Design [15-19]. Die Analyse von Therapieversagern zeigt, dass oftmals das Tourniquet vor dem Knebeln nicht eng genug angelegt wurde und damit die Umdrehungen des Knebels ineffektiv waren [19-21].

B) Selektions-Bias

Die meisten Arbeiten schauen auf Fälle, die das Krankenhaus lebend erreichen. Verletzungen, die von der Intervention profitiert hätten, diese aber nicht erhielten, haben die Klinik u.U. nie erreicht, weil sie vorher verblutet sind. Damit besteht das Risiko, dass nur Fälle eingeschlossen wurden, deren Risiko für das Verbluten geringer war als das der prähospital verstorbenen Fälle. Wenn in solchen Studien dann kein Effekt messbar wird liegt das nicht daran, dass die Maßnahme wirkungslos war, sondern dass die eingeschlossenen Patienten von der Intervention aufgrund zu geringer Schwere oder gar fehlender Indikation nicht profitieren konnten.

C) Relevanz und Vergleichbarkeit

Blutungen in der klinischen Realität sehr heterogen, sowohl was die Menge des Blutverlustes angeht, die Art des blutenden Gefäßes (arteriell, venös, diffus, spritzend) oder individuelle Faktoren wie z.B. der Einfluss einer medikamentösen Antikoagulation auf die Gerinnungsfähigkeit des Blutes.

Die Menge des Blutverlustes ist vereinfacht gesprochen abhängig von der Größe des „Lochs“ im Gefäß, dem hydrostatischen Druck und der Gerinnungsfähigkeit des Blutes [22]. Diese Stellgrößen sind in klinischen Studien nicht kontrollierbar. Auch das korrekte Abschätzen des äußeren Blutverlustes stellt eine Herausforderung für Rettungsdienstfachpersonal und Notärzte dar [23]. So muss man postulieren, dass klinische Studien, die nicht sehr exakt definieren, welche Blutungen sie genau adressieren wollen u.U. sehr heterogene Studienpopulationen mit sehr unterschiedlichen Verletzungen betrachten. Gleichwohl mag die Wirksamkeit blutstillender Maßnahmen sehr von Art und Schwere der Blutung abhängen. Manuelle Kompression auf einer stammnahen Arterie wird geringere Erfolgchancen haben als manuelle Kompression auf einer rein venösen Blutung an den Akren.

Experimentelle Modelle, die neben der unkontrollierten Blutung aus einem Gefäß auch die Störung der Gerinnungsfunktion mit Hypovolämie abbilden existieren, spiegeln aber die Realität der massiven Blutung oft nur unzureichend bis hin zur klinischen Absurdität wieder [22]. Außerdem haben experimentelle Modelle einen sehr geringen Evidenzgrad mit dem sich kein S3-Niveau erreichen lässt. Sie sind in dieser Betrachtung ausgeschlossen.

Viele Studien zur Blutungskontrolle wurden im militärischen Umfeld durchgeführt. Oft sind diese mit Studien aus zivilen Rettungssystemen nicht vergleichbar; weder in Bezug auf die Art der Verletzungen noch in Bezug auf den zeitlichen Verlauf [24]. Ausbildung, medizinisches Wissen und verfügbares Material unterscheiden sich. So sind z.B. die Endpunkte Nervenschäden oder Amputationsraten nach Tourniquet-Einsatz im militärischen Setting schwer auf zivile Verhältnisse übertragbar, weil sich Anwendungsdauer - allein die Rettung aus der Gefechtszone kann bedeutend länger dauern als die gesamte Prähospitalzeit im zivilen Rettungsdienst - und Radikalität der Anwendung - möglichst proximale Anlage beim Militär und möglichst distale Anlage im zivilen Bereich - unterscheiden. So entschieden die Experten, Evidenz aus dem militärischen Bereich für die Formulierung der Kernempfehlungen zum Tourniquet auszuschließen.

Allgemeine Sinnhaftigkeit der Blutungskontrolle – Rationale zum Handeln!

1.1.1	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Aktive Blutungen sollen, soweit sie im prähospitalen Setting einer Blutstillung zugänglich sind, immer gestoppt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Blutverlust führt nicht nur zum Volumenmangelschock, der per se eine akute Vitalbedrohung darstellt, sondern aktiviert auch die inflammatorische Antwort und die Gerinnungskaskade. Dies führt u.a. zum Verbrauch von Gerinnungsfaktoren und ggf. zur Hyperfibrinolyse. Protrahierter Blutverlust und hämorrhagischer Schock sind wichtige Faktoren für die Entstehung der akuten, traumainduzierten Koagulopathie. Schock wird definiert als unzureichende Gewebeoxygenierung in Folge von Hypoperfusion und verminderter Sauerstofftransportkapazität. Dies führt zur Reduktion des aeroben Stoffwechsels, einer vermehrten Produktion von Laktat und einem gesteigerten Verbrauch von Pufferbasen. Zusammengenommen unterhält der hämorrhagische Schock die Komponenten der sog. tödlichen Trias aus (Laktat)-Azidose, Koagulopathie und Hypothermie. Die Prozesse sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben [25-32]. Alle diese Faktoren sind assoziiert mit einer erhöhten Mortalität und Morbidität durch Organdysfunktion und Multiorganversagen.

Verbluten und hämorrhagischer Schock sind dynamische Ereignisse. Je länger die Blutung unkontrolliert persistiert, desto höher ist die Letalität. Das zeigt sich z.B. bei intraabdomineller Blutungsverletzung, bei der in den ersten 90 Minuten die Letalität alle 3 Minuten um ca. 1% zunimmt [33]. Es scheint daher sinnvoll, Blutverluste so früh wie möglich zu stoppen.

Der hohen Stellenwert der unverzüglichen Blutstillung bei katastrophalen äußeren Blutungen fand zuerst im militärischen Umfeld Niederschlag, die nach Schuss- und Sprengverletzungen an den Extremitäten als häufigste vermeidbare Todesursache erkannt wurden und daher eine andere Priorisierung der Behandlung (<C>ABC) nahe legten [34]. Inzwischen findet man auch im zivilen Rettungsdienst Empfehlungen zur vorangestellten Kontrolle katastrophaler bzw. exsanguinierender Blutungen (cABCDE bzw. xABCDE [31, 35]). Diese Art Blutungen stammen typischerweise von Arterien der Extremitäten, können aber z.B. auch an der Kopfhaut oder junktional (an den Übergangszonen von Körperstamm zum Hals und den Extremitäten) auftreten [36].

Alle anderen Blutungen werden bei der Evaluation der Behandlungspriorität C (Circulation) im xABCDE-Schema adressiert. Unterschieden werden externe Blutungen und innere bzw. sog. okkulte Blutungen. Externe Blutungen sind meistens leicht zu erkennen. Es ist aber wichtig zu betonen, dass externe Blutungen durch unzureichende Exposition (Entfernen der Kleidung, Blick unter Decken etc.) verborgen bleiben können.

Deutlich schwieriger zu erkennen sind okkulte Blutungen, die nach innen bzw. in den Körperhöhlen stattfinden. Die vier relevanten Blutungsräume sind Thorax, Abdomen, Becken/Retroperitoneum und entlang der langen proximalen Röhrenknochen, von denen vor allem das Femur zu nennen ist [36, 37]. Blutungen in den Körperhöhlen sind in der prähospitalen Phase nicht ohne weiteres einsehbar und bleiben Interventionen oft unzugänglich!

Weniger bekannt sind okkulte Blutungen im Zusammenhang mit geschlossenen Weichteilverletzungen (nicht-kavitäre Blutungen) wie z.B. Abscherung der Haut und Subkutis von der Faszie (sog. Morel-Lavallée-Läsion z.B. im Bereich des Beckens) wodurch sich große Hohlräume bilden, die sich mit großen Blutmengen füllen können; schwere Einblutungen in die weibliche Brust nach stumpfem Thorax-

Trauma, Abriss der arteriellen Gefäße der sog. Corona Mortis im Zusammenhang mit einfachen Sitzbein/Schambeinastfrakturen nach nieder-energetischen Verletzungen insbesondere bei älteren Patienten, Einblutungen in die Rektusscheide nach stumpfem Abdominaltrauma sowie schwere Blutungen aus der Arteria circumflexa ilium profunda nach schwerem Trauma der Inguinalregion bzw. der lateralen Abdominalregion [38].

Hinzu kommen Patienten mit Einklemmung, bei denen der Ort der Blutung evtl. nicht sofort erreichbar und ggf. nicht einmal einsehbar ist.

Gezielte Interventionen außerhalb des OP sind bei okkulten Blutungen in der prähospitalen Phase der Versorgung im Allgemeinen kaum realisierbar. Diese Patienten profitieren am meisten von einem schnellen Transport in eine Klinik mit geeigneten chirurgischen Versorgungskapazitäten.

Es fanden sich keine vergleichenden Studien, die diesen Sachverhalt und den daraus resultierenden Handlungsbedarf für prähospitalen Interventionen zur Blutungskontrolle beschreiben und die die Einschlusskriterien dieser Leitlinie erfüllen. Nachdem die Sinnhaftigkeit der Blutungskontrolle in der Prähospitalphase aus klinischer Sicht alternativlos ist, haben die Experten die Empfehlung, dass aktive Blutungen, soweit sie im prähospitalen Setting einer Blutstillung zugänglich sind, immer gestoppt werden sollen mit dem Empfehlungsgrad GPP versehen.

Die European Guideline on Management of Major Bleeding and Coagulopathy following Trauma empfiehlt, dass die Zeit zwischen Verletzung und Blutstillung so kurz wie möglich sein sollte. In der Begründung heißt es, dass dies ein anerkannter Grundsatz der Traumaversorgung sei, obwohl hochwertige Evidenz aus RCTs fehlt. Weiter wird in der Leitlinie empfohlen, dass bei Patienten mit einer offensichtlichen Blutungsquelle oder bei Patienten mit hämorrhagischem Schock in extremis und einer vermuteten Blutungsquelle, eine sofortige Blutungskontrolle durchzuführen ist. Auch hierfür konnte keine hochwertige Evidenz gefunden werden. Dennoch werden beide Kernaussagen dort mit dem Empfehlungsgrad 1a bzw. 1c belegt [39].

Becken

1.1.2	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Das Becken soll während der Prähospitalphase klinisch untersucht werden.	
	Konsensstärke: 100%	

1.1.3	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Es sollte im Rahmen der klinischen Untersuchung auf Spontanschmerzen, Druckschmerzen bei vorsichtiger Palpation sowie sichtbare äußere Verletzungen als indirekte Hinweise auf eine Beckenringverletzung geachtet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[40] Schweigkofler 2018: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Die meisten Beckenringverletzungen sind unkompliziert und daher einfach zu behandeln [41]. Komplexe Beckentraumata sind definiert als Beckenfrakturen, die durch lokale pelvine Begleitverletzungen an Gefäßen, Nerven, Weichteilen und inneren Organen des kleinen Beckens

kompliziert sind [42]. Dabei handelt es sich um potentiell lebensbedrohliche Verletzungen des Beckens mit einer Letalitätsrate von bis zu 20% [43].

Je nach Fraktur-Typ und Ausmaß der Gefäßverletzungen können hochgradig lebensbedrohliche, innere Blutungen resultieren. Als mechanisch instabil gelten Becken-Frakturen durch antero-posteriore Kompression (sog. open-book-Verletzung, B1 nach Tile), laterale Kompressionsfrakturen (laterale compression fracture, B2/B3 Frakturen nach Tile) und Frakturen mit vertikaler Abscherung (vertical shear fracture, Typ C nach Tile). Obwohl für die verschiedenen Fraktur-Typen unterschiedliche Blutungshäufigkeiten beschrieben wurden [44, 45] hat nicht jede dieser Frakturen immer auch eine relevante Blutungskomponente. Die Klassifikation alleine reicht folglich nicht aus, um Patienten mit schwerer Blutung zu identifizieren.

Hämodynamisch und mechanisch instabile Beckenringverletzungen stellen eine eigene Untergruppe dar, die durch exsanguinierende Blutungen innerhalb der ersten 24 Stunden der Verlauf komplizieren und daher ein anspruchsvolleres primäres Versorgungskonzept benötigen [41].

Befunde der körperlichen Untersuchung wie Spontanschmerzen, Druckschmerzen bei vorsichtiger Palpation sowie sichtbare äußere Verletzungen wie z.B. Hämatome, Wunden, sichtbare Deformität, Beinlängendifferenz, Rotationsfehler des Beins, druckschmerzhafte Symphyse mit oder ohne eine tastbare Lücke, Abschürfungen, Hämatome, offene Frakturen, perineale Ekchymosen und Blutungen aus Harnröhre, Vagina oder Anus können indirekte Hinweise auf eine Beckenringverletzung sein. Ein systematisches Review zum Erkennen von Beckenfrakturen bei wachen und beurteilbaren Patienten zeigt, dass die körperliche Untersuchung eine bessere Treffsicherheit hat als konventionelle Röntgenaufnahmen [46]. Verletzungen des Beckenrings blieben in der Prähospitalphase dennoch oft unerkant [40, 47, 48].

Ein weiterer Teil der körperlichen Untersuchung ist die mechanische Stabilitätstestung. Dabei wird zunächst versucht das Becken von lateral zu komprimieren. Ist hierbei eine Instabilität tastbar wird die Diagnose gestellt und das Manöver abgebrochen. Tastet sich der Beckenring in dieser Kompressionsrichtung stabil kann in einem zweiten Schritt versucht werden, das Becken durch Kompression von vorne auf die Spina iliaca anterior superior beidseitig auseinander bzw. nach dorsal zu drücken. Das Manöver ist umstritten. Die Sensitivität der Untersuchung ist gering und wird mit 26.5% bis 59% angegeben [40, 49, 50]. Gleichzeitig wird dadurch der verletzte Bereich mechanisch belastet. Daher wird oft davon abgeraten die mechanische Stabilitätsprüfung unnötig (beim Vorliegen anderer klinischer Hinweise) oder gar repetitiv durchzuführen. Studienergebnisse, die zeigen, dass durch die mechanische Stabilitätstestung eine bereits zum Stillstand gekommen Blutung wieder an Intensität gewinnt oder die zeigen, dass dies Auswirkungen auf das Überleben der Patienten hat, sind der Autorengruppe allerdings nicht bekannt.

Für das Erkennen von Patienten mit erhöhtem Blutungsrisiko wiederum scheint das Manöver wichtig. Wie eine Studie von Pehle et al. zeigte, weist nicht die radiologische Klassifikation auf Blutungskomplikationen hin, sondern die tastbare Instabilität. Diese Patienten zeigten erhöhte Transfusions-, Notoperations- und Letalitätsraten [49].

Angesichts der Gefährlichkeit von komplexen Beckenfrakturen kann man auch postulieren, dass bei hinreichendem klinischen Verdacht und gleichzeitiger hämodynamischer Instabilität auch ohne Hinweis auf ein tastinstabiles Becken die Anlage eines Beckengurtes eine folgerichtige Maßnahme darstellt.

Die Unfallkinematik ist für die Verdachtsdiagnose ebenso wichtig wie indirekte Zeichen in der klinischen Untersuchung. Ein geeigneter Unfallhergang (hochenergetische Straßenverkehrs- oder Motorradunfälle, Sturz aus über 3 Meter Höhe) kombiniert mit zwei indirekten klinischen Anzeichen

führte zu einer 50%igen Wahrscheinlichkeit für eine instabile Beckenfraktur [40]. Bei entsprechender Kinematik und Untersuchungsbefunden ist es also nicht unbedingt erforderlich auch noch eine mechanische Stabilitätstestung durchzuführen, um die Verdachtsdiagnose einer Beckenringverletzung zu stellen.

1.1.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Patienten mit klinischen Anhaltspunkten für eine Beckenringverletzung oder instabiler Beckenringverletzung und hämodynamischer Instabilität sollten einen Beckengurt erhalten.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Wirkungsweise von Beckengurten wurde von Knops et al. nachgewiesen [51]. Es besteht die Vorstellung, dass durch die Verkleinerung der Blutungsräume im Becken und Retroperitoneum eine Blutstillung durch Selbsttamponade erreicht wird.

Es ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Beckenfrakturen relevant bluten [49, 52]. Wenn sie bluten, scheint es sinnvoll, so früh wie möglich Gegenmaßnahmen einzuleiten. Wobei nicht alle Blutungen mit dem Konzept einer externen mechanischen Stabilisierung des Beckenrings behandelbar sind [41].

Nach der klinischen Erfahrung der Experten in der Autorengruppe kann die Notfallstabilisierung des frakturierten Beckens schlagartig zur Kontrolle der hämodynamischen Instabilität führen. Deshalb soll bei Patienten, die in der klinischen Untersuchung einen klaren Hinweis auf eine mechanisch instabile Beckenringverletzung zeigen und die hämodynamisch instabil sind in der prähospitalen Versorgungsphase eine nicht-invasive externe Stabilisierung erfolgen. Für dieses Vorgehen findet sich keine höhergradige Evidenz und es ist nicht zu erwarten, dass es hierzu jemals vergleichende Studien geben wird. Man muss davon ausgehen, dass die Zahl der komplexen Beckenringverletzungen mit (mechanisch) instabilen Beckenring, die tatsächlich relevant bluten und die von der Maßnahme der nicht invasiven Beckenstabilisierung profitieren, nur einen kleinen Anteil an allen knöchernen Beckenverletzungen haben. Gänsslen et al. kommen in einer Literaturübersicht zu dem Ergebnis, dass nur in ca. 1-2% aller Beckenfrakturen eine lebensbedrohliche Hämorrhagie besteht [41]. Der in Einzelfällen erlebte herausragende Nutzen der Maßnahme kann daher vermutlich nur in hochselektierten Subgruppen nachgewiesen werden.

Hinzu kommt, dass insbesondere in der Prähospitalphase die Diagnose der instabilen Beckenringverletzung angesichts der fehlenden Verfügbarkeit geeigneter bildgebenden Verfahren erschwert ist und dass nach gegenwärtiger Evidenzlage die Diagnose allein aufgrund der körperlichen Untersuchungen keine absolute Sicherheit bietet, eine instabile Beckenringverletzung mit hoher diagnostischer Sicherheit zu erkennen bzw. ausschließen zu können [40, 47-50]. So ergibt sich der schwächere Empfehlungsgrad dafür, dass Patienten mit klinischen Anhaltspunkten für eine Beckenringverletzung oder instabiler Beckenringverletzung bei hämodynamischer Instabilität einen Beckengurt erhalten sollten. Es ist sicherlich ratsam, den Beckengurt anzulegen, wenn man glaubt, eine komplexe Beckenringverletzung als Ursache für die hämodynamische Instabilität erkannt zu haben. Für die Annahme, dass man durch frühzeitige Anlage eines Beckengurtes der Ausbildung eines hämorrhagischen Schocks bei Beckenringverletzung vorbeugen kann, lassen sich in klinischen Studien keine Belege finden.

Bei der Bewertung diverser klinischer Studien zur prähospitalen und frühen klinischen Anwendung von Beckengurten könnte man sogar den Eindruck gewinnen, dass Beckengurte nur eine geringe oder keine Wirksamkeit haben [53-56]. Alle diese Arbeiten konnten keinen blutsparenden Effekt oder die Reduktion der Letalität durch die prähospitalen Anlage eines Beckengurtes finden. Hierbei ist zu

berücksichtigen, dass nicht bei allen Patienten eine isolierte Beckenringfraktur (und damit eventuell eine andere, durch den Beckengurt nicht-therapierbare (Haupt-)Blutungsquelle) vorlag. Die Studienergebnisse könnten durch ungenaue Definition der Indikation, unzureichende klinische Evaluation, differierende Verletzungsschwere der verglichenen Gruppen sowie durch eine inadäquate oder fehlerhafte Handhabung der Beckengurte verzerrt sein. Patienten mit Blutungen, die durch mechanische Stabilisierung des Beckenrings nicht kontrolliert werden können, lassen sich mit einem Beckengurt folglich nicht retten. Ebenso wenig werden Patienten mit Beckenringverletzungen, die nicht aus dem Becken bluten, durch den Gurt kein verbessertes Outcomes haben [41].

Ähnlich verhält es sich mit Bedenken bzw. Kontraindikationen zur Anlage des Beckengurts. Die in der Literatur berichteten Einzelfälle können aus Sicht der Autorengruppe keine klare Kausalität zwischen der Anlage eines Beckengurts und dem verschlechterten klinischen Verlauf nachweisen. Die Experten sehen keine Kontraindikationen für die Verwendung eines Beckengurtes in der Prähospitalphase. Es sollte jedoch auf die korrekte Indikationsstellung und Durchführung der Maßnahme geachtet werden. Von besonderer Bedeutung für den Behandlungserfolg ist vor Anlage des Gurtes die Reposition des Beckenrings mit leichter Einwärtsrotation der Beine, dessen korrekte Lage auf Höhe der Trochantären und ggf. dem vorsichtigen Ausgleichen einer Beinlängendifferenz [52].

Im Vergleich mit der Beckenzwinge, einem invasiven Verfahren, dass der innerklinischen Anwendung vorbehalten ist, zeigten Beckengurte keine Nachteile und waren sogar etwas schneller in der Handhabung. Kommerzielle Devices sind dem Sheeting mit einem Laken überlegen [57]. Auch wenn kommerzielle Beckengurte heute häufig zur Verfügung stehen, rät die Expertengruppe nicht grundsätzlich von der Anwendung improvisierter Devices ab. Empfehlungen zu spezifischen Devices können anhand der eingeschlossenen Literatur nicht getroffen werden.

Extremitätenverletzungen

1.1.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Aktive Blutungen der Extremitäten sollen durch folgendes Stufenschema behandelt werden: 4) Manuelle Kompression 5) Kompressionsverband, wenn möglich in Kombination mit einem Hämostyptikum 6) Tourniquet	
Literatur, Evidenzgrad	[58] Henry 2021: LoE 2b [59] Taghavi 2021: LoE 2b [60] Clasper 2009: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Kompressionsverband

1.1.6	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Wenn andere Möglichkeiten zur Blutungskontrolle bestehen, dann kann die manuelle Kompression, auch wenn sie suffizient ist, zu Gunsten des anderen Verfahrens aufgegeben werden. Repetitive Kontrollen, ob die Blutung zum Stillstand gekommen ist, sollten bei manueller Kompression nicht durchgeführt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

1.1.7	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Kompressionsverbände sollten bei penetrierendem Trauma mit nach außen blutenden Verletzungen am Torso und an den Extremitäten angelegt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[59] Taghavi 2021: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

1.1.8	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Kompressionsverbände sollen in gleicher Weise auf akute Blutungen an Torso und an den Extremitäten nach stumpfem Trauma angewendet werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Auch wenn es keine hochwertige Evidenz zur Anwendung der manuellen Kompression zur Blutungskontrolle gibt, zeigt die Praxis, dass die einfache Regel „Druck stoppt jede Blutung“ uneingeschränkt Gültigkeit besitzt. Daher ist die manuelle Kompression unter Zuhilfenahme von Kompressen oder ähnlichem Verbandmaterial das Mittel der ersten Wahl.

Wenn durch das Kompressionsmanöver die Blutung nach außen so weit abnimmt, dass das Verbandsmaterial nicht durchblutet, dann soll der Anwender den Druck nicht gleich wieder aufgeben und das Verbandsmaterial entfernen, weil es damit zur erneuten Blutung kommen kann. Eine chirurgische Wundversorgung mit Exploration der Wunde und chirurgischer Blutstillung erfolgt in der Klinik. Daher soll der Druck so lange aufrechterhalten werden bis der Patient die Klinik erreicht.

Sollte die Blutstillung ausbleiben, dann wird empfohlen, die Maßnahmen entsprechend dem in der Kernempfehlung gelisteten Stufenschema zu eskalieren:

- Wenn die Blutstillung durch manuelle Kompression nicht gelingt, soll ein Druckverband angelegt werden. Um Kompression auf die Wunde zu bringen, wird ein Druckpolster direkt darüber platziert (z.B. Verbandpäckchen) und unter Zug angewickelt. Bei sog. all-in-one Druckverbänden sind Wundauflage und Druckbügel eingearbeitet. Eine separate Wundauflage und ein separater Druckkörper sind dann nicht nötig. Wenn der Druckverband nicht ausreichend ist, um die Blutung zu stoppen, dann soll der Verband revidiert bzw. der Druck auf die Wunde verbessert werden. Dafür kann z.B. über dem ersten die Anlage eines zweiten Druckverbandes erfolgen. Alternativ kann es effektiver sein, den ersten Verband komplett zu entfernen und einen neuen Verband anzulegen. Nach Anlage von Druckverbänden ist die distale Durchblutung, Motorik und

Sensibilität zu prüfen und im Verlauf zu überwachen.

- Bei weiterer Persistenz der Blutung soll versucht werden, den arteriellen Zustrom proximal der Verletzung zu stoppen. Als letzte Stufe der Eskalation wird im zivilen Umfeld die Anwendung des Tourniquets empfohlen [58-61].

Tourniquet

1.1.9	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Ein Tourniquet soll dann angewendet werden, wenn eine lebensgefährliche Blutung mit anderen Maßnahmen nicht zeitgerecht gestoppt werden kann.	
Literatur, Evidenzgrad	[58] Henry 2021: LoE 2b [59] Taghavi 2021: LoE 2b	
	Konsensstärke: 96%	

1.1.10	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Wenn bei unzugänglichem Blutungsort zur Erstversorgung ein Tourniquet angelegt wurde, sollte, nachdem der Patient gerettet wurde und die Situation es erlaubt, die Fortsetzung der Maßnahme und ein möglicher Verfahrenswechsel kritisch geprüft werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Es gibt kaum Studien, die die Wirksamkeit von Tourniquets im zivilen Umfeld untersucht haben. Henry et al. konnten einen Überlebensvorteil und die Reduktion des Transfusionsbedarfs zeigen; die Amputationsraten im Verlauf nach Tourniquet-Einsatz wurde nicht beeinflusst [58]. Taghavi et al. konnten in ihrer retrospektiven Studie zwar keinen signifikanten Überlebensvorteil zeigen, allerdings ergaben sich aus diesem Vorgehen auch keine Nachteile [59].

Der Einsatz von Tourniquets ist eine sichere, schnelle und effektive Methode zur Kontrolle der Blutung aus einer offenen Extremitätenverletzung und sollte bei Versagen der Erstmaßnahmen durch Druck und Druckverband eingesetzt werden [62]. Wenn die Blutung mit dem Tourniquet suffizient kontrolliert ist, dann sollte der Zeitpunkt der Anlage dokumentiert werden und das Tourniquet bis zur chirurgischen Versorgung belassen werden. Da es unter der weiteren Therapie zu einem Anstieg des mittleren arteriellen Drucks (MAP) kommen kann, müssen Tourniquets immer engmaschig kontrolliert werden. Nur so ist gewährleistet, dass es nicht zu Nachblutungen kommt.

Potentiell geht von Tourniquets ein erhöhtes Risiko für Nerven- und Gefäßschäden aus. Ziel sollte daher stets die Konversion des Tourniquets auf andere blutstillende Maßnahmen sein. Vor allem, wenn sich zeigt, dass die Verletzung mit schonenderen Methoden der Blutstillung suffizient versorgt ist. Insbesondere in Situationen in den die Blutung initial nicht zugänglich war (z.B. bei Einklemmung) und sich später (nach Befreiung des Patienten) als weniger gravierend herausstellt als zunächst angenommen. Nach Einschätzung der Expertengruppe sollte in solchen Fällen immer Verfahrenswechsel angestrebt werden.

Tourniquets können zur Senkung der Mortalität beitragen und zeigen nur geringe Komplikationsraten, wie Nervenlähmung, Kompartmentsyndrom oder einer sekundären Amputation [58, 60]. Der Verlust einer Extremität aufgrund des Einsatzes eines Tourniquets ist eine Rarität [63]. Wie für andere

Notfalltechniken gilt auch beim Tourniquet, dass die Anwendung nicht erstmals im Einsatz erfolgen sollte, sondern vielmehr unter Supervision zu erlernen ist und regelmäßig trainiert werden muss.

Hämostyptika

1.1.11	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei blutenden Stichwunden, in denen der Fremdkörper bereits wieder entfernt wurde und die eine Länge von mind. 3 cm aufweisen, soll eine direkte Wundtamponade mit Chitosan erfolgen	
Literatur, Evidenzgrad	[64] Hatamabadi 2015: LoE 2b↓	
	Konsensstärke: 96%	

1.1.12	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Schuss- und Explosionsverletzungen mit aktiver Blutung sollten Verbände mit Chitosan eingesetzt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[65] Winstanley 2019: LoE 2b	
	Konsensstärke: 96%	

1.1.13	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Zur Unterstützung der Maßnahmen des Stufenschemas können Hämostyptika auf jeder Stufe ergänzend angewendet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[65] Winstanley 2019: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Es liegen bisher nur wenige vergleichende Studien zur Wirksamkeit von Hämostyptika beim schwerverletzten Patienten vor. Die beste Evidenzlage gibt es zur Wirksamkeit von Chitosan. Kabeer et al. zeigten, dass bei blutenden Kopfhautverletzungen Chitosan-Verbände eine deutlich verkürzte Zeit bis zur Blutstillung und einen geringeren Blutverlust im Vergleich zu herkömmlicher Baumwollgaze haben [66]. Hatamabadi et al. zeigten, dass die Verwendung von Chitosan-beschichteter Gaze die Zeit zur Hämostase und den Blutverlust nach Beginn der Behandlung im Vergleich mit Mullverbänden reduziert [64]. Winstanley et al. zeigten in einer Registerstudie an Patienten mit ISS>15 Punkten einen Zusammenhang zwischen der Anwendung von Hämostatika und einem verbesserten Überleben, vor allem bei Patienten mit schwereren Verletzungen, was besonders deutlich bei Patienten ist, bei denen Chitosan verwendet wurde [65].

Arbeiten zur Wirksamkeit anderer Hämostyptika im Rahmen der Schwerverletztenbehandlung fehlen derzeit. Da deren Wirksamkeit somit auch nicht ausgeschlossen werden kann, gilt auch weiterhin die allgemeine Empfehlung, dass hämostatische Verbände additiv eingesetzt werden können.

Folgende Hämostyptika stehen zur Verfügung:

Chitin und Chitosan

Chitin und Chitosan sind Polysaccharide aus der Gruppe der Biopolymere. Die hämostatische Wirkung beruht auf einer induzierten Vasokonstriktion und einer schnellen Bereitstellung von Erythrozyten,

Thrombozyten und Gerinnungsfaktoren. Chitosan verstärkt zudem die Thrombozytenadhäsion und -aggregation am geschädigten Gewebe [67]. Die Darreichung als Pulver oder in wasserlöslichen Beuteln hat sich als nachteilig erwiesen. Die Applikation per Spritzensystem zeigt im Tiermodell mit einem typischen Schusskanal und kompletter Durchtrennung der Vena und Arteria femoralis communis eine 100%ige primäre Blutstillung sowie eine 88%ige Überlebensrate [68]. Chitosan ist auch auf Verbandgaze aufgebracht verfügbar oder in Watte-Form (bei der auf ein Trägermaterial völlig verzichtet wird. Hochwertige Evidenz zur klinischen Anwendung von Chitosan liegt vor [64-66].

Zeolithgruppe

Zeolithe sind mikroporöse, kristalline Aluminosilikate aus vulkanischem Gestein, die als in Säckchen gefülltes Granulat angewendet werden. Die Wirkung beruht auf einem extrem schnellen Flüssigkeitsentzug am Ort der Blutung mit Konzentration von zellulären Blutbestandteilen wie Thrombozyten und Gerinnungsfaktoren. Zusätzlich soll durch die negative Oberflächenladung des Granulates die Gerinnungskaskade beschleunigt werden [69]. Die Anwendung führt zu einer exothermen Reaktion mit erhebliche Temperaturentwicklung (42–140,4 C). Ähnlich verhält sich auch die modifizierte Form [70, 71]. Hautverbrennungen sowie Nerven- und Sehnenverletzungen im Zusammenhang mit der Anwendung sind beschrieben [72]. Die Studienlage bzgl. der Wirksamkeit ist ambivalent. Studien mit guten Ergebnissen [71, 73] stehen solchen mit fehlender Wirksamkeit gegenüber [74-76].

Kaolin

Kaolin ist ein Aluminiumsilikat und wirkt ebenfalls als Aktivator und Beschleuniger der intrinsischen Blutgerinnungskaskade. Auf Vliesstoffen wird es in die Wunde eingebracht. In experimentellen Modellen zeigten sich höhere Überlebensraten und besser Blutstillung im Vergleich zum Standardverband [77-79].

Eine Gesamtbeurteilung des Nutzens von lokalen Hämostyptika gestaltet sich letztlich aber äußerst schwierig. Die hämostatische Wirksamkeit ist bei unterschiedlichen Blutungsmodellen kaum vergleichbar. Die wichtigsten Erkenntnisse aus der wahrlich exzessiven experimentellen Testung lauten:

1. Druck auf die Blutung ist unabhängig vom Hämostyptikum unabdingbar [68]
2. Nicht jedes Produkt ist für jede Blutungsart geeignet [80]

Ernüchternd sind vor allem experimentelle Studien, in denen einfache Verbandgazeln im Vergleich zu Hämostyptika eine vergleichbare Blutstillung erzielten [68, 81, 82]. Die Wirksamkeit könnte folglich vor allem auf das richtige Einlegen (wound packing) der Wundgazeln/Hämostyptikuma und dem applizierten Druck abhängen. Weitere Studien sind für die Bewertung im Rahmen der Schwerverletztenversorgung erforderlich.

Junktionale Blutungen

Die Empfehlungen zur Blutungskontrolle bei Extremitätenverletzung gilt ganz allgemein auch im Hinblick auf junktionale (stammnahe) Blutungsquellen. Sie sind diesen Verfahren aus anatomischen Gründen aber oft nur schwer oder gar nicht zugänglich. Spezielle Ausrüstung (z.B. Geräte um lokale Kompression auszuüben wie pneumatische Kissen oder Stempel) können erforderlich sein, um eine Blutstillung zu ermöglichen. Klinische Evidenz für die Überlegenheit von solchen Devices konnten nicht gefunden werden, daher wurde auf eine eigene Empfehlung verzichtet. Es besteht weiterer Forschungsbedarf.

Blutungskontrolle am Femur

Femurfrakturen sind mit erhöhter Mortalität beim Traumapatienten assoziiert [83, 84]. Oft wird der Blutverlust bei Femurfrakturen, insbesondere bei Patienten nach Hochrasanztrauma, unterschätzt [85]. Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass Traumapatienten mit Femurfrakturen einen erhöhten Transfusionsbedarf aufweisen [86-88]. Da sich bei diesen Patienten ein klinisch relevanter Blutverlust von bis zu 2500ml entwickeln kann, können Femurfrakturen als Ursache für einen hämorrhagischen Schock gesehen werden [85].

Reposition und Schienung von Extremitätenverletzungen dienen im Allgemeinen der Schmerzreduktion, dem Schutz vor Nerven- bzw. Gefäßschäden und der Schonung der Weichteile durch Entlastung des Drucks, der von Frakturteilen oder der Abknickung der anatomischen Achse ausgeht. Es besteht die Vorstellung, dass durch Reposition und Schienung die normale Spannung der Weichteile wiederhergestellt und Blutungsräume verkleinert werden können. Es wurde gezeigt, dass die frühzeitig durchgeführte achsgerechte Schienung von Femurfrakturen mittels Traktionschiene (hier: Thomas-Splint), mit einer geringeren Bluttransfusionsrate sowie einer Reduktion pulmonaler Komplikationen assoziiert war [89]. Die systematische Literaturrecherche für das Kapitel lieferte jedoch keine vergleichenden Studien, die den Einfluss der Blutungskontrolle durch Traktionschienen untersuchte. Daher wurde zu deren Anwendung keine Empfehlung formuliert, auch wenn die Reposition und Ruhigstellung von Frakturen allgemein für sinnvoll erachtet wird. Der Stellenwert von Reposition und Schienung zur Kontrolle schwere Hämorrhagie bedarf weiterer klinischer Forschung.

Blutungen an Kopf und im Gesicht

Kopfschwartenverletzungen

1.1.14	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Kopfschwartenverletzungen mit aktiver Blutung sollten Chitosan-Wundauflagen verwendet werden, weil damit eine schnellere und effektivere Blutungskontrolle erzielt wird.	
Literatur, Evidenzgrad	[90] Kabeer 2019: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 96%	

Die Kopfhaut ist sehr gut durchblutet; entsprechend können Kopfschwartenverletzungen mit einem erheblichen Blutverlust assoziiert sein und damit zur hämodynamischen Instabilität beitragen [91-93]. Zur suffizienten Blutstillung soll auch hier das bereits dargelegte Schema aus manueller Kompression, Druckverband und dem Einsatz von Hämostyptika (Chitosan) angestrebt werden. Durch den Einsatz von Chitosan-Wundauflagen konnten Kabeer et al. eine signifikante Verkürzung der Zeit bis zur Blutstillung bei den genannten Blutungen erreichen, was den Einsatz dieser Wundauflagen sehr sinnvoll erscheinen lässt [66]. Es gibt eine Reihe an weiteren Möglichkeiten zur Blutungskontrolle im Kopf-Hals-Bereich, die hier erwähnt werden sollen, bei denen jedoch die Evidenz noch nicht abschließend beurteilt werden kann:

Mit der iTClamp steht ein Klemmsystem zur Verfügung, welches in ersten Untersuchungen vielversprechende Ergebnisse geliefert hat [92, 94, 95]. Das Device hat im militärischen Umfeld mittlerweile Einzug in entsprechende Empfehlungen zur Tactical Combat-Casualty Care (TCCC) gefunden [95]. Weiter Möglichkeiten zur Blutungskontrolle ergeben sich durch Klammernahtgeräte, Stapler, Klebetechniken usw. [96]. Insgesamt ist die Evidenzlage zur Blutungskontrolle im Kopf-Hals-Bereich jedoch sehr schwach und es zeigt sich hier ein deutlicher Forschungsbedarf.

Epistaxis

1.1.15	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei Blutungen im oberen Mittelgesichts- bzw. Nasenbereich können, alternativ zu posterioren Tamponaden, pneumatische Tamponaden verwendet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[97] García Callejo 2010: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Blutungen im oberen Mittelgesichts- bzw. Nasenbereich können bei Verletzung entsprechender Gefäße (z.B. A. maxillaris) hämodynamisch relevant und bereits am Unfallort bzw. auf dem Transport zwingend versorgungsbedürftig sein. Da die Möglichkeiten einer direkten Kompression arterieller Gefäße im Hals- und Kopfbereich eingeschränkt sind (Arteria facialis am Unterkieferrand bds. oder A. temporalis mit Kompressionsmöglichkeit im Bereich der Schläfe) müssen Blutungen im Nasen- bzw. Mittelgesichtsbereich einer effizienten und zügigen Blutungskontrolle zugeführt werden. Hierfür bieten sich für die Notfallsituation intranasal einzulegende, aufblasbare Tamponaden (sog. pneumatische Tamponaden, die aber z.B. mit Wasser gefüllt werden) oder eine hintere und vordere Tamponade (sog. Bellocq-Tamponade) an. Eine klinische Studie zeigt die Überlegenheit der Bellocq-Tamponaden in Hinblick auf Blutungskontrolle, Transfusionsbedarf und langfristige Komplikationen gegenüber einer pneumatischen Tamponade [98]. Allerdings ist die Anlage zeitaufwendiger und erfordert entsprechende technische Fähigkeiten, während die pneumatische Tamponade sehr einfach anwendbar ist. Die Studie fand in der Notaufnahme und nicht im prähospitalen Umfeld statt. Hier fehlen u.U. Zeit, Material und Fertigkeiten für eine Bellocq-Tamponade. Daher kann die pneumatische Tamponade für die Notfallsituation ebenfalls als ein probates Mittel angesehen werden und sollte - sofern im Notfallteam keine Erfahrung mit dem korrekten Einbringen einer Bellocq-Tamponade besteht - dieser vorgezogen werden.

Auf eine Sondersituation sei hingewiesen: Sollte es nach Einbringen und Aufblasen der pneumatischen Nasentamponade zu einer Verstärkung der Blutung kommen (bedingt durch einen Abriss der Aa. maxillares bei LeFort I Fraktur und Vergrößerung des Bruchspaltes durch die Expansion der pneumatischen Tamponade) so muss diese entfernt werden und entweder der Oberkiefer manuell gegen das Mittelgesicht komprimiert werden, oder eine Bellocq-Tamponade eingebracht werden, um diese Blutung zu kontrollieren.

Literatur

1. Di Saverio S, Gambale G, Coccolini F, Catena F, Giorgini E, Ansaloni L, et al. Changes in the outcomes of severe trauma patients from 15-year experience in a Western European trauma ICU of Emilia Romagna region (1996-2010). A population cross-sectional survey study. *Langenbeck's archives of surgery / Deutsche Gesellschaft für Chirurgie*. 2014;399(1):109-26.
2. Dutton RP, Stansbury LG, Leone S, Kramer E, Hess JR, Scalea TM. Trauma mortality in mature trauma systems: are we doing better? An analysis of trauma mortality patterns, 1997-2008. *J Trauma*. 2010;69(3):620-6.
3. Evans JA, van Wessem KJ, McDougall D, Lee KA, Lyons T, Balogh ZJ. Epidemiology of traumatic deaths: comprehensive population-based assessment. *World J Surg*. 2010;34(1):158-63.
4. Kauvar DS, Lefering R, Wade CE. Impact of hemorrhage on trauma outcome: an overview of epidemiology, clinical presentations, and therapeutic considerations. *J Trauma*. 2006;60(6 Suppl):S3-11.
5. Kauvar DS, Wade CE. The epidemiology and modern management of traumatic hemorrhage: US and international perspectives. *Crit Care*. 2005;9 Suppl 5(Suppl 5):S1-9.
6. Buschmann C, Poloczek S, Giesecke MT, Kleber C. Vermeidbare Todesfälle nach Trauma. *Der Notarzt*. 2013;29(03):91-8.
7. Teixeira PG, Inaba K, Hadjizacharia P, Brown C, Salim A, Rhee P, et al. Preventable or potentially preventable mortality at a mature trauma center. *J Trauma*. 2007;63(6):1338-46; discussion 46-7.
8. Tien HC, Spencer F, Tremblay LN, Rizoli SB, Brenneman FD. Preventable deaths from hemorrhage at a level I Canadian trauma center. *J Trauma*. 2007;62(1):142-6.
9. Marson AC, Grion CM, Ferreira Filho OF, Thomson JC. Preventable deaths in trauma patients associated with non adherence to management guidelines. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2010;22(3):220-8.
10. Coats TJ, Keogh S, Clark H, Neal M. Prehospital resuscitative thoracotomy for cardiac arrest after penetrating trauma: rationale and case series. *J Trauma*. 2001;50(4):670-3.
11. Matsumoto H, Mashiko K, Hara Y, Kutsukata N, Sakamoto Y, Takei K, et al. Role of resuscitative emergency field thoracotomy in the Japanese helicopter emergency medical service system. *Resuscitation*. 2009;80(11):1270-4.
12. Manley JD, Mitchell BJ, DuBose JJ, Rasmussen TE. A Modern Case Series of Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA) in an Out-of-Hospital, Combat Casualty Care Setting. *Journal of special operations medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals*. 2017;17(1):1-8.
13. Sadek S, Lockett DJ, Lendrum RA, Perkins Z, Price J, Davies GE. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in the pre-hospital setting: An additional resuscitation option for uncontrolled catastrophic haemorrhage. *Resuscitation*. 2016;107:135-8.
14. Pierrie SN, Seymour RB, Wally MK, Studnek J, Infinger A, Hsu JR. Pilot randomized trial of pre-hospital advanced therapies for the control of hemorrhage (PATCH) using pelvic binders. *The American journal of emergency medicine*. 2021;42:43-8.
15. Cremonini C, Nee N, Demarest M, Piccinini A, Minneti M, Canamar CP, et al. Evaluation of the efficacy of commercial and noncommercial tourniquets for extremity hemorrhage control in a perfused cadaver model. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2021;90(3):522-6.
16. Ellis J, Morrow MM, Belau A, Sztajnkrzyer LS, Wood JN, Kummer T, et al. The Efficacy of Novel Commercial Tourniquet Designs for Extremity Hemorrhage Control: Implications for Spontaneous Responder Every Day Carry. *Prehosp Disaster Med*. 2020;35(3):276-80.
17. Gibson R, Housler GJ, Rush SC, Aden JK, 3rd, Kragh JF, Jr., Dubick MA. Preliminary Comparison of New and Established Tactical Tourniquets in a Manikin Hemorrhage Model. *Journal of special operations medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals*. 2016;16(1):29-35.
18. Glick C, Furer M, Glassberg C, Sharon R, Ankory M. Comparison of Two Tourniquets on a Mid-Thigh Model: The Israeli Silicone Stretch and Wrap Tourniquet vs. The Combat Application Tourniquet. *Mil Med*. 2018;183(suppl_1):157-61.

19. Katsnelson S, Oppenheimer J, Gerrasi R, Furer A, Wagnert-Avraham L, Eisenkraft A, et al. Assessing the Current Generation of Tourniquets. *Mil Med.* 2020;185(3-4):e377-e82.
20. Kragh JF, Jr., O'Neill ML, Walters TJ, Dubick MA, Baer DG, Wade CE, et al. The military emergency tourniquet program's lessons learned with devices and designs. *Mil Med.* 2011;176(10):1144-52.
21. Nachman D, Benov A, Shovali A, Nirit Y, Nadler R, Avraham Y, et al. Slack Reducing Band Improves Combat Application Tourniquet Pressure Profile and Hemorrhage Control Rate. *Mil Med.* 2017;182(S1):53-8.
22. Hirshberg A, Hoyt DB, Mattox KL. From "leaky buckets" to vascular injuries: understanding models of uncontrolled hemorrhage. *J Am Coll Surg.* 2007;204(4):665-72.
23. Frank M, Schmucker U, Stengel D, Fischer L, Lange J, Grossjohann R, et al. Proper estimation of blood loss on scene of trauma: tool or tale? *J Trauma.* 2010;69(5):1191-5.
24. Hodgetts TJ, Mahoney PF. Military pre-hospital care: why is it different? *J R Army Med Corps.* 2009;155(1):4-8.
25. Barbee RW, Reynolds PS, Ward KR. Assessing shock resuscitation strategies by oxygen debt repayment. *Shock.* 2010;33(2):113-22.
26. Beilman GJ, Blondet JJ, Nelson TR, Nathens AB, Moore FA, Rhee P, et al. Early hypothermia in severely injured trauma patients is a significant risk factor for multiple organ dysfunction syndrome but not mortality. *Ann Surg.* 2009;249(5):845-50.
27. Caldwell NW, Suresh M, Garcia-Choudary T, VanFosson CA. CE: Trauma-Related Hemorrhagic Shock: A Clinical Review. *The American journal of nursing.* 2020;120(9):36-43.
28. Cannon JW. Hemorrhagic Shock. *The New England journal of medicine.* 2018;378(4):370-9.
29. Cosgriff N, Moore EE, Sauaia A, Kenny-Moynihan M, Burch JM, Galloway B. Predicting life-threatening coagulopathy in the massively transfused trauma patient: hypothermia and acidoses revisited. *J Trauma.* 1997;42(5):857-61; discussion 61-2.
30. Hess JR, Brohi K, Dutton RP, Hauser CJ, Holcomb JB, Kluger Y, et al. The coagulopathy of trauma: a review of mechanisms. *J Trauma.* 2008;65(4):748-54.
31. Maegele M. The Diagnosis and Treatment of Acute Traumatic Bleeding and Coagulopathy. *Dtsch Arztebl Int.* 2019;116(47):799-806.
32. Reed RLr, Gentilello L. Temperature-associated injuries and syndromes. In: Feliciano DV, Mattox KL, Moore EE, editors. *Trauma.* New York: McGraw Hill Medical; 2008. p. 1067-73.
33. Clarke JR, Trooskin SZ, Doshi PJ, Greenwald L, Mode CJ. Time to laparotomy for intra-abdominal bleeding from trauma does affect survival for delays up to 90 minutes. *J Trauma.* 2002;52(3):420-5.
34. Hodgetts TJ, Mahoney PF, Russell MQ, Byers M. ABC to <C>ABC: redefining the military trauma paradigm. *Emerg Med J.* 2006;23(10):745-6.
35. Ruggiero JM, Martin MJ. Difficult Decisions in Trauma: Is ABC the Right Mantra? In: Wilson K, Rogers SO, editors. *Difficult Decisions in Trauma Surgery: An Evidence-Based Approach.* Cham: Springer International Publishing; 2022. p. 3-11.
36. Mosesso V, Holtz M. Der Patient. In: National Association of Emergency Medical Technicians (NAEMT), editor. *PHTLS: Prehospital Trauma Life Support 9th Edition.* 9th ed. Burlington, MA, USA: Jones and Bartlett Publishers, Inc.; 2018. p. 197-226.
37. American College of Surgeons Committee on Trauma. Shock. In: American College of Surgeons, editor. *ATLS® Student Manual 10 ed.* Chicago, IL: American College of Surgeons; 2018. p. 42-59.
38. Yumoto T, Kosaki Y, Yamakawa Y, Iida A, Yamamoto H, Yamada T, et al. Occult Sources of Bleeding in Blunt Trauma : A Narrative Review. *Acta medica Okayama.* 2017;71(5):363-8.
39. Spahn DR, Bouillon B, Cerny V, Duranteau J, Filipescu D, Hunt BJ, et al. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition. *Crit Care.* 2019;23(1):98.
40. Schweigkofler U, Wohlrath B, Trentzsch H, Greipel J, Tamimi N, Hoffmann R, et al. Diagnostics and early treatment in prehospital and emergency-room phase in suspicious pelvic ring fractures. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society.* 2018;44(5):747-52.

41. Gänsslen A, Hildebrand F, Pohlemann T. Management of hemodynamic unstable patients "in extremis" with pelvic ring fractures. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2012;79(3):193-202.
42. Bosch U, Pohlemann T, Haas N, Tscherne H. [Classification and management of complex pelvic trauma]. *Der Unfallchirurg.* 1992;95(4):189-96.
43. Hauschild O, Strohm PC, Culemann U, Pohlemann T, Suedkamp NP, Koestler W, et al. Mortality in patients with pelvic fractures: results from the German pelvic injury register. *J Trauma.* 2008;64(2):449-55.
44. Kim MJ, Lee JG, Lee SH. Factors predicting the need for hemorrhage control intervention in patients with blunt pelvic trauma: a retrospective study. *BMC Surg.* 2018;18(1):101.
45. Yang Q, Wang T, Ai L, Jiang K, Tao X, Gong D, et al. Clinical outcomes of blood transfusion to patients with pelvic fracture in the initial 6 h from injury. *Exp Ther Med.* 2020;19(3):2252-8.
46. Sauerland S, Bouillon B, Rixen D, Raum MR, Koy T, Neugebauer EA. The reliability of clinical examination in detecting pelvic fractures in blunt trauma patients: a meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2004;124(2):123-8.
47. Lustenberger T, Walcher F, Lefering R, Schweigkofler U, Wyen H, Marzi I, et al. The Reliability of the Pre-hospital Physical Examination of the Pelvis: A Retrospective, Multicenter Study. *World J Surg.* 2016;40(12):3073-9.
48. van Leent EAP, van Wageningen B, Sir O, Hermans E, Biert J. Clinical Examination of the Pelvic Ring in the Prehospital Phase. *Air Med J.* 2019;38(4):294-7.
49. Pehle B, Nast-Kolb D, Oberbeck R, Waydhas C, Ruchholtz S. [Significance of physical examination and radiography of the pelvis during treatment in the shock emergency room]. *Der Unfallchirurg.* 2003;106(8):642-8.
50. Shlamovitz GZ, Mower WR, Bergman J, Chuang KR, Crisp J, Hardy D, et al. How (un)useful is the pelvic ring stability examination in diagnosing mechanically unstable pelvic fractures in blunt trauma patients? *J Trauma.* 2009;66(3):815-20.
51. Knops SP, Schep NW, Spoor CW, van Riel MP, Spanjersberg WR, Kleinrensink GJ, et al. Comparison of three different pelvic circumferential compression devices: a biomechanical cadaver study. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 2011;93(3):230-40.
52. Schweigkofler U, Wincheringer D, Holstein J, Fritz T, Hoffmann R, Pohlemann T, et al. How effective are different models of pelvic binders: results of a study using a Pelvic Emergency Simulator. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society.* 2022;48(2):847-55.
53. Agri F, Bourgeat M, Becce F, Moerenhout K, Pasquier M, Borens O, et al. Association of pelvic fracture patterns, pelvic binder use and arterial angio-embolization with transfusion requirements and mortality rates; a 7-year retrospective cohort study. *BMC Surg.* 2017;17(1):104.
54. Bakhshayesh P, Boutefnouchet T, Tötterman A. Effectiveness of non invasive external pelvic compression: a systematic review of the literature. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine.* 2016;24:73.
55. Berger-Groch J, Rueger JM, Czorlich P, Frosch KH, Lefering R, Hoffmann M. Evaluation of Pelvic Circular Compression Devices in Severely Injured Trauma Patients with Pelvic Fractures. *Prehosp Emerg Care.* 2021:1-9.
56. Schweigkofler U, Wohlrath B, Trentzsch H, Horas K, Hoffmann R, Wincheringer D. Is there any benefit in the pre-hospital application of pelvic binders in patients with suspected pelvic injuries? *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society.* 2021;47(2):493-8.
57. Pizanis A, Pohlemann T, Burkhardt M, Aghayev E, Holstein JH. Emergency stabilization of the pelvic ring: Clinical comparison between three different techniques. *Injury.* 2013;44(12):1760-4.
58. Henry R, Matsushima K, Ghafil C, Henry RN, Theeuwens H, Golden AC, et al. Increased Use of Prehospital Tourniquet and Patient Survival: Los Angeles Countywide Study. *Journal of the American College of Surgeons.* 2021;22:22.
59. Taghavi S, Maher Z, Goldberg AJ, Chang G, Mendiola M, Anderson C, et al. An Eastern Association for the Surgery of Trauma multicenter trial examining prehospital procedures in penetrating trauma patients. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2021;91(1):130-40.

60. Clasper JC, Brown KV, Hill P. Limb complications following pre-hospital tourniquet use. *Journal of the Royal Army Medical Corps.* 2009;155(3):200-2.
61. Bulger EM, Snyder D, Schoelles K, Gotschall C, Dawson D, Lang E, et al. An evidence-based prehospital guideline for external hemorrhage control: American College of Surgeons Committee on Trauma. *Prehosp Emerg Care.* 2014;18(2):163-73.
62. Kalish J, Burke P, Feldman J, Agarwal S, Glantz A, Moyer P, et al. The return of tourniquets. Original research evaluates the effectiveness of prehospital tourniquets for civilian penetrating extremity injuries. *JEMS.* 2008;33(8):44-6, 9-50, 2, 4.
63. Ficke JR, Pollak AN. Extremity War Injuries: Development of Clinical Treatment Principles. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.* 2007;15(10):590-5.
64. Hatamabadi HR, Asayesh Zarchi F, Kariman H, Arhami Dolatabadi A, Tabatabaey A, Amini A. Celox-coated gauze for the treatment of civilian penetrating trauma: a randomized clinical trial. *Trauma Monthly.* 2015;20(1):e23862.
65. Winstanley M, Smith JE, Wright C. Catastrophic haemorrhage in military major trauma patients: a retrospective database analysis of haemostatic agents used on the battlefield. *Journal of the Royal Army Medical Corps.* 2019;165(6):405-9.
66. Kabeer M, Venugopalan PP, Subhash VC. Pre-hospital Hemorrhagic Control Effectiveness of Axiostat® Dressing Versus Conventional Method in Acute Hemorrhage Due to Trauma. *Cureus.* 2019;11(8):e5527.
67. Chou TC, Fu E, Wu CJ, Yeh JH. Chitosan enhances platelet adhesion and aggregation. *Biochemical and biophysical research communications.* 2003;302(3):480-3.
68. Littlejohn LF, Devlin JJ, Kircher SS, Lueken R, Melia MR, Johnson AS. Comparison of Celox-A, ChitoFlex, WoundStat, and combat gauze hemostatic agents versus standard gauze dressing in control of hemorrhage in a swine model of penetrating trauma. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine.* 2011;18(4):340-50.
69. Ahuja N, Ostomel TA, Rhee P, Stucky GD, Conran R, Chen Z, et al. Testing of modified zeolite hemostatic dressings in a large animal model of lethal groin injury. *J Trauma.* 2006;61(6):1312-20.
70. Arnaud F, Tomori T, Carr W, McKeague A, Teranishi K, Prusaczyk K, et al. Exothermic reaction in zeolite hemostatic dressings: QuikClot ACS and ACS+. *Ann Biomed Eng.* 2008;36(10):1708-13.
71. Pusateri AE, Delgado AV, Dick EJ, Jr., Martinez RS, Holcomb JB, Ryan KL. Application of a granular mineral-based hemostatic agent (QuikClot) to reduce blood loss after grade V liver injury in swine. *J Trauma.* 2004;57(3):555-62; discussion 62.
72. Cox ED, Schreiber MA, McManus J, Wade CE, Holcomb JB. New hemostatic agents in the combat setting. *Transfusion.* 2009;49 Suppl 5:248S-55S.
73. Alam HB, Chen Z, Jaskille A, Querol RI, Koustova E, Inocencio R, et al. Application of a zeolite hemostatic agent achieves 100% survival in a lethal model of complex groin injury in Swine. *J Trauma.* 2004;56(5):974-83.
74. Acheson EM, Kheirabadi BS, Deguzman R, Dick EJ, Jr., Holcomb JB. Comparison of hemorrhage control agents applied to lethal extremity arterial hemorrhages in swine. *J Trauma.* 2005;59(4):865-74; discussion 74-5.
75. Kheirabadi BS, Edens JW, Terrazas IB, Estep JS, Klemcke HG, Dubick MA, et al. Comparison of new hemostatic granules/powders with currently deployed hemostatic products in a lethal model of extremity arterial hemorrhage in swine. *J Trauma.* 2009;66(2):316-26; discussion 27-8.
76. Ward KR, Tiba MH, Holbert WH, Blocher CR, Draucker GT, Proffitt EK, et al. Comparison of a new hemostatic agent to current combat hemostatic agents in a Swine model of lethal extremity arterial hemorrhage. *J Trauma.* 2007;63(2):276-83; discussion 83-4.
77. Arnaud F, Teranishi K, Tomori T, Carr W, McCarron R. Comparison of 10 hemostatic dressings in a groin puncture model in swine. *J Vasc Surg.* 2009;50(3):632-9, 9.e1.
78. Causey MW, McVay DP, Miller S, Beekley A, Martin M. The efficacy of Combat Gauze in extreme physiologic conditions. *The Journal of surgical research.* 2012;177(2):301-5.
79. Kheirabadi BS, Scherer MR, Estep JS, Dubick MA, Holcomb JB. Determination of efficacy of new hemostatic dressings in a model of extremity arterial hemorrhage in swine. *J Trauma.* 2009;67(3):450-9; discussion 9-60.

80. Granville-Chapman J, Jacobs N, Midwinter MJ. Pre-hospital haemostatic dressings: a systematic review. *Injury*. 2011;42(5):447-59.
81. Kunio NR, Riha GM, Watson KM, Differding JA, Schreiber MA, Watters JM. Chitosan based advanced hemostatic dressing is associated with decreased blood loss in a swine uncontrolled hemorrhage model. *Am J Surg*. 2013;205(5):505-10.
82. Watters JM, Van PY, Hamilton GJ, Sambasivan C, Differding JA, Schreiber MA. Advanced hemostatic dressings are not superior to gauze for care under fire scenarios. *J Trauma*. 2011;70(6):1413-9.
83. Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R. Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1989;71(3):336-40.
84. Lundin N, Huttunen TT, Enocson A, Marcano AI, Felländer-Tsai L, Berg HE. Epidemiology and mortality of pelvic and femur fractures-a nationwide register study of 417,840 fractures in Sweden across 16 years: diverging trends for potentially lethal fractures. *Acta Orthop*. 2021;92(3):323-8.
85. Lieurance R, Benjamin JB, Rappaport WD. Blood loss and transfusion in patients with isolated femur fractures. *J Orthop Trauma*. 1992;6(2):175-9.
86. Callahan DS, Ashman Z, Kim DY, Plurad DS. Anticipated Transfusion Requirements and Mortality in Patients with Orthopedic and Solid Organ Injuries. *Am Surg*. 2016;82(10):936-9.
87. Wertheimer A, Olausson A, Perera S, Liew S, Mitra B. Fractures of the femur and blood transfusions. *Injury*. 2018;49(4):846-51.
88. Yücel N, Lefering R, Maegele M, Vorweg M, Tjardes T, Ruchholtz S, et al. Trauma Associated Severe Hemorrhage (TASH)-Score: probability of mass transfusion as surrogate for life threatening hemorrhage after multiple trauma. *J Trauma*. 2006;60(6):1228-36; discussion 36-7.
89. Hoppe S, Keel MJ, Rueff N, Rhoma I, Roche S, Maqungo S. Early versus delayed application of Thomas splints in patients with isolated femur shaft fractures: The benefits quantified. *Injury*. 2015;46(12):2410-2.
90. Kabeer M, Venugopalan PP, Subhash VC. Pre-hospital Hemorrhagic Control Effectiveness of Axiostat R Dressing Versus Conventional Method in Acute Hemorrhage Due to Trauma. *Cureus*. 2019;11(8):e5527.
91. Arne BC. Management of scalp hemorrhage and lacerations. *Journal of special operations medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals*. 2012;12(1):11-6.
92. McKee JL, McKee IA, Ball CG, Tan E, Moloff A, McBeth P, et al. The iTClamp in the treatment of prehospital craniomaxillofacial injury: a case series study. *J Inj Violence Res*. 2019;11(1):29-34.
93. Turnage B, Maull KI. Scalp laceration: an obvious 'occult' cause of shock. *Southern medical journal*. 2000;93(3):265-6.
94. McKee JL, McKee IA, Bouclin MD, Filips DF, Atkinson IJ, Ball CG, et al. A Randomized Controlled Trial using iTClamp, Direct Pressure, and Balloon Catheter Tamponade to Control Neck Hemorrhage in a Perfused Human Cadaver Model. *J Emerg Med*. 2019;56(4):363-70.
95. Onifer DJ, McKee JL, Faudree LK, Bennett BL, Miles EA, Jacobsen T, et al. Management of Hemorrhage From Craniomaxillofacial Injuries and Penetrating Neck Injury in Tactical Combat Casualty Care: iTClamp Mechanical Wound Closure Device TCCC Guidelines Proposed Change 19-04 06 June 2019. *Journal of special operations medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals*. 2019;19(3):31-44.
96. Ozturk D, Sonmez BM, Altinbilek E, Kavalci C, Arslan ED, Akay S. A retrospective observational study comparing hair apposition technique, suturing and stapling for scalp lacerations. *World J Emerg Surg*. 2013;8:27.
97. García Callejo FJ, Fern M, ez N, Achiques Martínez MT, Frias Moya-Angeler S, Montoro Elena MJ, et al. [Nasal packing in posterior epistaxis. Comparison of two methods]. *Acta Otorrinolaringologica Espanola*. 2010;61(3):196-201.
98. García Callejo FJ, Muñoz Fernández N, Achiques Martínez MT, Frías Moya-Angeler S, Montoro Elena MJ, Algarra JM. [Nasal packing in posterior epistaxis. Comparison of two methods]. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2010;61(3):196-201.

1.2 Atemwegsmanagement, Beatmung und Notfallnarkose

S. Braun*, B. Prediger#, J. Breuing#, M. Hertwig#, T. Becker, M. Caspers, S. Imach, H. Trentzsch, B. Hossfeld, M. Bernhard

Das Atemwegsmanagement umfasst zentrale Maßnahmen bei der Versorgung traumatisierter prä- und innerklinischer Patienten und hat die Sicherstellung der Oxygenierung und Ventilation zum Ziel. Schwerverletzte Patienten sind besonders gefährdet, Komplikationen bei der Einleitung der Notfallnarkose, der Atemwegssicherung und der Beatmung zu erleiden, so dass diese Maßnahmen einen unmittelbaren Einfluss auf die Morbidität und Letalität polytraumatisierter Patienten haben. Genaue Kenntnisse möglicher Komplikationen sowie Strategien zu ihrer Vermeidung und Behandlung sind deshalb unerlässlich. Es ist gut belegt, dass regelmäßiges Training des Atemwegsmanagements die Erfolgsrate z.B. der endotrachealen Intubation erhöht und so jeder an der Behandlung polytraumatisierter Patienten Beteiligte selbst zu einer Verbesserung der Versorgung dieser Patienten beitragen kann.

Grundlage der Entscheidung für oder gegen die Einleitung einer Notfallnarkose und Atemwegssicherung mit dem Ziel einer endotrachealen Intubation sind die in dieser Leitlinie empfohlenen Indikationen. Allerdings beeinflussen weitere Aspekte wie Erfahrungsgrad und Routinetraining des Anwenders, Umstände an der Einsatzstelle (z.B. Einklemmung, Rettungszeit), Transportart (bodengebunden vs. luftgestützt), Transportzeit sowie Begleitverletzungen im Bereich der Atemwege und (abschätzbare) Intubationshindernisse die weitreichende Entscheidung für oder gegen eine Narkoseeinleitung und Atemwegssicherung beim potentiell schwerverletzten Patienten. Ziel soll nach Bewertung aller relevanten Faktoren die höchstmögliche Sicherheit für den Patienten sein. Vor diesem Hintergrund und auf dem Boden zusätzlicher Evidenz sind die Empfehlungen weiter ergänzt und geschärft worden, um kontinuierlich die Handlungssicherheit beim Atemwegsmanagement polytraumatisierter Patienten zu erhöhen.

Folgende wichtige Eckpunkte der Fassung dieses Kapitels sind von besonderer Bedeutung: Die präzise Beurteilung der hämodynamischen Situation des potentiell schwerverletzten Patienten vor und während der Einleitung einer Notfallnarkose ist wesentlich und trägt durch eine zielgerichtete Therapie zu einer Erhöhung der Patientensicherheit bei. Es wird erneut der Stellenwert der Kapnografie zur Verifizierung der endotrachealen Tubuslage und präzisen Einstellung der Ventilation hervorgehoben, da diese essentielle Diagnostik nach wie vor bei beatmeten Patienten nicht zu 100% eingesetzt wird. Die besondere Bedeutung der Intubation im ersten Versuch (der sog. „First Pass Success“) wird beleuchtet, da die Zahl der Intubationsversuche unmittelbar die Morbidität und Letalität beeinflusst. Zur Erhöhung der Erfolgswahrscheinlichkeit der Intubation wird ausführlich auf die Bedeutung der Videolaryngoskopie sowie weiterer Hilfsmittel eingegangen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass unerkannte ösophageale Fehllagen bei Schwerstverletzten besonders häufig sind.

Die vorgenannten Maßnahmen sollen mit dazu beitragen, die Oxygenierung und Ventilation der Patienten sicherzustellen sowie die assoziierte Komplikationsrate weiter zu senken.

Indikationen zur Atemwegssicherung

1.2.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei polytraumatisierten Patienten mit Apnoe oder Schnappatmung (Atemfrequenz <6) sollen prähospital eine Notfallnarkose, eine endotracheale Intubation und eine Beatmung durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Badjatia 2008, Leitlinie, LoE 5 [2] Dunham 2003, Leitlinie, LoE 5 [3] Nolan 2005, Leitlinie, LoE 5 [4] ATLS 2008 Traumakonzept, LoE 5 [5] ETC 2009 Traumakonzept, LoE 5 [6] PHTLS 2009 Traumakonzept, LoE 5	
	Konsensstärke: 100%	

Polytraumatisierte Patienten sind gefährdet, durch Hypoventilation bis hin zur Apnoe eine Hypoxämie mit potentiell lebensbedrohlicher Schädigung von Organen oder des gesamten Organismus zu erleiden. Da schwere Hypoxämien im Rahmen einer Apnoe in kürzester Zeit entstehen können, soll dieser Zustand in Einklang mit vergangenen und aktuell geltenden Leitlinien und Versorgungskonzepten von Traumapatienten durch Einleitung einer Notfallnarkose sowie durch eine Atemwegssicherung und Beatmung behandelt werden [1-3, 7, 8]. Die Ursachen für eine Hypoventilation/Apnoe sind sehr variabel: So kann neben einer mechanischen Verlegung (z.B. durch Mittelgesichtsfrakturen, Blut und zervikalen Traumen mit konsekutiver Schwellung) v.a. eine Vigilanzminderung durch ein isoliertes oder begleitendes zerebrales Trauma, aber auch eine generalisierte Hypoperfusion (z.B. im hämorrhagischen Schock) zu einer Hypoventilation/Apnoe führen. Auch wenn die Klärung der Ursache für die weitere Behandlung von großer Bedeutung ist, ist dies prähospital nicht immer mit letzter Sicherheit zu gewährleisten, so dass allein die klinische Symptomatik der Ventilationseinschränkung sowie die Gefährdung durch Hypoxie ausreicht, die Indikation zur invasiven Atemwegssicherung im Sinne der Empfehlung zu stellen. Dabei stellt die endotracheale Intubation nach wie vor den Goldstandard dar [7].

Die Evidenzgüte ist aufgrund der Unmöglichkeit, prospektive und kontrollierte Studien zu generieren, eingeschränkt. Da ein Atemstillstand oder eine schwerwiegende Einschränkung der Ventilation unweigerlich aufgrund physiologischer Gesetzmäßigkeiten unbehandelt zu einer schweren Schädigung oder sogar zum Tod des Patienten durch Hypoxie führt, wurde der Empfehlungsgrad A auch in der aktuellen Fassung der Leitlinie beibehalten.

1.2.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
<p>Empfehlungsgrad</p> <p>B ↑</p>	<p>Bei polytraumatisierten Patienten sollten bei folgenden Indikationen prähospital eine Notfallnarkose, eine endotracheale Intubation und eine Beatmung durchgeführt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hypoxie (SpO₂ <90%) trotz Sauerstoffgabe und nach Ausschluss eines Spannungspneumothorax • schweres SHT (GCS <9) • schweres Thoraxtrauma mit respiratorischer Insuffizienz (Atemfrequenz >29/min) 	
<p>Literatur, Evidenzgrad</p>	<p>[9] Bernard 2010: LoE 1b [10] Chou 2016: LoE 2b [11] Denninghoff 2017: LoE 2b [12] Gravesteijn 2020: LoE 2b [13] Schauer 2019: LoE 2b [14] Schauer 2018: LoE 2b [15] Sise 2009: LoE 2b [16] Wang 2014: LoE 2b [17] Ruchholz 2002: LoE 3b [18] Bernard 2002: LoE 4 [19] Frankel 1997: LoE 4 [20] Klemen 2006: LoE 4 [21] Stephens 2009: LoE 4</p>	
	<p>Konsensstärke: 100%</p>	

Neben einer Hypoxie eines Patienten (diagnostiziert anhand der Ausprägung der Hypoxämie mittels pulsoxymetrischer Sauerstoffmessung [SpO₂]) stellen insbesondere eine verminderte Vigilanz nach Schädel-Hirn-Trauma (SHT, GCS<9) als auch eine schweres Thoraxtrauma (Atemfrequenz>29/min) mit respiratorischer Insuffizienz Indikationen zur Einleitung einer Narkose sowie zur endotrachealen Intubation und Beatmung des Polytraumatisierten dar. Bereits in der Leitlinie von 2011 wurde anhand einer Reihe von Studien gezeigt, dass in Anwesenheit eines schweren SHT (GCS<9) die prähospital Intubation einen günstigen Einfluss auf die Morbidität und Letalität hat [18-20, 22]. Insbesondere in der prospektiven Kohortenstudie von Klemen et al. [20] konnte in der Subgruppe der Patienten mit einem GCS von 6-8 ein deutlicher Überlebensvorteil festgestellt werden, wenn die Patienten prähospital notärztlich intubiert wurden. Die prospektive, randomisierte Studie von Bernard et al. [9] konnte zudem einen günstigen Effekt auf das Behandlungsergebnis (Glasgow Outcome Scale–Extended [GOS-E]: 5-8) zeigen (51 vs. 39%), wenn Patienten bereits prähospital bei einem GCS<9 intubiert wurden. Auch die innerklinische Intubation konnte in retrospektiven Analysen eines Traumaregisters als sicheres Verfahren identifiziert werden [15, 21]. In einer neueren Studie aus dem Jahr 2017 konnte die retrospektive Auswertung prospektiv erhobener Daten von 882 Patienten zeigen, dass ein gutes Behandlungsergebnis (anhand der GOS-E) häufiger (57,3% vs. 46%, p=0,003) und die Letalität niedriger (13,8% vs. 19,8%, p=0,03) war, wenn prähospital intubiert wurde [11]. In einer weiteren retrospektiven Observationsstudie mit 1.350 Patienten konnten Gravesteijn et al. [23] zeigen, dass das funktionelle Behandlungsergebnis (anhand der GOS-E) bei Patienten, die aufgrund eines GCS von <11 innerklinisch intubiert wurden, besser war im Vergleich zu Patienten, die nicht sofort bei Ankunft in der Notaufnahme intubiert wurden. In der gleichen Studie war die prähospital Intubation mit einem verbesserten funktionellen Behandlungsergebnis (GOS-E) bei Patienten mit einer

hohen Abbreviated Injury Scale (AIS) aufgrund eines thorakalen Traumas assoziiert. Aus diesen Ergebnissen geht auch hervor, dass der mutmaßliche Zeitverlust, der mit einer prähospitalen Intubation einhergeht, bei korrekter Indikationsstellung nicht den positiven Einfluss auf das funktionelle Behandlungsergebnis (z.B. anhand des GOS-E) aufhebt.

Studien seit 2016, die die Einschlusskriterien für die vorliegende S3 Leitlinie erfüllen, umfassen auch Ergebnisse, die die prähospitalen Intubation kritisch beleuchten. Insbesondere Studien von Schauer et al. [24, 25] legen nahe, dass eine prähospitalen Atemwegsintervention bei polytraumatisierten Patienten mit einer niedrigeren Wahrscheinlichkeit zu überleben assoziiert ist. Eine inhaltliche Übertragbarkeit auf die notfallmedizinischen Verhältnisse in Deutschland ist jedoch nicht möglich, da die zugrundeliegenden Daten auf Kriegsschauplätzen erhoben wurden und ein großer Teil der Verletzungen auf Explosionen und Schussverletzungen zurückzuführen war. Zudem erfolgte die primäre Rettung teilweise unter Beschuss, und die medizinische Versorgung wurde durch Paramedics durchgeführt. Auch eine retrospektive Studie zeigt eine Assoziation der prähospitalen Intubation bei Patienten mit hämorrhagischem Schock mit einer erhöhten Letalität [26]. Allerdings liegt in dieser Studie eine sehr starke Heterogenität der Gruppen vor (GCS 3 vs. 14, ISS 41 vs. 29, systolischer Blutdruck (SBP) 86 vs. 104 mmHg), sodass die Aussagekraft der Studie stark eingeschränkt ist. Eine retrospektive Kohortenstudie mit insgesamt 27.714 Patienten fand eine Assoziation zwischen einer prähospitalen Intubation und einer erhöhten Letalität bei Patienten mit schwerem SHT [27]. Neben einer verlängerten Prähospitalzeit war auch der Anteil der Patienten mit niedriger Sauerstoffsättigung (<90%), niedrigem systolischen Blutdruck (SBP <90mmHg) sowie einer Tachykardie (>100/min.) bei Aufnahme im Schockraum in der Gruppe erhöht, die prähospital intubiert wurde. Die Autoren selbst mutmaßten, dass weniger die Maßnahmen an sich, sondern vielmehr der „skill level“ der Paramedics ursächlich für den Letalitätsunterschied zwischen den Gruppen ursächlich war.

Zusammenfassend ist die Evidenz der neueren Studien nicht ausreichend, die Indikationen zur Einleitung einer Notfallnarkose mit Atemwegssicherung durch endotracheale Intubation sowie anschließender Beatmung (Hypoxie, schweres SHT, schweres Thoraxtrauma mit respiratorischer Insuffizienz) zu ändern.

In der modifizierten Empfehlung 2022 wurde die Indikation „traumaassoziierte persistierende hämodynamische Instabilität (RR_{sys} <90 mmHg, altersadaptiert bei Kindern)“ aus der vorangegangenen Fassung dieser Leitlinie (2016) nicht übernommen. Zum einen ist die bis dato bestehende und seit 2016 neu hinzu gekommene Evidenz, dass ein einziger Messwert des Blutdrucks zur Indikationsstellung der Notfallnarkose und Beatmung genügt, nicht ausreichend. Zum anderen wird dieser einzelne Blutdruckwert als Entscheidungshilfe der sehr komplexen und anspruchsvollen Situation, bei einem traumatisierten Patienten mit hämodynamischer Instabilität einen Atemweg in Narkose zu etablieren, nicht gerecht. So konnte die retrospektive Untersuchung prospektiv erhobener Daten in der Studie von Wang et al. an 2135 Patienten zeigen, dass eine prähospitalen Intubation mit einer erhöhten Letalität in Gegenwart eines hämorrhagischen Schocks assoziiert ist [16]. Die Frage, ob ein Patient im hämorrhagischen Schock intubiert werden muss oder nicht, ist ausgesprochen komplex und bisher nicht abschließend mit hochwertigen Studien beantwortet. Wie bereits in der Leitlinie von 2016 sehr prägnant dargestellt, müssen in die grundsätzliche Entscheidung zur Intubation wesentliche begleitende Umstände wie z.B. die persönliche Erfahrung, die Transportzeit und Art, Einsatzcharakteristik, sowie Begleitverletzungen insbesondere der Atemwege, einfließen. Da die Gefahr einer zusätzlichen Verschlechterung der hämodynamischen Situation im hämorrhagischen Schock durch eine Einleitung der Notfallnarkose durchaus gegeben ist, erscheint eine präzise Bewertung dieser Begleitumstände bei diesen Patienten von besonderer Bedeutung. Die folgende, neu konzipierte Empfehlung 1.3 trägt deshalb der Wechselwirkung des Atemwegsmanagements mit der

Hämodynamik Rechnung und zeigt mögliche Vorgehensweisen auf, um die Sicherheit für den Patienten z.B. im hämorrhagischen Schock zu erhöhen.

Physiologisch schwieriges Atemwegsmanagement

1.2.3	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Veränderungen der Hämodynamik bei der prä- und innerklinischen Narkoseeinleitung sollen engmaschig kontrolliert und ggfs. frühzeitig therapiert werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Bei der Bewertung, welche Schwierigkeiten bei der Narkoseeinleitung und Bewältigung des Atemweges im Vordergrund stehen, ist in den letzten Jahren der Begriff des schwierigen physiologischen Atemwegs („physiological difficult airway“) hinzugekommen. Im Gegensatz zum anatomischen schwierigen Atemweg, der durch anatomische Besonderheiten charakterisiert ist (z.B. kleine Mundöffnung) umfasst der physiologisch schwierige Atemweg Charakteristika, die die periinterventionelle Situation der Atemwegssicherung erschweren (z.B. Hypotension) und die die Wahrscheinlichkeit für die Intubation im ersten Versuch reduzieren sowie mit mehr Komplikationen behaftet sein können [28]. Mosier et al. [29] charakterisierten 2015 die vier physiologischen Parameter Hypotonie, Hypoxie, metabolische Azidose und Rechtsherzversagen, die beim Atemwegsmanagement von kritisch kranken Patienten das Risiko für ein periinterventionelles Herz-Kreislaufversagen steigern. Die Autoren schlussfolgern, dass neben der Evaluation der Atemwegsanatomie auch physiologische Parameter wie eine Hypotonie sowie die Wahl der Narkosemedikamente in die Planung des Atemwegsmanagements mit einbezogen werden sollen, und eine kardiozirkulatorische Dekompensation frühzeitig zielgerichtet z.B. mit Volumen oder einer adäquaten Katecholamintherapie (z.B. Vasopressor) behandelt werden soll. In einer retrospektiven Studie mit 4.866 erwachsenen Traumapatienten wurden Risikofaktoren für eine Hypotension post-intubationem evaluiert [30]: Es zeigte sich, dass hohes Alter, ein niedriger Ausgangsblutdruck (SBP <90 mmHg) sowie eine bestehende Hypoxie mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für eine schwere Hypotension bis hin zu einem Herz-Kreislaufstillstand nach Intubation assoziiert waren. Die Häufigkeit von einer tiefen Hypotonie (SBP <70 mmHg) oder eines Herz-Kreislaufstillstandes 15 Minuten nach Intubation wurde mit 8 bzw. 5% angegeben.

Aufgrund des Studiendesigns (nicht-komparative, retrospektive Kohortenstudie an nicht ausschließlich traumatologischen Patienten) wurden diese Studien nach den Vorgaben für die vorliegende S3 Leitlinie nicht eingeschlossen, sodass die Empfehlung als GPP („Good [Clinical] Practice Points“, s.a. Kapitel B.1, „Methodik der Aktualisierung“) formuliert wurde. Bereits die engmaschige Kontrolle der Herz-Kreislaufparameter (z.B. Einstellen eines 1-minütigen Messintervalls des Blutdrucks bei Narkoseeinleitung, kontinuierliche Beurteilung des Pulsoxymetriesignals) ist die Basis, um gravierende Veränderungen z.B. des Blutdrucks frühzeitig zu detektieren und adäquat behandeln zu können. Innerklinisch sollte bei einem Patienten im hämorrhagischen Schock frühzeitig die Etablierung einer invasiven Blutdruckmessung vor Einleitung einer Notfallnarkose erwogen werden, um das diagnostische Zeitfenster für eine zirkulatorische Dekompensation weiter einzuengen und so die therapeutische Reaktionszeit zu verkürzen.

Präoxygenierung

1.2.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Der polytraumatisierte Patient soll vor Narkoseeinleitung präoxygeniert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[31] Mort 2005: LoE 2b [32] Mort 2009: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Grundsätzlich soll jeder spontanatmende Patient vor einer Notfallnarkose und Intubation präoxygeniert werden, um die Apnoetoleranz bis zum Beginn des Sättigungsabfalls zu verlängern [7, 8]. V.a. vor dem Hintergrund, dass a) traumatisierte Patienten häufig einen schwierigen Atemweg aufweisen (Inzidenz: 10-18%) und b) Patienten per se eine durch das Trauma bestehende Ventilation- oder Oxygenierungsstörung aufweisen können, ist ein Zugewinn an Prozesszeit für die Intubation unter normoxischen Verhältnissen besonders wichtig. Technisch wird im Einklang mit der Handlungsempfehlung zur prähospitalen Notfallnarkose beim Erwachsenen der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin [7] und der gleichlautenden S1-Leitlinie [AWMF Register-Nr. 001/013] [33] nach der Entscheidung zur Intubation der Patient mit einer dicht sitzenden Maske des Beatmungsbeutels mit Reservoir und einem Sauerstofffluss von 12-15 l/min. präoxygeniert. Zur Verbesserung des Verfahrens kann ein Demandventil oder v.a. bei adipösen Patienten bei entsprechender Erfahrung nach Ausschluss von Kontraindikationen (z.B. Vigilanzstörung mit verminderten oder fehlenden Schutzreflexen, schweres Mittelgesichtstrauma, nicht entlasteter Pneumothorax) eine nicht-invasive Beatmung angewendet werden [7].

Grundlage der seit der ersten Fassung dieser Leitlinie nicht veränderten Empfehlung sind 2 Studien von Mort et al. [31, 34]. Aus diesen Studien geht hervor, dass nach einer 4-minütigen Präoxygenierung mit dichtsitzender Maske und einer zugeführten Sauerstoffkonzentration von 100% der Sauerstoffpartialdruck (paO_2) von 62 ± 15 mmHg auf 84 ± 52 mmHg steigt. Eine Verlängerung der Präoxygenierung, z.B. auf 6 oder 8 Minuten, führte nicht zu einer zusätzlichen signifikanten Steigerung des paO_2 .

Eine Reihe von Techniken sind in den letzten Jahren publiziert worden, um die Präoxygenierung effektiver oder überhaupt durchführbar zu gestalten. Dazu gehören neben der apnoischen Präoxygenierung mittels Nasenbrille während der Intubation die Anwendung einer nicht-invasiven Ventilation mittels CPAP sowie die vorsichtige Sedierung z.B. mit Ketamin, um bei erhaltenen Schutzreflexen beim spontanatmenden, nicht orientierten und unkooperativen Patienten die Präoxygenierung zu ermöglichen [sog. „delayed sequence intubation“, DSI [35]]. Nach Gabe des Hypnotikums und des Relaxans zur Einleitung der Narkose erfolgt auch bei diesen Patienten analog zur RSI bis zur erfolgreichen Intubation keine Zwischenbeatmung.

So wurden in einer prospektiven Vorher-Nachher-Studie 725 prähospital Traumapatienten untersucht, die mit oder ohne ($n=537/188$) apnoische Oxygenierung via nasaler Sauerstoffsonde (15 l/min) während der Intubation versorgt wurden [36]. Kein signifikanter Unterschied konnte in der unmittelbaren Phase nach Intubation (2 Minuten) festgestellt werden, allerdings profitierten diejenigen Patienten im weiteren Verlauf (2-10 Minuten), die vor Intubation bereits eine Hypoxie ($SpO_2 < 90\%$) aufwiesen. Die Studienlage in Bezug auf eine nicht-invasive Ventilation mit CPAP-Anwendung während der Präoxygenierung ergibt ein uneinheitliches Bild. So konnte Baillard 2006 [37] in einer randomisierten, kontrollierten Studie zeigen, dass der Effekt einer Präoxygenierung durch

CPAP bei Intensivpatienten verbessert wird. Die gleiche Arbeitsgruppe konnte allerdings 2018 in einer prospektiven multizentrischen Studie an 201 Patienten nachweisen, dass es keinen Unterschied zwischen den Patienten mit oder ohne CPAP vor Intubation gab mit dem Endpunkt des Organversagens nach 7 Tagen [38]. Eine ältere Studie wiederum konnte einen positiven Effekt der CPAP-Anwendung bei Patienten mit Adipositas permagna nachweisen, sodass CPAP in dieser Subgruppe offensichtlich einen Stellenwert hat [39]. In einer prospektiven Observationsstudie wurde an 62 Patienten untersucht, ob bei unkooperativen Patienten durch Ketamin eine Präoxygenierung vor Intubation im Sinne einer DSI ermöglicht werden kann. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die Sauerstoffsättigung vor Intubation dadurch signifikant erhöht werden konnte, ohne dass assoziierte Komplikationen aufgetreten sind [35].

Da hochwertige prospektive und kontrollierte Studien zurzeit fehlen, die eine grundsätzliche und generelle Adaptierung des Vorgehens bei der Präoxygenierung von Traumapatienten nahelegen, und anhand der Studienlage eine abschließende Bewertung des Risikoprofils der oben genannten Maßnahmen in diesem Patientenkollektiv aktuell nicht möglich ist, wurde die Empfehlung nicht verändert.

Innerklinische Atemwegssicherung

1.2.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die innerklinische Notfallnarkose, endotracheale Intubation und Beatmung sollten durch trainiertes und erfahrenes anästhesiologisches Personal durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[40] Thierbach 2004: LoE 2a [41] Helm 2006: LoE 2b [42] Timmermann 2006: LoE 3b [43] Schmidt 2008: LoE 4 [21] Stephens 2009: LoE 4	
	Konsensstärke: 100%	

Schwerverletzte Patienten müssen häufig im Rahmen der Schockraumversorgung intubiert werden. Charakterisiert ist diese Situation zum einen durch den zeitkritischen Aspekt, da bei diesen Patienten regelmäßig eine Hypoxie besteht oder droht. Zum anderen ist das Atemwegsmanagement beim schwerverletzten Patienten erschwert und mit einer erhöhten Inzidenz von Komplikationen vergesellschaftet, insbesondere, wenn mehr als 2 Intubationsversuche unternommen werden [40, 42]. Gelingt das Etablieren des Atemwegs nicht, kann innerhalb kürzester Zeit eine schwere Hypoxie eintreten, die mit Organschäden oder sogar dem Tod einhergehen kann. Vor diesem Hintergrund sollte das Atemwegsmanagement bei schwerverletzten Patienten durch die dafür spezialisierte Fachdisziplin, also anästhesiologisches ärztliches und pflegerisches Personal, durchgeführt werden. Es gibt eine Reihe von Studien, die eine hohe Erfolgsrate der Intubation durch Anästhesisten zeigen und die zum anderen die Wichtigkeit von Training und Erfahrung dokumentieren. So konnten Stephens et al. [21] 2009 anhand eines Traumaregisters zeigen, dass die Intubation durch erfahrene Anästhesisten in 99,7% gelang und kein Patient aufgrund des Atemwegsmanagements verstarb. Auch andere prospektive Beobachtungsstudien zeigen eine ähnlich hohe Erfolgsquote durch Anästhesiologen von >98-100% [40-42]. In einer prospektiven Kohortenstudie mit 322 Patienten fanden sich im Rahmen des Atemwegsmanagements in Anwesenheit des anästhesiologischen Oberarztes signifikant weniger Komplikationen (6,1 vs. 21,7%, $p=0,0001$), sodass in dieser Studie die Bedeutung der anästhesiologischen Erfahrung gezeigt werden konnte [43]. Auch eine Metaanalyse aus dem Jahr 2015

konnte den Einfluss von Erfahrung auf den Intubationserfolg zeigen [44]. So war Unerfahrenheit mit einer Verdopplung der Letalität aufgrund des Atemwegsmanagements bei Schädelhirntraumen assoziiert. Eine retrospektive Observationsstudie an 7.256 Patienten untersuchte den Einfluss der Fachdisziplin auf die Erfolgsrate von Intubationen bei der prähospitalen Traumaversorgung [45]: Dabei war die Intubation durch Nicht-Anästhesisten mit einer Verdopplung der frustranen Intubationen und chirurgischer Atemwege assoziiert im Vergleich mit Anästhesisten. Pakkanen et al. konnte in einer weiteren retrospektiven Studie mit 651 Patienten sogar eine Assoziation der Fachdisziplin Anästhesiologie mit einer niedrigeren Letalität und einem verbesserten neurologischen Behandlungsergebnis bei schwerem SHT mit konsekutiver Intubation im Vergleich zu anderen Fachdisziplinen nachweisen [46]. Alle 3 neueren Studien wurden allerdings im Literaturrechercheprozess dieser S3-Leitlinie ausgeschlossen (nicht ausschließlich traumatologische Population, retrospektives Studiendesign, nicht eingeschlossener Recherchezeitraum). Somit ergab sich aufgrund des Fehlens prospektiver vergleichender Studien an schwerverletzten Patienten der Empfehlungsgrad B.

Die Bedeutung von Training für das Atemwegsmanagement wird explizit in der Empfehlung 1.6 erörtert.

Anwenderanforderungen und Training

1.2.6	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Notfallmedizinisches Personal soll regelmäßig in der Notfallnarkose, der endotrachealen Intubation und den alternativen Methoden zur Atemwegssicherung (Maskenbeatmung, supraglottische Atemwegshilfen, Notfallkoniotomie) trainiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[47] Konrad 1998: LoE 3b [48] Timmermann 2007: LoE 4	
	Konsensstärke: 84%	

Bereits 1998 beschäftigte sich eine Studie mit der Fragestellung, welcher Umfang an Übung für spezifische anästhesiologische Verfahren, insbesondere in Bezug auf die Intubation, notwendig ist [47]. Die Erfolgsrate von Berufsanfängern unter kontrollierten und supervidierten Bedingungen im OP von 60% wurde nach 20 Intubationen und von 90% sogar erst nach 60 Intubationen erreicht. Auch in späteren Studien konnte ein Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Anwendung unter kontrollierten Bedingungen und dem Intubationserfolg nachgewiesen werden [49, 50]. Eine weitere Studie konnte auch für alternative Atemwege (z.B. Larynxmaske) zeigen, dass der Anwendungserfolg mit der Anzahl an Anwendungen ansteigt [51]. Die Notwendigkeit von Atemwegstraining wird noch drängender vor dem Hintergrund, dass Timmermann et al. in einer prospektiven Observationsstudie zeigen konnten, dass ösophageale Intubationen in 6,7% (10/149) vom Notarzt prähospital nicht bemerkt wurden [48]. Die Autoren schlussfolgerten aus den Ergebnissen, dass regelmäßiges Atemwegstraining notwendig sei.

Aus der Tatsache, dass der Erfolg der Atemwegssicherung, wie aus den Erläuterungen der vorhergehenden Empfehlung, unmittelbar von der Erfahrung des Anwenders abhängig und mit einer erhöhten Morbidität und Letalität von Patienten assoziiert ist, ergibt sich die Notwendigkeit, die Notfallnarkose, die endotracheale Intubation und die alternativen Methoden zur Atemwegssicherung regelmäßig zu trainieren [49, 51]. Da die prähospitalen notärztliche und innerklinische anästhesiologische Aufgabe des Atemwegsmanagements und der Atemwegssicherung im Team mit

Unterstützung z.B. durch Notfallsanitäter und anästhesiologischer Fachpflege durchgeführt wird, erscheint das Training des gesamten Teams, das am Atemwegsmanagement beteiligt ist, sinnvoll. Aus diesem Grund wurde der Begriff „Notärztliches Personal“ der vorangegangenen Fassung dieser Leitlinie durch „Notfallmedizinisches Personal“ ersetzt. Die im bundeseinheitlichen Notarztindikationskatalog der Bundesärztekammer hinterlegte Anwesenheit des Notarztes bei der Versorgung von schwerverletzten Patienten insbesondere mit Beeinträchtigung des Atemweges ist davon unberührt [52].

Schwieriges Atemwegsmanagement

1.2.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei der endotrachealen Intubation des Traumapatienten soll mit einem schwierigen Atemweg gerechnet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[40] Thierbach 2004: LoE 2a [41] Helm 2006: LoE 2b [53] Combes 2006: LoE 3b [42] Timmermann 2006: LoE 3b [54] Cogbill 2008: LoE 4 [21] Stephens 2009: LoE 4	
	Konsensstärke: 100%	

Das Atemwegsmanagement von Traumapatienten ist häufig durch einen schwierigen Atemweg erschwert. Eine Studie an 6.088 Patienten zeigte, dass neben vorbestehenden anatomischen Besonderheiten (z.B. geringe Mundöffnung, vorstehende Zähne) beim Trauma v.a. Mittelgesichtsverletzungen oder Verletzungen des Halses, aber auch Fremdkörper durch Erbrochenes, abgebrochene Zähne oder Blut sowie Schwellungen (z.B. durch Verbrennungen im Pharynx- und Larynxbereich) zu der Notwendigkeit eines chirurgischen Atemweges beitragen [21]. Eine prospektive Observationsstudie 1.442 Patienten zeigte, dass ein Trauma des Mittelgesichts die Wahrscheinlichkeit für einen schwierigen Atemweg verdoppelte [53]. Eine Studie an 1.106 prähospitalen Patienten konnte zeigen, dass Patienten mit Trauma in 18,6% der Fälle einen schwierigen Atemweg hatten und somit fast doppelt so häufig davon betroffen waren wie Patienten, die aus anderen Gründen prähospital intubiert werden mussten [42]. Auch Thierbach et al. [40] konnten in einer weiteren prospektiven Observationsstudie zeigen, dass die Häufigkeit von unerwünschten Ereignissen oder Komplikationen bei Traumapatienten im Vergleich zu nicht traumatisierten Patienten besonders hoch war und auch die Anzahl an Intubationsversuchen bei Traumapatienten signifikant erhöht war ($p=0,007$). Eine prospektive Observationsstudie von Helm et al. [41] an 342 Patienten (68,7% Trauma) zeigte, dass Intubationsschwierigkeiten in 16,8% durch das Trauma bedingt waren. Insbesondere massive Blutungen aufgrund von Mittelgesichtsfrakturen führten in einer Studie zu einem hohen Anteil von chirurgischen Atemwegen (12/90; 13,3%) [54]. Eine neuere prospektive Studie von Gellerfors et al. [55] mit 2.028 Patienten bestätigte, dass prähospital Intubationen häufig mit Komplikationen einhergehen (10,9%), wurde allerdings aufgrund des gemischten Patientenkollektivs durch die Einschlusskriterien der vorliegenden S3 Leitlinie ausgeschlossen. Die Evidenz älterer Studien hat somit Bestand, sodass die Empfehlung unverändert geblieben ist.

Alternative Methoden zur Atemwegssicherung

1.2.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei der Narkoseeinleitung und endotrachealen Intubation des polytraumatisierten Patienten sollen alternative Methoden zur Atemwegssicherung vorgehalten werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[40] Thierbach 2004: LoE 2a	
	Konsensstärke: 100%	

Die vorgenannte Häufigkeit eines schwierigen Atemweges als auch die Wahrscheinlichkeit, dass im ersten Versuch die Intubation misslingt oder die Intubation sogar vollständig fehlschlägt, ist bei traumatisierten Patienten erhöht. Aus diesem Grund ist es in Einklang mit geltenden Leitlinien [7, 8, 56] unerlässlich, alternative Methoden zur Atemwegssicherung wie z.B. Larynxmasken oder Larynxtuben vorzuhalten, um eine Oxygenierung des traumatisierten Patienten sicherzustellen. Die Evidenz ergibt sich aus der Studie von Thierbach et al. [40] aus dem Jahr 2004, die zeigen konnte, dass in 1,5% der Fälle alternative Methoden der Atemwegssicherung angewendet werden mussten. Eine prospektive Studie mit 189 prähospitalen Patienten untersuchte durch Larynxtuben verursachte Komplikationen [57]: Bei 20 Patienten wurde eine massiven Magenüberblähung detektiert, die bei 5 Patienten zu einer teilweise erheblichen Einschränkung der Ventilation führte. Ursächlich war aus Sicht der Autoren das Fehlen des gastralen Drainagekanals, sodass bei der Versorgung von traumatisierten Patienten Larynxtuben und Larynxmasken mit der Möglichkeit der gastralen Sondierung eingesetzt werden sollten. In diesem Zusammenhang ist auch auf die Handlungsalgorithmen und Empfehlungen der bestehenden Leitlinie der DGAI für den erwarteten und unerwarteten schwierigen Atemweg (S1 Leitlinie „Atemwegsmanagement“ der DGAI) sowie die Empfehlungen der S1-Leitlinien „Prähospitaler Atemwegsmanagement“ und „Handlungsempfehlung zur prähospitalen Notfallnarkose beim Erwachsenen“ hingewiesen [7, 8, 56].

1.2.9	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Nach mehr als zwei Intubationsversuchen sollen alternative Methoden zur Beatmung bzw. Atemwegssicherung in Betracht gezogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[58] Mort 2004: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

Die Anzahl der Intubationsversuche bei traumatisierten Patienten korreliert unmittelbar mit der Häufigkeit an Komplikationen als auch mit der Letalität: Bereits 2004 konnte in einer prospektiven Beobachtungsstudie gezeigt werden, dass bei mehr als 2 Intubationsversuchen die Komplikationsrate stark ansteigt [59]. Die Autoren untersuchten den Einfluss von mehr als zwei Intubationsversuchen bei kritisch kranken Patienten auf Atemwegs-assoziierte und hämodynamische Komplikationen im Vergleich zu Intubationen, die in höchstens zwei Versuchen gelangen. So stieg die Häufigkeit einer Hypoxie von 11,8 auf 70%, einer Regurgitation von Mageninhalt von 1,9 auf 22%, einer Aspiration von Mageninhalt von 0,8 auf 13%, einer Bradykardie von 1,6 auf 21% und eines Herzstillstandes von 0,7 auf 11%. Weitere Studien haben den negativen Effekt mehrerer Intubationen bestätigt und wurden in einer Metaanalyse aus dem Jahre 2015 untersucht [60]. Exemplarisch zeigte die prospektive Studie von Hasegawa et al. [61] an 2.616 Patienten einer Notaufnahme, dass der 3. Intubationsversuch mit einer Erhöhung der Komplikationsrate von 9 auf 35% einherging. Die Autoren hoben hervor, dass nach Fehlschlagen des ersten Intubationsversuches ein Bewusstsein für mögliche Komplikationen wichtig

ist und in die Planung der Intubation der Vorteil der erfolgreichen Intubation gegen mögliche Komplikationen für den Patienten abgewogen werden müssen. Entscheidend trägt zur Sicherheit von traumatisierten Patienten bei, dass bei Versagen der Intubation die Oxygenierung durch Maskenbeatmung (inkl. der Einlage eines Guedeltubus) bzw. durch die Anwendung einer Larynxmaske oder eines Larynxstübchens entsprechend den geltenden Atemwegsalgorithmien sichergestellt wird [7, 8, 56]. Innerklinisch steht als weitere alternative Methode die fiberoptische Intubation zur Verfügung, die auch laut der Leitlinie Atemwegsmanagement der DGAI sowie des Weissbuch Schwerverletztenversorgung der DGU zur innerklinischen Ausstattung gehört und v.a. bei erhaltender Spontanatmung durch den erfahrenen Anwender dazu beitragen kann, den Atemweg zu sichern [56, 62-64]. Eine Koniotomie ist der „Cannot ventilate-cannot oxygenate“-Situation vorbehalten, wenn alle anderen alternativen Methoden versagt haben.

Periinterventionelles Monitoring

1.2.10	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Zur Narkoseeinleitung, Atemwegssicherung, Beatmung und Führung der Notfallnarkose soll der Patient mittels EKG, Blutdruckmessung, Pulsoxymetrie und Kapnografie überwacht werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[65] Wilharm 2019: LoE 3b↓ [66] Silvestri 2005: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

Leitlinien wie die Handlungsempfehlung zur prähospitalen Notfallnarkose beim Erwachsenen, aber auch die Leitlinie zur Ausstattung des anästhesiologischen Arbeitsplatzes, schreiben EKG, Blutdruckmessung, Pulsoxymetrie sowie die Kapnografie zur Narkoseeinleitung als Mindestausstattung vor [7, 67]. Obwohl gerade schwer verletzte Patienten durch einen schwierigen Atemweg gefährdet sind und von einer 100%-igen Anwendung der Kapnografie zur Detektion von drohenden Komplikationen wie einer Hypoxie, Hypotonie oder sogar einer Fehlintubation besonders profitieren, konnten Wilharm et al. [68] an Daten aus dem TraumaRegister DGU® zeigen, dass nur bei 82,7% von 5.200 intubierten Patienten Angaben zur Kapnometrie vorlagen. Bei Patienten mit alternativer Atemwegssicherung lag der Anteil sogar nur bei 26,9%. Es erscheint unwahrscheinlich, dass in 100% der Beatmungen prähospitaler traumatisierter Patienten die Kapnometrie angewendet wurde, auch wenn die fehlende oder fehlerhafte Dokumentation nicht unmittelbar auf das Unterlassen der Kapnometrie schließen lässt. Dies ist vor dem Hintergrund, dass einige Studien in der Vergangenheit den Stellenwert der Kapnografie zur Erkennung einer potentiell katastrophalen ösophagealen Fehlintubation klar zeigen konnten, besonders ernüchternd. Traumapatienten sind per se in 7,1% der Fälle gefährdet, eine Fehlintubation zu erleiden [48], deren Erkennung durch die Anwendung der Kapnografie sicher gelingt. Eine prospektive Studie aus dem Jahr 2005 konnte zeigen, dass prähospitaler Patienten, bei denen eine Kapnografie nach Intubation genutzt wurde (n=93), keine unerkannten Fehlintubationen aufwiesen [66]. Ein Fehlen der Kapnografie führte in 23,3% der Fälle zu nicht erkannten Fehlintubationen. Der Einsatz des Standardmonitorings bei jeder Einleitung einer Notfallnarkose sowie bei jeder Atemwegssicherung, Beatmung und Narkoseführung ist deshalb obligat. Als Qualitätsindikator wird der Anteil der Kapnometrie inzwischen im Jahresbericht des TraumaRegister DGU® ausgewiesen. Zukünftig sollte flächendeckend die Kapnografie die Kapnometrie als Diagnoseinstrument einer Tubusfehlage und zur Einstellung der Ventilation ersetzen.

1.2.11	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Kapnometrie/-grafie soll prähospital und innerklinisch im Rahmen der endotrachealen Intubation zur Tubuslagekontrolle und danach zur Dislokations- und Beatmungskontrolle angewendet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[69] Helm 2003: LoE 1a [70] Gries 2008: LoE 2a [40] Thierbach 2004: LoE 2a [71] Grmec 2004: LoE 3b [48] Timmermann 2007: LoE 3b [66] Silvestri 2005: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

Die Kapnometrie als auch die Kapnografie haben sowohl prä- als auch innerklinisch einen besonderen Wert bei der Kontrolle der Tubuslage und der Beatmung sowie zur Detektion von Tubusdislokationen. Eine ösophageale Fehllage nach prähospitalen arztbasiertem Intubationsversuch wird in prospektiven Beobachtungsstudien mit einer Wahrscheinlichkeit von 3,2-7,1% angegeben [40, 48, 70, 72]. Es handelt sich bei dieser potentiell lebensbedrohlichen Komplikation also im prähospitalen Umfeld um ein sehr relevantes und nicht seltenes Ereignis. Die Sensitivität und Spezifität der Kapnometrie ist im Vergleich zur Auskultation signifikant besser (100%/100% vs. 64%/96%) [71]. Bestätigt wird dies durch Ergebnisse einer vergleichenden Studie, in der der Anteil nicht erkannter Fehlintubationen bei 23,3% lag, wenn keine Kapnografie angewendet wurde gegenüber einer 100%igen Erfolgsrate bei Anwendung der Kapnografie [66]. Auch eine prospektive Studie mit 97 Traumapatienten konnte zeigen, dass die Überwachung der Beatmung mittels Kapnografie zu einem höheren Anteil normokapnischer Patienten (63,2 vs. 20%, $p < 0,0001$) sowie einem signifikant niedrigeren Anteil hypoventilierter Patienten führt (5,3 vs. 37,5%; $P < 0,0001$) führte [69]. Zusammenfassend bestätigen auch diese Studie die zwingende Notwendigkeit für die prä- und innerklinische Anwendung der Kapnometrie/-grafie. In diesem Zusammenhang sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Prüfung der Funktionstüchtigkeit der zur Narkoseeinleitung verwendeten Geräte inklusive der Kapnografie eine besondere Bedeutung zukommt und im Einklang mit der Empfehlung der DGAI der sogenannte KURZcheck des Anästhesiegerätes auch im Notfall immer vor Einleitung einer Narkose durchgeführt werden muss [73].

Beatmung

1.2.12	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Beim endotracheal intubierten und narkotisierten Traumapatienten soll eine Normoventilation durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[74] Warner 2007: LoE 2a [75] Caulfield 2009: LoE 3b [76] Warner 2008: LoE 4	
	Konsensstärke: 100%	

Die Ventilation nach erfolgreicher Atemwegssicherung hat großen Einfluss auf die Oxygenierung, aber auch auf die Decarboxylierung von beatmeten Patienten. Auch wenn die Oxygenierung insbesondere unmittelbar nach Intubation häufig im Vordergrund steht, hat auch die Steuerung der Decarboxylierung und der damit verbundene Einfluss auf den pH-Wert des Blutes unmittelbaren

Einfluss auf die Morbidität und Letalität des Patienten. Insbesondere bei Patienten mit SHT und erhöhtem Hirndruck führt eine Hypoventilation mit konsekutiver Hyperkapnie zu einer Weitstellung zerebraler Gefäße und in der Folge zu einer Erhöhung des zerebralen Blutvolumens und des Hirndrucks. Auch eine Hyperventilation kann durch zerebrale Vasokonstriktion die Auswirkungen eines SHT verstärken bis hin zu einer Ischämie von Hirnarealen. Vor diesem Hintergrund soll bei der Beatmung von Traumapatienten die Normoventilation Ziel sein. Es konnte in retrospektiven Studien gezeigt werden, dass nur 31% der Patienten bei Ankunft im Schockraum normoventiliert waren und eine Hyperventilation mit einem arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (paCO_2) von <29 mmHg mit einem Anstieg der Letalität um den Faktor 1,6 assoziiert war im Vergleich mit Patienten, deren $\text{paCO}_2 > 29$ mmHg war [74, 75]. Auch prospektiv erhobene Daten zeigten, dass eine Normoventilation in nur 42,6% der Patienten erreicht werden konnte [77]. Eine weitere prospektive Studie bestätigte, dass Traumapatienten und v.a. Patienten mit schwerem SHT von einer Normoventilation profitierten. Der Überlebensvorteil war signifikant höher für Patienten, die bereits bei Ankunft in der Klinik einen paCO_2 von 30-39 mmHg aufwiesen. Eine Hyper- oder Hypoventilation im Verlauf führte dagegen zu einem deutlichen Anstieg der Letalität [76].

1.2.13	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Ab der Schockraumphase soll die Beatmung durch engmaschige arterielle Blutgasanalysen kontrolliert und gesteuert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[74] Warner 2007: LoE 2a [78] Lee 2009: LoE 2a [76] Warner 2008: LoE 4	
	Konsensstärke: 100%	

Der endexpiratorische Kohlendioxid-Wert (etCO_2) wird genutzt, um das Atemminutenvolumen und damit die CO_2 -Extraktion zu steuern. Allerdings konnte eine prospektive Kohortenstudie zeigen, dass es gerade in Anwesenheit eines schweren Traumas, eines schweren Thoraxtraumas, einer Hypotension und einer metabolischer Azidose zu einer Diskrepanz zwischen etCO_2 und paCO_2 kommt [78]. Eine weitere prospektive Beobachtungsstudie mit 180 Patienten zeigte, dass die Korrelation zwischen dem etCO_2 und dem paCO_2 nicht ausreichend war, um Hypoventilationen zu erkennen [79]. 80% der Patienten mit normalen etCO_2 hatten in der ersten Blutgasanalyse einen paCO_2 von >40 mmHg und 30% sogar einen $\text{paCO}_2 > 50$ mmHg. So können sich etCO_2 und paCO_2 z.B. durch eine verminderte Durchblutung der Lunge wie beispielsweise im hämorrhagischen Schock erheblich unterscheiden. Da auch nach Ankunft im Schockraum die klinische Situation von polytraumatisierten und beatmeten Patienten einer erheblichen Dynamik ausgesetzt sein kann, helfen engmaschige Blutgasanalysen, bei diesen Patienten eine Normoventilation anhand des paCO_2 zu erreichen und somit Morbidität und Letalität günstig zu beeinflussen [74, 76]. Auch eine neuere retrospektive Studie konnte zeigen, dass bei 107 Patienten mit schwerem SHT der mittlere etCO_2 - paCO_2 -Gradient 12,7 mmHg betrug [80]. Auch wenn diese Studie aufgrund des Studiendesigns nicht in den Empfehlungsgrad dieser Empfehlung eingeht, ist ein interessanter Aspekt, dass Patienten, die eine prähospitalen paCO_2 -Messung erhielten, bei Ankunft normoventiliert waren. Es wird möglicherweise in den nächsten Jahren die Frage anhand qualitativ hochwertiger Studien zu beantworten sein, ob der nachgewiesene positive Effekt einer Normoventilation auf das Behandlungsergebnis ausreicht, eine generelle prähospitalen Blutgasanalyse bei beatmeten Traumapatienten zu rechtfertigen und zu empfehlen.

Notfallnarkose

1.2.14	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei polytraumatisierten Patienten soll zur endotrachealen Intubation eine Notfallnarkose aufgrund des immanenten Aspirationsrisikos als Rapid Sequence Induction durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[81] Wang 2006: LoE 1b [31] Mort 2005: LoE 2b [82] Lyon 2015: LoE 2b [21] Stephens 2009: LoE 4	
	Konsensstärke: 100%	

Aspiration von Mageninhalt ist bei polytraumatisierten Patienten häufig und kam in einer prospektiven Beobachtungsstudie mit 228 Patienten in 25,4% der Fälle vor [83]. Eine Aspiration wurde als Marker der Verletzungsschwere gewertet und war mit einer erhöhten Letalität assoziiert. Eine ältere Studie aus 2005 verglich die Komplikationsrate bei Notfallintubationen mit elektiven Intubationen: Sowohl Regurgitationen als auch Aspirationen waren unter Notfallbedingungen signifikant höher (Regurgitation: 25 vs. 2,4%, Aspiration: 12,8 vs. 0,8%) [84]. Aus diesem Grund sollte die Notfallnarkose und Intubation des Schwerverletzten als Rapid Sequence Induction (RSI) durchgeführt werden, um schnellstmöglich den Atemweg ohne Zwischenbeatmung zu sichern. Die modifizierte Empfehlung 2022 unterstreicht, dass beim schwerverletzten Patienten immer von einer erhöhten Aspirationsgefahr ausgegangen werden muss, u.a. wegen der Unmöglichkeit, eine präzise und belastbare Anamnese in Bezug auf eine Nüchternheit durchzuführen und dem Umstand, dass bei einem schweren Trauma die Magenentleerung möglicherweise eingeschränkt ist. Eine prospektive multizentrische Studie mit insgesamt 1.941 Patienten verglich das medikamentöse Vorgehen bei der Notfallintubation [81]. Die Gesamt-Erfolgsrate war in der RSI-Gruppe mit Verwendung eines Hypnotikums und eines Relaxans am höchsten (96%). Nur 77% der Patienten konnten intubiert werden, wenn ein Hypnotikum, aber kein Muskelrelaxans appliziert wurde. Am niedrigsten war die Erfolgsrate, wenn die Intubation nicht medikamentös durch eine Notfallnarkose begleitet wurde (73,7%). Eine retrospektive monozentrische Analyse eines Traumaregisters untersuchte über einen Zeitraum von 10 Jahren das Behandlungsergebnis nach endotrachealer Intubation, die als RSI durchgeführt wurde und von einem erfahrenen Anästhesisten supervidiert wurde [21]. Von 6.088 Patienten wurden 6.008 erfolgreich orotracheal (98,7%) und 59 nasotracheal (0,97%) intubiert, sodass die Autoren schlussfolgerten, dass die RSI ein sicheres Verfahren in den Händen Erfahrener ist. Auch eine neuere Studie, die 2 Intubationsregime bei 261 prähospitalen Traumapatienten miteinander verglich, ergab eine Intubationsrate in beiden Gruppen von 100% spätestens nach dem 3. Versuch [85]. In der Zusammenschau führt bei Traumapatienten die Narkoseeinleitung einer RSI mit einem Hypnotikum und einem Relaxans zu einer deutlich höheren Erfolgsrate als eine Intubation ohne Relaxans.

1.2.15	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Etomidat als Einleitungshypnotikum sollte aufgrund der assoziierten Nebenwirkungen auf die Nebennierenfunktion vermieden werden. Ketamin stellt hier meistens eine gute Alternative dar.	
Literatur, Evidenzgrad	[86] Hildreth 2008: LoE 1b [87] Jabre 2009: LoE 1b [88] Cotton 2008: LoE 2b [89] Gäßler 2019: LoE 2b [82] Lyon 2015: LoE 2b [90] Warner 2009: LoE 4	
	Konsensstärke: 100%	

Die Nebenwirkungen von Etomidat auf die Nebennierenfunktion und die Bedeutung für das Behandlungsergebnis auch nach einer einmaligen Gabe sind seit über einem Jahrzehnt Gegenstand von Studien an kritisch kranken Patienten. Eine Studie aus dem Jahr 2008 hat prospektiv und randomisiert die Auswirkungen von Etomidat im Rahmen einer Notfallnarkose bei Traumapatienten mit der Anwendung von Fentanyl und Midazolam verglichen [86]: Bei den insgesamt 30 Patienten zeigte sich, dass die einmalige Gabe von Etomidat in Kombination mit Succinylcholin im Rahmen einer RSI zu signifikant verminderten Kortisolspiegeln 4-6 h nach Gabe führte im Vergleich zu Patienten, die Fentanyl, Midazolam und Succinylcholin erhielten (18,2 vs. 27,8 µg/dL, $p < 0.05$). Auch der Kortisolanstieg nach ACTH-Stimulation fiel signifikant niedriger aus in der Etomidat-Gruppe. Besonders bemerkenswert waren die Auswirkungen auf die Intensivaufenthaltsdauer, die Beatmungstage sowie die Krankenhausverweildauer. Alle drei Parameter waren in der Etomidatgruppe signifikant verlängert trotz der niedrigen Fallzahl, sodass die Autoren schlossen, dass Etomidat als Einleitungshypnotikum bei Traumapatienten vermieden werden sollte. Eine französische prospektive randomisierte Multizenterstudie verglich den Einfluss von Etomidat und Ketamin bei kritisch kranken Patienten und bestätigte, dass Etomidat zu signifikant niedrigen Kortisolspiegeln führt bei gleichen Intubationsbedingungen [91]. In einer retrospektiven Studie erhielten 137 Traumapatienten eine Cosyntropin-Stimulation zur Diagnostik einer Nebenniereninsuffizienz [88]. Es zeigte sich, dass die Gabe von Etomidat signifikant mit einer Nebenniereninsuffizienz assoziiert war. Eine weitere prospektive Kohortenstudie verglich die Gabe von Etomidat + Succinylcholin (Gruppe 1) mit Fentanyl + Ketamin + Rocuronium (Gruppe 2) zur RSI prähospitaler Traumapatienten ($n=261$) [85]. Neben signifikant besseren Intubationsbedingungen waren hypertensive Blutdruckveränderungen in Gruppe 2 seltener. Hypotonien waren insgesamt selten, allerdings in Gruppe 2 signifikant erhöht. Da das Einleitungsprozedere sich in mehr als einem Medikament unterschieden hat und in Gruppe 1 kein Analgetikum appliziert wurde, lässt sich nicht abschließend anhand dieser Daten klären, welche Konstellation zu den besseren Intubationsbedingungen beigetragen hat. Die Sicherheit alternativer Einleitungsregime ohne Etomidat zur RSI von Traumapatienten konnte allerdings mit dieser Studie bestätigt werden. Eine retrospektive Studie konnte zeigen, dass die Gabe von Etomidat bei hypotensiven Traumapatienten häufiger mit einem Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) und mit einem Multiorganversagen assoziiert war [90]. Eine retrospektive Registerstudie identifizierte Etomidat als unabhängigen Risikofaktor für eine Nebenniereninsuffizienz. Eine neue retrospektive Registerstudie mit 1.697 Traumapatienten von 2019 konnte keine Assoziation einer Etomidatgabe mit einer erhöhten Morbidität und Letalität feststellen [92]. Allerdings war die einzelne Gabe von Etomidat mit einer signifikant erhöhten Krankenhausverweildauer assoziiert, sodass auch diese Studie einen negativen Einfluss von Etomidat auf den Krankheitsverlauf von Traumapatienten detektierte. Damit obliegt es dem Behandler, ob er ein potentiell mit negativen Einflüssen assoziiertes Medikament trotz bestehender guter Alternativen zur Anwendung bringt.

Neben Studien, die einen Einfluss von Etomidat auf das Behandlungsergebnis von kritisch kranken Patienten nachweisen, gibt es Studien, die keinen Effekt zeigen konnten, wie z.B. eine retrospektive Studie, die die Letalität, die ICU-freien und beatmungsfreien Tage von Traumapatienten vor und nach Ersetzen von Etomidat durch Ketamin untersucht haben und keinen Unterschied feststellen konnten [93]. Auch eine Metaanalyse schlussfolgerte, dass die aktuelle Datenlage die Bedeutung von Etomidat für das Behandlungsergebnis von Traumapatienten nicht abschließend beurteilen lässt und empfiehlt, dass Etomidat zur RSI nur bei Fehlen von alternativen Hypnotika bzw. bei fehlender Erfahrung mit diesen Alternativen eingesetzt werden sollte. Zudem fordern die Autoren, dass die Anwendung von Etomidat auf randomisierte, kontrollierte Studien beschränkt sein sollte [94].

Halswirbelsäulenimmobilisation während der Atemwegssicherung

1.2.16	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Zur endotrachealen Intubation sollte die manuelle In-line-Stabilisation unter temporärer Aufhebung der Immobilisation mittels HWS-Immobilisationsschiene durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[95] Santoni 2009: LoE 3b [96] Manoach 2007: LoE 5	
	Konsensstärke: 100%	

Die Versorgung mittels Halswirbelsäulen(HWS)-Immobilisationsschiene gehört bei traumatisierten Patienten mit vermuteter Beteiligung der Halswirbelsäule zu einem standardisierten Vorgehen. Allerdings erschwert die HWS-Immobilisation die Atemwegssicherung, u.a. durch die gewünschte Einschränkung der Reklination, aber auch der Mundöffnung. Um die Intubation zu erleichtern, wurde die manuelle In-Line-Stabilisierung (MILS) eingeführt, also die Aufrechterhaltung der achsengerechten Lagerung der HWS unter Öffnen der Zervikalstütze. Dieses Vorgehen erleichtert die Mundöffnung, hat aber auch laut zweier Studien negative Effekte auf die Intubationsbedingungen [95, 96]. Auch wenn prospektive kontrollierte Studien bei Traumapatienten bisher fehlen, gibt es gute Hinweise, dass die Videolaryngoskopie (VL) bei MILS der HWS von Vorteil ist. So konnte in einer randomisierten Crossover-Studie festgestellt werden, dass durch Anwendung des hyperangulierten Spatels eines Videolaryngoskops im Vergleich mit einem konventionellen MacIntosh-Spatel bei 20 Patienten mit simulierter HWS-Immobilisation die Bewegung im Occiput-C1-Segment um 44% reduziert werden konnte [97]. Eine Metaanalyse, die 5 verschiedene videoassistierte Laryngoskope mit dem Macintosh-Laryngoskop verglich, zeigte, dass insgesamt der Einsatz einer VL mit einer höheren Intubationsrate bei HWS-Immobilisation einherging. Ein erhöhter First Pass Success (FPS) der Intubationen, eine kürzere Intubationszeit, eine höhere Rate an einer Intubationsicht mit einem Cormack/Lehane Grad 1 sowie eine niedrigere Komplikationsrate konnten jedoch nur für ein Gerät nachgewiesen werden [98]. Vor diesem Hintergrund sind die Vor- und Nachteile der MILS als auch die Bedeutung der VL noch nicht vollständig mit hochwertigen Studien beleuchtet, sodass der GoR und der Evidenzgrad dieser Empfehlung unverändert geblieben ist.

Innerklinisch hat bei einer vermuteten HWS-Verletzung die fiberoptische Intubation, wenn möglich bei erhaltener Spontanatmung und bei fehlender Vigilanzstörung, als Goldstandard nach wie vor einen sehr hohen Stellenwert. Allerdings ist als Voraussetzung neben der Durchführung durch einen erfahrenen Anwender auch in die Entscheidung zur Fiberoptik mit einzubeziehen [99, 100], dass für dieses Verfahren ein gewisser Zeitrahmen vorhanden sein muss, der durch perakute Rahmenbedingungen (z.B. lebensbedrohliche Hypoxie) begrenzt sein kann.

Einsatz der Videolaryngoskopie beim Traumapatienten

1.2.17	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Videolaryngoskopie sollte zur besseren Einstellbarkeit der Stimmbandebene und Optimierung des primären Intubationserfolges prähospital und innerklinisch eingesetzt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[101] Goksu 2016, LoE 1b [102] Michailidou 2015: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

Der Stellenwert der VL für die endotracheale Intubation traumatisierter Patienten wurde erstmals in der LL 2016 hervorgehoben und in der modifizierten aktuellen Fassung noch einmal konkretisiert: Gestützt wird diese Empfehlung durch eine Reihe von Studien. Eine prospektive Kohortenstudie verglich die VL (n=76) mit der direkten Laryngoskopie (DL, n=71) [102]: In der VL-Gruppe gelang die endotracheale Intubation nach einem oder mehreren Versuchen signifikant häufiger als in der DL-Gruppe (88 vs. 83%, $p < 0,05$). Dieser Effekt wurde noch verstärkt, wenn Subgruppen mit einem schwierigen Atemweg oder einer HWS-Immobilisation analysiert wurden. In einer weiteren retrospektiven Studie mit 2.423 Patienten einer Notaufnahme wurde der Effekt der VL auf den FPS untersucht in Anwesenheit von keinem, einem Merkmal oder mehreren Merkmalen eines schwierigen Atemweges [103]: In allen Gruppen war die VL der DL signifikant überlegen. Eine retrospektive Analyse prospektiv erhobener Daten verglich anhand 11.714 Intubationen in Notaufnahmen die VL ohne weitere Hilfsmittel mit der DL, die durch weitere Hilfsmittel wie einem Bougie oder Lagerungsmanövern unterstützt wurde [104]. Es zeigte sich in der VL-Gruppe ein signifikant häufigerer FPS gegenüber der DL-Gruppe (90,9 vs. 81,1%). Auch eine Reihe prospektiver Studien hat den Einsatz der VL im Vergleich zur DL untersucht: So wurden jeweils 76 prähospitaler Patienten nach Randomisierung mit Einsatz der VL bzw. der DL durch Notärzte intubiert und die Rate der FPS, die Dauer bis zum FPS sowie die Öffnung des Glottis und die Intubationssicht berichtet [105]. Die VL war in Bezug auf den FPS signifikant erfolgreicher (95 vs. 79%, $p = 0,007$) als auch 3 Sekunden schneller (15,5 vs. 18,5 sec., $p = 0,01$). Zudem war die Sicht auf die Glottis im ersten Versuch signifikant besser. In einer weiteren Studie wurden prospektiv 196 Patienten einer Notaufnahme hinsichtlich des Unterschiedes der DL und VL in Bezug auf den FPS untersucht [106]. Interessanterweise konnte kein Unterschied bei Notfallintubationen festgestellt werden. Allerdings schränkten die Autoren die Aussagekraft ihrer Studie selbst ein, da aus ihrer Sicht die Studie aufgrund der niedrigen Fallzahl unterpower war. Zudem wurden nur Patienten randomisiert, die primär für eine DL geplant waren, sodass möglicherweise erwartbar schwierige Intubationen vor der Randomisierung bereits ausgeschlossen waren. Sulser et al. [107] untersuchten 147 Patienten einer Notaufnahme, die während einer RSI mittels DL oder VL intubiert werden mussten. Es gab keinen Unterschied zwischen der DL- und VL-Gruppe in Bezug auf den FPS oder die Zeit bis zur Intubation, allerdings war die Sicht auf die Glottis in der VL-Gruppe signifikant besser. Auch wenn die genannten Studien ein relativ eindeutiges Bild zugunsten der VL ergeben, ist die Interpretation mit Fokus auf traumatisierte Patienten eingeschränkt. So wurden in der zuletzt genannten Studie explizit Patienten, die ein HWS- oder Mittelgesichts trauma erlitten haben, ausgeschlossen. Vor diesem Hintergrund ist die Studie von Goksu et al. [101] wichtig, die prospektiv randomisiert bei Patienten mit stumpfen Trauma die Intubation mit DL und VL verglichen haben: Bei 150 eingeschlossenen Traumapatienten war der FPS sowie die Zeit bis zur Intubation gleich. Allerdings war die Visualisierung der Glottis signifikant besser ($p = 0,002$) und die Zahl der Fehlintubationen ($p = 0,013$) signifikant niedriger bei Verwendung der VL. Zusammenfassend sprechen die prospektiven Studien von Michailidou et al. [102] und Goksu et al. [101] dafür, dass die VL bei traumatisierten Patienten Vorteile bietet und deshalb prähospital und innerklinisch eingesetzt werden sollte.

Eingeschränkt werden kann die VL durch besondere Umstände wie einfallendes Sonnenlicht oder auch Verschmutzung der Optik durch Blut und Sekret [108]. Vor diesem Hintergrund ist primär der videolaryngoskopische Einsatz des normalangulierten Spatels (Macintosh-like Spatel) empfohlen, da er ohne Zeitverlust die DL ermöglicht. Ein hyperangulierter Spatel sollte zum Einsatz kommen, wenn mittels VL oder DL keine Intubation gelingt. Diese Empfehlung impliziert, dass eine VL mit konventionellem (Macintosh-like) und hyperanguliertem Spatel sowohl prähospital als auch innerklinisch vorgehalten werden sollte.

Definitive innerklinische Atemwegssicherung bei extraglottischem Atemweg

1.2.18	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Ein prähospital eingebrachter extraglottischer Atemweg sollte unmittelbar innerklinisch mittels Videolaryngoskop in eine endotracheale Intubation überführt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Sowohl Larynxmasken als auch Larynxtuben haben einen zentralen Stellenwert im Atemwegsmanagement des traumatisierten Patienten, v.a. zur Sicherstellung der Oxygenierung und Ventilation bei Misslingen der endotrachealen Intubation als alternative Methode. Eine prospektive Beobachtungsstudie untersuchte die Häufigkeit von Komplikationen durch prähospital angewendete Larynxtuben bei 189 Patienten [57]. Der Cuffdruck betrug im Median 100 mmHg und überstieg deutlich die empfohlene Obergrenze (60 mmHg). In 38,6% der Fälle kam es zu einer signifikanten Zungenschwellung, die bei zwei Patienten zu einer „cannot ventilate, cannot oxygenate“-Situation führte. Ein weiterer Patient musste im Verlauf aufgrund der langen Liegezeit des Larynxtubus tracheotomiert werden. Bei 50 Patienten (26,4%) kam es zu einem massiven Aufblähen des Magens, die bei 5 Patienten zu einer Hypoventilation ($\text{etCO}_2 > 60$ mmHg) oder sogar zu einer Unmöglichkeit der Ventilation ($\text{etCO}_2 < 10$ mmHg) führte bei noch erhaltener Oxygenierung. In diesen Fällen wurden Larynxtuben ohne separaten Kanal zur Absaugung des Magens verwendet. Bei 20 Patienten (10,6%) kam es durch Torquierung des Larynxtubs bei Lagerungsmanövern zu einer relevanten Verschlechterung der Beatmungssituation, die in kurzer Zeit behoben werden konnte.

Da v.a. die Schwellung der Zunge dynamisch mit zunehmender Verlegung des Atemweges einhergehen kann, sollte innerklinisch unmittelbar die definitive Atemwegssicherung mittels endotrachealer Intubation angestrebt werden. Eine retrospektive monozentrische Studie untersuchte die Häufigkeit verschiedener Lösungsstrategien bei 56 schwerverletzten Patienten [109]. Davon wurden 20 Patienten tracheotomiert und 38 intubiert, wobei dies bei 10 Patienten via DL, bei 6 unter zu Hilfenahme eines Bougies, bei 9 mittels VL und bei 11 mit bronchoskopischer Hilfe gelang. Eine prospektive, randomisierte Studie verglich die endo- und extraluminale fiberoptisch geführte Umintubation eines Larynxtubus in einem Simulationsmodell [110]. Auch wenn die endoluminale Platzierung eines Intubationskatheters durchschnittlich schneller gelang, scheiterte in 4 von 30 Fällen die Intubation unabhängig vom Vorgehen. Eine proof-of-concept-Studie untersuchten die Aufzeichnungen von VL, bei denen Patienten nach Visualisieren der Glottis am entlüfteten Larynxtubus vorbei über einen platzierten Bougie intubiert wurden [111]. Die Erfolgsrate lag bei 100%. Eine weitere retrospektive Studie untersuchte 580 Verläufe bei Patienten, die prähospital mit einem Larynxtubus versorgt wurden [112]. 3% der Patienten waren schwerverletzt und 21% hatten eine Verletzung des Kopfes, des Halses oder des Mittelgesichtes. Im Rahmen der Umintubation kam es in <1% zur Notwendigkeit eines chirurgischen Atemweges. In 88% wurde für die Umintubation ein Videolaryngoskop verwendet und

in 68% ein Bougie. Bei 60% der Patienten wurde der Larynxtubus während der Umintubation entfernt, bei 19% der Patienten wurde der Larynxtubus mit evakuiertem Cuff belassen.

Die aktuelle Studienlage lässt eine eindeutige Empfehlung für das technische Vorgehen bei Patienten mit prähospitalen Larynxtubus oder anderen extraglottischen Atemwegen im Schockraum nicht zu. Aus Sicht der Autoren ist die Visualisierung der Glottisebene mit Hilfe des Videolaryngoskopes bei evakuiertem Cuff des extraglottischen Atemweges ein schneller und sicherer Weg, um über einen endotracheal eingebrachten Bougie die Intubation zu realisieren. Zudem ermöglicht das Belassen des Larynxtubus das erneute Blocken des Cuffs mit nachfolgender Ventilation und Oxygenierung des Patienten im Sinne einer Rückfallebene [113].

Tubuslagekontrolle

1.2.19	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Besteht bei der Beurteilung der korrekten Tubuslage mittels Kapnografie Unsicherheit (z.B. bei schwersten Schockzuständen, Hypothermie, CPR oder vermutetem Gerätedefekt), soll unverzüglich die Tubuslage mittels Videolaryngoskopie oder alternativ mittels Bronchoskopie kontrolliert werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Die nicht erkannte Fehllage des Endotrachealtubus kann innerhalb kürzester Zeit zu einer schweren Hypoxämie mit möglicherweise irreversiblen Schäden des Patienten bis hin zum Tode führen [72]. Bei schwerverletzten Patienten ist die nicht erkannte ösophageale Fehllage des Endotrachealtubus vergleichsweise häufig und wird in prospektiven Beobachtungsstudien arztgestützter Intubationen mit einer Häufigkeit von 3,2-7,1% angegeben [40, 48, 70]. Der wesentliche diagnostische Schritt zur Verifizierung der korrekten Tubuslage ist neben der Intubation unter Sicht die Messung des etCO₂. Dabei spielt neben der Kapnometrie die Kapnografie eine wesentliche Rolle. So konnte in einer älteren prospektiven Studie bei 246 Patienten, die einen Herzkreislaufstillstand hatten, gezeigt werden, dass die Kapnografie zur Detektion der Tubuslage eine 100%ige Sensitivität und Spezifität hatte im Gegensatz zur Kapnometrie (Sensitivität 100%, Spezifität 83%) [114]. Eine weitere prospektive Studie von Gmrec et al. [71] untersuchte bei 81 prähospitalen Patienten (schweres SHT: n=56, Mittelgesichtstrauma: n=6, Polytrauma: n=17) die Sensitivität und Spezifität der Auskultation, der Kapnometrie sowie der Kapnografie in Bezug auf die korrekte Tubuslage. Es zeigte sich, dass sowohl die Kapnometrie als auch die Kapnografie eine 100%-ige Sensitivität und Spezifität hatten. Die Auskultation unterschied sich signifikant (Sensitivität 94%, Spezifität 66%, p<0,01). Eine Metaanalyse, die die Bestätigung der Tubuslage durch eine Kapnografie untersuchte, stellte jedoch fest, dass bei 2.192 Notfallintubationen die Sensitivität bei 93% und die Spezifität bei 96% lag [115]. Es ist davon auszugehen, dass bei sehr niedrigen etCO₂-Werten (z.B. extreme Schockzustände bei schwerster Hämorrhagie oder CPR), aber auch bei tiefer Hypothermie oder bei einem vermuteten Gerätedefekt die korrekte Interpretation des ermittelten Befundes schwierig sein kann. Vor diesem Hintergrund soll bei Unsicherheit bezüglich der Tubuslage trotz Kapnografie aus Sicht der Autoren die unmittelbare Verifizierung der Tubuslage durch Visualisierung mittels VL oder alternativ mittels Bronchoskopie erfolgen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Video-Dokumentation der erfolgreichen Intubation mittels VL möglicherweise gerade bei dramatischen klinischen Szenarien, wie sie gehäuft im Schockraum vorkommen, in den nächsten Jahren einen höheren juristischen Stellenwert bekommen könnte. Neben dem Vorteil, dass der intubierende Arzt einen Beweis für die korrekte endotracheale Intubation vorliegen hätte, könnte dieser wesentliche Schritt des Atemwegsmanagements durch Anbindung an klinikübliche digitale Archivierungssysteme (z.B. Picture

Archiving and Communication System; PACS) gespeichert werden. Zudem wird bei der Intubation durch VL das Vier-Augen-Prinzip ermöglicht, das insbesondere bei schlechter Visualisierung die Entscheidung für oder gegen eine Maßnahme auf eine breitere Basis stellt und mehr Handlungssicherheit generiert.

Notfallkoniotomie

1.2.20	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Eine Koniotomie sollte in chirurgischer Technik durchgeführt werden. Besteht ein besonderer Übungsstand mit einer anderen Koniotomie-Technik, kann diese angewendet werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Notfallkoniotomie ist potentiell lebensrettend und wird bei Versagen aller anderen Maßnahmen als „ultima ratio“ zur Sicherung der Ventilation und Oxygenierung des Patienten durchgeführt. Da die Notwendigkeit zur Notfallkoniotomie laut retrospektiver Studien selten (<1%) ist [15, 21, 116], und sie aufgrund des innerhalb von Minuten drohenden irreversiblen hypoxischen Schadens des Patienten durch maximalen Zeitdruck charakterisiert ist, erscheint die Auswahl des Notfallkoniotomie-Verfahrens von besonderer Bedeutung. Da auch in näherer Zukunft keine prospektiven, randomisierten Studien mit adäquater Fallzahl zu erwarten sind, geben retrospektive Studien, Mannequin-/Kadaverstudien sowie Expertenmeinungen wichtige Hinweise auf das adäquate Vorgehen: Hubble et al. [117] untersuchten in einer Metanalyse 22 Studien, die die Erfolgsrate der chirurgischen Koniotomie (18 Studien; n=485) und der Punktionskoniotomie verglichen (4 Studien; n=27). Bei starker Heterogenität der Studienqualität ergab die Erfolgsrate der Punktionskoniotomien 65,8% und der chirurgischen Notfallkoniotomie 90,8%. Wurden nur ärztlich durchgeführte Notfallkoniotomie betrachtet, stieg die Erfolgsrate sogar auf 97,1%. Eine Kadaverstudie bestätigte, dass die chirurgische Notfallkoniotomie eine höhere Erfolgsrate hatte [118]. 20 koniotope-naive Studierende führten nach standardisiertem Training randomisiert an 60 Kadavern 3 Koniotomie-Techniken aus. Die chirurgische Notfallkoniotomie war in 95% der Fälle erfolgreich, während die Punktionsstechniken signifikant seltener zum Erfolg führten (Melker 50%, Quicktrach II 55%, p=0,025). Eine weitere randomisierte Crossover-Studie an einem Larynxmodell zeigte, dass Anästhesisten (n=20) mit der chirurgischen Technik signifikant schneller einen Atemweg schaffen konnten als mit der Punktionsstechnik (54 ±31 vs. 89 ±38 sec., p=0,003) [119]. Ein weiteres Ergebnis war, dass die Ärzte, die in den 12 Monaten vor der Untersuchung an einem Koniotomie-Training teilgenommen hatten, sowohl mit der chirurgischen Technik als auch mit der Punktionsstechnik schneller einen Atemweg etablieren konnten als Untrainierte (chir. Notfallkoniotomie: 37 vs. 61 sec., p= 0,03; Punktionskoniotomie: 65 vs. 99 sec., p=0,02). Eine Kadaverstudie untersuchte die Erfolgsrate, die Prozedurdauer sowie die Komplikationsrate einer Punktionsstechnik im Vergleich zur chirurgischen Technik [120]. Auch hier zeigte sich ein signifikanter Vorteil für die chirurgische Technik (Erfolgsrate: 67 vs. 100%; p= 0,04; Komplikationen: 67 vs. 13%). Auffällig war v.a. die Häufung schwerer Komplikationen (Ösophagusperforation, Perforation der trachealen Hinterwand) durch die Punktionsstechnik.

In der Zusammenschau sollte die Koniotomie in chirurgischer Technik durchgeführt werden. Ein besonderer Trainingsstand rechtfertigt die Anwendung anderer Koniotomietechniken. Es gibt Hinweise, dass regelmäßiges (z.B. jährliches Training) den Erfolg der Notfallkoniotomie erhöht.

1.2.21	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei jeder Intubation des Polytraumatisierten durch Video-/Laryngoskopie sollte ein Führungsstab oder „Bougie“ verwendet werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Wie bereits im Hintergrundtext 1.2.9 betont, geht eine steigende Anzahl von Intubationsversuchen mit einer erhöhten Komplikationsrate und Letalität einher [60]. Aus diesem Grund sind Maßnahmen bei der Intubation von traumatisierten Patienten sinnvoll, die die Wahrscheinlichkeit für eine hohen FPS erhöhen. Neben der VL hat der Führungsstab als auch der sog. Bougie, also ein elastischer Stab zur Sondierung des Larynxeingangs, einen Stellenwert. So war eine erhöhte Rate an FPS mit konventioneller Intubation in der Notaufnahme in einer retrospektiven Studie mit 432 Patienten mit der Verwendung eines Bougie assoziiert (95% vs. 86%) [121]. Zwei weitere prospektiv randomisierte Studien der gleichen Arbeitsgruppe kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen: Während in einer monozentrischen Studie mit 757 Patienten in 2018 gezeigt werden konnte, dass Notfallmediziner signifikant häufiger mittels Bougie einen FPS erzielen konnten als mit einem Führungsstab (98% vs. 87%) [122], konnte 3 Jahre später dieser Effekt in einer multizentrischen Studie mit 1.102 eingeschlossenen Patienten nicht bestätigt werden [123]. Auch eine Subgruppenanalyse, die zum einen Patienten mit schwierigem Atemweg und zum anderen Patienten, die mittels VL intubiert wurden, analysierte, konnte keinen Unterschied beider Hilfsmittel detektieren. Ob das Studiendesign (monozentrisch vs. multizentrisch), die intubierenden Fachdisziplinen (Notfallmediziner, Intensivmediziner) oder der Weiterbildungsstand der Ärzte ursächlich für diese Diskrepanz war, ist nicht abschließend geklärt. Eine Metaanalyse zeigte, dass bei prähospitalen Intubationen der Bougie insbesondere bei Verwendung der VL in Bezug auf den FPS von Vorteil ist [124]. Eine weitere Metanalyse mit 5 randomisierten Studien und insgesamt 1.038 Patienten konnte allerdings keinen signifikanten Unterschied bei der Anwendung eines Führungsstabes oder Bougies in Bezug auf den FPS, der Intubationsdauer sowie der Häufigkeit von Komplikationen feststellen [125]. Zusammenfassend gibt es anhand der aktuellen Studienlage keine eindeutigen Hinweise auf ein zu bevorzugendes Hilfsmittel. Da keine der genannten Studien auf prä- oder innerklinische Schwerverletzte fokussiert hat, wurde die Empfehlung als GPP formuliert.

Literatur

1. Badjatia N, Carney N, Crocco TJ, Fallat ME, Hennes HM, Jagoda AS, et al. Guidelines for prehospital management of traumatic brain injury 2nd edition. *Prehosp Emerg Care*. 2008;12 Suppl 1:S1-52.
2. Dunham CM, Barraco RD, Clark DE, Daley BJ, Davis FE, 3rd, Gibbs MA, et al. Guidelines for emergency tracheal intubation immediately after traumatic injury. *J Trauma*. 2003;55(1):162-79.
3. Nolan J, European Resuscitation C. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 1. Introduction. *Resuscitation*. 2005;67 Suppl 1:S3-6.
4. American College of SaTCo. ATLS : advanced trauma life support for doctors : student course manual. American College of Surgeons. 2008.
5. Lott C, Araujo R, Cassar MR, Di Bartolomeo S, Driscoll P, Esposito I, et al. The European Trauma Course (ETC) and the team approach: past, present and future. *Resuscitation*. 2009;80(10):1192-6.
6. Wöfl C, Gliwitzky B, Wentzensen A. Standardised primary care of multiple trauma patients. Prehospital trauma life support und advanced trauma life support. *Der Unfallchirurg*. 2009;112(10):846-53.
7. Bernhard M, Bein B, Böttiger BW, Bohn A, Fischer M, Gräsner JT, et al. Handlungsempfehlung zur prähospitalen Notfallnarkose beim Erwachsenen. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2015;18(5):395-412.
8. Timmermann A BB, Byhahn C, Döriges V, Eich C, Gräsner JT et al. S1-Leitlinie: Prähospitaler Atemwegsmanagement (Kurzfassung). *Anästh Intensivmed*. 2019;60:316–36.
9. Bernard SA, Nguyen V, Cameron P, Masci K, Fitzgerald M, Cooper DJ, et al. Prehospital rapid sequence intubation improves functional outcome for patients with severe traumatic brain injury: a randomized controlled trial. *Ann Surg*. 2010;252(6):959-65.
10. Chou D, Harada MY, Barmparas G, Ko A, Ley EJ, Margulies DR, et al. Field intubation in civilian patients with hemorrhagic shock is associated with higher mortality. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2016;80(2):278-82.
11. Denninghoff KR, Nuno T, Pauls Q, Yeatts SD, Silbergleit R, Palesch YY, et al. Prehospital Intubation is Associated with Favorable Outcomes and Lower Mortality in ProTECT III. *Prehospital Emergency Care*. 2017;21(5):539-44.
12. Gravesteyn BY, Sewalt CA, Nieboer D, Menon DK, Maas A, Lecky F, et al. Tracheal intubation in traumatic brain injury: a multicentre prospective observational study. *British Journal of Anaesthesia*. 2020;125(4):505-17.
13. Schauer SG, April MD, Tannenbaum LI, Maddry J, Cunningham CW, Blackburn MB, et al. A Comparison of Prehospital Versus Emergency Department Intubations in Iraq and Afghanistan. *Journal of Special Operations Medicine*. 2019;19(2):87-90.
14. Schauer SG, Naylor JF, Maddry JK, Beaumont DM, Cunningham CW, Blackburn MB, et al. Prehospital Airway Management in Iraq and Afghanistan: A Descriptive Analysis. *Southern medical journal*. 2018;111(12):707-13.
15. Sise MJ, Shackford SR, Sise CB, Sack DI, Paci GM, Yale RS, et al. Early intubation in the management of trauma patients: indications and outcomes in 1,000 consecutive patients. *J Trauma*. 2009;66(1):32-9; discussion 9-40.
16. Wang HE, Brown SP, MacDonald RD, Dowling SK, Lin S, Davis D, et al. Association of out-of-hospital advanced airway management with outcomes after traumatic brain injury and hemorrhagic shock in the ROC hypertonic saline trial. *Emerg Med J*. 2014;31(3):186-91.
17. Ruchholtz S, Waydhas C, Ose C, Lewan U, Nast-Kolb D. Prehospital intubation in severe thoracic trauma without respiratory insufficiency: a matched-pair analysis based on the Trauma Registry of the German Trauma Society. *J Trauma*. 2002;52(5):879-86.
18. Bernard S, Smith K, Foster S, Hogan P, Patrick I. The use of rapid sequence intubation by ambulance paramedics for patients with severe head injury. *Emerg Med (Fremantle)*. 2002;14(4):406-11.

19. Frankel H, Rozycki G, Champion H, Harviel JD, Bass R. The use of TRISS methodology to validate prehospital intubation by urban EMS providers. *The American journal of emergency medicine.* 1997;15(7):630-2.
20. Klemen P, Grmec S. Effect of pre-hospital advanced life support with rapid sequence intubation on outcome of severe traumatic brain injury. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2006;50(10):1250-4.
21. Stephens CT, Kahntroff S, Dutton RP. The success of emergency endotracheal intubation in trauma patients: a 10-year experience at a major adult trauma referral center. *Anesth Analg.* 2009;109(3):866-72.
22. Ruchholtz S, Waydhas C, Ose C, Lewan U, Nast-Kolb D, Working Group on Multiple Trauma of the German Trauma S. Prehospital intubation in severe thoracic trauma without respiratory insufficiency: a matched-pair analysis based on the Trauma Registry of the German Trauma Society. *J Trauma.* 2002;52(5):879-86.
23. Gravesteyn BY, Sewalt CA, Nieboer D, Menon DK, Maas A, Lecky F, et al. Tracheal intubation in traumatic brain injury: a multicentre prospective observational study. *Br J Anaesth.* 2020;125(4):505-17.
24. Schauer SG, April MD, Tannenbaum LI, Maddry J, Cunningham CW, Blackburn MB, et al. A Comparison of Prehospital Versus Emergency Department Intubations in Iraq and Afghanistan. *J Spec Oper Med.* 2019;19(2):87-90.
25. Schauer SG, Naylor JF, Maddry JK, Beaumont DM, Cunningham CW, Blackburn MB, et al. Prehospital Airway Management in Iraq and Afghanistan: A Descriptive Analysis. *Southern medical journal.* 2018;111(12):707-13.
26. Chou D, Harada MY, Bamparas G, Ko A, Ley EJ, Margulies DR, et al. Field intubation in civilian patients with hemorrhagic shock is associated with higher mortality. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016;80(2):278-82.
27. Haltmeier T, Benjamin E, Siboni S, Dilektasli E, Inaba K, Demetriades D. Prehospital intubation for isolated severe blunt traumatic brain injury: worse outcomes and higher mortality. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2017;43(6):731-9.
28. Pacheco GS, Hurst NB, Patanwala AE, Hypes C, Mosier JM, Sakles JC. First Pass Success Without Adverse Events Is Reduced Equally with Anatomically Difficult Airways and Physiologically Difficult Airways. *West J Emerg Med.* 2021;22(2):360-8.
29. Mosier JM, Joshi R, Hypes C, Pacheco G, Valenzuela T, Sakles JC. The Physiologically Difficult Airway. *The western journal of emergency medicine.* 2015;16(7):1109-17.
30. Elmer J, Brown F, Martin-Gill C, Guyette FX. Prevalence and Predictors of Post-Intubation Hypotension in Prehospital Trauma Care. *Prehosp Emerg Care.* 2020;24(4):461-9.
31. Mort TC. Preoxygenation in critically ill patients requiring emergency tracheal intubation. *Critical care medicine.* 2005;33(11):2672-5.
32. Mort TC, Waberski BH, Clive J. Extending the preoxygenation period from 4 to 8 mins in critically ill patients undergoing emergency intubation. *Critical care medicine.* 2009;37(1):68-71.
33. Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (2015). Prähospitaler Notfallnarkose beim Erwachsenen. <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/001-030.html> 2015. Available from: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/001-030.html>.
34. Mort TC, Waberski BH, Clive J. Extending the preoxygenation period from 4 to 8 mins in critically ill patients undergoing emergency intubation*. *Critical care medicine.* 2009;37:68-71.
35. Weingart SD, Trueger NS, Wong N, Scofi J, Singh N, Rudolph SS. Delayed sequence intubation: a prospective observational study. *Ann Emerg Med.* 2015;65(4):349-55.
36. Crewdson K, Heywoth A, Rehn M, Sadek S, Lockey D. Apnoeic oxygenation for emergency anaesthesia of pre-hospital trauma patients. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine.* 2021;29(1):10.
37. Baillard C, Fosse JP, Sebbane M, Chanques G, Vincent F, Courouble P, et al. Noninvasive ventilation improves preoxygenation before intubation of hypoxic patients. *American journal of respiratory and critical care medicine.* 2006;174(2):171-7.

38. Baillard C, Prat G, Jung B, Futier E, Lefrant JY, Vincent F, et al. Effect of preoxygenation using non-invasive ventilation before intubation on subsequent organ failures in hypoxaemic patients: a randomised clinical trial. *British Journal of Anaesthesia*. 2018;120(2):361-7.
39. Gander S, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR, Magnusson L. Positive end-expiratory pressure during induction of general anesthesia increases duration of nonhypoxic apnea in morbidly obese patients. *Anesth Analg*. 2005;100(2):580-4.
40. Thierbach A, Piepho T, Wolcke B, Kuster S, Dick W. [Prehospital emergency airway management procedures. Success rates and complications]. *Anaesthesist*. 2004;53(6):543-50.
41. Helm M, Hossfeld B, Schafer S, Hoitz J, Lampl L. Factors influencing emergency intubation in the pre-hospital setting--a multicentre study in the German Helicopter Emergency Medical Service. *Br J Anaesth*. 2006;96(1):67-71.
42. Timmermann A, Eich C, Russo SG, Natge U, Brauer A, Rosenblatt WH, et al. Prehospital airway management: a prospective evaluation of anaesthesia trained emergency physicians. *Resuscitation*. 2006;70(2):179-85.
43. Schmidt UH, Kumwilaisak K, Bittner E, George E, Hess D. Effects of supervision by attending anesthesiologists on complications of emergency tracheal intubation. *Anesthesiology*. 2008;109(6):973-7.
44. Bossers SM, Schwarte LA, Loer SA, Twisk JW, Boer C, Schober P. Experience in Prehospital Endotracheal Intubation Significantly Influences Mortality of Patients with Severe Traumatic Brain Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PloS one*. 2015;10(10):e0141034.
45. Lockey D, Crewdson K, Weaver A, Davies G. Observational study of the success rates of intubation and failed intubation airway rescue techniques in 7256 attempted intubations of trauma patients by pre-hospital physicians. *Br J Anaesth*. 2014;113(2):220-5.
46. Pakkanen T, Nurmi J, Huhtala H, Silfvast T. Prehospital on-scene anaesthetist treating severe traumatic brain injury patients is associated with lower mortality and better neurological outcome. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2019;27(1):9.
47. Konrad C, Schupfer G, Wietlisbach M, Gerber H. Learning manual skills in anesthesiology: Is there a recommended number of cases for anesthetic procedures? *Anesth Analg*. 1998;86(3):635-9.
48. Timmermann A, Russo SG, Eich C, Roessler M, Braun U, Rosenblatt WH, et al. The out-of-hospital esophageal and endobronchial intubations performed by emergency physicians. *Anesth Analg*. 2007;104(3):619-23.
49. Bernhard M, Mohr S, Weigand MA, Martin E, Walther A. Developing the skill of endotracheal intubation: implication for emergency medicine. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2012;56(2):164-71.
50. Mulcaster Julian T, Mills J, Hung Orlando R, MacQuarrie K, Law JA, Pytko S, et al. Laryngoscopic Intubation: Learning and Performance. *Anesthesiology*. 2003;98(1):23-7.
51. Mohr S, Weigand MA, Hofer S, Martin E, Gries A, Walther A, et al. Developing the skill of laryngeal mask insertion: prospective single center study. *Anaesthesist*. 2013;62(6):447-52.
52. Bundesärztekammer. Indikationskatalog für den Notarzteinsatz. 2013.
53. Combes X, Jabre P, Jbeili C, Leroux B, Bastuji-Garin S, Margenet A, et al. Prehospital standardization of medical airway management: incidence and risk factors of difficult airway. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2006;13(8):828-34.
54. Cogbill TH, Cothren CC, Ahearn MK, Cullinane DC, Kaups KL, Scalea TM, et al. Management of maxillofacial injuries with severe oronasal hemorrhage: a multicenter perspective. *J Trauma*. 2008;65(5):994-9.
55. Gellerfors M, Fevang E, Bäckman A, Krüger A, Mikkelsen S, Nurmi J, et al. Pre-hospital advanced airway management by anaesthetist and nurse anaesthetist critical care teams: a prospective observational study of 2028 pre-hospital tracheal intubations. *Br J Anaesth*. 2018;120(5):1103-9.
56. Piepho T, Cavus E, Noppens R, Byhahn C, Döriges V, Zwissler B, et al. S1-Leitlinie Atemwegsmanagement. *Der Anaesthesist*. 2015;64(11):859-73.
57. Schalk R, Seeger FH, Mutlak H, Schweigkofler U, Zacharowski K, Peter N, et al. Complications associated with the prehospital use of laryngeal tubes--a systematic analysis of risk factors and strategies for prevention. *Resuscitation*. 2014;85(11):1629-32.

58. Mort TC. Emergency tracheal intubation: complications associated with repeated laryngoscopic attempts. *Anesth Analg*. 2004;99(2):607-13, table of contents.
59. Mort TC. Emergency Tracheal Intubation: Complications Associated with Repeated Laryngoscopic Attempts. *Anesthesia & Analgesia*. 2004;99(2).
60. Bernhard M, Becker TK, Gries A, Knapp J, Wenzel V. The First Shot Is Often the Best Shot: First-Pass Intubation Success in Emergency Airway Management. *Anesth Analg*. 2015;121(5):1389-93.
61. Hasegawa K, Shigemitsu K, Hagiwara Y, Chiba T, Watase H, Brown III CA, et al. Association between repeated intubation attempts and adverse events in emergency departments: an analysis of a multicenter prospective observational study. *Annals of emergency medicine*. 2012;60(6):749-54. e2.
62. Dupanovic M, Fox H, Kovac A. Management of the airway in multitrauma. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2010;23(2):276-82.
63. Heidegger T, Gerig HJ, Henderson JJ. Strategies and algorithms for management of the difficult airway. *Best practice & research Clinical anaesthesiology*. 2005;19(4):661-74.
64. Lavery GG, McCloskey BV. The difficult airway in adult critical care. *Critical care medicine*. 2008;36(7):2163-73.
65. Wilharm A, Kulla M, Baacke M, Wagner F, Behnke M, Lefering R, et al. Prehospital capnometry as quality indicator for trauma patients – Initial analysis from the TraumaRegister DGU®. *Anesthesiologie und Intensivmedizin*. 2019;60(9):419-32.
66. Silvestri S, Ralls GA, Krauss B, Thundiyil J, Rothrock SG, Senn A, et al. The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system. *Ann Emerg Med*. 2005;45(5):497-503.
67. Beck G, Becke K, Biermann E, Deja M, Hofer H, Iber T. Mindestanforderungen an den anästhesiologischen Arbeitsplatz. *Anästh Intensivmed*. 2013;54:39-42.
68. Wilharm A, Kulla M, Baacke M, Wagner F, Behnke M, Lefering R, et al. Prehospital capnometry as quality indicator for trauma patients-initial analysis from the TraumaRegister DGU (R). *Anästhesiologie & Intensivmedizin*. 2019;60:419-32.
69. Helm M, Schuster R, Hauke J, Lampl L. Tight control of prehospital ventilation by capnography in major trauma victims. *Br J Anaesth*. 2003;90(3):327-32.
70. Gries A, Sikinger M, Hainer C, Ganion N, Petersen G, Bernhard M, et al. [Time in care of trauma patients in the air rescue service: implications for disposition?]. *Anaesthesist*. 2008;57(6):562-70.
71. Grmec S, Mally S. Prehospital determination of tracheal tube placement in severe head injury. *Emerg Med J*. 2004;21(4):518-20.
72. Ozkurtul O, Struck MF, Fakler J, Bernhard M, Seinen S, Wrigge H, et al. Physician-based on-scene airway management in severely injured patients and in-hospital consequences: is the misplaced intubation an underestimated danger in trauma management? *Trauma Surg Acute Care Open*. 2019;4(1):e000271.
73. Prien T, Bürkle H, Czaplík M, Hölzl M, Hönemann C, Grensemann J. Funktionsprüfung des Narkosegerätes zur Gewährleistung der Patientensicherheit–Empfehlung der Kommission für Normung und technische Sicherheit der DGAI. *Anästh Intensivmed*. 2019;60:75-83.
74. Warner KJ, Cuschieri J, Copass MK, Jurkovich GJ, Bulger EM. The impact of prehospital ventilation on outcome after severe traumatic brain injury. *J Trauma*. 2007;62(6):1330-6; discussion 6-8.
75. Caulfield EV, Dutton RP, Floccare DJ, Stansbury LG, Scalea TM. Prehospital hypocapnia and poor outcome after severe traumatic brain injury. *J Trauma*. 2009;66(6):1577-82; discussion 83.
76. Warner KJ, Cuschieri J, Copass MK, Jurkovich GJ, Bulger EM. Emergency department ventilation effects outcome in severe traumatic brain injury. *J Trauma*. 2008;64(2):341-7.
77. Helm M, Hauke J, Lampl L. A prospective study of the quality of pre-hospital emergency ventilation in patients with severe head injury. *Br J Anaesth*. 2002;88(3):345-9.
78. Lee SW, Hong YS, Han C, Kim SJ, Moon SW, Shin JH, et al. Concordance of end-tidal carbon dioxide and arterial carbon dioxide in severe traumatic brain injury. *J Trauma*. 2009;67(3):526-30.

79. Warner KJ, Cuschieri J, Garland B, Carlbom D, Baker D, Copass MK, et al. The utility of early end-tidal capnography in monitoring ventilation status after severe injury. *J Trauma*. 2009;66(1):26-31.
80. Price J, Sandbach DD, Ercole A, Wilson A, Barnard EBG. End-tidal and arterial carbon dioxide gradient in serious traumatic brain injury after prehospital emergency anaesthesia: a retrospective observational study. *Emergency Medicine Journal*. 2020;37(11):674.
81. Wang HE, Yealy DM. How many attempts are required to accomplish out-of-hospital endotracheal intubation? *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2006;13(4):372-7.
82. Lyon RM, Perkins ZB, Chatterjee D, Lockey DJ, Russell MQ, Kent S, et al. Significant modification of traditional rapid sequence induction improves safety and effectiveness of pre-hospital trauma anaesthesia. *Crit Care*. 2015;19:134.
83. Benjamin E, Haltmeier T, Chouliaras K, Siboni S, Durso J, Inaba K, et al. Witnessed aspiration in trauma: Frequent occurrence, rare morbidity--A prospective analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;79(6):1030-6; discussion 6-7.
84. Mort TC. Esophageal intubation with indirect clinical tests during emergency tracheal intubation: a report on patient morbidity. *J Clin Anesth*. 2005;17(4):255-62.
85. Lyon RM, Perkins ZB, Chatterjee D, Lockey DJ, Russell MQ. Significant modification of traditional rapid sequence induction improves safety and effectiveness of pre-hospital trauma anaesthesia. *Crit Care*. 2015;19(1):134.
86. Hildreth AN, Mejia VA, Maxwell RA, Smith PW, Dart BW, Barker DE. Adrenal suppression following a single dose of etomidate for rapid sequence induction: a prospective randomized study. *J Trauma*. 2008;65(3):573-9.
87. Jabre P, Combes X, Lapostolle F, Dhauouadi M, Ricard-Hibon A, Vivien B, et al. Etomidate versus ketamine for rapid sequence intubation in acutely ill patients: a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2009;374(9686):293-300.
88. Cotton BA, Guillaumondegui OD, Fleming SB, Carpenter RO, Patel SH, Morris JA, Jr., et al. Increased risk of adrenal insufficiency following etomidate exposure in critically injured patients. *Arch Surg*. 2008;143(1):62-7; discussion 7.
89. Gasler M, Ruppert M, Lefering R, Bouillon B, Wafaisade A, TraumaRegister DGU. Pre-hospital emergent intubation in trauma patients: the influence of etomidate on mortality, morbidity and healthcare resource utilization. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2019;27(1):61.
90. Warner KJ, Cuschieri J, Jurkovich GJ, Bulger EM. Single-dose etomidate for rapid sequence intubation may impact outcome after severe injury. *J Trauma*. 2009;67(1):45-50.
91. Jabre P, Combes X, Lapostolle F, Dhauouadi M, Ricard-Hibon A, Vivien B, et al. Etomidate versus ketamine for rapid sequence intubation in acutely ill patients: a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2009;374(9686):293-300.
92. Gäßler M, Ruppert M, Lefering R, Bouillon B, Wafaisade A. Pre-hospital emergent intubation in trauma patients: the influence of etomidate on mortality, morbidity and healthcare resource utilization. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2019;27(1):61.
93. Upchurch CP, Grijalva CG, Russ S, Collins SP, Semler MW, Rice TW, et al. Comparison of Etomidate and Ketamine for Induction During Rapid Sequence Intubation of Adult Trauma Patients. *Ann Emerg Med*. 2017;69(1):24-33.e2.
94. Trentzsch H, Münzberg M, Luxen J, Urban B, Prückner S. Etomidat zur „rapid sequence induction“ bei schwerem Trauma. *Notfall+ Rettungsmedizin*. 2014;17(6):521-35.
95. Santoni BG, Hindman BJ, Puttlitz CM, Weeks JB, Johnson N, Maktabi MA, et al. Manual in-line stabilization increases pressures applied by the laryngoscope blade during direct laryngoscopy and orotracheal intubation. *Anesthesiology*. 2009;110(1):24-31.
96. Manoach S, Paladino L. Manual in-line stabilization for acute airway management of suspected cervical spine injury: historical review and current questions. *Ann Emerg Med*. 2007;50(3):236-45.

97. Paik H, Park H-P. Randomized crossover trial comparing cervical spine motion during tracheal intubation with a Macintosh laryngoscope versus a C-MAC D-blade videolaryngoscope in a simulated immobilized cervical spine. *BMC anesthesiology*. 2020;20(1):201.
98. Suppan L, Tramer MR, Niquille M, Groscurin O, Marti C. Alternative intubation techniques vs Macintosh laryngoscopy in patients with cervical spine immobilization: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br J Anaesth*. 2016;116(1):27-36.
99. Bonhomme V, Hans P. Management of the unstable cervical spine: elective versus emergent cases. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2009;22(5):579-85.
100. Paal P, Herff H, Mitterlechner T, von Goedecke A, Brugger H, Lindner KH, et al. Anaesthesia in prehospital emergencies and in the emergency room. *Resuscitation*. 2010;81(2):148-54.
101. Goksu E, Kilic T, Yildiz G, Unal A, Kartal M. Comparison of the C-MAC video laryngoscope to the Macintosh laryngoscope for intubation of blunt trauma patients in the ED. *Turkish journal of emergency medicine*. 2016;16(2):53-6.
102. Michailidou M, O'Keeffe T, Mosier JM, Friese RS, Joseph B, Rhee P, et al. A comparison of video laryngoscopy to direct laryngoscopy for the emergency intubation of trauma patients. *World J Surg*. 2015;39(3):782-8.
103. Sakles JC, Patanwala AE, Mosier JM, Dicken JM. Comparison of video laryngoscopy to direct laryngoscopy for intubation of patients with difficult airway characteristics in the emergency department. *Internal and emergency medicine*. 2014;9(1):93-8.
104. Brown CA, 3rd, Kaji AH, Fantegrossi A, Carlson JN, April MD, Kilgo RW, et al. Video Laryngoscopy Compared to Augmented Direct Laryngoscopy in Adult Emergency Department Tracheal Intubations: A National Emergency Airway Registry (NEAR) Study. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2020;27(2):100-8.
105. Macke C, Gralla F, Winkelmann M, Clausen JD, Haertle M, Krettek C, et al. Increased First Pass Success with C-MAC Videolaryngoscopy in Prehospital Endotracheal Intubation-A Randomized Controlled Trial. *J Clin Med*. 2020;9(9).
106. Driver BE, Prekker ME, Moore JC, Schick AL, Reardon RF, Miner JR. Direct Versus Video Laryngoscopy Using the C-MAC for Tracheal Intubation in the Emergency Department, a Randomized Controlled Trial. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2016;23(4):433-9.
107. Sulser S, Ubmann D, Schlaepfer M, Brueesch M, Goliasch G, Seifert B, et al. C-MAC videolaryngoscope compared with direct laryngoscopy for rapid sequence intubation in an emergency department: A randomised clinical trial. *European journal of anaesthesiology*. 2016;33(12):943-8.
108. Bladt V, Vandborg MP, Rhode MG, Rognås L. Implementing videolaryngoscopy in anaesthetist-staffed pre-hospital critical care. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2015;23(2):O8.
109. Hernandez MC, Aho JM, Zielinski MD, Zietlow SP, Kim BD, Morris DS. Definitive airway management after pre-hospital supraglottic airway insertion: Outcomes and a management algorithm for trauma patients. *The American journal of emergency medicine*. 2018;36(1):114-9.
110. Budde AO, Schwarz A, Dalal PG, Sinz EH, Vaida SJ. Comparison of 2 techniques of laryngeal tube exchange in a randomized controlled simulation study. *The American journal of emergency medicine*. 2015;33(2):173-6.
111. Dodd KW, Kornas RL, Prekker ME, Klein LR, Reardon RF, Driver BE. Endotracheal Intubation with the King Laryngeal Tube™ In Situ Using Video Laryngoscopy and a Bougie: A Retrospective Case Series and Cadaveric Crossover Study. *J Emerg Med*. 2017;52(4):403-8.
112. Driver BE, Scharber SK, Horton GB, Braude DA, Simpson NS, Reardon RF. Emergency Department Management of Out-of-Hospital Laryngeal Tubes. *Ann Emerg Med*. 2019;74(3):403-9.
113. Schalk R, Weber C, Byhahn C, Reyher C, Stay D, Zacharowski K, et al. Umintubation mithilfe des C-MAC-Videolaryngoskops. *Der Anaesthetist*. 2012;61(9):777-82.
114. Grmec S. Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. *Intensive Care Med*. 2002;28(6):701-4.

115. Li J. Capnography alone is imperfect for endotracheal tube placement confirmation during emergency intubation. *J Emerg Med.* 2001;20(3):223-9.
116. Schober P, Biesheuvel T, de Leeuw MA, Loer SA, Schwarte LA. Prehospital cricothyrotomies in a helicopter emergency medical service: analysis of 19,382 dispatches. *BMC Emergency Medicine.* 2019;19(1):12.
117. Hubble MW, Wilfong DA, Brown LH, Hertelendy A, Benner RW. A meta-analysis of prehospital airway control techniques part II: alternative airway devices and cricothyrotomy success rates. *Prehosp Emerg Care.* 2010;14(4):515-30.
118. Heymans F, Feigl G, Graber S, Courvoisier DS, Weber KM, Dulguerov P. Emergency Cricothyrotomy Performed by Surgical Airway-naive Medical Personnel: A Randomized Crossover Study in Cadavers Comparing Three Commonly Used Techniques. *Anesthesiology.* 2016;125(2):295-303.
119. Andresen Å EL, Kramer-Johansen J, Kristiansen T. Percutaneous vs surgical emergency cricothyroidotomy: An experimental randomized crossover study on an animal-larynx model. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2019;63(10):1306-12.
120. Helm M, Hossfeld B, Jost C, Lampl L, Böckers T. Emergency cricothyroidotomy performed by inexperienced clinicians—surgical technique versus indicator-guided puncture technique. *Emergency Medicine Journal.* 2013;30(8):646.
121. Driver B, Dodd K, Klein LR, Buckley R, Robinson A, McGill JW, et al. The Bougie and First-Pass Success in the Emergency Department. *Ann Emerg Med.* 2017;70(4):473-8.e1.
122. Driver BE, Prekker ME, Klein LR, Reardon RF, Miner JR, Fagerstrom ET, et al. Effect of Use of a Bougie vs Endotracheal Tube and Stylet on First-Attempt Intubation Success Among Patients With Difficult Airways Undergoing Emergency Intubation: A Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2018;319(21):2179-89.
123. Driver BE, Semler MW, Self WH, Ginde AA, Trent SA, Gandotra S, et al. Effect of Use of a Bougie vs Endotracheal Tube With Stylet on Successful Intubation on the First Attempt Among Critically Ill Patients Undergoing Tracheal Intubation: A Randomized Clinical Trial. *Jama.* 2021;326(24):2488-97.
124. Tollman J, Ahmed Z. Efficacy of tracheal tube introducers and stylets for endotracheal intubation in the prehospital setting: a systematic review and meta-analysis. *European journal of trauma and emergency surgery* : official publication of the European Trauma Society. 2021.
125. Sheu YJ, Yu SW, Huang TW, Liu FL, Lin YK, Tam KW. Comparison of the efficacy of a bougie and stylet in patients with endotracheal intubation: A meta-analysis of randomized controlled trials. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2019;86(5):902-8.

1.3 Gerinnungsmanagement und Volumentherapie

Björn Hußmann*, Peter Hilbert-Carius, Manuel Struck, Erwin Strasser, Orkun Özkurtul, K. Gooßen#, C. Kugler#, Till Berk, Marc Maegele, Björn Hossfeld

Seit der letzten Version dieser Leitlinie 2016 hat sich der Kenntnisstand über die prähospitalen Volumentherapie infolge schwerer Verletzungen deutlich erweitert. Hinzu kommt eine immer größer werdende Bedeutung des Gerinnungssystems und seiner Störungen aufgrund von Schwerverletzungen, die auch schon prähospital adressiert werden müssen und entsprechend stabilisiert werden sollten. Daher finden sich erstmals in dieser Leitlinie auch Empfehlungen zur prähospitalen Gerinnungsoptimierung bzw. -therapie. Der folgende Text fokussiert sich auf die neuen Erkenntnisse bezüglich Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie. Basis ist die systematische Literaturrecherche des IFOM entsprechend dem PICO-Format, welche für das Kapitel 1.3 insgesamt 34 Publikationen ergab [1-24].

Schlüsselempfehlungen:

1.3.1	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei schwer verletzten Patienten sollte eine Volumentherapie eingeleitet werden, die bei nicht beherrschbarer Blutung in reduzierter Form durchgeführt werden sollte, um den Kreislauf auf niedrig-stabilem Niveau (MAP ~65 mmHg, RRsys ~80 mmHg) zu halten und die Blutung nicht zu verstärken.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.3.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei hypotensiven Patienten mit einem vermuteten isolierten oder führenden Schädel-Hirn-Trauma sollte eine Volumentherapie mit dem Ziel der Normotension (RRsys >=90 mmHg) durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.3.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Traumapatienten soll ein venöser Zugang gelegt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.3.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Traumapatienten, bei denen ein venöser Zugang nicht gelingt, soll ein intraossärer Zugang zur Infusions- und Medikamententherapie gelegt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[14] Leidel 2012: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

1.3.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei fehlendem Hinweis auf einen Volumenmangel sollte auf eine Volumentherapie verzichtet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.3.6	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei Nichterreichen eines adäquaten Blutdrucks beim polytraumatisierten Patienten durch eine ausreichende Volumentherapie können Vasopressoren titrierend zur Kreislaufunterstützung erwogen werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Im Rahmen einer Hämorrhagie und eines konsekutiv auftretenden traumatisch-hämorrhagischen Schocks kommt es aufgrund der Minderperfusion zu einem Missverhältnis zwischen Sauerstoffangebot und -bedarf im Gewebe [25, 26]. Diese Störung der Mikrozirkulation wird für das Auftreten von Sekundärschäden nach hämorrhagischem Schock verantwortlich gemacht. Ziel einer Volumentherapie sollte das Verbessern der Mikrozirkulation und somit der Organperfusion sein. Die bisherige Expertenmeinung war daher, dass eine forcierte Volumentherapie einen günstigen Einfluss auf das Outcome akut blutender Patienten habe [27, 28]. Prähospital prospektive und randomisierte Studien bezüglich der Volumentherapie und schwerer Verletzung sind in der aktuellen Literatur nur wenig zu finden. Schreiber et al. konnten in einer aktuellen prospektiv randomisierten Studie aus dem Jahr 2015 zeigen, dass eine kontrollierte prähospital Volumentherapie auf Basis von Bolusgaben (250cc) gegenüber einer forcierten Volumentherapie (2000ml Volumen) keinen Nachteil aufweist und das Outcome in beiden Gruppen gleich war [20]. Bei dieser Studie muss man jedoch kritisch anmerken, dass der ISS in den Gruppen größtenteils <15 lag und die Patienten somit definitionsgemäß nicht als schwerverletzt gelten.

In vier älteren vorliegenden randomisierten kontrollierten Studien konnte die Rationale für die forcierte Volumentherapie in der Prähospitalphase nicht bestätigt werden [26, 29-31]. In der Studie von Turner et al. [26] wurden prähospital Patienten randomisiert und mit und ohne Volumentherapie behandelt. 1309 Patienten wurden eingeschlossen. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Mortalität, Morbidität und des Langzeitergebnisses [26].

In der Arbeit von Dutton et al. [30] aus dem Jahr 2002 wurden 110 Patienten zwei unterschiedlichen Volumentherapien bei Vorliegen eines hämorrhagischen Schocks zugewiesen. Eine Gruppe wurde auf einen systolischen Zielblutdruck von über 100 mmHg, die andere von 70 mmHg gebracht. Ein Unterschied konnte nicht festgestellt werden. In beiden Gruppen verstarben vier Patienten. Die

Publikation von Morrisson et al. [31] hatte ein ganz ähnliches Protokoll. Auch hier wurden Patienten mit Vorliegen eines hämorrhagischen Schocks Behandlungsgruppen zugewiesen, die unterschiedliche Zielblutdrücke hatten. Hier wurde der mittlere arterielle Blutdruck (MAP) verwendet. Gruppe 1 (n = 44) sollte auf einen Ziel-MAP von 50 mmHg, Gruppe 2 (n = 46) auf 65 mmHg gebracht werden. Dabei zeigte sich in der Gruppe 1 eine signifikant geringere Mortalität in den ersten 24 h (1 vs. 8 Patienten).

Eine weitere Studie von Bickell et al. [29] wies einen negativen Effekt einer Volumentherapie auf das Überleben nach einer Blutung nach. Es wurden in dieser Studie jedoch ausschließlich Patienten mit penetrierenden Verletzungen des Torsos eingeschlossen. 1069 Patienten wurden in die Studie aufgenommen. In diesem selektierten Kollektiv führte die Einleitung einer Volumentherapie in der prähospitalen Phase zu einer Erhöhung der Mortalität von 30% auf 38% und zu einer Erhöhung der postoperativen Komplikationen in der Gruppe mit der prähospitalen Volumentherapie von 23% auf 30%. Die Autoren schlossen hieraus, dass eine prähospitaler Volumentherapie nicht durchgeführt und dass die chirurgische Therapie so rasch wie möglich eingeleitet werden sollte.

Die Metaanalyse von Wang et al., die sich im Wesentlichen auch auf diese vier genannten Studien bezieht, kam auch zu dem Schluss, dass eine forcierte Volumengabe zu einer erhöhten Mortalität führe [32]. Allerdings wurde auf die Heterogenität der Patientenkollektive hingewiesen.

Eine andere große Metaanalyse von Curry et al. hat die Literatur dahingehend untersucht, inwieweit heutige Volumentherapien zu einer Verbesserung hinsichtlich Mortalität, Gerinnung und Blutbedarf geführt haben und kommt zu dem Schluss, dass keine wesentlichen Verbesserungen nachzuweisen seien [33].

Neben den erwähnten kontrollierten Studien gibt es eine Vielzahl von Publikationen, die sich diesen Schlussfolgerungen anschließen [34–38]. Die Autoren heben aber stets die Situation der unkontrollierbaren intrathorakalen oder intraabdominellen Blutung hervor. Die chirurgische Therapie sollte in dieser Situation so rasch wie möglich erfolgen und nicht durch prähospitalen Maßnahmen verzögert werden. Eine moderate Volumentherapie mit einer „kontrollierten Hypotension“ und einem systolischen Blutdruck um 90 mmHg sei anzustreben [25, 30, 39]. Aktuelle retrospektive Registerstudien zeigten ein verbessertes Outcome bei der Gabe von weniger prähospitalen Volumen (<1500ml) [36]. Diese Effekte konnten sowohl bei schwerstverletzten Patienten mit einem abdominalen Trauma gezeigt werden, als auch beim älteren Patienten [13]. Eine aktuelle Studie aus 2015 konnte mit Hilfe einer multivariaten Regressionsanalyse eine vermehrte prähospitaler Volumengabe als unabhängigen Risikofaktor für eine erhöhte Letalität aufzeigen [10]. Lediglich beim gleichzeitig vorhandenen schweren Schädel-Hirn-Trauma (SHT) zeigte sich eine moderat vermehrte Volumengabe mit einem günstigeren Einfluss.

Bei Patienten mit kardialer Schädigung oder SHT wird die restriktive Volumengabe daher auch kritisch gesehen [25, 40, 41]. Insbesondere beim gleichzeitigen schweren SHT zeigen aktuelle Studien, wie bereits erwähnt, bei moderater Volumentherapie einen Vorteil bezüglich der Letalität [10]. Jedoch konnte eine Untersuchung aus dem Jahr 2019 keinen Vorteil einer forcierten Volumentherapie gegenüber einer restriktiven Volumengabe beim schweren SHT zeigen [11]. In dieser Matched Pairs Analyse wurden 2 Gruppen mit wenig prähospitalen Volumen (≤ 1000 ml) und vermehrtem Volumen (≥ 1501 ml) verglichen.

Andere Autoren dagegen propagieren z. T. die forcierte Volumentherapie, wobei häufig auf ein anderes Patientenkollektiv mit z.B. Extremitätenverletzungen ohne unkontrollierbare Blutung abgehoben wird [28, 42, 43]. Andere Arbeiten konnten die Ergebnisse von Bickell nicht bestätigen [44, 45].

In einer retrospektiven Studie von Balogh et al. [46] wurden 156 Patienten im Schock mit supranormaler Volumentherapie (Resuscitation) mit Patienten mit geringerem Therapieaufwand verglichen, der am Oxygen Delivery Index (DO2I) terminiert wurde. Gruppe 1 wurde auf einen Oxygen Delivery Index (DO2I) ≥ 500 ml/min pro Quadratmeter Körperoberfläche (KO) eingestellt, Gruppe 2 auf einen DO2I ≥ 600 ml/min/m²KO. Hierunter wurde ein erhöhter intraabdomineller Druck bei der Gruppe 1 beobachtet, welcher mit einem erhöhten Organversagen einhergegangen sein soll.

Nach Erreichen der Klinik und dem Beginn der chirurgischen Therapie oder bei kontrollierbaren Blutungen empfehlen die meisten Arbeiten das Einleiten einer intensiven Volumentherapie. Die zu applizierende Volumenmenge wird wiederum als Expertenmeinung mit einem Zielhämatokrit von 25–30% angegeben [47, 48]. Kontrollierte Studien existieren hierzu nicht.

Die Verlängerung der prähospitalen Behandlungszeit durch das Durchführen einer Volumentherapie wird in einer Studie mit 12–13 Minuten angegeben [26]. Die Autoren interpretieren diesen Zeitverlust z. T. als wenig relevant [21], z. T. als wesentlichen Negativfaktor für die Mortalität [49, 50]. Ob sich diese Aussage aus dem angloamerikanischen Raum allerdings ohne weiteres auf die Verhältnisse des deutschen notarztgestützten Systems übertragen lässt, ist unklar.

Da aber das Legen eines venösen Zugangs Grundvoraussetzung jeglicher medikamentöser oder Volumentherapie darstellt, soll jeder Patient einen venösen Zugang erhalten. Sollte bei schwerstverletzten Patienten das Legen eines venösen Zugangs nicht gelingen, z.B. durch eine ausgeprägte Hypovolämie mit Venenkollaps, so soll ein intraossärer Zugang etabliert werden. Leidel et al. konnten in diesem Zusammenhang den intraossären Zugang als eine sichere und schnelle Methode in ihrer Arbeit darstellen [14]. Als Vergleichsgruppe dienten Patienten, bei denen ein zentraler Venenkatheter gelegt wurde.

Der Einsatz von Katecholaminen wird beim schwerstverletzten Patienten grundsätzlich eher kritisch gesehen und nur als Ultima Ratio betrachtet, wenn durch eine ausreichende Volumentherapie kein adäquater Kreislauf aufrechterhalten werden kann [51, 52].

Tabelle 2: Prähospitaler Volumentherapie – Mortalität

Studie	LoE	Patientenkollektiv	Mortalität mit Volumentherapie	Mortalität ohne Volumentherapie
Turner et al. 2000 [72]	1b	Polytraumapatienten (n = 1309)	10,4%	9,8%
Bickell et al. 1994 [12]	2a	Patienten mit penetrierendem Thoraxtrauma (n = 1069)	38%	30%

1.3.7	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Zur Volumentherapie bei Traumapatienten sollen balancierte, isotone kristalline Vollelektrolytlösungen eingesetzt werden, welche idealerweise vorgewärmt sind.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.3.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Balancierte Infusionslösungen mit Acetat oder Malat statt Lactat können erwogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Wahl der zu verwendenden Infusionslösung wurde über Jahre kontrovers diskutiert. Da die meisten Daten tierexperimentell oder bei Operationen erhoben wurden, war ihre Aussagefähigkeit stets limitiert. Insbesondere der Einsatz von kolloidalen Infusionslösungen war Gegenstand intensiver Diskussionen. Im Jahr 2013 erschien jedoch ein „Rote-Hand-Brief“ des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte [53], der den Einsatz von Hydroxyethylstärke(HES)-haltigen Infusionslösungen deutlich einschränkte. Hierdurch hat HES in der Volumentherapie seine Bedeutung verloren. Im Zuge dieser Leitlinie werden daher weder HES-Infusionslösungen noch die in Deutschland nicht erhältlichen bzw. zugelassenen hypertonen Infusionslösungen Eingang finden. Die Anwendung wäre als „off label use“ zu betrachten.

Schon vor der deutlichen Empfehlung des Bundesinstituts gab es jedoch Hinweise, dass die Verwendung von kristalloiden Lösungen bei Patienten nach Trauma Vorteile aufweist. Velanovich et al. 1989 zeigten bei diesen eine Reduktion der Mortalität um 12,3% im Falle der Volumentherapie mit Kristalloiden [54]. Choi et al. 1999 bestätigten dieses Ergebnis und postulierten eine geringere Mortalität nach Trauma bei Verwendung kristalloider Infusionen [55]. Eine Cochrane-Analyse aus dem Jahr 2008 zeigte keinen Unterschied zwischen kolloidalen und kristalloiden Lösungen nach Trauma [56-58]. Die Autoren zogen schon damals die Konsequenz, dass auf Kolloidale als Volumentherapeutikum verzichtet werden könne, da sich für deren Verwendung kein Vorteil nachweisen ließ und Kristalloide billiger seien.

Bezüglich der Wahl des zu verwendenden Kristalloids ist Ringer-Lactat der isotonen Kochsalzlösung vorzuziehen [59-62]. Experimentelle Arbeiten wiesen das Auftreten einer Dilutionsazidose nach Infusion großer Mengen isotoner Kochsalzlösung nach [63, 64]. Die Zugabe von Lactat zu einer Vollelektrolytlösung (Ringer-Lactat) bewirkt durch die Metabolisierung des Lactats zu Bikarbonat und Wasser die Vermeidung einer Dilutionsazidose und puffert so den Bikarbonatpool. Neuere Arbeiten haben experimentell jedoch Nachteile des Ringer-Lactats nachgewiesen. So soll Ringer-Lactat die Aktivierung neutrophiler Granulozyten auslösen und so vermehrt eine Lungenschädigung bewirken [65-68]. Auch soll es zu einer erhöhten Apoptoserate der Granulozyten kommen [69]. Dies ist in klinischen Studien nicht bewiesen.

Plasmalactat wird in der laborchemischen Diagnostik als Parameter für das Ausmaß des Schocks eingesetzt. Ringer-Lactat führt zu einem iatrogenen Anstieg des Plasmalactatspiegels und kann so die Aussagekraft dieses Parameters stören [70, 71]. Ringer-Malat oder Ringer-Acetat können als Alternative zum Ringer-Lactat verwendet werden. Im Tierversuch konnte für Ringer-Malat eine geringere Mortalität nachgewiesen werden. Der Kritikpunkt der leichten Hypoosmolarität des Ringer-Lactats und die damit verbundene mögliche Verstärkung eines Hirnödems nach Schädel-Hirn-Trauma entfällt bei Ringer-Acetat- und Ringer-Malat-Lösungen, da diese vollständig isoosmolar sind [71, 72]. Zusammengefasst scheint der Einsatz von Ringer-Lactat nicht mehr empfehlenswert zu sein.

Da eine Hypothermie ≤ 34 °C einen erheblichen Einfluss auf die Thrombozytenfunktion und die Aktivität der Gerinnungsfaktoren hat [73], ist auf den Erhalt der Normothermie [74] zu achten. Um die

Auskühlung der Patienten zu minimieren, soll die initiale Flüssigkeitstherapie ausschließlich mit gewärmten Infusionen erfolgen [75, 76].

1.3.9	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Der letalen Trias aus Hypothermie, Azidose und Koagulopathie soll bereits prähospital durch 1. Vermeidung der weiteren Auskühlung des Patienten (Ziel: Normothermie), 2. geeignete Therapie des hämorrhagischen Schocks (Blutungskontrolle, Volumen- und Gerinnungstherapie) und 3. adäquate Oxygenierung und Ventilation (ggf. Intubation gemäß Intubationskriterien) begegnet werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Neben dem schweren SHT (40-50% der Todesfälle nach schwerem Trauma) stellt die unkontrollierte Blutung mit ca. 20-40% eine der häufigsten Todesursachen dar. Die Blutung wird durch eine zusätzliche Koagulopathie erheblich gesteigert [77, 78]. Diese zusätzliche Störung der Blutgerinnung ist häufig eine Folge der Blutung selbst (Verbrauchskoagulopathie), wird aber nicht selten durch andere trauma- und nichttrauma-induzierte Veränderungen getriggert. Eine Störung der Gerinnung bei polytraumatisierten Patienten (trauma-induzierte Koagulopathie [TIK]) ist seit mehreren Jahrzehnten bekannt [79]. In der Frühphase ist es daher essentiell, die Behandlung der Koagulopathie bereits prähospital einzuleiten und damit die Gerinnung zu stabilisieren. Denn aufgrund nicht beherrschter Blutungen steigt die Letalität innerhalb der ersten 6 bis 12 Stunden nach Trauma signifikant an mit einem Höhepunkt innerhalb der ersten 1 bis 2 Stunden [80].

Wie bereits oben erwähnt soll daher die initiale Flüssigkeitstherapie ausschließlich mit gewärmten Infusionen erfolgen [75, 76]. Ebenso soll durch Erwärmung beispielsweise des Rettungsmittels und gutes Bedecken des Patienten eine Auskühlung vermieden werden. Bezüglich der Blutungskontrolle und einer ausreichenden Oxygenierung wird auf andere Kapitel dieser Leitlinie verwiesen.

1.3.10	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Polytraumapatienten mit manifestem oder drohendem hämorrhagischen Schock sollte zügig die Gabe von 1 g Tranexamsäure (TxA) als Bolus über 10 Minuten erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[6] Guyette 2020: LoE 1b [19] Roberts 2017: LoE 1b [81] Roberts 2014: LoE 1b [12] Khan 2018: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Durch die Publikation der CRASH-2 Studie hat die frühe Anwendung der Tranexamsäure einen festen Stellenwert in der Schwerstverletztenbehandlung eingenommen.

CRASH-2 war eine prospektive randomisierte placebokontrollierte Studie, die in 274 Krankenhäusern in 40 Ländern durchgeführt wurde, um den Effekt der frühen Gabe von TxA bei Traumapatienten auf Versterben, thrombembolische Ereignisse und den Bedarf an Transfusionen zu untersuchen [82]. Erwachsene Traumapatienten (>16 Jahren) mit signifikanter Hämorrhagie (systolischer Blutdruck <90mmHg oder Herzfrequenz >110/min) wurden gemäß des „Unsicherheitsprinzips“ eingeschlossen, d.h. wenn aus Sicht des behandelnden Arztes keine klare (Kontra-)Indikation für TxA bestand.

Entsprechend wurde TxA (bzw. Placebo) als initialer Bolus (1 g über 10 Minuten) gefolgt von 1 g über 8 Stunden infundiert. Nach Einschluss von 10 060 Patienten (TxA-Gruppe) bzw. 10 067 Patienten (Placebo), zeigte sich der primäre Endpunkt „Mortalität“ durch TxA reduziert (14,5% versus 16,0%, $p = 0,0035$). Auch die blutungsbedingte Mortalität zeigte eine Reduktion (4,9% vs. 5,7%, $p = 0,0077$). Jedoch wurden in dieser Studie keine Daten zu Laborparametern, zur Verletzungsschwere (z.B. Injury Severity Score) oder zur Gabe anderer gerinnungsaktiver Produkte/Substanzen dokumentiert.

2019 wurde schließlich die CRASH-3 Studie als placebokontrollierte, prospektiv randomisierte Studie bei Patienten mit einem SHT publiziert [4]. Hier sahen die Autoren einen signifikanten Rückgang der Letalität bei einem milden bzw. moderaten SHT. Bei einem schwerem SHT zeigte sich jedoch kein Vorteil. Brenner et al. zeigten in ihrer Studie ähnliche Ergebnisse auf [2], wohingegen Bossers et al. 2021 eine erhöhte Letalität beim schwerem SHT und der Gabe von Tranexamsäure sahen [1].

In einer doppelt verblindeten placebokontrollierten Untersuchung zeigten Guyette et al. 2020 einen positiven Einfluss der Tranexamsäuregabe auf die Letalität im schweren hämorrhagischen Schock mit einem systolischen Blutdruck ≤ 70 mmHg [6]. Die Autoren konnten eine signifikant geringere 30-Tage-Letalität gegenüber der Placebogruppe nachweisen. Die Gabe erfolgte innerhalb von 10 Minuten auf dem Weg ins Krankenhaus.

Andere Autoren kamen in ihren Studien zu ähnlichen Ergebnissen [12, 21, 23]. Die frühzeitige Gabe hatte in allen Fällen einen positiven Einfluss auf das Outcome. Der frühe Zeitpunkt scheint hierbei entscheidend zu sein. So konnten Nishijima et al. zeigen, dass die Gabe innerhalb der ersten drei Stunden nach Trauma mit einem verbesserten Outcome einhergeht [16]. Andere Autoren kamen auch hier zu vergleichbaren Ergebnissen [19].

Eine sekundär durchgeführte explorative Analyse der CRASH-2-Daten ergab, dass der Überlebensvorteil nur dann nachweisbar war, wenn die Therapie innerhalb der ersten 3 Stunden nach Trauma initiiert wurde (Hazard Ratio (HR) ≤ 3 Stunden = 0,78; 0,68–0,90; HR > 3 Stunden = 1,02; 0,76–1,36). Der Beginn der TxA-Gabe innerhalb der ersten 3 Stunden reduzierte auch das Risiko des blutungsbedingten Versterbens um 28%, während die Verabreichung nach 3 Stunden mit erhöhter Mortalität einherzugehen scheint [81, 83].

1.3.11	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad 0 ⇔	Bei Polytraumapatienten mit nicht beherrschbarer Blutung kann die Gabe von Fibrinogen nach Gabe von Tranexamsäure erwogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[84] Ziegler 2021: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Fibrinogen scheint bei schweren Blutungen von allen Gerinnungsfaktoren der vulnerabelste zu sein und erreicht als erster seine kritische Konzentration [85]. Bei der trauma-induzierten Koagulopathie sinkt die Fibrinogen-Konzentration nicht nur aufgrund der Hyperfibrinolyse, sondern auch aufgrund eines gesteigerten Abbaus, Azidose, reduzierte Synthese infolge Hypothermie sowie Verlust/Verdünnung [86]. Ziegler et al. konnten in ihrer 2021 erschienen doppelt-verblindeten, prospektiven randomisierten Studie zeigen, dass die prähospital, frühzeitige Gabe von Fibrinogen zur Bildung und Stabilisierung von Blutclots führt [84]. Derzeit existieren keine weiteren prähospitalen Studien mit einem verwertbaren Evidenzlevel zu der Gabe von Fibrinogen. Daher kann lediglich ein Empfehlungsgrad GoR 0 ausgesprochen werden.

1.3.12	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei Polytraumapatienten mit nicht beherrschbarer Blutung kann die Gabe von Erythrozyten- und Plasmakonzentraten (gefrorene Frischplasmakonzentrate oder lyophilisierte Plasmakonzentrate) erwogen werden, sofern die Logistik dieses erlaubt und der Transport in die Zielklinik nicht verzögert wird.	
Literatur, Evidenzgrad	[5] Gruen 2020: LoE 1b [22] Sperry 2018: LoE 1b [17] Pusateri 2020: LoE 2b↓ [7] Guyette 2021: LoE 2b [3] Brown 2015: LoE 3b↓ [8] Henriksen 2016: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Nicht beherrschbare Blutungen sind nach wie vor ein relevantes Problem bei der prähospitalen Versorgung schwerstverletzter Patienten. Gerade sie beeinflussen das Outcome der Patienten negativ. Jedoch sind die Therapiemöglichkeiten am Unfallort und während des Transports des Patienten begrenzt. Eine chirurgische Blutstillung ist prähospital in der Regel nicht angezeigt. Daher besteht derzeit ein hohes wissenschaftliches Interesse an der prähospitalen Verabreichung von Sauerstoffträgern und Plasma.

In der aktuellen Literatur weisen zahlreiche Studien auf einen Überlebensvorteil bei der prähospitalen Gabe von Erythrozyten- und Plasmakonzentraten beim schwerstverletzten Patienten hin. Brown et al. etwa beschrieben eine Verbesserung der 30-Tage-Letalität bei prähospitaler Gabe von Erythrozytenkonzentraten [3]. Auch Guyette et al. zeigten einen Vorteil bei der Gabe von Erythrozytenkonzentraten gegenüber einem reinen kristalloiden Volumenersatz auf [7].

Auch die prähospitaler Gabe von Plasma scheint in aktuellen Studien eine Verbesserung des Outcomes zu zeigen. Eine 2018 im New England Journal of Medicine veröffentlichte Studie von Sperry et al. konnte einen signifikanten Überlebensvorteil aufzeigen [22]. Insbesondere bei längerer Rettungszeit hat die Verabreichung von Plasma Vorteile. Pusateri et al. zeigten bei einer Transportzeit, die länger als 20 Minuten betrug, einen positiven Einfluss auf die Letalität [17]. Andere Autoren kamen zu vergleichbaren Ergebnissen [18]. Auch beim schweren SHT konnten Gruen et al. einen positiven Effekt der Plasmagabe nachweisen [5]. Dagegen konnten Zhang et al. in ihrer Untersuchung aufzeigen, dass bei einem SHT sich die frühzeitige Transfusion von FFP mit einer niedrigen Dosis von 5 ml/kgKG nachteilig auf das Wachstum des Hämatoms auswirkte [24].

Aber auch Nachteile der prähospitalen Gabe von Plasma werden beschrieben. Moore et al. konnten keine Verbesserung des Outcomes oder positive Effekte bei der Gabe von Plasma finden [15]. Tendenziell zeigten sich hier sogar eine höhere Sterblichkeit und vermehrtes Multiorganversagen.

Zusammenfassend legt die aktuelle Literatur einen positiven Einfluss auf das Outcome schwerverletzter Patienten bei der prähospitalen Gabe von Erythrozytenkonzentraten und Plasma nahe. Jedoch ist derzeit eine flächendeckende prähospitaler Versorgung hiermit auf allen Rettungsmitteln nicht gegeben. Eine stärkere Empfehlung ist daher derzeit nicht möglich und weitere Studien müssen zunächst abgewartet werden. Des Weiteren müssten logistische Voraussetzungen erfüllt sein, um dies umsetzen zu können. Grundsätzlich darf bei der Verabreichung von Erythrozytenkonzentraten und/oder Plasma der Transport in die Zielklinik nicht verzögert werden. Denn letztlich besteht in den meisten Fällen die Therapie der unkontrollierten Blutung in einer chirurgischen Blutstillung bzw. Embolisation.

Literatur

1. Bossers SM, Loer SA, Bloemers FW, Den Hartog D, Van Lieshout EMM, Hoogerwerf N, et al. Association Between Prehospital Tranexamic Acid Administration and Outcomes of Severe Traumatic Brain Injury. *JAMA Neurology*. 2021;78(3):338-45.
2. Brenner A, Belli A, Chaudhri R, Coats T, Frimley L, Jamaluddin SF, et al. Understanding the neuroprotective effect of tranexamic acid: an exploratory analysis of the CRASH-3 randomised trial. *Critical Care (London, England)*. 2020;24(1):560.
3. Brown JB, Cohen MJ, Minei JP, Maier RV, West MA, Billiar TR, et al. Pretrauma center red blood cell transfusion is associated with reduced mortality and coagulopathy in severely injured patients with blunt trauma. *Annals of Surgery*. 2015;261(5):997-1005.
4. collaborators TC-t. Effects of tranexamic acid on death, disability, vascular occlusive events and other morbidities in patients with acute traumatic brain injury (CRASH-3): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet*. 2019;394(10210):1713-23.
5. Gruen DS, Guyette FX, Brown JB, Okonkwo DO, Puccio AM, Campwala IK, et al. Association of Prehospital Plasma With Survival in Patients With Traumatic Brain Injury: A Secondary Analysis of the PAMPer Cluster Randomized Clinical Trial. *JAMA Network Open*. 2020;3(10):e2016869.
6. Guyette FX, Brown JB, Zenati MS, Early-Young BJ, Adams PW, Eastridge BJ, et al. Tranexamic Acid During Prehospital Transport in Patients at Risk for Hemorrhage After Injury: A Double-blind, Placebo-Controlled, Randomized Clinical Trial. *JAMA Surgery*. 2020;5:05.
7. Guyette FX, Sperry JL, Peitzman AB, Billiar TR, Daley BJ, Miller RS, et al. Prehospital Blood Product and Crystalloid Resuscitation in the Severely Injured Patient: A Secondary Analysis of the Prehospital Air Medical Plasma Trial. *Annals of Surgery*. 2021;273(2):358-64.
8. Henriksen HH, Rahbar E, Baer LA, Holcomb JB, Cotton BA, Steinmetz J, et al. Pre-hospital transfusion of plasma in hemorrhaging trauma patients independently improves hemostatic competence and acidosis. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2016;24(1):145.
9. Heuer M, Hussmann B, Lefering R, Kaiser GM, Eicker C, Guckelberger O, et al. Prehospital fluid management of abdominal organ trauma patients--a matched pair analysis. *Langenbecks Archives of Surgery*. 2015;400(3):371-9.
10. Hussmann B, Heuer M, Lefering R, Touma A, Schoeneberg C, Keitel J, et al. Prehospital volume therapy as an independent risk factor after trauma. *BioMed research international*. 2015;2015:354367.
11. Hussmann B, Schoeneberg C, Jungbluth P, Heuer M, Lefering R, Maek T, et al. Enhanced prehospital volume therapy does not lead to improved outcomes in severely injured patients with severe traumatic brain injury. *BMC Emergency Medicine*. 2019;19(1):13.
12. Khan M, Jehan F, Bulger EM, O'Keeffe T, Holcomb JB, Wade CE, et al. Severely injured trauma patients with admission hyperfibrinolysis: Is there a role of tranexamic acid? Findings from the PROPPR trial. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;85(5):851-7.
13. Leenen M, Scholz A, Lefering R, Flohe S, TraumaRegister DGU. Limited volume resuscitation in hypotensive elderly multiple trauma is safe and prevents early clinical dilutive coagulopathy -- a matched-pair analysis from TraumaRegister DGU(R). *Injury*. 2014;45:S59-63.
14. Leidel BA, Kirchhoff C, Bogner V, Braunstein V, Biberthaler P, Kanz K-G. Comparison of intraosseous versus central venous vascular access in adults under resuscitation in the emergency department with inaccessible peripheral veins. *Resuscitation*. 2012;83(1):40-5.
15. Moore HB, Moore EE, Chapman MP, McVane K, Bryskiewicz G, Blechar R, et al. Plasma-first resuscitation to treat haemorrhagic shock during emergency ground transportation in an urban area: a randomised trial. *Lancet*. 2018;392(10144):283-91.
16. Nishijima DK, Kuppermann N, Roberts I, VanBuren JM, Tancredi DJ. The Effect of Tranexamic Acid on Functional Outcomes: An Exploratory Analysis of the CRASH-2 Randomized Controlled Trial. *Annals of Emergency Medicine*. 2019;74(1):79-87.
17. Pusateri AE, Moore EE, Moore HB, Le TD, Guyette FX, Chapman MP, et al. Association of Prehospital Plasma Transfusion With Survival in Trauma Patients With Hemorrhagic Shock When

- Transport Times Are Longer Than 20 Minutes: A Post Hoc Analysis of the PAMPer and COMBAT Clinical Trials. *JAMA Surgery*. 2020;155(2):e195085.
18. Reitz KM, Moore HB, Guyette FX, Sauaia A, Pusateri AE, Moore EE, et al. Prehospital plasma in injured patients is associated with survival principally in blunt injury: Results from two randomized prehospital plasma trials. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;88(1):33-41.
 19. Roberts I, Edwards P, Prieto D, Joshi M, Mahmood A, Ker K, et al. Tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploration of benefits and harms. *Trials [Electronic Resource]*. 2017;18(1):48.
 20. Schreiber MA, Meier EN, Tisherman SA, Kerby JD, Newgard CD, Brasel K, et al. A controlled resuscitation strategy is feasible and safe in hypotensive trauma patients: results of a prospective randomized pilot trial. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;78(4):687-95; discussion 95-7.
 21. Shiraishi A, Kushimoto S, Otomo Y, Matsui H, Hagiwara A, Murata K, et al. Effectiveness of early administration of tranexamic acid in patients with severe trauma. *British Journal of Surgery*. 2017;104(6):710-7.
 22. Sperry JL, Guyette FX, Brown JB, Yazer MH, Triulzi DJ, Early-Young BJ, et al. Prehospital Plasma during Air Medical Transport in Trauma Patients at Risk for Hemorrhagic Shock. *New England Journal of Medicine*. 2018;379(4):315-26.
 23. Wafaisade A, Lefering R, Bouillon B, Bohmer AB, Gasler M, Ruppert M, et al. Prehospital administration of tranexamic acid in trauma patients. *Critical Care (London, England)*. 2016;20(1):143.
 24. Zhang L-M, Li R, Sun W-B, Wang X-P, Qi M-M, Bai Y, et al. Low-dose, early fresh frozen plasma transfusion therapy after severe trauma brain injury: a clinical, prospective, randomized, controlled study. *World neurosurgery*. 2019;132:e21-e7.
 25. Kreimeier U, Prueckner S, Peter K. Permissive hypotension. *Schweiz Med Wochenschr*. 2000;130(42):1516-24.
 26. Turner J, Nicholl J, Webber L, Cox H, Dixon S, Yates D. A randomised controlled trial of prehospital intravenous fluid replacement therapy in serious trauma. *Health Technol Assess*. 2000;4(31):1-57.
 27. Adams HA, Piepenbrock S, Hempelmann G. [Volume replacement solutions--pharmacology and clinical use]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 1998;33(1):2-17.
 28. Kroll W, Gassmayr SE, Izmail S, List WF. Prehospital fluid resuscitation. *Acta Anaesthesiol Scand Suppl*. 1997;111:301-2.
 29. Bickell WH, Wall MJ, Jr., Pepe PE, Martin RR, Ginger VF, Allen MK, et al. Immediate versus delayed fluid resuscitation for hypotensive patients with penetrating torso injuries. *The New England journal of medicine*. 1994;331(17):1105-9.
 30. Dutton RP, Mackenzie CF, Scalea TM. Hypotensive resuscitation during active hemorrhage: impact on in-hospital mortality. *J Trauma*. 2002;52(6):1141-6.
 31. Morrison CA, Carrick MM, Norman MA, Scott BG, Welsh FJ, Tsai P, et al. Hypotensive resuscitation strategy reduces transfusion requirements and severe postoperative coagulopathy in trauma patients with hemorrhagic shock: preliminary results of a randomized controlled trial. *J Trauma*. 2011;70(3):652-63.
 32. Wang CH, Hsieh WH, Chou HC, Huang YS, Shen JH, Yeo YH, et al. Liberal versus restricted fluid resuscitation strategies in trauma patients: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and observational studies. *Critical care medicine*. 2014;42(4):954-61.
 33. Curry N, Hopewell S, Doree C, Hyde C, Brohi K, Stanworth S. The acute management of trauma hemorrhage: A systematic review of randomized controlled trials. *Critical Care*. 2011;15(2).
 34. Banerjee A, Jones R. Whither immediate fluid resuscitation? *Lancet*. 1994;344(8935):1450-1.
 35. Krausz MM, Bashenko Y, Hirsh M. Crystalloid and colloid resuscitation of uncontrolled hemorrhagic shock following massive splenic injury. *Shock*. 2001;16(5):383-8.
 36. Riddez L, Johnson L, Hahn RG. Central and regional hemodynamics during crystalloid fluid therapy after uncontrolled intra-abdominal bleeding. *J Trauma*. 1998;44(3):433-9.

37. Shackford SR. Effect of small-volume resuscitation on intracranial pressure and related cerebral variables. *J Trauma*. 1997;42(5 Suppl):S48-53.
38. Trunkey DD. Prehospital fluid resuscitation of the trauma patient. An analysis and review. *Emerg Med Serv*. 2001;30(5):93-5, 6, 8 passim.
39. Roberts K, Revell M, Youssef H, Bradbury AW, Adam DJ. Hypotensive resuscitation in patients with ruptured abdominal aortic aneurysm. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*. 2006;31(4):339-44.
40. Dries DJ. Hypotensive resuscitation. *Shock*. 1996;6(5):311-6.
41. Singbartl G. [Significance of preclinical emergency treatment for the prognosis of patients with severe craniocerebral trauma]. *Anasth Intensivther Notfallmed*. 1985;20(5):251-60.
42. Pargger H, Studer W, Ruttimann U. [Volume therapy in hypotensive trauma patients]. *Schweiz Med Wochenschr*. 2000;130(42):1509-15.
43. Rossi R. [Early care or quick transport? The effectiveness of preclinical treatment of emergency patients]. *Anaesthesist*. 1997;46(2):126-32.
44. Holte K, Kristensen BB, Valentiner L, Foss NB, Husted H, Kehlet H. Liberal versus restrictive fluid management in knee arthroplasty: a randomized, double-blind study. *Anesth Analg*. 2007;105(2):465-74.
45. Yaghoubian A, Lewis RJ, Putnam BA, De Virgilio C. Impact on patient outcomes after closure of an adjacent trauma center. *Am Surg*. 2008;74(10):930-4.
46. Balogh Z, McKinley BA, Cocanour CS, Kozar RA, Valdivia A, Sailors RM, et al. Supranormal trauma resuscitation causes more cases of abdominal compartment syndrome. *Arch Surg*. 2003;138(6):637-42; discussion 42-3.
47. Brinkmeyer SD. Fluid resuscitation: an overview. *J Am Osteopath Assoc*. 1983;82(5):326-30.
48. Giesecke AH, Jr., Grande CM, Whitten CW. Fluid therapy and the resuscitation of traumatic shock. *Crit Care Clin*. 1990;6(1):61-72.
49. Sampalis JS, Denis R, Frechette P, Brown R, Fleischer D, Mulder D. Direct transport to tertiary trauma centers versus transfer from lower level facilities: impact on mortality and morbidity among patients with major trauma. *J Trauma*. 1997;43(2):288-95; discussion 95-6.
50. Sampalis JS, Tamim H, Denis R, Boukas S, Ruest SA, Nikolis A, et al. Ineffectiveness of on-site intravenous lines: is prehospital time the culprit? *J Trauma*. 1997;43(4):608-15; discussion 15-7.
51. American College of Surgeons Committee on Trauma ATLS Student Course. Manual 9 Edition. 2012;(Chicago).
52. Giraud R, Siegenthaler N, Arroyo D, Bendjelid K. Impact of epinephrine and norepinephrine on two dynamic indices in a porcine hemorrhagic shock model. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;77(4):564-9;quiz 650-1.
53. Medizinprodukte BfAu. Rote-Hand-Brief zu HES-haltigen Infusionslösungen: Neue Kontraindikationen und Anwendungsbeschränkungen. Rote-Hand-Brief: Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte; 2013.
54. Velanovich V. Crystalloid versus colloid fluid resuscitation: a meta-analysis of mortality. *Surgery*. 1989;105(1):65-71.
55. Choi PT, Yip G, Quinonez LG, Cook DJ. Crystalloids vs. colloids in fluid resuscitation: a systematic review. *Critical care medicine*. 1999;27(1):200-10.
56. Bunn F, Roberts I, Tasker R, Akpa E. Hypertonic versus isotonic crystalloid for fluid resuscitation in critically ill patients. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2002;(1):CD002045.
57. Bunn F, Roberts I, Tasker R, Akpa E. Hypertonic versus near isotonic crystalloid for fluid resuscitation in critically ill patients. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2004;(3):CD002045.
58. Bunn F, Trivedi D, Ashraf S. Colloid solutions for fluid resuscitation. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2008;(1):CD001319.
59. Coran AG, Ballantine TV, Horwitz DL, Herman CM. The effect of crystalloid resuscitation in hemorrhagic shock on acid-base balance: a comparison between normal saline and Ringer's lactate solutions. *Surgery*. 1971;69(6):874-80.

60. Hankeln K, Lenz I, Hauser B. [Hemodynamic effect of 6% hydroxyethyl starch (HES 200,000/0.62)]. *Anaesthesist*. 1988;37(3):167-72.
61. Healey MA, Davis RE, Liu FC, Loomis WH, Hoyt DB. Lactated ringer's is superior to normal saline in a model of massive hemorrhage and resuscitation. *J Trauma*. 1998;45(5):894-9.
62. Shires GT. Pathophysiology and fluid replacement in hypovolemic shock. *Ann Clin Res*. 1977;9(3):144-50.
63. Pitts R, Lotspeich W. Bicarbonate and the renal regulation of acid base balance. *Am J Physiol*. 1946;147(1):138-57.
64. Pitts RF, Ayer JL, Schiess WA. The renal regulation of acid-base balance in man; the reabsorption and excretion of bicarbonate. *J Clin Invest*. 1949;28(1):35-44.
65. Angle N, Cabello-Passini R, Hoyt DB, Loomis WH, Shreve A, Namiki S, et al. Hypertonic saline infusion: can it regulate human neutrophil function? *Shock*. 2000;14(5):503-8.
66. Angle N, Hoyt DB, Cabello-Passini R, Herdon-Remelius C, Loomis W, Junger WG. Hypertonic saline resuscitation reduces neutrophil margination by suppressing neutrophil L selectin expression. *J Trauma*. 1998;45(1):7-12; discussion -3.
67. Angle N, Hoyt DB, Coimbra R, Liu F, Herdon-Remelius C, Loomis W, et al. Hypertonic saline resuscitation diminishes lung injury by suppressing neutrophil activation after hemorrhagic shock. *Shock*. 1998;9(3):164-70.
68. Rhee P, Burris D, Kaufmann C, Pikoulis M, Austin B, Ling G, et al. Lactated Ringer's solution resuscitation causes neutrophil activation after hemorrhagic shock. *J Trauma*. 1998;44(2):313-9.
69. Deb S, Martin B, Sun L, Ruff P, Burris D, Rich N, et al. Resuscitation with lactated Ringer's solution in rats with hemorrhagic shock induces immediate apoptosis. *J Trauma*. 1999;46(4):582-8; discussion 8-9.
70. Raum M, Holzgraefe B, Rixen D, Gregor S, Zander R, Tiling T, et al. Der Einfluß von exogenem Laktat auf gemessene Plasmalaktatspiegel im hämorrhagischen Schock- eine kontrollierte Studie am Schwein. *Chir Forum*. 2000;Band 29:543-7.
71. Raum M, Rixen D, Linker R, Gregor S, Holzgraefe B, Neugebauer E. [Influence of lactate infusion solutions on the plasma lactate concentration]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2002;37(6):356-8.
72. Zander R. [Intracranial pressure and hypotonic infusion solutions]. *Anaesthesist*. 2009;58(4):405-9.
73. Lier H, Krep H, Schroeder S, Stuber F. Preconditions of hemostasis in trauma: a review. The influence of acidosis, hypocalcemia, anemia, and hypothermia on functional hemostasis in trauma. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2008;65(4):951-60.
74. Spahn DR, Bouillon B, Cerny V, Coats TJ, Duranteau J, Fernández-Mondéjar E, et al. Management of bleeding and coagulopathy following major trauma: an updated European guideline. *Critical care*. 2013;17(2):1-45.
75. Beekley AC. Damage control resuscitation: a sensible approach to the exsanguinating surgical patient. *Critical care medicine*. 2008;36(7):S267-S74.
76. Tieu BH, Holcomb JB, Schreiber MA. Coagulopathy: its pathophysiology and treatment in the injured patient. *World journal of surgery*. 2007;31(5):1055-65.
77. Lier H, Böttiger BW, Hinkelbein J, Krep H, Bernhard M. Coagulation management in multiple trauma: a systematic review. *Intensive care medicine*. 2011;37(4):572-82.
78. Schöch H. Coagulation management in major trauma. *Hämostaseologie*. 2006;26(S 02):S50-S5.
79. Kashuk JL, Moore EE, Millikan JS, Moore JB. Major abdominal vascular trauma--a unified approach. *The Journal of trauma*. 1982;22(8):672-9.
80. MacLeod JB, Cohn SM, Johnson EW, McKenney MG. Trauma deaths in the first hour: are they all unsalvageable injuries? *The American journal of surgery*. 2007;193(2):195-9.
81. Roberts I, Prieto-Merino D, Manno D. Mechanism of action of tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of data from the CRASH-2 trial. *Critical Care (London, England)*. 2014;18(6):685.

82. Crash-trial collaborators, al. e. Effects of tranexamic acid on death, vascular-occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): A randomised, placebo-controlled trial. *Lancet*. 2010;376:23-32.
83. collaborators C-t, al. e. The importance of early treatment with tranexamic acid in bleeding trauma patients: An exploratory analysis of the CRASH-2 randomised controlled trial. *Lancet*. 2011;377:1096-101.
84. Ziegler B, Bachler M, Haberfellner H, Niederwanger C, Innerhofer P, Hell T, et al. Efficacy of prehospital administration of fibrinogen concentrate in trauma patients bleeding or presumed to bleed (FlinTIC): A multicentre, double-blind, placebo-controlled, randomised pilot study. *European journal of anaesthesiology*. 2021;38(4):348-57.
85. Bundesärztekammer (BÄK GMA. Querschnitts-Leitlinien (BÄK) zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten - Gesamtnovelle 2020. 2020.
86. Aubron C, Reade MC, Fraser J, Cooper DJ. Efficacy and safety of fibrinogen concentrate in trauma patients—a systematic review. *Journal of critical care*. 2014;29(3):471. e11-. e17.

1.4 Analgesie

M. Bernhard*, D. Bieler, B. Hossfeld, P. Hilbert-Carius, S. Braun

Dem vorliegenden Hintergrundtext liegt eine systematische Übersichtsarbeit und Metaanalyse aus dem Jahr 2017 zugrunde [1].

Eine adäquate Analgesie ist im Rahmen einer qualitativ hochwertigen notfallmedizinischen Versorgung in Rettungs- und Notarztdienst als auch in der Notaufnahme und der weiteren innerklinischen Versorgung - auch aus Patientensicht - ein wesentlicher Baustein und ein Qualitätskriterium in der Traumaversorgung [2-4]. Dabei zählt die Schmerztherapie auch zu den grundlegenden Menschenrechten [5]. Schmerzen haben direkte physiologische Auswirkungen auf den Blutdruck, die Atem- und Herzfrequenz, den Sauerstoffverbrauch sowie die Entzündungsreaktion und sind darüber hinaus ein Risikofaktor für eine posttraumatische Belastungsstörung [6]. Erkenntnisse zahlreicher Studien zeigen, dass eine Vielzahl an Traumapatienten hinsichtlich einer Analgesie unterversorgt ist [4, 7-16]. Hauptgründe für eine insuffiziente Analgesie sind die Anwender-assoziierte Sorge vor Nebenwirkungen und Unsicherheiten in der Dosierung.

Applikationsformen der Analgesie

1.4.1	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Schwererletzte Patienten sollen eine intravenöse Analgesie erhalten.	
Literatur, Evidenzgrad	[10] Bounes 2011: LoE 1b [17] Galinski 2007: LoE 1b [18] Smith 2012: LoE 1b [1] Häske 2017: LoE 2a	
	Konsensstärke: 100%	

1.4.2	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad O ↔	Als alternative Applikationsformen für eine Analgesie bei schwererletzten Patienten kann die intraossäre und ggf. intranasale Gabe genutzt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Häske 2017: LoE 2a [19] Karlsen 2014: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Die Applikation eines Analgetikums soll in der Notfallmedizin u.a. aufgrund einer besseren Steuerbarkeit intravenös erfolgen [2]. Dabei kann jedes intravenös zugelassene Analgetikum aber auch alternativ und in gleicher Dosis intraossär appliziert werden, wenn ein intravenöser Zugang nur verzögert angelegt, oder gar nicht angelegt werden kann [20]. Auch die intranasale Applikation ist eine Alternative. Für die intranasale Verabreichung mit einem „mucosal atomization device“ (MAD) gibt es meist keine Zulassung, dennoch bestehen für Ketamin und Fentanyl klinische Erfahrungsberichte [19,

21-24]. Die intramuskuläre Applikation ist wegen der unvorhersehbaren Resorption und Risiken von Abszessen und Infektionen stark in den Hintergrund gerückt [1].

Schmerzbeurteilung

1.4.3	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Ansprechbare schwerverletzte Patienten sollen gefragt werden, ob Sie ein Schmerzmittel wünschen.	
	Konsensstärke: 93%	

1.4.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die Numeric Rating Skala ist nicht bei allen Patienten anwendbar, daher sollen Patienten alternativ nach starken oder unerträglichen Schmerzen gefragt werden.	
	Konsensstärke: 92%	

1.4.5	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Numeric Rating Skala soll genutzt werden, um die Schmerzen zu objektivieren, zu dokumentieren und den Erfolg einer Analgesie zu kontrollieren.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Häske 2017: LoE 2a	
	Konsensstärke: 92%	

1.4.6	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Zielwert der Analgesie soll eine Numeric Rating Skala ≤ 4 sein.	
Literatur, Evidenzgrad	[25] DAS Leitlinie 2020: LoE 2a [26] Maier 2010: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

1.4.7	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Ergänzend können auch Vitalwerte (z.B. Atemfrequenz) als Hinweis für die bestehende Schmerzen genutzt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[27] Bendall 2011: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Die Schmerzwahrnehmung ist subjektiv und wird von Patienten und Fachpersonal unterschiedlich beurteilt [28]. Nicht alle Patienten wünschen ein Analgetikum, daher sollten Patienten befragt werden, ob diese ein Analgetikum wünschen [29]. Bei nicht-bewusstseinsgetrübten Patienten soll die etablierte

Numeric Rating Skala (NRS), eine Skala zur Schmerzeinschätzung, zu Objektivierung, Dokumentation und Erfolgskontrolle eingesetzt werden [1]. Die Skala ist metrisch und die Abstände der Punkte sind gleichmäßig verteilt. Dabei bedeutet „0“ kein Schmerz und „10“ der maximal vorstellbare Schmerz. Dem Patienten werden die Grenzen (0-10) erklärt und nachfolgend trifft er eine Selbsteinschätzung [1]. Zielwert der analgetischen Therapie ist ein NRS ≤ 4 [25, 26, 30]. Auch die Vitalwerte (z.B. Atemfrequenz ≥ 25 /min, Tachykardie und systolische Hypertonie) können als Hinweise für bestehende Schmerzen herangezogen werden [27]. Die NRS ist nicht bei allen Patienten anwendbar, sodass Patienten alternativ nach starken oder unerträglichen Schmerzen gefragt werden können [31]. Insbesondere geriatrische Patienten haben häufig eine höhere Anzahl an Komorbiditäten, klagen weniger über Schmerzen und müssen entsprechend intensiver befragt werden [30]. Grundlage für eine Schmerzbeurteilung bei Demenz mittels der BESD-Skala [auf Basis des Pain Assessment in Advanced Dementia (PAINAD)] umfasst 5 Verhaltenskategorien: Atmung, negative Lautäußerungen, Körperhaltung, Mimik und Reaktion des Patienten auf Trost [32]. Bei Patienten, die nicht kommunizieren können, ist die Behavioral Pain Scale (BPS) ein geeignetes und gut evaluiertes Tool zur Evaluation von Schmerzen (anhand von Gesichtsausdruck, Bewegung der oberen Extremität, Schmerzvokalisation) [33, 34].

Prähospitale und innerklinische Analgetika

1.4.8	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Fentanyl, Ketamin und Morphin weisen eine vergleichbare Effektivität auf und sollen zur Analgesie des spontanatmenden schwerverletzten Patienten zur Anwendung kommen.	
Literatur, Evidenzgrad	[10] Bounes 2011: LoE 1b [17] Galinski 2007: LoE 1b [35] Jennings 2012: LoE 1b [36] Tran 2014: LoE 1b [37] Grissa 2015: LoE 1b [18] Smith 2012: LoE 1b [1] Häske 2017: LoE 2a [38] Johanson 2009: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Zur prähospitalen und innerklinischen Analgesie kommen vorwiegend Fentanyl, Morphin und Ketamin zur Anwendung. Anstelle des Razemats Ketamin kann auch das S-Enantiomer S-Ketamin in angepasster Dosierung eingesetzt werden. Trotz unterschiedlicher Endpunktdefinition weisen Studien für Fentanyl und Ketamin oder deren Kombinationen einen rascheren Wirkungseintritt im Vergleich zu Morphin auf [4, 35, 39]. Auch die Kombination aus Ketamin und Morphin ist schneller und effektiver als Morphin allein [35, 40]. Auch internationale Leitlinien empfehlen den Einsatz von Morphin, Fentanyl und Ketamin zur prähospitalen und innerklinischen Analgesie [41, 42]. Für den Einsatz von Piritramid liegen keine Daten vor [41, 42]. Fentanyl und Morphin unterliegen dem Betäubungsmittelgesetz. Fentanyl und Sufentanil sind entgegen der gängigen Praxis zur prähospitalen Analgesie bei spontanatmenden Patienten nicht zugelassen, die Anwendung erfolgt als „off-label“-use.

Ketamin weist den Vorteil gegenüber Opioiden auf, dass es während der technischen Rettung oder invasiven Maßnahmen (z.B. Reposition, Schienung) nicht nur zu einer Analgesie führt, sondern den Patienten auch gegen äußere Reize abschirmt [1]. Jedoch kann es unter Ketamin zu einer Hyperakusis kommen. Ketamin eignet sich insbesondere bei hämodynamisch instabilen Patienten [43, 44]. Dabei zeigen Übersichtsarbeiten keinen Unterschied zu anderen Substanzen hinsichtlich des intrakraniellen

Drucks, des zerebralen Perfusionsdrucks, des neurologischen Behandlungsergebnisses, der Mortalität und der Liegedauer auf einer Intensivstation [45-47]. Bei beatmeten Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma kann Ketamin den intrazerebralen Druck effektiv reduzieren und unerwünscht Hirndruckanstiege bei gleichem Blutdruck und cerebralen Perfusionsdruck verhindern [46]. Auf die Vermeidung einer Hyperkapnie muss geachtet werden. Ketamin kann damit allein, oder in Kombination mit einem Opioid sicher und effektiv eingesetzt werden [35, 36, 38, 48-57].

Eine Einschätzung zum prähospitalen oder innerklinischen Einsatz von Lachgas (N₂O) oder Methoxyfluran kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend erfolgen, obwohl erste Studien verfügbar sind [58-62].

Nicht-pharmakologische Schmerztherapie

1.4.9	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Neben einer pharmakologischen Therapie sollen physikalische Maßnahmen (z.B. Lagerung, Schienung) zur Anwendung kommen.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Versorgung von Extremitätenverletzungen (z.B. Lagerung, Verbände, Reposition und Schienung) verhindert weitere Schädigungen. Reposition und Schienung tragen wesentlich zur Ruhigstellung bei und haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Schmerzlinderung [1]. Ebenso können so Weichteilnekrosen, neurovaskuläre Schädigungen sowie Kompartmentsyndrome vermieden und eine adäquate Perfusion ermöglicht werden. Eine Immobilisation zur Ruhigstellung soll daher bereits bei dem Verdacht auf eine muskuloskeletale Verletzung durchgeführt werden [63, 64].

Durch Lagerungsmaßnahmen darf aber die Gesamttrettszeit bei relevanter Mehrfachverletzungen und insbesondere bei lebensbedrohlichen Verletzungen nicht verlängert werden [65]. Zur Reposition, Schienung und Lagerung kann eine Analgosedierung notwendig werden [1].

Eine Kälteanwendung (Kryotherapie) reduziert Schmerzen, jedoch ist die Evidenz gering. Bei Anwendung von Kälte sollte darauf geachtet werden, dass das Gewebe nicht durch exzessive lokale Kühlung Schaden nimmt [66].

Monitoring und Überwachung

1.4.10	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Eine Analgesie soll nach entsprechender Ausbildung und Schulung unter kontinuierlicher Überwachung (z.B. EKG, Blutdruck, Atem- und Herzfrequenz, pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung, ggf. Kapnografie) des Patienten und der Bereithaltung von Notfallequipment zur Behandlung von Komplikationen erfolgen.	
	Konsensstärke: 85%	

Voraussetzung für eine sichere prähospitalen und innerklinischen Analgesie sind pharmakologisches Wissen, Training in der Anwendung und die Vorhaltung eines Notfallequipments zur Behandlung von Komplikationen unabhängig vom Anwender [1, 2]. Auch die Anwendung durch entsprechend geschultes rettungsdienstliches und pflegerisches Personal im In- und Ausland sind möglich [35, 36, 38, 48-57].

Die Überwachungsmaßnahmen und das bereitzuhaltende Notfallequipment orientieren sich an den zu erwartenden Komplikationen und Nebenwirkungen der gebräuchlichsten Analgetika Fentanyl, Ketamin und Morphin, die in **Tabelle 1** zusammengefasst sind [1].

Der Einsatz von Ketamin alleine oder in Kombination mit Opioiden führt zu einer reduzierten Vigilanz in 1,5-18% der Fälle. Eine Agitation (z.B. Dysphorie und Halluzinationen) und Hypersalivation ist bei Ketamin möglich [67]. Abfälle der Sauerstoffsättigung wurden für Fentanyl (bis 16%), Ketamin (bis 12%) und Morphin (bis 5%) berichtet [68]. Eine Brady- oder Apnoe bei der Verwendung von Opioiden ist möglich. Die Notwendigkeit einer assistierten Maskenbeatmung beim Einsatz von Ketamin lag bei 0,05%, bei Fentanyl bei 0,02% und bei Morphin bei 0% (**Tabelle 1**). Weitere Nebenwirkungen sind Übelkeit/Erbrechen und Hypotension bei allen drei vorgenannten Medikamenten [69]. Aufgrund des Risikos von Dysphorie und lebhaften Halluzinationen wird bei Ketamin die additive Gabe eines niedrigdosierten Benzodiazepins oder von Propofol empfohlen (unter Antizipation der mit diesen Medikamenten einhergehenden unerwünschten Effekten) [30]. Andere Konzepte sehen eine „Midazolambereitschaft“ vor, bei denen Midazolam nicht regelhaft, sondern nur bei eintretender Ketamin-assoziiertes Nebenwirkung zum Einsatz kommt [41, 42, 70]. Zur Vermeidung einer Atemdepression soll eine titrierte Medikamentenapplikation angewendet werden. Wenn eine Atemdepression eingetreten ist, werden folgende geeignete Maßnahmen getroffen: (1) Absprache/Stimulation, (2) Aufforderung zur Atmung (Kommandoatmung), (3) Freihalten der Atemwege (Esmarch-Handgriff), Maskenbeatmung, und ggf. Atemwegsmanagement inkl. endotracheale Intubation bei massiver Oxygenierungsstörung, (4) ggf. Antagonisierung [1].

Das Monitoring eines analgesierte Patienten in Spontanatmung umfasst das EKG, den Blutdruck, die Atem- und Herzfrequenz und die pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung sowie ggf. die Kapnografie [1, 71]. Eine Metaanalyse zeigt den Vorteil einer Kapnografie bei der Analgosedierung bezüglich der Reduktion von Sauerstoffsättigungsabfällen [42, 72]. Ein analgeseierter Patient sollte regelhaft Sauerstoff erhalten. Die Möglichkeit einer Maskenbeatmung und eine Absaugungseinheit müssen bestehen und der Anwender der Analgesie in der Lage sein den Atemweg freizuhalten und eine Beatmung durchzuführen [1]. Die Anlage eines intravenösen Zugangs zur Behandlung einer Hypotension oder ggf. erfolgte Antagonisierung mit Naloxon bei Opioiden wird empfohlen [1].

Tabelle 1. Nebenwirkungen von Fentanyl, Ketamin, Morphin und ketamin/+Morphin bei Traumapatienten

Analgetikum	Fentanyl	Ketamin	Morphin	Ketamin+Morphin
Patientenzahl aller Patienten in Studien, die Nebenwirkungen berichten (n)	6373	2105	1098	119
Vigilanzminderung (%)	0,49	2,76	3,28	2,52
Dysphorie (%)	0,09	1,95	0,27	10,08
Pruritus (%)	0,00	0,00	0,27	0,00
Abfall der pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung (%)	0,58	0,58	0,55	0,00
Beatmung erforderlich (%)	0,02	0,05	0,00	0,00
Salivation (%)	0,00	0,19	0,00	0,00
Nausea (%)	0,36	1,00	2,37	12,61
Emesis (%)	1,52	0,62	4,83	3,36

Analgetikum	Fentanyl	Ketamin	Morphin	Ketamin+Morphin
Hypotension (%)	1,57	0,00	0,46	0,00
Daten entstammen der Metaanalyse von Häske et al. [1] und enthält folgende Studien [10, 17, 18, 19, 22, 36, 37, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 57, 61, 62, 67].				

Literatur

1. Häske D, Böttiger BW, Bouillon B, Fischer M, Gaier G, Gliwitzky B, et al. Analgesia in Patients with Trauma in Emergency Medicine. *Dtsch Arztebl Int.* 2017;114(46):785-92.
2. Kumle B, Wilke P, Koppert W, Kumle K, Gries A. Schmerztherapie in der Notfallmedizin. *Der Anaesthetist.* 2013;62(11):902-13.
3. Matthes G, Trentzsch H, Wöfl C, Paffrath T, Flohe S, Schweigkofler U, et al. Essential measures for prehospital treatment of severely injured patients: The trauma care bundle. *Der Unfallchirurg.* 2015;118(8):652-6.
4. Stork B, Hofmann-Kiefer K. Analgesie in der Notfallmedizin. *Notfall+ Rettungsmedizin.* 2008;11(6):427-38.
5. Brennan F, Carr DB, Cousins M. Pain management: a fundamental human right. *Anesthesia & Analgesia.* 2007;105(1):205-21.
6. Norman SB, Stein MB, Dimsdale J, Hoyt DB. Pain in the aftermath of trauma is a risk factor for post-traumatic stress disorder. *Psychological medicine.* 2008;38(4):533-42.
7. (SQR-BW) SztQIRB-W. Qualitätsbericht: Baden-Württemberg, Berichtsjahr 2014. 2014.
8. Albrecht E, Taffe P, Yersin B, Schoettker P, Decosterd I, Hugli O. Undertreatment of acute pain (oligoanalgesia) and medical practice variation in prehospital analgesia of adult trauma patients: a 10 yr retrospective study. *British journal of anaesthesia.* 2013;110(1):96-106.
9. Bakkelund KE, Sundland E, Moen S, Vangberg G, Mellesmo S, Klepstad P. Undertreatment of pain in the prehospital setting: a comparison between trauma patients and patients with chest pain. *European Journal of Emergency Medicine.* 2013;20(6):428-30.
10. Bounes V, Barniol C, Minville V, Houze-Cerfon C-H, Ducassé JL. Predictors of pain relief and adverse events in patients receiving opioids in a prehospital setting. *The American journal of emergency medicine.* 2011;29(5):512-7.
11. Moller JC, Ballnus S, Kohl M, Gopel W, Barthel M, Kruger U, et al. Evaluation of the performance of general emergency physicians in pediatric emergencies: Obstructive airway diseases, seizures, and trauma. *Pediatric Emergency Care.* 2002;18(6):424-8.
12. Pierik JG, IJzerman MJ, Gaakeer MI, Berben SA, van Eenennaam FL, van Vugt AB, et al. Pain management in the emergency chain: the use and effectiveness of pain management in patients with acute musculoskeletal pain. *Pain medicine.* 2015;16(5):970-84.
13. Ricard-Hibon A, Chollet C, Saada S, Loridant B, Marty J. A quality control program for acute pain management in out-of-hospital critical care medicine. *Annals of emergency medicine.* 1999;34(6):738-44.
14. Schauer SG, Robinson JB, Mabry RL, Howard JT. Battlefield Analgesia: TCCC Guidelines Are Not Being Followed. *Journal of Special Operations Medicine: a peer reviewed journal for SOF medical professionals.* 2015;15(1):85-9.
15. Stalnikowicz R, Mahamid R, Kaspi S, Brezis M. Undertreatment of acute pain in the emergency department: a challenge. *International Journal for Quality in Health Care.* 2005;17(2):173-6.
16. Vassiliadis J, Hitos K, Hill CT. Factors influencing prehospital and emergency department analgesia administration to patients with femoral neck fractures. *Emergency Medicine.* 2002;14(3):261-6.
17. Galinski M, Dolveck F, Combes X, Limoges V, Smaïl N, Pommier V, et al. Management of severe acute pain in emergency settings: ketamine reduces morphine consumption. *The American journal of emergency medicine.* 2007;25(4):385-90.
18. Smith MD, Wang Y, Cudnik M, Smith DA, Pakiela J, Emerman CL. The effectiveness and adverse events of morphine versus fentanyl on a physician-staffed helicopter. *The Journal of emergency medicine.* 2012;43(1):69-75.
19. Karlsen AP, Pedersen DM, Trautner S, Dahl JB, Hansen MS. Safety of intranasal fentanyl in the out-of-hospital setting: a prospective observational study. *Annals of emergency medicine.* 2014;63(6):699-703.
20. Helm M, Gräsner J, Gries A, Fischer M, Böttger B, Eich C, et al. S1-Leitlinie: Die intraossäre Infusion in der Notfallmedizin. 2018.

21. Graudins A, Meek R, Egerton-Warburton D, Oakley E, Seith R. The PICHFORK (Pain in Children Fentanyl or Ketamine) trial: a randomized controlled trial comparing intranasal ketamine and fentanyl for the relief of moderate to severe pain in children with limb injuries. *Annals of emergency medicine*. 2015;65(3):248-54. e1.
22. Johansson J, Sjöberg J, Nordgren M, Sandström E, Sjöberg F, Zetterström H. Prehospital analgesia using nasal administration of S-ketamine—a case series. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2013;21(1):1-5.
23. Riediger C, Haschke M, Bitter C, Fabbro T, Schaeren S, Urwyler A, et al. The analgesic effect of combined treatment with intranasal S-ketamine and intranasal midazolam compared with morphine patient-controlled analgesia in spinal surgery patients: a pilot study. *Journal of Pain Research*. 2015;8:87.
24. Samuel N, Steiner IP, Shavit I. Prehospital pain management of injured children: a systematic review of current evidence. *The American journal of emergency medicine*. 2015;33(3):451-4.
25. DAS-Leitlinie. S3 Leitlinie Analgesie, Sedierung und Delirmanagement in der Intensivmedizin AWMF Registrierungsnummer 001/012. 2020.
26. Maier C, Nestler N, Richter H, Hardinghaus W, Pogatzki-Zahn E, Zenz M, et al. The quality of pain management in German hospitals. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2010;107(36):607.
27. Bendall JC, Simpson PM, Middleton PM. Prehospital vital signs can predict pain severity: analysis using ordinal logistic regression. *European Journal of Emergency Medicine*. 2011;18(6):334-9.
28. Van Dijk JF, van Wijck AJ, Kappen TH, Peelen LM, Kalkman CJ, Schuurmans MJ. Postoperative pain assessment based on numeric ratings is not the same for patients and professionals: a cross-sectional study. *International journal of nursing studies*. 2012;49(1):65-71.
29. Singer AJ, Garra G, Chohan JK, Dalmedo C, Thode Jr HC. Triage pain scores and the desire for and use of analgesics. *Annals of emergency medicine*. 2008;52(6):689-95.
30. Hossfeld B, Holsträter S, Bernhard M, Lampl L, Helm M, Kulla M. Prähospital Analgesie beim Erwachsenen. *Notfallmedizin up2date*. 2015;10(03):269-84.
31. Green SM, Krauss BS. The numeric scoring of pain: this practice rates a zero out of ten. *Annals of Emergency Medicine*. 2016;67(5):573-5.
32. Warden V, Hurley AC, Volicer L. Development and psychometric evaluation of the Pain Assessment in Advanced Dementia (PAINAD) scale. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2003;4(1):9-15.
33. Chanques G, Payen J-F, Mercier G, De Lattre S, Viel E, Jung B, et al. Assessing pain in non-intubated critically ill patients unable to self report: an adaptation of the Behavioral Pain Scale. *Intensive care medicine*. 2009;35(12):2060-7.
34. Payen J-F, Bru O, Bosson J-L, Lagrasta A, Novel E, Deschaux I, et al. Assessing pain in critically ill sedated patients by using a behavioral pain scale. *Critical care medicine*. 2001;29(12):2258-63.
35. Jennings PA, Cameron P, Bernard S, Walker T, Jolley D, Fitzgerald M, et al. Morphine and ketamine is superior to morphine alone for out-of-hospital trauma analgesia: a randomized controlled trial. *Annals of emergency medicine*. 2012;59(6):497-503.
36. Tran KP, Nguyen Q, Truong XN, Le V, Le VP, Mai N, et al. A comparison of ketamine and morphine analgesia in prehospital trauma care: a cluster randomized clinical trial in rural Quang Tri province, Vietnam. *Prehospital Emergency Care*. 2014;18(2):257-64.
37. Grissa MH, Boubaker H, Zorgati A, Beltaïef K, Zhani W, Msolli MA, et al. Efficacy and safety of nebulized morphine given at 2 different doses compared to IV titrated morphine in trauma pain. *The American journal of emergency medicine*. 2015;33(11):1557-61.
38. Johansson P, Kongstad P, Johansson A. The effect of combined treatment with morphine sulphate and low-dose ketamine in a prehospital setting. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2009;17(1):1-5.
39. Galinski M, Dolveck F, Borron SW, Tual L, Van Laer V, Lardeur J-Y, et al. A randomized, double-blind study comparing morphine with fentanyl in prehospital analgesia. *The American journal of emergency medicine*. 2005;23(2):114-9.

40. Oberholzer N, Kaserer A, Albrecht R, Seifert B, Tissi M, Spahn DR, et al. Factors influencing quality of pain management in a physician staffed helicopter emergency medical service. *Anesthesia & Analgesia*. 2017;125(1):200-9.
41. Gausche-Hill M, Brown KM, Oliver ZJ, Sasson C, Dayan PS, Eschmann NM, et al. An evidence-based guideline for prehospital analgesia in trauma. *Prehospital Emergency Care*. 2014;18(sup1):25-34.
42. Godwin SA, Burton JH, Gerardo CJ, Hatten BW, Mace SE, Silvers SM, et al. Clinical policy: procedural sedation and analgesia in the emergency department. *Annals of emergency medicine*. 2014;63(2):247-58. e18.
43. Morris C, Perris A, Klein J, Mahoney P. Anaesthesia in haemodynamically compromised emergency patients: does ketamine represent the best choice of induction agent? *Anaesthesia*. 2009;64(5):532-9.
44. Paal P, Herff H, Mitterlechner T, von Goedecke A, Brugger H, Lindner KH, et al. Anaesthesia in prehospital emergencies and in the emergency room. *Resuscitation*. 2010;81(2):148-54.
45. Cohen L, Athaide V, Wickham ME, Doyle-Waters MM, Rose NG, Hohl CM. The effect of ketamine on intracranial and cerebral perfusion pressure and health outcomes: a systematic review. *Annals of emergency medicine*. 2015;65(1):43-51. e2.
46. Filanovsky Y, Miller P, Kao J. Myth: ketamine should not be used as an induction agent for intubation in patients with head injury. *Canadian Journal of Emergency Medicine*. 2010;12(2):154-7.
47. Roberts DJ, Hall RI, Kramer AH, Robertson HL, Gallagher CN, Zygun DA. Sedation for critically ill adults with severe traumatic brain injury: a systematic review of randomized controlled trials. *Critical care medicine*. 2011;39(12):2743-51.
48. Bisanzo M, Nichols K, Hammerstedt H, Dreifuss B, Nelson SW, Chamberlain S, et al. Nurse-administered ketamine sedation in an emergency department in rural Uganda. *Annals of emergency medicine*. 2012;59(4):268-75.
49. Bredmose P, Grier G, Davies G, Lockey D. Pre-hospital use of ketamine in paediatric trauma. *Acta anaesthesiologica scandinavica*. 2009;53(4):543-5.
50. Häske D, Schempf B, Gaier G, Niederberger C. Prähospitaler Analgosedierung durch Rettungsassistenten. *Der Anaesthesist*. 2014;63(3):209-16.
51. Höll M. Präklinische Analgosedierung mit Ketamin S und Midazolam durch Notfallsanitäter. *Anästhesiologie Intensivmedizin*. 2017;58:S108.
52. Miller JP, Schauer SG, Ganem VJ, Beberta VS. Low-dose ketamine vs morphine for acute pain in the ED: a randomized controlled trial. *The American journal of emergency medicine*. 2015;33(3):402-8.
53. Motov S, Rockoff B, Cohen V, Pushkar I, Likourezos A, McKay C, et al. Intravenous subdissociative-dose ketamine versus morphine for analgesia in the emergency department: a randomized controlled trial. *Annals of emergency medicine*. 2015;66(3):222-9. e1.
54. Porter K. Ketamine in prehospital care. *Emergency Medicine Journal*. 2004;21(3):351-4.
55. Schempf B, Casu S, Häske D. Prähospitaler Analgosedierung durch Notärzte und Rettungsassistenten. *Der Anaesthesist*. 2017;66(5):325-32.
56. Yatim F, UKM MA. Intravenous ketamine is as effective as midazolam/fentanyl for procedural sedation and analgesia in the emergency department. *Med J Malaysia*. 2011;66(3):231.
57. Yeaman F, Oakley E, Meek R, Graudins A. Sub-dissociative dose intranasal ketamine for limb injury pain in children in the emergency department: a pilot study. *Emergency Medicine Australasia*. 2013;25(2):161-7.
58. Buntine P, Thom O, Babl F, Bailey M, Bernard S. Prehospital analgesia in adults using inhaled methoxyflurane. *Emergency Medicine Australasia*. 2007;19(6):509-14.
59. Coffey F, Wright J, Hartshorn S, Hunt P, Locker T, Mirza K, et al. STOP!: a randomised, double-blind, placebo-controlled study of the efficacy and safety of methoxyflurane for the treatment of acute pain. *Emerg Med J*. 2014;31(8):613-8.
60. Hengefeld N, Lukas R, Klaus S, Van Aken H, Bohn A. Lachgas-Sauerstoff-Gemisch (Livopan®) bei Extremitätentrauma—die LABET-Studie. *Anästhesiologie Intensivmedizin*. 2014;55(Suppl 1):S13.

61. Kariman H, Majidi A, Amini A, Arhami Dolatabadi A, Derakhshanfar H, Hatamabadi H, et al. Nitrous oxide/oxygen compared with fentanyl in reducing pain among adults with isolated extremity trauma: a randomized trial. *Emergency Medicine Australasia*. 2011;23(6):761-8.
62. Lee JH, Kim K, Kim TY, Jo YH, Kim SH, Rhee JE, et al. A randomized comparison of nitrous oxide versus intravenous ketamine for laceration repair in children. *Pediatric emergency care*. 2012;28(12):1297-301.
63. Probst C, Hildebrand F, Frink M, Mommsen P, Krettek C. Prehospital treatment of severely injured patients in the field: an update. *Der Chirurg; Zeitschrift für Alle Gebiete der Operativen Medizin*. 2007;78(10):875-84.
64. Worsing RA. Principles of prehospital care of musculoskeletal injuries. *Emergency medicine clinics of North America*. 1984;2(2):205-17.
65. Melamed E, Blumenfeld A, Kalmovich B, Kosashvili Y, Lin G, Korngreen A, et al. Prehospital care of orthopedic injuries. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2007;22(1):22-5.
66. Hubbard TJ, Denegar CR. Does cryotherapy improve outcomes with soft tissue injury? *Journal of athletic training*. 2004;39(3):278.
67. Moy R, Le Clerc S. Ketamine in prehospital analgesia and anesthesia. *Trends in Anaesthesia and Critical Care*. 2011;1:243-5.
68. Thomas SH, Shewakramani S. Prehospital trauma analgesia. *The Journal of emergency medicine*. 2008;35(1):47-57.
69. Krauss WC, Shah S, Shah S, Thomas SH. Fentanyl in the out-of-hospital setting: variables associated with hypotension and hypoxemia. *The Journal of emergency medicine*. 2011;40(2):182-7.
70. Lohit K, Srinivas V, Chanda Kulkarni S. A clinical evaluation of the effects of administration of midazolam on ketamine-induced emergence phenomenon. *J Clin Diagn Res*. 2011;5(2):320-3.
71. Dewdney C, MacDougall M, Blackburn R, Lloyd G, Gray A. Capnography for procedural sedation in the ED: a systematic review. *Emergency Medicine Journal*. 2017;34(7):476-84.
72. Saunders R, Struys MM, Pollock RF, Mestek M, Lightdale JR. Patient safety during procedural sedation using capnography monitoring: a systematic review and meta-analysis. *BMJ open*. 2017;7(6):e013402.

1.5 Thorax

C. Waydhas*, C. Kleber, M. Struck, A. Nohl, O. Kamp, H. Trentzsch, S. Schulz-Drost, B. Prediger#, J. Breuing#, C. Schreyer, R. Schwab

Diagnosestellung

Grundlagen der Indikationsstellung zur Drainage/Dekompression des Pleuraraums sind die Untersuchung, die Bewertung der erhobenen Befunde (Diagnose) und die Nutzen-Risiko- Abwägung der möglichen Behandlungen (Diagnosesicherheit bei eingeschränkten diagnostischen Möglichkeiten, Zeitfaktor, Begleitumstände sowie die Risiken der Methode selbst).

	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Eine klinische Untersuchung des Thorax und der Atemfunktion soll durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.5.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Untersuchung sollte mindestens die Bestimmung der Atemfrequenz und die Auskultation der Lunge umfassen. Eine wiederholte Untersuchung sollte erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.5.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Die Inspektion, die Palpation die Perkussion des Thorax sowie die Pulsoxymetrie und, bei beatmeten Patienten, die Überwachung des Beatmungsdrucks und der Kapnographie können hilfreich sein.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.5.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Eine prähospital Ultraschalluntersuchung des Thorax zum Nachweis bzw. Ausschluss eines Pneumothorax oder eines Perikardergusses kann durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Press 2014: LoE 2b [2] Quick 2016: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Zur Formulierung einer (Arbeits-)Diagnose ist eine körperliche Untersuchung, ergänzt durch im Rettungsdienst verfügbare technische Hilfsmittel, unabdingbar [3-6]. Ohne eine Diagnose kann keine

Indikation zu einer ggf. erforderlichen Therapie gestellt werden. Auch wenn die relative Bedeutung einzelner diagnostischer Maßnahmen nicht umfassend belegt werden kann, so konnte gezeigt werden, dass speziell die Auskultation der Lunge, die Bestimmung der Atemfrequenz und die Abklärung eines Spontan- und Druckschmerzes eine hinreichende diagnostische Genauigkeit aufweisen und akut Therapie-relevante Informationen erbringen [3, 4, 7-10]. Andere Untersuchungstechniken (Palpation, Perkussion) können im Einzelfall angewendet werden, sind aber bzgl. ihrer Genauigkeit und Relevanz nicht gut untersucht [4]. Ein kontinuierliches Monitoring mittels Pulsoxymetrie und (bei beatmeten Patienten) Kapnometrie in Verbindung mit einer wiederholten körperlichen Untersuchung kann erlauben eine dynamische Verschlechterung zu erkennen, bei der eine Progredienz eines Pneumothorax (oder einer anderen Thoraxverletzung) bei der Bewertung der Befundverschlechterung als mögliche Ursache einbezogen werden sollte.

Kleine mobile Ultraschallgeräte stehen zunehmend (und mit über die Jahre immer besserer Qualität) für den Einsatz im prähospitalen Rettungsdienstbereich zur Verfügung. Im Bereich von Notaufnahmen im Krankenhaus konnte für Traumapatienten in einem Cochrane-Review gezeigt werden, dass die Sensitivität der Ultraschalluntersuchung mit 91% fast doppelt so hoch wie die Sensitivität einer Standard-Röntgenuntersuchung (47%) war [11]. Im Vergleich zur Computer-Tomographie lag die Sensitivität der Sonographie immer noch bei 81% [12]. Die Spezifität der Ultraschalluntersuchung liegt bei 98-99%.

Zum prähospitalen Einsatz zeigten sich in 2 prospektiven Beobachtungsstudien unterschiedliche Ergebnisse. In der älteren Untersuchung aus 2014 lag die Sensitivität für den Nachweis eines Pneumothorax bei lediglich 18,7% [1] während in der Studie von Quick et al [2] 68% der Pneumothoraces mittels der Ultraschalluntersuchung diagnostiziert wurden. Die Spezifität lag in beiden Studien bei 99,8 bzw. 96%. Die positiv prädiktiven Werte lagen jeweils bei 80% und 94,2%, die negativ prädiktiven Werte bei 92,7 und 97,7%. Somit war die Genauigkeit der Diagnosestellung etwas schlechter als bei der Ultraschalluntersuchung im Schockraum, aber immer noch in einem Bereich der besser ist als die rein klinische Untersuchung, insbesondere wenn der Patient bewußtseinsgestört ist. Eine Erklärung für dieses etwas schlechtere Ergebnis könnten die ungünstigeren Untersuchungsbedingungen prähospital sein (Lichtverhältnisse, Zeitdruck, äußere Einflüsse wie Wetter, etc.). Auch wiesen die beiden Studien eine Selektionsbias auf und der Referenzstandard war uneinheitlich (sowohl thorakale Computertomographie oder Standardradiographie des Thorax oder klinische Untersuchung). Während in den beiden Studien Rettungsdienstpersonal (zwar mit einer speziellen Schulung in der Ultraschalltechnik, aber überwiegend ohne vorherige Erfahrung mit Ultraschalluntersuchungen) eingesetzt war, wären in Deutschland in erster Linie Notärzte die Anwender. Ob diese die Ultraschalltechnik besser beherrschen ist unbekannt. Obwohl Ultraschallgeräte bereits viele Jahre im Luftrettungsdienst vorgehalten werden, existieren bislang keine systematischen Erfahrungsberichte oder klinische Studien mit größerer Stichprobe. Eine Übertragung der innerklinischen Ergebnisse auf die Prähospitalphase ist nicht ohne weiteres möglich. Im innerklinischen Kontext werden die Sonografien oft von Radiologen durchgeführt und die Expertise von Notärzten/Rettungsdienstfachpersonal ist unbekannt.

Vollkommen ungeklärt ist ebenfalls, wie oft der sonografische Nachweis oder Ausschluss eines Pneumothorax zu einer therapeutischen Konsequenz führt bzw. führen würde und ob dadurch das Outcome verbessert würde. Eine Nutzen-Risiko-Analyse ist mit dem aktuellen Kenntnisstand nicht möglich.

Solange es keine Daten aus Deutschland oder vergleichbaren Rettungsdienstsystemen gibt, die verlässlich belegen, dass es eine breite notärztliche Kompetenz zum prähospitalen Ultraschall gibt und dass sich aus den abgeleiteten therapeutischen Konsequenzen eine positive Nutzen-Risiko-Bewertung ableiten lässt, fehlt die Grundlage für einen höheren Empfehlungsgrad.

1.5.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Verdachtsdiagnose Pneumo- und/oder Hämatothorax soll bei einseitig abgeschwächtem oder fehlendem Atemgeräusch (nach Kontrolle der korrekten Tubuslage) oder beim Nachweis der sonografischen Zeichen gestellt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.5.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die mögliche Progredienz eines kleinen, zunächst prähospital nicht diagnostizierbaren Pneumothorax sollte in Betracht gezogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei einem einseitig abgeschwächten Atemgeräusch in Verbindung mit Dyspnoe und/oder thorakalem Schmerz liegt die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Pneumothorax bei 90 bis 99% [3]. Liegt keines dieser 3 Zeichen vor, so liegt die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines Pneumothorax unter 1%. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass das Fehlen eines solchen Auskultationsbefundes, insbesondere bei Normopnoe und thorakaler Schmerzfreiheit einen größeren Pneumothorax weitgehend ausschließt. Bei Patienten mit nachgewiesenem Pneumothorax aber seitengleichem Atemgeräusch hatte der Pneumothorax im Mittel ein Volumen von 378 ml (maximal 800 ml) [13]. Bei der Interpretation des Auskultationsbefundes ist die regelrechte Lage des endotrachealen Tubus (so vorhanden), soweit als möglich sicherzustellen. Die Spezifität und der positive prädiktive Wert eines Weichteilemphysems oder eines instabilen Thorax sind unbekannt [3]. Bei schweren beidseitigen Thoraxtraumen ist das Vorliegen eines bilateralen Pneumothorax in Betracht zu ziehen. Hier können untypische Untersuchungsbefunde auftreten. Daten zur Differenzierung zwischen einem Pneumothorax und einem Hämatothorax bzw. Mischformen liegen nicht vor. Hier kann die Perkussion hilfreich sein, erscheint jedoch für den prähospitalen Bereich nur von limitierter Relevanz, da die Differenzierung zwischen Pneumo- und Hämatothorax keine belegbaren Auswirkungen auf die Therapienotwendigkeiten hat.

Ein unbehandelter Pneumothorax kann bis hin zur Entwicklung eines Spannungspneumothorax progredient sein. Selbst bei okkulten Pneumothoraces entwickeln sich Drainage-pflichtige Pneumothoraces in 6 bis 9,5% der Fälle [14-19]. Die Rate an progredienten Drainage-pflichtigen okkulten Pneumothoraces steigt bei beatmeten Patienten auf bis zu 14% an [18]. Ob größere Pneumothoraces eine höhere Progredienzrate haben kann vermutet werden, ist aber nicht genau bekannt. Das Hauptrisiko besteht in der Progredienz eines anfänglich nicht symptomatischen Pneumothorax in einen Spannungspneumothorax.

1.5.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Verdachtsdiagnose Spannungspneumothorax sollte gestellt werden bei einseitig fehlendem Atemgeräusch bei der Auskultation der Lunge (nach Kontrolle der korrekten Tubuslage) und dem zusätzlichen Vorliegen von typischen Symptomen insbesondere einer schweren respiratorischen oder zirkulatorischen Störung.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Symptomatik und die Reihenfolge des Auftretens der Symptome unterscheidet sich bei spontan atmenden und beatmeten Patienten [20]. Atemnot und Tachykardie sind die typischen und häufigsten Anzeichen eines Spannungspneumothorax beim wachen spontan atmenden Patienten [5]. Bei spontan atmenden Patienten lagen Thoraxschmerzen, Tachypnoe und ein abgeschwächtes Atemgeräusch bei mehr als 45% der Patienten vor. Mit einer Häufigkeit zwischen 30 und 45% fanden sich Dyspnoe/Atemnot, Hypoxie mit Sauerstoffbedarf, Tachykardie und ein hypersonorer Klopfeschall. Eine Deviation der Trachea zur Gegenseite (15-30%) oder Hypotension (wenn, dann mit eher langsamer Progredienz), gestaute Halsvenen, Hautemphysem, Herzstillstand (jeweils unter 15%) waren deutlich seltener [20]. Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass beim wachen Patienten die respiratorische Störung und eine Lähmung des Atemzentrums als Folge der Hypoxie dem Kreislaufstillstand vorausgehen und dass die Hypotension, deren Endpunkt der Kreislaufstillstand ist, ein spätes Zeichen des Spannungspneumothorax ist [21, 22].

Im Gegensatz dazu manifestierten sich bei beatmeten Patienten die kardiozirkulatorischen Symptome des Spannungspneumothorax (z.B. Blutdruckabfall, Schock) wesentlich früher und traten meist zeitgleich mit den respiratorischen Symptomen auf [5, 20]. Hier fanden sich gleichermaßen häufig (>45%) ein abgeschwächtes Atemgeräusch sowie eine Hypotension (oft mit akutem Beginn) und Hypoxie. Ebenfalls oft (30-45%) bestanden Tachykardie, Hautemphysem und Herzstillstand [20]. Beim beatmeten Patienten sind stark erhöhte oder steigende Atemwegsdrücke ein weiteres Symptom, das etwa bei 20% der Patienten mit Hämato-/Pneumothorax zu finden ist [6, 7].

Die Kombination aus (einseitig) fehlendem Atemgeräusch (bei kontrollierter Tubuslage) und vital bedrohlichen Funktionsstörungen der Respiration oder des Kreislaufs macht nach Meinung der Experten das Vorliegen eines Spannungspneumothorax so wahrscheinlich, dass die Diagnose gestellt und die notwendigen therapeutischen Konsequenzen gezogen werden sollten. Jede weitere, zusätzlich Diagnostik stellt eine vermeidbare Zeitverzögerung dar und sollte daher unterbleiben. Die Folgen einer fälschlicherweise gestellten Diagnose Spannungspneumothorax erscheinen im Vergleich zur Unterlassung einer notwendigen Dekompression untergeordnet.

Therapie

1.5.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Ein klinisch vermuteter Spannungspneumothorax soll umgehend dekomprimiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.5.9	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Ein durch Auskultationsbefund diagnostizierter Pneumothorax sollte bei Patienten, die mit Überdruck beatmet werden, dekompriert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.5.10	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Ein durch Auskultationsbefund diagnostizierter Pneumothorax sollte bei nicht beatmeten Patienten in der Regel unter engmaschiger klinischer Kontrolle beobachtend behandelt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Ein Spannungspneumothorax ist eine akut lebensbedrohliche Situation und führt unbehandelt in aller Regel zum Tod. Der Tod kann beim Auftreten von Zeichen der eingeschränkten Lungen- und Kreislauffunktion innerhalb von wenigen Minuten eintreten. Eine Alternative zur Dekompression gibt es nicht. Die Experten sind der Meinung, dass insbesondere bei eingetretener Kreislauf- oder Atemstörung eine sofortige notfallmäßige Entlastung durchgeführt werden soll und der Zeitverlust durch den Transport auch in ein in unmittelbarer Nähe gelegenes Krankenhaus eine nicht zu vertretende Verzögerung darstellt. In einer Studie mit 3.500 Autopsien fanden sich 39 Fälle mit einem Spannungspneumothorax (Inzidenz 1,1%), von denen die Hälfte zu Lebzeiten nicht diagnostiziert worden war. Bei Soldaten aus dem Vietnamkrieg fand sich ein Spannungspneumothorax bei 33% aller Soldaten mit tödlicher Thoraxverletzung [23]. Eine Analyse von 20 Patienten, die unter Zugrundelegung der TRISS-Prognose als unerwartete Überlebende kategorisiert wurden, zeigte, dass bei 7 von ihnen ein Spannungspneumothorax prähospital mittels Dekompression behandelt worden war [24]. Bei prähospitaler Reanimation nach Trauma konnte bei 4 von 18 Patienten durch eine Dekompression ein spontaner Kreislauf wieder hergestellt werden [25]. In einer Analyse von Patienten mit Trauma-assoziiertem Kreislaufstillstand wurde die Entlastung eines Spannungspneumothorax als wichtigster Faktor identifiziert, der zu einer Prognoseverbesserung beiträgt [26]. Ein nicht behandelter Spannungspneumothorax wurde auch in aktuellen Analysen als eine der häufigsten möglicherweise vermeidbaren Todesursachen identifiziert [27].

Ein großer Pneumothorax, der anzunehmen ist, wenn ein typischer Auskultationsbefund erhoben wird, stellt eine Indikation zur Evakuierung des Pleuraraums dar. Wann dies geschehen muss – ob prähospital oder erst im Krankenhaus –, ist im Einzelfall schwierig zu entscheiden, da das Risiko der Progredienz vom einfachen Pneumothorax zum Spannungspneumothorax sowie die Zeitdauer, die eine solche Entwicklung in Anspruch nehmen kann, variabel und schwer abzuschätzen sind. Bei beatmeten Patienten ist das Risiko einer Pneumothoraxprogredienz deutlich erhöht [28]. Deshalb erscheint es den Experten plausibel, dass ein durch Auskultation diagnostizierter Pneumothorax bei einem beatmeten Patienten ein deutlich erhöhtes Risiko hat, sich zu einem Spannungspneumothorax zu entwickeln, und somit eine Indikation zur prähospitalen Dekompression besteht. Umgekehrt liegt die Rate an progredienten Pneumothoraces bei spontan atmenden Patienten unter 10% [28], so dass bei fehlender oder geringer und nicht progredienter Symptomatik in der Nutzen-Risiko-Abwägung eine prähospitaler Dekompression nicht notwendig erscheint und eine beobachtendes Vorgehen unter engmaschigem Monitoring und klinischer Kontrolle erfolgen soll. Ist eine entsprechende Überwachung

und klinische Kontrolle nicht gut möglich, z.B. während Hubschraubertransporten, so besteht ein gewisses, nicht quantifizierbares Risiko, dass sich ein Spannungspneumothorax entwickelt und dass dieser nicht rechtzeitig bemerkt wird bzw. eine adäquate Therapie aus Platzgründen nicht möglich ist. In solchen Situationen kann beim Vorliegen entsprechender klinischer Zeichen und nach individueller Abwägung auch beim nicht intubierten Patienten im Einzelfall eine Dekompression des Pneumothorax vor dem Transportbeginn durchgeführt werden.

Besteht ein seitengleiches Atemgeräusch, so ist das Vorliegen eines klinisch relevanten Pneumothorax unwahrscheinlich. Damit besteht keine Indikation zu einer prähospitalen Dekompression bzw. Evakuierung des Pleuraraums, selbst wenn andere Hinweise auf ein Thoraxtrauma (aber eben nicht speziell auf einen Pneumothorax) vorliegen. In einem systematischen Review [3] konnte gezeigt werden, dass die Inzidenz eines Pneumothorax trotz vorliegendem Thoraxtrauma relativ niedrig ist (10 bis 50%). Somit würde, bei der Indikationsstellung zur Intervention aufgrund der alleinigen Diagnose eines Thoraxtrauma ohne konkrete Hinweise auf einen Pneumothorax mindestens jeder zweite Patient bzw. bis zu 9 von 10 Patienten unnötigerweise mit einer invasiven Maßnahme behandelt werden. Da in den Studien auch okkulte Pneumothoraces eingeschlossen waren, die nur in der Computertomographie detektiert werden konnten, liegt die Rate drainagebedürftiger Pneumothoraces nochmal niedriger. Selbst wenn ein Pneumothorax aufgrund spezifischer klinischer Zeichen vermutet wurde, lag die Rate unnötiger Dekompressionen für Nadeldekompression und Thoraxdrainage bei 9 bis 65%. [7, 29, 30]. Bei nicht beatmeten Patienten gibt es keine Indikation für eine Dekompression unter diesen Bedingungen.

Eine prähospitalen Drainage eines Hämatothorax ist in der Regel nicht indiziert. Ein größerer (ca. >300ml) Hämatothorax stellt zwar in der Regel eine Indikation zur Ableitung des im Pleuraraums befindlichen Blutes dar, von der Raumforderung des Blutes geht jedoch keine direkte Gefahr, es sei denn es handelt sich um die seltene Situation mit einem Spannungshämatothorax. Nur dann kann eine notfallmäßige Entlastung angezeigt sein. Ein Spannungshämatothorax wird jedoch in aller Regel eine zum Spannungspneumothorax vergleichbare Symptomatik aufweisen (fehlendes einseitiges Atemgeräusch und schwere respiratorische und/oder zirkulatorische Störung).

1.5.11	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Entlastung eines Spannungspneumothorax sollte durch eine einmalige Nadeldekompression oder eine sofortige Minithorakotomie erfolgen. Nach einer Nadeldekompression sollte zusätzlich eine chirurgische Eröffnung des Pleuraspaltes mit oder ohne Thoraxdrainage, erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

1.5.12	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Ein Pneumothorax sollte – sofern die Indikation besteht – durch eine Thoraxdrainage behandelt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Entlastung eines Spannungspneumothorax kann mittels Nadeldekompression, chirurgischer Eröffnung des Pleuraspaltes (zunächst alleine) oder Eröffnung des Pleuraspaltes mit unmittelbar

anschließender Thoraxdrainagenanlage erfolgen. Vergleichende Studien, die die Überlegenheit eines der drei Verfahren belegen, liegen nicht vor.

Pathophysiologisch ist es für eine anhaltende Entlastung erforderlich, dass die pro Atemzug/-Beatmungshub in den Pleuraraum austretende Luftmenge über die Drainage (unabhängig von der gewählten Methode) ausströmen kann. Dabei ist der Volumenstrom u.a. proportional zur vierten Potenz des Innendurchmessers der Nadel. Es ist also möglich, dass eine Nadeldekompression (und selbst auch eine einzelne Thoraxdrainage, z.B. bei tracheobronchialer Verletzung) ineffektiv bleibt, weil das Lumen zu klein ist, um die anfallende Luftmenge ausreichend zu drainieren.

Bei dem geringen Evidenzlevel zur Methodenwahl und zum Nutzen-Risiko-Profil im direkten Methodenvergleich sollte unter dem Blickwinkel der Praktikabilität und des Risikopotenzials auch die individuelle Fähigkeit des Anwenders sowie die Verfügbarkeit von Drainage-Utensilien berücksichtigt werden.

Die Einlage einer Thoraxdrainage ist eine geeignete, hochwirksame (>85%), aber komplikationsbehaftete Maßnahme zur Entlastung des Spannungspneumothorax, die insbesondere auch bei Versagen oder ungenügender Wirksamkeit der alternativen Maßnahmen zur Anwendung kommen muss. Sie stellt in der Regel auch die definitive Versorgung dar und hat die höchste Erfolgsrate. In 79–95% der Fälle war die prähospital eingelegte Pleuradrainage die definitive und erfolgreiche Therapiemaßnahme [3, 4]. Umgekehrt weist die Pleuradrainage eine Versagensrate wegen Fehllagen oder ungenügender Wirksamkeit von im Mittel 11,2% auf [3, 4], sodass die Notwendigkeit zur Einbringung einer zusätzlichen Pleuradrainage bestand. Komplikationen sind bei prähospital angelegten Thoraxdrainagen signifikant häufiger als innerklinischer Anwendung. Angegeben wurden subkutane Fehllagen (2,53 vs. 0,39%), intrapulmonale Fehllagen (1,37 vs. 0,63%) und intraabdominelle Fehllagen (0,87 vs. 0,73%) [3, 4].

Die chirurgische Eröffnung des Pleuraraums (zunächst alleine, ohne der Einlage einer Thoraxdrainage) ist eine geeignete, wirksame und relativ schnelle Maßnahme zur Entlastung eines Spannungspneumothorax. Sie ist allerdings nur für Patienten geeignet, die mit Überdruck beatmet werden, da nur bei ihnen immer ein positiver intrapleuraler Druck herrscht. Bei einem spontan atmenden Patienten entsteht ein negativer intrapleuraler Druck, durch den Luft durch die Thorakotomie in den Thorax eingesaugt werden kann. In einer Fallserie von 45 Patienten wurde diese Technik im prähospitalen Einsatz untersucht und erwies sich als effektiv ohne nennenswerte Komplikationen [31]. In einer prospektiven Beobachtungsstudie wurden in einem 2-Jahres-Zeitraum in einem luftgestützten Rettungssystem 55 Patienten mit 59 vermuteten Pneumothoraces mit einer einfachen chirurgischen Eröffnung behandelt. Die arterielle Sauerstoffsättigung stieg in der Folge der Prozedur im Mittel von 86,4% auf 98,5% an. Bei 91,5% der Patienten wurde bei der chirurgischen Eröffnung des Pleuraraums entweder ein Pneumothorax oder ein Hämatothorax gefunden. Ein Rezidivpneumothorax wurde von den Autoren nicht beobachtet, ebenso wenig wie schwerwiegende Komplikationen (signifikante Blutung, Lungenlazeration, Pleuraempyem) [32]. Im Krankenhaus ist dann die Einlage einer Pleuradrainage über die bereits erfolgte Minithorakotomie angezeigt.

Die Nadeldekompression ist eine geeignete, häufig wirksame (ca. 32-53%), einfache, aber nicht komplikationsfreie Maßnahme zur Entlastung des Überdrucks [3, 4]. Bei fehlender oder ungenügender Wirksamkeit ist unverzüglich eine chirurgische Dekompression bzw. die Einlage einer Drainage vorzunehmen. In einem Schweinemodell lag die Misserfolgsrate bei 58%, entweder weil es innerhalb von 5 Minuten zu einer sekundären Fehlfunktion kam (Abknickung, Verstopfung, Dislokation) oder die Druckentlastung nicht ausreichend war [33]. In prähospitalen Studien förderten 32 - 47% der Nadeldekompressionen Luft und bei 12 bis 60% der Patienten, bei denen eine Nadeldekompression

durchgeführt wurde, konnte eine klinische Verbesserung beobachtet werden [7, 34, 35]. In 40% der Fälle musste die Nadeldekompression wegen ungenügender Wirksamkeit in der Folge durch eine Drainage ergänzt werden. In weiteren prähospitalen Studien [34, 36] wurde bei 53–67% aller Patienten mit Nadeldekompression zusätzlich eine Thoraxdrainage prähospital eingelegt.

Die Nadeldekompression im Vergleich zur Pleuradrainage bedingte in 2 Studien eine signifikante, etwa 5 Minuten kürzere Gesamt-Behandlungszeit vor Ort (20,3 vs. 25,7 min) [7, 34]. Wichtiger als die Gesamtbehandlungszeit ist die Dauer zwischen Indikationsstellung der Dekompression und der erfolgreichen Durchführung. Selbst für ein eingespieltes Team und einen geübten Operateur ist die Nadelpunktion die schnellstmögliche Maßnahme. Dies gilt umso mehr, wenn seitens des Behandlungsteams keine optimalen Voraussetzungen vorliegen und keine große Routine in der Thoraxdrainagenanlage besteht. Deshalb wird als erste und schnellste Maßnahme beim lebensbedrohlichen Spannungspneumothorax die Nadeldekompression empfohlen. Auch Einsatztaktisch bei eingeklemmten Patienten oder widrigen äußeren Umständen, z.B. U-Bahnschacht erscheint die Nadeldekompression als primäre Maßnahme gut geeignet.

Bei Erfolglosigkeit des ersten Versuchs der Nadeldekompression sollte kein zweiter Versuch erfolgen, sondern unverzüglich die chirurgische Eröffnung des Pleuraspaltes durchgeführt werden.

Die Leitlinienmitglieder sind der Meinung, dass nach erfolgreicher Nadeldekompression baldmöglichst die definitive Versorgung mittels chirurgischer Eröffnung des Pleuraraums (Minithorakotomie) und die Einlage einer Thoraxdrainage erfolgen soll. Gründe dafür sind eine mögliche Dislokation, Abknickung oder Verstopfung der Nadel während der weiteren Therapie-, (Um)Lagerungs- oder Transportmaßnahmen sowie eine möglicherweise nicht ausreichende Entlastung bei großem Fistelvolumen unter Überdruckbeatmung. Diese Einschätzung wird bestätigt durch die Beobachtung, dass in 85% der Fälle die sekundäre Anlage einer Thoraxdrainage aufgrund persistierender Symptomatik oder fortbestehendem Pneumothorax in der Bildgebung erforderlich war [37].

Nadeldekompression: Punktionsort und Nadellänge

Daten bezüglich des zu verwendenden Kanülendurchmessers oder der Art der Kanüle liegen nicht vor. Um den Austritt von möglichst viel Luft zu ermöglichen, wird allgemein ein möglichst großer Kanülendurchmesser (14 oder 12G) und eine Kanüle, die möglichst nicht abknicken kann empfohlen.

Als typische Punktionsorte kommen der 2. bis 3. Intercostalraum (ICR) in der mittleren Clavicularlinie (MCL), der 4. bis 5. ICR in der mittleren Axillarlinie (MAL) und der 4. bis 5. ICR in der vorderen Axillarlinie (VAL) in Betracht. In einer Metaanalyse wurde gezeigt, dass die Strecke zwischen Haut und Pleuraspalt in der VAL mit im Mittel 34 mm (CI 28-41mm) am kürzesten ist [38]. Die Strecke betrug im Mittel 40mm (CI 29-51mm) in der MAL und 43mm (CI 39-47mm) in der MCL. Aufgrund der hohen Heterogenität der Studien waren diese Unterschiede nicht signifikant und in einigen der Studien war die Strecke in der MCL sogar kürzer als in den MAL [3, 4]. Die Strecke zwischen Körperoberfläche und Pleuraraum ist bei Frauen signifikant länger als bei Männern [3, 4, 38]. Weiterhin besteht eine signifikante direkte Korrelationen der Streckenlänge mit dem Body Mass Index [39-41].

Bei Verwendung einer 32mm langen Kanüle lag die Versagensrate bei 65% [42]. Mit einer 50mm-Kanüle war die Versagensrate mit 13% (VAL), 31% (MAL) und 38% (MCL) deutlich niedriger [38]. Bei stark adipösen Patienten (BMI>30) lag die Versagensrate mit einer 50mm Kanüle hingegen bei 89% [41].

In einer Metaanalyse mit Einschluss von 18 Studien wurde festgestellt, dass mit einer Nadellänge von 64mm die Pleura theoretisch in 95% der Fälle erreicht werden würde [43]. In der MRT-Studie von Hecker et al. [44] an 2.574 für die Bevölkerung repräsentativen gesunden Menschen lag die

theoretische Trefferquote für einen anterioren Zugang (MCL) einer 6,5cm langen Kanüle bei 85% und einer 7cm langen Kanüle bei 90%. Mögliche Organverletzungen wurden nur in Hinsicht auf eine Verletzung der Arteria mammaria evaluiert und konnten als sehr unwahrscheinlich evaluiert werden. Ein klinischer Nachweis über eine verbesserte tatsächliche Erfolgsrate und eine mögliche Zunahme von Punktionskomplikationen fehlt jedoch.

Der Erfolgsrate sind die potentiellen Komplikationen entgegenzusetzen. Eine Untersuchung am Modell hat gezeigt, dass bei einem ventralen Punktionsort eine starke Tendenz besteht, medial der mittleren Clavikularlinie zu punktieren mit dem damit verbundenen Risiko, das Herz, die Thoracica-Internagefäße oder andere große Gefäße im Mediastinum zu verletzen [45].

Je länger die Punktionsnadel ist, desto höher ist das Risiko tiefe Strukturen zu verletzen [3, 4, 38]. In einer CT- Studie hätte es mit einer 80mm langen Kanüle in 32% der Fälle zu Verletzungen vitaler Strukturen kommen können [39]. Klinische Untersuchungen zur tatsächlichen Nutzen-Risiko-Abschätzung bei Verwendung längerer vs. normaler Kanülen liegen nicht vor. Das Risiko mit einer 45 oder 50mm-Nadel vitale Strukturen zu verletzen erscheint gering, allerdings liegt die Misserfolgsrate auch bei mindestens einem Drittel. Mit einer längeren Nadel (80mm) ist eine erfolgreiche Dekompression vermutlich deutlich häufiger möglich, jedoch ist damit auch eine größere Gefahr verbunden (insbesondere bei linksseitigen Punktionen von den lateralen Zugängen) vitale Strukturen zu verletzen.

Es lassen sich keine eindeutigen Empfehlungen für den einen oder anderen Punktionsort ableiten. Die Entscheidung für die MCL oder die VAL sollte von den individuellen anatomischen Gegebenheiten des Patienten abhängig gemacht werden. Die Nadellänge sollte mindestens 50mm mindestens betragen. Welches die optimale Länge der Kanüle ist, kann nicht eindeutig festgelegt werden. Der höheren Sicherheit bei Verwendung einer kürzeren Kanüle steht die höhere Erfolgsrate einer längeren Kanüle gegenüber. Insbesondere bei Kanülenlängen ab 8cm sind Verletzungen vitaler Organe in bis zu 32% der Fälle zu erwarten [39].

1.5.13	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Eröffnung des Pleuraraums sollte mittels Minithorakotomie erfolgen. Die Einlage der Thoraxdrainage sollte ohne Verwendung eines Trokars erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die verschiedenen Techniken zur Einlage einer Thoraxdrainage wurde bislang nicht mittels kontrollierter Studien untersucht. Die meisten Experten empfehlen eine standardisierte Technik: Die Anlage einer Pleuradrainage soll in steriler Technik und beim nicht-bewusstlosen Patienten in lokaler und systemischer Analgesie erfolgen. Ein Trokar zur blinden Präparation des Kanals soll keinesfalls verwendet werden. Die Komplikationsraten in den Studien mit Trokarteknik liegen durchweg höher als in den Untersuchungen mit der chirurgischen Technik (11,0% versus 1,6%) [3, 4]. In einer prospektiven Kohortenstudie (bei Intensivpatienten) zeigte sich, dass die Verwendung eines Trokars auch mit einer signifikant höheren Rate von Fehllagen einherging [46].

Dünne Katheter (≤ 14 Fr) werden in der Regel mittels Seldinger-Technik eingeführt, grosslumige Drainagen mittels Mini-Thorakotomie. Weiterhin stehen Seldinger-basierte Einführungssystem mit konsekutiver Aufbougieung auch für grosslumige Drainagen zur Verfügung [47, 48].

Allgemein wird empfohlen, dass bei einem Hämatothorax die Drainagenspitze nach posterior und kaudal, bei einem Pneumothorax nach anterior und kranial dirigiert werden soll. Diese Lehrmeinung wird durch eine neuere Studie in Frage gestellt, bei der sich kein Einfluss der Drainagenlage auf die Erfolgsrate (Drainage von Luft und Blut) nachweisen lies [49].

Die typischen Lokalisationen für die Anlage einer Pleuradrainage beim Trauma sind der 2. bis 3. Intercostalraum (ICR) in der mittleren Clavicularlinie (MCL) und der 4. bis 5. ICR in der mittleren Axillarlinie (MAL). Verlässliche Daten zu Unterschieden in der Erfolgsrate und der Komplikationsrate zwischen dem Zugang in der MCL (2.-3. ICR) und in der der MAL (ca. 5. ICR) liegen nicht vor [3, 4]. Somit kann **keine Empfehlung für einen zu präferierenden Punktionsort** ausgesprochen.

Für die Wahl des Drainagendurchmessers lassen sich differenzierte Empfehlungen geben. Beim Vorliegen eines unkomplizierten traumatischen Pneumothorax ohne relevanten Hämatothorax (Patient wach und einwilligungsfähig, hämodynamisch stabil) waren die Schmerzen in einer kleinen randomisierten kontrollierten Studie bei Verwendung eines 14Fr-Katheter an der Insertionsstelle direkt nach Anlage der Drainage und an den beiden folgenden Tagen signifikant niedriger als nach Anlage einer 28Fr-Drainage. Die Erfolgs- und Komplikationsraten waren vergleichbar [50]. In einem systematischen Review aus dem Jahr 2018 [51] wurden in Bezug auf einen traumatischen Pneumothorax keine weiteren randomisierten Studien identifiziert.

Beim Vorliegen eines unkomplizierten traumatischen Hämatothorax (Patient wach und einwilligungsfähig, hämodynamisch stabil) lag die Versagensrate in einer kleinen randomisierten Studie für kleinumige Katheter (14Fr) bei 10% vs. 17% bei dickeren Thoraxdrainagen (28-32Fr). Ebenfalls kein Unterschied fand sich für die Menge des drainierten Hämatothorax (600 vs. 400ml). Allerdings war die Drainagenanlage des 14Fr-Katheters signifikant weniger unangenehm [52]. Diese Ergebnisse bestätigten die Tendenz von 2 retrospektiven Untersuchungen [53, 54].

Im Gegensatz dazu kommen bei schwer verletzten Patienten (hämodynamisch nicht stabil, trauma-bedingt nicht einwilligungsfähig) mit Hämato- oder Hämato-pneumothorax ausschließlich grosslumige Thoraxdrainagen zum Einsatz [55-58]. Bei diesen Patienten ist das Risiko eines hohen Fistelvolumens oder einer großen Blutmenge erhöht. Einer Verstopfung der Drainage durch koaguliertes Blut soll mit dem großen Drainagendurchmesser vorgebeugt werden. In einer prospektiven Beobachtungsstudie mit 353 Thoraxdrainagen zeigte sich, dass Thoraxdrainagen mit einem Durchmesser von 28 - 32Fr keine Nachteile in Bezug auf die Größe eines retinierten Hämatothorax oder dem Erfordernis einer zusätzliche Drainagenanlage im Vergleich zu noch dicker-lumigen Drainagen (>32Fr) aufwiesen [59].

Bei hämodynamisch stabilen, wachen Patienten mit einem unkomplizierten Pneumo- oder Hämatothorax können 14Fr-Drainagekatheter eingesetzt werden. Bei Patienten, mit kompliziertem Pneumo- oder Hämatothorax, die hämodynamisch instabil oder trauma-bedingt nicht einwilligungsfähig sind, sollten 24–32-Fr-Drainagen verwendet werden.

Bezüglich einer Indikation zur (prähospitalen) Thorakotomie siehe Kapitel 2.3 „Reanimation“ Empfehlung 2.3.9ff.

1.5.14	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Ein offener Pneumothorax sollte mittels eines geeigneten Ventilverbandes versorgt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

In experimentellen Studien konnte gezeigt werden, dass ein offener Pneumothorax oder ein Hämato-pneumothorax durch geeignete Verbände gut kontrolliert werden kann. Sie ermöglichen in der Regel eine gute Ableitung von Luft und Blut nach außen, sodass die Entwicklung eines Spannungspneumothorax vermieden werden kann [60-63]. Kritisch sind insbesondere die Haftung der Verbände auf feuchter Haut und die sichere Ableitung von Luft und Blut nach außen, ohne dass es aufgrund von Blut zu einer Verstopfung der Ventilfunktion kommt. Improvisierte Verbände unter Nutzung von (Verpackungs)-Folien erscheinen insgesamt ungeeignet [62, 63]. Aber auch bei kommerziellen Verbänden bestehen offenbar große Wirksamkeitsunterschiede [60-62]. Ventilverbände mit laminarer Entlüftung sind möglicherweise am günstigsten [61].

Literatur

1. Press GM, Miller SK, Hassan IA, Alade KH, Camp E, Junco DD, et al. Prospective evaluation of prehospital trauma ultrasound during aeromedical transport. *J Emerg Med.* 2014;47(6):638-45.
2. Quick JA, Uhlich RM, Ahmad S, Barnes SL, Coughenour JP. In-flight ultrasound identification of pneumothorax. *Emerg Radiol.* 2016;23(1):3-7.
3. Waydhas C, Sauerland S. Pre-hospital pleural decompression and chest tube placement after blunt trauma: A systematic review. *Resuscitation.* 2007;72(1):11-25.
4. Bouillon B, Marzi I. The updated German "Polytrauma - Guideline": an extensive literature evaluation and treatment recommendation for the care of the critically injured patient. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society.* 2018;44(Suppl 1):1.
5. Leigh-Smith S, Harris T. Tension pneumothorax - time for a re-think. *Emerg Med J.* 2005;22:8-16.
6. Committee on Trauma. *Advanced Trauma Life Support (ATLS) - Reference Manual.* Chicago: American College of Surgeons; 1997.
7. Barton E, Epperson M, Hoyt D, Fortlage D, Rosen P. Prehospital needle aspiration and tube thoracostomy in trauma victims: a six-year experience with aeromedical crews. *J Emerg Med.* 1995;13:155-63.
8. Chen SC, Markmann JF, Kauder DR, Schwab CW. Hemopneumothorax missed by auscultation in penetrating chest injury. *J Trauma.* 1997;42(1):86-9.
9. Hirshberg A, Thomson SR, Huizinga WK. Reliability of physical examination in penetrating chest injuries. *Injury.* 1988;19(6):407-9.
10. Thomson SR, Huizinga WK, Hirshberg A. Prospective study of the yield of physical examination compared with chest radiography in penetrating thoracic trauma. *Thorax.* 1990;45(8):616-9.
11. Chan KK, Joo DA, McRae AD, Takwoingi Y, Premji ZA, Lang E, et al. Chest ultrasonography versus supine chest radiography for diagnosis of pneumothorax in trauma patients in the emergency department. *The Cochrane database of systematic reviews.* 2020;7:CD013031.
12. Staub LJ, Biscaro RRM, Kaszubowski E, Maurici R. Chest ultrasonography for the emergency diagnosis of traumatic pneumothorax and haemothorax: A systematic review and meta-analysis. *Injury.* 2018;49(3):457-66.
13. Bokhari F, Brakenridge S, Nagy K, Roberts R, Smith R, Joseph K, et al. Prospective evaluation of the sensitivity of physical examination in chest trauma. *J Trauma.* 2002;53(6):1135-8.
14. Collins J, Levine G, Waxman K. Occult traumatic pneumothorax: immediate tube thoracostomy versus expectant management. *Am Surg.* 1992;58:743-6.
15. Enderson B, Abdalla R, Frame S, Casey M, Gould H, Maull K. Tube thoracostomy for occult pneumothorax: a prospective randomized study of its use. *J Trauma.* 1993;35:726-9.
16. Brasel K, Stafford R, Weigelt J, Tenquist J, Borgstrom D. Treatment of occult pneumothoraces from blunt trauma. *J Trauma.* 1999;46:987-90.
17. Yadav K, Jalili M, Zehtabchi S. Management of traumatic occult pneumothorax. *Resuscitation.* 2010;81(9):1063-8.
18. Kirkpatrick AW, Rizoli S, Ouellet JF, Roberts DJ, Sirois M, Ball CG, et al. Occult pneumothoraces in critical care: a prospective multicenter randomized controlled trial of pleural drainage for mechanically ventilated trauma patients with occult pneumothoraces. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2013;74(3):747-54; discussion 54-5.
19. Moore FO, Goslar PW, Coimbra R, Velmahos G, Brown CV, Coopwood TB, Jr., et al. Blunt traumatic occult pneumothorax: is observation safe?--results of a prospective, AAST multicenter study. *J Trauma.* 2011;70(5):1019-23; discussion 23-5.
20. Roberts DJ, Leigh-Smith S, Faris PD, Blackmore C, Ball CG, Robertson HL, et al. Clinical Presentation of Patients With Tension Pneumothorax: A Systematic Review. *Ann Surg.* 2015.
21. Barton E. Tension pneumothorax. *Curr Opin Pulm Med.* 1999;5:269-74.
22. Rutherford RB, Hurt HH, Jr., Brickman RD, Tubb JM. The pathophysiology of progressive, tension pneumothorax. *J Trauma.* 1968;8(2):212-27.

23. McPherson JJ, Feigin DS, Bellamy RF. Prevalence of tension pneumothorax in fatally wounded combat casualties. *J Trauma*. 2006;60(3):573-8.
24. Bushby N, Fitzgerald M, Cameron P, Marasco S, Bystrzycki A, Rosenfeld JV, et al. Prehospital intubation and chest decompression is associated with unexpected survival in major thoracic blunt trauma. *Emergency medicine Australasia : EMA*. 2005;17(5-6):443-9.
25. Mistry N, Bleetman A, Roberts KJ. Chest decompression during the resuscitation of patients in prehospital traumatic cardiac arrest. *Emerg Med J*. 2009;26(10):738-40.
26. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M, Kay MV, Paffrath T, Mutschler W, et al. Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest. *Resuscitation*. 2007;75:276-85.
27. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann CT. Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management strategies and trauma management education. *World J Surg*. 2013;37(5):1154-61.
28. Johnson G. Traumatic pneumothorax: is a chest drain always necessary? *J Accid Emerg Med*. 1996;13(3):173-4.
29. Schmidt U, Stalp M, T G, Blauth M, Kimball I, Tscherne H. Chest decompression of blunt chest injuries by physician in the field: effectiveness and complications. *J Trauma*. 1998;44:98-100.
30. Aufmkolk M, Ruchholtz S, Hering M, Waydhas C, Nast-Kolb D, Unfallchirurgie ANdDGf. Wertigkeit der subjektiven Einschätzung der Thoraxverletzungsschwere durch den Notarzt. *Der Unfallchirurg*. 2003;106:746-53.
31. Deakin C, Davies G, Wilson A. Simple thoracostomy avoids chest drain insertion in prehospital trauma. *J Trauma*. 1995;39:373-4.
32. Massarutti D, Trillo G, Berlot G, Tomasini A, Bacer B, D'Orlando L, et al. Simple thoracostomy in prehospital trauma management is safe and effective: a 2-year experience by helicopter emergency medical crews. *European journal of emergency medicine : official journal of the European Society for Emergency Medicine*. 2006;13(5):276-80.
33. Martin M, Satterly S, Inaba K, Blair K. Does needle thoracostomy provide adequate and effective decompression of tension pneumothorax? *The journal of trauma and acute care surgery*. 2012;73(6):1412-7.
34. Davis DP, Pettit K, Rom CD, Poste JC, Sise MJ, Hoyt DB, et al. The safety and efficacy of prehospital needle and tube thoracostomy by aeromedical personnel. *Prehosp Emerg Care*. 2005;9(2):191-7.
35. Eckstein M, Suyehara D. Needle thoracostomy in the prehospital setting. *Prehosp Emerg Care*. 1998;2:132-5.
36. Coats T, Wilson A, Xeropotamous N. Pre-hospital management of patients with severe thoracic injury. *Injury*. 1995;26:581-5.
37. Dominguez KM, Ekeh AP, Tchorz KM, Woods RJ, Walusimbi MS, Saxe JM, et al. Is routine tube thoracostomy necessary after prehospital needle decompression for tension pneumothorax? *Am J Surg*. 2013;205(3):329-32; discussion 32.
38. Laan DV, Vu TD, Thiels CA, Pandian TK, Schiller HJ, Murad MH, et al. Chest wall thickness and decompression failure: A systematic review and meta-analysis comparing anatomic locations in needle thoracostomy. *Injury*. 2016;47(4):797-804.
39. Chang SJ, Ross SW, Kiefer DJ, Anderson WE, Rogers AT, Sing RF, et al. Evaluation of 8.0-cm needle at the fourth anterior axillary line for needle chest decompression of tension pneumothorax. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;76(4):1029-34.
40. Inaba K, Ives C, McClure K, Branco BC, Eckstein M, Shatz D, et al. Radiologic evaluation of alternative sites for needle decompression of tension pneumothorax. *Arch Surg*. 2012;147(9):813-8.
41. Powers WF, Clancy TV, Adams A, West TC, Kotwall CA, Hope WW. Proper catheter selection for needle thoracostomy: a height and weight-based criteria. *Injury*. 2014;45(1):107-11.
42. Ball CG, Wyrzykowski AD, Kirkpatrick AW, Dente CJ, Nicholas JM, Salomone JP, et al. Thoracic needle decompression for tension pneumothorax: clinical correlation with catheter length. *Can J Surg*. 2010;53(3):184-8.

43. Clemency BM, Tanski CT, Rosenberg M, May PR, Consiglio JD, Lindstrom HA. Sufficient Catheter Length for Pneumothorax Needle Decompression: A Meta-Analysis. *Prehosp Disaster Med.* 2015;1-5.
44. Hecker M, Hegenscheid K, Volzke H, Hinz P, Lange J, Ekkernkamp A, et al. Needle decompression of tension pneumothorax: Population-based epidemiologic approach to adequate needle length in healthy volunteers in Northeast Germany. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2016;80(1):119-24.
45. Netto FA, Shulman H, Rizoli SB, Tremblay LN, Brennenman F, Tien H. Are needle decompressions for tension pneumothoraces being performed appropriately for appropriate indications? *The American journal of emergency medicine.* 2008;26(5):597-602.
46. Remerand F, Luce V, Badachi Y, Lu Q, Bouhemad B, Rouby JJ. Incidence of chest tube malposition in the critically ill: a prospective computed tomography study. *Anesthesiology.* 2007;106(6):1112-9.
47. Noshier JL, Siegel R. Over-the-wire placement of large bore thoracostomy tubes. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 1993;16(3):195-7.
48. Thal AP, Quick KL. A guided chest tube for safe thoracostomy. *Surg Gynecol Obstet.* 1988;167(6):517.
49. Bennis MV, Egger ME, Harbrecht BG, Franklin GA, Smith JW, Miller KR, et al. Does chest tube location matter? An analysis of chest tube position and the need for secondary interventions. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2015;78(2):386-90.
50. Kulvatunyou N, Erickson L, Vijayasekaran A, Gries L, Joseph B, Friese RF, et al. Randomized clinical trial of pigtail catheter versus chest tube in injured patients with uncomplicated traumatic pneumothorax. *The British journal of surgery.* 2014;101(2):17-22.
51. Chang SH, Kang YN, Chiu HY, Chiu YH. A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Pigtail Catheter and Chest Tube as the Initial Treatment for Pneumothorax. *Chest.* 2018;153(5):1201-12.
52. Bauman ZM, Kulvatunyou N, Joseph B, Gries L, O'Keeffe T, Tang AL, et al. Randomized Clinical Trial of 14-French (14F) Pigtail Catheters versus 28-32F Chest Tubes in the Management of Patients with Traumatic Hemothorax and Hemopneumothorax. *World J Surg.* 2021;45(3):880-6.
53. Maezawa T, Yanai M, Huh JY, Ariyoshi K. Effectiveness and safety of small-bore tube thoracostomy (≤ 20 Fr) for chest trauma patients: A retrospective observational study. *The American journal of emergency medicine.* 2020;38(12):2658-60.
54. Tanizaki S, Maeda S, Sera M, Nagai H, Hayashi M, Azuma H, et al. Small tube thoracostomy (20-22 Fr) in emergent management of chest trauma. *Injury.* 2017;48(9):1884-7.
55. Beall AC, Jr., Bricker DL, Crawford HW, Noon GP, De Bakey ME. Considerations in the management of penetrating thoracic trauma. *J Trauma.* 1968;8(3):408-17.
56. Hyde J, Sykes T, Graham T. Reducing morbidity from chest drains. *Bmj.* 1997;314(7085):914-5.
57. Symbas P. Chest drainage tubes. *Surg Clin N Am.* 1989;69:41-6.
58. Tomlinson MA, Treasure T. Insertion of a chest drain: how to do it. *Br J Hosp Med.* 1997;58(6):248-52.
59. Inaba K, Lustenberger T, Recinos G, Georgiou C, Velmahos GC, Brown C, et al. Does size matter? A prospective analysis of 28-32 versus 36-40 French chest tube size in trauma. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2012;72(2):422-7.
60. Arnaud F, Tomori T, Teranishi K, Yun J, McCarron R, Mahon R. Evaluation of chest seal performance in a swine model: comparison of Asherman vs. Bolin seal. *Injury.* 2008;39(9):1082-8.
61. Kheirabadi BS, Terrazas IB, Miranda N, Voelker AN, Arnaud F, Klemcke HG, et al. Do vented chest seals differ in efficacy? An experimental evaluation using a swine hemopneumothorax model. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2017;83(1):182-9.
62. Kuhlwil V. The Use of Chest Seals in Treating Sucking Chest Wounds: A Comparison of Existing Evidence and Guideline Recommendations. *Journal of special operations medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals.* 2021;21(1):94-101.
63. Schachner T, Isser M, Haselbacher M, Schrock P, Winkler M, Augustin F, et al. Rescue blanket as a provisional seal for penetrating chest wounds in a new ex vivo porcine model. *Ann Thorac Surg.* 2021.

1.6 Schädel-Hirn-Trauma

U.M. Mauer*, N. Könsgen[#], N. Meyer[#], S. Hess[#], M. Maegele, P. Hilbert-Carius

1.6.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Beim Erwachsenen sollte eine arterielle Normotension mit einem systolischen Blutdruck ≥ 90 mmHg angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	Zusätzliche Evidenz aus Aktualisierung 2022: [1] Shibahashi 2018: LoE 2b [2] Shibahashi 2021: LoE 2b	
	Konsensstärke: 79%	

1.6.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine arterielle Sauerstoffsättigung unter 90% sollte vermieden werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Aus ethischen Gründen sind prospektive randomisierte kontrollierte Studien, die den Effekt einer Hypotonie und/oder Hypoxie auf das Behandlungsergebnis untersuchen, sicherlich nicht vertretbar. Es gibt aber viele retrospektive Studien [2, 3], die ein deutlich schlechteres Behandlungsergebnis bei Vorliegen einer Hypotonie oder Hypoxie belegen. Absolute Priorität der diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen am Unfallort haben daher die Erkennung und, nach Möglichkeit, die sofortige Beseitigung aller Zustände, die mit einem Blutdruckabfall oder einer Abnahme der Sauerstoffsättigung im Blut einhergehen. Eine aggressive Therapie zur Anhebung des Blutdruckes und der Sauerstoffsättigung hat sich allerdings aufgrund von Nebenwirkungen nicht immer bewährt. Anzustreben sind eine Normoxie, Normokapnie und Normotonie.

Der ideale systolische Blutdruck beim Schädel-Hirn-Trauma ist in der Literatur in der Diskussion. Auch Leitlinien werden im Hinblick auf den idealen systolischen Blutdruck beim Schädel-Hirn-Trauma derzeit überarbeitet. Dies führte auch zu intensiven Diskussionen innerhalb der Entwicklung dieser Leitlinie. Die zugrunde liegenden Studien sind jedoch allesamt Registerstudien mit unterschiedlichen Studienpopulationen, so werden teilweise isolierte Schädel-Hirn-Traumata und teilweise Polytraumatisierte betrachtet, andererseits wird teilweise der gemessene Blutdruck am Notfallort und teilweise gemessene Blutdruck im Schockraum ausgewertet. Somit trifft kaum nur eine Studie die Patientengruppe, die in diesem Kapitel betrachtet wird, nämlich polytraumatisierte Patienten mit relevantem Schädel-Hirn-Trauma in der prähospitalen Versorgung. Nur zwei Arbeiten treffen diese Kriterien. Shibahashi et al. untersuchen polytraumatisierte Patienten mit relevantem Schädel-Hirn-Trauma mit einer prähospitalen Blutdruckmessung und finden den systolischen Blutdruck von 130 - 139 mmHg als denjenigen, der die geringste Mortalität aufweist. Sie schließen jedoch Patienten mit einem prähospitalen systolischen Blutdruck unter 60 mmHg und über 160 mmHg aus [4] Derselbe Autor untersucht mit einem vergleichbaren Ansatz ein größeres Kollektiv (34.175 Patienten) und findet die Mortalität bei einem prähospitalen systolischen Blutdruck unter 110 mmHg erhöht [2]. In der Leitlinienentwicklung wurde intensiv das prähospital Vorgehen bei Patienten mit einem niederen

Blutdruck und prähospital unbekanntem Verletzungsmuster (abdominelle Blutung, Verletzung großes Gefäß) diskutiert. Wegen der Gefahr der Verstärkung möglicher Blutungen konnte sich die Mehrheit der Leitliniengruppe deshalb nicht zu einem höheren systolischen prähospitalen Blutdruckparameter durchringen.

Bei insuffizienter Spontanatmung und bei Bewusstlosigkeit mit ausreichender Spontanatmung ist die Indikation zur Intubation gegeben. Hauptargument für die Intubation ist die effiziente Vermeidung der sekundären Gehirnschädigung durch eine Hypoxie. Diese droht bei Bewusstlosen auch bei suffizienter Spontanatmung, da es durch die gestörten Schutzreflexe zur Aspiration kommen kann. Hauptargument gegen die Intubation ist in vielen Diskussionen der hypoxische Schaden, der durch eine fehlerhafte Intubation eintreten kann. Bernard et al. konnten jedoch zeigen, dass sich sechs Monate nach Schädel-Hirn-Trauma ein signifikant höherer Prozentsatz von Patienten mit gutem neurologischem Outcome (definiert als 5 bis 8 Punkte auf der extended Glasgow Outcome Scale (GOSe)) findet, sofern diese bei einem GCS ≤ 9 Punkte am Unfallort intubiert wurden [5]. Die angloamerikanischen Studien mit einem schlechten Outcome bei Schädel-Hirn-Trauma-Patienten nach einer prähospitalen Intubation rühren von der hohen Rate der Fehlintubationen her.

Maßnahmen zur Sicherstellung der Herzkreislauffunktionen beim polytraumatisierten Patienten werden an anderer Stelle in dieser Leitlinie beschrieben. Spezielle Empfehlungen für die zur Volumensubstitution zu verwendende Infusionslösung bei Mehrfachverletzung mit begleitendem Schädel-Hirn-Trauma können nicht gemacht werden [6].

1.6.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die wiederholte Erfassung und Dokumentation von Bewusstseinslage, Pupillenfunktion und Glasgow Coma Scale soll erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Für klinische Befunde findet sich in der Literatur eine prognostische Aussagekraft lediglich für das Vorliegen weiter, lichtstarrer Pupillen [6-8] und einer Verschlechterung des GCS-Wertes [6-9], die beide mit einem schlechten Behandlungsergebnis korrelieren. Es gibt keine prospektive randomisierte kontrollierte Untersuchung zur Steuerung der Therapie durch die klinischen Befunde. Da solche Studien sicherlich ethisch nicht vertretbar sind, wurde bei der Entwicklung der Leitlinie die Bedeutung der klinischen Untersuchung auf einen Empfehlungsgrad A heraufgestuft unter der derzeit nicht beweisbaren Annahme, dass ein möglichst frühzeitiges Entdecken lebensbedrohlicher Zustände mit entsprechenden therapeutischen Konsequenzen den Outcome verbessern kann.

Trotz verschiedener Schwierigkeiten [10] hat sich die Glasgow Coma Scale (GCS) international für die Einschätzung der momentan festzustellenden Schwere einer Hirnfunktionsstörung eingebürgert. Mit ihr können die Aspekte „Augen öffnen“, „verbale Kommunikation“ und „motorische Reaktion“ standardisiert bewertet werden. Die neurologischen Befunde, mit Uhrzeit in der Akte dokumentiert, sind entscheidend für den Ablauf der weiteren Behandlung. Kurzfristige Kontrollen des neurologischen Befundes zur Erkennung einer Verschlechterung sind unbedingt durchzuführen [6, 11].

Die alleinige Verwendung der GCS beinhaltet allerdings die Gefahr einer diagnostischen Lücke, insbesondere wenn nur Summenwerte betrachtet werden. Dies gilt für das beginnende Mittelhirnsyndrom, das sich in spontanen Strecksynergismen bemerkbar machen kann, die nicht durch die GCS erfasst werden, und für Begleitverletzungen des Rückenmarks. Erfasst werden sollen daher

die motorischen Funktionen der Extremitäten mit seitengetrennter Unterscheidung an Arm und Bein – ob keine, eine unvollständige oder eine vollständige Lähmung vorliegt. Hierbei sollte auf das Vorliegen von Beuge- oder Strecksynergismen geachtet werden. Sofern keine Willkürbewegungen möglich sind, muss an allen Extremitäten die Reaktion auf Schmerzreiz geprüft werden. Siehe hierzu auch <https://www.glasgowcomascale.org>.

Liegt keine Bewusstlosigkeit vor, sind zusätzlich Orientierung, Hirnnervenfunktion, Koordination und Sprachfunktion zu erfassen.

1.6.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Auf die Gabe von Glukokortikoiden soll verzichtet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Ziele der schon am Unfallort zu ergreifenden Maßnahmen sind entsprechend der wissenschaftlichen Erkenntnis des gegenwärtigen Zeitpunktes das Erreichen einer Homöostase (Normoxie, Normotonie, Vermeiden einer Hyperthermie) und die Abwehr drohender Komplikationen. Damit soll das Ausmaß der sekundären Hirnschädigung begrenzt werden und den funktionsgeschädigten, aber nicht zerstörten Zellen des Gehirns sollen optimale Bedingungen für die funktionelle Regeneration gegeben werden. Dies gilt in gleicher Weise auch beim Vorliegen einer Mehrfachverletzung.

Die Datenlage in der wissenschaftlichen Literatur hat bisher nicht den Nutzen weitergehender, als spezifisch hirnprotektiv angesehener Therapieregimes belegen können. Derzeit kann keine Empfehlung für die prästationäre Gabe von 21-Aminosteroiden, Kalziumantagonisten, Glutamat-Rezeptor-Antagonisten oder Tris-(Tris[hydroxymethyl]aminomethan)-Puffer gegeben werden [6, 12-14].

Eine antikonvulsive Therapie verhindert das Auftreten epileptischer Anfälle in der ersten Woche nach Trauma. Das Auftreten eines Anfalls in der Frühphase führt jedoch nicht zu einem schlechteren klinischen Ergebnis [15, 16].

Die Gabe von Glukokortikoiden ist aufgrund einer signifikant erhöhten 14-Tage-Letalität [17, 18] ohne Verbesserung des klinischen Outcomes [19] nicht indiziert.

1.6.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei Verdacht auf stark erhöhten intrakraniellen Druck, insbesondere bei Zeichen der transtentoriellen Herniation (Pupillenerweiterung, Strecksynergismen, Streckreaktion auf Schmerzreiz, progrediente Bewusstseinstäubung), können die folgenden Maßnahmen angewandt werden: <ul style="list-style-type: none"> • Hyperventilation • Hypertone Kochsalzlösung • Mannitol 	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

In den Fällen mit Verdacht auf transtentorielle Herniation und den Zeichen des Mittelhirnsyndroms (Pupillenerweiterung, Strecksynergismen, Streckreaktion auf Schmerzreiz, progrediente Bewusstseinstörung) kann die Hyperventilation als Behandlungsoption in der Frühphase nach Trauma eingesetzt werden [6, 16]. Der Richtwert liegt bei 20 Atemzügen pro Minute bei Erwachsenen und muss bei Kindern altersentsprechend angepasst werden. Die früher aufgrund ihrer oftmals eindrucksvollen hirndrucksenkenden Wirkung eingesetzte Hyperventilation hat allerdings, aufgrund der damit verbundenen Vasokonstriktion, auch eine Reduktion der zerebralen Perfusion zur Folge. Dies beinhaltet das Risiko einer zerebralen Ischämie bei aggressiver Hyperventilation und damit der Verschlechterung des klinischen Outcomes [16].

Die Gabe von Mannitol kann für einen kurzen Zeitraum (bis zu 1 Stunde) den intrakraniellen Druck (Intracranial Pressure [ICP]) senken [20]. Bei Verdacht auf transtentorielle Herniation kann die Gabe auch ohne Messung des ICP erfolgen.

Für die hirnprotektive Wirkung hypertoner Kochsalzlösungen gibt es bislang nur wenige Evidenzbelege. Im Vergleich zu Mannitol scheint die Mortalität etwas geringer zu sein. Diese Aussage beruht allerdings auf einer kleinen Fallzahl und ist statistisch nicht signifikant [20].

Auch seit der ersten Version dieser Leitlinie konnte nicht gezeigt werden, dass die Gabe von Mannitol oder hypertoner Kochsalzlösung beim schweren SHT zu einem besseren klinischen Outcome führt [21, 22]. Leider gibt es bis heute keine aussagekräftigen Studien zur speziellen Fragestellung dieser Empfehlung (Maßnahmen bei Verdacht auf transtentorielle Herniation). Eine neuere Studie [23] zeigt einen Effekt auf den intrakraniellen Druck für beide Infusionslösungen. Methodische Schwächen (kleine Population, unklare Statistik ohne Konfidenzintervalle, Unterschiede im GCS zwischen den Gruppen) schränken die Aussagekraft ein. Dennoch erscheint aus pathophysiologischen Überlegungen eine optionale Empfehlung zur Anwendung der genannten Maßnahmen bei klinischem Verdacht auf starke Hirndruckerhöhung auch am Unfallort oder auf dem Transportweg gerechtfertigt. Da keine sicheren Unterschiede in der Wirksamkeit von Mannitol und hypertoner Kochsalzlösung bestehen, wird durch die Änderung der Reihenfolge der prinzipiell einfacheren Lagerhaltung von hypertoner Kochsalzlösung Rechnung getragen (siehe auch Kapitel 1.3 bzw. 2.4).

Die Gabe von Barbituraten, die in früheren Leitlinien bei anderweitig nicht beherrschbaren Hirndruckkrisen empfohlen wurde [24], ist nicht ausreichend belegt [25]. Auf die negativ inotrope Wirkung, den möglichen Blutdruckabfall und die Beeinträchtigung der neurologischen Beurteilbarkeit bei Barbituratgabe muss geachtet werden.

Bei Mehrfachverletzten mit Symptomen eines begleitenden Schädel-Hirn-Traumas ist die Einweisung in eine Klinik mit adäquater Versorgungsmöglichkeit unumgänglich. Im Falle eines Schädel-Hirn-Traumas mit anhaltender Bewusstlosigkeit (GCS ≤ 8), einer zunehmenden Eintrübung (Verschlechterung einzelner GCS-Werte), Pupillenstörung, Lähmung oder von Anfällen sollte die Klinik auf jeden Fall über die Möglichkeit einer neurochirurgischen Versorgung intrakranieller Verletzungen verfügen [6].

Zur Frage der Analgosedierung und Relaxierung für den Transport kann keine eindeutige Empfehlung ausgesprochen werden, da Studien fehlen, die eine positive Wirkung auf das Schädel-Hirn-Trauma belegen. Die kardiopulmonale Versorgung ist sicherlich mit diesen Maßnahmen einfacher zu gewährleisten, sodass die Entscheidung darüber in das Ermessen des versorgenden Notarztes gestellt werden muss. Der Nachteil dieser Maßnahmen ist eine mehr oder weniger starke Einschränkung der neurologischen Beurteilbarkeit [16].

1.6.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei perforierenden Verletzungen sollte der perforierende Gegenstand belassen werden, evtl. muss er abgetrennt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei perforierenden Verletzungen sollte der perforierende Gegenstand belassen werden, evtl. muss er abgetrennt werden. Verletzte intrakranielle Gefäße werden oft durch den Fremdkörper tamponiert, sodass das Herausziehen die Ausbildung einer intrakraniellen Blutung begünstigt. Die Entfernung muss daher unter operativen Bedingungen mit der Möglichkeit einer Blutstillung im verletzten Hirngewebe erfolgen. Auch wenn es keine prospektive randomisierte kontrollierte Studie zum optimalen Vorgehen bei perforierenden Verletzungen gibt, so ist aus pathophysiologischen Überlegungen dieses Vorgehen sinnvoll.

Beim Transport sollte an die Möglichkeit einer begleitenden instabilen Wirbelsäulenfraktur gedacht werden und eine entsprechende Lagerung sollte erfolgen (siehe Kapitel 1.7 Wirbelsäule Empfehlungen 1.7.3 -1.7.5).

1.6.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Herausgeschlagene Zähne und Zahnfragmente sollten aufgenommen, feucht gelagert und zur Replantation ins Traumazentrum mitgebracht werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Dies kann z.B. in einem Behälter mit spezieller zellfreundlicher Lösung, Ringerlösung oder H-Milch erfolgen [26, 27].

Literatur

1. Shibahashi K, Sugiyama K, Okura Y, Tomio J, Hoda H, Hamabe Y. Defining Hypotension in Patients with Severe Traumatic Brain Injury. *World Neurosurgery*. 2018;120:e667-e74.
2. Shibahashi K, Hoda H, Okura Y, Hamabe Y. Acceptable Blood Pressure Levels in the Prehospital Setting for Patients with Traumatic Brain Injury: A Multicenter Observational Study. *World Neurosurgery*. 2021;06:06.
3. Gabriel EJ, Ghajar J, Jagoda A, Pons PT, Scalea T, Walters BC. Guidelines for prehospital management of traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*. 2002;19(1):111-74.
4. Shibahashi K, Sugiyama K, Okura Y, Hoda H, Hamabe Y. Traumatic Posterior Fossa Subdural Hemorrhage: A Multicenter, Retrospective Cohort Study. *World Neurosurgery*. 2018;119:e513-e7.
5. Bernard SA, Nguyen V, Cameron P, Masci K, Fitzgerald M, Cooper DJ, et al. Prehospital rapid sequence intubation improves functional outcome for patients with severe traumatic brain injury: a randomized controlled trial. *Annals of Surgery*. 2010;252(6):959-65.
6. Gabriel EJ, Ghajar J, Jagoda A, Pons PT, Scalea T, Walters BC. Guidelines for prehospital management of traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*. 2002;19(1):111-74.
7. The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury. 3rd Edition. 2007.
8. Tien HC, Cunha JR, Wu SN, Chughtai T, Tremblay LN, Brenneman FD, et al. Do trauma patients with a Glasgow Coma Scale score of 3 and bilateral fixed and dilated pupils have any chance of survival? *J Trauma*. 2006;60(2):274-8.
9. Marmarou A, Lu J, Butcher I, McHugh GS, Murray GD, Steyerberg EW, et al. Prognostic value of the Glasgow Coma Scale and pupil reactivity in traumatic brain injury assessed pre-hospital and on enrollment: an IMPACT analysis. *Journal of neurotrauma*. 2007;24(2):270-80.
10. Balestreri M, Czosnyka M, Chatfield DA, Steiner LA, Schmidt EA, Smielewski P, et al. Predictive value of Glasgow Coma Scale after brain trauma: change in trend over the past ten years. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*. 2004;75(1):161-2.
11. Karimi A, Buchardi H. Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) - Stellungnahmen, Empfehlungen zu Problemen der Intensiv- und Notfallmedizin, . Aufl, editor. Köln: asmuth druck+crossmedia; 2004.
12. Langham J, Goldfrad C, Teasdale G, Shaw D, Rowan K. Calcium channel blockers for acute traumatic brain injury (Cochrane Review): Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2004.
13. Roberts I, Alderson P, Bunn F, Chinnock P, Ker K, Schierhout G. Colloids versus crystalloids for fluid resuscitation in critically ill patients. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2004;(4):CD000567.
14. Willis C. Excitatory amino acid inhibitors for traumatic brain injury (Cochrane Review). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2004.
15. Schierhout G, Roberts I. Anti-epileptic drugs for preventing seizures following acute traumatic brain injury *The Cochrane Library*. 2004;1.
16. The Brain Trauma Foundation. Guidelines of prehospital management of traumatic brain injury. 2nd Edition Prehospital Emergency Care. 2007;12(Suppl):S1-S52.
17. Alderson P, Roberts I. Corticosteroids for acute traumatic brain injury. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2005;(1):CD000196.
18. Roberts I, Yates D, Sandercock P, Farrell B, Wasserberg J, Lomas G, et al. Effect of intravenous corticosteroids on death within 14 days in 10008 adults with clinically significant head injury (MRC CRASH trial): randomised placebo-controlled trial. *Lancet*. 2004;364(9442):1321-8.
19. Edwards P, Arango M, Balica L, Cottingham R, El-Sayed H, Farrell B, et al. Final results of MRC CRASH, a randomised placebo-controlled trial of intravenous corticosteroid in adults with head injury-outcomes at 6 months. *Lancet*. 2005;365(9475):1957-9.
20. Wakai A, Roberts I, Schierhout G. Mannitol for acute traumatic brain injury. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2007;(1):CD001049.

21. Bulger EM, May S, Brasel KJ, Schreiber M, Kerby JD, Tisherman SA, et al. Out-of-hospital hypertonic resuscitation following severe traumatic brain injury: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2010;304(13):1455-64.
22. Morrison LJ, Baker AJ, Rhind SG, Kiss A, MacDonald RD, Schwartz B, et al. The Toronto prehospital hypertonic resuscitation--head injury and multiorgan dysfunction trial: feasibility study of a randomized controlled trial. *Journal of critical care*. 2011;26(4):363-72.
23. Cottenceau V, Masson F, Mahamid E, Petit L, Shik V, Sztark F, et al. Comparison of effects of equiosmolar doses of mannitol and hypertonic saline on cerebral blood flow and metabolism in traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*. 2011;28(10):2003-12.
24. Kraus JF, Black MA, Hessel N, Ley P, Rokaw W, Sullivan C, et al. The incidence of acute brain injury and serious impairment in a defined population. *American journal of epidemiology*. 1984;119(2):186-201.
25. Roberts I. Barbiturates for acute traumatic brain injury. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2000;(2):CD000033.
26. Andersson L, Andreasen JO, Day P, Heithersay G, Trope M, Diangelis AJ, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dental traumatology : official publication of International Association for Dental Traumatology*. 2012;28(2):88-96.
27. Blomlof L. Milk and saliva as possible storage media for traumatically exarticulated teeth prior to replantation. *Swedish dental journal Supplement*. 1981;8:1-26.

1.7 Wirbelsäule

P. Kobbe*, D. Häske, T. Helfen, M. Kreinest, M. Münzberg

Wann ist von einer Wirbelsäulenverletzung auszugehen?

Welche diagnostischen Maßnahmen sind erforderlich?

1.7.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Eine gezielte körperliche Untersuchung, inklusive der Wirbelsäule und der mit ihr verbundenen Funktionen, soll durchgeführt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Bewertung des Unfallmechanismus kann Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit einer Wirbelsäulenverletzung geben [1]. So ist die Wahrscheinlichkeit für diese Verletzungen bei Stürzen aus großer Höhe und Hochgeschwindigkeitsunfällen erhöht [2].

Nach Überprüfung und Sicherung der Vitalfunktionen beim ansprechbaren Patienten beinhaltet die Untersuchung der Wirbelsäule am Unfallort die orientierende neurologische Untersuchung bzgl. Sensibilität und Motorik. Ein neurologisches Defizit kann auf das Vorliegen einer Rückenmarksverletzung hinweisen. Fehlende Rückenschmerzen sind kein Ausschlusskriterium für eine relevante Verletzung der Wirbelsäule [3].

Die Inspektion (Verletzungszeichen/Deformitäten) und das Abtasten (Druck-/Klopfschmerz oder Stufen/tastbare Lücken zwischen den Dornfortsätzen) der Wirbelsäule vervollständigen die Untersuchung.

Auch wenn es keine wissenschaftlichen Arbeiten zur Bedeutung und zum notwendigen Umfang der Untersuchung der Wirbelsäule in der prähospitalen Notfallmedizin gibt, so ist sie doch unabdingbare Voraussetzung, eine potentielle Wirbelsäulenverletzung zu diagnostizieren. Alle o. g. Untersuchungen dienen der Erkennung von relevanten, bedrohlichen oder potentiell bedrohlichen Störungen und Verletzungen, die sämtlich eine sofortige und spezifische Therapie oder logistische Entscheidung vor Ort notwendig machen können [4, 5].

Welche Begleitverletzungen machen das Vorliegen einer Wirbelsäulenverletzung wahrscheinlich?

1.7.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei bewusstlosen Patienten soll bis zum Beweis des Gegenteils von dem Vorliegen einer Wirbelsäulenverletzung ausgegangen werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Koinzidenz von Wirbelsäulenverletzungen und bestimmten anderen Verletzungsmustern ist erhöht. So zeigt sich ein gehäuftes Auftreten von Verletzungen der Wirbelsäule bei Patienten mit

relevanten supraklavikulären Verletzungen oder mit schweren Verletzungen anderer Körperregionen [6].

Wie wird die Diagnose einer Wirbelsäulenverletzung gestellt und wie sicher ist sie?

Um die Diagnosestellung einer Wirbelsäulenverletzung und die Indikationsstellung zur prähospitalen Immobilisation der Wirbelsäule zu vereinfachen und um die radiologische Primärdiagnostik nach stumpfem Trauma der Wirbelsäule sinnvoll einzugrenzen, sind von mehreren Gruppen klinische Entscheidungsregeln erarbeitet worden. Einige dieser Entscheidungsregeln beziehen sich auf die Situation in der Prähospitalen Phase [7-9], andere auf die Notaufnahme [2, 10-13].

So formuliert die NEXUS-Studie [8, 14] fünf Kriterien, bei deren Fehlen eine Verletzung der Halswirbelsäule unwahrscheinlich ist:

- Bewusstseinsstörung,
- neurologisches Defizit,
- Wirbelsäulenschmerzen oder Muskelhartspann,
- Intoxikation,
- Extremitätentrauma.

Unter Anwendung der genannten fünf Kriterien konnte eine Sensitivität von 95% mit einem negativen Vorhersagewert von 99,5% erzielt werden. Eine weitere Studie, die sich auf polytraumatisierte Patienten mit potentieller HWS-Verletzung konzentriert [15], kommt zu ähnlichen Prädiktoren, sodass eine Generalisierung der NEXUS-Kriterien gerechtfertigt und, aus unserer Sicht, auch auf die Brust- und Lendenwirbelsäule übertragbar erscheint.

Bandiera et al. und Stiell et al. konnten in prospektiven Studien nachweisen, dass bei Anwendung der Canadian C-Spine Rule bei bewusstseinsklaren Patienten klinisch signifikante Verletzungen mit einer Sensitivität von 100% demaskiert werden können [13, 16].

Maßgeblich für die Diagnose einer Rückenmarksschädigung ist das neurologische Defizit (Sensibilität/Motorik). Ob es sich um eine komplette oder eine inkomplette Läsion handelt und auf welcher Segmenthöhe die Läsion besteht, ist prähospital oftmals nur eingrenzend bestimmbar.

Wie wird eine Wirbelsäulenverletzung prähospital versorgt?

Wie erfolgt die technische Rettung eines Wirbelsäulenverletzten?

1.7.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die Halswirbelsäule soll bei der schnellen und schonenden Rettung vor der eigentlichen technischen Rettung immobilisiert werden. Die Notwendigkeit zur Sofortrettung (z.B. Feuer/Explosionsgefahr) stellt eine Ausnahme dar.	
	Konsensstärke: 95%	

Die Indikation zur Immobilisierung der Wirbelsäule im Rahmen der technischen Rettung orientiert sich am Zustand des Patienten. So kann bei akuter Lebensgefahr (Feuer, Reanimationspflichtigkeit) eine *sofortige Rettung* (z.B. mittels Rautek-Griff) ohne Immobilisation der Wirbelsäule durchgeführt werden. Bei der *schnellen Rettung* soll die Manipulation an der Wirbelsäule minimiert werden; dennoch steht aufgrund des Patientenzustandes eine kurze Rettungszeit im Fokus. Im Bereich der

Halswirbelsäule sollte die Immobilisierung durch eine Zervikalstütze erfolgen, auch wenn dieses Vorgehen zur Vermeidung eines Sekundärschadens durch die Literatur bisher nicht belegt ist.

Unter Beachtung des Patientenzustandes kann die Indikation zur *schonenden Rettung* (z.B. durch Abnahme eines PKW-Daches) in Erwägung gezogen werden, während derer die strikte Immobilisierung der Wirbelsäule erfolgen sollte.

Hilfsmittel, wie die Schaufeltrage oder das *Spineboard*, erleichtern die Rettung eines Wirbelsäulenverletzten aus ungünstiger Schadensortlage.

Wie wird ein Wirbelsäulenverletzter gelagert/ruhiggestellt?

Als erste prähospitalen Maßnahme für einen Unfallverletzten sollte die Immobilisierung der HWS manuell oder mit einer Zervikalstütze erfolgen, auch wenn es hierzu keinen hohen Evidenzlevel gibt. Dabei erfolgt die Rücknahme der HWS in die Neutralposition. Kommt es dabei zu Schmerzen oder zur Zunahme eines neurologischen Defizits ist eine Rückführung in die Neutralstellung nicht durchzuführen. Die Neutralstellung der Halswirbelsäule ist bei Erwachsenen in Rückenlage nur mit einer Unterfütterung des Kopfes zu erreichen [17].

Bei der alleinigen Immobilisation der Halswirbelsäule durch eine Zervikalstütze verbleibt eine Restbeweglichkeit. Die Ruhigstellung der Halswirbelsäule kann durch Lagerung auf der Vakuummatratze zusätzlich erhöht werden. Dies erzielt die derzeit effektivste Immobilisation auch der gesamten Wirbelsäule. Dabei wird durch Einbeziehen des Kopfes mit hohen Kissen oder Gurten die mögliche Restbewegung der HWS weiter eingeschränkt. Bisher liegt keine randomisierte Studie vor, die einen positiven Effekt der Immobilisierung der Wirbelsäule beweist [18]. Andere Hilfsmittel wie die Schaufeltrage können die Wirbelsäule nur eingeschränkt immobilisieren.

Beim Vorliegen eines Schädel-Hirn-Traumas und des Verdachts auf eine Halswirbelsäulenverletzung sollte abgewogen werden, ob eine starre Zervikalstütze angelegt wird, um einen möglichen Anstieg des intrakraniellen Drucks zu verhindern [19-24]. Eine alternative Immobilisierungsmethode ist die Fixierung des Patienten in der Vakuummatratze mit Oberkörperhochlagerung und zusätzlicher Fixierung des Kopfes ohne Anlage einer Zervikalstütze.

Wie wird ein Wirbelsäulenverletzter transportiert?

1.7.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Der Transport soll möglichst schonend und unter Schmerzfreiheit erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

Ein Wirbelsäulenverletzter sollte möglichst schonend, d. h. ohne weitere äußere Gewalteinwirkung zur Vermeidung von Schmerzen und evtl. Sekundärschäden transportiert werden. Nach entsprechender Immobilisation wird der Transport unter analgetischer Therapie durchgeführt. Den mechanisch schonendsten Transport ermöglicht ein Hubschrauber. Er bietet zudem unter Umständen Zeitvorteile beim notwendigen Transport eines Wirbelsäulenverletzten mit neurologischen Ausfällen in ein überregionales Zentrum, das nur über eine größere Strecke erreichbar ist.

Gibt es eine spezifische Therapie der Wirbelsäulenverletzung in der Prähospitalen Phase?

Derzeit gibt es keine Evidenz für eine sinnvolle prähospitale Therapie der Wirbelsäulenverletzung. Die prähospital eingeleitete Kortisontherapie bei Wirbelsäulenverletzungen mit neurologischem Defizit kann nach derzeitiger Studienlage nicht empfohlen werden [25, 26]. Generell sollte bei Wirbelsäulenverletzungen mit neurologischen Ausfällen eine ausreichende Durchblutung und Oxygenierung angestrebt werden. Die Diagnose des neurogenen Schocks setzt voraus, dass ein Blutungsschock mit Hypovolämie sicher ausgeschlossen werden kann. Die spezifische Therapie des neurogenen Schocks unterliegt keiner hohen Evidenz, allerdings sollte die Volumengabe aufgrund der Normovolämie eher zurückhaltend erfolgen und eher die Gabe von Vasopressoren favorisiert werden.

Hat der Wirbelsäulenverletzte Vorteile, wenn er primär in ein Traumazentrum mit Wirbelsäulenchirurgie transportiert wird?

1.7.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Patienten mit neurologischen Ausfällen und vermuteter Wirbelsäulenverletzung sollten primär in ein geeignetes Traumazentrum transportiert werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Verschiedene Studien zeigen, dass die operative Versorgung von Wirbelsäulenverletzungen innerhalb von 72 Stunden die Morbidität (Beatmungszeit, Inzidenz von Pneumonien und pulmonalem Organversagen) sowie die Intensiv- und Krankenhausverweildauer signifikant reduzieren kann [27-32]. Insbesondere scheinen hiervon schwerstverletzte Patienten (ISS >33) mit thorakalen Wirbelsäulenverletzungen zu profitieren [33]. Inwiefern eine frühe Dekompression bei Wirbelsäulenverletzungen mit neurologischem Defizit das neurologische Outcome positiv beeinflusst, lässt sich anhand der aktuellen Literatur nicht abschließend bewerten [26, 34-39]. Einige dieser Studien zeigen jedoch einen positiven Trend durch eine frühe Dekompression (Definition „früh“ variiert allerdings je nach Studienlage zwischen 8 und 72 Stunden nach Trauma), insbesondere bei inkompletter Querschnittssymptomatik, ohne die intraoperative Komplikationsrate zu erhöhen [40, 41]. Hierbei zeigt sich, dass das neurologische Outcome jedoch mit der Expertise des Traumazentrums bei der Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen korreliert [42].

Aus diesen Gründen sollte, insbesondere beim isolierten Wirbelsäulentrauma und bei nicht akuter Lebensbedrohung, ein Transport in ein geeignetes Traumazentrum mit Expertise in der Wirbelsäulenchirurgie erfolgen [39, 43].

Anmerkungen

Die dieser Empfehlung zugrunde liegende Literatur bezieht sich zumeist auf die innerklinische Situation und müsste, sofern relevant, auf die prähospitale Situation übertragen werden. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass sich die Organisation der prähospitalen Versorgung in einigen Ländern im Vergleich zum deutschen Notarzt-Rettungswesen erheblich unterscheidet (z.B. Paramedics), weshalb die Ergebnisse aus der internationalen Literatur nicht immer uneingeschränkt auf Deutschland übertragbar sind.

Literatur

1. Cooper C, Dunham CM, Rodriguez A. Falls and major injuries are risk factors for thoracolumbar fractures: cognitive impairment and multiple injuries impede the detection of back pain and tenderness. *J Trauma*. 1995;38(5):692-6.
2. Hanson JA, Blackmore CC, Mann FA, Wilson AJ. Cervical spine injury: a clinical decision rule to identify high-risk patients for helical CT screening. *AJR Am J Roentgenol*. 2000;174(3):713-7.
3. Frankel HL, Rozycki GS, Ochsner MG, Harviel JD, Champion HR. Indications for obtaining surveillance thoracic and lumbar spine radiographs. *J Trauma*. 1994;37(4):673-6.
4. Chen XY, Carp JS, Chen L, Wolpaw JR. Corticospinal tract transection prevents operantly conditioned H-reflex increase in rats. *Exp Brain Res*. 2002;144(1):88-94.
5. Surgeons ACo. *Advanced Trauma Life Support for Doctors* 1997.
6. Vandemark RM. Radiology of the cervical spine in trauma patients: practice pitfalls and recommendations for improving efficiency and communication. *AJR Am J Roentgenol*. 1990;155(3):465-72.
7. Domeier RM, Evans RW, Swor RA, Rivera-Rivera EJ, Frederiksen SM. Prospective validation of out-of-hospital spinal clearance criteria: a preliminary report. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 1997;4(6):643-6.
8. Domeier RM, Swor RA, Evans RW, Hancock JB, Fales W, Krohmer J, et al. Multicenter prospective validation of prehospital clinical spinal clearance criteria. *J Trauma*. 2002;53(4):744-50.
9. Ducker TB. Treatment of spinal-cord injury. *The New England journal of medicine*. 1990;322(20):1459-61.
10. Blackmore CC, Emerson SS, Mann FA, Koepsell TD. Cervical spine imaging in patients with trauma: determination of fracture risk to optimize use. *Radiology*. 1999;211(3):759-65.
11. Hoffman JR, Mower WR, Wolfson AB, Todd KH, Zucker MI. Validity of a set of clinical criteria to rule out injury to the cervical spine in patients with blunt trauma. *National Emergency X-Radiography Utilization Study Group. The New England journal of medicine*. 2000;343(2):94-9.
12. Holmes JF, Panacek EA, Miller PQ, Lapidis AD, Mower WR. Prospective evaluation of criteria for obtaining thoracolumbar radiographs in trauma patients. *J Emerg Med*. 2003;24(1):1-7.
13. Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, et al. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA*. 2001;286(15):1841-8.
14. Muhr MD, Seabrook DL, Wittwer LK. Paramedic use of a spinal injury clearance algorithm reduces spinal immobilization in the out-of-hospital setting. *Prehosp Emerg Care*. 1999;3(1):1-6.
15. Ross SE, O'Malley KF, DeLong WG, Born CT, Schwab CW. Clinical predictors of unstable cervical spinal injury in multiply injured patients. *Injury*. 1992;23(5):317-9.
16. Bandiera G, Stiell IG, Wells GA, Clement C, De Maio V, Vandemheen KL, et al. The Canadian C-spine rule performs better than unstructured physician judgment. *Ann Emerg Med*. 2003;42(3):395-402.
17. Schriger DL, Larmon B, LeGassick T, Blinman T. Spinal immobilization on a flat backboard: does it result in neutral position of the cervical spine? *Ann Emerg Med*. 1991;20(8):878-81.
18. Kwan I, Bunn F, Roberts I. Spinal immobilisation for trauma patients. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2001;(2):CD002803.
19. Craig GR, Nielsen MS. Rigid cervical collars and intracranial pressure. *Intensive Care Med*. 1991;17(8):504-5.
20. Davies G, Deakin C, Wilson A. The effect of a rigid collar on intracranial pressure. *Injury*. 1996;27(9):647-9.
21. Hunt K, Hallworth S, Smith M. The effects of rigid collar placement on intracranial and cerebral perfusion pressures. *Anaesthesia*. 2001;56(6):511-3.
22. Kolb JC, Summers RL, Galli RL. Cervical collar-induced changes in intracranial pressure. *The American journal of emergency medicine*. 1999;17(2):135-7.
23. Kuhnigk H, Bomke S, Sefrin P. [Effect of external cervical spine immobilization on intracranial pressure]. *Aktuelle Traumatol*. 1993;23(8):350-3.

24. Raphael JH, Chotai R. Effects of the cervical collar on cerebrospinal fluid pressure. *Anaesthesia*. 1994;49(5):437-9.
25. Bernhard M, Gries A, Kremer P, Bottiger BW. Spinal cord injury (SCI)--prehospital management. *Resuscitation*. 2005;66(2):127-39.
26. Pointillart V, Petitjean ME, Wiart L, Vital JM, Lassie P, Thicoipe M, et al. Pharmacological therapy of spinal cord injury during the acute phase. *Spinal Cord*. 2000;38(2):71-6.
27. Bliemel C, Lefering R, Buecking B, Frink M, Struwer J, Krueger A, et al. Early or delayed stabilization in severely injured patients with spinal fractures? Current surgical objectivity according to the Trauma Registry of DGU: treatment of spine injuries in polytrauma patients. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;76(2):366-73.
28. Cengiz ŞL, Kalkan E, Bayir A, Ilik K, Basefer A. Timing of thoracolumbar spine stabilization in trauma patients; impact on neurological outcome and clinical course. A real prospective (rct) randomized controlled study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2008;128(9):959-66.
29. Croce MA, Bee TK, Pritchard E, Miller PR, Fabian TC. Does optimal timing for spine fracture fixation exist? *Annals of surgery*. 2001;233(6):851.
30. Kerwin AJ, Frykberg ER, Schinco MA, Griffen MM, Murphy T, Tepas JJ. The effect of early spine fixation on non-neurologic outcome. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2005;58(1):15-21.
31. Schinkel C, Frangen TM, Kmetc A, Andress HJ, Muhr G, German Trauma R. Timing of thoracic spine stabilization in trauma patients: impact on clinical course and outcome. *J Trauma*. 2006;61(1):156-60; discussion 60.
32. Schinkel C, Greiner-Perth R, Schwienhorst-Pawlowsky G, Frangen TM, Muhr G, Bohm H. [Does timing of thoracic spine stabilization influence perioperative lung function after trauma?]. *Orthopade*. 2006;35(3):331-6.
33. Schinkel C, Anastasiadis AP. The timing of spinal stabilization in polytrauma and in patients with spinal cord injury. *Current opinion in critical care*. 2008;14(6):685-9.
34. Curt A, Ellaway PH. Clinical neurophysiology in the prognosis and monitoring of traumatic spinal cord injury. *Handb Clin Neurol*. 2012;109:63-75.
35. Dobran M, Iacoangeli M, Nocchi N, Di Rienzo A, di Somma LG, Nasi D, et al. Surgical treatment of cervical spine trauma: Our experience and results. *Asian J Neurosurg*. 2015;10(3):207-11.
36. Fehlings MG, Cadotte DW, Fehlings LN. A series of systematic reviews on the treatment of acute spinal cord injury: a foundation for best medical practice. *Journal of neurotrauma*. 2011;28(8):1329-33.
37. Mirza SK, Krengel III WF, Chapman JR, Anderson PA, Bailey JC, Grady MS, et al. Early versus delayed surgery for acute cervical spinal cord injury. *Clinical Orthopaedics and Related Research®*. 1999;359:104-14.
38. Rosenfeld JF, Vaccaro AR, Albert TJ, Klein GR, Cotler JM. The benefits of early decompression in cervical spinal cord injury. *Am J Orthop*. 1998;27(1):23-8.
39. Walters BC, Hadley MN, Hurlbert RJ, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, et al. Guidelines for the management of acute cervical spine and spinal cord injuries: 2013 update. *Neurosurgery*. 2013;60 Suppl 1:82-91.
40. McKinley W, Meade MA, Kirshblum S, Barnard B. Outcomes of early surgical management versus late or no surgical intervention after acute spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2004;85(11):1818-25.
41. Waters RL, Meyer PR, Jr., Adkins RH, Felton D. Emergency, acute, and surgical management of spine trauma. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(11):1383-90.
42. Macias CA, Rosengart MR, Puyana JC, Linde-Zwirble WT, Smith W, Peitzman AB, et al. The effects of trauma center care, admission volume, and surgical volume on paralysis after traumatic spinal cord injury. *Ann Surg*. 2009;249(1):10-7.
43. Tator CH, Duncan EG, Edmonds VE, Lapczak LI, Andrews DF. Neurological recovery, mortality and length of stay after acute spinal cord injury associated with changes in management. *Paraplegia*. 1995;33(5):254-62.

1.8 Extremitäten

D. Gumbel*, M. Engelhardt, D. Hinck, C. Lott, M. Mutschler, C. Probst

Priorität

1.8.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Stark blutende Verletzungen der Extremitäten, welche die Vitalfunktion beeinträchtigen können, sollen mit Priorität versorgt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

1.8.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Versorgung von Verletzungen der Extremitäten soll weitere Schäden vermeiden und die Gesamtrettungszeit beim Vorliegen weiterer bedrohlicher Verletzungen nicht verzögern.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Sicherung der Vitalfunktionen sowie die Untersuchung von Kopf und Körperstamm sollten der Untersuchung der Extremitäten vorausgehen. Besonderheiten können sich bei Verletzungen der Extremitäten mit starkem Blutverlust ergeben [1, 2].

Starke und unmittelbar lebensbedrohliche Blutungen sollen sofort durch eine entsprechende Lagerung, Kompression oder durch die Anlage eines Tourniquets kontrolliert werden. Beispielsweise können derartige Blutungen nach ETC innerhalb des 5-Sekunden-Checks erkannt und behandelt werden.

Die Feststellung von größeren externen, aber nicht unmittelbar lebensbedrohlichen Blutungen ist wichtig und erfolgt dann in der Regel unter „C“ (Circulation), während kleinere Blutungen im „Secondary Survey“ registriert werden [1].

Oberstes Gebot ist die Vermeidung weiterer Schäden, die Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen sowie der Transport in die nächstgelegene geeignete Klinik [3]!

Die Versorgung von Extremitätenverletzungen (Spülung/Wundversorgung/Schienung) sollte nicht die Rettungszeit beim Vorliegen weiterer lebensbedrohlicher Verletzungen verzögern [4].

Diagnostik

Anamnese

Eine möglichst genaue Anamnese (Eigen-/Fremdanamnese) zum Unfallhergang kann erhoben werden, um eine ausreichende Information zur einwirkenden Kraft und ggf. bei offenen Wunden zum Grad der Kontamination zu erhalten [2, 5].

Neben der Unfallanamnese und dem Zeitpunkt des Unfalles sollten, wenn möglich, Informationen über Allergien, Medikation und Vorerkrankungen des Patienten sowie der Zeitpunkt der letzten Mahlzeit

eingeholt werden. In diesem Zusammenhang sollte auch eine Anamnese des Tetanusstatus erfolgen [1, 6].

Untersuchung

1.8.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Alle Extremitäten eines Verunfallten sollten prähospital orientierend untersucht werden.	
	Konsensstärke: 88%	

Wache Patienten sollten zunächst nach Beschwerden und deren Lokalisation befragt werden. Bei Schmerzen kann eine frühzeitige und ausreichende Analgetikagabe erfolgen [1]. Eine prähospital untersuchung sollte durchgeführt werden. Die Untersuchung am Unfallort sollte in angebrachtem Maße zur Beurteilung der Schwere der Verletzung ohne wesentliche Verzögerung der Gesamtrettungszeit erfolgen [5]. Die Untersuchung sollte orientierend vom Kopf zum Fuß erfolgen und nicht länger als 5 Minuten dauern [6].

Die Untersuchung sollte in dieser Reihenfolge durchgeführt werden: Inspektion (Fehlstellung/ Wunden/ Schwellung/ Durchblutung), Stabilitätsprüfung (Krepitation, abnorme Beweglichkeit, sichere und unsichere Frakturzeichen), Beurteilung der Durchblutung, Motorik und Sensibilität. Auch sollte der Weichteilbefund evaluiert werden (geschlossene vs. offene Fraktur, Hinweise auf Kompartmentsyndrom) [1, 2]. Die kapillare Reperfusion kann im Seitvergleich getestet werden [1].

Lederbekleidung wie z.B. Motorradbekleidung sollte, soweit möglich, belassen werden, da diese als Schienung mit Kompressionseffekt insbesondere für das Becken und die untere Extremität dient [1, 7].

Therapie

Allgemeines

1.8.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine auch nur vermutlich verletzte Extremität sollte vor grober Bewegung/dem Transport des Patienten ruhiggestellt werden.	
	Konsensstärke: 94%	

Die Ruhigstellung einer verletzten Extremität ist eine wesentliche Maßnahme in der prähospitalen Versorgung. Eine verletzte Extremität sollte vor grober Bewegung/dem Transport des Patienten ruhiggestellt werden. Gründe hierfür sind: eine Schmerzlinderung, eine Verhinderung einer weiteren Weichteilschädigung/Blutung sowie die Verringerung des Risikos einer Fettembolie und eines neurologischen Schadens [1, 6].

Auch bei dem Verdacht auf eine Verletzung sollte eine Ruhigstellung erfolgen [6, 8].

Hierzu sollten die proximal und distal der Verletzung gelegenen Gelenke in die Immobilisation mit einbezogen werden [6, 8, 9]. Die verletzte Extremität sollte flach gelagert werden [10]. Insbesondere bei verkürzten Femurfrakturen sollte eine Traktion/Ruhigstellung unter Traktion erfolgen, um die Blutung zu minimieren [1, 5]. Bei Ruhigstellung in einer abnormalen Position bieten sich Vakuumschienen an. Vakuumschienen sind rigide und können sich der Form der Extremität anpassen

[1]. Luftkammerschienen eignen sich zur Schienung von Verletzungen der oberen Extremität mit Ausnahme von schultergelenksnahen Verletzungen. An der unteren Extremität sind sie geeignet für die Ruhigstellung von Knie-, Unterschenkel- und Fußverletzungen. Der Druck in den Luftkammerschienen bzw. die periphere Durchblutung muss nach Anlage regelmäßig überprüft werden, um Durchblutungsstörungen oder die Entwicklung eines Kompartmentsyndroms frühzeitig zu erkennen [10]. Der Zeitpunkt der Schienenanlage sollte dokumentiert, beispielsweise auf der Schiene selbst notiert werden. Vorteil der Luftkammerschiene ist ihr geringes Gewicht, ihr Nachteil ist die Kompression der Weichteile, welche Sekundärschäden verursachen kann. Vakuumschienen sind deshalb zu favorisieren. Luftkammer- und Vakuumschienen sind für die Immobilisierung von schultergelenksnahen Frakturen sowie von Femurfrakturen ungeeignet [11]. Eine Kühlung kann Schwellungen reduzieren und zur Schmerzlinderung führen [8]. Oberschenkelverletzungen können ohne Komplikationen ausreichend mit einer Vakuummatratze oder einer rigiden Schienung immobilisiert werden. Traktionssplinte können im Rettungsdienst mitgeführt werden.

In einer retrospektiven Studie mit 4513 Einsätzen von Rettungssanitätern eines amerikanischen Emergency Medical Systems (EMS) wurden 16 Patienten (0,35%) mit Verletzungen des mittleren Oberschenkels identifiziert. Während elf dieser Patienten nur geringe Verletzungen aufwiesen, wurden fünf dieser Patienten (0,11% aller Patienten) unter der Diagnose Oberschenkelfraktur behandelt. Drei dieser fünf Patienten bekamen einen Traktionssplint appliziert. In einem der Fälle musste der Traktionssplint aufgrund zu starker Schmerzen wieder entfernt und eine rigide Ruhigstellung angelegt werden. Ein Patient konnte bei gleichzeitigem Hüfttrauma nicht mit einem Traktionssplint versorgt werden. Ein weiterer Patient wurde bei Schmerzfreiheit in einer komfortablen Position transportiert. Die Autoren schlussfolgerten, dass Oberschenkelverletzungen und/oder der Verdacht auf eine Fraktur selten sind und gut auf einem Backboard oder mit einer rigiden Ruhigstellung zu versorgen sind. Daher müssen Traktionssplinte nicht unbedingt im Rettungsdienst mitgeführt werden [12]. Traktionssplinte sollten insbesondere beim polytraumatisierten Patienten nicht verwendet werden, da hier häufig Kontraindikationen für den Gebrauch desselben vorliegen (Beckenfraktur/Knie-/Unterschenkel-/OSG[Oberes Sprunggelenk]-Verletzung) [13]. Aufgrund der bestehenden Kontraindikationen für den Gebrauch eines Traktionssplintes, insbesondere beim Schwerverletzten, werden diese nur selten angewandt. Dislozierte proximale Femurfrakturen sind gleichsam Kontraindikationen für den Einsatz eines Traktionssplintes [14].

Traktionssplinte sind sinnvoll und modellabhängig gut zur Immobilisation von Femurfrakturen einsetzbar, dennoch sind weitere Studien notwendig [15]. Traktionssplinte verringern den Muskelspasmus und wirken so schmerzlindernd. Durch die Traktion kommt es zur Wiederherstellung der Oberschenkelform und durch die Verringerung des Volumens auch zu einer Verminderung der Blutung [15-17].

Die Fotodokumentation von Wunden/offenen Frakturen kann erfolgen (Polaroid/digital). Die fotografische Dokumentation von Wunden, offenen Frakturen oder vorgefundenen Fehlstellungen erscheint sinnvoll, da sie gegebenenfalls die erneute Exposition prähospital bereits verbundener Wunden oder ruhiggestellter Extremitäten in der Klinik verhindern kann, bis diese definitiv versorgt werden. Eine Fotodokumentation kann dem weiterbehandelnden Arzt bei der Bewertung der Verletzung helfen. Die Fotodokumentation darf die Versorgungs-/ Rettungszeit nicht verlängern und muss datenschutzrechtlichen Vorgaben genügen [1, 5].

Schwere und Ausmaß der Verletzungen sind auf dem Notarztprotokoll zu dokumentieren und der Lokalbefund ist dem weiterbehandelnden Chirurgen nach Möglichkeit persönlich zu übermitteln [18].

Frakturen

1.8.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Grob dislozierte Frakturen und Luxationen sollten, wenn möglich und insbesondere bei begleitender Ischämie der betroffenen Extremität /langer Rettungszeit, prähospital annähernd reponiert werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Vorrangiges Ziel ist die Sicherstellung der lokalen und peripheren Durchblutung sowie die Vermeidung von Sekundärschäden. Eine anatomisch exakte Reposition ist nicht primäres Ziel. Wichtiger ist die achsgerechte und stabile Lagerung mit Herstellung einer adäquaten lokalen und peripheren Durchblutung [11, 18]. Sollte keine Kompromittierung der neurovaskulären Versorgung der Extremität distal der Verletzung vorliegen, so kann prinzipiell auf eine Reposition verzichtet werden [5]. Grob dislozierte Frakturen und Luxationen sollten, wenn möglich, und insbesondere bei begleitender Ischämie der betroffenen Extremität/langer Rettungszeit, durch axialen Zug und manuelle Korrektur in die Neutralstellung oder in eine Stellung, die der Neutralstellung am nächsten kommt, prähospital reponiert werden. Wichtig ist die Kontrolle der peripheren Durchblutung sowie der Motorik und Sensibilität (wo möglich) vor und nach der Reposition [1, 3, 10, 11, 18]. Ein zu starker Längszug ist zu vermeiden, da sich dadurch der Druck in den Muskellogen erhöht und sich die Durchblutung des Weichteilgewebes verschlechtert [11, 18].

Ein neurologisches oder vaskuläres Defizit distal der Fraktur erfordert einen sofortigen Repositionsversuch. Gleiches gilt bei Kompromittierung des Weichteilmantels/der Haut [1]. Nach erfolgter Ruhigstellung sollte die erneute Kontrolle von Durchblutung, Sensibilität und peripherer Motorik erfolgen [1, 5]. Sollte nach einem Repositionsversuch eine Verschlechterung der neurovaskulären Versorgung vorliegen, so ist die Extremität sofort wieder in die Ausgangsposition zu bringen und so bestmöglich zu stabilisieren [1]. Es ist zu prüfen, ob eine Reduktion der Traktion nötig ist.

Die Reposition von Sprunggelenksfrakturen/-luxationsfrakturen sollte nur durch den darin Erfahrenen erfolgen. Sonst ist eine Ruhigstellung in der vorgefundenen Position anzustreben [1]. Bei den häufigen dislozierten Sprunggelenksfrakturen mit einer offensichtlichen Fehlstellung des Gelenkes sollte die Reposition noch am Unfallort erfolgen. Unter ausreichender Analgesie kann durch kontrollierten und kontinuierlichen Längszug mit beiden Händen an Kalkaneus und Fußrücken eine annähernd achsgerechte Stellung erreicht werden, welche dann entsprechend ruhiggestellt wird. Die erneute Dokumentation der Durchblutungssituation und der neurologischen Situation sollte hiernach erfolgen.

Offensichtliche Frakturen der langen Röhrenknochen im Schaftbereich sind ebenfalls in dieser Weise zu behandeln. Gelenknahe Frakturen sind in ihrem Ausmaß schwer einzuschätzen und können nach Immobilisation in der schmerzarmen vorgefundenen Position ruhiggestellt und so schnell wie möglich der weiteren klinischen Diagnostik zugeführt werden [5, 6].

Bei distalen Femurfrakturen sollte ein stärkerer Längszug vermieden werden, da dieser zur Kompromittierung der Poplitealgefäße führen kann. Eine leicht gebeugte Lagerung im Kniegelenk kann erfolgen (30–50 Grad) [10].

Offene Frakturen

1.8.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Jede offene Fraktur sollte von groben Verschmutzungen gereinigt und steril verbunden werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Erläuterung:

Jede offene Fraktur sollte erkannt und grobe Verschmutzungen sollten sofort entfernt werden [1]. Aktive Blutungen sollten gemäß nachfolgend beschriebenen Stufenschema zum Stillstand gebracht werden. Offene Frakturen können mit physiologischer Kochsalzlösung gespült werden [1, 4, 5, 19]. Alle offenen Wunden sollten steril verbunden werden [1, 6, 10, 18, 19]. Offene Wunden sind ohne weitere Reinigungs- oder Desinfektionsmaßnahmen großzügig steril zu verbinden. Grobe Verschmutzungen werden entfernt [10, 11, 18]. Danach sollten sie wie geschlossene Verletzungen immobilisiert werden [6, 19]. Hierbei ist, wie bei geschlossenen Frakturen, auf eine ausreichende Analgesie zu achten. Der Status der peripheren Durchblutung, Sensibilität und Motorik unmittelbar vor und nach Anlage eines geeigneten Immobilisationsmittels ist zu dokumentieren und im Verlauf des Transports regelmäßig zu überprüfen. Bei ausreichend sicherer Information und Dokumentation durch den Rettungsdienst können prähospital angelegte Verbände bis zur ersten operativen Behandlung belassen werden, mit dem Ziel eine zusätzliche mikrobielle Kontamination zu verhindern [1, 19].

Eine antimikrobielle Therapie sollte so früh wie möglich eingeleitet werden. Bereits fünf Stunden nach Trauma erhöht sich die Infektionsgefahr ohne Antibiotikaprophylaxe deutlich [19]. Falls vorhanden, kann eine prähospital intravenöse Antibiose erfolgen, normalerweise mit einem gut knochengängigen Cephalosprin der 2. Generation [10]. Eine prähospital Antibiose sollte erfolgen, wenn die Rettungszeit verlängert ist [4, 10].

Amputationen

1.8.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Das Amputat sollte grob gereinigt und in sterile, feuchte Kompressen gewickelt werden. Es sollte indirekt gekühlt transportiert werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Neben einer Blutstillung sollte der Amputationsstumpf geschient und steril verbunden werden. Nur grobe Verschmutzungen sollten entfernt werden [10, 11]. Das Amputat ist zu asservieren. Knochenteile oder amputierte Gliedmaßen sind nach Möglichkeit vom Unfallort mitzunehmen oder ggf. nachbringen zu lassen.

Das Amputat ist in sterile, feuchte Kompressen einzuwickeln und gekühlt, wenn möglich mit der „Doppelbeutelmethode“ verpackt, zu transportieren. Bei der „Doppelbeutelmethode“ wird das Amputat in einen inneren Plastikbeutel mit sterilen, feuchten Kompressen verpackt. Dieser Beutel wird in einen Beutel mit Eiswasser (1/3 Eiswürfel, 2/3 Wasser) gelegt und verschlossen. Dabei ist ein sekundärer Kälteschaden zu vermeiden (kein direkter Kontakt von Eis oder Coolpack mit dem Gewebe) [5, 10, 18, 20]. Der Transportbehälter sollte mit dem Namen des Patienten sowie dem Zeitpunkt der Kühlung beschriftet werden.

Amputationen beeinflussen die Auswahl der Zielklinik und sind entsprechend anzukündigen [2, 3].

Literatur

1. Lee C, Porter KM. Prehospital management of lower limb fractures. *Emerg Med J*. 2005;22(9):660-3.
2. Regel G, Bayeff-Filloff M. [Diagnosis and immediate therapeutic management of limb injuries. A systematic review of the literature]. *Der Unfallchirurg*. 2004;107(10):919-26.
3. Probst C, Hildebrand F, Frink M, Mommsen P, Krettek C. [Prehospital treatment of severely injured patients in the field: an update]. *Chirurg*. 2007;78(10):875-84.
4. Melamed E, Blumenfeld A, Kalmovich B, Kosashvili Y, Lin G. Prehospital care of orthopedic injuries. *Prehosp Disaster Med*. 2007;22(1):22-5.
5. Anonymous. Limb trauma London: Warwick Medical School; 2006 [cited 2008 31. Oktober]. http://www2.warwick.ac.uk/fac/med/research/hsri/emergencycare/guidelines/limb_trauma_2006.pdf. Available from: http://www2.warwick.ac.uk/fac/med/research/hsri/emergencycare/guidelines/limb_trauma_2006.pdf.
6. Worsing RA, Jr. Principles of prehospital care of musculoskeletal injuries. *Emerg Med Clin North Am*. 1984;2(2):205-17.
7. Hinds JD, Allen G, Morris CG. Trauma and motorcyclists: born to be wild, bound to be injured? *Injury*. 2007;38(10):1131-8.
8. Cuske J. The lost art of splinting. How to properly immobilize extremities & manage pain. *JEMS*. 2008;33(7):50-64; quiz 6.
9. Perkins TJ. Fracture management. Effective prehospital splinting techniques. *Emerg Med Serv*. 2007;36(4):35-7, 9.
10. Beck A. Wunde- Fraktur- Luxation. *Notfall- und Rettungsmedizin*. 2002;8:613-24.
11. Beck A, Gebhard F, Kinzl L, Strecker W. [Principles and techniques of primary trauma surgery management at the site]. *Der Unfallchirurg*. 2001;104(11):1082-96; quiz 97, 99.
12. Abarbanell NR. Prehospital midhigh trauma and traction splint use: recommendations for treatment protocols. *The American journal of emergency medicine*. 2001;19(2):137-40.
13. Wood SP, Vrahas M, Wedel SK. Femur fracture immobilization with traction splints in multisystem trauma patients. *Prehosp Emerg Care*. 2003;7(2):241-3.
14. Bledsoe B, Barnes D. Traction splint. An EMS relic? *Jems*. 2004;29(8):64-9.
15. Borschneck AG. Traction splint: proper splint design & application are the keys. *Jems*. 2004;29(8):70, 2-5.
16. Scheinberg S. Traction splint: questioning commended. *Jems*. 2004;29(8):78.
17. Slishman S. Traction splint: sins of commission vs. sins of omission. *Jems*. 2004;29(8):77-8.
18. Beck A. Notärztliche Versorgung des Traumapatienten. *Notfall- und Rettungsmedizin*. 2002;1:57-61.
19. Quinn RH, Macias DJ. The management of open fractures. *Wilderness Environ Med*. 2006;17(1):41-8.
20. Lackner CK, Lewan U, Deiler S, Reith MW, Stolpe E. Präklinische Akutversorgung von Amputationsverletzungen. *Notfall- und Rettungsmedizin*. 1999;2:188-92.

1.9 Transport und Zielklinik

M. Münzberg*, D. Bieler, A. Franke, B. Gliwitzky, D. Häske, E. Kollig, M. Ruppert, U. Schweigkofler, C. Wölfel

1.9.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Luftrettung sollte zur prähospitalen Versorgung Schwerverletzter primär eingesetzt werden. Einsatztaktische Gesichtspunkte und der Faktor Zeit sind zu berücksichtigen.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Luftrettung ist nicht nur in Deutschland, sondern auch international seit Jahren ein fester Bestandteil der rettungsdienstlichen Versorgung. In den meisten europäischen Ländern ist in den letzten Jahrzehnten ein flächendeckendes Netz an Luftrettungsstationen aufgebaut worden, die den Primär- sowie Sekundärversorgungsbereich abdecken. In zahlreichen Studien wurde bisher versucht, die Effektivität der Luftrettung nachzuweisen. So wurden eine mögliche Verkürzung der prähospitalen Zeit (Unfallzeitpunkt bis Klinikaufnahme) sowie eine aggressivere prähospitaler Therapie als potentielle Ursachen für ein verbessertes Outcome polytraumatisierter Patienten herangezogen. Ob allerdings der Einsatz der Luftrettung tatsächlich zu einer Reduktion der Mortalität führt, blieb lange umstritten. In neueren Arbeiten, unter anderem auf Daten des TraumaRegister DGU® basierend, scheint zumindest für Deutschland der positive Effekt der Luftrettung erkennbar [1, 2]. In neueren Arbeiten geht es nicht darum die Sinnhaftigkeit der Luftrettung als solche zu bestätigen, sondern z.B. die Frage der Ausdehnung der Einsatzzeiten auf 24 h zu untersuchen.

Bezüglich der prähospitalen Versorgung fand sich zum einen, dass bis zu 40% der polytraumatisierten Patienten von Boden- und Luftrettungsnotarzt gemeinsam versorgt werden [3]. Die Bedeutung der prähospitalen Versorgungszeit muss ggf. neu bewertet werden. Es zeigte sich zum anderen, dass die prähospitaler Versorgungszeit durch die Luftrettung ca. 16 Minuten länger dauert als bei der ausschließlich bodengebundenen Rettung [1]. Ursächlich hierfür sind wohl vor allem logistische Aspekte wie die Nachalarmierung des RTH anstelle einer sofortigen Parallelalarmierung, wie es z.B. in der sog. BoLuS-Studie (Boden- und Luftrettungs-Schnittstelle, multizentrische systemübergreifende Schnittstellenanalyse) aus Hessen zu sehen ist. Infrage gestellt wurde auch die Notwendigkeit der teils enormen logistischen Vorhaltekosten in Traumazentren. Neben aufwendiger Technik werden insbesondere personelle Ressourcen bereitgestellt, welche für die optimale logistische Versorgung polytraumatisierter Patienten notwendig sind. Die Versorgungsforschung konnte bisher keinen evidenzbasierten eindeutigen Nachweis für die Notwendigkeit der Organisation der Traumaversorgung im sog. TraumaNetzwerk DGU® und den darin strukturiert zusammengeschlossenen Traumazentren führen, was jedoch wahrscheinlich darin begründet ist, dass keine strukturiert erhobenen Vergleichsdaten zum Zeitpunkt vor der TNW-Einführung vorliegen. In einer aktuellen Studie von Schweigkofler et al. fand sich ein Überlebensvorteil für Schwerverletzte bei der prähospitaler Versorgung durch die Luftrettung und die klinische Behandlung [4-7] in einem überregionalen Traumazentrum [8]. Es konnte jedoch nicht festgestellt werden, welchen Anteil daran die Luftrettung hat und welchen die Versorgung in einem entsprechenden überregionalen Traumazentrums.

Die Ergebnisse der prähospitalen Versorgung polytraumatisierter Patienten durch die Luftrettung wurden in vielen Studien (Evidenzniveau 2b [1, 3, 8-19]) mit denen der Bodenrettung verglichen. Hierbei war das primäre Zielkriterium in allen Fällen die Letalität. In den meisten Studien war die primäre Zielklinik ausschließlich ein Level-1-Traumazentrum [20]. Schweigkofler et al. fanden in einer Analyse der Luftrettungseinsätze bei der Traumaversorgung in Deutschland (2005-2011), dass 85% der Patienten in ÜRTZ, 14% in RTZ und nur 1% in LTZ geflogen werden [8].

In elf Studien konnte eine statistisch signifikante Reduktion der Letalität (zwischen -8,2 und -52%) durch den Einsatz der Luftrettung nachgewiesen werden.

In der Arbeit von Schweigkofler et al. zeigen die Autoren für die Polytraumaversorgung eine Letalität von 13,6% in der durch den bodengebundenen Notarzt zugewiesenen Gruppe und eine Letalität von 14,3% in der Luftrettungsgruppe.

Dem steht eine erwartete Letalität (Mittelwert der RISC Prognosen) von 15,6% bei der bodengebundenen Rettung bzw. 18,0% (Luftrettung) gegenüber. Somit liegen die standardisierten Mortalitätsraten in beiden Gruppen unter 1: Boden-NA: 0,874, Luftrettung 0,793; dieser Unterschied ist signifikant ($p < 0,001$).

In der Subgruppe der Polytraumatisierten mit schwerem SHT fand sich ein Überlebensvorteil von 7% bei Patienten, die mittels Luftrettung in ein überregionales Traumazentrum geflogen wurden. Andruszkow et al. fanden nach einer multivariaten Regressionsanalyse für die Luftrettung eine geringere Letalität, sowohl im Falle der Einlieferung in ein überregionales (OR 0,88; 95%-CI 0,85–0,90) als auch in ein regionales Traumazentrum (OR 0,86; 95%-CI 0,83–0,91) [1].

Galvagno et al. [2] fanden in einer retrospektiven Untersuchung (2007–2009) bei Patienten mit einem ISS >15 in amerikanischen Krankenhäusern mit einem Level I und II einen signifikanten Überlebensvorteil für Patienten, die mit der Luftrettung eingeliefert wurden und eine signifikant bessere Lebensqualität nach Entlassung aus dem entsprechenden Akutkrankenhaus.

Sechs Studien zeigen auf der anderen Seite keinen Ergebnisvorteil für die mittels Luftrettung transportierten Patienten, weisen aber folgende Auffälligkeiten auf:

Phillips et al. 1999 [7]: Bei gleicher Letalität beider Patientengruppen war die Verletzungsschwere der RTH-Gruppe hochsignifikant ($p < 0001$) erhöht; ein adjustierter Letalitätsvergleich wurde nicht durchgeführt. Schiller et al. 1988 [17]: Die Patienten der RTH-Gruppe wiesen sowohl eine signifikant erhöhte Letalität als auch eine signifikant höhere Verletzungsschwere auf; ein adjustierter Letalitätsvergleich wurde nicht durchgeführt. Nicholl et al. 1995 [6]: Die Patienten beider Behandlungsgruppen wurden neben Traumazentren auch in Krankenhäusern des Levels II und III behandelt. Cunningham et al. 1997 [14]: Patienten der RTH-Gruppe mit mittlerer Verletzungsschwere (ISS = 21–30) wiesen eine signifikant reduzierte Letalität auf; dieses Ergebnis wurde aber in der logistischen Regression nicht bestätigt. Bartolomeo et al. 2001 [21]: Untersucht wurden nur Patienten mit schweren Kopfverletzungen (AIS ≥ 4). Das bodengebundene Notarztteam führte vergleichsweise häufig auch invasive prähospitaler Therapiemaßnahmen durch, sodass der „Abstand“ zu dem Behandlungsniveau der RTH-Gruppe nur gering war.

Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Studienergebnisse

Infolge der sehr unterschiedlichen landesspezifischen rettungsdienstlichen Strukturen ist die Vergleichbarkeit der Studien kritisch zu diskutieren. So findet man insbesondere im angloamerikanischen Bereich ein auf Paramedics ausgelegtes Rettungssystem, welches strukturell nicht mit dem deutschen Rettungsdienst zu vergleichen ist. Auch hinsichtlich des Verletzungsmusters differieren die Studien

deutlich. So überwiegen im europäischen Raum insbesondere stumpfe Verletzungen, im amerikanischen Bereich hingegen penetrierende Traumata. Auch bezüglich der zu überwindenden Transportstrecke sowie des Ausmaßes der prähospitalen Versorgung unterscheiden sich die Studien erheblich. Die Mehrzahl der Studien weist eine statistisch signifikante Senkung der Letalität polytraumatisierter Patienten – besonders bei mittlerer Verletzungsschwere – durch den Einsatz der Luftrettung nach. Die anderen Studien ohne Nachweis eines direkten Behandlungsvorteils zeigen jedoch den Trend zu besseren Ergebnissen der RTH-Patienten durch erhöhte Verletzungsschwere bei identischer Letalität.

Weiterhin weisen alle Studien eine deutliche Verlängerung der prähospitalen Zeit auf. Dies ist zum einen mit einer teils deutlich längeren Transportstrecke, zum anderen mit einer deutlich umfassenderen prähospitalen Versorgungsstrategie zu begründen. So fand Schweigkofler et al. das im Luftrettungsdienst im Schnitt 2,4 gegenüber 1,8 Maßnahmen – der insgesamt sechs im TraumaRegister DGU® dokumentierten Maßnahmen – durchgeführt wurden. Die invasiven Maßnahmen, wie die Intubation und/oder Anlage von Thoraxdrainagen wurde durch die Luftrettung deutlich häufiger angewendet. Zusammenfassend zeigen die vorliegenden Arbeiten einen Trend zu einer Senkung der Letalität polytraumatisierter Patienten durch den Einsatz der Luftrettung verglichen mit dem bodengebundenen Rettungsdiensteinsatz. Dieses trifft insbesondere für Patienten mit mittlerer Verletzungsschwere zu, deren Überleben besonders stark von Therapieeinflüssen abhängt. Als Ursache sind eine bessere klinische Diagnostik und Behandlung aufgrund von Ausbildungs- und Erfahrungsvorteilen des RTH-Teams anzusehen. Diese Aussage wird hinsichtlich ihrer Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit durch die aufgeführten systematischen Fehlerquellen der zitierten Arbeiten und die Heterogenität hinsichtlich der regionalen Rettungsdienst- und Krankenhausstrukturen bzw. der Verletzungsarten eingeschränkt.

Vergleich Traumazentrum vs. Krankenhaus Level II und III

Die Bedeutung der Dauer der prähospitalen Versorgung polytraumatisierter Patienten wird intensiv diskutiert und der Begriff der „Golden hour“ geprägt. Ziel muss es sein, den Patienten in eine Klinik zu transportieren, welche eine 24 Stunden zur Verfügung stehende Akutdiagnostik und Akutbehandlung im Sinne einer zeitnahen Verfügbarkeit aller medizinischen und chirurgischen Disziplinen und der Vorhaltung von entsprechenden Kapazitäten zur Akutbehandlung vorhält. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass Krankenhäuser mit einer hohen Frequentierung schwerst verletzter Patienten ein eindeutig besseres Outcome aufweisen als Einrichtungen mit geringerem Polytraumajahresaufkommen [22]. Es scheint sich ein Cut-off bei einer Fallzahl von 40 polytraumatisierten Patienten pro Jahr nach der Datenlage des TraumaRegister DGU® herauszukristallisieren.

1.9.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Schwer verletzte Patienten sollten primär in ein geeignetes Traumazentrum eingeliefert werden.	
	Konsensstärke: 94%	

Bei der Analyse der Studien wird der Begriff des Krankenhauslevels I–III, teils auch I–IV verwendet. Hierbei ist ein Krankenhaus Level I gleichbedeutend mit einem Krankenhaus der Maximalversorgung, welches in der Regel ein Traumazentrum darstellt, wobei der Begriff „Traumazentrum“ international nicht einheitlich definiert ist.

Ein Krankenhaus der Versorgungsstufe II ist gleichbedeutend mit einem Schwerpunktkrankenhaus, ein Krankenhaus der Versorgungsstufe III mit einem Krankenhaus der Grund- und Regelversorgung.

Durch den Aufbau des TraumaNetzwerk DGU® wurden drei neue Kategorien der Traumaversorgung definiert [23, 24]: „Überregionales Traumazentrum“, „Regionales Traumazentrum“ und „Lokales Traumazentrum“.

Jede Versorgungsstufe ist anhand eines Zertifizierungsverfahrens eindeutig definiert und zur Vorhaltung der geforderten Leistung verpflichtet. Zusätzlich zu den bisherigen Strukturen werden diese Einrichtungen mittels „Netzwerkbildung“ miteinander verknüpft. Hierbei werden gemeinsame Ressourcen genutzt und eine integrierte Patientenversorgung ermöglicht sowie insbesondere eine Verlegung zwischen den Krankenhäusern strukturiert und vereinfacht. Durch eine Vernetzung der verschiedenen Versorgungszentren ist, nach Empfehlung des von der Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) erarbeiteten *Weißbuches* [25], auch die Versorgung eines Polytrauma im lokalen Traumazentrum legitimiert.

Die Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) erarbeitete im Zusammenhang mit dem Aufbau des Traumanetzwerkes das *Weißbuch* [25]. Hierin werden unter anderem Daten relevanter internationaler und nationaler Versorgungsstudien, prospektive Daten des TraumaRegister DGU® sowie Daten und Literaturanalysen der interdisziplinären S3-Leitlinie zur Schwerverletzten-Versorgung der DGU zusammengefasst, um Empfehlungen zur Struktur, Organisation und Ausstattung der Schwerverletztenversorgung zu geben.

Die Autoren des *Weißbuches* empfehlen die Zuführung eines schwer verletzten Patienten in das nächstgelegene regionale oder überregionale Traumazentrum, wenn die Indikation zur Schockraumversorgung basierend auf Unfallmechanismus, Verletzungsmuster und Vitalparameter vorliegt und dieses innerhalb von 30 Minuten Fahrzeit erreichbar ist. Falls ein solches nicht in dieser Zeit erreicht werden kann, soll der Patient in ein geeignetes, d. h. ggf. auch lokales Traumazentrum transportiert werden. Von dort erfolgt nach Stabilisierung der Vitalparameter und beim Vorliegen eines Kriteriums zur Weiterverlegung die Sekundärverlegung in ein regionales oder überregionales Traumazentrum. Bei der Zuweisung müssen lokale und regionale Besonderheiten in der Versorgungslandschaft berücksichtigt werden sowie überregionale Versorgungsmöglichkeiten unter Einbeziehung der Luftrettung einbezogen werden – im Idealfall unabhängig von der Tageszeit.

Vergleich Level-I-Traumazentrum vs. Level-II/III-Krankenhäuser

Die Recherche erbrachte sieben Studien aus den USA (n = 3), Kanada (n = 2), Australien (n = 1) und Deutschland (n = 1), die direkt die Ergebnisse von Traumazentren (Klinik der Maximalversorgung) mit Level-II/III-Krankenhäusern (Schwerpunkt-/Grund- und Regelversorgung) vergleichen [11, 26-31].

Alle Arbeiten kommen zu dem Ergebnis, dass die primäre Behandlung stumpf und penetrierend Schwerverletzter im Traumazentrum die Letalität senkt. Dieses wird auch in aktuellen Studien bestätigt. Clement et al. (2013) verglichen für den Fall eines vorliegenden SHT das Outcome der Patientenbehandlung in Krankenhäusern mit höherer Fallzahl vs. niedriger Fallzahl; wobei nur für den Fall, dass weniger als sechs Fälle pro Jahr behandelt wurden, ein signifikant schlechteres Outcome gefunden wurde [32]. Erstaunlicherweise zeigten die Kliniken mit mehr als 60 Fällen pro Jahr dann aber auch wieder etwas schlechtere Werte als die Kliniken mit mittleren Fallzahlen. Ob dafür eine höhere Verletzungsschwere in den großen Zentren verantwortlich ist, bleibt aufgrund des Studiendesigns unklar.

Das Schädel-Hirn-Trauma in Verbindung mit einem Polytrauma hat bei falscher Zuweisung eine schlechtere Prognose. Daher sollten diese Patienten nach der Primärversorgung an der Unfallstelle

schnellstmöglich in ein Zentrum mit der Möglichkeit zur neurotraumatologischen Diagnostik und Versorgung transportiert werden. Aufgrund der erheblichen, nicht vollständig kontrollierten Biasquellen [28, 33] und der Heterogenität der untersuchten Versorgungssysteme kann bezüglich der anzustrebenden Zielklinik nicht von einer definitiven wissenschaftlichen Evidenz gesprochen werden. Einige Autoren zeigten auf, dass die Stabilisierung in einem regionalen Krankenhaus, gefolgt von der Verlegung in ein Traumazentrum, die Letalität im Vergleich zu direkt in das Traumazentrum eingelieferten Patienten nicht negativ beeinflusst [24, 34-39]. Patienten, welche vor einer möglichen Verlegung verstorben sind, werden in diesen Arbeiten nicht erfasst. Die Patientenkohorte „Verlegung“ ist dadurch positiv selektiert. Dies gilt es in der Gesamtauswertung zu berücksichtigen. Eine Aussage darüber zu treffen, ob dieser Versorgungsweg tatsächlich eine gleichwertige Alternative zur Direkteinlieferung in ein Traumazentrum oder eine Klinik vergleichbarer Versorgungsqualität darstellt, ist daher nicht möglich.

Auch nach Implementierung der flächendeckenden Versorgung durch Traumanetzwerke lässt sich die mögliche positive Auswirkungen der Vernetzung auf das Outcome wissenschaftlich nicht eindeutig belegen – insbesondere da der Vorher-nachher-Vergleich fehlt. Erst mit der Einführung der TNW Kliniken wurde die Eingabe der an zertifizierten Zentren behandelten Patienten ins TraumaRegister DGU® verpflichtend und steht als wesentliche Datenquelle zur Verfügung. Ein geeignetes Traumazentrum definiert sich zum einen durch die angebotenen Ressourcen, zum anderen durch die nachgewiesene Versorgungsqualität im Rahmen dieser externen Qualitätskontrolle. Logistische und vor allem regionale Gegebenheiten sind jedoch immer zu berücksichtigen.

1.9.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei penetrierendem Trauma des Thorax und/oder Abdomens sollte der schnellstmögliche Transport in das nächstgelegene Traumazentrum erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

Das penetrierende Trauma des Thorax und/oder Abdomens erfordert eine strukturierte Vorgehensweise. Je nach Verletzungsschwere bzw. in Abhängigkeit von den verletzten intrathorakalen und/oder intraabdominellen Strukturen ist die Exsanguation eine lebensbedrohliche Folge des Traumas, die prähospital nur bedingt therapiert werden kann.

Während mit der Anlage einer Thoraxdrainage eine prähospital Maßnahme zur Verfügung steht, mit der etwa 80–90% der penetrierenden Thoraxtraumata suffizient therapiert werden können, ist für das penetrierende abdominelle Trauma aktuell keine prähospital Intervention als dauerhaft zielführend zu bewerten [40-43]. Somit bedürfen 10–20% aller penetrierenden Traumata des Thorax und nahezu alle penetrierenden Traumata des Abdomens der klinischen Diagnostik und Therapie.

In der prähospitalen Versorgung des Schwerverletzten hat sich eine standardisierte und an klinischen Prioritäten orientierte Vorgehensweise (zum Beispiel nach PHTLS-Algorithmus) durchgesetzt, die zeitsparend, effektiv und sicher für den Verletzten ist [44-46].

Des Weiteren konnte durch verschiedene Autorengruppen gezeigt werden, dass ein schwerstverletzter Patient nach dieser prähospitalen Versorgung von einem raschen Transport in eine geeignete Klinik profitiert und dies das Outcome des Verletzten nachhaltig verbessert [31, 47-51]. Insbesondere beim penetrierenden Trauma des Thorax und/oder Abdomens wird die Minimierung der prähospitalen Zeit als essentiell bewertet, um eine lebensrettende Blutstillung via Operation oder Intervention zu ermöglichen, die nur in einer Klinik abgebildet werden kann [47, 48, 50].

In Deutschland kann angesichts kurzer Reaktionszeiten zwischen Alarmierung und Präsenz des Rettungsdienstes an der Unfallstelle kein wesentliches zeitliches Optimierungspotential realisiert werden. So scheint den Arbeiten mehrerer Arbeitsgruppen zufolge, eine möglichst kurze On-scene-Zeit beim penetrierenden Trauma und bei Unmöglichkeit die Exsanguination prähospital zu verhindern, die Überlebenschancen zu erhöhen [50, 52-55].

Spaite et al. dokumentierten eine durchschnittliche On-scene-Zeit von 8,1 Minuten in einem US-amerikanischen urbanen Setting (Tucson). McCoy et al. berichten von 13 Minuten bei stumpfen Traumata und von 11 Minuten bei penetrierenden Traumata in Orange County, CA und Ball et al. eine durchschnittliche On-scene-Zeit von 12 Minuten in Atlanta, GA [47, 56, 57].

Dabei sind die kurzen On-scene-Zeiten dieser amerikanischen Studien nicht unmittelbar dem „Scoop and run“-Approach (Basic Life Support, BLS) geschuldet. Eckstein et al. zeigten, dass die Durchführung von ALS-Maßnahmen, wie eine Intubation, nicht zwangsläufig eine Verlängerung der On-scene-Zeit (durchschnittlich 12,8 Minuten) nach sich zieht [58].

Zu ähnlichen Ergebnissen mit Zeiten unter 10 Minuten „on scene“ beim penetrierenden Trauma und Advanced Life Support(ALS)-Approach kamen im Jahr 2011 auch Funder et al. in ihrer Arbeit mit 467 Patienten in einem europäischen, urbanen Setting (hier: Kopenhagen). So wurde in diesem Kollektiv mit penetrierendem Trauma eine erhöhte Mortalität bei einer On-scene-Zeit von über 20 Minuten nachgewiesen. Ebenso zeigte sich die häufigere Durchführung invasiver Maßnahmen im Rahmen der prähospitalen Versorgung signifikant mit einer höheren Mortalitätsrate vergesellschaftet [59].

In der Single-Center-Studie von Ball et al. zog die Reduktion der prähospitalen On-scene-Zeiten und der Transportzeiten im urbanen Umfeld eine erhöhte innerklinische Gesamtmortalität nach sich. Die Autoren führen diesen Umstand jedoch nicht auf eine minimalisierte prähospitalen Therapie zurück. Durch die Reduktion der prähospitalen Zeit erreichten im Vergleich zur Kontrollgruppe 34% mehr Patienten das Krankenhaus lebend. Diese zeigten sich auch häufiger hämodynamisch instabil. Die Autoren schlussfolgern, dass bei Patienten mit penetrierendem, blutendem Abdominal- und Thoraxtrauma die chirurgische Blutstillung trotz einer erhöhten Gesamtmortalität die einzige Möglichkeit ist, deren Outcome positiv zu beeinflussen. Des Weiteren stellen sie heraus, dass gewisse Verletzungen aufgrund ihrer Schwere trotz dieser Maßnahme nicht überlebbar erscheinen, die Schwere jedoch prähospital nicht eindeutig evaluiert werden kann [56].

Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kommen Band et al. [60]. Sie analysierten vergleichend den prähospitalen Transport von Patienten mit penetrierendem Trauma durch die Polizei vs. Emergency Medical Service (EMS) in einem US-amerikanischen urbanen Setting (hier: Philadelphia). Sie konnten an ihrer Gruppe von 2127 Patienten nachweisen, dass die Gesamtmortalität der durch die Polizei in die Notaufnahme transportierten Verletzten zwar höher ausfiel, – die an die Verletzungsschwere (TRISS) adjustierte Mortalität allerdings keine Unterschiede zeigte.

Johnson et al. konnten sogar einen Überlebensvorteil (TRISS-adjustiert) von privat transportierten Patienten (9,6%) mit penetrierendem Trauma in ihrer Kohorte von 91 132 Patienten zeigen [54]. Auch sie führen dies auf eine verminderte Prähospitalzeit und weniger prähospitalen Interventionen zurück, schließen jedoch auch andere Confounder, wie z.B. urbane vs. ländliche Umgebung, prätraumatischer Gesundheitsstatus oder nicht erfasste prähospital verstorbenen Patienten, nicht aus.

Ausgehend von diesen Ergebnissen ist die zeitnahe chirurgische (und/oder interventionelle) Blutstillung bei hämodynamisch instabilen Patienten mit penetrierendem Thorax- und/oder Abdominaltrauma die einzige Therapie, deren Nutzen gesichert ist. Dementsprechend ist der schnellstmögliche Transport von Patienten mit penetrierendem Thorax- und/oder Abdominaltrauma in das nächstgelegene Traumazentrum bzw. in das nächstgelegene Krankenhaus mit der Möglichkeit

der sofortigen chirurgischen Blutstillung zu empfehlen, um die schnellstmögliche Diagnostik und weitere Therapie zu gewährleisten.

1.9.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Um Schnittstellenprobleme bei der Anmeldung, Übergabe bzw. Übernahme von schwer verletzten Patienten zu vermeiden, sollen geeignete und standardisierte Kommunikationsmethoden verwendet werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Um eine reibungslose klinische Versorgung von Schwerverletzten zu garantieren und damit auch den zeitlichen Forderungen, z.B. des *Eckpunktepapiers zur Notfallmedizinischen Versorgung der Bevölkerung*, nachzukommen, sind geeignete Nachweisverfahren über vorhanden Ressourcen (z.B. IVENA [61]) und Kommunikationsmethoden (z.B. Etablierung von Traumahandy, Rescuetrack™, MANDAT) zu etablieren [62-64].

Bei der Übergabe im Schockraum ist durch geeignete interdisziplinäre und interprofessionelle Schulungsmethoden der Notärzte, des Rettungsfachpersonals und des entsprechenden Personals in der Klinik darauf hinzuwirken, dass standardisierte Übergaben nach dem ABCDE-Schema verwendet werden. Auch durch das Einsetzen von Checklisten zur Anmeldung und zur Übergabe ist es möglich, Fehler während der Schnittstelle von Rettungsdienst und Klinik zu reduzieren [65, 66].

Günstige Effekte für die Teamarbeit, die technische Kompetenz, Systemchecks und die Sicherheitskultur lassen sich u.a. auch für den Bereich Schwerverletztenversorgung und Schockraum finden. Der wissenschaftliche Nachweis über positive Effekte solcher Interventionen hinsichtlich eines verbesserten Überlebens der betroffenen Patienten steht allerdings noch aus [67].

Schlussfolgerung

Die analysierten Studien zum Vergleich der Luftrettung mit dem bodengebundenen Rettungsdienst lassen einen Trend zu einer Senkung der Letalität durch den Einsatz der Luftrettung erkennen. Die primäre Luftrettung *sollte* bei Verfügbarkeit zur prähospitalen Versorgung Schwerverletzter eingesetzt werden, da hieraus, insbesondere bei mittlerer bis hoher Verletzungsschwere, ein Überlebensvorteil resultiert. Logistische Aspekte und der Faktor „Zeit“ sind zu berücksichtigen. Schwer verletzte Patienten sollten primär in ein geeignetes Traumazentrum eingeliefert werden, da dieses Vorgehen zu einer Senkung der Letalität führt. Ist ein regionales oder überregionales Traumazentrum innerhalb einer vertretbaren Zeit nicht erreichbar (Empfehlung laut *Weißbuch*: 30 Minuten), so sollte eine näher gelegene Klinik angefahren werden, welche in der Lage ist, eine primäre Stabilisierung sowie lebensrettende Sofortoperationen durchzuführen. Im weiteren Verlauf kann gegebenenfalls, bei Vorliegen eines stabilen Kreislaufes sowie von spezifischen Kriterien, eine Sekundärverlegung in ein regionales oder überregionales Traumazentrum erfolgen.

Bei penetrierendem Trauma des Thorax und/oder Abdomens sollte der schnellstmögliche Transport in das nächstgelegene Traumazentrum erfolgen. Die zeitnahe chirurgische (und/oder interventionelle) Blutstillung bei dieser Art von hämodynamisch instabilen Patienten ist die einzige Therapie, deren Nutzen gesichert ist.

Zur Reduktion von Fehlern sowie Informationsdefiziten hat eine strukturierte und somit auch standardisierte Übergabe zu erfolgen. Entsprechende Aus- und Weiterbildung in einem interdisziplinären und interprofessionellen Setting sind dazu durchzuführen.

Literatur

1. Andruszkow H, Hildebrand F, Lefering R, Pape HC, Hoffmann R, Schweigkofler U. Ten years of helicopter emergency medical services in Germany: do we still need the helicopter rescue in multiple traumatised patients? *Injury*. 2014;45 Suppl 3:S53-8.
2. Galvagno SM, Jr., Haut ER, Zafar SN, Millin MG, Efron DT, Koenig GJ, Jr., et al. Association between helicopter vs ground emergency medical services and survival for adults with major trauma. *JAMA*. 2012;307(15):1602-10.
3. Schweigkofler U, Braun J, Schlechtriemen T, Hoffmann R, Lefering R, Reimertz C. [Significance of Helicopter Emergency Medical Service in Prehospital Trauma Care]. *Z Orthop Unfall*. 2015;153(4):387-91.
4. Moylan JA, Fitzpatrick KT, Beyer AJ, 3rd, Georgiade GS. Factors improving survival in multisystem trauma patients. *Ann Surg*. 1988;207(6):679-85.
5. Nardi G, Massarutti D, Muzzi R, Kette F, De Monte A, Carnelos GA, et al. Impact of emergency medical helicopter service on mortality for trauma in north-east Italy. A regional prospective audit. *European journal of emergency medicine : official journal of the European Society for Emergency Medicine*. 1994;1(2):69-77.
6. Nicholl JP, Brazier JE, Snooks HA. Effects of London helicopter emergency medical service on survival after trauma. *BMJ*. 1995;311(6999):217-22.
7. Phillips RT, Conaway C, Mullarkey D, Owen JL. One year's trauma mortality experience at Brooke Army Medical Center: is aeromedical transportation of trauma patients necessary? *Mil Med*. 1999;164(5):361-5.
8. Schweigkofler U, Reimertz C, Lefering R, Hoffmann R, TraumaRegister DGU. [Importance of air ambulances for the care of the severely injured]. *Der Unfallchirurg*. 2015;118(3):240-4.
9. Bartolacci RA, Munford BJ, Lee A, McDougall PA. Air medical scene response to blunt trauma: effect on early survival. *Med J Aust*. 1998;169(11-12):612-6.
10. Baxt WG, Moody P. The impact of a rotorcraft aeromedical emergency care service on trauma mortality. *JAMA*. 1983;249(22):3047-51.
11. Biewener A, Aschenbrenner U, Rammelt S, Grass R, Zwipp H. Impact of helicopter transport and hospital level on mortality of polytrauma patients. *J Trauma*. 2004;56(1):94-8.
12. Brathwaite CE, Rosko M, McDowell R, Gallagher J, Proenca J, Spott MA. A critical analysis of on-scene helicopter transport on survival in a statewide trauma system. *J Trauma*. 1998;45(1):140-4; discussion 4-6.
13. Buntman AJ, Yeomans KA. The effect of air medical transport on survival after trauma in Johannesburg, South Africa. *S Afr Med J*. 2002;92(10):807-11.
14. Cunningham P, Rutledge R, Baker CC, Clancy TV. A comparison of the association of helicopter and ground ambulance transport with the outcome of injury in trauma patients transported from the scene. *J Trauma*. 1997;43(6):940-6.
15. Kerr WA, Kerns TJ, Bissell RA. Differences in mortality rates among trauma patients transported by helicopter and ambulance in Maryland. *Prehosp Disaster Med*. 1999;14(3):159-64.
16. Moront ML, Gotschall CS, Eichelberger MR. Helicopter transport of injured children: system effectiveness and triage criteria. *J Pediatr Surg*. 1996;31(8):1183-6; discussion 7-8.
17. Schiller WR, Knox R, Zinnecker H, Jeevanandam M, Sayre M, Burke J, et al. Effect of helicopter transport of trauma victims on survival in an urban trauma center. *J Trauma*. 1988;28(8):1127-34.
18. Schwartz RJ, Jacobs LM, Yaezel D. Impact of pre-trauma center care on length of stay and hospital charges. *J Trauma*. 1989;29(12):1611-5.
19. Thomas SH, Harrison TH, Buras WR, Ahmed W, Cheema F, Wedel SK. Helicopter transport and blunt trauma mortality: a multicenter trial. *J Trauma*. 2002;52(1):136-45.
20. Anonymous. Hospital resources for optimal care of the injured patient. Prepared by a Task force of the Committee on Trauma of the American College of Surgeons. *Bull Am Coll Surg*. 1979;64(8):43-8.

21. Di Bartolomeo S, Sanson G, Nardi G, Scian F, Michelutto V, Lattuada L. Effects of 2 patterns of prehospital care on the outcome of patients with severe head injury. *Arch Surg.* 2001;136(11):1293-300.
22. Zacher MT, Kanz KG, Hanschen M, Haberle S, van Griensven M, Lefering R, et al. Association between volume of severely injured patients and mortality in German trauma hospitals. *The British journal of surgery.* 2015;102(10):1213-9.
23. Ruchholtz S, Kuhne CA, Siebert H. [Trauma network of the German Association of Trauma Surgery (DGU). Establishment, organization, and quality assurance of a regional trauma network of the DGU]. *Der Unfallchirurg.* 2007;110(4):373-9.
24. Siebert HR, Ruchholtz S. Projekt TraumaNetzwerk DGU. *Trauma Berufskrankheit.* 2007;9:265-70.
25. Siebert H. [White book of severely injured - care of the DGU. Recommendations on structure, organization and provision of hospital equipment for care of severely injured in the Federal Republic of Germany]. *Der Unfallchirurg.* 2006;109(9):815-20.
26. Clemmer TP, Orme JF, Jr., Thomas FO, Brooks KA. Outcome of critically injured patients treated at Level I trauma centers versus full-service community hospitals. *Critical care medicine.* 1985;13(10):861-3.
27. Cooper DJ, McDermott FT, Corder SM, Tremayne AB. Quality assessment of the management of road traffic fatalities at a level I trauma center compared with other hospitals in Victoria, Australia. Consultative Committee on Road Traffic Fatalities in Victoria. *J Trauma.* 1998;45(4):772-9.
28. MacKenzie EJ, Rivara FP, Jurkovich GJ, Nathens AB, Frey KP, Egleston BL, et al. A national evaluation of the effect of trauma-center care on mortality. *The New England journal of medicine.* 2006;354(4):366-78.
29. Rogers FB, Osler TM, Shackford SR, Martin F, Healey M, Pilcher D. Population-based study of hospital trauma care in a rural state without a formal trauma system. *J Trauma.* 2001;50(3):409-13; discussion 14.
30. Sampalis JS, Denis R, Lavoie A, Frechette P, Boukas S, Nikolis A, et al. Trauma care regionalization: a process-outcome evaluation. *J Trauma.* 1999;46(4):565-79; discussion 79-81.
31. Sampalis JS, Lavoie A, Williams JI, Mulder DS, Kalina M. Impact of on-site care, prehospital time, and level of in-hospital care on survival in severely injured patients. *J Trauma.* 1993;34(2):252-61.
32. Clement RC, Carr BG, Kallan MJ, Wolff C, Reilly PM, Malhotra NR. Volume-outcome relationship in neurotrauma care. *Journal of neurosurgery.* 2013;118(3):687-93.
33. DuBose JJ, Browder T, Inaba K, Teixeira PG, Chan LS, Demetriades D. Effect of trauma center designation on outcome in patients with severe traumatic brain injury. *Arch Surg.* 2008;143(12):1213-7; discussion 7.
34. Bunn F, Kwan I, Roberts I, Wentz R. Effectiveness of pre-hospital trauma care. Report to the World Health Organisation Pre-Hospital Care Steering Committee. 2001. Available from: <http://www.cochrane-injuries.lshtm.ac.uk>.
35. Kearney PA, Terry L, Burney RE. Outcome of patients with blunt trauma transferred after diagnostic or treatment procedures or four-hour delay. *Ann Emerg Med.* 1991;20(8):882-6.
36. Nathens AB, Maier RV, Brundage SI, Jurkovich GJ, Grossman DC. The effect of interfacility transfer on outcome in an urban trauma system. *J Trauma.* 2003;55(3):444-9.
37. Rogers FB, Osler TM, Shackford SR, Cohen M, Camp L, Lesage M. Study of the outcome of patients transferred to a level I hospital after stabilization at an outlying hospital in a rural setting. *J Trauma.* 1999;46(2):328-33.
38. Sharar SR, Luna GK, Rice CL, Valenzuela TD, Copass MK. Air transport following surgical stabilization: an extension of regionalized trauma care. *J Trauma.* 1988;28(6):794-8.
39. Veenema KR, Rodewald LE. Stabilization of rural multiple-trauma patients at level III emergency departments before transfer to a level I regional trauma center. *Ann Emerg Med.* 1995;25(2):175-81.
40. Hunt PA, Greaves I, Owens WA. Emergency thoracotomy in thoracic trauma-a review. *Injury.* 2006;37(1):1-19.

41. Loogna P, Bonanno F, Bowley DM, Doll D, Girgensohn R, Smith MD, et al. Emergency thoracic surgery for penetrating, non-mediastinal trauma. *ANZ J Surg.* 2007;77(3):142-5.
42. Mollberg NM, Tabachnick D, Lin FJ, Merlotti GJ, Varghese TK, Arensman RM, et al. Age-associated impact on presentation and outcome for penetrating thoracic trauma in the adult and pediatric patient populations. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2014;76(2):273-7; discussion 7-8.
43. Working Group AHSOACOCoSOT. Practice management guidelines for emergency department thoracotomy. Working Group, Ad Hoc Subcommittee on Outcomes, American College of Surgeons-Committee on Trauma. *J Am Coll Surg.* 2001;193(3):303-9.
44. Ali J, Adam RU, Gana TJ, Bedaysie H, Williams JJ. Effect of the prehospital trauma life support program (PHTLS) on prehospital trauma care. *J Trauma.* 1997;42(5):786-90.
45. Johansson J, Blomberg H, Svennblad B, Wernroth L, Melhus H, Byberg L, et al. Prehospital Trauma Life Support (PHTLS) training of ambulance caregivers and impact on survival of trauma victims. *Resuscitation.* 2012;83(10):1259-64.
46. Wölfl C, Gliwitsky B, Wentzensen A. Standardised primary care of multiple trauma patients. Prehospital trauma life support und advanced trauma life support. *Der Unfallchirurg.* 2009;112(10):846-53.
47. McCoy CE, Menchine M, Sampson S, Anderson C, Kahn C. Emergency medical services out-of-hospital scene and transport times and their association with mortality in trauma patients presenting to an urban Level I trauma center. *Ann Emerg Med.* 2013;61(2):167-74.
48. Seamon MJ, Doane SM, Gaughan JP, Kulp H, D'Andrea AP, Pathak AS, et al. Prehospital interventions for penetrating trauma victims: A prospective comparison between Advanced Life Support and Basic Life Support. *Injury.* 2013.
49. Smith RM, Conn AK. Prehospital care - scoop and run or stay and play? *Injury.* 2009;40 Suppl 4:S23-6.
50. Swaroop M, Straus DC, Agubuzu O, Esposito TJ, Schermer CR, Crandall ML. Pre-hospital transport times and survival for Hypotensive patients with penetrating thoracic trauma. *Journal of emergencies, trauma, and shock.* 2013;6(1):16-20.
51. Zafar SN, Haider AH, Stevens KA, Ray-Mazumder N, Kisat MT, Schneider EB, et al. Increased mortality associated with EMS transport of gunshot wound victims when compared to private vehicle transport. *Injury.* 2014;45(9):1320-6.
52. Busch J. Shots fired: when a police car becomes an ambulance. In Philadelphia cops can transport penetrating-trauma patients; will other systems follow suit? *EMS world.* 2013;42(5):18.
53. Chaudery M, Clark J, Wilson MH, Bew D, Yang GZ, Darzi A. Traumatic intra-abdominal hemorrhage control: Has current technology tipped the balance toward a role for prehospital intervention? *The journal of trauma and acute care surgery.* 2015;78(1):153-63.
54. Johnson NJ, Carr BG, Salhi R, Holena DN, Wolff C, Band RA. Characteristics and outcomes of injured patients presenting by private vehicle in a state trauma system. *The American journal of emergency medicine.* 2013;31(2):275-81.
55. Seamon MJ, Fisher CA, Gaughan J, Lloyd M, Bradley KM, Santora TA, et al. Prehospital procedures before emergency department thoracotomy: "scoop and run" saves lives. *J Trauma.* 2007;63(1):113-20.
56. Ball CG, Williams BH, Tallah C, Salomone JP, Feliciano DV. The impact of shorter prehospital transport times on outcomes in patients with abdominal vascular injuries. *Journal of trauma management & outcomes.* 2013;7(1):11.
57. Spaite DW, Tse DJ, Valenzuela TD, Criss EA, Meislin HW, Mahoney M, et al. The impact of injury severity and prehospital procedures on scene time in victims of major trauma. *Ann Emerg Med.* 1991;20(12):1299-305.
58. Eckstein M, Chan L, Schneir A, Palmer R. Effect of prehospital advanced life support on outcomes of major trauma patients. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2000;48(4):643-8.
59. Funder KS, Petersen JA, Steinmetz J. On-scene time and outcome after penetrating trauma: an observational study. *Emerg Med J.* 2011;28(9):797-801.

60. Band RA, Pryor JP, Gaieski DF, Dickinson ET, Cummings D, Carr BG. Injury-adjusted mortality of patients transported by police following penetrating trauma. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2011;18(1):32-7.
61. Schweigkofler U, Reimertz C, Auhuber TC, Jung HG, Gottschalk R, Hoffmann R. Web-basierter Versorgungskapazitätsnachweis. *Der Unfallchirurg*. 2011;114(10):928.
62. Lichy G, Braun J, Schulze C, Geldner G. Schnittstellenoptimierung durch den Einsatz von RescueTrack® in Notaufnahmebereichen und Intensivstationen. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2014;17(6):511-4.
63. Weichert O, Lenz W, Lenssen U, G K. Optimierung der Patientenversorgung durch strukturierte Anmeldung von kritisch kranken Patienten über den Rettungsdienst. *Notf Rettungsmed* 2013;16:129–34
64. Wood K, Crouch R, Rowland E, Pope C. Clinical handovers between prehospital and hospital staff: literature review. *Emerg Med J*. 2015;32(7):577-81.
65. Arnscheidt C, Trentzsch H, Schmucker U, Sandmeyer B, Strohm P. High Fidelity Simulationstraining für mehr Sicherheit im Schockraum. *Orthopädie und Unfallchirurgie-Mitteilungen und Nachrichten*. 2015;4(04):336-8.
66. Scholtz BG, B; Boullion, B; Lackner, CK; Hauer, T; Wölfl, CG. Mit einer Sprache sprechen. Die Bedeutung des Pre-Hospital Trauma Life Support® (PHTLS®) -Konzeptes in der präklinischen und des Advanced Trauma Life Support® (ATLS®) -Konzeptes in der klinischen Notfallversorgung schwererletzter Patienten. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2010;13(1):58-64.
67. Trentzsch H, Urban B, Sandmeyer B, Hammer T, Strohm PC, Lazarovici M. [Does simulator-based team training improve patient safety?]. *Der Unfallchirurg*. 2013;116(10):900-8.

1.10 Massenanfall von Verletzten (MANV)

A. Suda*, A. Franke, M. Hertwig#, K. Gooßen#

Das Großschadensereignis (englisch: Mass Casualty Incident) ist als Notfall mit einer größeren Anzahl von Verletzten sowie anderen Geschädigten oder Betroffenen, der besondere planerische und organisatorische Maßnahmen erfordert, weil er mit der vorhandenen und einsetzbaren Vorhaltung der prähospitalen und klinischen Versorgung nicht bewältigt werden kann. Dieser ist von einer Katastrophe (englisch: Disaster) zu unterscheiden: bei einer Katastrophe liegt nach DIN 13050:2021-10 (Begriffe im Rettungswesen) ein über das Großschadensereignis hinausgehendes Ereignis mit einer wesentlichen Zerstörung oder Schädigung der örtlichen Infrastruktur vor, das im Rahmen der medizinischen Versorgung mit den Mitteln und Einsatzstrukturen des Rettungsdienstes allein nicht bewältigt werden kann [1]. Ein Massenanfall von Verletzten kann vorliegen, ohne, dass die rechtlichen Voraussetzungen für eine Katastrophenlage (z.B. Hochwasser) gegeben sind, weshalb bei der Bewältigung zwischen diesen Szenarien unterschieden werden soll.

Die zur Bewältigung eines MANV notwendigen organisatorischen und medizinischen innerklinischen individuellen Adaptierungen müssen von jeder Einrichtung im jeweiligen Krankenhausalarm- und Einsatzplan (KAEP) exakt definiert und regelmäßig evaluiert werden. Im KAEP sind somit Sichtung, Triage, Versorgungskonzepte sowie Kommunikation, Personalbedarf und Personaleinsatz genau zu definieren, wobei auf die individuellen räumlichen und infrastrukturellen Besonderheiten Rücksicht genommen werden muss, um eine optimale Vorbereitung zu gewährleisten. Ein für alle Kliniken gleich standardisierter KAEP kann nicht gefordert werden, da individuelle bauliche und personelle Besonderheiten dabei nicht berücksichtigt werden könnten. Die Implementierung einer festgelegten Abfolge der Einzelschritte von der Sichtung über Triage bis zur Versorgung erscheint hier aber überaus sinnvoll, wobei die Prinzipien Kategorisieren, Priorisieren, Disponieren und Realisieren die tragende Rolle spielen sollen. Neben Damage Control Surgery (DCS) muss auch die Tactical Abbreviated Surgical Care (TASC) implementiert werden, bei der die Lage das Ausmaß der Versorgung festlegt. Eine regelmäßige Übung der Durchführung ist unbedingt zu fordern, um Schwächen im eigenen KAEP zu identifizieren und abstellen zu können. (Online-) Trainingsformate oder Planspiele können dabei helfen, die erworbenen Fähigkeiten zu erhalten und die Ausbildung sicherzustellen.

Eine besondere Art des Großschadensereignisses stellen terroristische Anschläge dar (Terror - MANV), da sie sich hinsichtlich der Verletzungsmuster, aber auch der zeitlichen Entwicklung mit mehreren Anschlagssorten zu unterschiedlichen Zeiten und der möglicherweise weiter bestehenden Bedrohung auch des Rettungspersonals erheblich von anderen Ereignissen im taktisch-strategischen Vorgehen und der notwendigen medizinischen Behandlung unterscheiden.

Konzepte für die Bewältigung eines Massenanfalls von Verletzten sollten deshalb neben stumpfen Verletzungen im Hinblick auf mögliche Terroranschläge, Amok- und lebensbedrohliche Einsatzlagen (LebEL) auch penetrierende Verletzungen durch automatische Schusswaffen und spezifische Verletzungen durch unkonventionelle, nicht kommerziell hergestellte Spreng- und Brandvorrichtungen (englisch: improvised explosive devices, IED) beinhalten.

Diese multidimensionalen Verletzungen stellen qualitativ eine besondere medizinische Herausforderung dar, für die in Deutschland nur bei einsatzerfahrenen Sanitätssoldaten der Bundeswehr ausreichend Expertise bestehen kann.

1.10.1	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Zur Verbesserung der Triagequalität sollten Übungen oder (virtuelle) Trainings unter Anwendung verifizierter Triagesysteme und Algorithmen in der eigenen Einrichtung durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[2] Dittmar 2016: LoE 2b [3] Dittmar 2018: LoE 2b [4] Risavi 2013: LoE 2b [5] Andreatta 2010: LoE 2b↓ [6] Mills 2020: LoE 2b↓ [7] Cicero 2017: LoE 2b↓ [8] Knight 2010: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

1.10.2	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Ein Krankenhausalarm- und Einsatzplan muss von jeder Klinik erstellt, in der eigenen Einrichtung implementiert und regelmäßig durch Übungen evaluiert werden.	
	Konsensstärke: 100%	

1.10.3	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die Vorbereitung der verantwortlichen Ärzte auf eine (Terror)MANV-Lage sollte durch regelmäßige Übungen erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

Ein Massenanfall von Schwerverletzten stellt eine große Herausforderung für das Personal des Rettungsdienstes am Einsatzort wie auch für jenes der aufnehmenden Kliniken dar. Die zur Verfügung stehenden personellen und materiellen Ressourcen sollen auf Grundlage einer Sichtung (englisch: Triage) für eine möglichst effiziente Individualversorgung der Verletzten eingesetzt werden. Aus taktischen Überlegungen kann es notwendig sein, die Individualmedizin vorübergehend zu verlassen, um einer größeren Anzahl von Patienten das Überleben zu sichern. Diese Umstellung ist eine besondere Herausforderung und auch Belastung für das gesamte behandelnde Personal und bedarf besonderer Aufmerksamkeit und Training. In Studien konnte gezeigt werden, dass sowohl prähospital als auch innerklinische Übungen die Triagequalität verbessern können [2-4]. Auch virtuelle Trainingsansätze sind geeignet, dieses Ziel zu erreichen [5-8]. Hervorzuheben sind hier die Studien von Risavi et al. 2013 [4] sowie jene von Mills et al. 2020 [6], jedoch finden sich auch in diesen Veröffentlichungen Schwächen im Studiendesign wie geringe Probandenanzahl oder Auswahl-Bias.

Die Übertriage, das fälschlicherweise Bewerten eines eigentlich nichtkritischen Verletzten als kritisch, bindet wichtige und an anderer Stelle sinnvoller einzusetzende Ressourcen – dies korreliert direkt mit der Sterblichkeit tatsächlich kritischer Verletzter [9]. Auch die Untertriage wird als problematisch angesehen, sie beeinflusst die Ressourcen jedoch anders als die Übertriage [3]. Checklisten-basierte Hilfsmittel können hier helfen, wie in der Arbeit von Cuttance et al. 2017 gezeigt werden konnte [10].

Es existieren verschiedene Triagesysteme und Algorithmen, von denen nur wenige in vergleichenden Studien an Schwerverletzten, welche den für die Erstellung der S3-Leitlinie notwendigen Einschlusskriterien entsprechen, verifiziert wurden, darunter STaRT, NEWS2, BCD (Battlefield Casualty

Drills) oder MPTT [11-15]. Die meisten stellen gute Werkzeuge für eine sinnvolle und treffsichere Triage dar. Bei pädiatrischen Patienten ist dies jedoch nicht eindeutig [16, 17]. Im Jahr 2015 bewerten Streckbein et al. zwölf internationale und nationale Sichtungskonzepte im Rahmen einer evidenzbasierten Literaturrecherche [18]. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass kein in allen Aspekten wissenschaftlich belegbares überlegenes Sichtungskonzept vorliegt und dass in Deutschland von den verschiedenen Konzepten keines flächendeckend etabliert ist. Zwischenzeitlich finden sich die Arbeiten von Cross et al. aus 2015 sowie Malik et al. 2020, die in retrospektiven Studien mit sehr großer Probandenzahl trotz methodischer Schwächen die Triage-Systeme STaRT und BCD als sehr brauchbar evaluieren konnten [11, 12].

In Nordamerika wird der STaRT-Algorithmus (Simple Triage and Rapid Treatment) häufig angewandt, der eine gezielte Sortierung von Verletzten bereits durch ersteintreffende Rettungskräfte ermöglicht [19]. Akut vital bedrohte Patienten der Sichtungskategorie I/rot werden entsprechend den ABCD-Prioritäten identifiziert und einer schnellstmöglichen Behandlung zugeführt. Bei Vorliegen einer akuten Operationsindikation, wie Thorakotomie/Laparotomie zur Blutungskontrolle oder Dekompression bei Schädel-Hirn-Trauma, erfolgt nach einer zweiten Sichtung und Freigabe durch den Leitenden Notarzt (bzw. die Sanitätseinsatzleitung) der unverzügliche Transport in das nächste geeignete Krankenhaus [20]. Nach dem Beginn der Sichtung werden zunächst alle Verletzten, die gefährlich sind, der Sichtungskategorie III/grün zugeordnet und zum Sammelplatz für Leichtverletzte verwiesen. Dieses Vorgehen berücksichtigt insbesondere die Problematik, dass unter der Vielzahl der Verletzten nur ein geringer Anteil der Patienten akut vital bedroht ist und einer sofortigen Behandlung bedarf. Hierzu zählt neben den lebensrettenden Maßnahmen, die bereits vor Ort durchgeführt werden können, auch der schnelle, ressourcenabhängige Transport zur akuten operativen Versorgung. Nationale Weiterentwicklungen des STaRT-Konzeptes und des bisherigen Sichtungsalgorithmus sind der im Jahr 2006 publizierte mSTaRT-Algorithmus, der zusätzlich Art und Umfang der Notfallbehandlung, Zeitpunkt und Konsequenz der zweiten Sichtung im Hinblick auf die Dringlichkeit eines Notfalltransportes sowie kritische Befunde zur Erkennung von Patienten der Sichtungskategorie II/gelb definiert [21]. Dieser wurde von Paul et al. auch bereits in Deutschland evaluiert [22].

Für Situationen im militärischen oder polizeilichen Einsatz stellten Ladehof et al. 2012 tacSTaRT vor, der mSTaRT durch die vorgezogene Reaktion auf eine kritische Blutung bereits vor der Sichtung modifiziert und um weitere Erläuterungen ergänzt [23]. Dieser Ansatz ist besonders relevant, da bei akut lebensbedrohlichen Situationen lebensrettende Sofortmaßnahmen, wie Blutungsstillung durch Tourniquets und Dekompression bei Spannungspneumothorax, möglichst schnell ausgeführt werden sollen. Ersteintreffende Kräfte sollten deshalb neben einer entsprechenden Ausbildung in diesen Maßnahmen auch über die hierzu erforderliche Ausrüstung verfügen. Einen Sonderfall stellen MANV mit Noxen dar, bei denen eine Patientendekontamination notwendig ist. Einige Untersuchungen konnten identifiziert werden, die mit Freiwilligen verschiedene Dekontaminationsalgorithmen testeten – eine Studie unter „scharfen“ Bedingungen findet sich nicht [24-28].

Im Jahr 2014 wurde von der Deutschen Gesellschaft für Katastrophenmedizin (DGKM) und dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ein universelles Vorsichtungssystem für chirurgische und medizinisch-konservative Krankheitsbilder vorgeschlagen [29]. PRIOR (Primäres Ranking zur Initialen Orientierung im Rettungsdienst), teilweise an das etablierte ABCDE-Schema angelehnt, erfasst keine physiologischen Parameter, sondern „Zustände“ und ist mit mSTaRT und tacSTaRT nicht vollständig kompatibel. Der Einsatz von Sichtungssystemen sollte in die lokalen Überlegungen einbezogen werden, die neben den medizinischen Versorgungsgrundsätzen auch die Koordination der Zusammenarbeit des Rettungsdienstes mit anderen Einsatzorganisationen beinhalten [30]. Bedarfsweise sind Sichtungsalgorithmen den lokalen Gegebenheiten anzupassen, ebenfalls sollten vorliegende Katastrophenschutzpläne o. Ä. darauf abgestimmt werden.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die Datenlage aufgrund der aktuellen wissenschaftlichen Literatur nicht gut genug ist, um starke Empfehlungen auszusprechen. Lediglich die Durchführung regelmäßiger Schulungs- und Trainingsmaßnahmen sowie deren Evaluierung kann empfohlen werden. Planspiele können hier nach Expertenmeinung einen wichtigen Beitrag leisten, im Ernstfall die richtigen Entscheidungen treffen zu können [31] .

Literatur

1. DIN 13050:2021-10: Begriffe im Rettungswesen. Berlin, Germany: Beuth Verlag GmbH; 2021. 14 p.
2. Dittmar MS, Wolf P, Bigalke M, Graf BM, Birkholz T. Mass casualty incident triage: Substantial decrease in triage ability of EMS personnel one year after initial training. *Notfall und Rettungsmedizin*. 2016;19(2):108-14.
3. Dittmar MS, Wolf P, Bigalke M, Graf BM, Birkholz T. Primary mass casualty incident triage: evidence for the benefit of yearly brief re-training from a simulation study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2018;26(1):35.
4. Risavi BL, Terrell MA, Lee W, Holsten DL, Jr. Prehospital mass-casualty triage training-written versus moulage scenarios: how much do EMS providers retain? *Prehospital & Disaster Medicine*. 2013;28(3):251-6.
5. Andreatta PB, Maslowski E, Petty S, Shim W, Marsh M, Hall T, et al. Virtual reality triage training provides a viable solution for disaster-preparedness. *Academic Emergency Medicine*. 2010;17(8):870-6.
6. Mills B, Dykstra P, Hansen S, Miles A, Rankin T, Hopper L, et al. Virtual Reality Triage Training Can Provide Comparable Simulation Efficacy for Paramedicine Students Compared to Live Simulation-Based Scenarios. *Prehospital Emergency Care*. 2020;24(4):525-36.
7. Cicero MX, Whitfill T, Munjal K, Madhok M, Diaz MCG, Scherzer DJ, et al. 60 seconds to survival: A pilot study of a disaster triage video game for prehospital providers. *American Journal of Disaster Medicine*. 2017;12(2):75-83.
8. Knight JF, Carley S, Tregunna B, Jarvis S, Smithies R, de Freitas S, et al. Serious gaming technology in major incident triage training: a pragmatic controlled trial. *Resuscitation*. 2010;81(9):1175-9.
9. Frykberg ER. Medical management of disasters and mass casualties from terrorist bombings: how can we cope? *J Trauma*. 2002;53(2):201-12.
10. Cuttance G, Dansie K, Rayner T. Paramedic Application of a Triage Sieve: A Paper-Based Exercise. *Prehospital & Disaster Medicine*. 2017;32(1):3-13.
11. Cross KP, Petry MJ, Cicero MX. A better START for low-acuity victims: data-driven refinement of mass casualty triage. *Prehospital Emergency Care*. 2015;19(2):272-8.
12. Malik NS, Chernbumroong S, Xu Y, Vassallo J, Lee J, Bowley DM, et al. The BCD Triage Sieve outperforms all existing major incident triage tools: Comparative analysis using the UK national trauma registry population. *EClinicalMedicine*. 2021;36:100888.
13. Martin-Rodriguez F, Lopez-Izquierdo R, Del Pozo Vegas C, Delgado Benito JF, Carbajosa Rodriguez V, Diego Rasilla MN, et al. Accuracy of National Early Warning Score 2 (NEWS2) in Prehospital Triage on In-Hospital Early Mortality: A Multi-Center Observational Prospective Cohort Study. *Prehospital & Disaster Medicine*. 2019;34(6):610-8.
14. Vassallo J, Beavis J, Smith JE, Wallis LA. Major incident triage: Derivation and comparative analysis of the Modified Physiological Triage Tool (MPTT). *Injury*. 2017;48(5):992-9.
15. Cross KP, Cicero MX. Head-to-head comparison of disaster triage methods in pediatric, adult, and geriatric patients. *Annals of Emergency Medicine*. 2013;61(6):668-76.e7.
16. Cicero MX, Santillanes GR, Cross KP, Kaji AH, Donofrio JJ. Prehospital Disaster Triage Does Not Predict Pediatric Outcomes: Comparing the Criteria Outcomes Tool to Three Mass-Casualty Incident Triage Algorithms. *Prehospital & Disaster Medicine*. 2021:1-8.
17. Muguruma T, Toida C, Furugori S, Abe T, Takeuchi I. Validation of the Pediatric Physiological and Anatomical Triage Score in Injured Pediatric Patients. *Prehospital & Disaster Medicine*. 2019;34(4):363-9.
18. Streckbein S, Kohlmann T, Luxen J, Birkholz T, Pruckner S. [Triage protocols for mass casualty incidents : An overview 30 years after START]. *Der Unfallchirurg*. 2016;119(8):620-31.
19. Benson M, Koenig KL, Schultz CH. Disaster triage: START, then SAVE--a new method of dynamic triage for victims of a catastrophic earthquake. *Prehosp Disaster Med*. 1996;11(2):117-24.
20. Vassallo J, Horne S, Ball S, Smith J. Usefulness of the Shock Index as a secondary triage tool. *Journal of the Royal Army Medical Corps*. 2015;161(1):53-7.

21. Kanz K, Hornburger P, Kay M, Mutschler W, Schäuble W. The mSTaRT algorithm for mass casualty incident management. *Notfall Rettungsmed.* 2006;9(3):264-70.
22. Paul AO, Kay MV, Huppertz T, Mair F, Dierking Y, Hornburger P, et al. [Validation of the prehospital mSTaRT triage algorithm. A pilot study for the development of a multicenter evaluation]. *Der Unfallchirurg.* 2009;112(1):23-30, 2.
23. Ladehof K, Neitzel C, Ladehof K. *Taktische Medizin: Notfallmedizin und Einsatzmedizin.* :: Springer; 2015.
24. Amlot R, Carter H, Riddle L, Larner J, Chilcott RP. Volunteer trials of a novel improvised dry decontamination protocol for use during mass casualty incidents as part of the UK'S Initial Operational Response (IOR). *PLoS ONE [Electronic Resource].* 2017;12(6):e0179309.
25. Amlot R, Larner J, Matar H, Jones DR, Carter H, Turner EA, et al. Comparative analysis of showering protocols for mass-casualty decontamination. *Prehospital & Disaster Medicine.* 2010;25(5):435-9.
26. Chilcott RP, Mitchell H, Matar H. Optimization of Nonambulant Mass Casualty Decontamination Protocols as Part of an Initial or Specialist Operational Response to Chemical Incidents. *Prehospital Emergency Care.* 2019;23(1):32-43.
27. Collins S, Williams N, Southworth F, James T, Davidson L, Orchard E, et al. Evaluating the impact of decontamination interventions performed in sequence for mass casualty chemical incidents. *Scientific Reports.* 2021;11(1):14995.
28. Larner J, Durrant A, Hughes P, Mahalingam D, Rivers S, Matar H, et al. Efficacy of Different Hair and Skin Decontamination Strategies with Identification of Associated Hazards to First Responders. *Prehospital Emergency Care.* 2020;24(3):355-68.
29. Bubser F, Callies A, Schreiber J, Grüneisen U. PRIOR: Vorsichtungssystem für Rettungsassistenten und Notfallsanitäter. *Rettungsdienst.* 2014;37(8):730-4.
30. Stratmann D. Strategien des Rettungsdienstes–Konsequenzen nach dem 11. September 2001. *Notfall & Rettungsmedizin.* 2003;6(2):102-6.
31. Achatz G, Bieler D, Franke A, Friemert B, and the Deployment D, Tactical Surgery Working Group of the German Trauma S. Terror preparedness as a service of general interest: the Terror and Disaster Surgical Care (TDSC(R))-course. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society.* 2020;46(4):671-2.

2 Schockraum-Phase

2.1 Der Schockraum – strukturelle und apparative Voraussetzungen

C. Kühne*, C. Spering, S. Huber-Wagner, C. Lott, D. Bieler

Für die Versorgung polytraumatisierter Patienten stehen in Deutschland knapp 630 Traumazentren zur Verfügung. Durch die Organisation dieser Traumazentren in insgesamt 53 Traumanetzwerken (Stand 09/2022) konnte mittlerweile eine nahezu flächendeckende Zertifizierung der gesamten Bundesrepublik erreicht werden.

Durch die erfolgten Auditierungsprozesse, welche überregionale, regionale und lokale Traumazentren durchlaufen müssen, ist mittlerweile ein hoher Standardisierungsgrad hinsichtlich der personellen oder strukturellen Voraussetzungen bzw. der fachlichen Kompetenz zur Versorgung polytraumatisierter Patienten flächendeckend implementiert worden. Vor dem Hintergrund, dass vergleichende Studien methodisch nur bedingt durchführbar erscheinen, ist die Orientierung an gesetzlichen Vorgaben, Richtlinien und interprofessionell und interdisziplinär festgelegten Zertifizierungskriterien alternativlos.

Bis dato liegen noch keine abschließenden Studien vor, die den Nachweis erbringen konnten, dass es durch die Implementierung von Traumanetzwerken zu einer signifikanten Reduktion der Mortalität Schwerverletzter gekommen ist. Ruchholtz et al. konnten ebenfalls aufzeigen, dass die notwendige Triagierung leichter und schwerer verletzter Patienten bereits sehr gut funktioniert. Die Autoren zeigten u.a., dass Patienten mit schweren Verletzungen und relevant gestörten Vitalfunktionen (GCS, Hypotonie) häufiger in überregionalen Traumazentren behandelt wurden als in regionalen und lokalen Traumazentren. Ferner zeigte die Studie, dass die sekundäre (Weiter-)Verlegungsrate in überregionale Traumazentren mit 13,4% signifikant höher war als in regionale oder lokale Traumazentren (4,6% bzw. 2,3%) [1].

Um flächendeckend optimierte Behandlungsbedingungen zu erreichen, sind standardisierte organisatorische und apparative Voraussetzungen für einen Schockraum zu fordern. Diese beziehen sich u.a. auf notwendige Ausstattungsmerkmale, Lage, Größe und Grad der notfallmäßigen Behandlungsmöglichkeiten.

2.1.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Größe des Schockraums sollte 25–50 m ² (pro zu behandelnden Patienten) betragen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die gemachten Angaben orientieren sich an a) den Empfehlungen zur Erstversorgung des Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma bei Mehrfachverletzung der einzelnen Arbeitsgruppen und -kreise der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI), der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC) und der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI). Hier wird pro Behandlungseinheit eine Mindestgröße von 25 m² empfohlen [2].

Darüber hinaus kann die Raumgröße auch b) anhand der Vorgaben der Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR), der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV, Zweiter Abschnitt; Raumabmessungen, Luftraum), der Röntgenverordnung (RöV) sowie der Technischen Regeln für Gefahrenstoffe (TRGS) errechnet werden. Hier gilt, dass für Räume mit natürlicher Belüftung oder Klimatisierung 18 m³ Atemluft pro Person bei schwerer bzw. 15 m³ bei mittelschwerer körperlicher Tätigkeit gewährleistet sein müssen; für jede weitere Person, die sich zusätzlich nur zeitweise dort aufhält, werden 10 m³ veranschlagt. Bei Anwesenheit von 5–9 Personen (3–5 Ärzte, ein Medizinisch-technische/r Röntgenassistent/in [MTRA], 1–2 unfallchirurgische Pfleger, anästhesiologische Pfleger) und der Annahme mittelschwerer Arbeit (Tragen von Bleischürzen während der Versorgung) würde sich somit ein zu forderndes Raumvolumen von ungefähr 75–135 m³ ergeben. Dies entspricht bei einer Deckenhöhe von 3,2 m einer Raumfläche von ca. 23–42 m². Nicht eingerechnet sind die Platzverluste durch Narkose- und Sonografiegeräte, Arbeitsflächen, die Patiententrage, Schränke u. ä., sodass insgesamt von 25–50 m² pro Einheit ausgegangen werden sollte. Bei vorausgesetzter Möglichkeit der zeitgleichen Versorgung von maximal zwei Schwerverletzten vergrößert sich diese Fläche entsprechend. § 38 Abs. 2 der Arbeitsstätten-Richtlinie von 1986 schreibt für Sanitäts- und Erste-Hilfe-Räume eine lichte Türbreite von mindestens 1,2 m bei einer Türhöhe von 2 m vor.

2.1.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Der Schockraum, die Krankenanhfahrt, die radiologische Abteilung und die OP-Abteilung sollten sich in dem gleichen Gebäude befinden. Der Hubschrauberlandeplatz sollte sich auf dem Klinikgelände befinden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Alle für eine Not-OP (Laparotomie, Thorakotomie, Fixateur externe/Beckenzwinge, Kraniotomie) notwendigen Siebe sollen im Schockraum vorgehalten werden, um einen Verzug der Notfallbehandlung zu vermeiden. Hintergrund ist die Tatsache, dass jährlich etwa 150 Schockraumthorakotomien durchgeführt werden müssen [3]. Lögters et al. analysierten in ihrer Arbeit, dass etwa 5,5% aller Schockraumversorgung wegen einer Notoperation (50.5% Laparotomie, 19.8% Craniotomie, 10% Thorakotomie, 9.3% operative Beckenstabilisierung) abgebrochen werden müssen, woraus der Anspruch von möglichst kurzen Wegen ableitbar ist. Des Weiteren werden 42,5% der schwererletzten Schockraumpatienten (ISS>16) einer Frühoperation im Anschluss an die Schockraumversorgung unterzogen [4].

2.1.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Der Computertomograph (CT) sollte im oder nahe am Schockraum lokalisiert sein.	
Literatur, Evidenzgrad	[5] Saltzherr 2012: LoE 2b↓ [6] Huber-Wagner 2014: LoE 2b [7] Riepl 2013: LoE 3b↓ [8] Wulffeld 2017: LoE 4	
	Konsensstärke: 100%	

Bezüglich des Standorts des Computertomographen gibt es folgende Evidenz.

Saltzherr et al. führten eine randomisierte Studie durch (REACT-Trial), bei der Traumapatienten in Holland per Los entweder einer Klinik, welche initial eine konventionelle Bildgebung mit Sonographie

und konventionellem Röntgen und sich ggf. daran anschließender CT-Diagnostik (CT-Raum ist nicht Schockraum) durchführte, oder einer anderen Klinik, welche initial im Schockraum die CT-Diagnostik durchführte, zugeteilt.

Es wurden 1124 Patienten analysiert, wobei lediglich 265 Patienten polytraumatisiert waren. Das Gesamtkollektiv war mit einem mittleren ISS von 6 leichtverletzt. Es zeigte sich in diesem Setting kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Vorgehensweisen im Hinblick auf das Überleben, jedoch ein signifikanter Zeitvorteil für die „CT-im-Schockraum-Gruppe“. In der Subgruppe der 265 Schwerverletzten zeigte sich ein Trend für einen Überlebensvorteil für die CT-im-Schockraum-Gruppe von immerhin 4,6%, der aufgrund der Fallzahl aber nicht statistisch signifikant war [5].

Ebenfalls einen signifikanten Zeitvorteil konnten Riepl et al. herausfinden. Bei dem Vergleich zweier Kollektive vor und nach Einbau des CTs in den Schockraum zeigte sich ein Zeitgewinn von 22 Minuten bis zum Beginn der CT-Diagnostik und ein Zeitgewinn von 10 Minuten bis zum Abschluss der Schockraumphase jeweils für die CT-im-Schockraum-Gruppe [7].

Anhand einer Analyse von 8.004 Patienten des TraumaRegisters® der DGU und der TraumaNetzwerk-Datenbank konnten Huber-Wagner et al. nachweisen, dass die CT -Lokalisation einen signifikanten Effekt auf die Mortalität Polytraumatisierter hat. Je näher das CT im bzw. am Schockraum (<50m) lokalisiert ist, umso günstiger ist dieser Effekt. Eine Lokalisation >50m zum Schockraum hatte einen signifikant ungünstigen Effekt auf das Outcome. Die Autoren folgern, dass im Rahmen von Neu- bzw. Umbauten von Notaufnahmen das CT im oder so nahe wie möglich (≤50m) baulich am Schockraum positioniert werden sollte [6].

Hinzuweisen ist auf die positiven Erfahrungen der Gruppe um Gross et al., die die bildgebende Diagnostik in einer „multifunctional image-guided therapy suite“ durchführen [9].

Wulffeld et al. konnten in einem Vergleich eines Kollektivs vor vs. eines Kollektivs nach Umbau keine weitere zeitliche Verbesserung durch das CT im Schockraum erzielen (21 vs. 22 Minuten) [8].

Literatur

1. Ruchholtz S, Lefering R, Lewan U, Debus F, Mand C, Siebert H, et al. Implementation of a nationwide trauma network for the care of severely injured patients. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;76(6):1456-61.
2. Verlag S, DER DIVI E. Empfehlungen zur Erstversorgung des Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma bei Mehrfachverletzung. 2000.
3. Schulz-Drost S, Mersch D, Gumbel D, Matthes G, Hennig FF, Ekkernkamp A, et al. Emergency department thoracotomy of severely injured patients: an analysis of the TraumaRegister DGU[®]. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2020;46(3):473-85.
4. Lögters T, Lefering R, Schneppendahl J, Alldinger I, Witte I, Windolf J, et al. [Interruption of the diagnostic algorithm and immediate surgical intervention after major trauma--incidence and clinical relevance. Analysis of the Trauma Register of the German Society for Trauma Surgery]. *Der Unfallchirurg*. 2010;113(10):832-8.
5. Saltzherr TP, Bakker FC, Beenen LF, Dijkgraaf MG, Reitsma JB, Goslings JC. Randomized clinical trial comparing the effect of computed tomography in the trauma room versus the radiology department on injury outcomes. *The British journal of surgery*. 2012;99 Suppl 1:105-13.
6. Huber-Wagner S, Mand C, Ruchholtz S, Kuhne CA, Holzappel K, Kanz KG, et al. Effect of the localisation of the CT scanner during trauma resuscitation on survival -- a retrospective, multicentre study. *Injury*. 2014;45 Suppl 3:S76-82.
7. Riepl C, Junghanns A, Gebhard F, Kraus M. Reduced emergency room time for trauma patients by integrated CT. *Z Orthop Unfall*. 2013;151(2):168-72.
8. Wulffeld S, Rasmussen LS, Hojlund Bech B, Steinmetz J. The effect of CT scanners in the trauma room - an observational study. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2017;61(7):832-40.
9. Gross T, Messmer P, Amsler F, Fuglistaler-Montali I, Zurcher M, Hugli RW, et al. Impact of a multifunctional image-guided therapy suite on emergency multiple trauma care. *The British journal of surgery*. 2010;97(1):118-27.

2.2 Schockraum – Team und Alarmierung

C. Kühne*, U. Schweigkofler, A. Weise#, N. Könsgen#, A. Kaltwasser, S. Pelz, T. Becker, C. Spering, F. Wagner, D. Bieler*

2.2.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Zur Polytraumaversorgung sollen feste Teams (sog. Schockraumteams) nach vorstrukturierten Plänen arbeiten und/oder ein spezielles Training absolviert haben.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Dodek 2000: LoE 2b [2] Lomas 1994: LoE 2b [3] Palmer 1995: LoE 2b [4] Vernon 1999: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Um ein koordiniertes und abgestimmtes Zusammenarbeiten verschiedener Personen in der Polytraumaversorgung zu erreichen, ist es international üblich, feste Teams für die Schockraumversorgung zusammenzustellen, die nach vorstrukturierten Plänen arbeiten und/oder ein spezielles Training (insbesondere ATLS®, ETC, Definitive Surgical Trauma Care [DSTC™] o.ä.) [5] absolviert haben [6-9]. Diverse Studien haben für dieses Schockraumkonzept klinische Vorteile gefunden [1-4]. Ruchholtz et al. konnten z.B. aufzeigen, dass ein – in ein Qualitätsmanagement(QM)-System integriertes – interdisziplinäres Team, das auf der Basis klinikinterner Leitlinien und Absprachen agiert, unter gemeinsamer chirurgischer und anästhesiologischer Leitung sehr effizient arbeitet [10, 11].

2.2.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Das interprofessionelle Schockraum-Team soll aus mindestens 2 Pflegekräften und mindestens 2 Ärzten bestehen, die die notfallmedizinische und notfallchirurgische Kompetenz abbilden.	
	Konsensstärke: 100%	

Zur personellen Zusammensetzung des Schockraumteams gibt es nach wie vor keine validierten Untersuchungen oder prospektive, vergleichende Studien. Aussagen bzw. Vorschläge zur notwendigen Besetzung eines Schockraumteams, beziehen sich daher auf Mitteilungen, wie diese überwiegend international gebildet werden.

Die Teamzusammensetzung orientiert sich in erster Linie an den zu leistenden medizinischen Aufgaben und auch an lokalen/regionalen Verhältnissen und Ausbildungsstandards [1, 5, 6, 10, 12-22]. Dabei fanden sich bei der Durchsicht der internationalen Literatur weltweit in fast allen Teams entweder spezielle Trauma Surgeons unterschiedlichen Ausbildungsstandes oder aber Allgemeinchirurgen mit (langjähriger) Erfahrung in der Traumaversorgung – ebenfalls mit unterschiedlichem Ausbildungsstand

Personell ist das Schockraumteam meist interdisziplinär bzw. multiprofessionell zusammengesetzt mit Mitgliedern u.a. aus den Fachabteilungen Unfallchirurgie/Orthopädie, Anästhesie, Notfallmedizin, Neuro- und Allgemeinchirurgie, Radiologie sowie entsprechendem Pflegepersonal. Dabei fanden sich bei der Durchsicht der internationalen Literatur weltweit in fast allen Teams entweder spezielle

Trauma Surgeons unterschiedlichen Ausbildungsstandes oder aber Allgemeinchirurgen mit (langjähriger) Erfahrung in der Traumaversorgung – ebenfalls mit unterschiedlichem Ausbildungsstand. In der Anfangsphase der Schockraumversorgung sind für die Kernaufgaben des Teams nicht automatisch immer alle Fachdisziplinen von Anfang an notwendig.

Die primären Ziele der Schockraumversorgung – also Sichtung, Diagnostik, Stabilisierung zur operativen und/oder intensivmedizinischen Weiterversorgung – sind auch mit gut ausgebildeten kleineren Schockraumteams erreichbar [6, 23].

Alle im Verlauf der Schockraumbehandlung und ersten operativen Phase notwendigen Fachdisziplinen können dann entsprechend der Verletzungsfolgen unmittelbar hinzugezogen werden – sog. 2-phasisches Schockraumteam-Modell [24-26].

In Deutschland muss die Erweiterung des Schockraumteams entsprechend der Versorgungsstufe (Krankenhaus der Basisversorgung, Krankenhaus der Schwerpunktversorgung, Krankenhaus der Maximalversorgung) gewährleistet sein [27]. Bei Teilnahme am TraumaNetzwerk DGU orientiert sich die Zusammensetzung des erweiterten Schockraumteams an der Größe des TraumaZentrums (TZ) (lokales TZ, regionales TZ, überregionales TZ) [28]. In Krankenhäusern der Maximalversorgung bzw. überregionalen TraumaZentren sind daher faktisch alle zur Traumaversorgung notwendigen Fachdisziplinen vorzuhalten und sind im Einzelfall dann nachzufordern.

Georgiou und Lockey nennen folgende Zusammensetzung für das eigentliche Schockraumteam - Team Leader, Anästhesist (Facharzt), Anästhesist (Assistenzarzt), Allgemeinchirurg (FA), orthopädischer Chirurg (FA), Notfallmediziner, 2x Pflegekräfte. Neuro-, Thorax- oder Plastischer Chirurg und Radiologe gehören zum erweiterten Schockraumteam und sind im Bedarfsfall nachzufordern [29].

Weile et al. (2018) analysierten für eine nationale Benchmark-Untersuchung insgesamt 22 dänische Traumakliniken, um Informationen zur Teamzusammensetzung und den benutzten Aktivierungskriterien zu sammeln.

Alle 22 Traumazentren hatten einen Teamleader; dieser war 14 mal der orthopädische Chirurg, 8 mal der Anästhesist. Beide Fachdisziplinen waren in allen 22 Kliniken im Schockraumteam vertreten. 10 Teams hatten zusätzlich einen Allgemeinchirurgen im Team, 12 mal wurde dieser bei Notwendigkeit hinzugerufen [30].

Die jeweilige Zusammensetzung in den untersuchten Traumazentren/Kliniken war wie folgt:

	5 TZ/ Kliniken	4 TZ/ Kliniken	2 TZ/ Kliniken	5 TZ/ Kliniken	2 TZ/ Kliniken	1 TZ/ Kliniken	1 TZ/ Kliniken	1 TZ/ Kliniken	1 TZ/ Kliniken
Anästhesist	1x	1x	1x	1x	1x	2x	2x	1x	1x
Orthopädischer Chirurg	1x	1x	1x	1x	1x	2x	1x	2x	1x
Allgemeinchirurg			1x	1x	1x	1x	1x		
Radiologe		1x	1x			1x			
Notfall-mediziner					1x				1x

Aussagen zur personellen Zusammensetzung von Pflegekräften wurden in der Analyse nicht erhoben.

Härgestam et al. (2013) untersuchten 16 Traumateams, um Informationen hinsichtlich der interdisziplinären Kommunikation und mögliche Kommunikationsfehler zu identifizieren. Die hierzu gebildeten Teams bestanden jeweils aus 16 Chirurgen, 16 Anästhesisten, 16x Notaufnahmepflegepersonal, 16x Anästhesiepflegepersonal und 16x OP-Pflegepersonal [31].

2.2.3	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Eine Erweiterung des Schockraum-Teams (sog. erweitertes Schockraum-Team) soll entsprechend der Versorgungsstufe des Krankenhauses jederzeit erfolgen können.	
	Konsensstärke: 100%	

Eine Krankenhausvergleichsstudie fand heraus, dass es nicht unbedingt notwendig ist, dass der Trauma Surgeon rund um die Uhr in der Klinik verfügbar ist, sofern die Entfernung zur Klinik nicht mehr als 15 Minuten beansprucht und ein Assistenzarzt im Haus bereitsteht [20].

Helling et al. zeigten in einer retrospektiven Analyse über einen Zeitraum von zehn Jahren, dass sich durch die initiale Anwesenheit eines Oberarztes keine relevante Verbesserung der Behandlungsergebnisse erzielen lässt [3, 32, 33]. Für Patienten mit penetrierenden Verletzungen, im Schock, einem GCS < 9 oder ISS \geq 26 zeigte sich kein Unterschied in der Versorgungsqualität hinsichtlich Mortalität, OP-Beginn, Komplikationen oder Behandlungsdauer auf der Intensivstation, wenn der Diensthabende innerhalb von 20 Minuten an der weiteren Versorgung teilnahm („on call“). Lediglich die initiale Versorgungszeit und die Gesamtaufenthaltsdauer im Krankenhaus waren beim stumpfen Trauma geringer, wenn der „Oberarzt“ (Attending Physician) sofort im Schockraum sein konnte („inhouse“). Diese Ergebnisse werden durch Porter et al., Demarest et al. sowie Fulda et al. weitgehend bestätigt [20, 24, 34]. Insgesamt lässt sich abschließend aus diesen Ergebnissen folgern, dass die Anwesenheit eines Oberarztes unmittelbar zu Beginn der Schockraumversorgung nicht notwendig ist, wenn ein in der Versorgung von Schwerverletzten qualifizierter (Unfall-)Chirurg (Facharztstandard und ggf. weitere Notfallkurse z.B. ATLS[®]-, ETC-zertifiziert, etc.) die Verletztenversorgung zunächst durchführt. Die Erreichbarkeit eines unfallchirurgischen (Ober-)Arztes soll aber kurzfristig gewährleistet sein. Entscheidend ist, dass der hinzugezogene (Ober-)Arzt fachlich und operationstechnisch in der Lage ist, die Diagnostik zu evaluieren, den Behandlungsplan festzulegen und die notwendigen operativen Schritte durchzuführen. Ebenso sollen alle weiteren, notwendigen Fachdisziplinen abhängig von der Versorgungsstufe (Level des Traumazentrums) kurzfristig verfügbar sein; auch hier gilt, dass der entsprechende Fachabteilungsvertreter die Kompetenz zur diagnostischen und operativen und/oder interventionellen Weiterversorgung besitzen soll. Details sollten im lokalen Qualitätszirkel festgelegt werden.

2.2.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei folgenden pathologischen Befunden nach Trauma soll das Schockraumteam aktiviert werden: A/B - Problem <ul style="list-style-type: none"> • Atemstörungen (SpO2 <90%) /erforderliche Atemwegssicherung • AF <10 oder >29 C - Problem <ul style="list-style-type: none"> • systolischer Blutdruck <90 mmHg • Herzfrequenz >120/min • Schockindex >0,9 • Positiver eFAST D - Problem <ul style="list-style-type: none"> • GCS ≤12 E - Problem <ul style="list-style-type: none"> • Hypothermie <35,0°C 	
Literatur, Evidenzgrad	[35] Bieler 2021: LoE LoE 2b [36] Brown 2015: LoE 2b [37] Hasler 2011: LoE 2b [38] Hasler 2012: LoE 2b [39] Lehmann 2009: LoE 2b [40] Shawhan 2015: LoE 2b [41] Singh 2014: LoE 2b [42] Tignanelli 2018: LoE 2b [43] Dehli 2016: LoE 3b↓ [44] Kalkwarf 2021: LoE 3b↓ [45] Werman 2011: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 94%	

In den letzten Jahren haben verschiedene Arbeiten gezeigt, dass die Alarmierung des Schockraumteams anhand auch prähospital detektierbarer klinischer Parameter zielführend ist, da diese häufig unmittelbar mit der Mortalität assoziiert sind. [35, 37, 38, 44, 46] Einen besonderen Stellenwert nimmt dabei die Blutung mit den pathophysiologischen Surrogatparametern Herzfrequenz >120/min und systolischer Blutdruck <90 mmHg ein. Kalkwarf et al. konnten zeigen, dass insbesondere diese Parameter mit Notfalllaparotomie, (Massiv-)Transfusion und relevanter Blutung signifikant vergesellschaftet sind [44].

Franklin et al. [47] zeigten, dass Traumapatienten mit einer prähospitalen Hypotonie oder einer Hypotonie bei Einlieferung in 50% der Fälle einer unmittelbaren Operation zugeführt bzw. auf eine Intensivstation aufgenommen wurden. Insgesamt wurden 75% der Patienten mit einer Hypotonie im Verlauf des Krankenhausaufenthalts operiert. Tinkoff et al. [48] sahen bei Vorliegen einer Hypotension nach Trauma – als Ausdruck eines vorliegenden Schocks – eine 24-fach erhöhte Mortalität sowie eine 7-fach erhöhte Aufnahme auf die Intensivstation und eine 1,6-fach vermehrte Notoperationsrate. In einem Review von Henry et al. [49] des New York State Trauma Registers fanden sich Mortalitätsraten

von 32,9% bei Traumapatienten mit einem SBP (Systolic Blood Pressure) von <90 mmHg und von 28,8% für Traumapatienten mit einer Atemfrequenz von <10 oder >29/min.

2.2.5	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei folgenden Verletzungen oder Maßnahmen nach Trauma soll das Schockraumteam aktiviert werden: <ul style="list-style-type: none"> • instabiler Thorax • Mechanisch instabile Beckenverletzung • Vorliegen von penetrierenden Verletzungen der Rumpf-Hals-Region • Amputationsverletzung proximal der Hände/Füße • Sensomotorisches Defizit nach Wirbelsäulenverletzung • prähospitaler Intervention (erforderliche Atemwegssicherung, Thoraxentlastung, Katecholamingabe, Pericardiozentese, Anlage Tourniquet) 	
Literatur, Evidenzgrad	[39] Lehmann 2009: LoE 2b [40] Shawhan 2015: LoE 2b [42] Tignanelli 2018: LoE 2b [50] Heindl 2021: LoE 2b [43] Dehli 2016: LoE 3b↓ [44] Kalkwarf 2021: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Neben pathophysiologischen messbaren Parametern wird die Alarmierung des Schockraumteams auch bei Vorliegen eines gewissen Verletzungsmusters bzw. notwendiger prähospitaler Intervention empfohlen [40, 42, 43, 50]. Shawhan et al. konnten in ihrer Kohorte von 460 Patienten nachweisen, dass der positive Vorhersagewert abhängig von der detektierten Verletzung bzw. pathologischen klinischen Parametern bei bis zu 63% liegt und somit die Übertriage gesenkt werden kann. Dehli et al. zeigten, dass die Kriterien instabiler Thorax, mechanisch instabile Beckenverletzung und sensomotorisches Defizit nach Wirbelsäulenverletzung in einem hohen Prozentsatz mit einer Verletzungsschwere von ISS>15 vergesellschaftet sind. Allerdings muss hier angemerkt werden, dass die Kohorte mit n=324 begrenzt war.

2.2.6	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei folgenden Verletzungen nach Trauma sollte das Schockraumteam aktiviert werden: <ul style="list-style-type: none"> • Frakturen von 2 oder mehr proximalen großen Röhrenknochen • Verbrennungen >20% und Grad ≥2b 	
Literatur, Evidenzgrad	[51] Ichwan 2015: LoE 2b [43] Dehli 2016: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

2.2.7	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei folgenden zusätzlichen Kriterien sollte das Trauma-/Schockraumteam aktiviert werden: <ul style="list-style-type: none"> • (Ab)Sturz aus über 3 Metern Höhe • Verkehrsunfall (VU) mit Ejektion aus dem Fahrzeug oder Fraktur langer Röhrenknochen 	
Literatur, Evidenzgrad	[43] Dehli 2016: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Unfallbezogene/-abhängige Kriterien werden in der Literatur sehr unterschiedlich hinsichtlich ihrer Aussagekraft für das Vorliegen eines schweren Traumas beurteilt.

Norcross et al., Bond et al. und Santaniello et al. [52-54] berichten über Raten der Übertriage von bis zu 92% und Sensitivitäten von 70–50% sowie ppW von 16,1%, wenn unfallbezogene Mechanismen als alleiniges Kriterium zur Beschreibung der Verletzungsschwere herangezogen worden waren. Wurden physiologische Kriterien zusätzlich benutzt, konnte eine Sensitivität von 80% bei einer Spezifität von 90% erreicht werden. [52] Dehli konnte einen positiven prädiktiven Wert für Verletzungsschwere von ISS>15 von 50% bei Sturz aus >5m und 66% bei Ejektion aus dem Fahrzeug zeigen.

2.2.8	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Schockraumalarmierung bei geriatrischen Patienten sollte großzügig erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[55] Hranjec 2012: LoE 2b [45] Werman 2011: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 81%	

Mit steigendem Aktivitätslevel und auch vor dem Hintergrund der weiteren Alterung der Gesellschaft, nehmen auch schwere Unfälle bei älteren Menschen stetig zu. Der Anteil der über 65-Jährigen lag im Jahr 2020 in Deutschland bei 22% der Gesamtbevölkerung – entsprechend 18,3 Millionen Personen. 2060 werden voraussichtlich ca. 33% der Bevölkerung über 65 Jahre alt sein [56].

Es ist bekannt, dass sich ältere Personen hinsichtlich der Kompensations- und auch Reaktionsmöglichkeiten des Körpers von anderen bzw. jüngeren Patienten unterscheiden [57]. Dabei kann es gerade beim älteren Menschen aufgrund physiologischer und/oder medikamentöser Veränderungen zu Alterationen der Gerinnung/Thrombozytenfunktion, der Knochendichte, des Blutdrucks, der Herzfrequenz, etc. kommen. So führt die Elastizitätsabnahme des arteriellen Systems zu einer veränderten Reaktion auf endogene oder exogene Signale, mit der Folge inadäquater Blutdruckwerte bzw. Herzfrequenz, oder Ausbleiben einer notwendigen reflektorischen Tachykardie. Dabei ist aktuell ein geriatrischer Patient definiert durch die „geriatrietypische Multimorbidität“ und höheres Lebensalter (70 Jahre oder älter) oder durch „Alter 80+“ („oldest old“) aufgrund der alterstypisch erhöhten Vulnerabilität, z. B. des Auftretens von Komplikationen und Folgeerkrankungen, der Gefahr der Chronifizierung sowie des erhöhten Risikos eines Verlusts der Autonomie mit Verschlechterung des Selbsthilfestatus (Konsensus der Deutschen Gesellschaft für Geriatrie e.V. [DGG], Deutschen Gesellschaft für Gerontologie und Geriatrie e.V. [DGGG], Bundesarbeitsgemeinschaft der klinisch geriatrischen Einrichtungen e.V., Berufsverband Deutscher

Internisten Sektion Geriatrie [BDI Sektion Geriatrie] und zugleich Diskussionsgrundlage der europäischen Fachärztereinigung, Sektion Geriatrie) [58].

Verschiedene Studien belegen u.a. den Einfluss auf die Mortalität durch Einnahme von Thrombozytenaggregationshemmern wie Acetylsalicylsäure, Clopidogrel und Cumarinen (z.B. Marcumar) [59, 60]. Schöneberg et al. (2014) analysierten die Daten von 108 geriatrischen Patienten. Die Autoren fanden Stürze aus geringer Höhe mit Schädel-Hirn-Trauma sowie klinisch relevante Koagulopathien als Prädiktoren für eine erhöhte Mortalität [61].

Sampalis et al. (2009) konnten einen 3-5-fachen Anstieg der Mortalität bei geriatrischen Patienten gegenüber nicht-geriatrischen Patienten bei vergleichbarer Verletzungsschwere zeigen [62]. Shifflette et al. (2010) sahen ebenfalls einen deutlichen Anstieg der Letalität bei über 60-jährigen Unfallpatienten mit einem ISS ≤ 15 im Vergleich zu unter 60-jährigen. Die Autoren schlussfolgerten, dass diese Patienten zur Diagnostik und Behandlung entsprechend in ein Level-I-Trauma-Zentrum gebracht werden sollten [63].

2.2.9	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B \uparrow	Die Schockraumalarmierung bei geriatrischen Patienten nach relevantem Trauma sollte zusätzlich bei einem der folgenden Parametern erfolgen: <ul style="list-style-type: none"> • RRsys <100mmHg • bekanntes oder vermutetes Schädel-Hirn-Trauma und GCS ≤ 14 • 2 oder mehr verletzte Körperregionen • Fraktur eines oder mehrerer langer Röhrenknochen nach Verkehrsunfall 	
Literatur, Evidenzgrad	[51] Ichwan 2015: LoE 2b [55] Hranjec 2012: LoE 2b [45] Werman 2011: LoE 3b \downarrow	
	Konsensstärke: 100%	

Im Jahr 2020 waren 29%, der in das TraumaRegister DGU® der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) eingeschlossenen Patienten, über 70 Jahre alt [64].

Für Monoverletzungen geriatrischer Patienten existieren mittlerweile unterschiedliche „standard operating procedures“ (SOP) für den Verlauf von der Sichtung in der Notaufnahme bis zur Entlassung aus der stationären Behandlung. Etablierte Aufnahmekriterien und Versorgungskonzepte für die initiale Schockraumbehandlung des geriatrischen Polytrauma fehlen allerdings noch. Nakamura et al. (2012) – wie auch andere Autoren – konnten zeigen, dass es durch die Anwendung nicht altersadaptierter Triagekriterien bei geriatrischen Patienten zu einer hohen Fehltriagierung i. S. einer Untertriage kommt [65-67]. Mit steigendem Alter kommt es zu einer steigenden Fehltriagierung bis hin zu 60% bei Patienten ≥ 90 Jahre.

Eine Anpassung physiologischer und unfallmechanischer Parameter zur besseren Identifikation dieses speziellen Patientenguts hinsichtlich Schockraumaufnahme und Team-Aktivierung erscheinen daher sinnvoll. Studien von Champion et al. wie auch Tornetta et al. fanden z.B. eine erhöhte Mortalität bei geriatrischen Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma sowie nach Sturz und Verkehrsunfall und schlugen die Anpassung altersspezifischer Kriterien vor [68, 69].

Werman et al. (2011) entwickelten anhand von Daten einer Registerstudie mit über 90 000 Patienten geriatrische-typische Aktivierungs-Parameter für den Schockraum [45]. Zusätzlich zu einer Literatursuche hinsichtlich potentieller, geriatrischer-spezifischer Aktivierungskriterien, wurde dann die Mortalität bei

Patienten ≥ 70 Jahre und < 70 Jahre für folgende Parameter verglichen: Glasgow Coma Scale (GCS), systolischer Blutdruck, Sturz, Unfallmechanismus, Anzahl der verletzten Körperregionen, Komorbiditäten und Fahrzeugkollision.

Für das Kriterium GCS zeigte sich bei Patienten ≥ 70 Jahre eine signifikant höhere Mortalität bei GCS 14 Punkte als bei Patienten < 70 Jahre und GCS 13 Punkte. Die Autoren empfahlen dementsprechend, dass eine GCS ≤ 14 als Kriterium für den Transport in ein Trauma Zentrum dienen sollte.

Beim systolischen Blutdruck erwies sich die Mortalität bei einem Wert 91-100 mmHg (geriatrischer Patient) vergleichbar mit jener Mortalität bei einem systolischen Blutdruck von 81-90 mmHg beim nicht geriatrischen Patienten.

Bezüglich des Vorliegens von Komorbiditäten fand sich ebenfalls ein signifikant erhöhtes Versterberisiko zum Vergleichskollektiv der nicht geriatrischen Patienten. Aufgrund der großen Zahl möglicher Komorbiditäten von fast 30 relevanten Erkrankungen sahen Werman et al. die Umsetzung naturgemäß nur eingeschränkt möglich. [45] Die entsprechende Empfehlung der Autoren lautete daher, dass bei Vorliegen jedweder Komorbidität der Transport in ein Trauma Zentrum „in Betracht gezogen“ werden soll. In der vorliegenden Leitlinie wurde dieses Kriterium – in Absprache mit der AG Alterstraumatologie – zunächst nicht übernommen. Hintergrund der Entscheidung ist nach unserer Einschätzung einerseits die oftmals schlechte Evaluierbarkeit am Unfallort aber andererseits auch das erwartungsgemäß überproportional häufige Vorliegen einer Komorbidität bei älteren Patienten. Nach Ansicht der Leitlinienautoren und der AG würde der Einschluss zu einer massiven Overtriage alleine aufgrund dieses Kriteriums führen. Eine Re-Evaluation des Parameters „Komorbidität“ wird dann bei der nächsten Leitlinien-Überarbeitung erfolgen.

Ichwan et al. (2014) evaluierten die Anwendung der geriatrischen Triagekriterien hinsichtlich Sensitivität und Spezifität mit etablierten Triagekriterien nicht geriatrischer Traumapatienten [51].

Die von den Autoren untersuchten Triagekriterien beinhalteten a) GCS ≤ 14 und Verdacht auf SHT, b) sys. Blutdruck ≤ 100 mmHg, c) Fraktur e. langern Röhrenknochen nach Verkehrsunfall, oder d) ≥ 2 verletzte Körperregionen nach Verkehrsunfall, e) angefahrener Fußgänger f) Sturz/Fall mit Schädel-Hirn-Trauma.

Insgesamt konnten die Daten von 101 577 ausgewertet werden, von denen 33 379 älter als 69 Jahre waren. Als Vergleichskollektiv dienten 68 198 Patienten im Alter von 16 – 69 Jahren.

Die Sensitivität für schwerverletzte Patienten (ISS > 15) war bei Anwendung der nicht-geriatrischen Triagekriterien bei Patienten ≥ 70 mit 61% (95% KI 60% - 62%) deutlich herabgesetzt gegenüber der Sensitivität bei Patienten 16 – 68 Jahre (87%; 95% KI 86% - 87%). Bei Anwendung der geriatrischen Triagekriterien verbesserte sich die Sensitivität bei den Patienten ≥ 70 Jahre auf 93% (95% KI 92% – 93%).

Literatur

1. Dodek P, Herrick R, Phang PT. Initial management of trauma by a trauma team: effect on timeliness of care in a teaching hospital. *Am J Med Qual.* 2000;15(1):3-8.
2. Lomas GA, Goodall O. Trauma teams vs non-trauma teams. *Accid Emerg Nurs.* 1994;2(4):205-10.
3. Palmer SH, Maheson M. A radiological review of cervical spine injuries from an accident and emergency department: has the ATLS made a difference? *J Accid Emerg Med.* 1995;12(3):189-90.
4. Vernon DD, Furnival RA, Hansen KW, Diller EM, Bolte RG, Johnson DG, et al. Effect of a pediatric trauma response team on emergency department treatment time and mortality of pediatric trauma victims. *Pediatrics.* 1999;103(1):20-4.
5. Flohe S, Nast-Kolb D. [Surgical management of life-threatening injuries]. *Der Unfallchirurg.* 2009;112(10):854-9.
6. Aprahamian C, Wallace JR, Bergstein JM, Zeppa R. Characteristics of trauma centers and trauma surgeons. *J Trauma.* 1993;35(4):562-7; discussion 7-8.
7. Lott C, Araujo R, Cassar MR, Di Bartolomeo S, Driscoll P, Esposito I, et al. The European Trauma Course (ETC) and the team approach: past, present and future. *Resuscitation.* 2009;80(10):1192-6.
8. Sakellariou A, McDonald PJ, Lane RH. The trauma team concept and its implementation in a district general hospital. *Annals of the Royal College of Surgeons of England.* 1995;77(1):45-52.
9. Wong K, Petchell J. Trauma teams in Australia: a national survey. *ANZ J Surg.* 2003;73(10):819-25.
10. Champion HR, Sacco WJ, Copes WS. Improvement in outcome from trauma center care. *Arch Surg.* 1992;127(3):333-8; discussion 8.
11. Ruchholtz S, Waydhas C, Lewan U, Piepenbrink K, Stolke D, Debatin J, et al. A multidisciplinary quality management system for the early treatment of severely injured patients: implementation and results in two trauma centers. *Intensive Care Medicine.* 2002;28(10):1395-404.
12. Alberts KA, Bellander BM, Modin G. Improved trauma care after reorganisation: a retrospective analysis. *European Journal of Surgery.* 1999;165(5):426-30.
13. Albrink MH, Rodriguez E, England GJ, McKeown PP, Hurst JM, Rosemurgy AS, 2nd. Importance of designated thoracic trauma surgeons in the management of traumatic aortic transection. *Southern medical journal.* 1994;87(4):497-501.
14. Allen DM, Hicks G, Bota GW. Outcomes after severe trauma at a northern Canadian regional trauma centre. *Can J Surg.* 1998;41(1):53-8.
15. Bensard DD, McIntyre RC, Jr., Moore EE, Moore FA. A critical analysis of acutely injured children managed in an adult level I trauma center. *Journal of Pediatric Surgery.* 1994;29(1):11-8.
16. Brennan R, Cohen SS, Chambers JA, Andrews C. The OR suite as a unique trauma resuscitation bay. *AORN Journal.* 1994;60(4):576-7, 80-4.
17. Carmody IC, Romero J, Velmahos GC. Day for night: should we staff a trauma center like a nightclub? *Am Surg.* 2002;68(12):1048-51.
18. Cornwell EE, 3rd, Chang DC, Phillips J, Campbell KA. Enhanced trauma program commitment at a level I trauma center: effect on the process and outcome of care. *Archives of Surgery.* 2003;138(8):838-43.
19. D'Amelio LF, Hammond JS, Thomasseau J, Sutyak JP. "Adult" trauma surgeons with pediatric commitment: a logical solution to the pediatric trauma manpower problem. *Am Surg.* 1995;61(11):968-74.
20. Demarest GB, Scannell G, Sanchez K, Dziwulski A, Qualls C, Schermer CR, et al. In-house versus on-call attending trauma surgeons at comparable level I trauma centers: a prospective study. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care.* 1999;46(4):535-40; discussion 40-2.
21. Deo SD, Knottenbelt JD, Peden MM. Evaluation of a small trauma team for major resuscitation. *Injury.* 1997;28(9-10):633-7.
22. Eastes LS, Norton R, Brand D, Pearson S, Mullins RJ. Outcomes of patients using a tiered trauma response protocol. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care.* 2001;50(5):908-13.

23. Fortune JB, Sanchez J, Graca L, Haselbarth J, Kuehler DH, Wallace JR, et al. A pediatric trauma center without a pediatric surgeon: a four-year outcome analysis. *J Trauma*. 1992;33(1):130-7; discussion 7-9.
24. Fulda GJ, Tinkoff GH, Giberson F, Rhodes M. In-house trauma surgeons do not decrease mortality in a level I trauma center. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care*. 2002;53(3):494-500; discussion -2.
25. Hall JR, Reyes HM, Meller JL, Loeff DS, Dembek R. The outcome for children with blunt trauma is best at a pediatric trauma center. *Journal of Pediatric Surgery*. 1996;31(1):72-6; discussion 6-7.
26. Hartmann J, Gabram S, Jacobs L, Libby M. A model for an integrated emergency medicine/trauma service. *Academic Emergency Medicine*. 1996;3(12):1136-9.
27. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. Weißbuch Schwerverletztenversorgung 2019.
28. Helling TS, Nelson PW, Shook JW, Lainhart K, Kintigh D. The presence of in-house attending trauma surgeons does not improve management or outcome of critically injured patients. *Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care*. 2003;55(1):20-5.
29. Georgiou A, Lockey DJ. The performance and assessment of hospital trauma teams. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2010;18:66.
30. Weile J, Nielsen K, Primdahl SC, Frederiksen CA, Laursen CB, Sloth E, et al. Trauma facilities in Denmark - a nationwide cross-sectional benchmark study of facilities and trauma care organisation. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2018;26(1):22.
31. Jacobs IA, Kelly K, Valenziano C, Chevinsky AH, Pawar J, Jones C. Cost savings associated with changes in routine laboratory tests ordered for victims of trauma. *Am Surg*. 2000;66(6):579-84.
32. McLaughlan CA, Jones K, Guly HR. Interpretation of trauma radiographs by junior doctors in accident and emergency departments: a cause for concern? *J Accid Emerg Med*. 1997;14(5):295-8.
33. Velmahos GC, Fili C, Vassiliu P, Nicolaou N, Radin R, Wilcox A. Around-the-clock attending radiology coverage is essential to avoid mistakes in the care of trauma patients. *Am Surg*. 2001;67(12):1175-7.
34. Porter JM, Ursic C. Trauma attending in the resuscitation room: does it affect outcome? *American Surgeon*. 2001;67(7):611-4.
35. Bieler D, Trentzsch H, Franke A, Baacke M, Lefering R, Paffrath T, et al. Evaluation of a standardized instrument for post hoc analysis of trauma-team-activation-criteria in 75,613 injured patients an analysis of the TraumaRegister DGU®. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2021.
36. Brown JB, Gestring ML, Forsythe RM, Stassen NA, Billiar TR, Peitzman AB, et al. Systolic blood pressure criteria in the National Trauma Triage Protocol for geriatric trauma: 110 is the new 90. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;78(2):352-9.
37. Hasler RM, Nuesch E, Juni P, Bouamra O, Exadaktylos AK, Lecky F. Systolic blood pressure below 110 mm Hg is associated with increased mortality in blunt major trauma patients: multicentre cohort study. *Resuscitation*. 2011;82(9):1202-7.
38. Hasler RM, Nuesch E, Juni P, Bouamra O, Exadaktylos AK, Lecky F. Systolic blood pressure below 110 mmHg is associated with increased mortality in penetrating major trauma patients: Multicentre cohort study. *Resuscitation*. 2012;83(4):476-81.
39. Lehmann R, Brounts L, Lesperance K, Eckert M, Casey L, Beekley A, et al. A simplified set of trauma triage criteria to safely reduce overtriage: a prospective study. *Archives of Surgery*. 2009;144(9):853-8.
40. Shawhan RR, McVay DP, Casey L, Spears T, Steele SR, Martin MJ. A simplified trauma triage system safely reduces overtriage and improves provider satisfaction: a prospective study. *American Journal of Surgery*. 2015;209(5):856-62; discussion 62-3.
41. Singh A, Ali S, Agarwal A, Srivastava RN. Correlation of shock index and modified shock index with the outcome of adult trauma patients: a prospective study of 9860 patients. *North American Journal of Medical Sciences*. 2014;6(9):450-2.

42. Tignanelli CJ, er Kolk WE, Mikhail JN, Delano MJ, Hemmila MR. Noncompliance with American College of Surgeons Committee on Trauma recommended criteria for full trauma team activation is associated with undertriage deaths. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;84(2):287-94.
43. Dehli T, Monsen SA, Fredriksen K, Bartnes K. Evaluation of a trauma team activation protocol revision: a prospective cohort study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2016;24(1):105.
44. Kalkwarf KJ, Goodman MD, Press GM, Wade CE, Cotton BA. Prehospital ABC Score Accurately Forecasts Patients Who Will Require Immediate Resource Utilization. *Southern medical journal*. 2021;114(4):193-8.
45. Werman HA, Erskine T, Caterino J, Riebe JF, Valasek T. Development of statewide geriatric patients trauma triage criteria. *Prehosp Disaster Med*. 2011;26(3):170-9.
46. Damme CD, Luo J, Buesing KL. Isolated prehospital hypotension correlates with injury severity and outcomes in patients with trauma. *Trauma Surgery & Acute Care Open*. 2016;1(1):e000013.
47. Franklin GA, Boaz PW, Spain DA, Lukan JK, Carrillo EH, Richardson JD. Prehospital hypotension as a valid indicator of trauma team activation. *J Trauma*. 2000;48(6):1034-7; discussion 7-9.
48. Tinkoff GH, O'Connor RE. Validation of new trauma triage rules for trauma attending response to the emergency department. *J Trauma*. 2002;52(6):1153-8; discussion 8-9.
49. Henry MC. Trauma triage: New York experience. *Prehosp Emerg Care*. 2006;10(3):295-302.
50. Heindl B, Trentzsch H, Flohe S. [Emergency intervention rate in the emergency room depending on the alerting criteria : Prospective data analysis of a supraregional trauma center]. *Der Unfallchirurg*. 2021;4:04.
51. Ichwan B, Darbha S, Shah MN, Thompson L, Evans DC, Boulger CT, et al. Geriatric-specific triage criteria are more sensitive than standard adult criteria in identifying need for trauma center care in injured older adults. *Ann Emerg Med*. 2015;65(1):92-100.e3.
52. Bond RJ, Kortbeek JB, Preshaw RM. Field trauma triage: combining mechanism of injury with the prehospital index for an improved trauma triage tool. *J Trauma*. 1997;43(2):283-7.
53. Norcross ED, Ford DW, Cooper ME, Zone-Smith L, Byrne TK, Yarbrough DR, 3rd. Application of American College of Surgeons' field triage guidelines by pre-hospital personnel. *J Am Coll Surg*. 1995;181(6):539-44.
54. Santaniello JM, Esposito TJ, Luchette FA, Atkian DK, Davis KA, Gamelli RL. Mechanism of injury does not predict acuity or level of service need: field triage criteria revisited. *Surgery*. 2003;134(4):698-703; discussion -4.
55. Hranjec T, Sawyer RG, Young JS, Swenson BR, Calland JF. Mortality factors in geriatric blunt trauma patients: creation of a highly predictive statistical model for mortality using 50,765 consecutive elderly trauma admissions from the National Sample Project. *The American surgeon*. 2012;78(12):1369-75.
56. Bundesamt S. 2022. Available from: https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/_inhalt.html;jsessionid=45700D045F2C8FEA849F07BDD82364A6.live732#sprg371138.
57. Scalea TM, Simon HM, Duncan AO, Atweh NA, Sclafani SJ, Phillips TF, et al. Geriatric blunt multiple trauma: improved survival with early invasive monitoring. *J Trauma*. 1990;30(2):129-34; discussion 34-6.
58. Mayet W-J. Definition des geriatrischen Patienten, Bedeutung für die Gastroenterologie und geriatrisches Assessment. *Der Gastroenterologe*. 2021;16(5):317-23.
59. Mina AA, Knipfer JF, Park DY, Bair HA, Howells GA, Bendick PJ. Intracranial complications of preinjury anticoagulation in trauma patients with head injury. *J Trauma*. 2002;53(4):668-72.
60. Pieracci FM, Eachempati SR, Shou J, Hydo LJ, Barie PS. Degree of anticoagulation, but not warfarin use itself, predicts adverse outcomes after traumatic brain injury in elderly trauma patients. *J Trauma*. 2007;63(3):525-30.
61. Schoeneberg C, Probst T, Schilling M, Wegner A, Hussmann B, Lendemans S. Mortality in severely injured elderly patients: a retrospective analysis of a German level 1 trauma center (2002-2011). *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2014;22:45.

62. Sampalis JS, Nathanson R, Vaillancourt J, Nikolis A, Liberman M, Angelopoulos J, et al. Assessment of mortality in older trauma patients sustaining injuries from falls or motor vehicle collisions treated in regional level I trauma centers. *Ann Surg.* 2009;249(3):488-95.
63. Shifflette VK, Lorenzo M, Mangram AJ, Truitt MS, Amos JD, Dunn EL. Should age be a factor to change from a level II to a level I trauma activation? *J Trauma.* 2010;69(1):88-92.
64. Sektion Intensiv- & Notfallmedizin Schwerverletztenversorgung (NIS) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU), AUC - Akademie der Unfallchirurgie GmbH. *TraumaRegister DGU Jahresbericht 2021.* 2021.
65. Goodmanson NW, Rosengart MR, Barnato AE, Sperry JL, Peitzman AB, Marshall GT. Defining geriatric trauma: when does age make a difference? *Surgery.* 2012;152(4):668-74; discussion 74-5.
66. Lane P, Sorondo B, Kelly JJ. Geriatric trauma patients-are they receiving trauma center care? *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine.* 2003;10(3):244-50.
67. Nakamura Y, Daya M, Bulger EM, Schreiber M, Mackersie R, Hsia RY, et al. Evaluating age in the field triage of injured persons. *Ann Emerg Med.* 2012;60(3):335-45.
68. Champion HR, Copes WS, Buyer D, Flanagan ME, Bain L, Sacco WJ. Major trauma in geriatric patients. *Am J Public Health.* 1989;79(9):1278-82.
69. Tornetta P, 3rd, Mostafavi H, Riina J, Turen C, Reimer B, Levine R, et al. Morbidity and mortality in elderly trauma patients. *J Trauma.* 1999;46(4):702-6.

2.3 Reanimation

J.T. Gräsner*, O. Özkurtul, K.-O. Jensen, C. Kleber, H. Trentzsch, M. Fröhlich, M. Helm, C. Kugler#, A. Weise#, M. Bernhard

Der traumatisch bedingte Herzkreislaufstillstand (TCA) erfordert ein adaptiertes und zum Teil von den regulären Reanimationsmaßnahmen kardioembolischen Ereignissen abweichendes Vorgehen.

Aus diesem Grund wurden bereits 2015 die internationalen Empfehlungen des European Resuscitation Councils (ERC) zur Reanimation um einen eigenen Abschnitt zum Thema „TCA“ ergänzt [1, 2]. Auch in der aktuellen Neuauflage der ERC-Reanimationsempfehlungen wurde die Thematik TCA behandelt, wobei insbesondere für die Erstversorgung keine wesentlichen Änderungen aufgenommen wurden [3, 4].

Die vormalige Annahme, dass Patienten nach einem TCA keine Überlebenschance haben, wurde in mehreren Arbeiten und großen Registerstudien widerlegt [5-10].

Das Kapitel Reanimation in dieser S3-Leitlinie geht nicht auf die allgemeinen Therapieverfahren bei der Reanimation (z.B. Adrenalingabe, post-Reanimationsbehandlung [4]) ein, sondern stellt die Besonderheiten bei TCA vor.

Kriterien eines Herzkreislaufstillstandes

2.3.1	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Bewusstlosigkeit und keiner oder nicht-normaler Atmung (Schnappatmung) soll unverzüglich mit einer kardiopulmonalen Reanimation begonnen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.3.2	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Medizinisches Fachpersonal sollte auch gleichzeitig den Carotis-Puls tasten.	
	Konsensstärke: 88%	

Die Kriterien zur Feststellung eines Herzkreislaufstillstandes sind universell und auch bei Schwerverletzten/Polytrauma anzuwenden. Bereits vor mehreren Jahren wurden die Erkennungskriterien für einen Herzkreislaufstillstand auf die Überprüfung der Bewusstlosigkeit und eine nicht vorhandene oder nicht-normale Atmung reduziert [1, 4, 11]. Sobald beide Kriterien erfüllt sind, soll unverzüglich mit Wiederbelebungsmaßnahmen begonnen werden. Dieses universelle Vorgehen zur Feststellung eines Herzkreislaufstillstandes ist für alle Ursachen gleich, die nachfolgende Therapie unterscheidet sich bei TCA deutlich.

Aufgrund der Unsicherheit bei der Carotis-Puls-Kontrolle wird dieser Maßnahme, entgegen früheren Empfehlungen, keine zusätzliche Zeit bei der Erst-Diagnostik eingeräumt. Durch professionelles Rettungsdienst- oder Klinikpersonal sollte die Carotis-Puls-Kontrolle parallel zur Kontrolle der Atmung

durchgeführt werden [1, 4, 11, 12]. Entscheidend ist hierbei, dass durch die Carotis-Puls-Kontrolle weder eine Verzögerung der Feststellung des Herzkreislaufstillstandes noch der nachfolgenden Maßnahmen verursacht werden darf.

Auch bei Verdacht auf TCA soll zeitnah und ohne Verzögerung der Trauma- und Reanimationsspezifischen Maßnahmen ein EKG abgeleitet werden. Dies ist sowohl für die Detektion von anderen Ursachen (z.B. Kammerflimmern) als auch für die Detektion einer pulslosen elektrischen Aktivität (PEA) von Bedeutung. Eine vorhandene elektrische Aktivität sollte jedoch nicht mit einem kardialen Auswurf und damit einem funktionierenden Blutkreislauf gleichgesetzt werden, da insbesondere bei den Ursachen Hypovolämie, Spannungspneumothorax und Herzbeutelamponade mit einer PEA zu rechnen ist [3, 4, 6].

Vorgehensweise bei einem traumatisch bedingtem Herzkreislaufstillstand

2.3.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei der Behandlung des traumatisch bedingten Herzkreislaufstillstands soll beachtet werden, dass dieser eine andere Pathophysiologie als der nicht-traumatisch bedingte Herzkreislaufstillstand hat und sich das Vorgehen daher grundlegend unterscheidet.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Versorgung von Patienten mit traumatisch bedingtem Herzkreislaufstillstand orientiert sich nicht nur an der Aufrechterhaltung bzw. Etablierung eines Minimalkreislaufes mittels Thoraxkompression, sondern zielt primär auf die mögliche Ursachenbehebung des TCA ab.

Ursächlich für einen traumatisch bedingten Herzkreislaufstillstand können Atemwegsprobleme mit nachfolgender Hypoxie, Ventilationsprobleme mit ebenfalls Hypoxie, absolute oder relative Hypovolämie durch Verbluten (Hämatorax) oder Verlegung der großen venösen Gefäße oder im Rahmen eines obstruktiven Schocks mit vermindertem venösen Rückstrom aufgrund einer von Überdruck in der Pleurahöhle mit Mediastinalverlagerung (Spannungspneu) oder vermindertem enddiastolischem Füllungsdruck bei einer Perikardtamponade sein.

Seit mehreren Jahren stehen spezielle Ablaufpläne bzw. Algorithmen zur Verfügung, die den Besonderheiten des TCA Rechnung tragen [2-4, 13]. Die aktuellen ERC-Leitlinien zur kardiopulmonalen Reanimation aus dem Jahre 2021 beschreiben die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei TCA verglichen mit nicht-traumatischem Kreislaufstillstand in einem auch in Deutschland anerkannten Format [3, 4].

2.3.4	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die Reanimation des traumatisch-bedingten Herz-Kreislaufstillstandes soll sich auf die sofortige, gleichzeitige Behandlung reversibler Ursachen konzentrieren und hat Vorrang vor Thoraxkompression.	
	Konsensstärke: 100%	

Die sonst üblichen zentralen und gegenüber allen anderen Maßnahmen mit höchster Priorität durchgeführten hochwertigen Thoraxkompressionen haben sich aufgrund der Ursachen eines TCA als

nicht effektiv erwiesen und können häufig nicht – wie sonst – zu einem Aufbau eines Minimalkreislaufs führen. Bei Hypovolämie, Spannungspneumothorax oder einer Perikardtamponade sind Thoraxkompressionen also nicht so effektiv wie bei einem nicht-traumatologisch bedingten Kreislaufstillstand. Das enddiastolische kardiale Füllungsvolumen bleibt aufgrund von Hypovolämie oder bei obstruktiven Schockformen, wie bei einem Spannungspneumothorax oder einer Perikardtamponade, trotz korrekt durchgeführter, externer Thoraxkompressionen selbst bei normovolämischen Patienten niedrig. Aufgrund dieser Umstände haben beim TCA die Thoraxkompressionen eine geringere Priorität im Vergleich zur sofortigen Behandlung der oben genannten reversiblen Ursachen. Die aktuellen Empfehlungen des ERC sehen daher eine primäre Konzentration auf die Erkennung und Behandlung der reversiblen Ursachen als höherwertig als die Durchführung der Thoraxkompressionen an. Sind ausreichend Teammitglieder an der Einsatzstelle oder im Schockraum vorhanden, sollte aber parallel zur Behandlung der reversiblen Ursachen Thoraxkompression durchgeführt werden [3, 4, 11].

2.3.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Während der kardiopulmonalen Reanimation sollen zeitgleich leitliniengerecht traumaspezifische reversible Ursachen des Herzkreislaufstillstandes (nach xABCDE-Schema; z.B. externe Blutung, Atemwegsobstruktion, ösophageale Fehlintonation, Spannungspneumothorax, Perikardtamponade und Hypovolämie) diagnostiziert, ausgeschlossen und/oder therapiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.3.6	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei einem Trauma-assoziierten Herzkreislaufstillstand soll ein sequentielles Vorgehen gewählt werden mit <ul style="list-style-type: none"> • Blutstillung (bei massiven externen Blutungen), • Atemwegssicherung, • bilaterale Pleuraraumdekompression mittels chirurgischer Minithorakotomie, • nicht-invasive externe Beckenstabilisierung, • Blutprodukten, • sowie in bestimmten Konstellationen • Notfallthorakotomie zur Beseitigung einer Perikardtamponade und proximalem Aortenclamping oder REBOA 	
	Konsensstärke: 100%	

Die bereits erwähnten Algorithmen zur parallel laufenden Diagnostik und Therapie reversibler Ursachen konzentrieren sich auf die erwartbaren Ursachen, die einem traumatisch bedingtem Herzkreislaufstillstand zu Grunde liegen [3]. Unkontrollierter Blutverlust ist die häufigste vermeidbare Todesursache nach schwerem Unfalltrauma. Daher kommt der frühzeitigen Blutstillung ein besonderer Stellenwert zu. Es gilt daher auch beim TCA, massive äußere Blutungen mit erhöhter Priorität – also noch vor allen anderen Behandlungsprioritäten im ABCDE des Traumas zu stoppen. Die initiale Empfehlung führt hierbei die Versorgung analog des x-ABCDE-Schemas auf und integriert die Versorgung vom externen Blutungen, die Behebung einer Atemwegsobstruktion, die Korrektur einer

ösophagealen Fehlintubation, die Therapie eines Spannungspneumothorax oder einer Perikardtamponade sowie die Volumensubstitution bei Hypovolämie.

Die Autorengruppe hat sich als Expertenmeinung explizit auf ein „sequentielles Vorgehen“ geeinigt, das neben den eigentlichen Maßnahmen auch die Reihenfolge, in der mögliche Probleme adressiert werden, beschreibt.

Blutstillung

Hierbei steht, analog der x-ABCDE Vorgehensweise, initial die Blutstillung im Vordergrund. Bei ausbleibender Blutstillung kann weder eine eingeleitete Volumensubstitution noch begonnene Thoraxkompressionen zum Erfolg führen [14, 15].

2.3.7	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Beim traumatischen bedingtem Herz-Kreislaufstillstand sollen alle Maßnahmen (z.B. äußerer Druck, Hämostyptika und Tourniquets, Beckenschlinge) zur Blutungskontrolle durchgeführt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Expertengruppe empfiehlt die Anwendung der im Rettungsdienst und im Schockraum etablierten Verfahren zur Stillung äußerer Blutungen. Auch hier wird ein abgestuftes und der Ursache entsprechendes Verfahren empfohlen, welches je nach Ursache mit direktem äußeren Druck auf die Blutung, der – wenn machbar – Anlage von Tourniquets, bei Indikation dem Einsatz von Hämostyptika und der Anlage einer Beckenschlinge bei entsprechender Indikation einhergeht.

Es soll primär versucht werden, aktive Blutungen durch manuelle Kompression und Hochlagerung der Extremität zum Stillstand zu bringen. Anschließend soll ein Druckverband, ggf. unter der Anwendung von Hämostyptika angelegt werden. Ist dieser nicht ausreichend, soll über dem ersten die Anlage eines zweiten Druckverbandes erfolgen. Zum Ausüben einer fokussierten Kompression kann z.B. ein Verbandspäckchen(sog. Druckpolster) verwendet werden.

Die Expertengruppe konnte keine Evidenz für einen passenden Zeitpunkt der Anlage einer Beckenschlinge herausarbeiten. Die Anlage einer Beckenschlinge sollte in der Reihenfolge nach Durchführung einer evtl. notwendigen bilaterale Pleuraraumdekompression mittels chirurgischer Minithorakotomie, um keinen Zeitverlust durch diese Maßnahmen zu verursachen.

Für die allgemeinen Hinweise zu Tourniquet, Hämostyptika und Beckenschlinge wird auf die entsprechenden Kapitel dieser S3 Leitlinie verwiesen. Ebenso wird auf die entsprechenden Kapitel zur operativen Blutstillung verwiesen.

Atemwegssicherung und Beatmung

Die Beseitigung von A- und B-Problemen mittels Atemwegssicherung dient der Versorgung mehrerer Ursachen, denn Hypoxämien (z.B. sichtbare Zyanose, niedrige Sauerstoffsättigung) durch Atemwegsverlegungen und stumpfe Thoraxtraumen sind für 13% aller TCA verantwortlich [13]. Ohne freie Atemwege kann keine suffiziente Ventilation erfolgen [16, 17]. Die Atemwegssicherung erfolgt wie im entsprechenden Kapitel der S3 Leitlinie beschrieben. Die Beatmung soll oligat kapnografisch kontrolliert und eine Normokapnie angestrebt werden. Bei ausgeprägter Hypovolämie und entsprechend assoziierter Hypotension kann es zu Minderperfusionsassoziierten korreliert erniedrigten Kapnographiewerten kommen. Insbesondere bei videolarygoskopisch gesicherter Tubuslage (sichtbarer Durchtritt des Endotrachealtubus durch die Stimmbandebene) und erkennbaren

Thoraxexkursionen unter der Beatmung sind falsch negative Werte vernachlässigbar. Vor allem bei hypotonen Patienten kann eine Überdruckbeatmung durch Verminderung des venösen Rückstroms zum Herzen die Hypotonie verstärken. Niedrige Atemhubvolumina und Beatmungsfrequenzen helfen, die kardiale Vorlast zu optimieren. Bei einer ausgeprägten Hypovolämie kann der Verzicht auf Beatmung mit erhöhtem PEEP sinnvoll sein, um die Vorlast und die kardiale Füllung nicht zu beeinträchtigen.

Spannungspneumothorax

Ein Spannungspneumothorax ist die häufigste behandelbare Ursache eines TCA. Darüber hinaus entwickeln 13% der schwer verletzten Patienten mit Spannungspneumothorax im Verlauf einen TCA [3, 10, 13, 18]. Beide Beobachtungen unterstreichen die Bedeutung einer Detektion eines Spannungspneumothorax und die Notwendigkeit einer unverzüglichen Therapie.

2.3.8	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Wird ein Spannungspneumothorax vermutet, soll bei Patienten mit traumatisch bedingtem Herz-Kreislaufstillstand eine beidseitige Entlastung mittels Minithorakotomie vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[18] Huber-Wagner 2007: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Die Entlastung eines Spannungspneumothorax soll bereits erfolgen, wenn die Helfer diesen vermuten. Hierbei soll die Eröffnung beider Thoraxseiten mittels chirurgischer Minithorakotomie vorgenommen werden [3, 18-22].

Blutprodukte

Die Expertengruppe sieht in der Gabe von Blutprodukten eine zusätzliche Möglichkeit, eine bestehende Hypotonie und Hypoxie zu therapieren. Dies gilt auch für die prähospitale Gabe von Blutprodukten. Hierzu existieren in Deutschland aktuell Modellprojekte. Die internationale Datenlage bietet bisher keine ausreichende Evidenz für eine höhergradige Empfehlung [23, 24].

Prähospitaler Notfallthorakotomie

2.3.9	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Eine prähospitaler Notfallthorakotomie kann bei nachfolgenden Indikationen (stabiler Herzrhythmus bei Eintreffen des Rettungsteams und/oder Herz-Kreislaufstillstand <15 Minuten, vermutete Perikardtamponade) im Rahmen eines beobachteten Herz-Kreislaufstillstandes beim Traumapatienten eingesetzt werden.	
	Konsensstärke: 87%	

Mit den ERC Guidelines 2015 wurde die Thematik der auch prähospitalen Notfallthorakotomie neu diskutiert [2, 3, 13, 25, 26]. Die vorhandene Literatur beschreibt einen Vorteil dieser Methode bei penetrierenden Thoraxverletzungen.

Die Überlebensrate nach Notfallthorakotomie wird für alle Patienten mit ca. 15%, für Patienten mit einer penetrierenden Herzverletzung mit ca. 35% beziffert. Demgegenüber wird bei Notfallthorakotomien nach stumpfem Trauma schlechte Überlebensraten mit 0-2% berichtet [27, 28].

Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Notfallthorakotomie können mit der 4-E-Regel gemäß den ERC Leitlinien zusammengefasst werden [3]:

Expertise (Erfahrung): Teams, die eine Notfallthorakotomie durchführen, sind von einer sehr gut ausgebildeten und kompetenten medizinischen Fachperson zu führen und anzuleiten, unter strukturierten Rahmenbedingungen arbeiten.

Equipment (Ausrüstung): Eine adäquate Ausrüstung zur Durchführung der Notfallthorakotomie und Behandlung der intraoperativ erhobenen Befunde ist notwendig.

Environment (Umgebung): Idealerweise soll die Notfallthorakotomie in einem Operationsaal durchgeführt werden. Sie soll nicht stattfinden, wenn der Zugang zum Patienten erschwert oder das Zielkrankenhaus nicht leicht zu erreichen ist.

Elapsed time (Zeitverzögerung): Die Verzögerung vom Eintreten des Kreislaufstillstands bis zum Beginn der Notfallthorakotomie soll nicht mehr als zehn Minuten betragen.

Spezielle innerklinische Verfahren

Invasive Druckmessung

2.3.10	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Zur invasiven kontinuierlichen Blutdruckmessung sollte im Schockraum ein intraarterieller Katheter angelegt werden, ohne dass Maßnahmen zur Behebung reversibler Ursachen und Basismaßnahmen der Reanimation verzögert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Expertengruppe sieht in der Anlage einer intraarteriellen Druckmessung eine Möglichkeit, durch die kontinuierliche Blutdruckmessung im Schockraum die Effizienz der Reanimationsmaßnahmen zu objektivieren. Dabei darf es durch die Anlage des intraarteriellen Katheters weder zu einer Unterbrechung noch zu einer Verzögerung der kardiopulmonalen Reanimation und der Beseitigung von reversiblen Ursachen des TCA kommen.

Welchen Stellenwert hat die Notfallthorakotomie bei einem posttraumatischen Herzkreislaufstillstand im Schockraum?

2.3.11	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine Notfallthorakotomie sollte bei penetrierenden thorakalen oder thorakoabdominalen Verletzungen, insbesondere nach kurz zurückliegendem Beginn des Herzkreislaufstillstandes, und initial bestehenden Lebenszeichen durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.3.12	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Eine innerklinische Notfallthorakotomie sollte bei nachfolgenden Indikationen (prähospitaler Reanimation <10 Minuten, Herzkreislaufstillstand im Schockraum) im Rahmen eines beobachteten Herzkreislaufstillstands beim Traumpatienten eingesetzt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Auch für die innerklinische erweiterte chirurgische Maßnahme steht die Notfallthorakotomie zur Verfügung. Zu den Rahmenbedingungen wird auf die weiter oben genannten Ausführungen zur prähospitalen Anwendung verwiesen. Die Indikation für eine Notfallthorakotomie ergeben sich aus intrathorakalen Verletzungen (v.a. Herz und Lunge) als auch zur proximalen Blutungskontrolle durch temporäres Ausklemmen der Aorta thoracica [29].

Indikationen können sein:

- persistierende Hypotension (RRsys <70mmHg) trotz Volumen und Katecholamintherapie und ausgeprägten intrathorakalen Blutung (>1500ml Blut via Thoraxdrainage)
- Perikardtamponade
- Luftembolie
- Tracheobronchialer Abriss
- Beobachter Herzkreislaufstillstand nach penetrierendem Trauma mit (<15min prähospitaler Reanimation)
- Temporäre Aortenausklemmung bei unkontrollierbarer abdomineller oder pelviner Blutung

REBOA

2.3.13	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die REBOA kann im Rahmen von traumatisch bedingter Reanimationen zur temporären proximalen Blutungskontrolle dienen.	
	Konsensstärke: 92%	

Eine Alternative zur temporären Blutungskontrolle kann die REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta) darstellen. Vergleiche auch Empfehlung 2.6.3.

Vorteil der REBOA ist die niedrigere Invasivität im Vergleich zur Notfallthorakotomie. Nachteil sind sicherlich die hohen Materialkosten. Durch Auswahl der anatomischen Lokalisation der Ballontamponade der Aorta können selektiv in Abhängigkeit der Verletzungen die jeweiligen Areale temporäre okkludiert werden (Zoneneinteilung I-III). Durch eine unvollständige Blockade konnte im Tiermodell sogar die Ischämiezeit verlängert werden.

Vorsicht ist jedoch bei der Anwendung im Rahmen von Beckenverletzungen geboten, da eine Anlage des inguinalen Gefäßzuganges auf Seite der traumatischen Gefäßläsion im Rahmen von komplexen Beckenverletzungen zu einer Fehllage des Okklusionsballons führen kann. Daher empfehlen die Autoren die Anwendung einer konventionellen Röntgen Beckenübersichtsaufnahme zur Einschätzung der Beckenverletzung und mutmaßlichen intakten iliakalen Gefäßachse [30-39].

ECLS

2.3.14	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ⇔	Im Einzelfall kann bei polytraumatisierten Patienten mit therapierefraktärem Kreislaufstillstand eine extrakorporale Zirkulation und Oxygenierung erwogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Für ausgewählten Patienten zeigt sich ein erfolgreicher Einsatz extrakorporaler Unterstützungsverfahren (ECLS). Abhängig von der Verletzungsschwere kann das Verfahren bei therapierefraktärem Herzkreislaufstillstand und/oder pulmonalem Versagen überbrückend eine geeignete hämodynamische Unterstützung darstellen [2, 3]. Ein erfolgreiches ECLS-Programm benötigt eine adäquate Struktur und ein multidisziplinäres Team. Ausrüstung, Personal und weitere Ressourcen müssen rund um die Uhr gewährleistet sein. Entsprechende Empfehlungen zur Ausstattung und Teamvorbereitung wurden veröffentlicht [11, 40-43].

Beendigung der Reanimationsmaßnahmen

2.3.15	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Vor Abbruch der Reanimationsmaßnahmen sollen alle potentiell reversiblen Ursachen eines traumatischen Herzkreislaufstillstandes ausgeschlossen oder behandelt sein.	
	Konsensstärke: 100%	

2.3.16	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei frustraner Reanimation nach Beseitigung möglicher traumaspezifischer, reversibler Ursachen des Herzkreislaufstillstandes soll die kardiopulmonale Reanimation beendet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

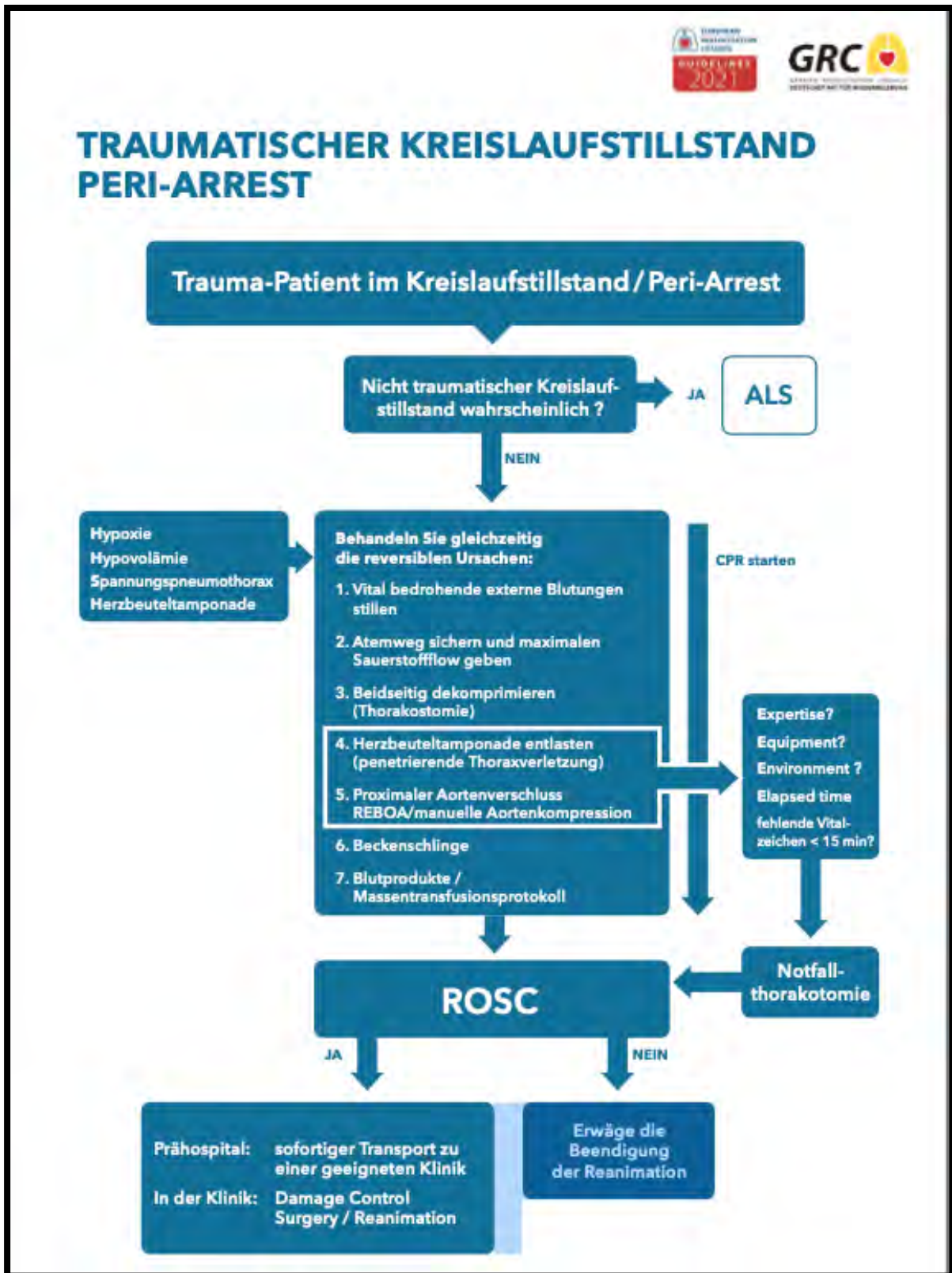
2.3.17	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Vorliegen von sicheren Todeszeichen oder mit dem Leben nicht zu vereinbarenden Verletzungen soll die kardiopulmonale Reanimation nicht begonnen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Der Erfolg einer kardiopulmonalen Reanimation bei TCA Patienten ist zum einen abhängig von der bereits vorliegenden Zeit des Herzkreislaufstillstandes und zum anderen von der Möglichkeit, während der Reanimation traumaspezifische Ursachen des Herzkreislaufstillstandes zu beseitigen. Trotz Umsetzung der zuvor aufgeführten therapeutischen Maßnahmen (z.B. Minithorakotomie) zur Beseitigung traumaspezifischer Ursachen des Herzkreislaufstillstandes kann die kardiopulmonale Reanimation frustriert verlaufen. Lassen sich während der kardiopulmonalen Reanimation keine reversiblen Ursachen feststellen oder führt deren Beseitigung nicht zum Wiedereintritt einer spontanen Kreislauffunktion (Return Of Spontaneous Circulation [ROSC]), dann soll die Reanimation abgebrochen werden.

Die anerkannten sicheren Todeszeichen signalisieren einen irreversiblen Zelltod von lebenswichtigen Organen und sind somit Indikatoren eine kardiopulmonale Reanimation zu unterlassen. Beim Vorliegen von sicheren Todeszeichen oder mit dem Leben nicht zu vereinbarenden Verletzungen soll die kardiopulmonale Reanimation nicht begonnen werden. Die Entscheidung zur Fortführung oder zum Abbruch der kardiopulmonalen Reanimation liegt in der Verantwortung der behandelnden Ärzte und soll im Konsens gefällt werden. Eine Zeitangabe zur Einstellung einer frustrierten Reanimation kann nicht gegeben werden.

Für die Prähospitalphase gilt, dass bei Fehlen sicherer Todeszeichen oder von Verletzungen, die mit dem Leben nicht vereinbar sind, die reine klinische Einschätzung Unfallverletzter unzuverlässig ist und im Zweifelsfall ein Transport in die nächstgelegene geeignete Klinik anzustreben ist.

Abbildung 1: ERC/GRC-Ablaufalgorithmus bei traumatisch bedingtem Kreislaufstillstand [3]



Literatur

1. Soar J, Nolan JP, Bottiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2015;95:100-47.
2. Truhlar A, Deakin CD, Soar J, Khalifa GE, Alfonzo A, Bierens JJ, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation*. 2015;95:148-201.
3. Lott C, Truhlar A, Alfonzo A, Barelli A, Gonzalez-Salvado V, Hinkelbein J, et al. Corrigendum to "European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances" [*Resuscitation* 161 (2021) 152-219]. *Resuscitation*. 2021;167:91-2.
4. Perkins GD, Grasner JT, Semeraro F, Olasveengen T, Soar J, Lott C, et al. Corrigendum to "European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive summary" [*Resuscitation* (2021) 1-60]. *Resuscitation*. 2021;163:97-8.
5. Grasner JT, Meybohm P, Lefering R, Wnent J, Bahr J, Messelken M, et al. ROSC after cardiac arrest--the RACA score to predict outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J*. 2011;32(13):1649-56.
6. Grasner JT, Wnent J, Seewald S, Meybohm P, Fischer M, Paffrath T, et al. Cardiopulmonary resuscitation traumatic cardiac arrest--there are survivors. An analysis of two national emergency registries. *Crit Care*. 2011;15(6):R276.
7. Grasner JT, Herlitz J, Tjelmeland IBM, Wnent J, Masterson S, Lilja G, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Epidemiology of cardiac arrest in Europe. *Resuscitation*. 2021;161:61-79.
8. Doan TN, Wilson D, Rashford S, Sims L, Bosley E. Epidemiology, management and survival outcomes of adult out-of-hospital traumatic cardiac arrest due to blunt, penetrating or burn injury. *Emerg Med J*. 2022;39(2):111-7.
9. Kitano S, Fujimoto K, Suzuki K, Harada S, Narikawa K, Yamada M, et al. Evaluation of outcomes after EMS-witnessed traumatic out-of-hospital cardiac arrest caused by traffic collisions. *Resuscitation*. 2022;171:64-70.
10. Vianen NJ, Van Lieshout EMM, Maissan IM, Bramer WM, Hartog DD, Verhofstad MHJ, et al. Prehospital traumatic cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2022.
11. Soar J, Bottiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djarv T, et al. Corrigendum to "European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult Advanced Life Support" [*Resuscitation* 161 (2021) 115-151]. *Resuscitation*. 2021;167:105-6.
12. Eberle B, Dick WF, Schneider T, Wisser G, Doetsch S, Tzanova I. Checking the carotid pulse check: diagnostic accuracy of first responders in patients with and without a pulse. *Resuscitation*. 1996;33(2):107-16.
13. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, Haas NP, Buschmann CT. Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. *Resuscitation*. 2014;85(3):405-10.
14. Teixeira PG, Inaba K, Hadjizacharia P, Brown C, Salim A, Rhee P, et al. Preventable or potentially preventable mortality at a mature trauma center. *J Trauma*. 2007;63(6):1338-46; discussion 46-7.
15. Tien HC, Spencer F, Tremblay LN, Rizoli SB, Brenneman FD. Preventable deaths from hemorrhage at a level I Canadian trauma center. *J Trauma*. 2007;62(1):142-6.
16. Hess EP, Campbell RL, White RD. Epidemiology, trends, and outcome of out-of-hospital cardiac arrest of non-cardiac origin. *Resuscitation*. 2007;72(2):200-6.
17. Bushby N, Fitzgerald M, Cameron P, Marasco S, Bystrycki A, Rosenfeld JV, et al. Prehospital intubation and chest decompression is associated with unexpected survival in major thoracic blunt trauma. *Emergency medicine Australasia : EMA*. 2005;17(5-6):443-9.
18. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M, Kay MV, Paffrath T, Mutschler W, et al. Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest. *Resuscitation*. 2007;75(2):276-85.

19. Deakin CD, Davies G, Wilson A. Simple thoracostomy avoids chest drain insertion in prehospital trauma. *J Trauma*. 1995;39(2):373-4.
20. Leigh-Smith S, Harris T. Tension pneumothorax--time for a re-think? *Emerg Med J*. 2005;22(1):8-16.
21. Mistry N, Bleetman A, Roberts KJ. Chest decompression during the resuscitation of patients in prehospital traumatic cardiac arrest. *Emerg Med J*. 2009;26(10):738-40.
22. Escott ME, Gleisberg GR, Kimmel K, Karrer A, Cosper J, Monroe BJ. Simple thoracostomy. Moving beyond needle decompression in traumatic cardiac arrest. *JEMS*. 2014;39(4):26-32.
23. Crombie N, Doughty HA, Bishop JRB, Desai A, Dixon EF, Hancox JM, et al. Resuscitation with blood products in patients with trauma-related haemorrhagic shock receiving prehospital care (RePHILL): a multicentre, open-label, randomised, controlled, phase 3 trial. *Lancet Haematol*. 2022;9(4):e250-e61.
24. Rijnhout TWH, Wever KE, Marinus R, Hoogerwerf N, Geeraedts LMG, Jr., Tan E. Is prehospital blood transfusion effective and safe in haemorrhagic trauma patients? A systematic review and meta-analysis. *Injury*. 2019;50(5):1017-27.
25. Flaris AN, Simms ER, Prat N, Reynard F, Caillot JL, Voiglio EJ. Clamshell incision versus left anterolateral thoracotomy. Which one is faster when performing a resuscitative thoracotomy? The tortoise and the hare revisited. *World J Surg*. 2015;39(5):1306-11.
26. Karmy-Jones R, Nathens A, Jurkovich GJ, Shatz DV, Brundage S, Wall MJ, Jr., et al. Urgent and emergent thoracotomy for penetrating chest trauma. *J Trauma*. 2004;56(3):664-8; discussion 8-9.
27. Burlew CC, Moore EE, Moore FA, Coimbra R, McIntyre RC, Jr., Davis JW, et al. Western Trauma Association critical decisions in trauma: resuscitative thoracotomy. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2012;73(6):1359-63.
28. Truhlář A, Deakin CD, Soar J, Khalifa GEA, Alfonzo A, Bierens JLM, et al. Kreislaufstillstand in besonderen Situationen. *Notfall + Rettungsmedizin*. 2015;18(8):833-903.
29. Aseni P, Rizzetto F, Grande AM, Bini R, Sammartano F, Vezzulli F, et al. Emergency Department Resuscitative Thoracotomy: Indications, surgical procedure and outcome. A narrative review. *Am J Surg*. 2021;221(5):1082-92.
30. Abe T, Uchida M, Nagata I, Saitoh D, Tamiya N. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta versus aortic cross clamping among patients with critical trauma: a nationwide cohort study in Japan. *Crit Care*. 2016;20(1):400.
31. Abe T, Uchida M, Nagata I, Saitoh D, Tamiya N. Erratum to: Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta versus aortic cross clamping among patients with critical trauma: a nationwide cohort study in Japan. *Crit Care*. 2017;21(1):41.
32. Brenner M, Inaba K, Aiolfi A, DuBose J, Fabian T, Bee T, et al. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta and Resuscitative Thoracotomy in Select Patients with Hemorrhagic Shock: Early Results from the American Association for the Surgery of Trauma's Aortic Occlusion in Resuscitation for Trauma and Acute Care Surgery Registry. *J Am Coll Surg*. 2018;226(5):730-40.
33. Brenner ML, Moore LJ, DuBose JJ, Tyson GH, McNutt MK, Albarado RP, et al. A clinical series of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for hemorrhage control and resuscitation. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013;75(3):506-11.
34. Castellini G, Gianola S, Biffi A, Porcu G, Fabbri A, Ruggieri MP, et al. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in patients with major trauma and uncontrolled haemorrhagic shock: a systematic review with meta-analysis. *World J Emerg Surg*. 2021;16(1):41.
35. DuBose JJ, Scalea TM, Brenner M, Skiada D, Inaba K, Cannon J, et al. The AAST prospective Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery (AORTA) registry: Data on contemporary utilization and outcomes of aortic occlusion and resuscitative balloon occlusion of the aorta (REBOA). *The journal of trauma and acute care surgery*. 2016;81(3):409-19.
36. Marchand LS, Sepeshri A, Hannan ZD, Zaidi R, DuBose JJ, Morrison JJ, et al. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta in Hemodynamically Unstable Patients With Pelvic Ring Injuries. *J Orthop Trauma*. 2022;36(2):74.
37. Moore LJ, Brenner M, Kozar RA, Pasley J, Wade CE, Baraniuk MS, et al. Implementation of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta as an alternative to resuscitative

- thoracotomy for noncompressible truncal hemorrhage. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;79(4):523-30; discussion 30-2.
38. Ozkurtul O, Staab H, Osterhoff G, Ondruschka B, Hoch A, Josten C, et al. Technical limitations of REBOA in a patient with exsanguinating pelvic crush trauma: a case report. *Patient safety in surgery*. 2019;13:25.
 39. Stannard A, Eliason JL, Rasmussen TE. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) as an adjunct for hemorrhagic shock. *J Trauma*. 2011;71(6):1869-72.
 40. Assmann A, Beckmann A, Schmid C, Werdan K, Michels G, Miera O, et al. Use of extracorporeal circulation (ECLS/ECMO) for cardiac and circulatory failure -A clinical practice Guideline Level 3. *ESC Heart Fail*. 2022;9(1):506-18.
 41. Trummer G, Muller T, Muellenbach RM, Markewitz A, Pilarczyk K, Bittner S, et al. [Training module extracorporeal life support (ECLS): consensus statement of the DIVI, DGTHG, DGfK, DGAI, DGIIN, DGF, GRC and DGK]. *Anaesthesist*. 2021;70(7):603-6.
 42. Boeken U, Ghanem A, Michels G, Napp LC, Preusch MR, Staudacher DL, et al. [Extracorporeal life support (ECLS)-Update 2020]. *Med Klin Intensivmed Notfmed*. 2021;116(1):56-8.
 43. Boeken U, Assmann A, Beckmann A, Schmid C, Werdan K, Michels G, et al. S3 Guideline of Extracorporeal Circulation (ECLS/ECMO) for Cardiocirculatory Failure. *Thorac Cardiovasc Surg*. 2021;69(S 04):S121-S212.

2.4 Gerinnungsmanagement und Volumentherapie

H. Lier*, C. Kugler#, K. Gooßen#, E. Strasser, B. Hußmann, M. Maegele, P. Hilbert-Carius

Trauma-induzierte Koagulopathie

Seit der letzten Version dieser Leitlinie 2016 hat sich der Kenntnisstand über die Beeinflussung des Gerinnungssystems infolge einer schweren Verletzung, der sog. Trauma-induzierten Koagulopathie (TIK), deutlich erweitert. Der folgende Text fokussiert auf die Änderungen bezüglich Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie. Basis ist die systematische Literaturrecherche des IFOM entsprechend dem PICO-Format, welche für das Kapitel 2.16 insgesamt 59 Publikationen ergab [1-59].

2.4.1	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Trauma-induzierte Koagulopathie ist ein eigenständiges Krankheitsbild mit deutlichem Einfluss auf das Überleben. Aus diesem Grund sollen Gerinnungsdiagnostik und -therapie spätestens im Schockraum eingeleitet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Kombination aus zellulärer Perfusionsstörung, d.h. einem Sauerstoffmangel auf Ebene der Mikrozirkulation (dies scheint der entscheidende Faktor zu sein) und ausreichend schwerer Gewebeerstörung initialisieren die TIK. Hypoxie setzt tPA („tissue Plasminogen Activator“) aus Endothelzellen frei [60]; somit kann ein Schock eine Koagulopathie triggern. Weitere Faktoren beeinflussen die Reaktion des Organismus, u.a. auch Alter und Geschlecht [61].

Physiologisch kommt es nach Trauma zu einer kurzfristigen Aktivierung der Fibrinolyse, die dann schnell reduziert wird; neben der Hyperfibrinolyse (anhaltende und überschießende Aktivierung) sind ein „Shutdown“ (aktuell niedrige fibrinolytischer Aktivität nach ehemaliger Aktivierung) sowie eine Hypofibrinolyse (aktuell niedrige fibrinolytischer Aktivität ohne Hinweis auf vorherige Aktivierung) möglich [62, 63]. Diese Entwicklung ist zeitabhängig, d.h. die fibrinolytische Aktivität ändert sich innerhalb weniger Stunden [63]. Weitere Studien ergaben, rund 20% der Patienten sind hyperfibrinolytisch (Mortalität >40%), knapp 1/5 haben eine normale Fibrinolyse (geringe Mortalität), aber der größte Teil (~60%) erleidet einen „Shutdown“ (Mortalität ~20%) [64, 65]. Hyperfibrinolyse und Shutdown führen auch mikroskopisch zu deutlich unterschiedlicher Gerinnselstruktur [66]. Nach derzeitigem Verständnis ist es, neben Prädisposition (Alter, Vorerkrankung, Medikamente), im Wesentlichen vom Ausmaß der zellulären Hypoxie (also von der Schwere des Schocks) und der Gewebeerstörung abhängig, ob initial ein „zu viel“ oder ein „zu wenig“ an Fibrinolyse auftritt [67-69].

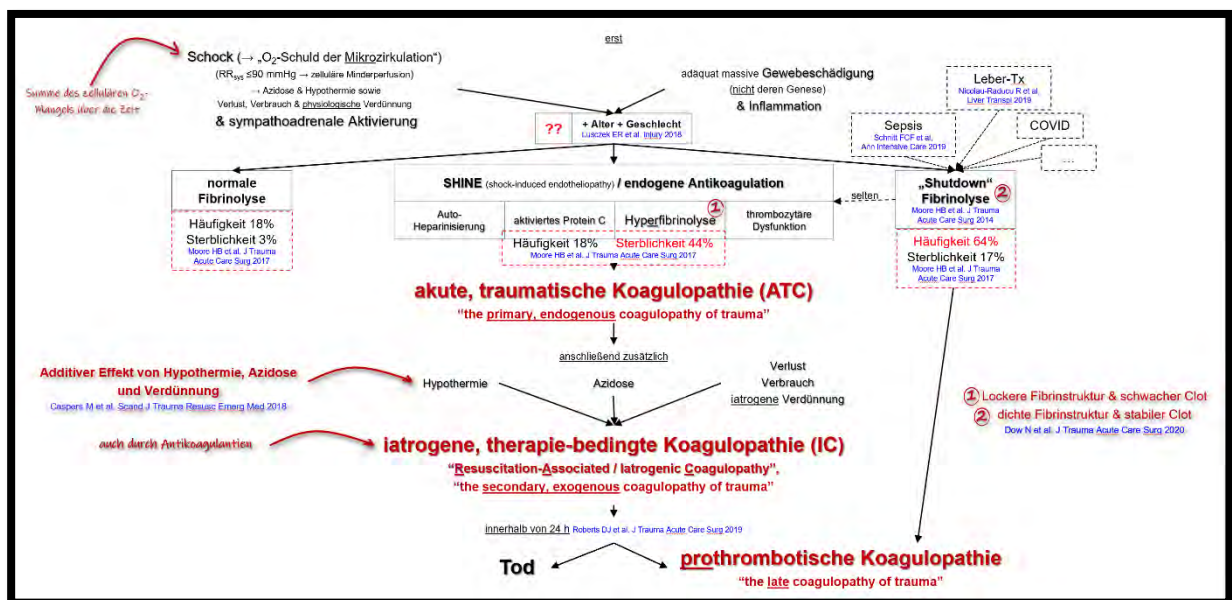
Der Schaden der endothelialen Glykokalyx ist nicht „Polytrauma-spezifisch“, sondern Ischämie-bedingt und ein Trigger für lokale und systemische Freisetzung inflammatorischer Mediatoren [70]. Die Schock-bedingte Endotheliopathie mit Zerstörung der Glykokalyx führt zur Hyperfibrinolyse, der klassischen endogenen und primären Koagulopathie („acute traumatic coagulopathy, ATC“), die v.a. für die frühe Sterblichkeit innerhalb der ersten Stunden verantwortlich ist. Sekundär folgend und die Blutung verstärkend ist die iatrogene, Therapie-bedingte Koagulopathie. Innerhalb von 24 Stunden versterben die Patienten oder gehen in eine pro-thrombotische Koagulopathie über [71].

Die häufigste Verlaufsform, der „Shutdown“, ist bereits initial pro-thrombotisch und nicht Traumaspezifisch, sondern auch bei Sepsis, Leber-Transplantation, COVID und anderen Krankheitsbildern anzutreffen. Die Mehrzahl der Patienten, die mit einem Shutdown aufgenommen werden, bleiben in diesem Phänotyp [71]. Anhaltende Hypoperfusion in der Mikrozirkulation nach initialer Reanimation ist ein deutlicher Hinweis auf die Entwicklung eines MODS [26]. Dieser Verlauf korreliert mit dem Auftreten von Multiorganversagen und der späten Sterblichkeit innerhalb von Tagen bis Wochen [72].

Die TIK ist integraler Bestandteil der sog. „lethal triad“ aus Koagulopathie, Hypothermie und Azidose. Diese Trias ist seit einigen Jahren um die Hypokalzämie erweitert worden und wird damit zum „diamond of death“ [73] (siehe Empfehlungen 2.4.7ff).

Das klinische Bild der TIK ist durch nichtchirurgische, diffuse Blutungen aus Schleimhaut, Serosa und Wundflächen, durch das Auftreten von Blutungen aus den Einstichstellen intravasaler Katheter sowie durch Blutungen aus liegenden Blasenkathetern oder Magensonden gekennzeichnet.

Abbildung: Pathophysiologie der Trauma-induzierten Koagulopathie (TIK)



2.4.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Zur Basisdiagnostik von blutenden Schwerverletzten sollen frühzeitige und wiederholte Messungen von BGA, Quick (Prothrombinzeit), aPTT, Fibrinogen und Thrombozytenzahl sowie eine Blutgruppenbestimmung erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.4.3	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Im Rahmen der Schockraumversorgung von blutenden Schwerverletzten soll zur Diagnostik und Therapie der Trauma-induzierten Koagulopathie der frühzeitige Einsatz viskoelastischer Testverfahren erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[20] Gonzalez 2016: LoE 1b [23] Hagemo 2015: LoE 2b [35] Moore 2017: LoE 2b [52] Spagnolello 2020: LoE 2b [41] Peng 2019: LoE 3b↓ [45] Rizoli 2016: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Aufgrund der Verzögerung bis zum Vorliegen von Ergebnissen der klassischen Standardlaborparameter (SLP) bei sehr dynamischer Blutungssituation wurde in den letzten Jahren intensiv nach Alternativen gesucht. Die Nutzung der sog. „point-of-care (POC)“-Diagnostik, also die Patienten- und Zeit-nahe Analytik mit fertigen Reagenzien und außerhalb eines Zentrallabores, wie z.B. viskoelastische Tests (VET), steht dabei im Fokus. Vor allem wurde die Thrombelastographie (TEG™; Haemonetics, München, Deutschland) und die Rotationsthromboelastometrie (ROTEM™; Werfen, München, Deutschland) untersucht; weniger Daten wurden bisher für die Elastic Motion Thrombelastographie (ClotPro™; Haemonetics, München, Deutschland) und die SEER Sonorheologie (Quantra™; vertrieben durch Keller Medical GmbH, Bad Soden, Deutschland) publiziert.

Im Vergleich zu Steuerung mit SLP führte die Ziel-gerichtete, TEG-gesteuerte Massivtransfusion schwerstverletzter Traumata bei Gonzalez et al. zu einem Überlebensvorteil und geringerem Verbrauch von Plasma und Thrombozyten [20]. Ein modifiziertes TEG nutzten Barret et al. zur Vorhersage der Notwendigkeit von Massivtransfusion und Mortalität und fanden einen theoretischen Überlebensvorteil auf Basis extrapolierter Berechnungen [5]. Die RETIC-Studie von Innerhofer et al. zeigte einen „indirekten“ Vorteil auf, da die Nutzung des ROTEM Voraussetzung war, um den Überlebensvorteil durch Faktorenkonzentrate nachweisen zu können [74].

Hagamo et al. beschreiben die ROTEM-Parameter nach 5 Minuten (EXTEM CA5 \leq 40 mm, FIBTEM CA5 \leq 9 mm) als wirksam für die Diagnose der TIK und zur Prädiktion einer Massivtransfusion [75]. Moore et al. nutzen ein modifiziertes, sog. tPA-TEG für die Vorhersage einer Massivtransfusion [35]. Für Peng et al. sind VET zur Überwachung der Gerinnung und Vorhersage von Transfusionen besser geeignet als SLP; TEG und ROTEM zeigen eine Zunahme der Clot-Festigkeit nach Gabe von Fibrinogen, ROTEM zusätzlich Veränderungen von Gerinnsel-Initiation und Lyse [41]. Bei Rizoli et al. zeigten ROTEM MCF und TEG MA klinisch eine akzeptable Vorhersagegenauigkeit für Mortalität und Plasmatransfusion sowie eine große Genauigkeit für irgendeine bzw. eine Massiv-Transfusion [45]. Spagnolello et al. entwickelten einen ROTEM Sigma Algorithmus, der deutlich schnellere Ergebnisse erbrachte als die SLP und so eine frühzeitige Intervention ermöglichte [52]. Gratz et al. führten in vier europäischen Krankenhäusern einen ROTEM-gesteuerten Algorithmus erstmals ein und konnten ebenfalls deutlich schnellere Ergebnisse als bei SLP nachweisen (median (IQR [range]) 33 (20–40 [14–250]) min vs. 71 (51–101 [32–290]) min; P=0,037) [76].

„Damage Control Resuscitation“

Zur Vermeidung der TIK wurde das Konzept der „Damage Control Resuscitation (DCR)“ entwickelt [77]. Zu diesem Vorgehen gehören, nach schnellstmöglichem Therapiebeginn, eine permissive Hypotension,

die Verhinderung von Azidämie, Hypokalzämie und Hypothermie sowie die Gabe gerinnungsaktiver Präparate. Voraussetzung für die Bestimmung dieser Parameter sind ein konsequentes, invasives hämodynamisches Monitoring sowie die Möglichkeit zur zeitnahen, repetitiven Durchführung von Blutgasanalysen.

2.4.4	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Patienten, die aktiv bluten, sollte bis zur chirurgischen Blutstillung eine permissive Hypotension (mittlerer arterieller Druck [MAP] ~65 mmHg, systolischer arterieller Druck ~ 80 mmHg) angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.4.5	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Patienten (ohne kardio-pulmonale Vorerkrankungen) im hämorrhagischen Schock sollte prä-, intra- und früh (3-6 h) -postoperativ eine Flüssigkeitstherapie mit einem Ziel-MAP ~65 mmHg erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[21] Gu 2020: 1b [33] Lu 2018: 1b	
	Konsensstärke: 100%	

Der Begriff „permissive Hypotension“ beschreibt zwei Ansätze: erstens einen niedrigeren als den normalen Blutdruck zu tolerieren bzw. sogar anzustreben, um so die Thrombusbildung zu unterstützen, und zweitens, zur Verhinderung einer iatrogenen Dilution, nur wenig Flüssigkeit zu infundieren, während dennoch eine ausreichende Perfusion der Endorgane gewährleistet wird. Bereits in der Leitlinie von 2016 wurde die „permissive Hypotension“ als Bestandteil der DCR empfohlen. Die neue Literatur spezifiziert diese Empfehlungen für Patienten ohne kardio-pulmonale Vorerkrankungen [21] im hämorrhagischen Schock in der prä-, intra- [21] und früh-(3-6 h [33]) postoperativen Phase: Durch begrenzte Flüssigkeitsgabe mit dem Ziel eines MAP um 60 mmHg senkten Gu et al. die Mortalität (6,3% vs. 16,3%, P=0,045) sowie die Inzidenz von ARDS (12,5% vs. 27,5%, P=0,018) und MODS (8,8% vs. 22,5%, P=0,017) signifikant [21]. Ebenfalls signifikant senkten Lu et al. die Mortalität (2,4% vs. 18,3%, P=0,041) sowie das Auftreten von Gerinnungsstörungen (2,4% vs. 17,1%, P=0,039), ARDS (12,2% vs. 30,5%, P=0,006) und MODS (12,2% vs. 29,3%, P=0,027) [33]. Ob anamnestisch hypertensive Patienten einen höheren MAP benötigen, lässt sich vermuten aber bisher nicht beweisen. Ebenso unklar ist der optimale Blutdruck im weiteren Verlauf. Die Anwendung einer „permissiven Hypotension“ bedeutet nicht, dass eine Schock-bedingte Azidose toleriert werden soll [78]. Mögliche Zielwerte sind BE >-6 mEq/l; Laktat <4 mmol/l; „pCO₂ gap“ <6 mmHg; die Steuerung der Volumentherapie erfolgt durch den zeitlichen Verlauf dieser Parameter [79].

Ausgeschlossen wurden zwei Studien Carrick et al. [9], da der MAP in der Interventions- mit 65,5 und in der Kontrollgruppe mit 69,1 mmHg klinisch nicht different war; Han et al. [24], da kein statistisch signifikanter Effekt auftrat).

2.4.6	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei der Kombination von hämorrhagischem Schock und Schädel-Hirn-Trauma (GCS <9) und/oder spinalem Trauma mit neurologischer Symptomatik sollte ein MAP von ~85 mmHg angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.4.7	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Das Ausmaß und die Behandlung des Schocks soll durch wiederholte Messung von Laktat und/oder Basenüberschuss überprüft und gesteuert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Perfusion auf Ebene der Mikrozirkulation ist prognostisch entscheidender als das Herzzeitvolumen. Eine „okkulte“ Hypoperfusion (mit erhöhten Parametern einer Schock-induzierten endothelialen Dysfunktion [lösliches Thrombomodulin und Syndecan-1]) kann trotz „normalen“ Vitalparametern auftreten und ist bei Ankunft in der Notaufnahme häufiger als das klinische Bild eines Schocks [80]. Bei „regulärem“ HZV prognostiziert eine anhaltende Hypoperfusion in der Mikrozirkulation nach initialer Schockbehandlung die Entwicklung eines MODS [26]. Laktat (OR 1,17; 95% CI: 1,12-1,23; P <0,00001) und Basendefizit (OR 1,04; 95% CI: 1,01-1,07; P <0,005) sind prädiktiv für die Gesamtsterblichkeit. Zumindest bei stumpfen Traumata ist die initiale Messung des Laktats aber der des Basenüberschusses überlegen, dies gilt sowohl für Patienten mit wie auch für solche ohne Schock sowie bei unterschiedlichen Schweregraden eines SHT [18]. Hyperparathyroidismus bei Aufnahme kann Sterblichkeit und Transfusionsnotwendigkeit in den ersten 24 Stunden vorhersagen [17].

2.4.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Auskühlung des Patienten sollte mit geeigneten Maßnahmen vermieden und Normothermie angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Zhou et al. verglichen Normothermie mit mäßiger Hypothermie bei Patienten mit hämorrhagischen Schock während OP ($36,9 \pm 0,4^\circ\text{C}$ vs. $35,8 \pm 0,6^\circ\text{C}$) und Intensivstation ($35,9 \pm 0,6^\circ\text{C}$ vs. $34,9 \pm 0,6^\circ\text{C}$) [58]. Das Anstreben einer Normothermie durch Erhöhung der Raumtemperatur, ausschließliche Infusion von, auf 37°C erwärmten Infusionen u.ä. ist sinnvoll, verkürzt den stationären Aufenthalt ($21,6 \pm 4,1\text{d}$ vs. $27,7 \pm 6,1\text{d}$) und reduziert Komplikationsraten (6,6% vs. 26,6%) und Mortalität (2,2% vs. 13,3%). Bei Patienten mit SHT verglichen Maekawa et al. Hypo- ($32-34^\circ\text{C}$) mit Normothermie ($35,3-37^\circ\text{C}$) [34]. Es gab keinen Unterschied bezüglich schlechten neurologischen Outcome nach 6 Monaten (RR 1,24, 95% CI 0,62 bis 2,48, P=0,597) oder Sterblichkeit (RR 1,82, 95% CI 0,82 bis 4,03, P=0,18). Ausgeschlossen wurden zwei Studien, die therapeutische Hypothermie zur Organprotektion untersuchten [14, 25] und eine, die den Einfluss der Hypothermie auf TEG untersuchte [43].

2.4.9	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Durch eine geeignete und frühzeitige Schocktherapie sollte eine Azidämie vermieden werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die zelluläre Perfusionsstörung ist die Ursache für die Azidose; daher ist die primäre Therapie die des Schocks. Darlington et al. konnten zeigen, dass die Schock-bedingte Azidose durch Infusion von Natriumbikarbonat nicht korrigiert wird [81]. Eine Pufferung ist somit nur supportiv und v.a. vor Gabe von Gerinnungs-aktiven Medikamenten sinnvoll.

2.4.10	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine Hypokalzämie <0,9 mmol/l sollte vermieden und eine Normokalzämie angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Jeder zweite Polytraumatisierte kommt bereits mit einer Hypokalzämie in der Notaufnahme an [82]. Die Abnahme des ionisierten Kalziums (Ca^{++}) nach Transfusionen ist durch das als Antikoagulan benutzte Zitrat in den Konserven bedingt und besonders ausgeprägt bei FFP. Die prähospital Gabe von Plasma führt zu einer deutlichen Zunahme der Patienten mit Hypokalzämie ≤ 1 mmol/l bei Aufnahme und ist signifikant mit reduziertem Überleben (adjusted HR 1,07; 95% CI 1,2 bis 1,13; $P=0,01$) und Massivtransfusion (adjusted RR 2,70; 95% CI 1,13 bis 6,46; $P=0,03$) verbunden [37].

Substitution gerinnungsaktiver Präparate

2.4.11	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Ein Massivtransfusions- und Gerinnungstherapieprotokoll sollte lokal etabliert sein.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die traditionelle Definition der Massivtransfusion beinhaltet ≥ 10 EK / 24h [83]; da die Blutungsbedingte Sterblichkeit ihren Gipfel jedoch innerhalb der ersten 2-6 Stunden hat [84], wird diese Definition nicht mehr als sinnvoll erachtet. Modernere Vorschläge sind ≥ 4 EK / 1h [83] oder ein „critical administration threshold (CAT)“ von ≥ 3 EK innerhalb der ersten Stunde (CAT1h) bzw. innerhalb einer der ersten 4 Stunden (CAT4h) [85]. Auf europäischer Ebene ist für den Bereich der Anästhesiologie ein Massivtransfusions- und Gerinnungstherapieprotokoll als eskalierender Algorithmus zur Behandlung von Patienten mit lebensbedrohlichen Blutungen, das an lokale Gegebenheiten und Ressourcen des jeweiligen Krankenhauses im Detail angepasst werden sowie vordefinierte Interventionstrigger beinhalten muss, seit 2010 verpflichtend [86]. Die Auswertung von 14 Studien bezüglich der

Wirksamkeit eines Massivtransfusionsprotokolls für Traumapatienten zeigte eine signifikante Senkung der Gesamtsterblichkeit mit einer OR von 0,71 (95% CI 0,56 bis 0,90) [87].

2.4.12	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei einem aktiv blutenden Patienten ist die Indikation zur Transfusion individuell nach klinischen Kriterien, dem Verletzungsgrad, dem Ausmaß des Blutverlustes, der Kreislaufsituation und der Oxygenierung zu entscheiden. Nach hämodynamischer Stabilisierung sollte eine Normovolämie mit einem Ziel-Hb-Wert von 7–9 g/dl [4,3–5,6 mmol/l] angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das therapeutische Ziel der Transfusion von Erythrozyten ist die Vermeidung bzw. Therapie einer manifesten anämischen Hypoxie. Der Hämoglobinwert gibt eine Aussage über den Gesamtgehalt an zirkulierenden roten Blutzellen, aber nicht über die Oxygenierung, welche mit der Transfusion von EK verbessert werden soll. Von entscheidender Bedeutung ist die ständige Re-Evaluation des aktuellen, klinischen Zustandes des Patienten und eine Patienten-individualisierte Hämotherapie (PBM). Bei massiver Blutung sowie im hämorrhagischen Schock ist die rechtzeitige Transfusion von Erythrozyten lebenserhaltend. Als Zielbereich für die Transfusion von EK werden Hb-Werte von 7 bis 9 g/dl (4,3 bis 5,6 mmol/l) empfohlen (1C+-Empfehlung der BÄK) [88].

2.4.13	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Wenn bei Massivblutungen Plasmavolumen ersetzt werden muss, sollte der Einsatz von therapeutischem Plasma möglichst frühzeitig erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei massivem Blutverlust ist es in der Akutphase sinnvoll, neben EK auch Therapeutisches Plasma, Gerinnungsprodukte und Thrombozyten zu geben [88]. „Therapeutisches Plasma“ ist die Sammelbezeichnung der BÄK für Quarantäne-gelagertes Plasma ohne Behandlung zur Pathogenreduktion (Q-Plasma; früher gefrorenes Frisch-Plasma FFP), zur Pathogenreduktion mit Methylenblau/Rotlicht bzw. mit Amotosalen/UVA behandeltes Plasma (PR-Plasma), aus einem Pool von Blutgruppen-gleichen, aus leukozytenreduzierten Einzelspenderplasmen hergestelltes, lyophilisiertes [gefrier-getrocknet] Humanplasma (LHP) und zur Virusinaktivierung mit Solvens/Detergent behandeltes Plasma (SD-Plasma). Die BÄK definiert in der Gesamtnovelle 2020 erstmals „wenn bei Massivblutungen Plasmavolumen ersetzt werden muss“ als Indikation zur Gabe von Therapeutischem Plasma und empfiehlt eine Dosierung von „mindestens 30 ml/kg“ (30-50 ml/min) [88]. Grundlage für diese Empfehlung ist die Arbeit von Chowdary et al., in der der Anstieg von Laborparametern durch FFP nach 12,2 ml/kg (n=10) vs. 33,5 ml/kg (n=12) verglichen wurde [89]. Laut BÄK ist die oberste Priorität bei großen Volumenverlusten die Wiederherstellung der Normovolämie und der frühe Einsatz der Gerinnungstherapie mit Plasma und Konzentraten [88].

2.4.14	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Gerinnungsdiagnostik und -therapie soll über viskoelastische Testverfahren gesteuert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[20] Gonzalez 2016: LoE 1b [23] Hagemo 2015: LoE 2b [35] Moore 2017: LoE 2b [52] Spagnolello 2020: LoE 2b [41] Peng 2019: LoE 3b↓ [45] Rizoli 2016: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Im Vergleich zu dem Standardverfahren der Gerinnungsdiagnostik [41, 52], sind VET deutlich schneller [5] sowie mit Vorteilen für das Überleben [20], die Notwendigkeit einer Massivtransfusion [5, 23, 35], den Nachweis einer TIK [23, 41, 52], den Intensivaufenthalt [20, 27], die Beatmungsdauer [20, 27] und einer Einsparung von Blutprodukten [52] vergesellschaftet. Auch bei isoliertem SHT kann die Nutzung von VET hilfreich sein [2].

Der hohe negativ-prädiktive Wert (NPV) der VET zur Vorhersage von TIK, Massivtransfusion oder Mortalität ist auch bei Trauma nachweisbar [23, 90-92]. VET-Algorithmen geben somit vor allem Hinweise, was nicht substitutions-pflichtig ist.

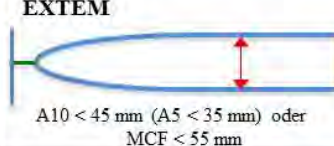
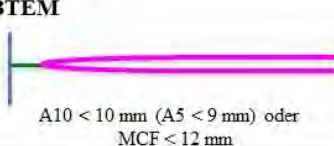
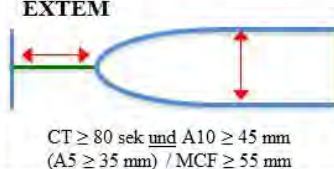
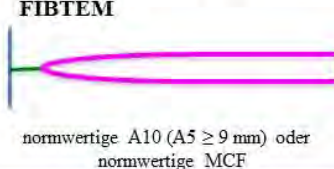
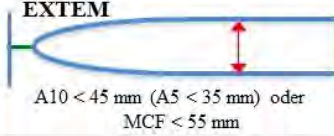
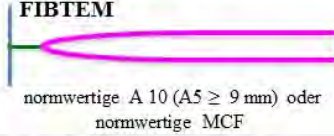


VET sollen die klinische Beurteilung der aktuellen Situation des Patienten unterstützen, diese aber nicht ersetzen [93]; behandelt wird der blutende Patient in der jeweiligen klinischen Situation, nicht ein Referenzwert.

Die Ergebnisse unterschiedlicher VET (ROTEM™ vs. TEG™ vs. ...) sind nicht untereinander austauschbar [45], unterschiedliche Generationen des gleichen Gerätes (d.h., ROTEM™delta vs. ROTEM™sigma bzw. TEG™5000 vs. TEG™6s) und selbst unterschiedliche Kassetten („single use“ vs. „liquid reagent“ vs. „controlled cartridge“) können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen [90, 94].

Ausgeschlossen wurden zwei Studien: Baksas-Aasen et al. [3], da ~75% der Patienten bei Einschluss in die Studie nicht koagulopathisch waren (keine verlängerte PTr) und Cohen et al. [11], da die vorteilhafte Anwendung des ROTEM im militärischen Setting untersucht wurde.

Da VET nicht alle Blutungsursachen klären können, ist, wie bereits bei Empfehlung 2.98 erwähnt, die zusätzliche Bestimmung eines (kleinen) Blutbildes sinnvoll.

Abbildung: ROTEM-basierter gerinnungstherapeutischer Algorithmus im Schockraum (modifiziert nach [95])

ROTEM®-basierter Algorithmus zum Einsatz von gerinnungsstabilisierenden Substanzen und Blutprodukten in der frühen Schwerverletztenversorgung	
Behandlungsempfehlung	Interpretation
Fibrinogengabe erwägen (Fibrinogenkonzentrat)	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>EXTEM</p>  <p>A10 < 45 mm (A5 < 35 mm) oder MCF < 55 mm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>FIBTEM</p>  <p>A10 < 10 mm (A5 < 9 mm) oder MCF < 12 mm</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">+ und</p>
Blutplasmatransfusion erwägen (oder Prothrombin-komplexkonzentrat (PPSB)) (Cave: Niedrige Thrombozytenzahl und niedriges Fibrinogen verlängern CT!)	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>EXTEM</p>  <p>CT ≥ 80 sek <u>und</u> A10 ≥ 45 mm (A5 ≥ 35 mm) / MCF ≥ 55 mm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>FIBTEM</p>  <p>normwertige A10 (A5 ≥ 9 mm) oder normwertige MCF</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">+ und</p>
Thrombozytenkonzentrat-transfusion erwägen	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>EXTEM</p>  <p>A10 < 45 mm (A5 < 35 mm) oder MCF < 55 mm</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>FIBTEM</p>  <p>normwertige A10 (A5 ≥ 9 mm) oder normwertige MCF</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">+ und</p>
Antifibrinolytika erwägen	<p>Jeder Hinweis auf Hyperfibrinolyse in EXTEM oder FIBTEM!</p>  <p style="text-align: center;">+</p>
Zurückhaltende Transfusion/Therapie erwägen	<p>EXTEM</p>  <p>Zu hohe A10/MCF</p>

2.4.15	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Gerinnungsdiagnostik und -therapie sollte durch eine Diagnostik der Thrombozytenfunktion ergänzt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[13] Connelly 2017: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Laut BÄK ist die Thrombozytenzahl nur eines aller wichtigen Elemente der Hämostase zusammen mit der Thrombozytenfunktion, der plasmatischen Gerinnungsfaktoren und der Endothelexpression sowie der individuellen Blutungssituation [88]. Die thrombozytäre Dysfunktion ist ein obligater Bestandteil der TIK. Schock und Gewebeverletzung beeinflussen die Thrombozytenaggregation unterschiedlich [96]. Aber auch eine Vielzahl von Medikamenten können die Plättchen negativ beeinflussen. Connelly et al. stellten fest, dass Multiplate™, TEG™ PM oder VerifyNow™ sinnvolle POC-Geräte zum Nachweis einer Antiplatelet-Medikation oder trauma-bedingt gestörten Thrombozytenfunktion sind [13].

2.4.16	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Wird die Gerinnungstherapie bei Massivtransfusion durch die Gabe von therapeutischem Plasma durchgeführt, sollte ein Verhältnis von therapeutischem Plasma:EK:TK im Bereich von 4:4:1 angestrebt werden. Ansonsten sollte die Gabe von therapeutischem Plasma restriktiv erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die europäischen Trauma-Leitlinien [97] empfehlen bei Massivblutungen ein Ziel-gerichtetes Vorgehen nach den „Copenhagen Concept“ [98], den sog. „hybrid approach“ [90]: nach initial Verhältnis-gesteuerten Gabe von Blutprodukten soll schnellst-möglich auf eine Ziel-gerichtete, auf viskoelastischen Verfahren und Thrombozytenfunktionsdiagnostik beruhende Substitution gewechselt werden. Das Prinzip dieses Ziel-gerichteten Vorgehens beruht auf dem Nachweis eines Mangels durch VET, bevor eine Substitution erfolgt. Dies ist bei Anwendung einer Verhältnis-gesteuerten Therapie nicht möglich, somit erhalten Patienten Medikamente, die sie (evtl.) gar nicht benötigen. Die „European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition“ formuliert, dass die Verhältnis-gesteuerte Gabe von Blutprodukten nur dann eine sinnvolle Option ist, wenn eine Patienten-nahen POC-Gerinnungsdiagnostik fehlt [97].

Plasma

Bei SHT wirkte sich die frühzeitige Transfusion von FFP mit einer niedrigen Dosis von 5 ml/kgKG nachteilig auf das Wachstum des Hämatoms aus [57].

Eine Sekundäranalyse der PAMPer [99] und COMBAT [100] -Daten ergab einen Überlebensvorteil für prähospitalen Anwendung von Plasma (adj. HR 0,65; 95% CI 0,47 bis 0,90; P=0,01) insbesondere, wenn die Transportzeit >20 Minuten war (HR 0,78; 95% CI 0,40 bis 1,51; P=0,46) [42]. Da in dieser Analyse im Durchschnitt 2 FFP transfundiert wurden, scheint es sich eher nicht um einen Gerinnungs- (sondern ggf. um einen Volumen-) Effekt zu handeln [101]. Mit den gleichen Daten wurde ein 32% niedrigeres 28d-Sterberisiko für stumpfe (verglichen mit penetrierenden) Traumata (HR 0,68; 95% CI 0,47 bis 0,96; P=0,03) errechnet [44].

Gemäß BÄK wird therapeutisches Plasma AB0-gleich transfundiert; bei vitaler Gefährdung und unbekannter Blutgruppe kann Plasma der Blutgruppe AB genutzt werden [102]. AB-Plasma ist eine (zumindest relativ) limitierte Ressource [103]. In einer Sekundäranalyse der PROPPR [104] -Daten zeigte sich Plasma der Blutgruppe A (verglichen mit AB) als nicht unterlegen [16]. Die Gabe von Plasma der Blutgruppe A für Patienten mit inkompatibler Blutgruppe (verglichen mit kompatibel Plasma) führte zu keinem Unterschied bezüglich ARDS (6% vs. 8%; P=0,589), Thromboembolien (9% vs. 7%; P=0,464), Sepsis (6% vs. 8%; P=0,589), akutem Nierenversagen (8% vs. 8%, P=0,860) oder Sterblichkeit nach 6h (17% vs. 15%, P=0,775), 24h (25% vs. 23%, P=0,544) bzw. 28 Tagen (38% vs. 35%, P=0,486) [55]. Eine weitere Studie fand bei notfallmäßiger Gabe von Plasma mit der Blutgruppe A keine erhöhte Sterblichkeit (17% vs. 26%, P=0,15), wohl aber mehr ARDS (2% vs. 8%, P=0,06) und Sepsis (0% vs. 5%, P=0,024) [59].

Im Vergleich zu regulärem FFP kann „never-frozen Liquid Plasma“ eine Alternative sein, die bei Traumapatienten signifikant schneller zur Verfügung steht (54 [28–79] Minuten vs. 98 [59–133] Minuten; P<0,001) und keine Nachteile bezüglich Sterblichkeit, Komplikationen oder Krankenhausaufenthalt zeigen [13]. In Deutschland hat die Blutbank des Universitätsklinikums Greifswald gute Erfahrungen mit aufgetautem Plasma gemacht [105]. Die Anwendung von „French

Lyophilised Plasma (FLyP)“ verkürzte die Zeit bis zur Transfusion (Median [IQR] 14 [5-30] vs. 77 [64-90] min), stabilisierte die Blutung und bewirkte einen schnelleren, ausgeprägteren und länger anhaltenden Anstieg von Gerinnungsparametern (v.a. Fibrinogen) [19]. Definitive Aussagen über die Wertigkeit von lyophilisiertem, „never frozen“ oder Pathogen-reduziertem Plasma (im Vergleich zu FFP) können aktuell nicht getroffen werden.

Verhältnis

Die BÄK spricht bei Massivblutungen eine 1C-Empfehlung für die frühzeitig Anwendung eines festen Verhältnis Plasma:EK von 1:1 bis 1:2 aus [88]. In Deutschland gibt es zwei Arten von TK: gepoolt aus 4–6 Einzelspendern oder als Apherese-TK von einem Spender [88]. Damit entspricht ein deutsches TK etwa 4–6 amerikanischen Einzelspender-TK; somit sollte bei Massivtransfusionen nach jedem 4.–6. Paar aus EK und FFP ein TK substituiert werden um das 1:1:1-Verhältnis amerikanischer Studien zu erreichen (1B-Empfehlung der BÄK) [88]. Die Metaanalyse von Rijnhout et al. unterstützt diese Empfehlung: bei Massivtransfusionen reduziert ein amerikanisches TK:EK-Verhältnis von 1:1 signifikant die 1 bis 6h- (OR 0,18; 95% CI 0,07 bis 0,49; P=0,0007), 24h- (OR 0,2; 95% CI 0,08 bis 0,21; P<0,00001) und 28d-Mortalität (OR 0,68; 95% CI 0,50 bis 0,91; P=0,01) sowie die Dauer des Intensivaufenthaltes [106].

Bui et al. fanden bei Massivtransfusionen (≥ 10 EK/24h) einen signifikanten Überlebensvorteil (14,3% vs. 31,5%, P=0,042) bei einem FFP:EK $\geq 1:1,5$ [6]. Die Analyse von 1.002.595 Patienten, von denen 4.427 mindestens 10 EK/24h erhielten, ergab bei Nederpelt et al. im Vergleich mit 1:1 (28% Mortalität), eine unabhängig und schrittweise zunehmende Sterbewahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom FFP:EK-Verhältnis: OR 1,23 (95% CI 1,02 bis 1,48) bei 1:2, 2,11 (95% CI 1,42 bis 3,13) bei 1:4 und 4,11 (95% CI 2,31 bis 7,31) bei 1:5 (alle P<0,05) [39]. Eine Auswertung von 897 Patienten eines französischen Traumaregisters, die entweder ≥ 4 EK in den ersten 6 h oder starben bevor sie 4 EK erhielten, zeigte, ein hohes Verhältnis ist mit einer signifikanten Reduktion der 30d Mortalität verbunden (HR 0,74; 95% CI 0,58 bis 0,94; P=0,01) [48]. Stanworth et al. werteten 22 Krankenhäuser in UK über 20 Monate aus; ein FFP:EK <1:2 korrelierte mit einem erhöhtem Sterberisiko: 3,6fach nach 3h und 2,3fach nach 24h [54]. Durch Messung von Laborparametern wiesen Kutcher et al. nach, dass ein Verhältnis FFP:EK, welches sich 1:1 nähert, ein besseren Ersatz des Trauma-bedingten Faktorenmangels ermöglicht [32].

Daten des TraumaRegister™ der DGU zeigen, dass, bei Aufnahme im Schockraum, eine Thrombozytopenie $<100.000/\mu\text{l}$ selbst bei schockierten Patienten selten ist ($\sim 10\%$); bis zur Aufnahme auf die ICU steigt dieser Anteil jedoch um das 5-6fache [107]. Anhand der Daten der PROPPR-Studie [104] notierten Cardenas et al. bei Patienten, die Thrombozyten erhielten, eine signifikant erniedrigte 24h (5,8% vs. 16,9%; P<0,05) und 30d Mortalität (9,5% vs. 20,2%; P<0,05) sowie weniger Blutungsbedingte Todesfälle (1,5% vs. 12,9%; P<0,01). Bemerkenswert ist an dieser Auswertung, dass bei den PROPPR-Patienten die mediane Thrombozytenzahl vor Transfusion $243 \times 10^9/\text{l}$ betrug [8]. Neben der Zahl der Thrombozyten ist deren Funktion für eine ausreichende Hämostase wichtig [88].

Die Gesamtzahl transfundierter EK, nicht aber das Verhältnis scheint entzündliche Komplikationen zu beeinflussen [28].

Vollblut

Das Zusammenschütten von 1 EK + 1 FFP + 1 TK ist der Versuch, die Wirkung von Vollblut zu erzielen [108], ergibt jedoch nicht den gleichen Inhalt wie das vergleichbare Volumen „Vollblut“ enthält, sondern deutlich niedrigere Aktivitäten und Konzentrationen [109]. Bei Patienten unter 45 Jahren war die Nutzung von EK+FFP+TK im Vergleich zu Vollblut mit einer 3,2fach erhöhten Sterblichkeit korreliert

[29]. Sog. „low-titer group 0 whole blood (LTOWB)“ erhöhte die Wahrscheinlichkeit 24h zu überleben um 23% (OR 0,81, 95% CI 0,69 – 0,96; P=0,017) [51].

Anmerkung: Das Hauptrisiko bei der Transfusion von Blutprodukten bleibt die Verwechslung – mehr als die Hälfte aller gemeldeten Fälle beruhen auf menschlichen Irrtümern während des Transfusionsprozesses [110].

2.4.17	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Patienten mit lebensbedrohlichen Blutungen und/oder im Schock sowie bei nachgewiesener Hyperfibrinolyse soll möglichst frühzeitig / prähospital die Gabe von 1 g Tranexamsäure (TxA) über 10 Minuten, ggf. gefolgt von einer Infusion von 1 g über 8 Stunden, erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[22] Guyette 2020: LoE 1b [47] Roberts 2014: LoE 1b [46] Roberts 2017: LoE 1b [30] Khan 2018: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Ausgehend von sehr positiv dargestellten Ergebnissen der 2010 publizierte CRASH2-Studie [111] wurde in dem folgenden Jahrzehnt Tranexamsäure zunehmend großzügig appliziert, obwohl die Ergebnisse in modernen, entwickelten Versorgungsstrukturen nicht reproduzierbar waren [112, 113]. So ist bei der täglichen Arbeit in der Notaufnahme nicht selten ein Patient mit z.B. isolierter Unterschenkelfraktur anzutreffen, der TXA bekommen hat. Andererseits wiesen Stein et al. nach, dass die frühe prähospital Gabe von TXA das Gerinnsel stabilisiert und die fibrinolytische Aktivität reduziert (weniger Fibrinospaltprodukte / D-Dimere) [114]. Daten des TraumaRegister der DGU zeigen, über 1/3 der schwerst-verletzte Patienten erhalten TXA nicht prähospital, sondern erst in der Notaufnahme [115].

Eine Sekundärauswertung der 20.211 CRASH-2-Patienten [111] ergab, der Überlebensvorteil durch TXA tritt nur auf, wenn TXA innerhalb von 3 Stunden nach Unfall gegeben wird (HR ≤ 3 h = 0,78, 95% CI 0,68 bis 0,90; HR > 3 h = 1,02, 95% CI 0,76 bis 1,36) [47]. Eine weitere Sekundäranalyse [111] zeigte, die Sinnhaftigkeit einer möglichst frühzeitigen Gabe von TXA zur Vermeidung eines Blutungs-bedingten Todes: bei TXA ≤ 1 h ist das RR 0,68 (95% CI 0,57 bis 0,82), 1-3h nach Unfall ist das RR 0,79 (95% CI 0,64 bis 0,97) und > 3 h nach Verletzung ist das RR 1,44 (95% CI 1,12 bis 1,84) [46]. In der Untersuchung von Guyette et al. wurde 1g TXA in 100 ml NaCl 0,9% über 10 Minuten infundiert; die 30d-Mortalität wurde gesenkt, wenn TXA (verglichen mit Placebo) innerhalb einer Stunde nach Unfall appliziert wurde (4,6% vs. 7,6%; Differenz -3,0%; 95% CI -5,7% bis -0,3%; P<0,002) oder wenn die Patienten im schweren Schock (systol. Blutdruck ≤ 70 mmHg) waren (18,5% vs. 35,5%; Differenz -17%; 95% CI -25,8% bis -8,1%; P<0,003) [22]. Bei nachgewiesener Hyperfibrinolyse (TEG Ly30 $> 3\%$) senkt TXA signifikant die 6h-Sterblichkeit (34% vs. 13%, P=0,04), aber nicht die 12h- (P=0,24), 24h- (P=0,25) oder 30d-Mortalität (P=0,82) [30]. Bei Patienten mit SHT scheint TXA nur bei leicht bis mittlerer Schwere (GCS ≥ 9) zu wirken (RR 0,78; 95% CI 0,64 bis 0,95) [12].

2.4.18	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Mehr als 3 Stunden nach dem Trauma sollte mit der Gabe von Tranexamsäure nicht mehr begonnen werden (außer bei nachgewiesener Hyperfibrinolyse).	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bereits aus CRASH-2 ergab sich die Empfehlung, TXA möglichst frühzeitig zu applizieren; die beste Wirkung wurde bei Gabe innerhalb 1 Stunde erzielt, mehr als 3 Stunden nach Trauma wurde der Effekt schädlich [116]. Eine neu- oder wiederaufgetretene, nachweisbare Hyperfibrinolyse muss aber zu jeder Zeit, d.h. auch nach 3 Stunden, therapiert werden.

2.4.19	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Da nur bei ~20% der Traumapatienten eine Hyperfibrinolyse auftritt und Tranexamsäure (TxA) bei Fehlen einer Hyperfibrinolyse schädlich ist, sollte TxA nicht automatisch jedem Verletzten appliziert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[53] Spinella 2020: LoE 2b↓ [36] Moore 2017: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Die unterschiedlichen Phänotypen der TIK wurden bereits 2014 beschrieben. Die Hyperfibrinolyse ist mit der höchsten Sterblichkeit (>40%) vergesellschaftet, tritt aber nur bei rund 20% der Patienten auf. Weniger als 20% haben eine physiologische Lyse mit niedriger Sterblichkeit. Ewa 2/3 der Traumata weisen eine reduzierte Gerinnselauflösung auf (Hypofibrinolyse und „Shutdown“) mit einer Mortalität um 20% [62, 64]. Die Gabe von TXA ist für Patienten ohne Hyperfibrinolyse ein signifikanter Prädiktor für die Sterblichkeit; dies gilt sowohl für die physiologische Lyse (adjustiert an ISS, P=0,018) [36], wie auch für den Shutdown (adj. RR 1,35; 95% CI 1,10 bis 1,64; P=0,004) [65]. Für Polytraumatisierte kann TXA ein unabhängiger Risikofaktor für thromboembolische Ereignisse sein [53, 117]. Auch die postulierten positiven immunologischen [53] oder neurologischen [118, 119] Einflüsse ließen sich nicht nachweisen, wohl aber eine dosis-abhängige Zunahme der Thromboembolien (bei aktivem Screening mittels Duplex) [53]. TXA muss somit selektiv / individuell appliziert werden [69, 118]. Als Faustregel kann gelten: Je schwerer die Verletzung, je ausgeprägter der Schock, desto wahrscheinlicher ist eine Hyperfibrinolyse [22, 69, 72].

2.4.20	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Patienten mit lebensbedrohlichen Blutungen und/oder im Schock soll zusätzlich die Gabe von Fibrinogen (initial 3-6 g bzw. 30-60 mg/kg) erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Akbari 2018: LoE 1b [27] Innerhofer 2017: LoE 1b [38] Nascimento 2016: LoE 2b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Spezifische Einzelfaktorenmängel werden besser mit Faktorenkonzentraten als mit therapeutischem Plasma behandelt [88]. Bei schweren Blutungen scheint Fibrinogen von allen Gerinnungsfaktoren der vulnerabelste zu sein und erreicht als erster seine kritische Konzentration [88]. Bei der TIK fällt Fibrinogen neben der Hyperfibrinolyse auch durch einen gesteigerten Abbau, Azidose, reduzierte Synthese infolge Hypothermie sowie Verlust/Verdünnung [120]. Prothrombin und Fibrinogen sind die entscheidenden Faktoren für die Gerinnung bei Traumata [4]. Die Gabe von Faktorenkonzentraten setzt einen nachgewiesenen (dies gelingt sehr gut mit VET) oder zumindest vermuteten Mangel voraus; prophylaktische Gabe hat sich in verschiedenen Szenarien als nicht hilfreich erwiesen. Nach Fibrinogen-Gabe gibt es (unabhängig von der Menge) keine erhöhten Plasmaspiegel an den folgenden Tagen; ein Thromboserisiko ist somit unwahrscheinlich [121].

Transfusionspflichtige, polytraumatisierte Patienten, die zusätzlich Fibrinogen erhielten, hatten (verglichen mit FFP) signifikant bessere Ergebnisse bezüglich Mortalität ($P=0,029$), Sepsis ($P=0,001$), Notwendigkeit einer Aufnahme auf ICU ($P=0,020$), Transfusionsbedarf ($P=0,044$), Volumenbedarf in den ersten 24h ($P=0,022$) und Dauer des Krankenhausaufenthaltes ($P=0,045$) sowie nur $\frac{1}{4}$ an Multiorganversagen ($P=0,106$) [1]. Nascimento et al. zeigten, dass die Gabe von 6 g Fibrinogen zügig möglich ist und die Plasmakonzentration um etwa 1 g/l steigert [38]. Innerhofer et al. verglichen bei RETIC die primäre, ROTEM™-gesteuerte Gabe von Fibrinogen (50 mg/kg wenn FIBTEM A10 <9mm) und PPSB (20 E/kg wenn EXTEM CT >90s) mit FFP (15 ml/kg); bei nicht ausreichender Wirkung der einen Medikation war ein Wechsel in die andere geplant, alle Patienten erhielten TXA. Nach einer geplanten Interimsanalyse wurde die Studie vorzeitig abgebrochen, da die FFP-Gruppe signifikant häufiger die Rescue-Medikation (52% vs. 4%; OR 25,34; 95% CI 5,47 bis 240,03; $P<0,0001$) und Massivtransfusionen (30% vs. 12%; OR 3,04, 95% CI 0,95 bis 10,87; $P=0,042$) benötigte [27]. Die FFP-Gruppe benötigte signifikant länger bis zum Start der Medikation (median 50,5 min [IQR 39,5 bis 70,0] vs. 10 min [10 bis 16]; Differenz -40 [95% CI -46 bis -33], $P<0,0001$) und bis zur Stabilisierung der Blutungssituation (128,0 min [48,3 bis 186,3] vs. 22,5 min [13,5 bis 40,0]; Differenz -97 min [-126 bis -60], $P<0,0001$). Eine mittlere Fibrinogen-Dosis von 3,8 ($\pm 1,2$) g erhöht die FIBTEM A5 um 5,2 mm (IQR 4,1–6,3 mm) [122]. Auch andere Autoren empfehlen 4 g Fibrinogen-Konzentrat und nennen ein FIBTEM A5 <10 mm bzw. TEG FF <20 mm als Indikation für die Gabe von Fibrinogen [90].

Bisher gibt es keine Evidenz-basierte Aussage, welchen Zielwert eine Fibrinogengabe beim Trauma haben soll. Bei Traumata scheint die Wirksamkeit der Gabe von Fibrinogen bezüglich der Begrenzung des Blutverlustes deutlich von einer frühzeitigen Gabe und dem Erreichen eines Spiegels >2 g/l abhängig zu sein [123]. Für peripartale Blutungen ist ein Wert von 2,2-2,5 g/l ausreichend [124], obwohl der physiologische Spiegel am Geburtstermin zwischen 4,5 und 6,5 g/l liegt. Vermutlich liegt auch bei Traumata das Ziel bei 2 bis 2,5 g/l.

Ausgeschlossen wurde Curry [15], da under-powered und die zeitlichen Probleme der Fibrinogengabe in Deutschland nicht zutreffen.

2.4.21	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Patienten mit lebensbedrohlichen Blutungen und/oder im Schock sollte zusätzlich zur Gabe von Fibrinogen die Gabe von Prothrombinkomplekonzentrat (PPSB) erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[27] Innerhofer 2017: LoE 1b [56] Zeeshan 2019: LoE 2b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Die Mischpräparate der Vitamin-K-abhängigen Faktoren Prothrombin = FII, Prokonvertin = FVII, Stuart-Faktor = FX und der Antihämophile Faktor B = FIX sowie Protein C, Protein S und Protein Z enthalten weder Fibrinogen noch FV oder FVIII und sind nur hinsichtlich des Faktor-IX-Gehaltes standardisiert, so dass der Gehalt an den oben genannten Gerinnungsfaktoren eine große Schwankungsbreite aufweisen kann [88]. Lange wurde die eingeschränkte Thrombingeneration nicht als Problem der frühen Phase einer TIK angesehen [125, 126]; bei Traumapatienten im Schock scheint dies jedoch der Fall zu sein [127]. Nach PPSB-Gabe bleibt (im Gegensatz zu Fibrinogen) das endogene Thrombinpotential für 3 Tage signifikant erhöht; ein theoretisches Thromboserisiko ist somit gegeben [128].

Wie oben geschildert verglichen Innerhofer et al. Fibrinogen + PPSB gegen FFP [27]; dabei wurden 20 E/kg PPSB gegeben, wenn EXTEM CT >90s war. Zeeshan et al. erzielten mit der Kombination von PPSB + FFP, im Vergleich zu FFP allein, eine reduzierte Mortalität (17,5% vs. 27,7%, P=0,01) sowie weniger ARDS (1,3% vs. 4,7%, P=0,04) und Nierenversagen (2,1% vs. 7,3%, P=0,01) [56]. Auch die Metaanalyse von van den Brink et al. fand in der Traumagruppe eine signifikante Reduktion der Sterblichkeit nur bei der Kombination von PPSB+FFP (OR 0,64; 95% CI 0,46 bis 0,88; P=0,007), aber nicht bei PPSB allein [129].

In Gegenwart von Kalziumionen bewirkt der FXIII die kovalente Quervernetzung des Fibrins. In der RETIC-Studie hatten rund 30% der Patienten bei Aufnahme ein FXIII <60% [27].

2.4.22	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Innerhalb von 24 Stunden nach Blutungsstopp soll über Art und Beginn der Thromboseprophylaxe entschieden werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Rund 24h nach dem Unfall kommen alle polytraumatisierten Patienten in eine hypofibrinolytische Phase und sind somit Thrombose-gefährdet. Der optimale Zeitpunkt zum Beginn einer Thromboseprophylaxe ist oft schwierig zu finden; eine Studie zeigte jedoch eine erhöhte Sterblichkeit, wenn dies nach mehr als 24 Stunden erfolgte [130]. Bei Patienten mit isoliertem SHT fanden Byrne et al., dass der Beginn einer pharmakologischen Thromboseprophylaxe <72h nach Trauma (verglichen mit >72h) zu einer niedrigeren Rate an Lungenembolien (OR 0,48; 95% CI 0,25 bis 0,91) und tiefen Thrombosen (OR 0,51; 95% CI 0,36 bis 0,72) führen, jedoch nicht zu einem erhöhten Risiko bezüglich Operation oder Tod [7]. Bei isoliertem, stumpfen Abdominaltrauma ohne OP war die pharmakologische Thromboseprophylaxe ≤48h nach Trauma mit niedrigerer Rate an tiefen Venenthrombosen (0% vs. 9%, P=0,024) verbunden [50]. Die gleiche Empfehlung gilt auch bei stumpfen Beckenfrakturen, wobei eine angiologische Embolisation als Risikofaktor für VTE (OR 1,296; P=0,044) beobachtet wurde [49]. Bei Kontraindikationen gegen eine medikamentöse VTE-Prophylaxe sollten physikalische Maßnahmen, z.B. intermittierende pneumatische Kompression (IPK), erwogen werden.

2.4.23	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die Anlage zentraler Zugänge soll, sofern sofort verfügbar, ultraschall-gesteuert erfolgen.	
	Konsensstärke: 92%	

Die Ultraschall-gesteuerte Anlage zentralvenöser Katheter wird in vielen klinischen Situationen empfohlen. Kunhahamed et al. untersuchten 70 Patienten, von denen allerdings nur 12 polytraumatisiert waren; verglichen mit der Landmark-Technik ist die Nutzung des US schneller und erfolgreicher [31]. In den Notaufnahmen sind US-Geräte für die FAST-Diagnostik vorhanden; diese benötigen nur einen zusätzlichen Linear-Schallkopf für die Punktion.

Tabellarische Zusammenfassung

Die oben geschilderten medikamentösen eskalierende Therapieoptionen koagulopathischer Blutungen lassen sich, für die Nutzung ohne VET, wie folgt zusammenfassen:

1. Stabilisierung der Rahmenbedingungen (Prophylaxe und Therapie!)	Kerntemperatur ≥ 34 C (möglichst Normothermie) pH-Wert $\geq 7,2$ ionisierte Ca^{++} -Konzentration $>0,9$ mmol/l (möglichst Normokalzämie)
2. <u>frühestmögliche</u> Hemmung einer potentiellen (Hyper-)Fibrinolyse (immer <u>VOR</u> Gabe von Fibrinogen!)	Tranexamsäure initial 1 g (15–30 mg/kgKG) ggf. 1 g in 10 min + 1 g über 8 h
3. Substitution von Sauerstoffträgern	EK: hämostaseologisches Ziel bei massiver Blutung: Hb $\sim 7-9$ g/dl (4,3-5,5 mmol/l)
4. Substitution von Gerinnungsfaktoren (bei fortbestehender schwerer Blutungsneigung) Bei Patienten, die Massivtransfusionen benötigen (werden) oder einen blutungsbedingten, lebensbedrohlichen Schock haben und die Gerinnungstherapie bei Massivtransfusionen durch die Gabe von therapeut. Plasma durchgeführt wird, können von einem hohen Verhältnis Plasma:EK:TK im Bereich von 4(bis 6) zu 4(bis 6) zu 1 oder der kombinierten Gabe von therapeutischem Plasma und Faktorenkonzentraten sowie Thrombozytenkonzentraten profitieren. <u>und</u> (bei V. a. Thrombozytopathie) verstärkte Thrombozytenadhäsion an das Endothel + Freisetzung von „Von-Willebrand-Faktor“ und FVIII aus Lebersinusoiden (\rightarrow Agonist für Vasopressin Rezeptor Typ 2)	Fibrinogen 3-6 g (30–60 mg/kgKG; Ziel: 2-2,5 g/l) <u>und</u> ggf. PPSB initial 25 IE/kg KG ggf. FXIII 20 IE/kg KG Ziel: FXIII-Aktivität $>60\%$ DDAVP = Desmopressin 0,3 μ g/kgKG über 30 min („1 Ampulle pro 10 kgKG über 30 min“)
5. Zum Ersatz des Plasmavolumens	FFP ≥ 30 ml/kg KG
6. Substitution von Thrombozyten für die primäre Hämostase	Thrombozytenkonzentrate: Ziel bei transfusionspflichtigen Blutungen u./o. SHT $>100\ 000/\mu$ l
7. ggf. Thrombin-Burst mit Thrombozyten- und Gerinnungsaktivierung („Rahmenbedingungen“ beachten!! Off-Label-Use!)	im Einzelfall & bei Erfolglosigkeit aller anderen Therapieoptionen ggf. rFVIIa initial 90 μ g/kgKG

CAVE:

innerhalb von 24 Stunden nach Beendigung der zur Blutung führenden Pathologie ist eine Thromboseprophylaxe obligat!

Ergänzung: Möglichkeiten der Antagonisierung gebräuchlicher Antithrombotika:

	Zeit bis zur regulären Hämostase nach therapeutischer Dosis (3-5x t ¹ / ₂)	Antidot	Bemerkung
Vitamin K-Antagonisten	Phenprocoumon =Marcumar [®] : 8–10 d Warfarin =Coumadin [®] : 60–80 h	Vitamin K =Konaktion[®] 20 mg i.v. (max. 40 mg/d, Geschwindigkeit etwa 1 mg/min) oder 2-3 mg p.o. PPSB* (initial 25 IE/kg bzw. (Quick _{1st} - Quick _{Soll}) x kg KG)	Vitamin K =Konaktion [®] i.v.: verzögert wirksam in 12–16 h (Beginn bereits in 2 h) Vitamin K =Konaktion [®] p.o.: verzögert wirksam in 24 h PPSB i.v. sofort wirksam
Heparin	3–4 h	Protamin (25–30 mg): sofort wirksam	1 mg (=100 E) pro 100 anti-Xa -Einheiten, die in den letzten 2–3 h gegeben wurden
LMW Heparine (Certoparin =Mono-Embolex [®] , Dalteparin =Fragmin [®] , Enoxaparin =Clexane [®] , Nadoparin =Fraxiparin [®] , Reviparin =Clivarin [®] , Tinzaparin =Innohep [®])	12–24 h	Protamin (25–30 mg): sofort partial wirksam	nur partial; 1 mg (=100 E) pro 100 anti-Xa -Einheiten, die in den letzten 8 h gegeben wurden (ggf. 2.Dosis mit 0,5 mg) off-label: Andexanet alfa =Ondexxya [®]
Pentasaccharide / s.c. Xa-Inhibitoren	Fondaparinux =Arixtra [®] 24–30 h	probatorisch: rFVIIa =NovoSeven[®] (90 µg/kg)	Experimentell off-label: Andexanet alfa =Ondexxya [®]
Orale Xa-Inhibitoren (Rivaroxaban =Xarelto [®] , Apixaban =Eliquis [®]) (Edoxaban=Lixiana [®])	meist innerhalb von 36 h (→ dann Thromboplastinzeit [TPZ, Quick] normal bzw. fehlender Anti-Xa-Effekt [NMH-	spezifisches Antidot: Andexanet alfa =Ondexxya[®] (Zulassung nur bei fulminanter Blutung, <u>nicht</u> zur Prophylaxe / Durchführung einer OP; Bolus: 400 bzw. 800 mg [180 ml/h] plus Perfusor:	Andexanet alfa =Ondexxya [®] bei Edoxaban off-label Aktivkohle (30-50 g) bei Einnahme des Xa-Inhib. <2h

	Testung])	480 bzw. 960 mg [24-48 ml/h]; Rebound nach Absetzen; sehr teuer)	
		Adjuvantien: DDAVP =Minirin [®] (0,3 µg/kg i.v.) plus Tranexamsäure (TxA =Cyclokapron [®] ; 1 g oder 15 µg/kg i.v.); probatorisch und bei Edoxaban: PPSB* (initial 25(-50) IE/kg i.v. bzw. (Quick _{Ist} - Quick _{Soll}) x kg); [ggf. aktiviertes PPSB =FEIBA [®] (50-100 IE/kg i.v.; max. 200 IE/Kg/d) oder rFVIIa =NovoSeven[®] (90-100 µg/kg i.v.)]	experimentell (DDAVP bei erworbenem von Willebrand-Syndrom)
		spezifisches Antidot: Idarucizumab =Praxbind[®] ; 2x 2,5 g (Zulassung bei lebensbedrohlichen oder nicht beherrschbaren Blutungskomplikationen sowie bei Notoperationen)	ggf. Dialyse (High-Flux-Filter); Cave: Rebound nach Ende der Dialyse? Aktivkohle (30-50 g) bei Einnahme des IIa-Inhib. <2(-6)h
Direkte orale Thrombininhibitoren (Dabigatran =Pradaxa [®])	meist innerhalb von 36 h (→ dann Thrombinzeit [TZ] normal bis leicht verlängert)	Adjuvantien: DDAVP =Minirin [®] (0,3 µg/kg i.v.) plus Tranexamsäure (TxA =Cyclokapron [®] ; 1 g oder 15 µg/kg i.v.); probatorisch: PPSB* (initial 25(-50) IE/kg i.v., ggf. + 25 IE/kg), [ggf. aktiviertes PPSB =FEIBA[®] (50-100 IE/kg i.v.; max. 200 IE/Kg/d) oder rFVIIa =NovoSeven[®] (90-100 µg/kg i.v.)]	alle experimentell (DDAVP bei erworbenem von Willebrand-Syndrom)
Aspirin	5–10 d	DDAVP =Minirin[®] (0,3 µg/kg i.v.) und/oder Thrombozytenkonzentrate (Ziel: >80.000/µl); wirksam in 15–30 min	abhängig von Klinik
Thienopyridine = ADP-Antagonisten (Clopidogrel =Iscover [®] =Plavix [®] , Prasugrel =Efient [®])	1–2 d	Thrombozytenkonzentrate (Ziel: >80.000/µl), möglichst mit DDAVP =Minirin[®] (0,3 µg/kg i.v.); wirksam in 15–30 min	abhängig von Klinik

Literatur

1. Akbari E, Safari S, Hatamabadi H. The effect of fibrinogen concentrate and fresh frozen plasma on the outcome of patients with acute traumatic coagulopathy: A quasi-experimental study. *American Journal of Emergency Medicine*. 2018;36(11):1947-50.
2. Albert V, Subramanian A, Pati HP, Agrawal D, Bhoi SK. Efficacy of Thromboelastography (TEG) in Predicting Acute Trauma-Induced Coagulopathy (ATIC) in Isolated Severe Traumatic Brain Injury (iSTBI). *Indian Journal of Hematology & Blood Transfusion*. 2019;35(2):325-31.
3. Baksaas-Aasen K, Gall LS, Stensballe J, Juffermans NP, Curry N, Maegele M, et al. Viscoelastic haemostatic assay augmented protocols for major trauma haemorrhage (ITACTIC): a randomized, controlled trial. *Intensive Care Medicine*. 2021;47(1):49-59.
4. Balendran CA, Lovgren A, Hansson KM, Nel, er K, Olsson M, et al. Prothrombin time is predictive of low plasma prothrombin concentration and clinical outcome in patients with trauma hemorrhage: analyses of prospective observational cohort studies. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2017;25(1):30.
5. Barrett CD, Moore HB, Vigneshwar N, Dhara S, Ch, ler J, et al. Plasmin thrombelastography rapidly identifies trauma patients at risk for massive transfusion, mortality, and hyperfibrinolysis: A diagnostic tool to resolve an international debate on tranexamic acid? *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;89(6):991-8.
6. Bui E, Inaba K, Ebadat A, Karamanos E, Byerly S, Okoye O, et al. The impact of increased plasma ratios in massively transfused trauma patients: a prospective analysis. *European Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2016;42(4):519-25.
7. Byrne JP, Mason SA, Gomez D, Hoeft C, Subacius H, Xiong W, et al. Timing of Pharmacologic Venous Thromboembolism Prophylaxis in Severe Traumatic Brain Injury: A Propensity-Matched Cohort Study. *Journal of the American College of Surgeons*. 2016;223(4):621-31.e5.
8. Cardenas JC, Zhang X, Fox EE, Cotton BA, Hess JR, Schreiber MA, et al. Platelet transfusions improve hemostasis and survival in a substudy of the prospective, randomized PROPPR trial. *Blood Advances*. 2018;2(14):1696-704.
9. Carrick MM, Morrison CA, Tapia NM, Leonard J, Suliburk JW, Norman MA, et al. Intraoperative hypotensive resuscitation for patients undergoing laparotomy or thoracotomy for trauma: Early termination of a randomized prospective clinical trial. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2016;80(6):886-96.
10. Chehab M, Ditillo M, Obaid O, Nelson A, Poppe B, Douglas M, et al. Never-Frozen Liquid Plasma Transfusion in Civilian Trauma: A Nationwide Propensity-Matched Analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2021;17:17.
11. Cohen J, Scorer T, Wright Z, Stewart IJ, Sosnov J, Pidcoke H, et al. A prospective evaluation of thromboelastometry (ROTEM) to identify acute traumatic coagulopathy and predict massive transfusion in military trauma patients in Afghanistan. *Transfusion*. 2019;59:1601-7.
12. collaborators C-t. Effects of tranexamic acid on death, disability, vascular occlusive events and other morbidities in patients with acute traumatic brain injury (CRASH-3): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet*. 2019;394(10210):1713-23.
13. Connelly CR, Yonge JD, McCully SP, Hart KD, Hilliard TC, Lape DE, et al. Assessment of three point-of-care platelet function assays in adult trauma patients. *Journal of Surgical Research*. 2017;212:260-9.
14. Cooper DJ, Nichol AD, Bailey M, Bernard S, Cameron PA, Pili-Floury S, et al. Effect of Early Sustained Prophylactic Hypothermia on Neurologic Outcomes Among Patients With Severe Traumatic Brain Injury: The POLAR Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2018;320(21):2211-20.
15. Curry N, Foley C, Wong H, Mora A, Curnow E, Zarankaite A, et al. Early fibrinogen concentrate therapy for major haemorrhage in trauma (E-FIT 1): results from a UK multi-centre, randomised, double blind, placebo-controlled pilot trial. *Critical Care (London, England)*. 2018;22(1):164.
16. de Roulet A, Kerby JD, Weinberg JA, Lewis RH, Jr., Hudgins JP, Shulman IA, et al. Group A emergency-release plasma in trauma patients requiring massive transfusion. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;89(6):1061-7.

17. Fligor SC, Love KM, Collier BR, Lollar DI, Hamill ME, Benson AD, et al. Parathyroid hormone as a marker for hypoperfusion in trauma: A prospective observational study. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2017;83(6):1142-7.
18. Gale SC, Kocik JF, Creath R, Crystal JS, Dombrowskiy VY. A comparison of initial lactate and initial base deficit as predictors of mortality after severe blunt trauma. *Journal of Surgical Research*. 2016;205(2):446-55.
19. Garrigue D, Godier A, Glacet A, Labreuche J, Kipnis E, Paris C, et al. French lyophilized plasma versus fresh frozen plasma for the initial management of trauma-induced coagulopathy: a randomized open-label trial. *Journal of Thrombosis & Haemostasis*. 2018;16(3):481-9.
20. Gonzalez E, Moore EE, Moore HB, Chapman MP, Chin TL, Ghasabyan A, et al. Goal-directed Hemostatic Resuscitation of Trauma-induced Coagulopathy: A Pragmatic Randomized Clinical Trial Comparing a Viscoelastic Assay to Conventional Coagulation Assays. *Annals of Surgery*. 2016;263(6):1051-9.
21. Gu X, Wang S, Chen J, Cao F, Zhou L. Restricted fluid resuscitation improves the prognosis of patients with traumatic hemorrhagic shock. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2020;13(7):5319-27.
22. Guyette FX, Brown JB, Zenati MS, Early-Young BJ, Adams PW, Eastridge BJ, et al. Tranexamic Acid During Prehospital Transport in Patients at Risk for Hemorrhage After Injury: A Double-blind, Placebo-Controlled, Randomized Clinical Trial. *JAMA Surgery*. 2020;5:05.
23. Hagemo JS, Christiaans SC, Stanworth SJ, Brohi K, Johansson PI, Goslings JC, et al. Detection of acute traumatic coagulopathy and massive transfusion requirements by means of rotational thromboelastometry: an international prospective validation study. *Critical Care (London, England)*. 2015;19:97.
24. Han J, Ren HQ, Zhao QB, Wu YL, Qiao ZY. Comparison of 3% and 7.5% Hypertonic Saline in Resuscitation After Traumatic Hypovolemic Shock. *Shock*. 2015;43(3):244-9.
25. Hifumi T, Kuroda Y, Kawakita K, Yamashita S, Oda Y, Dohi K, et al. Therapeutic hypothermia in patients with coagulopathy following severe traumatic brain injury. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2017;25(1):120.
26. Hutchings SD, Naumann DN, Hopkins P, Mellis C, Riozzi P, Sartini S, et al. Microcirculatory Impairment Is Associated With Multiple Organ Dysfunction Following Traumatic Hemorrhagic Shock: The MICROSHOCK Study. *Critical care medicine*. 2018;46(9):e889-e96.
27. Innerhofer P, Fries D, Mittermayr M, Innerhofer N, von Langen D, Hell T, et al. Reversal of trauma-induced coagulopathy using first-line coagulation factor concentrates or fresh frozen plasma (RETIC): a single-centre, parallel-group, open-label, randomised trial. *The Lancet Haematology*. 2017;4(6):e258-e71.
28. Jones AR, Bush HM, Frazier SK. Injury severity, sex, and transfusion volume, but not transfusion ratio, predict inflammatory complications after traumatic injury. *Heart & Lung*. 2017;46(2):114-9.
29. Jones AR, Frazier SK. Increased mortality in adult patients with trauma transfused with blood components compared with whole blood. *Journal of Trauma Nursing*. 2014;21(1):22-9.
30. Khan M, Jehan F, Bulger EM, O'Keefe T, Holcomb JB, Wade CE, et al. Severely injured trauma patients with admission hyperfibrinolysis: Is there a role of tranexamic acid? Findings from the PROPPR trial. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;85(5):851-7.
31. Kunhahamed M, Abraham S, Palatty B, Krishnan S, Rajeev P, Gopinathan V. A comparison of internal jugular vein cannulation by ultrasound-guided and anatomical landmark technique in resource-limited emergency department setting. *Journal of Medical Ultrasound*. 2019;27(4):187-91.
32. Kutcher ME, Kornblith LZ, Vilardi RF, Redick BJ, Nelson MF, Cohen MJ. The natural history and effect of resuscitation ratio on coagulation after trauma: a prospective cohort study. *Annals of Surgery*. 2014;260(6):1103-11.
33. Lu Y, Liu L, Wang J, Cui L. Controlled blood pressure elevation and limited fluid resuscitation in the treatment of multiple injuries in combination with shock. *Pakistan Journal of Medical Sciences*. 2018;34(5):1120-4.

34. Maekawa T, Yamashita S, Nagao S, Hayashi N, Ohashi Y. Prolonged mild therapeutic hypothermia versus fever control with tight hemodynamic monitoring and slow rewarming in patients with severe traumatic brain injury: a randomized controlled trial. *Journal of neurotrauma*. 2015;32(7):422-9.
35. Moore HB, Moore EE, Chapman MP, Huebner BR, Einersen PM, Oushy S, et al. Viscoelastic Tissue Plasminogen Activator Challenge Predicts Massive Transfusion in 15 Minutes. *Journal of the American College of Surgeons*. 2017;225(1):138-47.
36. Moore HB, Moore EE, Huebner BR, Stettler GR, Nunns GR, Einersen PM, et al. Tranexamic acid is associated with increased mortality in patients with physiological fibrinolysis. *Journal of Surgical Research*. 2017;220:438-43.
37. Moore HB, Tessmer MT, Moore EE, Sperry JL, Cohen MJ, Chapman MP, et al. Forgot calcium? Admission ionized-calcium in two civilian randomized controlled trials of prehospital plasma for traumatic hemorrhagic shock. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;88(5):588-96.
38. Nascimento B, Callum J, Tien H, Peng H, Rizoli S, Karanicolas P, et al. Fibrinogen in the initial resuscitation of severe trauma (FiiRST): a randomized feasibility trial. *British Journal of Anaesthesia*. 2016;117(6):775-82.
39. Nderpelt CJ, El Hechi MW, Kongkaewpaisan N, Kokoroskos N, Mendoza AE, Saillant NN, et al. Fresh Frozen Plasma-to-Packed Red Blood Cell Ratio and Mortality in Traumatic Hemorrhage: Nationwide Analysis of 4,427 Patients. *Journal of the American College of Surgeons*. 2020;230(6):893-901.
40. Nishijima DK, Kuppermann N, Roberts I, VanBuren JM, Tancredi DJ. The Effect of Tranexamic Acid on Functional Outcomes: An Exploratory Analysis of the CRASH-2 Randomized Controlled Trial. *Annals of Emergency Medicine*. 2019;74(1):79-87.
41. Peng HT, Nascimento B, Tien H, Callum J, Rizoli S, Rhind SG, et al. A comparative study of viscoelastic hemostatic assays and conventional coagulation tests in trauma patients receiving fibrinogen concentrate. *Clinica Chimica Acta*. 2019;495:253-62.
42. Pusateri AE, Moore EE, Moore HB, Le TD, Guyette FX, Chapman MP, et al. Association of Prehospital Plasma Transfusion With Survival in Trauma Patients With Hemorrhagic Shock When Transport Times Are Longer Than 20 Minutes: A Post Hoc Analysis of the PAMPer and COMBAT Clinical Trials. *JAMA Surgery*. 2020;155(2):e195085.
43. Quine EJ, Murray L, Trapani T, Cooper DJ. Thromboelastography to Assess Coagulopathy in Traumatic Brain Injury Patients Undergoing Therapeutic Hypothermia. *Therapeutic Hypothermia & Temperature Management*. 2021;11(1):53-7.
44. Reitz KM, Moore HB, Guyette FX, Sauaia A, Pusateri AE, Moore EE, et al. Prehospital plasma in injured patients is associated with survival principally in blunt injury: Results from two randomized prehospital plasma trials. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;88(1):33-41.
45. Rizoli S, Min A, Sanchez AP, Shek P, Grodecki R, Veigas P, et al. In Trauma, Conventional ROTEM and TEG Results Are Not Interchangeable But Are Similar in Clinical Applicability. *Military Medicine*. 2016;181(5):117-26.
46. Roberts I, Edwards P, Prieto D, Joshi M, Mahmood A, Ker K, et al. Tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploration of benefits and harms. *Trials [Electronic Resource]*. 2017;18(1):48.
47. Roberts I, Prieto-Merino D, Manno D. Mechanism of action of tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of data from the CRASH-2 trial. *Critical Care (London, England)*. 2014;18(6):685.
48. Roquet F, Neuschw, er A, Hamada S, Fave G, Follin A, et al. Association of Early, High Plasma-to-Red Blood Cell Transfusion Ratio With Mortality in Adults With Severe Bleeding After Trauma. *JAMA Network Open*. 2019;2(9):e1912076.
49. Schellenberg M, Benjamin E, Inaba K, Heindel P, Biswas S, Mooney JL, et al. When Is It Safe to Start Pharmacologic Venous Thromboembolism Prophylaxis After Pelvic Fractures? A Prospective Study From a Level I Trauma Center. *Journal of Surgical Research*. 2021;258:272-7.

50. Schellenberg M, Inaba K, Biswas S, Heindel P, Benjamin E, Strumwasser A, et al. When is It Safe to Start VTE Prophylaxis After Blunt Solid Organ Injury? A Prospective Study from a Level I Trauma Center. *World Journal of Surgery*. 2019;43(11):2797-803.
51. Shea SM, Staudt AM, Thomas KA, Schuerer D, Mielke JE, Folkerts D, et al. The use of low-titer group O whole blood is independently associated with improved survival compared to component therapy in adults with severe traumatic hemorrhage. *Transfusion*. 2020;60:S2-S9.
52. Spagnolello O, J Reed M, Dauncey S, Timony-Nolan E, Innes C, Allen JMM, et al. Introduction of a ROTEM protocol for the management of trauma-induced coagulopathy. *Trauma (United Kingdom)*. 2020.
53. Spinella PC, Thomas KA, Turnbull IR, Fuchs A, Bochicchio K, Schuerer D, et al. The Immunologic Effect of Early Intravenous Two and Four Gram Bolus Dosing of Tranexamic Acid Compared to Placebo in Patients With Severe Traumatic Bleeding (TAMPITI): A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled, Single-Center Trial. *Frontiers in Immunology*. 2020;11:2085.
54. Stanworth SJ, Davenport R, Curry N, Seeney F, Eaglestone S, Edwards A, et al. Mortality from trauma haemorrhage and opportunities for improvement in transfusion practice. *British Journal of Surgery*. 2016;103(4):357-65.
55. Stevens WT, Morse BC, Bernard A, Davenport DL, Sams VG, Goodman MD, et al. Incompatible type A plasma transfusion in patients requiring massive transfusion protocol: Outcomes of an Eastern Association for the Surgery of Trauma multicenter study. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2017;83(1):25-9.
56. Zeeshan M, Hamidi M, Feinstein AJ, Gries L, Jehan F, Sakran J, et al. Four-factor prothrombin complex concentrate is associated with improved survival in trauma-related hemorrhage: A nationwide propensity-matched analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2019;87(2):274-81.
57. Zhang LM, Li R, Sun WB, Wang XP, Qi MM, Bai Y, et al. Low-Dose, Early Fresh Frozen Plasma Transfusion Therapy After Severe Trauma Brain Injury: A Clinical, Prospective, Randomized, Controlled Study. *World Neurosurgery*. 2019;132:e21-e7.
58. Zhou H, Zhang N, Zhou H, Jia Z. Influence of phased body temperature management for severe abdominal traumatic patients with hemorrhagic shock. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2018;11(4):4056-63.
59. Zielinski MD, Schragger JJ, Johnson P, Stubbs JR, Polites S, Zietlow SP, et al. Multicenter comparison of emergency release group A versus AB plasma in blunt-injured trauma patients. *Clinical and translational science*. 2015;8(1):43-7.
60. Kolev K, Longstaff C. Bleeding related to disturbed fibrinolysis. *Br J Haematol*. 2016;175(1):12-23.
61. Lusczek ER, Myers C, Popovsky K, Mulier K, Beilman G, Sawyer R. Plasma metabolomics pilot study suggests age and sex-based differences in the metabolic response to traumatic injury. *Injury*. 2018;49(12):2178-85.
62. Moore HB, Moore EE, Gonzalez E, Chapman MP, Chin TL, Silliman CC, et al. Hyperfibrinolysis, physiologic fibrinolysis, and fibrinolysis shutdown: the spectrum of postinjury fibrinolysis and relevance to antifibrinolytic therapy. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;77(6):811-7; discussion 7.
63. Moore HB, Moore EE, Neal MD, Sheppard FR, Kornblith LZ, Draxler DF, et al. Fibrinolysis Shutdown in Trauma: Historical Review and Clinical Implications. *Anesth Analg*. 2019;129(3):762-73.
64. Moore HB, Moore EE, Huebner BR, Dzieciatkowska M, Stettler GR, Nunns GR, et al. Fibrinolysis shutdown is associated with a fivefold increase in mortality in trauma patients lacking hypersensitivity to tissue plasminogen activator. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2017;83(6):1014-22.
65. Meizoso JP, Dudaryk R, Mulder MB, Ray JJ, Karcutskie CA, Eidelson SA, et al. Increased risk of fibrinolysis shutdown among severely injured trauma patients receiving tranexamic acid. *J Trauma Acute Care Surg*. 2018;84(3):426-32.

66. Dow N, Coleman JR, Moore H, Osborn ZT, Sackheim AM, Hennig G, et al. Dense and dangerous: The tissue plasminogen activator-resistant fibrinolysis shutdown phenotype is due to abnormal fibrin polymerization. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;88(2):258-65.
67. Duque P, Calvo A, Lockie C, Schochl H. Pathophysiology of Trauma-Induced Coagulopathy. *Transfus Med Rev*. 2021;35(4):80-6.
68. Cardenas JC, Wade CE, Cotton BA, George MJ, Holcomb JB, Schreiber MA, et al. TEG Lysis Shutdown Represents Coagulopathy in Bleeding Trauma Patients: Analysis of the PROPPR Cohort. *Shock*. 2019;51(3):273-83.
69. Vigneshwar NG, Moore EE, Moore HB, Cotton BA, Holcomb JB, Cohen MJ, et al. Precision Medicine: Clinical Tolerance to Hyperfibrinolysis Differs by Shock and Injury Severity. *Ann Surg*. 2022;275(3):e605-e7.
70. Bogner-Flatz V, Braunstein M, Ocker LE, Kusmenkov T, Tschoep J, Ney L, et al. On-the-Scene Hyaluronan and Syndecan-1 Serum Concentrations and Outcome after Cardiac Arrest and Resuscitation. *Mediators Inflamm*. 2019;2019:8071619.
71. Roberts DJ, Kalkwarf KJ, Moore HB, Cohen MJ, Fox EE, Wade CE, et al. Time course and outcomes associated with transient versus persistent fibrinolytic phenotypes after injury: A nested, prospective, multicenter cohort study. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2019;86(2):206-13.
72. Rossetto A, Vulliamy P, Lee KM, Brohi K, Davenport R. Temporal Transitions in Fibrinolysis after Trauma: Adverse Outcome Is Principally Related to Late Hypofibrinolysis. *Anesthesiology*. 2022;136(1):148-61.
73. Wray JP, Bridwell RE, Schauer SG, Shackelford SA, Bebart VS, Wright FL, et al. The diamond of death: Hypocalcemia in trauma and resuscitation. *The American journal of emergency medicine*. 2021;41:104-9.
74. Innerhofer P, Westermann I, Tauber H, Breitkopf R, Fries D, Kastenberger T, et al. The exclusive use of coagulation factor concentrates enables reversal of coagulopathy and decreases transfusion rates in patients with major blunt trauma. *Injury*. 2013;44(2):209-16.
75. Hagemo JS, Christiaans SC, Stanworth SJ, Brohi K, Johansson PI, Goslings JC, et al. Detection of acute traumatic coagulopathy and massive transfusion requirements by means of rotational thromboelastometry: an international prospective validation study. *Crit Care*. 2015;19:97.
76. Gratz J, Guting H, Thorn S, Brazinova A, Goring K, Schafer N, et al. Protocolised thromboelastometric-guided haemostatic management in patients with traumatic brain injury: a pilot study. *Anaesthesia*. 2019;74(7):883-90.
77. Holcomb JB, Jenkins D, Rhee P, Johannigman J, Mahoney P, Mehta S, et al. Damage control resuscitation: directly addressing the early coagulopathy of trauma. *J Trauma*. 2007;62(2):307-10.
78. Fenger-Eriksen C, Haas T, Fries D. Coagulation disturbances during major perioperative or traumatic bleeding. *Trends Anaesth Crit Care*. 2019;28:6-13.
79. Lier H, Bernhard M, Hossfeld B. Hypovolämisch-hämorrhagischer Schock. *Anaesthesist*. 2018;67(3):225-44.
80. Kregel HR, Hatton GE, Isbell KD, Henriksen HH, Stensballe J, Johansson PI, et al. Shock-Induced Endothelial Dysfunction is Present in Patients With Occult Hypoperfusion After Trauma. *Shock*. 2022;57(1):106-12.
81. Darlington DN, Kheirabadi BS, Scherer MR, Martini WZ, Dubick MA. Acidosis and correction of acidosis does not affect rFVIIa function in swine. *Int J Burns Trauma*. 2012;2(3):145-57.
82. Webster S, Todd S, Redhead J, Wright C. Ionised calcium levels in major trauma patients who received blood in the Emergency Department. *Emerg Med J*. 2016;33(8):569-72.
83. Guerado E, Medina A, Mata MI, Galvan JM, Bertrand ML. Protocols for massive blood transfusion: when and why, and potential complications. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2016;42(3):283-95.
84. Oyeniyi BT, Fox EE, Scerbo M, Tomasek JS, Wade CE, Holcomb JB. Trends in 1029 trauma deaths at a level 1 trauma center: Impact of a bleeding control bundle of care. *Injury*. 2017;48(1):5-12.

85. Savage SA, Sumislawski JJ, Zarzaur BL, Dutton WP, Croce MA, Fabian TC. The new metric to define large-volume hemorrhage: results of a prospective study of the critical administration threshold. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;78(2):224-9; discussion 9-30.
86. Mellin-Olsen J, Staender S, Whitaker DK, Smith AF. The Helsinki Declaration on Patient Safety in Anaesthesiology. *European journal of anaesthesiology*. 2010;27(7):592-7.
87. Consunji R, Elseed A, El-Menyar A, Sathian B, Rizoli S, Al-Thani H, et al. The effect of massive transfusion protocol implementation on the survival of trauma patients: a systematic review and meta-analysis. *Blood Transfus*. 2020;18(6):434-45.
88. Bundesärztekammer (BÄK). Querschnitts-Leitlinien (BÄK) zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten – Gesamtnovelle 2020 2020 [cited 2021 10 Jan 2021]. Available from: <https://www.bundesaerztekammer.de/aerzte/medizin-ethik/wissenschaftlicher-beirat/veroeffentlichungen/haemotherapietransfusionsmedizin/querschnitt-leitlinie/>.
89. Chowdary P, Saayman AG, Paulus U, Findlay GP, Collins PW. Efficacy of standard dose and 30 ml/kg fresh frozen plasma in correcting laboratory parameters of haemostasis in critically ill patients. *Br J Haematol*. 2004;125(1):69-73.
90. Baksaas-Aasen K, Van Dieren S, Balvers K, Juffermans NP, Naess PA, Rourke C, et al. Data-driven Development of ROTEM and TEG Algorithms for the Management of Trauma Hemorrhage: A Prospective Observational Multicenter Study. *Ann Surg*. 2019;270(6):1178-85.
91. Davenport R, Manson J, De'Ath H, Platton S, Coates A, Allard S, et al. Functional definition and characterization of acute traumatic coagulopathy. *Critical care medicine*. 2011;39(12):2652-8.
92. Kelly JM, Rizoli S, Veigas P, Hollands S, Min A. Using rotational thromboelastometry clot firmness at 5 minutes (ROTEM((R)) EXTEM A5) to predict massive transfusion and in-hospital mortality in trauma: a retrospective analysis of 1146 patients. *Anaesthesia*. 2018;73(9):1103-9.
93. Bugaev N, Como JJ, Golani G, Freeman JJ, Sawhney JS, Vatsaas CJ, et al. Thromboelastography and rotational thromboelastometry in bleeding patients with coagulopathy: Practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;89(6):999-1017.
94. Leal-Noval SR, Fernandez Pacheco J, Casado Mendez M, Cuenca-Apolo D, Munoz-Gomez M. Current perspective on fibrinogen concentrate in critical bleeding. *Expert Rev Clin Pharmacol*. 2020;13(7):761-78.
95. Maegele M, Inaba K, Rizoli S, Veigas P, Callum J, Davenport R, et al. Frühe viskoelastizitätsbasierte Gerinnungstherapie bei blutenden Schwerverletzten. *Anaesthesist*. 2015;64(10):778-94
96. Fields AT, Matthay ZA, Nunez-Garcia B, Matthay EC, Bainton RJ, Callcut RA, et al. Good Platelets Gone Bad: The Effects of Trauma Patient Plasma on Healthy Platelet Aggregation. *Shock*. 2021;55(2):189-97.
97. Spahn DR, Bouillon B, Cerny V, Duranteau J, Filipescu D, Hunt BJ, et al. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition. *Crit Care*. 2019;23(1):98.
98. Johansson PI. Goal-directed hemostatic resuscitation for massively bleeding patients: the Copenhagen concept. *Transfus Apher Sci*. 2010;43(3):401-5.
99. Sperry JL, Guyette FX, Brown JB, Yazer MH, Triulzi DJ, Early-Young BJ, et al. Prehospital Plasma during Air Medical Transport in Trauma Patients at Risk for Hemorrhagic Shock. *N Engl J Med*. 2018;379(4):315-26 %7 2018/07/26 %8 Jul 26 %! Prehospital Plasma during Air Medical Transport in Trauma Patients at Risk for Hemorrhagic Shock %@ 1533-4406 (Electronic) 0028-4793 (Linking).
100. Moore HB, Moore EE, Chapman MP, McVane K, Bryskiewicz G, Blechar R, et al. Plasma-first resuscitation to treat haemorrhagic shock during emergency ground transportation in an urban area: a randomised trial. *Lancet*. 2018;392(10144):283-91.
101. Makris M, Iorio A. Prehospital fresh frozen plasma: Universal life saver or treatment in search of a target population? *Res Pract Thromb Haemost*. 2019;3(1):12-4.
102. Bundesärztekammer. Richtlinie zur Gewinnung von Blut und Blutbestandteilen und zur Anwendung von Blutprodukten (Richtlinie Hämotherapie) Gesamtnovelle 2017 2017 [06. Aug 2017]. Available from: <http://www.bundesaerztekammer.de/aerzte/medizin->

[ethik/wissenschaftlicher-beirat/veroeffentlichungen/haemotherapie-transfusionsmedizin/richtlinie/](#).

103. Selleng K. Der Blutungsnotfall – Versorgungskonzepte für Patienten mit unbekannter Blutgruppe. *Transfusionsmedizin*. 2020;10(03):151-8.
104. Holcomb JB, Tilley BC, Baraniuk S, Fox EE, Wade CE, Podbielski JM, et al. Transfusion of plasma, platelets, and red blood cells in a 1:1:1 vs a 1:1:2 ratio and mortality in patients with severe trauma: the PROPPR randomized clinical trial. *JAMA*. 2015;313(5):471-82.
105. Selleng K, Greinacher A. 10 Years of Experience with the First Thawed Plasma Bank in Germany. *Transfus Med Hemother*. 2021;48(6):350-7.
106. Rijnhout TWH, Duijst J, Noorman F, Zoodsma M, van Waes OJF, Verhofstad MHJ, et al. Platelet to erythrocyte transfusion ratio and mortality in massively transfused trauma patients. A systematic review and meta-analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2021;91(4):759-71.
107. Peiniger S, Paffrath T, Mutschler M, Brockamp T, Borgmann M, Spinella PC, et al. The trauma patient in hemorrhagic shock: how is the C-priority addressed between emergency and ICU admission? *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2012;20:78.
108. Watson JJ, Pati S, Schreiber MA. Plasma Transfusion: History, Current Realities, and Novel Improvements. *Shock*. 2016;46(5):468-79.
109. Ponschab M, Schochl H, Gabriel C, Sussner S, Cadamuro J, Haschke-Becher E, et al. Haemostatic profile of reconstituted blood in a proposed 1:1:1 ratio of packed red blood cells, platelet concentrate and four different plasma preparations. *Anaesthesia*. 2015;70(5):528-36.
110. Bolton-Maggs PH, Cohen H. Serious Hazards of Transfusion (SHOT) haemovigilance and progress is improving transfusion safety. *Br J Haematol*. 2013;163(3):303-14 %7 2013/09/17 %8 Nov %! Serious Hazards of Transfusion (SHOT) haemovigilance and progress is improving transfusion safety %@ 1365-2141 (Electronic) 0007-1048 (Linking).
111. Crash- trial collaborators, Shakur H, Roberts I, Bautista R, Caballero J, Coats T, et al. Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet*. 2010;376(9734):23-32
112. Boutonnet M, Abback P, Le Sache F, Harrois A, Follin A, Imbert N, et al. Tranexamic acid in severe trauma patients managed in a mature trauma care system. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;84(6S Suppl 1):S54-S62.
113. Benipal S, Santamarina JL, Vo L, Nishijima DK. Mortality and Thrombosis in Injured Adults Receiving Tranexamic Acid in the Post-CRASH-2 Era. *West J Emerg Med*. 2019;20(3):443-53.
114. Stein P, Studt JD, Albrecht R, Muller S, von Ow D, Fischer S, et al. The Impact of Prehospital Tranexamic Acid on Blood Coagulation in Trauma Patients. *Anesth Analg*. 2018;126(2):522-9.
115. Imach S, Wafaisade A, Lefering R, Bohmer A, Schieren M, Suarez V, et al. The impact of prehospital tranexamic acid on mortality and transfusion requirements: match-pair analysis from the nationwide German TraumaRegister DGU(R). *Crit Care*. 2021;25(1):277.
116. collaborators C-, Roberts I, Shakur H, Afolabi A, Brohi K, Coats T, et al. The importance of early treatment with tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of the CRASH-2 randomised controlled trial. *Lancet*. 2011;377(9771):1096-101, 101 e1-2.
117. Al-Jeabory M, Szarpak L, Attila K, Simpson M, Smereka A, Gasecka A, et al. Efficacy and Safety of Tranexamic Acid in Emergency Trauma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2021;10(5).
118. Rowell SE, Meier EN, McKnight B, Kannas D, May S, Sheehan K, et al. Effect of Out-of-Hospital Tranexamic Acid vs Placebo on 6-Month Functional Neurologic Outcomes in Patients With Moderate or Severe Traumatic Brain Injury. *JAMA*. 2020;324(10):961-74.
119. Meretoja A, Yassi N, Wu TY, Churilov L, Sibolt G, Jeng JS, et al. Tranexamic acid in patients with intracerebral haemorrhage (STOP-AUST): a multicentre, randomised, placebo-controlled, phase 2 trial. *Lancet Neurol*. 2020;19(12):980-7.
120. Aubron C, Reade MC, Fraser JF, Cooper DJ. Efficacy and safety of fibrinogen concentrate in trauma patients--a systematic review. *Journal of critical care*. 2014;29(3):471 e11-7.

121. Schlimp CJ, Ponschab M, Voelckel W, Treichl B, Maegele M, Schochl H. Fibrinogen levels in trauma patients during the first seven days after fibrinogen concentrate therapy: a retrospective study. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2016;24:29.
122. Juffermans NP, Wirtz MR, Balvers K, Baksaas-Aasen K, van Dieren S, Gaarder C, et al. Towards patient-specific management of trauma hemorrhage: the effect of resuscitation therapy on parameters of thromboelastometry. *J Thromb Haemost*. 2019;17(3):441-8.
123. Innerhofer N, Treichl B, Rugg C, Fries D, Mittermayr M, Hell T, et al. First-Line Administration of Fibrinogen Concentrate in the Bleeding Trauma Patient: Searching for Effective Dosages and Optimal Post-Treatment Levels Limiting Massive Transfusion-Further Results of the RETIC Study. *J Clin Med*. 2021;10(17).
124. Collins PW, Cannings-John R, Bruynseels D, Mallaiah S, Dick J, Elton C, et al. Viscoelastometric-guided early fibrinogen concentrate replacement during postpartum haemorrhage: OBS2, a double-blind randomized controlled trial. *Br J Anaesth*. 2017;119(3):411-21.
125. Cerny V, Maegele M, Agostini V, Fries D, Leal-Noval SR, Nardai G, et al. Variations and obstacles in the use of coagulation factor concentrates for major trauma bleeding across Europe: outcomes from a European expert meeting. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2021.
126. Gratz J, Schlimp CJ, Honickel M, Hochhausen N, Schochl H, Grottko O. Sufficient Thrombin Generation Despite 95% Hemodilution: An In Vitro Experimental Study. *J Clin Med*. 2020;9(12).
127. Coleman JR, Moore EE, Samuels JM, Cohen MJ, Silliman CC, Ghasabyan A, et al. Whole Blood Thrombin Generation in Severely Injured Patients Requiring Massive Transfusion. *J Am Coll Surg*. 2021;232(5):709-16.
128. Schochl H, Voelckel W, Maegele M, Kirchmair L, Schlimp CJ. Endogenous thrombin potential following hemostatic therapy with 4-factor prothrombin complex concentrate: a 7-day observational study of trauma patients. *Crit Care*. 2014;18(4):R147.
129. van den Brink DP, Wirtz MR, Neto AS, Schochl H, Viersen V, Binnekade J, et al. Effectiveness of prothrombin complex concentrate for the treatment of bleeding: A systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost*. 2020;18(10):2457-67.
130. Ho KM, Chavan S, Pilcher D. Omission of early thromboprophylaxis and mortality in critically ill patients: a multicenter registry study. *Chest*. 2011;140(6):1436-46.

2.5 Bildgebung

S. Huber-Wagner*, R. Braunschweig⁺, D. Kildal⁺, D. Bieler⁺, S. Reske, T. Wurmb, B. Prediger[#], M. Hertwig[#], C. Kugler[#], G. Achatz, B. Friemert, C. Schoeneberg*

Die zügige und exakte bildgebende Diagnostik ist, neben weiteren Faktoren, wesentliche Voraussetzung für die adäquate Versorgung schwerstverletzter Patienten in der Schockraumphase. Entscheidend ist, das Verletzungsmuster des Patienten frühzeitig zu erfassen, um eine prioritätenorientierte Therapie des Patienten umsetzen zu können.

Seit über 15 Jahren hat sich für die Erstversorgung Schwerstverletzter der Einsatz der Ganzkörper-Computertomografie (GKCT) in der Schockraumphase etabliert: Technische Voraussetzungen sind hohe Zeitauflösung: Sub-Sekunden-Scanner; relevante Ortsauflösung: isotrope Voxel; effektives Kontrastmittel-Management: Split-Bolus-Protokolle; „state-of-the-art-Dosiseinsparstechniken“: Modulation von Röhrenstrom und -spannung, Iteration; sowie uniplanare 3-D-Reformatierungen und ein GKCT-Z-Achsenvolumen von über 1,5 m in 90 Sekunden [1-4]. Die Durchführung der GKCT wurde dadurch technisch möglich [5, 6] und klinisch sinnvoll [7-10].

Löw (1997) war der erste, der über den Einsatz der GKCT im Rahmen der Schwerverletztenversorgung berichtete [11]. Es folgten weitere Hinweise zur Einsetzbarkeit der GKCT von Scherer [12], Leidner [7], Ptak [9], Klöppel [13] und Rieger [10]. Weitere Publikationen, die die Leistungsfähigkeit der GKCT-Diagnostik zeigen und ihren Stellenwert in der Schockraumversorgung von Polytraumapatienten herausstellen [8, 14-20] stehen zur Verfügung.

Eine große Zahl von Traumazentren ist dazu übergegangen, die GKCT routinemäßig zur Diagnostik von polytraumatisierten Patienten während der Versorgung im Schockraum einzusetzen [16, 17]. Gemäß Jahresbericht des TraumaRegisters DGU[®] 2020 verwenden 77% aller am TraumaRegister teilnehmenden Kliniken die GKCT im Rahmen der bildgebenden Diagnostik [21]. Im Durchschnitt erfolgt die GKCT-Bildgebung innerhalb von 25 Minuten nach Aufnahme des Patienten in den Schockraum [21].

Kernaufgabe einer effektiven bildgebenden Diagnostik in der Schockraumphase ist einerseits der sensitive und spezifische Nachweis aller pathologischen Befunde und andererseits deren Unterscheidung in akute Verletzungen und vorbestehende bzw. traumaunabhängige Erkrankungen [22-28].

Die Bildbefundung der GKCT soll zeitlich optimiert erfolgen. Klinisch empfehlenswert ist ein Mehrstufenkonzept aus Soforterfassung lebensbedrohlicher Verletzungen anhand der real-time-Rekonstruktionen an der CT-Konsole, sowie die umfassende und standardisierte, fachradiologische Befundung an einer PACS-Workstation. Hierfür ist Facharztstandard einzuhalten.

Die Computertomografie (CT) ist grundsätzlich in der Lage, den komplexen Anforderungen an die Bildgebung mit hoher Spezifität und Sensitivität für alle Organgruppen (z.B. Skelett, parenchymatöse Organe, Gefäße) und Körperhöhlen (Kopf, Thorax, Abdomen und Becken) zu entsprechen. Aufgrund kurzer Untersuchungszeiten und exzellenter Dokumentation/Reproduktion ist die CT besonders für die Notfallbildgebung prädestiniert. Klinisches Ziel der Bildbefundung ist die standardisierte Klassifizierung der Verletzungen, sowie die zeitnahe Bereitstellung der Bilddokumente und der Beurteilung. Hierfür stehen digitale Dokumentationssysteme und synchronisierte Bild- und Befundverteilungssysteme (RIS, PACS, Teleradiologie) zur Verfügung [29, 30].

Das vorliegende Kapitel analysiert die literaturbasierte Evidenz für die bildgebende Diagnostik bei schwerstverletzten Patienten. Es werden evidenzbasierte Schlüsselempfehlungen zu den

bildgebenden Modalitäten Sonografie, konventionelle Röntgendiagnostik (Thorax und Becken), Computertomografie und Kernspintomografie auf der Grundlage der im Methodenteil beschriebenen systematischen Literatursuche vorgelegt.

Diese Schlüsselempfehlungen gelten für schwerverletzte Patienten ab 15 Jahre. Für Empfehlungen zur bildgebenden Diagnostik jüngerer Patienten wird auf die S2k Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“ der Sektion Kindertraumatologie der DGU verwiesen [31].

Bildgebung im Rahmen der Schwerverletztenversorgung

Sonografie / Ultraschall

2.5.1	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Zur Diagnostik nach stumpfem und/oder penetrierendem Thorax- und/oder Abdominaltrauma sollte eine eFAST im Rahmen des Primary Survey im Schockraum durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[32] Akdemir 2019: LoE 2b [33] Akoglu 2018: LoE 2b [34] Bagheri-Hariri 2019: LoE 2b [35] Ezzat 2018: LoE 2b [36] Kozaci 2019: LoE 2b [37] Leblanc 2014: LoE 2b [38] Zanobetti 2018: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

2.5.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Sonografische Wiederholungsuntersuchungen des Thorax und/oder Abdomens sollten zur Verlaufskontrolle bei pathologischem Befund nach durchgeführtem GKCT erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[32] Akdemir 2019: LoE 2b [33] Akoglu 2018: LoE 2b [34] Bagheri-Hariri 2019: LoE 2b [35] Ezzat 2018: LoE 2b [36] Kozaci 2019: LoE 2b [37] Leblanc 2014: LoE 2b [39] Quinn 2011: LoE 3a↓ [40] Becker 2010: LoE 3b↓ [41] Ingeman 1996: LoE 3b↓ [42] Lentz 1996: LoE 3b↓ [43] Richards 2002: LoE 3b↓ [44] Schleder 2013: LoE 3b↓ [45] Smith 2010: LoE 3b↓ [38] Zanobetti 2018: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

Die Ultraschalluntersuchung des Abdomens, Perikardes und der Pleura stellt unter Notfallbedingungen eine effektive Untersuchungsmethodik sowohl bei potentiell, als auch bei tatsächlich schwerverletzten Patienten dar.

Im angloamerikanischen Sprachraum wird die Ultraschalluntersuchung des Abdomens als „focused assessment with sonography in trauma (FAST)“ bezeichnet. Mittlerweile wird diese Untersuchung auch auf den Thorax bzw. die Pleura erweitert und daher „extended focussed assessment with sonography in trauma (eFAST)“ genannt. Laut Jahresbericht des TraumaRegisters DGU® 2021 wird die eFAST bei etwa 82% der Patienten im Rahmen des Primary Survey in der Schockraumphase durchgeführt [21]. Die bei der eFAST zu untersuchenden Regionen zeigt die Tabelle 2.5.1.

Tabelle 2.5.1. Sonografisch zu untersuchende Regionen beim eFAST (extended focussed assessment with sonography in trauma)[46].

Sonografisch zu untersuchende Regionen beim eFAST
Hepato-renaler Raum (Morison)
Spleno-renaler Raum (Koller)
Douglasraum (oberhalb der Symphyse)
Pericardialer Raum (subxyphoidal)
Rechter und linker basaler Pleuraraum
Rechter und linker anterior-cranialer Pleuraraum (medioclaviculär)

Die Sonografie ist ein unterschiedlich sensitives und teilweise hoch-spezifisches Schnittbildverfahren, benötigt einen hohen Erfahrungsstand des Untersuchers, ist bedingt dokumentier- und reproduzierbar und erreicht nicht den Entscheidungs-Level der CT [47-51]. In der Literatur ist eine hohe Spezifität (94% - 100%) bei variabler Sensitivität (28% - 100%) [39, 41-45] dokumentiert.

In Ergänzung zur Leitlinienversion aus 2016, wurde folgende Literatur neu eingeschlossen:

Akdemir konnte bei einer Analyse an 315 Patienten eine Sensitivität von 82,3% und eine Spezifität von 100% zum Nachweis von freier Flüssigkeit nach stumpfen Trauma nachweisen [32]. Akoglu et al. zeigten eine Sensitivität von 42,9% und Spezifität von 98,4% für freie Flüssigkeit, eine Sensitivität und Spezifität von 100% für einen Hämatothorax und eine Sensitivität von 75% und Spezifität von 99,2% für einen Pneumothorax [33]. Weitere Publikationen zeigen vergleichbare Studienergebnisse [34-38, 50].

Alle zitierten Autoren betonen, dass ein negatives Ergebnis beim eFAST eine intraabdominelle bzw. intrathorakale Verletzung keineswegs ausschließt. Je höher die Gesamtverletzungsschwere, umso ungenauer kann die eFAST sein. In diesen Fällen sollte eine sonografische Wiederholungsuntersuchung oder eine ergänzende CT-Untersuchung durchgeführt werden [32-45].

Alle Studien konnten eine hohe Spezifität nachweisen. Dies macht die eFAST Untersuchung im Rahmen des Primary Survey zu einer sehr guten Möglichkeit, sofort behandlungsbedürftige Verletzungen (Pneumothorax, Hämatothorax, Perikarderguss, intraabdominelle und pelvine Blutungen) schnell zu diagnostizieren. In Anbetracht der Alternative der GKCT könnte die eFAST als überflüssig bzw. mindestens redundant betrachtet werden. Da die eFAST schnell durchzuführen ist und nachweisbare Befunde das weitere Vorgehen bestimmen können, sollte die eFAST auch bei indizierter CT-Diagnostik erfolgen. Die Untersuchungs-Abläufe sollten standardisiert sein. Der Untersucher muss in der

Durchführung geschult sein. Es ist besonders darauf zu achten, dass die umfassendere GKCT-Diagnostik Schwerstverletzter (z.B. Knochenverletzungen) durch die Durchführung einer eFAST nicht verzögert wird.

Die Sonografie ist zudem ein effektives Verfahren, pathologische Befunde der Computertomografie, die zum Zeitpunkt der Diagnosestellung keiner operativen Therapie bedürfen, im zeitlichen Verlauf (6 – 24 Stunden nach Klinikaufnahme) zu kontrollieren: z.B. Milz- oder Leberverletzungen. In diesen Fällen soll die Standard-Sonografie des Abdomens/Thorax und nicht die eFAST durchgeführt werden.

Röntgen des Thorax und Beckens

2.5.3	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Falls unklar bleibt, ob eine relevante thorakale Verletzung besteht und keine unmittelbare CT-Thorax durchgeführt werden kann, sollte eine Röntgenaufnahme des Thorax angefertigt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[52] Wilkerson 2010: LoE 2a [53] Blaivas 2005: LoE 2b [54] Soldati 2008: LoE 2b [55] Soldati 2006: LoE 2b [56] Zhang 2006: LoE 2b [57] Botelho Filho 2015: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

2.5.4	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Falls unklar bleibt, ob eine relevante pelvine Verletzung besteht und keine unmittelbare CT durchgeführt werden kann, kann eine Röntgenaufnahme des Beckens angefertigt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Für die diagnostische Sicherheit einer konventionellen Röntgen-Thoraxaufnahme (ap-Aufnahme) im Rahmen der Schwerverletztenversorgung liegt kaum literaturbasierte Evidenz vor.

In einem systematischen Review von Wilkerson et al. ermitteln die Autoren für den Pneumothorax [52] unter Einschluss von vier Studien [53-56] (n=606 Patienten) Sensitivitätswerte zwischen 28 und 76% bei einem Spezifitätswert von 100%. Für die Aktualisierung der Leitlinie konnte eine weitere Studie identifiziert werden (Botelho et al.). In dieser zeigte sich eine Sensitivität von 90% und eine Spezifität von 93% für den Nachweis signifikanter Verletzungen [57].

Für die Röntgenaufnahme des Beckens im Rahmen der Schwerverletztenversorgung liegt keinerlei Evidenz vor, die die Einschlusskriterien einer S3-Leitlinie erfüllt. Daher wurde auf Expertenebene die bisherige Empfehlung „sollte“ durch „kann“ ersetzt.

In der Praxis besteht die Möglichkeit, das initiale a.p. Topogramm der GKCT (z.B. Thorax bzw. Becken) zur Detektion von ausgeprägten Pneumo-/Hämatothoraces und/oder Beckenfrakturen zu nutzen. Ein fehlender Nachweis im Topogramm schließt jedoch einen derartigen Befund nicht aus.

Computertomografie (CT) / Ganzkörper-Computertomografie (GKCT)

2.5.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Im Rahmen der Diagnostik von Schwerverletzten soll eine zeitnahe Ganzkörper-Computertomografie* mit traumaspezifischem Protokoll durchgeführt werden, wenn keine sofort interventions-/operations- und/oder reanimationspflichtige Situation vorliegt und der RR _{sys} nicht unter 60 mmHg ist. *(Kopf bis einschließlich Becken, CCT nativ)	
Literatur, Evidenzgrad	[58] Sierink 2016: LoE 1b [59] Cook 2015: LoE 2b [60] Huber-Wagner 2013: LoE 2b [61] Tsutsumi 2017: LoE 2b [62] Lang 2017: LoE 2b [63] Topp 2015: LoE 2b [64] Katayama 2018: LoE 2b [65] Palm 2018: LoE 2b [66] Huber-Wagner 2009: LoE 2b [67] Kanz 2010: LoE 2b [68] Stengel 2012: LoE 3b↓ [69] Bieler 2020: LoE 3b	
	Konsensstärke: 100%	

2.5.6	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑↑	Eine Ganzkörper-Computertomografie sollte bei V.a. Schwerverletzung /Polytrauma durchgeführt werden bei: <ul style="list-style-type: none"> • einer Störung der Vitalparameter (Kreislauf, Atmung, Bewusstsein, Neurologie). • pathologischem Untersuchungsbefund und/oder Bildgebungsbefund von Thorax und/oder Abdomen und/oder Becken und/oder Wirbelsäule • Fraktur von mindestens 2 langen Röhrenknochen • Unfallmechanismus (Sturz >4 m; Einklemmung Thorax/Abdomen) 	
Literatur, Evidenzgrad	[26] Treskes 2017: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Die beiden bisherigen Kernaussagen aus der Leitlinienversion 2016 zur GKCT im Allgemeinen und zu den hämodynamisch instabilen Patienten im Speziellen wurden zu einer Kernaussage zusammengefasst:

Bezüglich des ersten Teiles der Kernaussage (*Allgemein*) liegt folgende Evidenz vor:

In einer multizentrischen Analyse von 4.621 Patienten des TraumaRegisters® der DGU konnten Huber-Wagner und Lefering et al. 2009 erstmals zeigen, dass die Durchführung einer GKCT im Rahmen der Schockraumphase einen signifikant positiven Effekt auf die Überlebenschancen hat. Die Analyse erfolgte schweregradadjustiert. Basierend auf der RISC-Prognose (revised injury severity classification score) errechneten sich die erwartete bzw. tatsächliche Sterblichkeitsrate mit 23% bzw.

20% [70, 71]). Hieraus ergibt sich eine „number needed to scan“ von 32. Das bedeutet, dass jeder 32. te schwerverletzte Patient, bei dem eine GKCT durchgeführt wird, entgegen der Prognose überlebt [72].

Im Rahmen einer weiteren Analyse des TraumaRegisters® der DGU konnten Huber-Wagner et al. 2013 an einem Kollektiv von 16.719 Patienten bestätigen, dass schwerverletzte Patienten, bei denen initial eine GKCT durchgeführt wurde, eine absolute Sterblichkeitsrate von 17,4% aufwiesen. Ein Vergleichskollektiv ohne GKCT lag bei einer Sterblichkeitsrate von 21,4% ($p < 0,001$) [60].

Kanz et al. konnten anhand einer Analyse von 4.814 Patienten ebenfalls den Nachweis eines signifikanten Überlebensvorteiles für die Gruppe der Patienten mit GKCT erbringen [67].

Stengel et al. konnten 2012 an einem Kollektiv von 982 Patienten eine Sensitivität von 85-92%, eine Spezifität von 95-99% und eines positiven prädiktiven Vorhersagewertes von 95-99% und einen negativen prädiktiven Vorhersagewertes 86-97% bei der Durchführung einer GKCT bei Schwerverletzten nachweisen [68]. Die Autoren haben somit eine hohe diagnostische Sicherheit der GKCT nachgewiesen. Im Vergleich zu anderen radiologischen Verfahren hat die GKCT derzeit die höchste diagnostische Genauigkeit und Sicherheit [68].

Sierink et al. publizierten 2016 die REACT-2 Studie. Die Arbeitsgruppe führte eine randomisiert-kontrollierte Studie durch. Es konnten 541 Patienten für die GKCT-Gruppe und 542 für die Gruppe mit selektiven CTs (konventionelles Vorgehen) ausgewertet werden. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass kein signifikanter Überlebensvorteil für die GKCT-Gruppe besteht [73]. Die Text-Analyse zeigt allerdings relevante Einschränkungen in der Studiendurchführung: Nur etwa zwei Drittel der Patienten wiesen einen ISS >16 auf. Aufgrund von überlappenden CT-Protokollen haben letztlich 73% der 1083 ausgewerteten Patienten ein GKCT erhalten und nicht 50%, wie im Protokoll angegeben. Die Fallzahl der wirklich schwerverletzten Patienten (ISS >16) war zu gering, um das Signifikanzniveau von $p < 0,05$ zu erreichen (Mortalität 22% vs. 25%, GKCT vs. standard work-up, $p = 0,46$, Tabelle 2 in der Originalarbeit). Somit ändert diese aufwändig durchgeführte Studie – basierend auf einem suboptimalen Protokoll – nichts an der bestehenden Evidenz zugunsten der GKCT [74].

Weiteren Studien, die teilweise auf Auswertungen des TraumaRegisters der DGU [62, 63, 69] beruhen, wurden zwischenzeitlich publiziert [64, 65, 73]. Zudem liegen diverse Metaanalysen bzw. systematische Reviews vor, die den positiven Effekt der GKCT auf das Überleben belegen [28, 75-79].

Bezüglich des zweiten Teiles der Kernaussage (*Anwendung GKCT bei hämodynamisch instabilen Patienten im Schock*) liegt folgende Evidenz vor:

Anhand einer Analyse von 16.719 Patienten des TraumaRegisters® der DGU konnten Huber-Wagner et al. nachweisen, dass die Durchführung einer GKCT auch bei hämodynamisch eingeschränkten Traumapatienten, also bei Patienten im Prä-Schock, zielführend ist. Die standardisierte Mortalitätsrate (SMR) der Patienten im schweren Kreislaufschock mit einem Blutdruck bei Klinikaufnahme von <90 mmHg lag bei den Patienten mit GKCT bei 42,1% verglichen mit 54,9% bei den Patienten ohne GKCT ($p < 0,001$). Die Autoren weisen darauf hin, dass möglicherweise insbesondere diese Patienten im Prä-Schock von einer GKCT profitieren, da die Ursache(-n) des Schocks schnell und umfassend detektiert werden können. Herauszustellen ist, dass Patienten im manifesten Kreislaufversagen, die innerhalb von 30 Minuten nach Klinikaufnahme verstorben sind, aufgrund eines „immortal time bias“ nicht in die Studie aufgenommen wurden [60].

Die Arbeitsgruppe um Tsutsumi et al. kam bei einer Auswertung des Japanischen Traumaregisters zu ähnlichen Ergebnissen. Bei der Analyse von 5.809 hämodynamisch instabilen Patienten mit einem Blutdruck bei Klinikaufnahme von <90 mmHg aber >40 mmHg zeigte sich sowohl in den Rohdaten als

auch nach Adjustierung ein signifikanter Vorteil für die CT-Gruppe vs. der No-CT-Gruppe (23,8% vs. 45,3%, $p < 0,001$) [61].

Cook et al. fanden bei einer Untersuchung von 92 Patienten mit positivem eFAST Befund und Abdomen-CT nach Trauma, dass kein Mortalitätsunterschied im Vergleich zur No-CT Gruppe bestand, jedoch eine niedrigere Rate an Notfalloperationen zu verzeichnen war [59].

Basierend auf diesen Erkenntnissen können aus dem GKCT rationale Therapiekonzepte (z.B. pro/contra Notoperation) auch für erheblich kreislaufkompromittierte Patienten (RR zwischen 60 – 90 mmHg) abgeleitet werden [59, 60]. Der Patient muss während der GKCT einen effektiven Kreislauf aufweisen (Kontrastmittel-Fluss muss gesichert sein). Voraussetzungen sind zudem ein trainiertes Trauma-Team und eine verlässlichen Infrastruktur [60]. Hochgradig instabile Patienten mit einem systolischen Blutdruck bei Aufnahme < 60 mmHg oder Patienten in extremis oder unter Reanimation bedürfen häufig zunächst einer stabilisierenden Notfalloperation oder Notfallintervention vor der CT-Diagnostik und können davon profitieren. Auf die Durchführung einer GKCT unter Reanimationsbedingungen sollte verzichtet werden (massive Bewegungsartefakte, instabiler Kontrastmittel-Fluss, Strahlenbelastung des Personals etc.).

Die Anwendung von Ganzkörper-Linearröntgenscannern bei Polytraumatisierten kann die Durchführung einer GKCT nicht ersetzen. Ganzkörper-Röntgenuntersuchung sind lediglich bei Extremitätenverletzungen sinnvoll. Die Gesamtsensitivität für Verletzungen des Stammskeletts wird bei derartigen Techniken mit $< 50\%$ angegeben [80].

Bezüglich der **Indikation** für eine GKCT bei V.a. Schwerverletzung/Polytrauma liegt folgende Evidenz vor:

Davies et al. haben anhand einer Analyse von 255 Patienten eine Entscheidungshilfe im Sinne eines Scores entwickelt. Bei einem Scorewert von > 3 wird zur Durchführung einer GKCT, bei Scorewerten ≤ 3 wird eher zu einem selektiven CT geraten. Die Verletzung von zwei oder mehr verletzten Regionen ergibt einen Scorewert von +2, hämodynamische Instabilität von +2, Respiratorische Insuffizienz von +3, Glasgow-Coma-Scale (GCS) < 14 von +3, Sturz ≤ 5 m von -1, Unfallbeteiligung als Fahrzeuginsasse von +1, Unfallbeteiligung als Fahrradfahrer oder Fußgänger von +3, Sturz > 5 m von +3 [81].

Die Gruppe um Hsiao sieht die Indikation für eine GKCT insbesondere bei Vorliegen einer Multiregionenverletzung. Die Untersuchung basiert auf einem logistischen Regressionsmodell. Hinweisend auf eine Multiregionenverletzungen, also ein Polytrauma, sind für die Autoren ein GCS < 14 , hämodynamische Instabilität, Stürze aus mehr als 5 m Höhe und Unfallbeteiligung als Fahrradfahrer [82].

Huber-Wagner et al. konnte anhand einer Analyse von 78.180 Patienten des TraumaRegisters® der DGU ebenfalls eine Entscheidungshilfe im Sinne eines GKCT-Scores entwickeln. Methodisch wurde eine Propensity-Score Analyse durchgeführt. Ein Scorewert von 0-3 Punkten gibt einen intermediären Nutzen für die Durchführung einer GKCT an. Ein Wert von -16 bis -1 zeigt eher keinen Nutzen einer GKCT an, ein Wert von 4-16 einen Nutzen und ein Wert von 17-35 einen hohen Nutzen einer GKCT im Hinblick auf das Überleben an. Die Scorewerte werden wie folgt vergeben: Intubation am Unfallort (+8), Verdacht auf ≥ 3 verletzte Regionen (+8), Hochenergietrauma (+7), luftgebundener Transport (+5), GCS ≤ 14 (+3), Verdacht auf 2 verletzte Regionen (+3), Schock am Unfallort (+2), männliches Geschlecht (+2), penetrierendes Trauma (-7), low Fall < 3 m (-7), Alter < 70 Jahre (-1), Verdacht 1 verletzte Region (-1) [83].

2022 neu hinzugekommen ist die Untersuchung von Treskes et al., die basierend auf den Daten der REACT-2 Studie folgende Kriterien für die Durchführung einer GKCT ermittelte: Blutdruck < 100 mmHg,

geschätzter Blutverlust >500 ml, GCS <14, Frakturen von mindestens zwei langen Röhrenknochen, flail chest, offene Thoraxverletzung, Rippenserienfraktur, erhebliches Abdominal- oder Beckentrauma, instabile Wirbelsäulen- oder Rückenmarksverletzung, Stürze aus über 4 m Höhe [84].

Diese Studien begründen die wesentlichen Indikations-Kriterien bzw. die Prädiktoren für eine GKCT: gestörte Vitalparameter, relevanter Verletzungsmechanismus *und* Vorliegen von mehr als nur einer verletzten Körperregion [82].

Im Umkehrschluss ist klarzustellen, dass die GKCT nur bei Verdacht auf ein Polytrauma durchgeführt werden sollte, dass der Definition dieser Leitlinie entspricht (s.o.). Der alleinige Traumamechanismus, ohne *klinische* Hinweise auf Verletzungen, ist hingegen keine ausreichende Indikation zum Einsatz einer GKCT.

Für klinisch stabile Patienten mit nur einer verletzten Körperregion außerhalb des Körperstammes (kein Polytrauma) ist das Stufenkonzept aus eFAST und/oder Standard-Sonografie, Röntgenuntersuchungen der klinisch betroffenen Körperregionen und ggf. selektiv-dezidierten Organ-CT-Scans, sowie klinischer und bildgebender Verlaufskontrollen in Abhängigkeit vom klinischen Verlauf ein adäquates Vorgehen [85].

Spezielle Aspekte für die Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie

Ausdrücklich verwiesen wird auf die „novellierte“ „Leitlinie der Bundesärztekammer (BÄK) zur Qualitätssicherung in der Computertomografie und röntgendiagnostischer Untersuchungen“ von 2022 (derzeit in der Beschlussfassung durch die BÄK / Publikation im Ärzteblatt), in die ein Kapitel „Polytrauma / Ganzkörper-CT“ neu aufgenommen wurde. In diesen Empfehlungen sind alle CT-Geräte-Voraussetzungen und untersuchungstechnischen Aspekte (z.B. „zeit-„ vs. „dosisoptimiertes Untersuchungsprotokoll“) zur Computertomografie systematisch dargelegt und für die Praxis aufbereitet [1]. Die QS-LL der Bundesärztekammer zur GKCT beim Polytrauma wird durch die seitens der Landesärztekammern betriebenen Ärztlichen Stellen beratend überwacht und hat einen hohen Empfehlungscharakter.

Ferner wird auf die Leitlinie der ESER “European Society of Emergency Radiology (ESER): guideline on radiological polytrauma imaging and service” aus dem Jahr 2020 verwiesen. In dieser umfassenden und detaillierten Leitlinie findet sich eine umfassende Darstellung wesentlicher Fragen zur diagnostischen Bildgebung im Rahmen der Schwerverletztenversorgung. Die Leitlinie liegt in einer Kurz- und in einer Langfassung vor [50]. Besonders ist darauf hinzuweisen, dass die Durchführung der GKCT die Kontrastierung arterieller Gefäße und parenchymatöser in einem Scanvorgang sicherstellen muss, um relevante Blutungen erkennen zu können. Hierzu liegen Angaben auch in der weiterführenden Literatur vor [1, 50, 86-90]. Zudem hat die AG MSK-Bildgebung der Deutschen Röntgengesellschaft e.V. als Initiative zur deutschlandweiten Vereinheitlichung der GKCT-Bildgebung auf ihrer Homepage Vorschläge für einheitliche Untersuchungsprotokolle zur Durchführung von GKCTs publiziert, die die Empfehlungen der QS-Leitlinie der Bundesärztekammer aufgreifen.

Magnetresonanztomografie (MRT)

2.5.7	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die Magnetresonanztomografie (MRT) kann bei gezielten Fragestellungen (z.B. diskoligamentäre Wirbelsäulenverletzungen, morphologisches Korrelat einer Querschnittsymptomatik) in der weiterführenden Primärdiagnostik indiziert sein. Für die Durchführung einer MRT im Rahmen der Erstdiagnostik schwerverletzter/polytraumatisierter Patienten sind umfangreiche Voraussetzungen zu erfüllen. Entsprechende Festlegungen sollten ortsbezogen in SOP's zur Verfügung stehen.	
	Konsensstärke: 86%	

Die Magnetresonanztomografie (MRT) kann bei gezielten Fragestellungen (z.B. diskoligamentäre Wirbelsäulenverletzungen, morphologisches Korrelat und Ausmaß einer Querschnittsymptomatik, Hirnstammverletzungen) in der weiterführenden Primärdiagnostik (z.B. innerhalb von 12 – 24 Stunden nach Trauma) indiziert sein. Für die Durchführung einer MRT im Rahmen der Erstdiagnostik schwerverletzter/polytraumatisierter Patienten sind umfangreiche klinische, technische und organisatorische Voraussetzungen zu erfüllen. Entsprechende Festlegungen sollten ortsbezogen in SOP's zur Verfügung stehen [91-99].

Literatur

1. Bundesärztekammer. Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie – Qualitätskriterien röntgendiagnostischer Untersuchungen 2022.
2. Fellner FA, Krieger J, Lechner N, Flory D. [Computed tomography in multiple trauma patients: technical aspects, work flow, and dose reduction]. *Radiologe*. 2014;54(9):872-9.
3. Geyer LL, Korner M, Harrieder A, Mueck FG, Deak Z, Wirth S, et al. Dose reduction in 64-row whole-body CT in multiple trauma: an optimized CT protocol with iterative image reconstruction on a gemstone-based scintillator. *Br J Radiol*. 2016;89(1061):20160003.
4. Kahn J, Grupp U, Kaul D, Boning G, Lindner T, Streitparth F. Computed tomography in trauma patients using iterative reconstruction: reducing radiation exposure without loss of image quality. *Acta Radiol*. 2016;57(3):362-9.
5. Fox SH, Tanenbaum LN, Ackelsberg S, He HD, Hsieh J, Hu H. Future directions in CT technology. *Neuroimaging Clin N Am*. 1998;8(3):497-513.
6. Klingenberg-Regn K, Schaller S, Flohr T, Ohnesorge B, Kopp AF, Baum U. Subsecond multi-slice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol*. 1999;31(2):110-24.
7. Leidner B, Beckman MO. Standardized whole-body computed tomography as a screening tool in blunt multitrauma patients. *Emerg Radiol*. 2001;8:20-8.
8. Philipp MO, Kubin K, Hormann M, Metz VM. Radiological emergency room management with emphasis on multidetector-row CT. *Eur J Radiol*. 2003;48(1):2-4.
9. Ptak T, Rhea JT, Novelline RA. Experience with a continuous, single-pass whole-body multidetector CT protocol for trauma: the three-minute multiple trauma CT scan. *Emerg Radiol*. 2001;8:250-6.
10. Rieger M, Sparr H, Esterhammer R, Fink C, Bale R, Czermak B, et al. Modern CT diagnosis of acute thoracic and abdominal trauma. *Anaesthesist*. 2002;51(10):835-42.
11. Löw R, Duber C, Schweden F, Lehmann L, Blum J, Thelen M. Whole body spiral CT in primary diagnosis of patients with multiple trauma in emergency situations. *Rofo*. 1997;166(5):382-8.
12. Scherer R, Rupp P, Sebisch E, Höcherl E. Preclinical and clinical management of major trauma patients. *Rettungsdienst*. 1999;12(22):36-43.
13. Klöppel R, Schreiter D, Dietrich J, Josten C, Kahn T. Early clinical management after polytrauma with 1 and 4 slice spiral CT. *Radiologe*. 2002;42(7):541-6.
14. Bernhard M, Becker TK, Nowe T, Mohorovicic M, Sikinger M, Brenner T, et al. Introduction of a treatment algorithm can improve the early management of emergency patients in the resuscitation room. *Resuscitation*. 2007;73(3):362-73.
15. Hilbert P, zur Nieden K, Hofmann GO, Hoeller I, Koch R, Stuttmann R. New aspects in the emergency room management of critically injured patients: a multi-slice CT-oriented care algorithm. *Injury*. 2007;38(5):552-8.
16. Kanz KG, Korner M, Linsenmaier U, Kay MV, Huber-Wagner SM, Kreimeier U, et al. Priority-oriented shock trauma room management with the integration of multiple-view spiral computed tomography. *Unfallchirurg*. 2004;107(10):937-44.
17. Wurmb TE, Fruhwald P, Hopfner W, Keil T, Kredel M, Brederlau J, et al. Whole-body multislice computed tomography as the first line diagnostic tool in patients with multiple injuries: the focus on time. *J Trauma*. 2009;66(3):658-65.
18. Wurmb TE, Fruhwald P, Hopfner W, Roewer N, Brederlau J. Whole-body multislice computed tomography as the primary and sole diagnostic tool in patients with blunt trauma: searching for its appropriate indication. *The American journal of emergency medicine*. 2007;25(9):1057-62.
19. Weninger P, Mauritz W, Fridrich P, Spitaler R, Figl M, Kern B, et al. Emergency room management of patients with blunt major trauma: evaluation of the multislice computed tomography protocol exemplified by an urban trauma center. *J Trauma*. 2007;62(3):584-91.
20. Lee KL, Graham CA, Lam JM, Yeung JH, Ahuja AT, Rainer TH. Impact on trauma patient management of installing a computed tomography scanner in the emergency department. *Injury*. 2009;40(8):873-5.

21. Annual Report of the Trauma Registry of the German Trauma Society (DGU). Cologne: Committee on Emergency Medicine, Intensive and Trauma Care (Sektion NIS) - German Trauma Society (DGU), 2021.
22. Banaste N, Caurier B, Bratan F, Bergerot JF, Thomson V, Millet I. Whole-Body CT in Patients with Multiple Traumas: Factors Leading to Missed Injury. *Radiology*. 2018;289(2):374-83.
23. Eurin M, Haddad N, Zappa M, Lenoir T, Dauzac C, Vilgrain V, et al. Incidence and predictors of missed injuries in trauma patients in the initial hot report of whole-body CT scan. *Injury*. 2012;43(1):73-7.
24. Fakler JK, Ozkurtul O, Josten C. Retrospective analysis of incidental non-trauma associated findings in severely injured patients identified by whole-body spiral CT scans. *Patient safety in surgery*. 2014;8:36.
25. Schicho A, Luerken L, Meier R, Ernstberger A, Stroszczyński C, Schreyer A, et al. Incidence of traumatic carotid and vertebral artery dissections: results of cervical vessel computed tomography angiogram as a mandatory scan component in severely injured patients. *Ther Clin Risk Manag*. 2018;14:173-8.
26. Treskes K, Saltzherr TP, Luitse JS, Beenen LF, Goslings JC. Indications for total-body computed tomography in blunt trauma patients: a systematic review. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2017;43(1):35-42.
27. Viergutz T, Terboven T, Henzler T, Schafer D, Schonberg SO, Sudarski S. [Relevant incidental findings and iatrogenic injuries : A retrospective analysis of 1165 resuscitation room patients]. *Anaesthesist*. 2018;67(12):901-6.
28. Chidambaram S, Goh EL, Khan MA. A meta-analysis of the efficacy of whole-body computed tomography imaging in the management of trauma and injury. *Injury*. 2017;48(8):1784-93.
29. Korner M, Geyer LL, Wirth S, Reiser MF, Linsenmaier U. 64-MDCT in mass casualty incidents: volume image reading boosts radiological workflow. *AJR Am J Roentgenol*. 2011;197(3):W399-404.
30. Linsenmaier U, Geyer LL, Korner M, Reiser M, Wirth S. [Importance of multidetector CT imaging in multiple trauma]. *Radiologe*. 2014;54(9):861-71.
31. Schmettenbecher PP, Marzi I, Schneidmüller D, Strohm P. S2K-Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, Sektion Kindertraumatologie, 2020 AWMF-Reg.-Nr. 006-120.
32. Akdemir HU, Caliskan F, Kati C, Baydin A. The Blunt Abdominal Trauma Bedside Ultrasonography Comparison with Trauma Severity Scores and Computerized Tomography. *Jcsp, Journal of the College of Physicians & Surgeons - Pakistan*. 2019;29(7):621-5.
33. Akoglu H, Celik OF, Celik A, Ergelen R, Onur O, Denizbasi A. Diagnostic accuracy of the Extended Focused Abdominal Sonography for Trauma (E-FAST) performed by emergency physicians compared to CT. *American Journal of Emergency Medicine*. 2018;36(6):1014-7.
34. Bagheri-Hariri S, Bahreini M, Farshidmehr P, Baraz, eh S, Babaniamansour S, et al. The effect of extended-focused assessment with sonography in trauma results on clinical judgment accuracy of the physicians managing patients with blunt thoracoabdominal trauma. *Archives of Trauma Research*. 2019;8(4):207-13.
35. Ezzat H, Elkahwagy M, Eltomey M, Sabry M. Evaluation of the role of bedside ultrasonography in the detection of traumatic occult pneumothorax. *Journal of the Egyptian Society of Cardio-Thoracic Surgery*. 2018;26(2):146-50.
36. Kozaci N, Avci M, Ararat E, Pinarbasili T, Ozkaya M, Etili I, et al. Comparison of ultrasonography and computed tomography in the determination of traumatic thoracic injuries. *American Journal of Emergency Medicine*. 2019;37(5):864-8.
37. Leblanc D, Bouvet C, Degiovanni F, Nedelcu C, Bouhours G, Rineau E, et al. Early lung ultrasonography predicts the occurrence of acute respiratory distress syndrome in blunt trauma patients. *Intensive Care Medicine*. 2014;40(10):1468-74.
38. Zanolletti M, Coppa A, Nazerian P, Grifoni S, Scorpiniti M, Innocenti F, et al. Chest Abdominal-Focused Assessment Sonography for Trauma during the primary survey in the Emergency

- Department: the CA-FAST protocol. *European Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2018;44(6):805-10.
39. Quinn AC, Sinert R. What is the utility of the Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) exam in penetrating torso trauma? *Injury*. 2011;42(5):482-7.
 40. Becker A, Lin G, McKenney MG, Marttos A, Schulman CI. Is the FAST exam reliable in severely injured patients? *Injury*. 2010;41(5):479-83.
 41. Ingeman JE, Plewa MC, Okasinski RE, King RW, Knotts FB. Emergency physician use of ultrasonography in blunt abdominal trauma. *Academic Emergency Medicine*. 1996;3(10):931-7.
 42. Lentz KA, McKenney MG, Nunez Jr DB, Martin L. Evaluating blunt abdominal trauma: Role for ultrasonography. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 1996;15(6):447-51.
 43. Richards JR, Schleper NH, Woo BD, Bohnen PA, McGahan JP. Sonographic assessment of blunt abdominal trauma: a 4-year prospective study. *J Clin Ultrasound*. 2002;30(2):59-67.
 44. Schleder S, Dendl LM, Ernstberger A, Nerlich M, Hoffstetter P, Jung EM, et al. Diagnostic value of a hand-carried ultrasound device for free intra-abdominal fluid and organ lacerations in major trauma patients. *Emerg Med J*. 2013;30(3):e20.
 45. Smith ZA, Postma N, Wood D. FAST scanning in the developing world emergency department. *S Afr Med J*. 2010;100(2):105-8.
 46. Brun PM, Bessereau J, Chenaitia H, Pradel AL, Deniel C, Garbaye G, et al. Stay and play eFAST or scoop and run eFAST? That is the question! *The American journal of emergency medicine*. 2014;32(2):166-70.
 47. Excellence NIfHaC. Major trauma: assessment and initial management: guidance (ng39). National Institute for Health and Care Excellence, 2016 Contract No.: ISBN: 978-1-4731-1680-1.
 48. Zieleskiewicz L, Fresco R, Duclos G, Antonini F, Mathieu C, Medam S, et al. Integrating extended focused assessment with sonography for trauma (eFAST) in the initial assessment of severe trauma: Impact on the management of 756 patients. *Injury*. 2018;49(10):1774-80.
 49. Haghighi O. Ultrasonographic Diagnosis of Suspected Hemopneumothorax in Trauma Patients. 2014.
 50. Wirth S, Hebebrand J, Basilico R, Berger FH, Blanco A, Calli C, et al. European Society of Emergency Radiology: guideline on radiological polytrauma imaging and service (short version). *Insights Imaging*. 2020;11(1):135.
 51. Muck F, Wirth K, Muggenthaler M, Kanz KG, Kreimeier U, Maxien D, et al. [Pretreatment mass casualty incident workflow analysis : Comparison of two level 1 trauma centers]. *Der Unfallchirurg*. 2016;119(8):632-41.
 52. Wilkerson RG, Stone MB. Sensitivity of bedside ultrasound and supine anteroposterior chest radiographs for the identification of pneumothorax after blunt trauma. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2010;17(1):11-7.
 53. Blaivas M, Lyon M, Duggal S. A prospective comparison of supine chest radiography and bedside ultrasound for the diagnosis of traumatic pneumothorax. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2005;12(9):844-9.
 54. Soldati G, Testa A, Sher S, Pignataro G, La Sala M, Silveri NG. Occult traumatic pneumothorax: diagnostic accuracy of lung ultrasonography in the emergency department. *Chest*. 2008;133(1):204-11.
 55. Soldati G, Testa A, Silva FR, Carbone L, Portale G, Silveri NG. Chest ultrasonography in lung contusion. *Chest*. 2006;130(2):533-8.
 56. Zhang M, Liu ZH, Yang JX, Gan JX, Xu SW, You XD, et al. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Crit Care*. 2006;10(4):R112.
 57. Botelho Filho FM, de Oliveira e Silva RC, Starling SV, Zille DP, Drumond DA. Complementary exams in blunt torso trauma. Perform only radiographs and fast: is it safe? *Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*. 2015;42(4):220-3.
 58. Sierink JC, Treskes K, Edwards MJ, Beuker BJ, den Hartog D, Hohmann J, et al. Immediate total-body CT scanning versus conventional imaging and selective CT scanning in patients with severe trauma (REACT-2): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016;388(10045):673-83.

59. Cook MR, Holcomb JB, Rahbar MH, Fox EE, Alarcon LH, Bulger EM, et al. An abdominal computed tomography may be safe in selected hypotensive trauma patients with positive Focused Assessment with Sonography in Trauma examination. *American Journal of Surgery*. 2015;209(5):834-40.
60. Huber-Wagner S, Biberthaler P, Haberle S, Wierer M, Dobritz M, Rummeny E, et al. Whole-Body CT in Haemodynamically Unstable Severely Injured Patients - A Retrospective, Multicentre Study. *PloS one*. 2013;8(7).
61. Tsutsumi Y, Fukuma S, Tsuchiya A, Ikenoue T, Yamamoto Y, Shimizu S, et al. Computed tomography during initial management and mortality among hemodynamically unstable blunt trauma patients: a nationwide retrospective cohort study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2017;25(1):74.
62. Lang P, Kulla M, Kerwagen F, Lefering R, Friemert B, Palm HG, et al. The role of whole-body computed tomography in the diagnosis of thoracic injuries in severely injured patients - a retrospective multi-centre study based on the trauma registry of the German trauma society (TraumaRegister DGU^R). *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation & Emergency Medicine*. 2017;25(1):82.
63. Topp T, Lefering R, Lopez CL, Ruchholtz S, Ertel W, Kuhne CA. Radiologic diagnostic procedures in severely injured patients - is only whole-body multislice computed tomography the answer? *International journal of emergency medicine*. 2015;8:3.
64. Katayama Y, Kitamura T, Hirose T, Kiguchi T, Matsuyama T, Sado J, et al. Delay of computed tomography is associated with poor outcome in patients with blunt traumatic aortic injury: A nationwide observational study in Japan. *Medicine*. 2018;97(35):e12112.
65. Palm HG, Kulla M, Wettberg M, Lefering R, Friemert B, Lang P, et al. Changes in trauma management following the implementation of the whole-body computed tomography: a retrospective multi-centre study based on the trauma registry of the German Trauma Society (TraumaRegister DGU^R). *European Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2018;44(5):759-66.
66. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, Korner M, Kay MV, Pfeifer KJ, et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *Lancet*. 2009;373(9673):1455-61.
67. Kanz KG, Paul AO, Lefering R, Kay MV, Kreimeier U, Linsenmaier U, et al. Trauma management incorporating focused assessment with computed tomography in trauma (FACTT) - potential effect on survival. *Journal of trauma management & outcomes*. 2010;4(1):4.
68. Stengel D, Ottersbach C, Matthes G, Weigeldt M, Grundei S, Rademacher G, et al. Accuracy of single-pass whole-body computed tomography for detection of injuries in patients with major blunt trauma. *CMAJ*. 2012;184(8):869-76.
69. Bieler D, Paffrath T, Schmidt A, Vollmecke M, Lefering R, Kulla M, et al. Why do some trauma patients die while others survive? A matched-pair analysis based on data from Trauma Register DGU R. *Chinese Journal of Traumatology*. 2020;23(4):224-32.
70. Lefering R. Revised Injury Severity Classification (RISC) – Development and validation of a classification system for severely injured patients based on a large trauma registry. [Revised Injury Severity Classification (RISC) – Entwicklung und Validierung eines Schweregrad-Klassifikationssystems für schwerverletzte Patienten zur Anwendung in einem nationalen Traumaregister] (Habilitationsschrift). Cologne: University Witten/Herdecke, Faculty of Medicine, Germany; 2007.
71. Lefering R. Development and validation of the Revised Injury Severity Classification (RISC) score for severely injured patients. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2009;35:437-47
72. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, Korner M, Kay MV, Pfeifer KJ, et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *The Lancet*. 2009;373(9673):1455-61.

73. Sierink JC, Treskes K, Edwards MJ, Beuker BJ, den Hartog D, Hohmann J, et al. Immediate total-body CT scanning versus conventional imaging and selective CT scanning in patients with severe trauma (REACT-2): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2016;388(10045):673-83.
74. Huber-Wagner S, Lefering R, Kanz KG, Biberthaler P, Stengel D. The importance of immediate total-body CT scanning. *Lancet*. 2017;389(10068):502-3.
75. Caputo ND, Stahmer C, Lim G, Shah K. Whole-body computed tomographic scanning leads to better survival as opposed to selective scanning in trauma patients: A systematic review and meta-analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;77(4):534-9.
76. Hajibandeh S, Hajibandeh S. Systematic review: effect of whole-body computed tomography on mortality in trauma patients. *J Inj Violence Res*. 2015;7(2):64-74.
77. Jiang L, Ma Y, Jiang S, Ye L, Zheng Z, Xu Y, et al. Comparison of whole-body computed tomography vs selective radiological imaging on outcomes in major trauma patients: a meta-analysis. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2014;22(1):54.
78. Long B, April MD, Summers S, Koyfman A. Whole body CT versus selective radiological imaging strategy in trauma: an evidence-based clinical review. *The American journal of emergency medicine*. 2017;35(9):1356-62.
79. Huber-Wagner S, Kanz KG, Hanschen M, van Griensven M, Biberthaler P, Lefering R. Whole-body computed tomography in severely injured patients. *Current opinion in critical care*. 2018;24(1):55-61.
80. Jores AP, Heverhagen JT, Bonel H, Exadaktylos A, Klink T. Diagnostic Accuracy of Full-Body Linear X-Ray Scanning in Multiple Trauma Patients in Comparison to Computed Tomography. *Rofo*. 2016;188(2):163-71.
81. Davies RM, Scrimshire AB, Sweetman L, Anderton MJ, Holt EM. A decision tool for whole-body CT in major trauma that safely reduces unnecessary scanning and associated radiation risks: An initial exploratory analysis. *Injury*. 2016;47(1):43-9.
82. Hsiao KH, Dinh MM, McNamara KP, Bein KJ, Roncal S, Saade C, et al. Whole-body computed tomography in the initial assessment of trauma patients: is there optimal criteria for patient selection? *Emergency medicine Australasia : EMA*. 2013;25(2):182-91.
83. Huber-Wagner S, Crönlein M, Huber S, von Matthey F, Kirchhoff C, Kanz K, et al. Whole-body CT Score – Kriterien zur Durchführung einer Ganzkörper-Computertomographie bei potentiell schwerverletzten Patienten. [Whole-body CT Score - Criteria for or against whole-body-CT in major trauma]. DOI 10.3205/15dkou173. 21 October 2015 2015.
84. Treskes K, Saltzherr TP, Edwards MJR, Beuker BJA, Van Lieshout EMM, Hohmann J, et al. Refining the criteria for immediate total-body CT after severe trauma. *European Radiology*. 2020;30(5):2955-63.
85. Reitano E, Granieri S, Sammartano F, Cimbanassi S, Galati M, Gupta S, et al. Avoiding immediate whole-body trauma CT: a prospective observational study in stable trauma patients. *Updates Surg*. 2022;74(1):343-53.
86. Stedman JM, Franklin JM, Nicholl H, Anderson EM, Moore NR. Splenic parenchymal heterogeneity at dual-bolus single-acquisition CT in polytrauma patients-6-months experience from Oxford, UK. *Emerg Radiol*. 2014;21(3):257-60.
87. Thomas KE, Mann EH, Padfield N, Greco L, BenDavid G, Alzahrani A. Dual bolus intravenous contrast injection technique for multiregion paediatric body CT. *Eur Radiol*. 2015;25(4):1014-22.
88. Hakim W, Kamanahalli R, Dick E, Bharwani N, Fetherston S, Kashef E. Trauma whole-body MDCT: an assessment of image quality in conventional dual-phase and modified biphasic injection. *Br J Radiol*. 2016;89(1063):20160160.
89. Leung V, Sastry A, Woo TD, Jones HR. Implementation of a split-bolus single-pass CT protocol at a UK major trauma centre to reduce excess radiation dose in trauma pan-CT. *Clin Radiol*. 2015;70(10):1110-5.
90. Reske SU, Braunschweig R, Reske AW, Loose R, Wucherer M. Whole-Body CT in Multiple Trauma Patients: Clinically Adapted Usage of Differently Weighted CT Protocols. *Rofo*. 2018;190(12):1141-51.

91. Ackland HM, Cooper DJ, Malham GM, Stuckey SL. Magnetic resonance imaging for clearing the cervical spine in unconscious intensive care trauma patients. *J Trauma*. 2006;60(3):668-73.
92. Boese CK, Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormalities in adults: a systematic review. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013;75(2):320-30.
93. Ghaffari-Rafi A, Peterson C, Leon-Rojas JE, Tadokoro N, Lange SF, Kaushal M, et al. The Role of Magnetic Resonance Imaging to Inform Clinical Decision-Making in Acute Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2021;10(21).
94. Hawighorst H, Huisman T, Berger MF, Zäch GA, Michel D. [MRI in spinal injuries]. *Radiologe*. 2001;41(12):1033-7.
95. Lang P, Merz C, Hackenbroch C, Friemert B, Stuby F, Palm HG. Magnetic Resonance Imaging in Pelvic Fractures - Part 1: Which Criteria Lead Us to Supplementary MRI Diagnostics? *Z Orthop Unfall*. 2020;158(4):351-9.
96. Mallouhi A. [Cranio-cerebral trauma: magnetic resonance imaging of diffuse axonal injury]. *Radiologe*. 2014;54(9):907-15.
97. Russin JJ, Attenello FJ, Amar AP, Liu CY, Apuzzo ML, Hsieh PC. Computed tomography for clearance of cervical spine injury in the unevaluable patient. *World Neurosurg*. 2013;80(3-4):405-13.
98. Tarawneh AM, D'Aquino D, Hilis A, Eisa A, Quraishi NA. Can MRI findings predict the outcome of cervical spinal cord injury? a systematic review. *Eur Spine J*. 2020;29(10):2457-64.
99. Zakharova NE, Danilov GV, Potapov AA, Pronin IN, Alexandrova EV, Kravchuk AD, et al. [The prognostic value of mri-classification of traumatic brain lesions level and localization depending on neuroimaging timing]. *Zh Vopr Neurokhir Im N N Burdenko*. 2019;83(4):46-55.

2.6 Endovaskuläre Therapie von Blutungen und Gefäßläsionen

H.-J. Wagner*, P. Hilbert-Carius, R. Braunschweig, D. Kildal, D. Hinck, T. Albrecht, N. Könsgen[#], K. Gooßen[#]

Zugrunde gelegt wurden die Empfehlungen der vorausgegangenen Versionen der Leitlinie „Polytrauma“ aus den Jahren 2011 und 2016. Zur Überarbeitung erfolgte am 16.06.2021 eine systematische Literaturrecherche und anschließende Studienselektion gemäß der im Methodenreport, Appendix B3 dargestellten Einschlusskriterien. Die Recherche ergab insgesamt 42 Literaturstellen zur endovaskulären Therapie relevanter Blutungen und/oder relevanter Gefäßverletzungen, die die Kriterien erfüllten [1-42]. Die Diagnostik von Blutungen und Gefäßverletzungen war keine vorab definierte Fragestellung mit systematischer Literaturrecherche. Aus diesem Grund wurde auf eine aktuelle systematische Übersichtsarbeit als Evidenzgrundlage zurückgegriffen [43]. Die Studien wurden hinsichtlich ihres Biasrisikos bewertet und die Ergebnisse in strukturierten Tabellen dargestellt (Methodenreport Appendix B5). Zu jeder der im Folgenden dargestellten Empfehlungen wurden zusammenfassende Evidenztabelle der relevanten Studien generiert. Diese finden sich jeweils in der Erläuterung zu den Empfehlungen.

Die folgenden Empfehlungen wurden in der Konsensuskonferenz der Leitliniengruppe am 13.09.2021 abgestimmt und mit den jeweils genannten Ergebnissen angenommen.

Strukturqualität der endovaskulären Versorgung traumatischer Blutungen/Gefäßverletzungen

2.6.1	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die endovaskuläre Therapie von Blutungen und Gefäßläsionen sollte an einer stationären Angiographieeinheit durch einen erfahrenen endovaskulären Therapeuten an hämodynamisch stabilisierten Patienten (permissive Hypotension) erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

Darlegung der Evidenzgrundlage

Die Studienlage zu strukturellen Voraussetzungen für die endovaskuläre Therapie traumatischer Blutungen und Arterienverletzungen ist sehr überschaubar. Es fehlen Studien mit gutem methodischem Design und prospektiver Datenerhebung. Im Wesentlichen basiert die Empfehlung auf Konsensuskonferenzen der großen interventionsradiologischen Gesellschaften, CIRSE für Europa (Chakraborty 2012), und SIR für Nordamerika (Padia 2020). Beide Gesellschaften fordern für die Intervention einen erfahrenen und in endovaskulären Techniken ausgebildeten interventionellen Therapeuten, der sowohl das Verfahren der Embolisation kleiner Gefäße als auch die Technik der endovaskulären Reparatur großer Gefäßläsionen beherrscht. Fortschritte der Anästhesie erlauben zunehmend auch hämodynamisch kompromittierte Patienten so zu stabilisieren, dass sie endovaskulär behandelt werden können und damit die zugrunde liegende Ursache des hämorrhagischen Schocks minimal invasiv beseitigt werden kann.

Begründung des Empfehlungsgrades mit Darlegung der Abwägung von Nutzen und Schaden der Intervention

Aufgrund der fehlenden Evidenz aus methodisch hochwertigen Studien und fehlenden Metaanalysen bzw. systematischen Reviews ist nur eine Empfehlung als GPP möglich.

Diagnostik traumatischer Blutungen/Gefäßverletzungen

2.6.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Diagnostik von Blutungen und Gefäßverletzungen sollte mittels einer kontrastverstärkten CT des gesamten Körpers erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[43] Moon 2021: LoE 2a	
	Konsensstärke: 100%	

Evidenztabelle (Kurzform)

Studie	Bias	Ergebnisse
1 systematischer Review retrospektiver Studien, Moon 2021	hohes Biasrisiko für 4/11 Domänen	Diagnose schwerer pelviner Blutungen mit Mehrschicht-CT mit ≥16 Zeilen vs. Angiographie (5 Studien):%-Sensitivität 91.5 (95% KI: 84.8–95.3),%-Spezifität 90.6 (82.8–95.1)

Darlegung der Evidenzgrundlage

Traumatische Blutungen wurden traditionell mittels Katheterangiografie diagnostiziert. Die Einführung der Spiral-CT und besonders die Nutzung von Mehrschicht-Spiral-CTs erlaubt die Detektion arterieller Blutungen in einer kontrastverstärkten CT-Untersuchung (CT-Angiographie). Seit Einführung dieser Technik fand sich eine rasche Verbreitung und eine Integration in den Algorithmus der bildgebenden Diagnostik bei polytraumatisierten Patienten. Unter Verwendung eines entsprechenden CT-Protokolls gelingt die sichere Detektion traumatischer Gefäßverletzungen und traumatischer Blutungen in einer einzelnen CT-Spirale des gesamten Körpers. Hinsichtlich der Ganzkörper-CT-Spirale sei auf das vorausgehende Kapitel 2.5 „Bildgebung“ dieser Leitlinie und hier auf die Empfehlungen 2.5.5ff verwiesen. Bezüglich der Protokollempfehlungen verweisen wir auf die Qualitätssicherungsleitlinie der Bundesärztekammer zum „Polytrauma-CT“ [Literaturstelle].

Die Bedeutung der CT in der Diagnostik von traumatischen pelvinen Blutungen konnte in den letzten Jahren bestätigt werden in einer Metaanalyse von 13 Studien [43]. Sie demonstrierte in einer Subgruppenanalyse von 5 Studien eine gepoolte Sensitivität von 92% und eine gepoolte Spezifität von 91% für das Mehrschicht-CT mit 16 oder mehr Zeilen für Hämorrhagien nach pelvinem Trauma.

Eine prospektive Studie an zehn Level I US-amerikanischen Traumazentren der Jahre 2009 bis 2013 fand eine Rate von 67% (12 von 18) auf konventionellen Röntgenaufnahmen des Thorax okkulten Verletzungen großer Gefäße, die in 25% operativ versorgt werden mussten [44].

Auch im abdomino-pelvinen Bereich können Verletzungen großer Gefäße nach stumpfem Trauma mittels CT sicher diagnostiziert und evaluiert werden [45].

Moderne Mehrschicht-CT mit 64 und mehr Schichtakquisitionen während einer Rotation erlauben die Erweiterung der Ganzkörper-Spirale auch auf die Extremitäten und damit eine Erfassung der peripheren Gefäßverletzungen innerhalb einer Untersuchung. Foster et al. konnten in einer

retrospektiven Studie bereits 2011 zeigen, dass die Integration einer CT-Angiographie der unteren Extremitäten in die CT-Traumabildgebung bei 284 Patienten in 16% arterielle Gefäßverletzungen detektierte (n=44; traumatische Okklusionen und Stenosen, Pseudoaneurysmen, akute Blutungen, Arteriovenöse Fisteln) [46].

Wada et al. konnten in einer retrospektiven Studie im Untersuchungszeitraum von 2004 bis 2010 an zwei japanischen tertiären Traumazentren erstmals zeigen, dass 152 Patienten, die wegen eines stumpfen Traumas eine notfallmäßige Blutungskontrolle benötigten (Operation oder endovaskuläre Embolisation), von einer CT-Untersuchung vor der erforderlichen Blutungskontrolle profitierten. Die erhobene standardisierte 28-Tages-Mortalitätsrate (SMR) war nach multivariater Risikoadjustierung in der Gruppe, die kein CT erhalten hatte, signifikant höher. Es fand sich eine odds ratio von 7,2. Eine Subgruppenanalyse der Daten legt nahe, dass insbesondere Patienten mit schwerem Traum eine geringere SMR aufwiesen, wenn sie ein CT erhalten hatten [47].

Eine Subgruppenanalyse der REACT-2 Studie, die prospektiv randomisiert eine sofortige Ganzkörper-Spiral-CT bei Traumapatienten mit konventioneller Bildgebung und selektiven CT-Untersuchungen verglich, fand einen ähnlichen Befund. 172 Patienten (von 1083 Patienten der Gesamtkohorte), die einer sofortigen notfallmäßigen Blutungskontrolle bedurften, wurden verglichen. 85 der 172 (49%) Patienten hatten initial ein Ganz-Körper-CT erhalten. Die Krankenhausmortalität der Patienten mit erforderlicher sofortiger Blutungskontrolle lag bei 12,9% in der sofortigen CT-Gruppe und bei 24,1% in der selektiven CT-Gruppe. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p=0,059$). Die Autoren hielten die absolute Risikoreduktion von 11,2% für klinisch relevant. Die CT bis zur Blutungskontrolle wurde durch das sofortige CT nicht signifikant verzögert [48].

Begründung des Empfehlungsgrades mit Darlegung der Abwägung von Nutzen und Schaden der Intervention

Metaanalysen und mehrere retrospektive Kohortenstudien zeigen, dass die Ganz-Körper-CT-Untersuchungen Blutungen und Gefäßverletzungen mit hoher Sensitivität und Spezifität diagnostizieren kann. Die CT-Angiographie hat damit in den letzten Jahren die Katheterangiografie zum Blutungsnachweis und Darstellung einer Gefäßverletzung ersetzt. Eine Subgruppenanalyse der einzigen prospektiv randomisierten Studie, die eine sofortige Ganz-Körper-CT mit konventioneller Bildgebung und selektiven CT-Untersuchungen verglich, zeigt zwar keine statistisch signifikante Reduktion der Mortalität, aber eine deutliche absolute Mortalitätsreduktion von 11% in der Gruppe von Patienten mit sofort erforderlicher Blutungskontrolle, die ein initiales Ganz-Körper-CT erhalten hatten. Damit ergibt sich insgesamt ein Empfehlungsgrad B.

Wiedergabe wichtiger Diskussionspunkte

Die zunehmende Einführung hochzeiliger CT-Systeme (64 Schichten und mehr) an Traumazentren in unmittelbarer Nähe zum (oder im) Schockraum wird zu einer immer häufigeren Anwendung der Ganz-Spiral-CT-Untersuchung führen; insbesondere dann, wenn ein schweres Verletzungsmuster vorliegt, das zu relevanten Blutungen und Gefäßverletzungen führte, die einer sofortigen Behandlung bedürfen.

Endovaskuläre Ballonokklusion der Aorta (REBOA)

2.6.3	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad 0 ⇔	Bei Patienten im schweren hämorrhagischen Schock aufgrund nichtkomprimierbarer Körperstammlutungen unterhalb des Zwerchfells, kann bis zur definitiven Blutungskontrolle eine endovaskuläre Ballonokklusion der Aorta (REBOA) durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	<p><i>potentiell positiver Effekt:</i></p> <p>[1] Abe 2016: LoE 2b [4] Asmar 2021: LoE 2b [8] Bukur 2021: LoE 2b [37] Teeter 2018: LoE 2b [40] Yamamoto 2019: LoE 2b [41] Yamamoto 2020: LoE 2b [7] Brenner 2018: LoE 3b↓</p> <p><i>kein signifikanter Effekt:</i></p> <p>[5] Aso 2017: LoE 2b [12] Coccolini 2020: LoE 2b [14] DuBose 2016: LoE 2b [19] Henry 2020: LoE 2b [32] Ordoñez 2020: LoE 2b</p> <p><i>potentiell negativer Effekt:</i></p> <p>[20] Inoue 2016: LoE 2b [22] Joseph 2019: LoE 2b [30] Mikdad 2020: LoE 2b [31] Norii 2015: LoE 2b</p>	
	Konsensstärke: 100%	

Patienten mit nichtkomprimierbaren Körperstamm- bzw. Beckenblutungen benötigen eine zeitnahe chirurgische oder in selektiven Fällen auch endovaskuläre interventionelle Blutungskontrolle. Bei Patienten im schweren hämorrhagischen Schock mit Blutungen unterhalb des Zwerchfells kann die endovaskuläre Ballonokklusion der Aorta (REBOA) eine überbrückende Option bis zur chirurgischen Versorgung darstellen, um die zentrale Zirkulation (Herz, Gehirn) aufrechtzuhalten bzw. wiederherzustellen und den Patienten vor der Exsanguination zu bewahren. Essentiell für das Ballonokklusionsverfahren ist ein frühzeitiger Zugang zur Arteria femoralis communis, um bei Bedarf darüber eine entsprechende Schleuse für den Ballonkatheter zu platzieren.

Man muss sich im Klaren sein, dass mit Okklusion der Aorta, die in unterschiedlichen Höhen erfolgen kann, eine ausgeprägte Ischämie distal des Ballons einsetzt, welche so kurz wie möglich sein sollte, um ein ischämisches Multiorganversagen im weiteren Verlauf zu verhindern. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Anwendung des Verfahrens eine konsequente interdisziplinäre Logistik, eine umgehende Blutungskontrolle und die Möglichkeit des Managements von potentiellen Komplikationen impliziert. Auf die technischen Prinzipien und entsprechende Vorgehensweisen kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden und es wird auf entsprechende Arbeiten verweisen [49-52].

Darlegung der Evidenzgrundlage

Der Leitliniengruppe standen 23 Registerstudien zur REBOA-Anwendung mit widersprüchlichen Ergebnissen und einem gewissen Risiko für einen Selektionsbias zur Verfügung, randomisierte Multicenterstudien fehlen aktuell noch. Die folgende Tabelle fasst die gefundene Evidenz gemäß aktueller systematischer Literaturrecherche zusammen.

Studien	Bias	Ergebnisse
5 Registerstudien (Japan, USA)	unklares Risiko für Performance Bias	REBOA vs. kein REBOA: höhere Mortalität bei REBOA in 3 Studien, geringere Mortalität in 2 Studien
9 Registerstudien (Japan, USA), 1 prospektive Kohorte (Kolumbien)	größtenteils Risiko für Selektionsbias	REBOA vs. thorakales Abklemmen der Aorta (ACC): geringere und spätere Mortalität bei REBOA, teilweise signifikant
1 Registerstudie (Japan)	Risiko für Selektionsbias	frühe REBOA vs. spätere REBOA: signifikant geringere Mortalität bei früher REBOA
1 Registerstudie (USA)	Risiko für Selektionsbias	REBOA im OP vs. REBOA in der Notaufnahme: kein signifikanter Mortalitätsunterschied
1 Registerstudie (international)	Risiko für Selektionsbias	partielle oder intermittente vs. totale Okklusion bei REBOA: höhere Mortalität bei totaler Okklusion, aber Daten nicht risikoadjustiert
1 Registerstudie (Japan)	Risiko für Selektionsbias	REBOA vs. REBOA und thorakales Abklemmen der Aorta: geringere Mortalität bei REBOA, aber Patienten weniger schwer verletzt und Daten nicht risikoadjustiert
1 Registerstudie (USA)	Risiko für Selektionsbias	REBOA Algorithmus befolgt vs. nicht befolgt: Trend zu geringerer Mortalität, wenn der Behandlungsalgorithmus befolgt wird (kleine Population, Daten nicht risikoadjustiert)

Begründung des Empfehlungsgrades mit Darlegung der Abwägung von Nutzen und Schaden der Intervention

Trotz einiger vielversprechender Ergebnisse in einzelnen retrospektiven Registerstudien, ist vor dem Hintergrund fehlender randomisierter multizentrischer Untersuchungen und zahlreicher negativer Studien aktuell nur ein GoR 0 möglich.

Wiedergabe wichtiger Diskussionspunkte

Obwohl REBOA eine weniger invasive Maßnahme zur Blutungskontrolle bei nichtkomprimierbarer Körperstamm- bzw. Beckenblutungen darstellt, darf dies nicht darüber hinwegtäuschen, dass für die sichere Anwendung und zeitkritische Durchführung entsprechendes Training und Expertise notwendig sind. Die chirurgische Alternative der thorakalen Aortenabklemmung ist in einzelnen Studien der REBOA überlegen, auch was die Zeit bis zur definitiven Anlage angeht.

Nennen von Personengruppe, auf die die Empfehlung nicht zutrifft/Alternativen

Die Datenlage im Kindesalter ist noch deutlich schlechter als bei Erwachsenen, da praktisch keine Studien mit ausreichender Evidenz existieren.

Angaben zur qualitativ guten Durchführung

Bei Patienten in extremis, bei denen der Leistenpuls nicht sicher tastbar ist, sollte der Gefäßzugang entweder ultraschallgestützt oder als chirurgischer „Cut-Down“ erfolgen. Es gibt in der Literatur aktuell keinen Hinweis, dass REBOA von irgendeiner Fachdisziplin besser beherrscht wird, als von einer anderen. Studien belegen aber bessere Ergebnisse nach einem Training der Technik und einem standardisierten Algorithmus zu den einzelnen Verfahrensschritten.

Therapie der stumpfen traumatischen thorakalen und abdominellen Aortenruptur

2.6.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine stumpfe Verletzung der thorakalen oder abdominellen Aorta sollte endovaskulär (TEVAR/EVAR) versorgt werden. Wenn die Art der Aortenverletzung es erlaubt, sollte die Versorgung frühelektiv erst nach den ersten 24 Stunden erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[2] Alarhayem 2021: LoE 2b [13] Dayama 2017: LoE 2b [17] Grigorian 2018: LoE 2b [24] Marcaccio 2018: LoE 2b [34] Scalea 2019: LoE 2b [35] Sheehan 2020: LoE 2b [23] Kondo 2019: LoE 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Therapie der traumatischen Aortenruptur (thorakal)

Studien*	Bias	Ergebnisse
8 Registerstudien (USA, Deutschland, Japan)	Risiko für Selektionsbias	endovaskuläre Reparatur der thorakalen Aorta TEVAR vs. offene Aortenreparatur (vs. keine Reparatur): signifikant geringere Mortalität bei TEVAR, aber häufigere Herzkomplicationen in 1 Studie
3 Registerstudien (USA)	Risiko für Selektionsbias	frühe (<24h bzw. 9h) vs. späte TEVAR: signifikant höhere Mortalität bei früher TEVAR

* insgesamt 9 Studien, die teilweise für beide Vergleiche verwendet wurden

Therapie der traumatischen Aortenruptur (abdominell)

Studien	Bias	Ergebnisse
3 Registerstudien (USA, Japan)	Risiko für Selektionsbias	endovaskuläre vs. offene Aortenreparatur: signifikant geringere Mortalität bei endovaskulärer Therapie, aber häufigerer Herzstillstand in 1 Studie

In der Regel versterben bis zu 80% der PatientINNEN mit Verletzung der thorakalen und abdominalen Aorta schon in der prähospitalen Phase [Arthurs ZM, Starnes BW, Sohn VY, Singh N, Martin MJ, Andersen CA. Functional and survival outcomes in traumatic blunt thoracic aortic injuries: An analysis of the National Trauma Databank. J Vasc Surg. 2009 Apr;49(4):988-94. doi: 10.1016/j.jvs.2008.11.052. PMID: 19341888.]. Daher ist es nicht verwunderlich, dass nur 0,1% der Verunfallten eine in der Klinik

zu versorgende Verletzung der vorgenannten Abschnitte der Aorta aufweisen. Mehrheitlich handelt es sich hierbei um einen stumpfen Verletzungsmechanismus.

Die systematische Literaturrecherche identifizierte insgesamt 12 Studien, die sich seit der letzten Leitlinienversion 2016 mit dem Thema der stumpfen traumatischen Aortenverletzung beschäftigten [2, 9, 13, 15-17, 23, 24, 34-36, 42].

Insgesamt wurden neun Studien bzgl. der Versorgung der stumpfen thorakalen Aortenverletzung [2, 9, 15-17, 24, 34, 36, 42] und drei Studien bzgl. der Versorgung der abdominellen Aortenverletzung [13, 23, 35] in die Überarbeitung der vorliegenden S3-Leitlinie einbezogen. Alle Studien hatten ein retrospektives Design und werteten große nationale Datenbanken in Japan (JDCP), USA (NTDB, QTIP), Kanada (OTR) und Deutschland (TraumaRegister DGU) aus. Die Datenanalyse erfolgte meist über mehrere Jahre und deckt den Zeitraum von 2002 bis 2017 ab.

Von den neun Studien, die die thorakale Aorta betreffen, betrachten acht die stumpfe traumatische thorakale Aortenverletzung. Eine japanische Studie konnte aufgrund der Datenbasis nicht die Ursache der inkludierten thorakalen Aortenverletzungen (Differenzierung zwischen stumpfen und penetrierenden Verletzungen) benennen [36].

In acht der neun Studien fand sich, auch nach multivariater Risikoadjustierung (Propensity matching), eine statistisch signifikante Reduktion der Mortalität beim endovaskulären Vorgehen (*thoracic endovascular aortic repair* (TEVAR)) [34].

Generell wurde ein Benefit der Versorgung mittels TEVAR in Bezug auf perioperative Komplikationen dargestellt. Zudem zeigte sich eine kürzere Krankenhausverweildauer der versorgten PatientINNEN [17].

Zwei der neun Studien analysierten als primären Endpunkt die Krankenhaus-Mortalität in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der endovaskulären Versorgung der stumpfen traumatischen Aortenverletzung [2, 24]. Die Grenze zwischen früher und später Versorgung wurde in der einen Studie bei 9 Stunden nach Verletzung [24] und in der anderen Studie bei 24 Stunden [2] gelegt. Beide Studien fanden eine statistisch signifikant höhere Mortalität in der Gruppe der früh versorgten Patienten, auch nach logistischer Regressionsanalyse und Risikoadjustierung. In der Studie von Alarhayem fand sich eine odds ratio von 2,5, in der Studie von Marcaccio von 2,4.

Die in diese Überarbeitung der Leitlinie einfließenden Studien mit Analyse der Versorgung der traumatischen abdominellen Aortenverletzung [13, 23], führen zu keiner Änderung der Empfehlung aus der vorausgegangenen Leitlinie. Wie schon in der letzten Version (2016) dieser S3 Leitlinie beschrieben, fanden die neueren Studien auch einen statistisch signifikanten Vorteil der endovaskulären Therapie (EVAR) gegenüber der offenen chirurgischen Operation mit einer Erhöhung des Mortalitätsrisikos um den Faktor 6,6 nach Risikoadjustierung [13]. Die neuen Studien bestätigen auch die Befunde einer reduzierten perioperativen Morbidität im Zuge der Versorgung durch EVAR.

Eine Studie, die retrospektiv die US-Datenbank QTIP von 2010-2016 auswertete, um Prädiktoren für eine stumpfe abdominelle Aortenverletzung bei Traumapatienten zu finden und eine Mortalitätsanalyse vornahm, fand ohne Risikoadjustierung keinen signifikanten Mortalitätsunterschied zwischen offener Therapie (14,9%) und endovaskulärer Versorgung (24,1%) [35]. Mehr als doppelt so viele Patienten wurden endovaskulär versorgt (6,6%) im Vergleich zu offener Chirurgie (2,9%). Die Studie belegt die Seltenheit der abdominellen Aortenverletzung bei Patienten mit einem stumpfen

Trauma; lediglich 0,1% (N=1012) des Gesamtkollektivs von 1.055.633 Traumapatienten erlitt ein abdominelles Aortentrauma [35].

Eine Studie, die die japanische Datenbank JDPC für den Zeitraum von 2010 -2017 analysierte fand eine nicht-adjustierte Krankenhausmortalität von 35% für offen operierte traumatische abdominelle Aortenverletzungen versus 18,5% für eine endovaskuläre Versorgung [23].

Gefäßläsionen außerhalb der Aorta

2.6.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei arteriellen Gefäßverletzungen wie Intimadisektion, Gefäßzerreiung, AV-Fistel oder Pseudoaneurysmabildung sollte eine endovaskuläre Therapie angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[6] Blitzer 2020: LoE 2b [25] Matsumoto 2018: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Endovaskuläre Therapie bei Verletzungen der A. carotis

Studien	Bias	Ergebnisse
1 Registerstudie (USA)	unklar	endovaskuläre vs. offene Carotisversorgung: signifikant geringere Mortalität bei endovaskulärer Therapie frühe (<24h) vs. späte endovaskuläre Carotisversorgung: signifikant höhere Mortalität bei früher Therapie

Endovaskuläre Therapie bei Blutungen bei Gesichtsschädelverletzungen

Studien	Bias	Ergebnisse
1 Registerstudie (Japan)	Risiko für Selektionsbias	transarterielle Embolisation (TAE) vs. keine TAE bei Gesichtsschädelverletzungen: signifikant geringere Mortalität bei TAE

Neben den traumatischen Läsionen der großen Gefäße, wie der Aorta, hat sich auch für die Versorgung arterieller Gefäßverletzungen kleinerer und peripherer Gefäße in den letzten Jahren zunehmend das endovaskuläre Vorgehen etabliert [53].

Intimadisektionen können mit Stents versorgt werden, traumatische Gefäßverletzungen mit Pseudoaneurysmabildung können durch Stentgrafts exkludiert werden, selbst traumatische Arterienverletzung mit Gefäßzerreiung können mit Stentgrafts von endoluminal versorgt werden [54].

Vorteile des endoluminalen Vorgehens sind die geringere Invasivität, eine dadurch gesenkte Morbidität, eine fragliche Reduktion der Mortalität und eine Verkürzung der Krankenhausliegedauer [55-57].

Darlegung der Evidenzgrundlage

Die systematische Literatursuche fand zwei Publikationen seit der letzten Leitlinienüberarbeitung, die sich mit der endovaskulären Therapie arterieller Gefäßverletzungen außerhalb des Körperstamms beschäftigten. Blitzer et al. untersuchten in einer retrospektiven Kohortenstudie stumpfe Verletzungen der Arteria carotis. Analysiert wurde die US-amerikanische Traumadatenbank NTDB von 2002 bis 2016. Identifiziert wurden insgesamt 9.190 Patienten von denen 288 einer offenen Operation und 48 einer endovaskulären Therapie unterzogen wurden (43 erhielten beide Verfahren). Über den Untersuchungszeitraum fand sich eine statistisch signifikante Reduktion der Zahl der offenen chirurgischen Verfahren. Die offen operierte Gruppe hatte ein höheres Risiko einen Schlaganfall zu erleiden, einen längeren Krankenhaus- und Intensivstationsaufenthalt. Die Mortalität zwischen beiden Gruppen war nicht signifikant unterschiedlich [6]. Diese Studie untersuchte ebenfalls den Einfluss des Zeitpunkts der endovaskulären Intervention auf die Mortalität. Dabei zeigte sich, dass eine endovaskuläre Intervention später als 24 Stunden nach initialem Trauma zu signifikant geringeren Mortalitätsraten führte als eine Intervention innerhalb der ersten 24 Stunden (3% versus 19%) [6]. Der Befund der geringen Mortalität bei verzögerter Intervention ist konkordant zu Ergebnissen der Studien, die für eine zeitlich verzögerte Intervention bei traumatischen Aortenrupturen ebenfalls reduzierte Mortalitäten fanden (siehe bitte auch den Hintergrundtext zur Empfehlung 2.18.4 [2, 24]. Die zweite Studie beschäftigte sich mit der Embolisationstherapie bei lebensbedrohlichen Blutungen nach Gesichtsschädelfrakturen. Die Autoren nutzten die japanische Datenbank JTBD und analysierten den Zeitraum von 2004 bis 2014. Die retrospektive Analyse fand eine Kohorte von 118 Patienten mit einer LeFort-III-Fraktur und einem Blutverlust >20%. 26 Patienten (22%) wurden mit einer transarteriellen endoluminalen Embolisation behandelt. Der Vergleich der Gruppe der embolisierten mit den nicht-embolisierten Patienten ergab einen geringeren Glasgow Coma Scale für die embolisierten Patienten, alle anderen Parameter inklusive des ISS waren vergleichbar. Es fand sich eine signifikant geringere Mortalität in der Embolisationsgruppe (23% versus 45%, odds ratio 0,36) [25].

Begründung des Empfehlungsgrades mit Darlegung der Abwägung von Nutzen und Schaden der Intervention

Die Empfehlung basiert auf retrospektiven Auswertungen zweier großer Traumadatenbanken (USA und Japan). Die Analysen wurden zum Teil adjustiert, es fehlen jedoch prospektive Kohortenstudien und vor allem prospektiv randomisierte Studien. Unter diesen Gesichtspunkten besteht ein level of evidence 2b, der zu einem Empfehlungsgrad B führt. Die Empfehlung wurde mit hoher Konsensstärke (94,7%) angenommen.

Wiedergabe wichtiger Diskussionspunkte

In den letzten Jahren mehren sich Studienergebnisse, die Vorteile der endovaskulären Therapie gegenüber einem offen chirurgischen Vorgehen zur Versorgung arterieller Gefäßverletzungen auch jenseits der Aorta (thoracica und abdominalis) zeigen. Dabei können endovaskuläre Verfahren auch genutzt werden, um eine damage control zu erreichen und als Brücke bis zur definitiven chirurgischen Versorgung in einem offenen Verfahren dienen [53]. Zu betonen ist jedoch, dass strukturelle Voraussetzungen in der Traumaversorgung der Klinik, wie eine 24h-Rufbereitschaft eines Interventionsteams und eine in räumlicher Nähe zum Schockraum gelegener Interventionsraum unumgänglich sind. Dies wirkt sich auch direkt auf die Frage der endovaskulären Versorgung bei bestehender hämodynamischer Instabilität des Patienten aus (siehe auch Empfehlung 2.18.1). Der Einsatz der endovaskulären Versorgung kann bei vorgenannten Patienten bei entsprechender Infrastruktur liberaler gesehen werden.

Nennen von Personengruppe, auf die die Empfehlung nicht zutrifft/Alternativen

Gefäßverletzungen, die mit einer vollständigen Zerreißung der Gefäßwand und Dislokation der beiden Gefäßenden einhergehen und Gefäßverletzungen, die zu ausgedehnten profusen Blutungen führen, sollten weiterhin offen chirurgisch therapiert werden.

Embolisation traumatischer Blutungen parenchymatöser abdomineller Organe

2.6.6	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Blutungen parenchymatöser abdomineller Organe sollten endovaskulär mittels Embolisation therapiert werden. Eine frühzeitige Embolisation kann die Mortalität senken. Milzverletzungen, die nicht sofort eine Intervention erfordern, sollten beobachtet werden und ggf. sekundär versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[3] Arvieux 2020: LoE 1b [10] Chehab 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Embolisationstherapie im Abdomen (parenchymatöse Organe)

Studien	Bias	Ergebnisse
1 RCT (Frankreich)	Risiko für Performance Bias	prophylaktische Embolisation bei Milzarterienverletzungen vs. Überwachung und Embolisation falls nötig, in stabilen Patienten: keine signifikanten Unterschiede bzgl. Milzerhalt oder Komplikationen
1 Registerstudie (USA)	Risiko für Selektionsbias	frühe vs. spätere Angioembolisation bei intraabdominalem Trauma: signifikant geringere Mortalität bei Intervention innerhalb einer Stunde trotz höherem ISS

Traumatische Blutungen parenchymatöser Abdominalorgane wie Leber, Milz oder Niere sollten primär endovaskulär mittels Embolisation versorgt werden. Bildgebend sollte ein Blutungsnachweis in der KM-verstärkten CT mit aktivem KM-Austritt [58].

Die Embolisation sollte - unter Berücksichtigung und ggf. Priorisierung eventuell weiterer vorliegender Verletzungen - so früh wie möglich erfolgen. Zu dieser Frage fand sich eine aktuelle retrospektive Analyse einer großen Traumadatenbank mit multivariater Regressionsanalyse nach Risikoadjustierung mehrerer Parameter für den primären Endpunkt Mortalität. Chehab et al untersuchten in einer retrospektiven Auswertung des Traumaregisters des American College of Surgeons Trauma Quality Improvement Program (ACS-QTIP) den Einfluss des Zeitintervalls vom Eintreffen des Patienten in der Notaufnahme bis zur Embolisation auf die 24h-Mortalität. Insgesamt wurden 924 Patienten in der Datenbank identifiziert, bei denen eine Embolisation von Leber, Milz oder Niere 1 - 4 h nach Aufnahme durchgeführt worden war. Dabei nahm die 24h-Mortalität mit jeder zusätzlichen Stunde Zeitverzögerung bis zur Embolisation statistisch signifikant zu [10]. Die Autoren folgern, dass die Möglichkeit der endovaskulären Therapie (Embolisation) zeitnahe zur Verfügung stehen sollte [10].

Die Embolisation kann auch beim hämodynamisch instabilen Patienten unter entsprechender intensivmedizinischer Therapie zum Einsatz kommen, sofern sie ohne Zeitverlust verfügbar ist. Eine erfolgreiche Embolisation führt in Kombination mit einer adäquaten Volumenbehandlung in der Regel zu einer sofortigen Stabilisierung des Patienten.

Beim Vorliegen von abdominellen Mehrfachverletzungen mit mehreren blutenden Organen sollte die primäre OP erwogen werden, da Blutungen aus mehreren Organen operativ ggf. schneller gestillt werden können. Wir verweisen hier auch auf die Empfehlung 3.3.2 aus dem Kapitel 3.3 „Abdomen“.

Akut blutende Milzverletzungen mit KM-Austritt in der CT und Milzverletzungen, die mit Pseudoaneurysmen und AV-Shunts einhergehen, benötigen eine sofortige Embolisation. Dieses Vorgehen entspricht den Empfehlungen der US- und internationaler Gesellschaften [59, 60].

Eine prospektive und mehrere retrospektive Studien konnten zeigen, dass die Embolisation zu einer signifikant gesteigerten Milzerhaltungsrate führt [61, 62].

Hochgradige Verletzungen mit kompletter Devaskularisation oder „shattered spleen“ (American Association for the Surgery of Trauma Organ Injury Scale [OIS] Grad 5) sollten eher einer primären OP zugeführt werden. Hier wird auch auf Empfehlung 3.3.11 aus dem Kapitel 3.3 „Abdomen“ verwiesen.

Nicht blutende Milzverletzungen OIS Grad 1 – 4 können beobachtet und ggf. sekundär embolisiert werden. Arvieux et al haben in einer prospektiven randomisierten Multicenter-Studie an 140 hämodynamisch stabilen Patienten die primäre Embolisation von nicht blutenden Milzverletzungen OIS Grad 3 und 4 ohne Pseudoaneurysmen oder AV-Shunts mit einem konservativen Vorgehen und ggf. sekundärer Embolisation (Surveillance) verglichen. Dabei fanden sich keine signifikanten Unterschiede bzgl. der Milzerhaltungsrate (98% im Embolisationsarm versus 93% im Surveillancearm) als auch bzgl. der Mortalität und Komplikationsrate. Die Rate sekundärer Embolisationen im Verlauf lag in der Surveillancegruppe bei 29% im Vgl. zu 1,5% in der Embolisationsgruppe ($p < 0,001$). Die Splenektomie rate lag in der Surveillancegruppe bei 6% im Vgl. zu 0% in der Embolisationsgruppe ($P = 0,12$) [3].

Begründung des Empfehlungsgrades mit Darlegung der Abwägung von Nutzen und Schaden der Intervention

Der Empfehlungsgrad „GoR B“ ergibt sich aus der Mischung der überwiegend retrospektiven Datenanalysen, die zum Thema der Embolisationstherapie im Abdomen bei Blutungen der parenchymatösen Organe vorliegen. Wir verweisen exemplarisch auf die Literatur, die die Effektivität der endovaskulären Therapie bei traumatischen Blutungen der Leber [63], der Milz [64] und der Nieren [65] belegen konnte. Auf die Embolisationstherapie der Niere bei traumatischen renalen Gefäßverletzungen soll hier nicht eingegangen werden, aber es wird verwiesen auf das Kapitel „3.12 Urogenitaltrakt“, in dem die Ergebnisse der endovaskulären Therapie ausführlich dargestellt werden in Zusammenhang mit der Empfehlung 3.29. Hier sei nur auf einen aktuellen systematischen Review verwiesen, der 16 retrospektive Studien mit 412 Patienten zusammenfasste (2% Grad II, 23% Grad III, 55% Grad IV und 20% Grad V-Nierenverletzungen gemäß AAST). Es fand sich ein Erfolg der endovaskulären Therapie (Angioembolisation) bei 92% aller Grad III/IV- Verletzungen und bei 76% aller Grad V-Verletzungen [65].

Mit der multizentrischen französischen Studie von Arvieux et al. findet sich erstmals zum Thema der Angioembolisation der traumatischen Milzverletzung eine prospektiv- randomisierte multizentrische Studie, die den Anforderungen eines LoE 1b entspricht. Die Studie ist besonders wertvoll, da sie zeigt, dass selbst bei höhergradigen Milzverletzungen ein expektatives Verhalten unter Kontrolle („surveillance“) möglich ist und zu vergleichbaren Ergebnissen gegenüber einer frühen Embolisation führt.

Personengruppe, auf die die Empfehlung nicht zutrifft/Alternativen

Patienten mit multiplen abdominellen Verletzungen sollten eher einer offen chirurgischen Therapie mittels Laparotomie zugeführt werden. Diesbezüglich verweisen wir auf die Empfehlung 2.8.6 im Kapitel 2.8. „Abdomen (Schockraum)“ und der Empfehlung 3.3.2 aus dem Kapitel 3.3 „Abdomen“.

Bei postoperativen Rezidivblutungen ist eine sekundäres endovaskuläres Vorgehen möglich [63].

Therapie der Blutung bei Beckenverletzung

Hier wurde keine Empfehlung erarbeitet. Wir verweisen auf das Kapitel 2.9 „Becken“ und dort auf die in der Version 2022 modifizierte Empfehlung 2.9.5: „Bei einer persistierenden Blutung und hämodynamischer Instabilität sollte eine Blutungskontrolle mit den geeigneten Mitteln (Packing, ggf. endovaskulär, chirurgisch) erfolgen.“.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die widersprüchliche Datenlage zur Therapie der traumatisch bedingten Beckenblutung. Letztlich kommen alle therapeutischen Optionen (peritoneales Packing, endovaskuläre Embolisationstherapie, chirurgische Blutstillung und REBOA) in Frage. Die Embolisationstherapie sollte, falls sie am jeweiligen Zentrum zum Einsatz kommt, vorzugsweise nach erfolgter externer Fixierung der Beckenverletzung erfolgen[11, 18].

Die Blutungsdetektion erfolgt in aller Regel mit einer Computertomographie, idealerweise einer initialen Ganzkörper-Spiral-CT-Untersuchung, die neben der aktiven Blutung auch weitere Traumafolgen (ossäre Verletzungen, Luxationen, Weichteilschäden, Verletzungen pelviner Organe) darstellen kann [43].

Evidenztabelle (Kurzform)

Studien	Bias	Ergebnisse
1 Registerstudie (USA) Asmar 2021	unklares Risiko für Performance Bias	REBOA vs. peritoneales Packing (PP) vs. REBOA+PP: signifikant geringere Mortalität bei REBOA
1 Registerstudie (USA) Mikdad 2020	unklares Risiko für Performance Bias	REBOA vs. PP: signifikant höhere Krankenhausmortalität bei REBOA
1 Registerstudie (USA) Harfouche 2021	Risiko für Selektionsbias	REBOA vs. REBOA+PP vs. REBOA+AE vs. REBOA + externe Fixierung: signifikant geringere Mortalität nur bei REBOA + externe Fixierung
1 Registerstudie (USA) Chu 2016	Risiko für Selektionsbias	Angioembolisation vs. externe Fixierung vs. keine Intervention: signifikant höhere Mortalität bei Angioembolisation, aber Patienten schwerer verletzt
1 Registerstudie (international) Coccolini 2020	Risiko für Selektionsbias	partielle vs. totale Okklusion bei REBOA: signifikant geringere Mortalität bei partieller Okklusion REBOA Zone 1 vs. Zone 2 vs. Zone 3: keine signifikanten Mortalitätsunterschiede, kleine Population
1 Registerstudie (USA) Matsushima 2018	unklares Risiko für Selektionsbias	Zeit von Krankenhauseinweisung bis Angioembolisation: Krankenhausmortalität steigt signifikant mit zunehmendem Zeitintervall

Literatur

1. Abe T, Uchida M, Nagata I, Saitoh D, Tamiya N. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta versus aortic cross clamping among patients with critical trauma: a nationwide cohort study in Japan. *Critical Care (London, England)*. 2016;20(1):400.
2. Alarhayem AQ, Rasmussen TE, Farivar B, Lim S, Braverman M, Hardy D, et al. Timing of repair of blunt thoracic aortic injuries in the thoracic endovascular aortic repair era. *Journal of Vascular Surgery*. 2021;73(3):896-902.
3. Arvieux C, Frandon J, Tidadini F, Monnin-Bares V, Foote A, Dubuisson V, et al. Effect of Prophylactic Embolization on Patients With Blunt Trauma at High Risk of Splenectomy: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Surgery*. 2020;155(12):1102-11.
4. Asmar S, Bible L, Chehab M, Tang A, Khurram M, Douglas M, et al. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta vs Pre-Peritoneal Packing in Patients with Pelvic Fracture. *Journal of the American College of Surgeons*. 2021;232(1):17-26.e2.
5. Aso S, Matsui H, Fushimi K, Yasunaga H. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta or resuscitative thoracotomy with aortic clamping for noncompressible torso hemorrhage: A retrospective nationwide study. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2017;82(5):910-4.
6. Blitzer DN, Ottochian M, O'Connor JV, Feliciano DV, Morrison JJ, DuBose JJ, et al. Timing of intervention may influence outcomes in blunt injury to the carotid artery. *Journal of Vascular Surgery*. 2020;71(4):1323-32.e5.
7. Brenner M, Inaba K, Aiolfi A, DuBose J, Fabian T, Bee T, et al. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta and Resuscitative Thoracotomy in Select Patients with Hemorrhagic Shock: Early Results from the American Association for the Surgery of Trauma's Aortic Occlusion in Resuscitation for Trauma and Acute Care Surgery Registry. *Journal of the American College of Surgeons*. 2018;226(5):730-40.
8. Bukur M, Gorman E, DiMaggio C, Frangos S, Morrison JJ, Scalea TM, et al. Temporal Changes in REBOA Utilization Practices are Associated With Increased Survival: an Analysis of the AORTA Registry. *Shock*. 2021;55(1):24-32.
9. Calvo RY, Bansal V, Dunne CE, Badiie J, Sise CB, Sise MJ. A population-based analysis of outcomes after repair of thoracic aortic emergencies in trauma. *Journal of Surgical Research*. 2018;231:352-60.
10. Chehab M, Afaneh A, Bible L, Castanon L, Hanna K, Ditillo M, et al. Angioembolization in intra-abdominal solid organ injury: Does delay in angioembolization affect outcomes? *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;89(4):723-9.
11. Chu CH, Tennakoon L, Maggio PM, Weiser TG, Spain DA, Staudenmayer KL. Trends in the management of pelvic fractures, 2008-2010. *Journal of Surgical Research*. 2016;202(2):335-40.
12. Coccolini F, Ceresoli M, McGreevy DT, Sadeghi M, Pirouzram A, Toivola A, et al. Aortic balloon occlusion (REBOA) in pelvic ring injuries: preliminary results of the ABO Trauma Registry. *Updates in Surgery*. 2020;72(2):527-36.
13. Dayama A, Rivera A, Olorunfemi O, Mahmoud A, Fontecha CA, McNelis J. Open and Endovascular Abdominal Aortic Injury Repair Outcomes in Polytrauma Patients. *Annals of Vascular Surgery*. 2017;42:156-61.
14. DuBose JJ, Scalea TM, Brenner M, Skiada D, Inaba K, Cannon J, et al. The AAST prospective Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery (AORTA) registry: Data on contemporary utilization and outcomes of aortic occlusion and resuscitative balloon occlusion of the aorta (REBOA). *The journal of trauma and acute care surgery*. 2016;81(3):409-19.
15. Elkbuli A, Dowd B, Spano PJ, 2nd, Smith Z, Flores R, McKenney M, et al. Thoracic Endovascular Aortic Repair Versus Open Repair: Analysis of the National Trauma Data Bank. *Journal of Surgical Research*. 2020;245:179-82.
16. Gombert A, Barbati ME, Storck M, Kotelis D, Keschenau P, Pape HC, et al. Treatment of blunt thoracic aortic injury in Germany-Assessment of the TraumaRegister DGU R. *PLoS ONE [Electronic Resource]*. 2017;12(3):e0171837.

17. Grigorian A, Spencer D, Donayre C, Nahmias J, Schubl S, Gabriel V, et al. National Trends of Thoracic Endovascular Aortic Repair Versus Open Repair in Blunt Thoracic Aortic Injury. *Annals of Vascular Surgery*. 2018;52:72-8.
18. Harfouche M, Inaba K, Cannon J, Seamon M, Moore E, Scalea T, et al. Patterns and outcomes of zone 3 REBOA use in the management of severe pelvic fractures: Results from the AAST Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery database. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2021;90(4):659-65.
19. Henry R, Matsushima K, Henry RN, Magee GA, Foran CP, DuBose J, et al. Validation of a Novel Clinical Criteria to Predict Candidacy for Aortic Occlusion: An Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery Study. *American Surgeon*. 2020;86(10):1418-23.
20. Inoue J, Shiraishi A, Yoshiyuki A, Haruta K, Matsui H, Otomo Y. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta might be dangerous in patients with severe torso trauma: A propensity score analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2016;80(4):559-66; discussion 66-7.
21. Johnson NL, Wade CE, Fox EE, Meyer DE, Fox CJ, Moore EE, et al. Determination of optimal deployment strategy for REBOA in patients with non-compressible hemorrhage below the diaphragm. *Trauma Surgery & Acute Care Open*. 2021;6(1):e000660.
22. Joseph B, Zeeshan M, Sakran JV, Hamidi M, Kulvatunyou N, Khan M, et al. Nationwide Analysis of Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta in Civilian Trauma. *JAMA Surgery*. 2019;154(6):500-8.
23. Kondo Y, Matsui H, Yasunaga H. Characteristics, treatments, and outcomes among patients with abdominal aortic injury in Japan: a nationwide cohort study. *World Journal Of Emergency Surgery*. 2019;14:43.
24. Marcaccio CL, Dumas RP, Huang Y, Yang W, Wang GJ, Holena DN. Delayed endovascular aortic repair is associated with reduced in-hospital mortality in patients with blunt thoracic aortic injury. *Journal of Vascular Surgery*. 2018;68(1):64-73.
25. Matsumoto S, Akashi T, Hayashida K, Sekine K, Orita T, Funabiki T, et al. Transcatheter Arterial Embolization in the Treatment of Maxillofacial Fractures With Life-Threatening Hemorrhage. *Annals of Plastic Surgery*. 2018;80(6):664-8.
26. Matsumoto S, Hayashida K, Akashi T, Jung K, Sekine K, Funabiki T, et al. Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA) for Severe Torso Trauma in Japan: A Descriptive Study. *World Journal of Surgery*. 2019;43(7):1700-7.
27. Matsumura Y, Matsumoto J, Kondo H, Idoguchi K, Funabiki T, investigators D-I. Partial occlusion, conversion from thoracotomy, undelayed but shorter occlusion: resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta strategy in Japan. *European Journal of Emergency Medicine*. 2018;25(5):348-54.
28. Matsumura Y, Matsumoto J, Kondo H, Idoguchi K, Ishida T, Okada Y, et al. Early arterial access for resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta is related to survival outcome in trauma. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;85(3):507-11.
29. Matsushima K, Piccinini A, Schellenberg M, Cheng V, Heindel P, Strumwasser A, et al. Effect of door-to-angioembolization time on mortality in pelvic fracture: Every hour of delay counts. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2018;84(5):685-92.
30. Mikdad S, van Erp IAM, Moheb ME, Fawley J, Saillant N, King DR, et al. Pre-peritoneal pelvic packing for early hemorrhage control reduces mortality compared to resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in severe blunt pelvic trauma patients: A nationwide analysis. *Injury*. 2020;51(8):1834-9.
31. Norii T, Crandall C, Terasaka Y. Survival of severe blunt trauma patients treated with resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta compared with propensity score-adjusted untreated patients. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;78(4):721-8.
32. Ordonez CA, Rodriguez F, Orlas CP, Parra MW, Caicedo Y, Guzman M, et al. The critical threshold value of systolic blood pressure for aortic occlusion in trauma patients in profound hemorrhagic shock. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020;89(6):1107-13.

33. Sadeghi M, Nilsson KF, Larzon T, Pirouzram A, Toivola A, Skoog P, et al. The use of aortic balloon occlusion in traumatic shock: first report from the ABO trauma registry. *European Journal of Trauma & Emergency Surgery*. 2018;44(4):491-501.
34. Scalea TM, Feliciano DV, DuBose JJ, Ottochian M, O'Connor JV, Morrison JJ. Blunt Thoracic Aortic Injury: Endovascular Repair Is Now the Standard. *Journal of the American College of Surgeons*. 2019;228(4):605-10.
35. Sheehan BM, Grigorian A, de Virgilio C, Fujitani RM, Kabutey NK, Lekawa M, et al. Predictors of blunt abdominal aortic injury in trauma patients and mortality analysis. *Journal of Vascular Surgery*. 2020;71(6):1858-66.
36. Tagami T, Matsui H, Horiguchi H, Fushimi K, Yasunaga H. Thoracic aortic injury in Japan-- nationwide retrospective cohort study. *Circulation Journal*. 2015;79(1):55-60.
37. Teeter WA, Bradley MJ, Romagnoli A, Hu P, Li Y, Stein DM, et al. Treatment Effect or Effective Treatment? Cardiac Compression Fraction and End-tidal Carbon Dioxide Are Higher in Patients Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta Compared with Resuscitative Thoracotomy and Open-Chest Cardiac Massage. *American Surgeon*. 2018;84(10):1691-5.
38. Vella MA, Dumas RP, DuBose J, Morrison J, Scalea T, Moore L, et al. Intraoperative REBOA: an analysis of the American Association for the Surgery of Trauma AORTA registry. *Trauma Surgery & Acute Care Open*. 2019;4(1):e000340.
39. Yamamoto R, Cestero RF, Muir MT, Jenkins DH, Eastridge BJ, Funabiki T, et al. Delays in Surgical Intervention and Temporary Hemostasis Using Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the aorta (REBOA): Influence of Time to Operating Room on Mortality. *American Journal of Surgery*. 2020;220(6):1485-91.
40. Yamamoto R, Cestero RF, Suzuki M, Funabiki T, Sasaki J. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) is associated with improved survival in severely injured patients: A propensity score matching analysis. *American Journal of Surgery*. 2019;218(6):1162-8.
41. Yamamoto R, Suzuki M, Funabiki T, Nishida Y, Maeshima K, Sasaki J. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta and traumatic out-of-hospital cardiac arrest: A nationwide study. *J Am Coll Emerg Physicians Open*. 2020;1(4):624-32.
42. Zambetti BR, Huang DD, Lewis RH, Jr., Fischer PE, Croce MA, Magnotti LJ. Use of Thoracic Endovascular Aortic Repair in Patients with Concomitant Blunt Aortic and Traumatic Brain Injury. *Journal of the American College of Surgeons*. 2021;232(4):416-22.
43. Moon SN, Pyo JS, Kang WS. Accuracy of Contrast Extravasation on Computed Tomography for Diagnosing Severe Pelvic Hemorrhage in Pelvic Trauma Patients: A Meta-Analysis. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(1).
44. Langdorf MI, Medak AJ, Hendey GW, Nishijima DK, Mower WR, Raja AS, et al. Prevalence and Clinical Import of Thoracic Injury Identified by Chest Computed Tomography but Not Chest Radiography in Blunt Trauma: Multicenter Prospective Cohort Study. *Annals of Emergency Medicine*. 2015;66(6):589-600.
45. Baghdanian AH, Armetta AS, Baghdanian AA, LeBedis CA, Anderson SW, Soto JA. CT of Major Vascular Injury in Blunt Abdominopelvic Trauma. *Radiographics*. 2016;36(3):872-90.
46. Foster BR, Anderson SW, Uyeda JW, Brooks JG, Soto JA. Integration of 64-detector lower extremity CT angiography into whole-body trauma imaging: feasibility and early experience. *Radiology*. 2011;261(3):787-95.
47. Wada D, Nakamori Y, Yamakawa K, Yoshikawa Y, Kiguchi T, Tasaki O, et al. Impact on survival of whole-body computed tomography before emergency bleeding control in patients with severe blunt trauma. *Crit Care*. 2013;17(4):R178.
48. Treskes K, Saltzherr TP, Edwards MJR, Beuker BJA, Den Hartog D, Hohmann J, et al. Emergency Bleeding Control Interventions After Immediate Total-Body CT Scans in Trauma Patients. *World J Surg*. 2019;43(2):490-6.
49. Hilbert-Carius P, Hauer T, Josse F, Hossfeld B, Kulla M, Holsträter T, et al. REBOA – Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta. *NOTARZT*. 2020;36(01):33-45.

50. Knapp J, Bernhard M, Haltmeier T, Bieler D, Hossfeld B, Kulla M. [Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta : Option for incompressible trunk bleeding?]. *Anaesthesist*. 2018;67(4):280-92.
51. Kulla M, Popp E, Knapp J. Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: an option for noncompressible torso hemorrhage? *Curr Opin Anaesthesiol*. 2019;32(2):213-26.
52. Wortmann M, Engelhart M, Elias K, Popp E, Zerwes S, Hyhlik-Dürr A. „Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta“ (REBOA). *Der Chirurg*. 2020;91(11):934-42.
53. Reuben BC, Whitten MG, Sarfati M, Kraiss LW. Increasing use of endovascular therapy in acute arterial injuries: analysis of the National Trauma Data Bank. *J Vasc Surg*. 2007;46(6):1222-6.
54. Weaver JJ, Chick JFB, Monroe EJ, Johnson GE. Life and Limb: Current Concepts in Endovascular Treatment of Extremity Trauma. *Semin Intervent Radiol*. 2021;38(1):64-74.
55. Boggs HK, Tomihama RT, Abou-Zamzam AM, Jr., Mukherjee K, Turay D, Teruya TH, et al. Analysis of Traumatic Axillo-Subclavian Vessel Injuries: Endovascular Management is a Viable Option to Open Surgical Reconstruction. *Ann Vasc Surg*. 2022;79:25-30.
56. Ganapathy A, Khouqeer AF, Todd SR, Mills JL, Gilani R. Endovascular management for peripheral arterial trauma: The new norm? *Injury*. 2017;48(5):1025-30.
57. Khurana A, Quencer K, Saini A, Sill A, Albadawi H, Jamal L, et al. Endovascular interventions in the management of acute extremity trauma: a narrative review. *Annals of translational medicine*. 2021;9(14):1197.
58. Soto JA, Anderson SW. Multidetector CT of blunt abdominal trauma. *Radiology*. 2012;265(3):678-93.
59. Stassen NA, Bhullar I, Cheng JD, Crandall ML, Friese RS, Guillaumondegui OD, et al. Selective nonoperative management of blunt splenic injury: an Eastern Association for the Surgery of Trauma practice management guideline. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2012;73(5 Suppl 4):S294-300.
60. Coccolini F, Montori G, Catena F, Kluger Y, Biffi W, Moore EE, et al. Splenic trauma: WSES classification and guidelines for adult and pediatric patients. *World J Emerg Surg*. 2017;12:40.
61. Gaarder C, Dormagen JB, Eken T, Skaga NO, Klow NE, Pillgram-Larsen J, et al. Nonoperative management of splenic injuries: improved results with angioembolization. *J Trauma*. 2006;61(1):192-8.
62. Banerjee A, Duane TM, Wilson SP, Haney S, O'Neill PJ, Evans HL, et al. Trauma center variation in splenic artery embolization and spleen salvage: a multicenter analysis. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013;75(1):69-74; discussion -5.
63. Letoublon C, Amariutei A, Taton N, Lacaze L, Abba J, Risse O, et al. Management of blunt hepatic trauma. *J Visc Surg*. 2016;153(4 Suppl):33-43.
64. Capecci LM, Jeremitsky E, Smith RS, Philp F. Trauma centers with higher rates of angiography have a lesser incidence of splenectomy in the management of blunt splenic injury. *Surgery*. 2015;158(4):1020-4; discussion 4-6.
65. Liguori G, Rebez G, Larcher A, Rizzo M, Cai T, Trombetta C, et al. The role of angioembolization in the management of blunt renal injuries: a systematic review. *BMC urology*. 2021;21(1):1-8.

2.7 Thorax

C. Schreyer*, S. Schulz-Drost, M. Struck, T. Berk, H. Trentzsch, J. Neudecker, B. Thiel, J. Breuing#, B. Prediger#, C. Waydhas

Welchen Stellenwert hat die Anamnese?

2.7.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine genaue Erhebung der (Fremd-)Anamnese sollte erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Hochrasanztraumen und Verkehrsunfälle mit Lateralaufprall sollten als Hinweise auf ein Thoraxtrauma/eine Aortenruptur gedeutet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Auch wenn es nur wenige Studien zur Erhebung der Anamnese in Hinblick auf das Thoraxtrauma gibt, so ist sie doch unabdingbare Voraussetzung für die Einschätzung der Verletzungsschwere und des Verletzungsmusters und dient der Feststellung, ob überhaupt ein Unfall vorgelegen hat. Wesentlich in der Erhebung der Anamnese ist die genaue Erfassung des Unfallherganges. Hierbei sind bei Verkehrsunfällen mit Personenkraftwagen insbesondere die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beim Aufprall und die Richtung der einwirkenden Kraft zu erfragen. So bestehen bei einem seitlichen, verglichen mit einem frontalen Aufprall, deutliche Unterschiede hinsichtlich des Auftretens, des Verletzungsmusters sowie der Schwere des Thoraxtraumas und auch der Gesamtverletzungsschwere [1].

Horton et al. [2] konnten für die Aortenruptur bei einem Seitenaufprall des Fahrzeugs und/oder bei einem $\Delta V \geq 30$ km/h eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von 34% aufzeigen. In einer weiteren Studie [3] wurden Hochgeschwindigkeitsverletzungen mit Geschwindigkeiten von >100 km/h als verdächtig für eine Aortenruptur eingestuft. Richter et al. [4] ermittelten ebenfalls beim Seitenaufprall ein erhöhtes Risiko für eine Thoraxverletzung. ΔV korrelierte in dieser Studie mit dem AIS-Thorax, ISS und dem klinischen Verlauf. In der Untersuchung von Ruchholtz et al. [5] wurde bei PKW-Unfällen mit Lateralaufprall in 8 von 10 Fällen ein Thoraxtrauma diagnostiziert.

In einer Untersuchung an 286 PKW-Insassen mit einem $ISS \geq 16$ war die Wahrscheinlichkeit für eine Aortenverletzung nach einem Seitenaufprall doppelt so hoch wie nach einem Frontalaufprall [6]. Dabei scheinen insbesondere ein Aufprall im Bereich der oberen Thoraxapertur und die Frakturen der Rippen 1–4 mit einer erhöhten Inzidenz von Aortenverletzungen einherzugehen [7].

Auch Kinder haben als PKW-Insassen bei einem Seitenaufprall, verglichen mit einem frontalen Aufprall, ein 5-fach höheres Risiko für ein schweres Thoraxtrauma (AIS ≥ 3) und eine signifikant höhere Gesamtverletzungsschwere [8].

Der Einfluss eines Sicherheitsgurtes hinsichtlich des Vorliegens einer thorakalen Verletzung erscheint ungewiss. So konnten Porter und Zaho [9] in einer retrospektiven Untersuchung an 1124 Patienten mit relativ geringer Gesamtverletzungsschwere (ISS 11,6) zwar ein gehäuftes Auftreten von Sternumfrakturen (4% vs. 0,7%) bei angeschnallten Patienten nachweisen, der Anteil der Patienten mit einem Thoraxtrauma war jedoch in beiden Gruppen identisch (21,8% vs. 19,1%).

Welchen Stellenwert besitzen Befunde der körperlichen Untersuchung?

2.7.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Eine klinische Untersuchung des Thorax soll durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Eine Auskultation soll bei der körperlichen Untersuchung erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Auch wenn es bis auf die Auskultation kaum wissenschaftliche Untersuchungen zur Bedeutung und zum notwendigen Ausmaß der körperlichen Untersuchung gibt, so stellt sie doch die unabdingbare Voraussetzung für das erste Erkennen von Symptomen und möglichen Diagnosen dar. Die oben genannten Untersuchungen dienen dem Erkennen von relevanten, lebensbedrohlichen oder potentiell tödlichen Störungen oder Verletzungen, welche einer sofortigen und spezifischen Therapie bedürfen. Auch bei bereits prähospital durchgeführter körperlicher Untersuchung und bei bereits liegender Thoraxdrainage ist die körperliche Untersuchung im Schockraum erneut durchzuführen, da eine Änderung der Befundkonstellation eingetreten sein könnte.

Die Erstuntersuchung und körperliche Basisuntersuchung sollten folgende Ziele adressieren [10]:

- Überprüfung und Sicherung des Atemweges
- Atemfrequenz / Dyspnoe
- Inspektion des Thorax (Haut- und Weichteilverletzungen, Symmetrie des Thorax, Symmetrie der Atemexkursion, paradoxe Atmung, Einflusstauung, Gurtmarken)
- Palpation (Hautemphysem, Krepitation, Druckschmerzpunkte)
- Auskultation (Vorhandensein von Atemgeräuschen und Seitengleichheit)
- Schmerzangaben

Folgende unmittelbar lebensbedrohliche Verletzungen sollen im Rahmen der Erstuntersuchung abgeklärt werden [11]

- Atemwegsobstruktion
- Spannungspneumothorax

- offener Pneumothorax
- instabiler Thorax/Lungenkontusion
- massiver Hämatothorax
- Herzbeuteltamponade

Der Auskultationsbefund ist bei der Diagnosestellung des Thoraxtraumas der führende Befund. Des Weiteren können ein Hautemphysem, tastbare Instabilitäten, Krepitationen, Schmerzen, Dyspnoe und erhöhte Beatmungsdrücke Hinweise auf ein Thoraxtrauma sein.

Bokahri et al. [12] untersuchten in einer prospektiven Studie 676 Patienten mit stumpfem oder penetrierendem Thoraxtrauma hinsichtlich klinischer Zeichen und Symptome des Hämatothorax. Es wiesen nur 7 von 523 Patienten mit stumpfem Trauma einen Hämatothorax auf. In dieser Gruppe weist die Auskultation eine Sensitivität und einen negativen prädiktiven Wert von 100% auf. Die Spezifität betrug 99,8% und der positive prädiktive Wert war 87,5%. Bei penetrierenden Verletzungen beträgt die Sensitivität der Auskultation 50%, die Spezifität und der positive prädiktive Wert sind 100% und der negative prädiktive Wert 91,4%. Bei beiden Verletzungsmechanismen weisen Schmerzen und Tachypnoe nur unzureichend auf das Vorliegen eines Hämatothorax hin.

Auch Chen et al. [13] fanden in einer retrospektiven Untersuchung bei 134 Patienten mit penetrierendem Trauma für die Auskultation nur eine Sensitivität von 58%, eine Spezifität und einen positiven prädiktiven Wert von 98% sowie einen negativen prädiktiven Wert von 61%. In einer prospektiven Untersuchung an 51 Patienten mit penetrierendem Trauma wies die Kombination aus Perkussion und Auskultation eine Sensitivität von 96% und Spezifität von 93% sowie einen positiven prädiktiven Wert von 83% auf [14].

Diese Untersuchungen zeigen, dass beim penetrierenden Trauma mit einem abgeschwächten Atemgeräusch in der Regel ein Pneumothorax zugrunde liegt und die Anlage einer Thoraxdrainage vor der Anfertigung eines Röntgenbildes erfolgen sollte.

Auf der Suche nach einer klinischen Entscheidungshilfe zur Identifizierung von Kindern mit Thoraxtrauma untersuchten Holmes et al. [15] 986 Patienten, von denen 80 ein Thoraxtrauma aufwiesen. Dabei ergab sich für einen positiven Auskultationsbefund ein Odds Ratio von 8,6, für eine auffällige körperliche Untersuchung (Rötung, Hautläsionen, Krepitation, Druckschmerzen) ein Odds Ratio von 3,6 und für eine erhöhte Atemfrequenz ein Odds Ratio von 2,9.

Welchen Stellenwert bzw. welche Indikation hat die apparative Diagnostik (Röntgen-Thorax, Ultraschall, CT, Angiografie, EKG, Laboruntersuchungen)?

2.7.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Wenn ein Thoraxtrauma klinisch nicht ausgeschlossen werden kann und keine CT-Bildgebung indiziert ist, sollte eine sonografische Bildgebung (eFAST) und ein Röntgenthorax in der Schockraumphase erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	Zusätzliche Evidenz aus Aktualisierung 2022: [16] Ojaghi Haghighi 2014: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine Spiral-CT des Thorax mit Kontrastmittel sollte bei jedem Patienten mit klinischen bzw. anamnestischen Hinweisen auf ein schweres Thoraxtrauma durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Wie unter Punkt 1 und 2 angeführt, geben sowohl der Unfallmechanismus als auch die Befunde der körperlichen Untersuchung wichtige Hinweise auf das Vorliegen oder Fehlen eines Thoraxtraumas. Daher kann auf eine Röntgenaufnahme des Thorax verzichtet werden, wenn ohnehin unverzüglich ein Trauma-Scan mittels CT durchgeführt wird oder wenn hinsichtlich des Unfallhergangs ein Thoraxtrauma ausgeschlossen werden kann und bei der körperlichen Untersuchung keine Befunde erhoben werden, welche eine intrathorakale Verletzung wahrscheinlich machen.

Umgekehrt sollte jedoch bei allen Patienten mit Verdacht auf ein Thoraxtrauma eine bildgebende Diagnostik mittels Sonografie (eFAST / Extended focused Assessment with Sonography for Trauma) und Röntgenthorax erfolgen. Beide Untersuchungen ergänzen sich und können im Schockraum ohne Einschränkung ggf. erforderlicher lebenserhaltender Maßnahmen zügig durchgeführt werden. Für die Thoraxsonografie im Schockraum bestätigte in den sich letzten Jahren regelhaft eine Sensitivität und Spezifität von >0,9 für den Nachweis Trauma bedingter Thoraxverletzungen (Pneumothorax, Hämatothorax etc.) [16, 17, 18].

Das initial angefertigte Röntgenbild kann die Diagnose des Pneumothorax und/oder des Hämatothorax, von Rippenfrakturen, tracheobronchialer Verletzungen, des Pneumomediastinums, des Mediastinalhämatoms und der Lungenkontusion ermöglichen [17].

Die Sonografie zeigt hinsichtlich der Diagnosen Pneumothorax und Hämatothorax eine hohe Genauigkeit. In einer prospektiven Untersuchung an 27 Patienten wurden Röntgen-Thorax-Aufnahmen, Ultraschalluntersuchungen und die CT hinsichtlich der Genauigkeit der Diagnosestellung eines Pneumothorax gegenübergestellt. Die Ultraschalluntersuchung des Thorax zeigte dabei eine Sensitivität und einen negativen prädiktiven Wert von 100% und eine Spezifität von 94% [18]. In einer weiteren Untersuchung zeigte die Ultraschalluntersuchung, verglichen mit der Röntgenuntersuchung, für die Diagnose des Pneumothorax eine Sensitivität und einen positiven prädiktiven Wert von 95% und einen negativen prädiktiven Wert von 100% [19]. Emphysebullae, pleurale Adhäsionen oder ein ausgedehntes subkutanes Emphysem können die Ergebnisse der Sonografie jedoch verfälschen.

Wie eine retrospektive Untersuchung an 240 Patienten zeigte, ist die Ultraschalluntersuchung in der Diagnosestellung des Hämatothorax der Röntgenaufnahme ebenbürtig. Bei 26 dieser Patienten wurde der Hämatothorax entweder durch Thoraxdrainage oder durch Thorax-CT gesichert. Ultraschall und Thoraxröntgen zeigten je eine Sensitivität von 96%, eine Spezifität und einen negativen prädiktiven Wert von 100% sowie einen positiven prädiktiven Wert von 99,5% [20]. In einer retrospektiven Untersuchung an 37 Patienten mit in einer CT gesicherter Lungenkontusion zeigte die Ultraschalluntersuchung eine Sensitivität von 94,6%, eine Spezifität von 96,1% und einen positiven und negativen prädiktiven Wert von 94,6% bzw. 96,1% [21].

Die Ultraschalluntersuchung des Thorax wies in einer prospektiven Untersuchung an 261 Patienten mit penetrierenden Verletzungen hinsichtlich des Nachweises eines Hämoperikardes eine Sensitivität von 100% und Spezifität von 96,9% auf [22]. Falsch negative Ultraschallergebnisse können sich dabei jedoch insbesondere bei Patienten mit größeren Hämatothoraces ergeben, welche kleinere

Hämatomansammlungen im Perikard möglicherweise überdecken [23]. Daher betrug die Sensitivität des Ultraschalls in dieser Untersuchung lediglich 56%.

Durch eine Spiral-CT-Untersuchung des Thorax mit Kontrastmittel sind Aortenverletzungen bei Patienten ohne nachgewiesenes mediastinales Hämatom ausgeschlossen und eine Angiografie ist daher nicht erforderlich. Konventionelle CT-Untersuchungen sind aufgrund einer unzureichenden Sensitivität für den Ausschluss einer Aortenverletzung weniger geeignet [24-26].

Die Aortografie ist lediglich bei Patienten mit nicht beurteilbarem CT oder bei einem periaortalen Hämatom ohne direkte Zeichen einer Aortenverletzung sinnvoll. Es herrscht heute allgemeiner Konsens, dass die Spiral-CT mit Kontrastmittel dafür geeignet ist, eine Aortenruptur auszuschließen [27-29]. Patienten ohne nachweisbares mediastinales Hämatom haben mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Aortenverletzung. Dabei sollte jedoch eine notwendige Schädel-CT vor der CT-Untersuchung des Thorax durchgeführt werden, da die Kontrastmittelapplikation die Schädel-Hirn-Trauma-Diagnostik erschwert.

Wie vergleichende Untersuchungen zur Angiografie gezeigt haben, weist eine CT ohne Hinweis auf ein mediastinales Hämatom einen negativen prädiktiven Wert von 100% für die Verletzung großer intrathorakaler Gefäße auf [30]. Jedoch liegt die Spezifität in der Untersuchung von Parker et al. [31] aufgrund von 14 falsch positiven Befunden bei nur 89%. Es wird daher empfohlen, bei Patienten mit einem im CT nachgewiesenem paraaortalem Hämatom oder Blutansammlungen um Äste der Aorta sowie bei Konturunregelmäßigkeiten der Aorta eine Angiografie durchzuführen. Eine negative Kontrastmittel-CT schließt die Aortenruptur definitiv aus [25, 32, 33].

Downing et al. [34] konnten in einer Analyse von 54 Patienten mit operativ nachgewiesenen Aortenrupturen für die Spiral-CT eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von 96% zeigen. Mirvis et al. [35] konnten prospektiv bei 1104 Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma in 118 Fällen eine mediastinale Blutung nachweisen, wovon 25 Patienten eine Aortenruptur aufwiesen. Die Spiral-CT zeigte für die Aortenruptur eine Sensitivität und einen negativen prädiktiven Wert von 100%, eine Spezifität von 99,7% und einen positiven prädiktiven Wert von 89%.

Im Gegensatz zu den oben angeführten prospektiven Studien fanden Collier et al. [36] in einer retrospektiven Studie an 242 Patienten lediglich eine Sensitivität von 90% und einen negativen prädiktiven Wert von 99%, denn bei einem Patienten mit normalem CT-Befund, welcher an den Folgen eines Schädel-Hirn-Traumas verstarb, wurde im Rahmen der Autopsie eine Aortenverletzung festgestellt. In einer weiteren retrospektiven Studie konnte bei 72 Patienten mit einem im CT nachgewiesenem intrathorakalem Hämatom, aber ohne Nachweis einer direkten Aorten- oder anderen intrathorakalen Gefäßverletzung im Angiogramm in keinem Fall eine Aortenläsion nachgewiesen werden [37].

Die transösophageale Sonografie (TEE) ist ein sensitiver Screening-Test [38-40], jedoch wurde vielfach am Anschluss daran zusätzlich eine Angiografie durchgeführt [41, 42]. Die TEE benötigt einen erfahrenen Untersucher [43], ist aber in der Regel ebenso rasch verfügbar wie eine CT oder eine Angiografie. Der Nutzen der TEE mag in der Abbildung kleiner Intimaläsionen liegen [38], welche in der Angiografie oder in der Spiral-CT eventuell nicht gesehen werden. In der TEE können jedoch die aufsteigende Aorta und die aortalen Äste nicht gut abgebildet werden und entziehen sich damit der Diagnostik [44]. Bisher liegt lediglich eine prospektive Untersuchung vor, in der die Spiral-CT mit der TEE in Hinblick auf die Diagnose der Aortenverletzung verglichen wurde. CT und TEE wiesen eine Sensitivität von 73 bzw. 93% und einen negativen prädiktiven Wert von 95% auf.

Zur detaillierten Diagnostik des thorakalen Verletzungsmusters ist die Computertomografie mittlerweile der Goldstandard, da Röntgen Thorax und Sonografie Verletzungsdetails oft nicht aufdecken können.

In einer prospektiven Untersuchung an 100 Patienten konnte nachgewiesen werden, dass durch eine Röntgen-Thorax-Untersuchung die wichtigsten Thoraxverletzungen nachgewiesen werden können. Die Sensitivität der im Stehen angefertigten Aufnahmen betrug 78,7%, die der Liegendaufnahmen 58,3% [45]. McLellan et al. konnten an einer Serie von 37 Patienten, welche innerhalb von 24 Stunden nach Aufnahme verstarben, durch eine Autopsie nachweisen, dass in 11 Fällen durch die Röntgen-Thorax-Aufnahme wichtige Verletzungen nicht nachgewiesen werden konnten. Darunter fanden sich in 11 Fällen Rippenserienfrakturen, 3 Sternumfrakturen, 2 Zwerchfellrupturen und 1 Intimaläsion der Aorta [46].

Die Röntgen-Thorax-Aufnahme bietet z.B. für die Indikationsstellung einer Thoraxdrainage eine ausreichende Genauigkeit. So konnten Peytel et al. [47] in einer prospektiven Untersuchung an 400 polytraumatisierten Patienten zeigen, dass die auf den Röntgenbefunden basierende Anlage von Thoraxdrainagen (n=77) in allen Fällen korrekt war.

Zahlreiche Studien haben jedoch gezeigt, dass intrathorakale Verletzungen durch die CT-Untersuchung signifikant häufiger aufgedeckt werden können als durch die alleinige Röntgenuntersuchung des Thorax. Es zeigt sich insbesondere eine deutliche Überlegenheit hinsichtlich des Nachweises von Pneumothoraces und Hämatothoraces, der Lungenkontusion sowie von Aortenverletzungen. Dabei sollte der Spiral-CT mit intravenöser (i.v.) Kontrastmittelapplikation der Vorzug gegeben werden [48]. Die Verwendung von Mehrschicht-Spiral-CTs haben die Untersuchungszeit einer Ganzkörperuntersuchung entscheidend gesenkt und erste diagnostische Informationen liegen bereits nach wenigen Minuten vor [49]. Hilfreich in der Entscheidung für oder gegen eine Bildgebung können die NEXUS Kriterien sein [50].

Trupka et al. [51] konnten an einer Serie von 103 schwer verletzten Patienten im Vergleich zur Röntgenuntersuchung bei 65% der Patienten zusätzliche Informationen über das zugrunde liegende Thoraxtrauma gewinnen (Lungenkontusion n=33, Pneumothorax n=34, Hämatothorax n=21). Bei 63% dieser Patienten erfolgten aus der Zusatzinformation direkte therapeutische Konsequenzen, welche in der Mehrzahl der Fälle in der Neuanlage bzw. Korrektur von Thoraxdrainagen bestanden.

Bei Patienten mit relevanten Traumen (Verkehrsunfälle mit Aufprallgeschwindigkeit >15km/h, Sturz aus einer Höhe von >1,5m) konnten Exadaktylos et al. [52] bei 25 von 93 Patienten im konventionellen Röntgenbild keine thorakalen Verletzungen nachweisen. Die CT zeigte jedoch bei 13 dieser 25 Patienten teils erhebliche Thoraxverletzungen, darunter zwei Aortenlazerationen. Demetriades et al. [53] führten in einer prospektiven Untersuchung an 112 Patienten mit Dezelerationstraumen eine Spiral-CT-Untersuchung des Thorax durch, wobei sich bei neun Patienten die Diagnose einer Aortenruptur ergab. Vier dieser Patienten wiesen ein normales Thoraxröntgenbild auf. Die Aortenruptur konnte durch die CT bei acht Patienten gesichert werden. Bei einem Patienten mit einer Verletzung der Arteria (A.) brachiocephalica zeigte sich in der CT ein lokales Hämatom, das Gefäß war jedoch auf den CT-Schnitten nicht mehr abgebildet. Auch bei Patienten ohne klinische Zeichen eines Thoraxtraumas und mit negativem Röntgenbefund konnten in der CT bei 39% der Patienten thorakale Verletzungen gefunden werden, welche in 5% der Fälle zu einer Therapieänderung führten [54].

Blostein et al. [55] kommen zu dem Schluss, dass eine Routine-CT beim stumpfen Thoraxtrauma nicht generell empfehlenswert ist, da von 40 prospektiv untersuchten Patienten mit definierten Thoraxverletzungen bei sechs Patienten eine Therapieänderung (5x Thoraxdrainagen, 1x Aortografie mit negativem Ergebnis) erfolgte. Von den Autoren wird aber auch angegeben, dass sich bei Patienten, welche einer Intubation und Beatmung bedürfen, in der CT Befunde ergeben, die auf dem

konventionellen Röntgenbild nicht sichtbar sind. Bei Patienten mit einem Horowitz-Index ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) <300 kann die CT helfen, das Ausmaß der Lungenkontusion abzuschätzen und Risikopatienten hinsichtlich des Lungenversagens zu identifizieren. Ferner können Patienten identifiziert werden, bei welchen ein inkomplett entlasteter Hämato- und/oder Pneumothorax zu einer weiteren Dekompensation führen könnte. In einer retrospektiven Studie mit 45 Kindern [56] mit 1. pathologischem Röntgenbefund ($n=27$), 2. auffälligem körperlichem Untersuchungsbefund ($n=8$) und 3. großer Gewalteinwirkung auf den Brustkorb ($n=33$) wurden in der CT bei 40% zusätzliche Verletzungen gefunden, welche in 18% der Fälle zu einer Änderung der Therapie führten.

Obwohl in der neueren Literatur die zusätzliche diagnostische Mehrinformation des Thorax-CTs beim stumpfen Thoraxtrauma allgemein akzeptiert wird [57], wird der Nutzen hinsichtlich des Einflusses auf das klinische Outcome kontrovers diskutiert. In einer prospektiven Studie von Guerrero-Lopez et al. [58] erwies sich die Thorax-CT sensitiver im Nachweis des Hämato-/Pneumothorax, der Lungenkontusion, von Wirbelfrakturen und von Thoraxdrainagenfehlagen und führte in 29% der Fälle zu Therapieveränderungen. In der multivariaten Analyse konnte kein therapeutischer Zusammenhang zwischen der CT und der Beatmungsdauer, dem Intensivaufenthalt oder der Mortalität festgestellt werden. Die Autoren folgern daraus, dass eine Thorax-CT nur bei einem Verdacht auf schwere Verletzungen durchgeführt werden sollte, welche durch die CT bestätigt oder ausgeschlossen werden können.

Einige Untersuchungen zeigten bei definierter Indikationsstellung einen eindeutigen Nutzen des Mehrschicht-CTs des Thorax. Brink et al. [59] untersuchten die routinemäßige und selektive Anwendung bei 464 bzw. 164 Patienten. Die Indikationen für eine Routine-CT waren: Hochenergie trauma, bedrohliche Vitalparameter und schwere Verletzungen wie z.B. Becken- oder Wirbelkörperfrakturen. Die Indikationen für eine selektive CT waren: abnormales Mediastinum, mehr als drei Rippenfrakturen, pulmonale Verschattung, Emphysem und Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Bei Patienten mit Routine-CT fanden sich bei 43% der Patienten Verletzungen, welche im konventionellen Röntgenbild nicht sichtbar waren. Dadurch kam es bei 17% der Patienten zu Änderungen in der Therapie. Salim et al. [60] fanden unter den 7,9% der Patienten mit normalem Röntgenthoraxbild Pneumothoraces bei 3,3%, den Verdacht auf eine Aortenruptur bei 0,2%, Lungenkontusionen bei 3,3% und Rippenbrüche bei 3,7%.

Fasst man die Literaturergebnisse zusammen, so ergibt sich die Indikation zur Thorax-CT bei folgenden Indikationskriterien:

Indikationskriterien zur Thorax-CT (zusammengefasst nach [50, 59, 60]):

- Verkehrsunfall $V_{\text{max}} >50$ km/h
- Sturz >3 m Höhe
- Patient aus Fahrzeug geschleudert
- Überrolltrauma
- erhebliche Fahrzeugdeformierung
- Fußgänger mit >10 km/h angefahren
- Zweiradfahrer mit >30 km/h angefahren
- Verschüttung
- Fußgänger von Fahrzeug erfasst und >3 m geschleudert
- GCS <12
- kardiozirkulatorische Auffälligkeiten (Atemfrequenz >30 /min, Puls >20 /min, systolischer Blutdruck <100 mm Hg, Blutverlust >500 ml; kapillärer Refill >4 Sekunden)
- schwere Begleitverletzungen (Beckenringfraktur, instabile Wirbelkörperfraktur oder Rückenmarkskompression)

Eine retrospektive multizentrische Analyse anhand der Datenbank des DGU-Traumaregisters konnte eine Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit für Patienten nachweisen, bei denen initial eine Ganzkörper-CT durchgeführt wurde [61]. Die Verwendung der Ganzkörper-CT führt zu einer relativen Reduktion der Mortalität im TRISS um 25% und im RISC-Score um 13%. Die CT erwies sich in der multivariaten Analyse als unabhängiger Prädiktor für das Überleben. In einer prospektiv randomisierten Studie an 1403 Traumapatienten (REACT-2-Studie) konnte hingegen kein Überlebensvorteil der Patienten mit einem initialen Ganzkörper-CT gegenüber den Patienten, welche das Standardsetup nach ATLS (Advanced Trauma Life Support) mittels körperlicher Untersuchung, eFAST, Röntgenthorax und Röntgen-Becken und einem ggf. erforderlichen selektivem CT erhielten, nachgewiesen werden [62].

2.7.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Ein kontinuierliches Monitoring durch ein Dreikanal-EKG soll zur Überwachung einer etwaigen myokardialen Schädigung durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.8	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei V. a. eine stumpfe Myokardverletzung soll ein Zwölfkanal-EKG in Verbindung mit einer hsTroponin Bestimmung durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das initiale EKG ist bei jedem Schwerverletzten essentiell. Insbesondere beim Fehlen von tastbaren Pulsen ist das EKG notwendig, um zwischen defibrillierbaren und nicht defibrillierbaren Rhythmen bei Herz-Kreislaufstillstand zu unterscheiden. Auch kann das EKG als Screening-Test für potentielle kardiale Komplikationen einer stumpfen Herzverletzung genutzt werden.

Patienten mit einem normalen EKG, normalen Troponin-Wert, einer normalen Hämodynamik und ohne weitere relevante Zusatzverletzungen bedürfen keiner weiteren Diagnostik oder Therapie. Konventionelle Herzenzyme spielen in der Vorhersage von Komplikationen einer stumpfen Herzverletzung keine Rolle, obwohl erhöhte Troponin-I-Werte Auffälligkeiten in der Echokardiografie vorhersagen können. Zur erweiterten Diagnostik von Patienten mit stumpfen Thoraxtrauma ist ein 12-Kanal EKG anzufertigen [63, 64].

Fildes et al. [65] berichten prospektiv über 74 hämodynamisch stabile Patienten mit normalem initialem EKG, ohne kardiale Vorerkrankungen und ohne weitere Verletzungen. Keiner dieser Patienten entwickelte kardiale Komplikationen. Eine weitere retrospektive Untersuchung an 184 Kindern mit stumpfer Herzverletzung zeigte, dass Patienten mit einem normalen EKG im Schockraum keine Komplikationen entwickelten [66]. In einer Metaanalyse von 41 Studien korrelierte ein auffälliges Aufnahme-EKG mit der Entwicklung behandlungsbedürftiger Komplikationen [67]. Im Gegensatz dazu entwickelten in einer prospektiven Untersuchung von Biffi et al. [68] 17 von 107 Patienten mit einer Kontusion Komplikationen. Lediglich zwei von 17 Patienten wiesen initial ein auffälliges EKG auf, drei zeigten eine Sinustachykardie. In einer weiteren retrospektiven Untersuchung an 133 Patienten an zwei Institutionen mit klinischem Verdacht auf eine Myokardkontusion entwickelten 13 Patienten

(9,7%) Komplikationen, jedoch zeigte kein Patient mit einem normalen initialen EKG weitere Auffälligkeiten [69]. In der Untersuchung von Miller et al. [70] entwickelten vier von 172 Patienten behandlungsbedürftige Rhythmusstörungen, wobei bei allen vier Patienten das initiale EKG abnormal war. Wisner et al. [71] untersuchten 95 Patienten mit vermuteter Herzkontusion und fanden heraus, dass vier Patienten klinisch signifikante Arrhythmien entwickelten, wovon lediglich ein Patient ein normales Aufnahme-EKG hatte.

Die Bestimmung der CK-MB zeigt in einer Vielzahl von älteren Studien eine hohe Ungenauigkeit und eine geringe bis keine Korrelation zu späteren behandlungsbedürftigen Komplikationen (Rhythmusstörungen, kardiogener Schock etc.) beim stumpfen Herztrauma [68, 70-77]. Daher ist die Bestimmung der CK-MB zur Evaluation des Herztraumas schon seit vielen Jahren nicht mehr von diagnostischer Bedeutung

Troponin I und T sind sensitive Marker in der Diagnostik des Myokardinfarktes und wesentlich spezifischer als CK-MB, da sie nicht im Skelettmuskel vorkommen. In einer Untersuchung an 44 Patienten zeigten die sechs Patienten mit echokardiografisch gesicherter Myokardverletzung zugleich eine Erhöhung der CK-MB und des Troponin I. Von den 37 Patienten ohne Herzverletzung zeigten 26 erhöhte CK-MB-Werte, aber kein Patient ein erhöhtes Troponin I [78]. In einer weiteren Untersuchung an 28 Patienten, von denen fünf eine in der Echokardiografie nachgewiesene Myokardkontusion aufwiesen, zeigte Troponin I für die Kontusion eine Spezifität und Sensitivität von 100%. Troponin T zeigte in einer Untersuchung an 29 Patienten eine höhere Sensitivität (31%) als CK-MB (9%) für die Diagnose der Myokardverletzung. In der Vorhersage klinisch signifikanter EKG-Veränderungen zeigte Troponin T an 71 Patienten eine Sensitivität von 27% und eine Spezifität von 91% [79].

In einer älteren prospektiven Untersuchung an 94 Patienten wurde bei 26 Patienten entweder mittels EKG oder durch Echokardiografie eine Myokardkontusion diagnostiziert. Troponin I und T zeigten eine Sensitivität von 23 bzw. 12%, eine Spezifität von 97 bzw. 100% und einen negativen prädiktiven Wert von 76,5 bzw. 74% [80]. In einer späteren prospektiven Untersuchung wurden die Sensitivität, Spezifität sowie der positive und negative prädiktive Wert von Troponin I zum Nachweis einer Myokardkontusion mit 63, 98, 40 und 98% angegeben [81]. Velmahos et al. führten prospektiv bei 333 Patienten mit stumpfem Thoraxtrauma EKG-Untersuchungen und Troponin-I-Bestimmungen durch [64]. Bei 44 diagnostizierten Herzverletzungen zeigte das EKG bzw. das Troponin I eine Sensitivität von 89% bzw. 73% und einen negativen prädiktiven Wert von 98% bzw. 94%. Die Kombination aus EKG und Troponin I ergab eine Sensitivität und einen negativen prädiktiven Wert von je 100%. Rajan et al. [82] konnten zeigen, dass ein cTnI-Spiegel unter 1,05µg/l bei Aufnahme und nach sechs Stunden eine Myokardverletzung ausschließt.

Eine noch höhere diagnostische Genauigkeit bezüglich der Erkennung myokardialer Schädigungen beim Koronarsyndrom bieten hs-cTroponin I oder hs-cTroponin (hoch sensitives kardiales Troponin). Daher wird heutzutage in der kardialen Diagnostik das hs-cTn dem Standard-cTn vorgezogen und in den „ESC-Guidelines für das Management des akuten Koronarsyndroms“ empfohlen. Der hs-cTn-Spiegel erlaubt, als quantitativer Marker, die Abschätzung einer Herzmuskelschädigung [83]. Die Empfehlung zur Nutzung des hs-cTn statt des Standard-cTn lässt sich in der höheren Genauigkeit in der Diagnostik und Abschätzung einer Herzmuskelschädigung auf die Diagnostik des Herztraumas übertragen.

Die Eastern Association for the Surgery of Trauma hat auf dem Boden eines systematischen Reviews unter Einschluss sowohl prospektiver als auch retrospektiver Studien die noch aktuell geltenden Empfehlungen für die Diagnostik des stumpfen Thoraxtraumas zusammengefasst. Daraus ergeben sich die Empfehlungen für die Durchführung eines Aufnahme-EKGs (Elektrokardiogramms) und eines kontinuierlichen EKG-Monitorings. Weiterhin wird ausgeführt, dass ein normales EKG in

Zusammenhang mit einem normalen Troponin-I-Spiegel ein stumpfes Herztrauma bzw. eine Myokardkontusion ausschließt. Daraus ergibt sich die Empfehlung, dass diese Patienten keine weitere Überwachung benötigen. Bei unauffälliger EKG Untersuchung und erhöhten Troponin-I-Werten wird jedoch eine Monitor Überwachung empfohlen [63].

Eine transthorakale Echokardiografie (TTE) wird in der Diagnostik der stumpfen Herzverletzung häufig durchgeführt, hat aber bei kreislaufstabilen Patienten kaum eine Bedeutung. Beggs et al. führten in einer prospektiven Untersuchung eine TTE bei 40 Patienten mit Verdacht auf ein stumpfes Thoraxtrauma durch. Die Hälfte der Patienten wies mindestens einen pathologischen Befund entweder im EKG, in den Herzenzymen oder in der TTE auf. Es zeigte sich keine Korrelation zwischen der TTE, den Enzym- oder EKG-Befunden und die TTE konnte die Entwicklung von Komplikationen nicht vorhersagen [84]. In einer weiteren prospektiven Untersuchung an 73 Patienten, welche sämtlich eine TTE, CK-MB-Bestimmungen und ein kardiales Monitoring erhielten, zeigten sich bei 14 Patienten Auffälligkeiten in der Echokardiografie. Jedoch entwickelte nur ein Patient, welcher initial ein pathologisches EKG zeigte, eine Komplikation in Form einer ventrikulären Rhythmusstörung [85]. In einer prospektiven Untersuchung an 172 Patienten entwickelten die Patienten mit Auffälligkeiten in der TTE oder erhöhten CK-MB-Werten ohne gleichzeitig pathologisches EKG keine behandlungsbedürftigen Komplikationen [70]. Obwohl es eine Reihe von Studien gibt, welche den Nutzen der TTE in der Diagnose des Perikardergusses oder der Herzbeutelamponade beim penetrierenden Trauma zeigen, ist der Nutzen dieser Untersuchung beim stumpfen Trauma fraglich [22, 70, 86].

Es gibt eine Reihe von Studien, die zeigen, dass die Genauigkeit der transösophagealen Echokardiografie (TEE) in der Diagnose von Herzverletzungen größer als die der TTE ist [38, 87-90]. Zudem können durch die TEE andere kardiovaskuläre Veränderungen wie z.B. Aortenverletzungen diagnostiziert werden. Vignon et al. [91] führten prospektiv an 95 Patienten mit Risikofaktoren für eine Aortenverletzung eine Spiral-CT und auf der Intensivstation eine TEE durch. Die Sensitivität der TEE und der CT war 93 bzw. 73%, der negative prädiktive Wert war 99 bzw. 95% und die Spezifität und der positive prädiktive Wert waren für beide Untersuchungsmethoden 100%. Die TEE erwies sich dabei in der Identifikation von Intimaläsionen überlegen, wohingegen eine Läsion eines Aortenastes übersehen wurde. Zusammenfassend sollte eine Echokardiografie durchgeführt werden, wenn der Verdacht auf eine Perikardtampnade oder eine Herzbeutelruptur besteht.

Welche zusätzlichen Verfahren der Diagnostik bestehen für den Schockraumpatienten?

Fabian et al. [92] geben an, dass Patienten mit mediastinalem Hämatom und keinem direkten Hinweis auf eine Aortenverletzung keiner weiteren Abklärung bedürfen. Dies gilt auch für Intimaläsionen und Pseudoaneurysmen. Patienten mit Veränderungen, welche jedoch nicht näher zugeordnet werden können, sollten durch eine Angiografie weiter abgeklärt werden. Auch Gavant et al. [93] gaben an, dass bei fehlendem mediastinalem Hämatom oder bei regelhaft dargestellter Aorta trotz mediastinalem Hämatom die Spiral-CT mit Kontrastmittel als diagnostische Maßnahme ausreicht und eine Aortografie nicht notwendig ist.

Mirvis et al. [35] und Dyer et al. [94] schlagen vor, dass eine in einer CT nachgewiesene Aortenverletzung oder eine Verletzung der großen Seitenäste und ein mediastinales Hämatom in Abhängigkeit von der Erfahrung der jeweiligen Institution entweder eine Angiografie oder die direkte Thorakotomie erfordern. Eine Angiografie ist auch bei einem mediastinalen Hämatom in direktem Kontakt zur Aorta oder zu den großen proximalen Gefäßen ohne direkte Hinweise auf eine Gefäßverletzung oder bei Konturunregelmäßigkeiten der Aorta erforderlich [31].

Downing et al. [34] folgern aus den Ergebnissen ihrer Studie, dass bei klaren Hinweisen auf eine Aortenruptur in einer Spiral-CT eine chirurgische Therapie ohne weitere Diagnostik erfolgen kann. Im Gegensatz zur Studie von Dyer et al. [3] folgern Fabian et al. [92], dass auch Patienten mit einem mediastinalen Hämatom, aber ohne direkten Hinweis auf eine Aortenverletzung keiner weiteren Abklärung bedürfen.

Vergleichende Studien, welche die Notwendigkeit einer zusätzlichen Angiografie vor einer geplanten Intervention bei in einer CT nachgewiesener Aortenverletzung untersuchen, fehlen bisher. Die Empfehlungen stützen sich daher einerseits auf Schlussfolgerungen aus Untersuchungen, welche die Angiografie und die CT in der Diagnostik der Aortenverletzung evaluierten, andererseits auf Angaben hinsichtlich der vor einer endovaskulären Therapie durchgeführten Diagnostik.

So empfehlen Gavant et al. [93], vor einer chirurgischen oder endovaskulären Therapie eine Aortografie durchzuführen, um die Verletzung zu bestätigen und das Ausmaß des Schadens zu definieren. Auch Parker et al. [31] halten eine Angiografie zur Bestätigung positiver CT-Befunde für erforderlich.

Stellenwert der Thoraxdrainage beim Pneumothorax / Hämatothorax

2.7.9	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Ein klinisch relevanter oder progredienter Pneumothorax soll initial beim beatmeten Patienten mittels Thoraxdrainage entlastet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.10	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Beim nichtbeatmeten Patienten sollte ein progredienter Pneumothorax mittels Thoraxdrainage entlastet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.11	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Thoraxdrainagen der Größe 24–32 Charrière sollten beim instabilen Patienten mit Pneumothorax und notwendiger notfallmäßiger Einlage einer Thoraxdrainage bevorzugt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.12	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Beim stabilen Patienten mit relevantem und progredienten Pneumothorax sollte eine kleinere Drainagegröße ≥ 14 Charrière gewählt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[95] Kulvatunyou 2021: LoE 1b	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.13	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Ein klinisch relevanter oder progredienter Hämatothorax sollte initial mittels einer Thoraxdrainage entlastet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.14	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Thoraxdrainagen der Größe 24–32 Charrière sollten beim instabilen Patienten mit Hämatothorax und notwendiger notfallmäßiger Einlage einer Thoraxdrainage bevorzugt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.15	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Beim stabilen Patienten mit relevantem Hämatothorax sollte eine kleinere Drainagegröße ≥ 14 Charrière gewählt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[95] Kulvatunyou 2021: LoE 1b	
	Konsensstärke: 94%	

Ein im Röntgenbild nachgewiesener Pneumothorax stellt insbesondere bei notwendiger mechanischer Beatmung eine Indikation zur Anlage einer Thoraxdrainage dar. Dies stellt die allgemeine klinische Praxis dar, obwohl in der Literatur hierzu keine vergleichenden Untersuchungen vorliegen [15, 96-99]. Aufgrund der zugrunde liegenden Pathophysiologie erfolgt ein Upgrade in den Empfehlungsgrad A. Westaby und Brayley [100] empfehlen bei einem Pneumothorax in Höhe des 3. Interkostalraumes mit einer Ausdehnung von mehr als 1,5 cm immer die Anlage einer Thoraxdrainage. Ab einer Ausdehnung von weniger als 1,5 cm sollte eine Drainage nur bei Notwendigkeit einer Beatmung oder bei einem bilateralen Auftreten drainiert werden. Bei lediglich einem im CT nachgewiesenen kleinen ventralen Pneumothorax kann unter engmaschiger klinischer Kontrolle die Anlage einer Thoraxdrainage unterbleiben.

Bei Vorliegen einer Thorax- oder Ganzkörper-CT kann man bei 2–25% der Patienten nach schwerer Mehrfachverletzung einen okkulten Pneumothorax finden [51, 54, 55, 101-103]. Basierend auf der vorliegenden Literatur kann bei einem in einer CT diagnostizierten okkulten Pneumothorax die initiale Anlage einer Thorax-Drainage unterbleiben, wenn:

- die Patienten hämodynamisch stabil sind und eine weitgehend normale Lungenfunktion aufweisen,
- eine engmaschige klinische Kontrolle mit der Möglichkeit von Röntgenaufnahmen im Intervall besteht
- jederzeit die Anlage einer Thoraxdrainage durch einen qualifizierten Arzt erfolgen kann [104].

Brasel et al. [105] untersuchten ebenfalls in einer prospektiv randomisierten Studie die Notwendigkeit der Thoraxdrainagenanlage bei okkultem traumatischem Pneumothorax. Bei 18 Patienten erfolgte die Anlage von Thoraxdrainagen, 21 Patienten wurden lediglich klinisch beobachtet. Bei je neun Patienten jeder Gruppe war eine Beatmung notwendig. In der Gruppe mit Thoraxdrainage kam es bei vier Patienten zu einer Zunahme des Pneumothorax, in der Gruppe ohne Drainage bei drei Patienten, von denen dann bei zwei Patienten, welche zusätzlich beatmet waren, die Anlage einer Thorax-Drainage erfolgte.

In einer multizentrischen prospektiven RCT (OPTICC-Trial) wurden insgesamt 142 beatmete Traumapatienten mit okkultem Pneumothorax, jedoch ohne Hämatothorax, entweder in die Observationsgruppe (75 Patienten / ISS median 32) oder Drainagegruppe (67 Patienten / ISS median 30,5) randomisiert. 25% der Beobachtungsgruppe erhielten in der Folge eine Drainage. Von der Drainagegruppe entwickelten 22% eine Drainagekomplikation. Signifikante Risiken für das spätere Einlagern einer Thoraxdrainage waren in der Beobachtungsgruppe eine Beatmungszeit über 4 Tage, Flail Chest, eine Pneumonie unter Beatmung und eine Intensivliegedauer über 7 Tage [106]. Das bedeutet zusammenfassend, dass auch beim beatmeten Patienten mit okkultem Pneumothorax unter engmaschiger Kontrolle und Beachtung der angegebenen Risikofaktoren ein zuwartendes Verhalten möglich ist [106-108].

In einer prospektiven Untersuchung an 36 Patienten mit 44 okkulten Pneumothoraces erfolgte die Unterteilung in minimale (<1cm auf maximal vier CT-Schichten zu sehen), anteriore (>1cm, aber lateral nicht in die dorsale Thoraxhälfte einziehend) und anterolaterale Pneumothoraces [109]. 15 minimale Pneumothoraces wurden unabhängig von einer notwendigen Beatmung engmaschig klinisch kontrolliert. In zwei Fällen war dann sekundär die Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich. Bei anterioren und anterolateralen Pneumothoraces erfolgte bei notwendiger Beatmung immer die Anlage einer Thoraxdrainage. Holmes et al. identifizierten in einer prospektiven Untersuchung an Kindern elf Patienten mit okkulten Pneumothoraces, welche ebenfalls nach o.g. Schema eingeteilt wurden [110]. Die Patienten wurden bei minimalen Pneumothoraces ebenfalls unabhängig von einer notwendigen Beatmung konservativ behandelt.

Weißberg et al. [111] gaben in ihrer retrospektiven Untersuchung an 1199 Patienten (davon 403 Patienten mit traumatischem Pneumothorax) an, dass eine klinische Beobachtung bei einer Größe des Pneumothorax von kleiner als 20% des Pleuraraumes möglich ist. Hinweise auf den Einfluss einer eventuellen mechanischen Beatmung fehlen aber.

Zusammenfassend können bei nichtbeatmeten Patienten neben einem okkulten Pneumothorax auch kleine im Röntgen Thorax diagnostizierte Pneumothoraces unter 1–1,5 cm Breite zunächst unter engmaschiger klinischer Kontrolle und Monitoring konservativ behandelt werden. Ist dies aus logistischen Gründen nicht möglich oder ist der Pneumothorax progredient, so sollte auch hier die Dekompression des Pneumothorax erfolgen.

In einer Analyse von Patienten mit traumaassoziiertem Herzkreislaufstillstand wurde die Entlastung eines Spannungspneumothorax als wichtigster Faktor identifiziert, der zu einer Prognoseverbesserung beiträgt [112]. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass der nichtdekomprimierte Spannungspneumothorax die häufigste definitiv vermeidbare Todesursache nach einem Trauma

darstellt [113]. Diesbezüglich sollte eine Reanimation nach einem Trauma nicht beendet werden, ohne die reversible Ursache „Spannungspneumothorax“ definitiv ausgeschlossen zu haben [114].

Beim Auftreten eines traumatischen Hämatothorax wurde bisher primär die Anlage einer Thoraxdrainage empfohlen. Diese Empfehlung aus den „Practice Management Guidelines for Management of Hemothorax and Occult Pneumothorax“ zeigt lediglich einen Evidenzgrad 3 [115]. In weiteren Studien wird diese Frage für den okkulten oder kleinen Hämatothorax aufgegriffen. Die Größe eines kleinen Hämatothorax wird je nach Studie zwischen 300 ml und 500 ml festgelegt. Hierbei zeigt sich, dass bei einem kleinen Hämatothorax durchaus die Möglichkeit des Zuwartens besteht und es jedoch weder eine klare Evidenz für das zuwartende Verhalten oder für die Anlage einer Thoraxdrainage gibt [116, 117].

Bei instabilen Patienten mit einem relevanten und progredienten Hämatothorax wurde aufgrund der möglichen vitalen Bedrohung die Empfehlung auf den Empfehlungsgrad B angehoben.

Die Anlage einer Thoraxdrainage sollte bereits im Schockraum erfolgen, da beim Pneumothorax das Risiko eines Spannungspneumothorax besteht und beim relevanten und progredienten Hämatothorax sowohl eine respiratorische Insuffizienz resultieren aber auch die Gefahr einer kreislaurelevanten Blutung im Thorax übersehen werden kann. Das Risiko für das Auftreten eines Spannungspneumothorax ist bei beatmeten Patienten höher einzuschätzen als bei nichtbeatmeten Patienten.

Der Vorteil einer sehr großlumigen Thoraxdrainage Ch 36–40 vs. 28–32 hat sich beim polytraumatisierten Patienten nicht bestätigt. Dies wurde in einer prospektiven Arbeit an 293 Patienten untersucht [118]. Im Gegenteil, auch kleinere Thoraxdrainagen (Ch 24) können komplikationslos angewandt werden [119, 120].

In einer prospektiv randomisierten Multicenter-Studie bei stabilen Traumapatienten mit einem Hämatothorax oder Hämatothorax erhielten 63 Patienten eine 28-32 Ch Thoraxdrainage und 56 Patienten eine 14 Ch perkutane Drainage (Pigtail-Katheter). Ausschlusskriterien waren Notfallanlage einer Thoraxdrainage bei Instabilität und/oder eine nicht mögliche Zustimmung aufgrund des Traumas. Dabei zeigte sich für beide Patientengruppen die gleiche Effektivität in der Ableitung des Hämatothorax und eine gleiche Komplikationsrate. Jedoch ergab sich für die Patientengruppe, welche eine 14 Ch-Pigtaildrainage erhielten, eine signifikant geringere IPE (insertion perception experience). Das heißt diese Patienten hatten bei der Einlage signifikant weniger Schmerzen als die Patienten, welchen die großlumige Thoraxdrainage eingelegt wurde [95].

Thorakotomie, Thorakoskopie und Perikardentlastung

2.7.16	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine Perikardentlastung sollte bei nachgewiesener Herzbeutelamponade und sich akut verschlechternden Vitalparametern durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.17	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei hämodynamisch instabilen Patienten mit Thoraxtrauma sollte eine eFAST-Untersuchung zum Ausschluss einer Perikardtamponade erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

Unabhängig vom Zustand des Patienten sollte die Diagnose einer Herzbeutelamponade rasch und zuverlässig gestellt werden, damit eine eventuell notwendige Operation rasch durchgeführt werden kann. Obwohl durch die Anlage eines perikardialen Fensters die Diagnose der Tamponade sichergestellt werden kann, handelt es sich dabei um ein invasives Verfahren, insbesondere wenn lediglich ein geringer Verdacht auf eine Herzverletzung besteht. Die Ultraschalluntersuchung hat sich in der Diagnose des Perikardergusses als sensitives Verfahren erwiesen und stellt somit heute die Methode der Wahl dar. In einer prospektiven multizentrischen Studie an 261 Patienten mit penetrierenden perikardialen Thoraxverletzungen zeigten sich eine Sensitivität von 100%, eine Spezifität von 96,7% und eine Genauigkeit von 97% [22]. Falsch negative Untersuchungsergebnisse sind nicht aufgetreten. In einer weiteren Untersuchung konnte bei 34 Patienten in drei Fällen sonografisch Flüssigkeit im Perikard nachgewiesen werden. Ein Patient wurde bei hämodynamischer Instabilität thorakotomiert, bei den anderen beiden Patienten war das perikardiale Fenster negativ [121].

Die diagnostische Perikardpunktion hat in der Diagnostik der Herzbeutelamponade heute eine untergeordnete Bedeutung und ist dabei von der Ultraschalluntersuchung abgelöst worden [22, 63, 122].

Die Perikardentlastung über eine zumeist kleinlumige Perikarddrainage kann das Problem des Koaguloperikards nicht lösen. Eine Entlastung des Perikards ist über eine subxiphoidale oder eine partielle bzw. komplette Sternotomie möglich.

2.7.18	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Eine Thorakotomie kann bei initial hohem oder persistierendem relevantem Blutverlust über die liegende Thoraxdrainage sowohl bei stabilem als auch instabilem Patienten erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

2.7.19	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Alternativ zu einer Thorakotomie kann eine VATS (Videoassistierte Thorakoskopie) bei einem kardiopulmonal stabilen Patienten erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

In den 1970er-Jahren wurde basierend auf den Erfahrungen mit penetrierenden Verletzungen im Vietnamkrieg von McNamara et al. [123] eine Reduktion der Mortalität nach früher Thorakotomie beschrieben. Als Indikationskriterien für die Thorakotomie wurden ein initialer Blutverlust nach Thoraxdrainage von 1000–1500 ml angegeben sowie ein Blutverlust von 500 ml in der ersten Stunde nach Drainagenanlage.

In einer Arbeit aus dem Jahr 1976 analysierten Kish et al. [124] 59 Patienten, bei welchen eine Thorakotomie notwendig war. Bei vier von 44 Patienten mit penetrierenden Verletzungen und bei zwei von 15 Patienten mit stumpfem Trauma wurde 6-36 Stunden nach dem Unfall eine Thorakotomie bei einer kontinuierlichen Blutung von 150 ml/h über mehr als 10 Stunden oder bei 1500 ml in einem kürzeren Zeitintervall durchgeführt. Auch bei penetrierenden Verletzungen wurde bei einem initialen Blutverlust von >1500 ml nach Thoraxdrainageanlage oder bei einem kontinuierlichen stündlichen Blutverlust von >250ml über 4 Stunden die Indikation zur Thorakotomie gesehen [125].

In einer retrospektiven multizentrischen Analyse von 157 Patienten, bei welchen eine Notfall-Thorakotomie in den Jahren 1995 bis 1998 aufgrund einer thorakalen Blutung durchgeführt wurde, zeigte sich eine Abhängigkeit der Mortalität von der Höhe des thorakalen Blutverlustes [126]. Das Mortalitätsrisiko war bei einem Blutverlust von 1500 ml im Vergleich zu 500 ml um den Faktor 3,2 erhöht. Die Autoren folgern daher, dass bei Patienten mit penetrierendem und stumpfem Trauma bei einem thorakalen Blutverlust von 1500 ml in den ersten 24 Stunden nach Aufnahme auch bei fehlenden Zeichen eines hämorrhagischen Schocks eine Thorakotomie in Erwägung gezogen werden sollte. Auch im *NATO Handbook* [127] werden ein initialer Blutverlust von 1500 ml sowie eine Drainage von 250 ml über mehr als 4 Stunden als Indikation zu einer Thorakotomie angegeben.

Das Spektrum der möglichen Notfallinterventionen hat sich in den letzten Jahrzehnten durch erheblich bessere Stabilisierungsmöglichkeiten im Schockraum, moderne Bildgebung und Interventionsverfahren sowie die minimalinvasive Chirurgie wesentlich erweitert. Bei einer persistierenden Blutung und stabilem Patienten wird auch bei einem initialen Blutverlust von mehr als 1500 ml über die Art und Weise des klinischen Vorgehens in der Regel anhand eines durchzuführenden Kontrastmittel-CTs entschieden. Bei persistierender Blutung über mehrere Stunden ist diese Diagnostik bereits erfolgt und ein stabiler Patient wird heutzutage in einer Klinik mit der entsprechenden Expertise eher thorakoskopiert oder interventionell behandelt als thorakotomiert. Auch kann bei einem Patienten mit bereits mehr als 1500 ml initialem Blutverlust über die Thoraxdrainage, je nach vorliegenden Befunden, Verletzungsmuster und bei Stabilität durchaus die Möglichkeit eines thorakoskopischen Eingriffs bestehen.

Daher stellte sich in der Leitlinienkommission die Frage, ob man heutzutage diese strikte Mengenempfehlung für eine Notfallthorakotomie noch aufrecht erhalten kann, da die angegebenen Volumenwerte seit 50 Jahren (1970) immer fortgeschrieben wurden und die vorliegenden retrospektiven Arbeiten sich auf diese Werte beziehen und wenig Evidenz aufweisen. Unter dem o.a. Aspekt der sich in den letzten Jahrzehnten deutlich weiter entwickelten Diagnostik, Therapie und Behandlungstechniken beim polytraumatisierten Patienten wurden die Mengenangaben aus der Empfehlung von 2016 gestrichen. Trotzdem sind die oben diskutierten Verlustmengen immer noch eine Entscheidungshilfe in der Indikationsstellung für eine Thorakotomie oder beim kardiopulmonal stabilem Patienten ggf. zur VATS (Videoassistierte Thorakoskopie) bzw. erforderlichen radiologischen Intervention.

Seit Anfang der 1990er Jahre wird die VATS als mögliche Behandlungsalternative zur Thorakotomie in der Behandlung des stabilen Thoraxtraumas eingesetzt. In einer Vielzahl retrospektiven Kohorten an hämodynamisch stabilen Patienten wurde erkannt, dass die Thorakoskopie in dieser Situation Vorteile gegenüber der Thorakotomie haben kann [128-130]. In einer prospektiven randomisierten Studie aus China bei 80 Patienten mit einem perforierendem Thoraxtrauma (37 VATS / 43 Thorakotomie) wurde ein signifikanter Vorteil ($p < 0.05$) hinsichtlich OP-Zeit, intraoperativer Blutungsmenge und postoperativer Drainagemenge zugunsten der VATS festgestellt. Patienten, bei denen aufgrund von operativen oder anderen Gründen von einer VATS auf eine Thorakotomie umgestiegen werden musste, wurden von der Studie ausgeschlossen. Die Altersgruppen waren vergleichbar und es handelte sich nicht um Schussverletzungen [131]. Für die frühe Behandlung des residualen Hämatothorax gilt

die VATS heutzutage als Therapie der Wahl, auch wenn hochwertige vergleichende Studien hierzu nicht vorliegen [116]. Zusammenfassend hat sich die VATS trotz geringer Evidenz in der Praxis als Alternativverfahren zur Thorakotomie beim stabilen Patienten mit Thoraxtrauma entwickelt. Vorteile des Verfahrens sind eine gute Übersicht über den gesamten Thorax und das Diaphragma und der gewebeschonende Operationszugang bei bereits durch das Trauma vorgeschädigtem Gewebe. Ein Umsteigen auf eine Thorakotomie, auch unter weiterer Nutzung der Optik als sogenanntes Hybridverfahren, ist jederzeit möglich.

2.7.20	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Patienten mit stumpfem Trauma und fehlenden Lebenszeichen am Unfallort sollte eine Notfallthorakotomie im Schockraum nicht durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Wenn bereits am Unfallort Lebenszeichen fehlen, ist eine Notfallthorakotomie bei Patienten mit stumpfem Trauma im Schockraum nicht indiziert. Als Lebenszeichen gelten die Lichtreaktion der Pupillen, jedwede Art einer spontanen Atmung, Bewegung auf Schmerzreize oder eine supraventrikuläre Aktivität im EKG [132]. Entwickelt sich jedoch der Herzkreislaufstillstand erst bei der Einlieferung ins Krankenhaus, sollte insbesondere beim penetrierenden Trauma eine sofortige Thorakotomie erfolgen.

Boyd et al. führten eine retrospektive Untersuchung an 28 Patienten durch, bei welchen im Schockraum eine Thorakotomie zur Reanimation durchgeführt wurde. Darüber hinaus wurde eine Metaanalyse durchgeführt [132]. Die Überlebensrate betrug 2 von 11 Patienten mit penetrierendem und 0 von 17 Patienten mit stumpfem Trauma, wobei die Überlebensrate (2 von 3 Patienten) am höchsten war, wenn sowohl an der Unfallstelle als auch im Schockraum Lebenszeichen bestanden. Eine Metaanalyse an 2294 Patienten ergab eine Überlebensrate von 11%, wobei die Überlebensrate nach penetrierendem Trauma im Vergleich zum stumpfen Trauma signifikant besser war (14% vs. 2%). In der Patientengruppe mit fehlenden Lebenszeichen am Unfallort gab es keine Überlebenden und unter den Patienten mit fehlenden Lebenszeichen im Schockraum gab es bei stumpfem Trauma keine Überlebenden ohne neurologisches Defizit.

Velmahos et al. [133] analysierten retrospektiv 846 Patienten, bei welchen eine Notfallthorakotomie im Schockraum durchgeführt wurde. Alle Patienten zeigten einen Verlust der Vitalzeichen um den Zeitpunkt der Aufnahme oder einen Herzkreislaufstillstand im Schockraum. Von 162 Patienten, welche erfolgreich reanimiert wurden, konnten 43 (5,1%) aus dem Krankenhaus entlassen werden und 38 Patienten davon wiesen kein neurologisches Defizit auf. Von 176 Patienten mit stumpfem Trauma überlebte lediglich ein Patient (0,2%) mit erheblichen neurologischen Ausfällen.

Branney et al. [134] fanden bei 868 Patienten mit Notfallthorakotomie eine Gesamtüberlebensrate von 4,4%. Dabei überlebten von den Patienten mit stumpfem Trauma 8 von 385 (2%). Davon wiesen vier Patienten kein neurologisches Defizit auf. Von den Patienten mit stumpfem Trauma und fehlenden Vitalzeichen am Unfallort überlebten zwei Patienten mit erheblichen neurologischen Defiziten. Demgegenüber war das Outcome bei fehlenden Vitalzeichen am Unfallort und penetrierendem Trauma mit 12 von 355 neurologisch intakten überlebenden Patienten deutlich besser. Dieses Ergebnis unterscheidet sich deutlich von der oben angegebenen Metaanalyse von Boyd et al. [132] und späteren Untersuchungen von Esposito et al. [135], Mazzorana et al. [136], Brown et al. [137] und Lorenz et al.

[138], welche bei penetrierendem Trauma und fehlenden Vitalzeichen am Unfallort keine überlebenden Patienten beschrieben haben.

Eine weitere retrospektive Untersuchung von 273 im Schockraum durchgeführten Thorakotomien ergab zehn überlebende Patienten ohne neurologisches Defizit [139]. Diese wiesen allesamt penetrierende Verletzungen auf und zeigten entweder am Unfallort oder im Schockraum Lebenszeichen. Von 21 Patienten mit stumpfem Trauma überlebte kein Patient. Die Autoren folgern daher, dass eine Schockraumthorakotomie nur bei Patienten mit penetrierendem Trauma, welche entweder an der Unfallstelle oder im Schockraum Lebenszeichen zeigen, durchgeführt werden sollte. Auch Grove et al. [140] konnten bei 19 Patienten mit stumpfem Trauma keine überlebenden Patienten nach Notfallthorakotomie verzeichnen. Fünf dieser Patienten zeigten bei der Aufnahme keine Lebenszeichen, 14 Patienten zeigten Lebenszeichen. Alle Patienten sind innerhalb von vier Tagen verstorben. Die Überlebensrate bei penetrierendem Trauma betrug 3 von 10 Patienten.

Basierend auf einer Metaanalyse von 42 Outcome-Studien mit insgesamt 7035 erfassten EDT(Emergency Department Thoracotomies) hat das American College of Surgeons eine Guideline zur Indikation und Durchführung einer Schockraumthorakotomie veröffentlicht [141]. Die resultierenden Aussagen beruhen vor allem auf der Erkenntnis, dass bei einer Gesamtüberlebensrate von 7,8% nur 1,6% der Patienten nach stumpfem Trauma, aber 11,2% nach penetrierendem Trauma überlebten. Eine Notfallthorakotomie unter Cardiopulmonary resuscitation (CPR), so wurde auch von neueren Untersuchungen bestätigt, kann insbesondere beim penetrierenden Trauma die Prognose verbessern und scheint vor allem dann sinnvoll, wenn initial Lebenszeichen bestanden [142-145].

In einer aktuellen Arbeit aus dem TraumaRegister DGU® wurden in 6 Jahren (2009-2014) 99013 Schockraumpatienten erfasst, von denen 887 innerhalb der ersten Stunde thorakotomiert wurden. Die Gesamtmortalität betrug bei diesen Patienten 28,2% für das stumpfe und 31,3% für das penetrierende Thoraxtrauma. Die Patienten, welche im Schockraum einen Herzstillstand erlitten und eine EDT erhielten hatten hingegen eine Überlebensrate von 20,7% für das perforierende und 4,8% für das stumpfe Trauma [146].

Literatur

1. Schulz-Drost S, Oppel P, Grupp S, Krinner S, Langenbach A, Lefering R, et al. [Bony injuries of the thoracic cage in multiple trauma : Incidence, concomitant injuries, course and outcome]. *Der Unfallchirurg*. 2016;119(12):1023-30.
2. Horton TG, Cohn S, Heid MP, Heid M, Augenstein JS, Augenstein J, Bowen JC, Bowen J, McKenney MG, McKenney M, RC, et al. Identification of trauma patients at risk of thoracic aortic tear by mechanism of injury. (0022-5282 (Print)).
3. Dyer DS, Moore E, Ilke DN, Ilke Dn, McIntyre RC, McIntyre Rc, Bernstein SM, Bernstein Sm, Durham JD, Durham Jd, Mestek MF, et al. Thoracic aortic injury: how predictive is mechanism and is chest computed tomography a reliable screening tool? A prospective study of 1,561 patients. (0022-5282 (Print)).
4. Richter M, Krettek C, Otte D, Wiese B, Stalp M, Ernst S, et al. Correlation between crash severity, injury severity, and clinical course in car occupants with thoracic trauma: a technical and medical study. *J Trauma*. 2001;51(1):10-6.
5. Ruchholtz S, Nast-Kolb D, Waydhas C, Schweiberer L. [The injury pattern in polytrauma. Value of information regarding accident process in clinical acute management]. *Der Unfallchirurg*. 1996;99(9):633-41.
6. Pattimore D, Thomas P, Dave SH. Torso injury patterns and mechanisms in car crashes: an additional diagnostic tool. *Injury*. 1992;23(2):123-6.
7. Siegel JH, Smith JA, Siddiqi SQ. Change in velocity and energy dissipation on impact in motor vehicle crashes as a function of the direction of crash: key factors in the production of thoracic aortic injuries, their pattern of associated injuries and patient survival. A Crash Injury Research Engineering Network (CIREN) study. *J Trauma*. 2004;57(4):760-77; discussion 77-8.
8. Orzechowski KM, Edgerton EA, Bulas DI, McLaughlin PM, Eichelberger MR. Patterns of injury to restrained children in side impact motor vehicle crashes: the side impact syndrome. *J Trauma*. 2003;54(6):1094-101.
9. Porter RS, Zhao N. Patterns of injury in belted and unbelted individuals presenting to a trauma center after motor vehicle crash: seat belt syndrome revisited. *Ann Emerg Med*. 1998;32(4):418-24.
10. Matthes G, Trentzsch H, Wolfl CG, Paffrath T, Flohe S, Schweigkofler U, et al. [Essential measures for prehospital treatment of severely injured patients: The trauma care bundle]. *Der Unfallchirurg*. 2015;118(8):652-6.
11. American College of SaTCo. ATLS : advanced trauma life support for doctors : student course manual. American College of Surgeons. 2008.
12. Bokhari F, Brakenridge S, Nagy K, Nagy K, Roberts R, Roberts R, Smith R, Smith R, Joseph K, Joseph K, An G, et al. Prospective evaluation of the sensitivity of physical examination in chest trauma. *J Trauma*. 2002;53(0022-5282 (Print)):1135-8.
13. Chen SC, Markmann JF, Kauder DR, Schwab CW. Hemopneumothorax missed by auscultation in penetrating chest injury. *J Trauma*. 1997;42(1):86-9.
14. Hirshberg A, Thomson SR, Huizinga WK. Reliability of physical examination in penetrating chest injuries. *Injury*. 1988;19(6):407-9.
15. Holmes JF, Sokolove PE, Brant WE, Kuppermann N. A clinical decision rule for identifying children with thoracic injuries after blunt torso trauma. *Ann Emerg Med*. 2002;39(5):492-9.
16. Ojaghi Haghighi SH, Adimi I, Shams Vahdati S, Sarkhoshi Khiavi R. Ultrasonographic diagnosis of suspected hemopneumothorax in trauma patients. *Trauma Monthly*. 2014;19(4):e17498.
17. Greenberg MD, Rosen CL. Evaluation of the patient with blunt chest trauma: an evidence based approach. *Emerg Med Clin North Am*. 1999;17(0733-8627 (Print)):41-62, viii.
18. Rowan KR, Kirkpatrick AW, Liu D, Forkheim KE, Mayo JR, Nicolaou S. Traumatic pneumothorax detection with thoracic US: correlation with chest radiography and CT--initial experience. *Radiology*. 2002;225(1):210-4.

19. Dulchavsky SA, Schwarz KI, Kirkpatrick AW, Kirkpatrick Aw, Billica RD, Billica Rd, Williams DR, Williams Dr, Diebel LN, Diebel Ln, Campbell MR, et al. Prospective evaluation of thoracic ultrasound in the detection of pneumothorax. *J Trauma*. 2001;50(0022-5282 (Print)):201-5.
20. Ma OJ, Mateer JR. Trauma ultrasound examination versus chest radiography in the detection of hemothorax. *Ann Emerg Med*. 1997;29(3):312-5; discussion 5-6.
21. Soldati G, Testa A, Silva FR, Carbone L, Portale G, Silveri NG. Chest ultrasonography in lung contusion. *Chest*. 2006;130(2):533-8.
22. Rozycki GS, Feliciano DV, Ochsner MG, Knudson MM, Hoyt DB, Davis F, et al. The role of ultrasound in patients with possible penetrating cardiac wounds: a prospective multicenter study. *J Trauma*. 1999;46(4):543-51; discussion 51-2.
23. Meyer DM, Jessen ME, Grayburn PA. Use of echocardiography to detect occult cardiac injury after penetrating thoracic trauma: a prospective study. *J Trauma*. 1995;39(5):902-7; discussion 7-9.
24. Durham RM, Zuckerman D, Wolverson M, Wolverson M, Heiberg E, Heiberg E, Luchtefeld WB, Luchtefeld Wb, Herr DJ, Herr Dj, Shapiro MJ, et al. Computed tomography as a screening exam in patients with suspected blunt aortic injury. (0003-4932 (Print)).
25. Fisher RG, Chasen Mh, Lamki N, Lamki N. Diagnosis of injuries of the aorta and brachiocephalic arteries caused by blunt chest trauma: CT vs aortography. *AJR Am J Roentgenol*. 1994;162(0361-803X (Print)):1047-52.
26. Miller FB, Richardson JD, Thomas HA, Cryer HM, Willing SJ. Role of CT in diagnosis of major arterial injury after blunt thoracic trauma. *Surgery*. 1989;106(4):596-602; discussion -3.
27. Ellis JD, Mayo JR. Computed tomography evaluation of traumatic rupture of the thoracic aorta: an outcome study. *Canadian Association of Radiologists journal = Journal l'Association canadienne des radiologistes*. 2007;58(0846-5371 (Print)):22-6.
28. Melton SM, Kerby JD, McGiffin D, McGwin G, Smith JK, Oser RF, et al. The evolution of chest computed tomography for the definitive diagnosis of blunt aortic injury: a single-center experience. *J Trauma*. 2004;56(2):243-50.
29. Bruckner BA, DiBardino DJ, Cumbie TC, Trinh C, Blackmon SH, Fisher RG, et al. Critical evaluation of chest computed tomography scans for blunt descending thoracic aortic injury. *Ann Thorac Surg*. 2006;81(4):1339-46.
30. Raptopoulos V, Sheiman RG, Phillips DA, Davidoff A, Silva WE. Traumatic aortic tear: screening with chest CT. *Radiology*. 1992;182(3):667-73.
31. Parker MS, Matheson TL, Rao AV, Sherbourne CD, Jordan KG, Landay MJ, et al. Making the transition: the role of helical CT in the evaluation of potentially acute thoracic aortic injuries. *AJR Am J Roentgenol*. 2001;176(5):1267-72.
32. Mirvis SE, Shanmuganathan K, Miller BH, White CS, Turney SZ. Traumatic aortic injury: diagnosis with contrast-enhanced thoracic CT--five-year experience at a major trauma center. *Radiology*. 1996;200(2):413-22.
33. von Segesser LK, Fischer A, Vogt P, Turina M. Diagnosis and management of blunt great vessel trauma. *J Card Surg*. 1997;12(2 Suppl):181-6; discussion 6-92.
34. Downing SW, Sperling Js, Mirvis SE, Mirvis Se, Cardarelli MG, Cardarelli Mg, Gilbert TB, Gilbert Tb, Scalea TM, Scalea Tm, McLaughlin JS, et al. Experience with spiral computed tomography as the sole diagnostic method for traumatic aortic rupture. (0003-4975 (Print)).
35. Mirvis SE, Shanmuganathan K, Buell J, Rodriguez A. Use of spiral computed tomography for the assessment of blunt trauma patients with potential aortic injury. *J Trauma*. 1998;45(5):922-30.
36. Collier B, Hughes Km, Mishok K, Mishok K, Kramer G, Kramer G, Rodriguez A, Rodriguez A. Is helical computed tomography effective for diagnosis of blunt aortic injury? 2002;(0735-6757 (Print)).
37. Sammer M, Wang E, Blackmore CC, Burdick TR, Hollingworth W. Indeterminate CT angiography in blunt thoracic trauma: is CT angiography enough? *AJR Am J Roentgenol*. 2007;189(3):603-8.
38. Brooks SW, Young Jc, Cmolik B, Cmolik B, Schina M, Schina M, Dianzumba S, Dianzumba S, Townsend RN, Townsend Rn, Diamond DL, et al. The use of transesophageal echocardiography in the evaluation of chest trauma. (0022-5282 (Print)).

39. Cohn SM, Burns GA, Jaffe C, Milner KA. Exclusion of aortic tear in the unstable trauma patient: the utility of transesophageal echocardiography. *J Trauma*. 1995;39(6):1087-90.
40. Vignon P, Lagrange P, Boncoeur MP, Francois B, Gastinne H, Lang RM. Routine transesophageal echocardiography for the diagnosis of aortic disruption in trauma patients without enlarged mediastinum. *J Trauma*. 1996;40(3):422-7.
41. Buckmaster MJ, Kearney Pa, Johnson SB, Johnson Sb, Smith MD, Smith Md, Sapin PM, Sapin PM. Further experience with transesophageal echocardiography in the evaluation of thoracic aortic injury. (0022-5282 (Print)).
42. Minard G, Schurr MJ, Croce MA, Gavant ML, Kudsk KA, Taylor MJ, et al. A prospective analysis of transesophageal echocardiography in the diagnosis of traumatic disruption of the aorta. *J Trauma*. 1996;40(2):225-30.
43. Goarin JP, Catoire P, Jacquens Y, Jacquens Y, Saada M, Saada M, Riou B, Riou B, Bonnet F, Bonnet F, Coriat P, et al. Use of transesophageal echocardiography for diagnosis of traumatic aortic injury. (0012-3692 (Print)).
44. Mollod M, Felner JM. Transesophageal echocardiography in the evaluation of cardiothoracic trauma. *Am Heart J*. 1996;132(4):841-9.
45. Hehir MD, Hollands MJ, Deane SA. The accuracy of the first chest X-ray in the trauma patient. *The Australian and New Zealand journal of surgery*. 1990;60(7):529-32.
46. McLellan BA, Ali J, Towers MJ, Sharkey W. Role of the trauma-room chest x-ray film in assessing the patient with severe blunt traumatic injury. *Can J Surg*. 1996;39(1):36-41.
47. Peytel E, Menegaux F, Cluzel P, Langeron O, Coriat P, Riou B. Initial imaging assessment of severe blunt trauma. *Intensive Care Med*. 2001;27(11):1756-61.
48. Okamoto K, Norio H, Kaneko N, Sakamoto T, Kaji T, Okada Y. Use of early-phase dynamic spiral computed tomography for the primary screening of multiple trauma. *The American journal of emergency medicine*. 2002;20(6):528-34.
49. Kloppel R, Schreiter D, Dietrich J, Josten C, Kahn T. [Early clinical management after polytrauma with 1 and 4 slice spiral CT]. *Radiologe*. 2002;42(7):541-6.
50. Rodriguez RM, Anglin D, Langdorf MI, Baumann BM, Hendey GW, Bradley RN, et al. NEXUS chest: validation of a decision instrument for selective chest imaging in blunt trauma. *JAMA Surg*. 2013;148(10):940-6.
51. Trupka A, Kierse R, Waydhas C, Nast-Kolb D, Blahs U, Schweiberer L, et al. [Shock room diagnosis in polytrauma. Value of thoracic CT]. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(6):469-76.
52. Exadaktylos AK, Sclabas G, Schmid SW, Schmid Sw, Schaller B, Schaller B, Zimmermann H, Zimmermann H. Do we really need routine computed tomographic scanning in the primary evaluation of blunt chest trauma in patients with "normal" chest radiograph? (0022-5282 (Print)).
53. Demetriades D, Gomez H, Velmahos GC, Velmahos Gc, Asensio JA, Asensio Ja, Murray J, Murray J, Cornwell EE, 3rd, Cornwell Ee 3rd, Alo K, et al. Routine helical computed tomographic evaluation of the mediastinum in high-risk blunt trauma patients. *Arch Surg*. 1998;133(0004-0010 (Print)):1084-8.
54. Omert L, Yeane WW, Protetch J. Efficacy of thoracic computerized tomography in blunt chest trauma. *Am Surg*. 2001;67(7):660-4.
55. Blostein PA, Hodgman CG. Computed tomography of the chest in blunt thoracic trauma: results of a prospective study. *J Trauma*. 1997;43(0022-5282 (Print)):13-8.
56. Renton J, Kincaid S, Ehrlich PF. Should helical CT scanning of the thoracic cavity replace the conventional chest x-ray as a primary assessment tool in pediatric trauma? An efficacy and cost analysis. *J Pediatr Surg*. 2003;38(5):793-7.
57. Grieser T, Bühne Kh, Häuser H, Häuser H, Bohndorf K, Bohndorf K. [Significance of findings of chest X-rays and thoracic CT routinely performed at the emergency unit: 102 patients with multiple trauma. A prospective study]. (1438-9029 (Print)).
58. Guerrero-López F, Vázquez-Mata G, Alcázar-Romero PP, Alcázar-Romero Pp, Fernández-Mondéjar E, Fernández-Mondéjar E, Aguayo-Hoyos E, Aguayo-Hoyos E, Linde-Valverde CM, Linde-Valverde CM. Evaluation of the utility of computed tomography in the initial assessment of the critical care patient with chest trauma. *Critical care medicine*. 2000;28(0090-3493 (Print)):1370-5.

59. Brink M, Deunk J, Dekker HM, Dekker Hm, Kool DR, Kool Dr, Edwards MJR, Edwards Mj, van Vugt AB, van Vugt Ab, Blickman JG, et al. Added value of routine chest MDCT after blunt trauma: evaluation of additional findings and impact on patient management. *AJR Am J Roentgenol.* 2008;190(1546-3141 (Electronic)):1591-8.
60. Salim A, Sangthong B, Martin M, Brown C, Plurad D, Demetriades D. Whole body imaging in blunt multisystem trauma patients without obvious signs of injury: results of a prospective study. *Arch Surg.* 2006;141(5):468-73; discussion 73-5.
61. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, Korner M, Kay MV, Pfeifer KJ, et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *Lancet.* 2009;373(9673):1455-61.
62. Sierink JC, Treskes K, Edwards MJ, Beuker BJ, den Hartog D, Hohmann J, et al. Immediate total-body CT scanning versus conventional imaging and selective CT scanning in patients with severe trauma (REACT-2): a randomised controlled trial. *Lancet.* 2016;388(10045):673-83.
63. Clancy K, Velopulos C, Bilaniuk JW, Bilaniuk Jw, Collier B, Collier B, Crowley W, Crowley W, Kurek S, Kurek S, Lui F, et al. Screening for blunt cardiac injury: an Eastern Association for the Surgery of Trauma practice management guideline. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2012;73(2163-0763 (Electronic)):S301-6.
64. Velmahos GC, Karauskakis M, Salim A, Toutouzas KG, Murray J, Asensio J, et al. Normal electrocardiography and serum troponin I levels preclude the presence of clinically significant blunt cardiac injury. *J Trauma.* 2003;54(1):45-50; discussion -1.
65. Fildes JJ, Betlej Tm, Manglano R, Manglano R, Martin M, Martin M, Rogers F, Rogers F, Barrett JA, Barrett JA. Limiting cardiac evaluation in patients with suspected myocardial contusion. *Am Surg.* 1995;61(0003-1348 (Print)):832-5.
66. Dowd MD, Krug S. Pediatric blunt cardiac injury: epidemiology, clinical features, and diagnosis. Pediatric Emergency Medicine Collaborative Research Committee: Working Group on Blunt Cardiac Injury. *J Trauma.* 1996;40(0022-5282 (Print)):61-7.
67. Maenza RL, Seaberg D, D'Amico F. A meta-analysis of blunt cardiac trauma: ending myocardial confusion. *The American journal of emergency medicine.* 1996;14(3):237-41.
68. Biffl WL, Moore Fa, Moore EE, Moore Ee, Sauaia A, Sauaia A, Read RA, Read Ra, Burch JM, Burch JM. Cardiac enzymes are irrelevant in the patient with suspected myocardial contusion. *Am J Surg.* 1994;168(0002-9610 (Print)):523-7; discussion 7-8.
69. Faller Jp, Feissel M, Feissel M, Kara A, Kara A, Camelot R, Camelot R, Simon G, Simon G. [Ventilation in prone position in acute respiratory distress syndrome of severe course. 3 cases]. (0755-4982 (Print)).
70. Miller FB, Shumate CR, Richardson JD. Myocardial contusion. When can the diagnosis be eliminated? *Arch Surg.* 1989;124(7):805-7; discussion 7-8.
71. Wisner DH, Reed WH, Riddick RS. Suspected myocardial contusion. Triage and indications for monitoring. *Ann Surg.* 1990;212(1):82-6.
72. Fabian TC, Cicala Rs, Croce MA, Croce Ma, Westbrook LL, Westbrook Ll, Coleman PA, Coleman Pa, Minard G, Minard G, Kudsk KA, et al. A prospective evaluation of myocardial contusion: correlation of significant arrhythmias and cardiac output with CPK-MB measurements. *J Trauma.* 1991;31(0022-5282 (Print)):653-9; discussion 9-60.
73. Frazee Rc, Mucha P, Jr., Mucha P Jr, Farnell MB, Farnell Mb, Miller FA, Jr., Miller FA, Jr. Objective evaluation of blunt cardiac trauma. (0022-5282 (Print)).
74. Gunnar WP, Martin M, Smith RF, Smith Rf, Manglano R, Manglano R, Resnick DJ, Resnick Dj, Lopez V, Lopez V, Barrett JA, et al. The utility of cardiac evaluation in the hemodynamically stable patient with suspected myocardial contusion. *Am Surg.* 1991;57(0003-1348 (Print)):373-7.
75. Helling TS, Duke P, Beggs CW, Crouse LJ. A prospective evaluation of 68 patients suffering blunt chest trauma for evidence of cardiac injury. *J Trauma.* 1989;29(7):961-5; discussion 5-6.
76. Keller KD, Shatney CH. Creatine phosphokinase-MB assays in patients with suspected myocardial contusion: diagnostic test or test of diagnosis? *J Trauma.* 1988;28(1):58-63.
77. Soliman MH, Waxman K. Value of a conventional approach to the diagnosis of traumatic cardiac contusion after chest injury. *Critical care medicine.* 1987;15(3):218-20.

78. Adams JE, 3rd, Dávila-Román Vg, Bessey PQ, Bessey Pq, Blake DP, Blake Dp, Ladenson JH, Ladenson Jh, Jaffe AS, Jaffe AS. Improved detection of cardiac contusion with cardiac troponin I. *Am Heart J.* 1996;131(0002-8703 (Print)):308-12.
79. Fulda GJ, Giberson F, Hailstone D, Hailstone D, Law A, Law A, Stillabower M, Stillabower M. An evaluation of serum troponin T and signal-averaged electrocardiography in predicting electrocardiographic abnormalities after blunt chest trauma. *J Trauma.* 1997;43(0022-5282 (Print)):304-10; discussion 10-2.
80. Bertinchant JP, Polge A, Mohty D, Mohty D, Nguyen-Ngoc-Lam R, Nguyen-Ngoc-Lam R, Estorc J, Estorc J, Cohendy R, Cohendy R, Joubert P, et al. Evaluation of incidence, clinical significance, and prognostic value of circulating cardiac troponin I and T elevation in hemodynamically stable patients with suspected myocardial contusion after blunt chest trauma. *J Trauma.* 2000;48(0022-5282 (Print)):924-31.
81. Edouard AR, Felten MI, Hebert J-L, Hebert JI, Cosson C, Cosson C, Martin L, Martin L, Benhamou D, Benhamou D. Incidence and significance of cardiac troponin I release in severe trauma patients. *Anesthesiology.* 2004;101(0003-3022 (Print)):1262-8.
82. Rajan GP, Zellweger R. Cardiac troponin I as a predictor of arrhythmia and ventricular dysfunction in trauma patients with myocardial contusion. *J Trauma.* 2004;57(4):801-8; discussion 8.
83. Collet JP, Thiele H, Barbato E, Barthelémy O, Bauersachs J, Bhatt DL, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J.* 2021;42(14):1289-367.
84. Beggs CW, Helling TS, Helling Ts, Evans LL, Evans LI, Hays LV, Hays Lv, Kennedy FR, Kennedy Fr, Crouse LJ, Crouse LJ. Early evaluation of cardiac injury by two-dimensional echocardiography in patients suffering blunt chest trauma. (0196-0644 (Print)).
85. Hiatt JR, Yeatman LA, Jr., Child JS. The value of echocardiography in blunt chest trauma. *J Trauma.* 1988;28(7):914-22.
86. Nagy KK, Lohmann C, Kim DO, Barrett J. Role of echocardiography in the diagnosis of occult penetrating cardiac injury. *J Trauma.* 1995;38(6):859-62.
87. Catoire P, Orliaguet G, Liu N, Liu N, Delaunay L, Delaunay L, Guerrini P, Guerrini P, Beydon L, Beydon L, Bonnet F, et al. Systematic transesophageal echocardiography for detection of mediastinal lesions in patients with multiple injuries. *J Trauma.* 1995;38(0022-5282 (Print)):96-102.
88. Chirillo F, Totis O, Cavarzerani A, Cavarzerani A, Bruni A, Bruni A, Farnia A, Farnia A, Sarpellon M, Sarpellon M, Ius P, et al. Usefulness of transthoracic and transoesophageal echocardiography in recognition and management of cardiovascular injuries after blunt chest trauma. *Heart.* 1996;75(1355-6037 (Print)):301-6.
89. Goldberg SP, Karalis Dg, Ross JJ, Jr., Ross JJ, Jr. Severe right ventricular contusion mimicking cardiac tamponade: the value of transesophageal echocardiography in blunt chest trauma. *Ann Emerg Med.* 1993;22(0196-0644 (Print)):745-7.
90. Weiss RL, Brier JA, O'Connor W, Ross S, Brathwaite CM. The usefulness of transesophageal echocardiography in diagnosing cardiac contusions. *Chest.* 1996;109(1):73-7.
91. Vignon P, Boncoeur MP, Francois B, Rambaud G, Maubon A, Gastinne H. Comparison of multiplane transesophageal echocardiography and contrast-enhanced helical CT in the diagnosis of blunt traumatic cardiovascular injuries. *Anesthesiology.* 2001;94(4):615-22; discussion 5A.
92. Fabian TC, Davis KA, Gavant ML, Croce MA, Melton SM, Patton JH, Jr., et al. Prospective study of blunt aortic injury: helical CT is diagnostic and antihypertensive therapy reduces rupture. *Ann Surg.* 1998;227(5):666-76; discussion 76-7.
93. Gavant ML, Menke Pg, Fabian T, Fabian T, Flick PA, Flick Pa, Graney MJ, Graney Mj, Gold RE, Gold RE. Blunt traumatic aortic rupture: detection with helical CT of the chest. *Radiology.* 1995;197(0033-8419 (Print)):125-33.
94. Dyer DS, Moore Ee, Mestek MF, Mestek Mf, Bernstein SM, Bernstein Sm, Iklé DN, Iklé Dn, Durham JD, Durham Jd, Heinig MJ, et al. Can chest CT be used to exclude aortic injury? (0033-8419 (Print)).

95. Kulvatunyou N, Bauman ZM, Edine SBZ, de Moya M, Krause C, Mukherjee K, et al. The Small 14-French (Fr) Percutaneous Catheter vs. Large (28-32Fr) Open Chest Tube for Traumatic Hemothorax (P-CAT): A Multi-center Randomized Clinical Trial. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2021;16:16.
96. Adrales G, Huynh T, Broering B, Broering B, Sing RF, Sing Rf, Miles W, Miles W, Thomason MH, Thomason Mh, Jacobs DG, et al. A thoracostomy tube guideline improves management efficiency in trauma patients. *J Trauma*. 2002;52(0022-5282 (Print)):210-4; discussion 4-6.
97. Gambazzi F, Schirren J. [Thoracic drainage. What is evidence based?]. (0009-4722 (Print)).
98. Gilbert TB, McGrath Bj, Soberman M, Soberman M. Chest tubes: indications, placement, management, and complications. *J Intensive Care Med*. 1993;8(0885-0666 (Print)):73-86.
99. Waydhas C. [Thoracic trauma]. *Der Unfallchirurg*. 2000;103(10):871-89; quiz 90, 910.
100. Westaby S, Brayley N. ABC of major trauma. Thoracic trauma--I. *BMJ*. 1990;300(6740):1639-43.
101. Rhea JT, Novelline RA, Lawrason J, Sacknoff R, Oser A. The frequency and significance of thoracic injuries detected on abdominal CT scans of multiple trauma patients. *J Trauma*. 1989;29(4):502-5.
102. Tocino IM, Miller MH, Frederick PR, Bahr AL, Thomas F. CT detection of occult pneumothorax in head trauma. *AJR Am J Roentgenol*. 1984;143(5):987-90.
103. Wall SD, Federle MP, Jeffrey RB, Brett CM. CT diagnosis of unsuspected pneumothorax after blunt abdominal trauma. *AJR Am J Roentgenol*. 1983;141(5):919-21.
104. Kirkpatrick AW, Rizoli S, Ouellet JF, Roberts DJ, Sirois M, Ball CG, et al. Occult pneumothoraces in critical care: A prospective multicenter randomized controlled trial of pleural drainage for mechanically ventilated trauma patients with occult pneumothoraces. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2013;74(3):747-55.
105. Brasel KJ, Stafford Re, Weigelt JA, Weigelt Ja, Tenquist JE, Tenquist Je, Borgstrom DC, Borgstrom DC. Treatment of occult pneumothoraces from blunt trauma. *J Trauma*. 1999;46(0022-5282 (Print)):987-90; discussion 90-1.
106. Clements TW, Sirois M, Parry N, Roberts DJ, Trottier V, Rizoli S, et al. OPTICC: A multicentre trial of Occult Pneumothoraces subjected to mechanical ventilation: The final report. *American Journal of Surgery*. 2021;20(6):20.
107. Barrios C, Tran T, Malinoski D, Malinoski D, Lekawa M, Lekawa M, Dolich M, Dolich M, Lush S, Lush S, Hoyt D, et al. Successful management of occult pneumothorax without tube thoracostomy despite positive pressure ventilation. (0003-1348 (Print)).
108. Wilson H, Ellsmere J, Tallon J, Kirkpatrick A. Occult pneumothorax in the blunt trauma patient: tube thoracostomy or observation? *Injury*. 2009;40(9):928-31.
109. Wolfman NT, Myers WS, Glauser SJ, Meredith JW, Chen MY. Validity of CT classification on management of occult pneumothorax: a prospective study. *AJR Am J Roentgenol*. 1998;171(5):1317-20.
110. Holmes JF, Brant WE, Bogren HG, London KL, Kuppermann N. Prevalence and importance of pneumothoraces visualized on abdominal computed tomographic scan in children with blunt trauma. *J Trauma*. 2001;50(3):516-20.
111. Weissberg D, Refaely Y. Pneumothorax: experience with 1,199 patients. *Chest*. 2000;117(5):1279-85.
112. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M, Kay MV, Paffrath T, Mutschler W, et al. Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest. *Resuscitation*. 2007;75(2):276-85.
113. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann CT. Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management strategies and trauma management education. *World J Surg*. 2013;37(5):1154-61.
114. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, Haas NP, Buschmann CT. Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. *Resuscitation*. 2014;85(3):405-10.
115. Mowery NT, Gunter OL, Collier BR, Diaz JJ, Jr., Haut E, Hildreth A, et al. Practice management guidelines for management of hemothorax and occult pneumothorax. *J Trauma*. 2011;70(2):510-8.

116. Patel NJ, Dultz L, Ladhani HA, Cullinane DC, Klein E, McNickle AG, et al. Management of simple and retained hemothorax: A practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *Am J Surg.* 2021;221(1879-1883 (Electronic)):873-84.
117. Gilbert RW, Fontebasso AM, Park L, Tran A, Lampron J. The management of occult hemothorax in adults with thoracic trauma: A systematic review and meta-analysis. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2020;89(6):1225-32.
118. Inaba K, Lustenberger T, Recinos G, Georgiou C, Velmahos GC, Brown C, et al. Does size matter? A prospective analysis of 28-32 versus 36-40 French chest tube size in trauma. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2012;72(2):422-7.
119. Terada T, Nishimura T, Uchida K, Hagawa N, Esaki M, Mizobata Y. How emergency physicians choose chest tube size for traumatic pneumothorax or hemothorax: a comparison between 28Fr and smaller tube. *Nagoya J Med Sci.* 2020;82(1):59-68.
120. Tanizaki S, Maeda S, Sera M, Nagai H, Hayashi M, Azuma H, et al. Small tube thoracostomy (20-22 Fr) in emergent management of chest trauma. *Injury.* 2017;48(9):1884-7.
121. Boulanger BR, Kearney Pa, Tsuei B, Tsuei B, Ochoa JB, Ochoa JB. The routine use of sonography in penetrating torso injury is beneficial. (0022-5282 (Print)).
122. Thourani VH, Feliciano DV, Cooper WA, Brady KM, Adams AB, Rozycki GS, et al. Penetrating cardiac trauma at an urban trauma center: a 22-year perspective. *Am Surg.* 1999;65(9):811-6; discussion 7-8.
123. McNamara JJ, Messersmith JK, Dunn RA, Molot MD, Stremple JF. Thoracic injuries in combat casualties in Vietnam. *Ann Thorac Surg.* 1970;10(5):389-401.
124. Kish G, Kozloff L, Joseph WL, Adkins PC. Indications for early thoracotomy in the management of chest trauma. *Ann Thorac Surg.* 1976;22(1):23-8.
125. Mansour MA, Moore EE, Moore FA, Read RR. Exigent postinjury thoracotomy analysis of blunt versus penetrating trauma. *Surg Gynecol Obstet.* 1992;175(2):97-101.
126. Karmy-Jones R, Jurkovich GJ, Nathens AB, Shatz DV, Brundage S, Wall MJ, Jr., et al. Timing of urgent thoracotomy for hemorrhage after trauma: a multicenter study. *Arch Surg.* 2001;136(5):513-8.
127. Bowen TaRB. Emergency war surgery: second United States revision of the emergency war surgery NATO handbook: US Department of Defense. 1988.
128. Ben-Nun A, Orlovsky M, Best LA. Video-assisted thoracoscopic surgery in the treatment of chest trauma: long-term benefit. *Ann Thorac Surg.* 2007;83(2):383-7.
129. Goodman M, Lewis J, Guitron J, Reed M, Pritts T, Starnes S. Video-assisted thoracoscopic surgery for acute thoracic trauma. *Journal of emergencies, trauma, and shock.* 2013;6(2):106-9.
130. Billeter AT, Druen D, Franklin GA, Smith JW, Wrightson W, Richardson JD. Video-assisted thoracoscopy as an important tool for trauma surgeons: a systematic review. *Langenbecks Archives of Surgery.* 2013;398(4):515-23.
131. Jin J, Song B, Lei YC, Leng XF. Video-assisted thoracoscopic surgery for penetrating thoracic trauma. *Chinese Journal of Traumatology.* 2015;18(1):39-40.
132. Boyd M, Vanek Vw, Bourguet CC, Bourguet CC. Emergency room resuscitative thoracotomy: when is it indicated? (0022-5282 (Print)).
133. Velmahos GC, Degiannis E, Souter I, Allwood AC, Saadia R. Outcome of a strict policy on emergency department thoracotomies. *Arch Surg.* 1995;130(7):774-7.
134. Branney SW, Moore Ee, Feldhaus KM, Feldhaus Km, Wolfe RE, Wolfe RE. Critical analysis of two decades of experience with postinjury emergency department thoracotomy in a regional trauma center. *J Trauma.* 1998;45(0022-5282 (Print)):87-94; discussion -5.
135. Esposito TJ, Jurkovich GJ, Rice CL, Rice Cl, Maier RV, Maier Rv, Copass MK, Copass Mk, Ashbaugh DG, Ashbaugh DG. Reappraisal of emergency room thoracotomy in a changing environment. *J Trauma.* 1991;31(0022-5282 (Print)):881-5; discussion 5-7.
136. Mazzorana V, Smith RS, Morabito DJ, Brar HS. Limited utility of emergency department thoracotomy. *Am Surg.* 1994;60(7):516-20; discussion 20-1.

137. Brown SE, Gomez Ga, Jacobson LE, Jacobson Le, Scherer T, 3rd, Scherer T 3rd, McMillan RA, McMillan RA. Penetrating chest trauma: should indications for emergency room thoracotomy be limited? (0003-1348 (Print)).
138. Lorenz HP, Steinmetz B, Lieberman J, Schecoter WP, Macho JR. Emergency thoracotomy: survival correlates with physiologic status. *J Trauma*. 1992;32(6):780-5; discussion 5-8.
139. Jahangiri M, Hyde J, Griffin S, Magee P, Youhana A, Lewis T, et al. Emergency thoracotomy for thoracic trauma in the accident and emergency department: indications and outcome. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*. 1996;78(3 (Pt 1)):221-4.
140. Grove CA, Lemmon G, Anderson G, Anderson G, McCarthy M, McCarthy M. Emergency thoracotomy: appropriate use in the resuscitation of trauma patients. (0003-1348 (Print)).
141. Working Group AHSOACoSCoT. Practice management guidelines for emergency department thoracotomy. Working Group, Ad Hoc Subcommittee on Outcomes, American College of Surgeons-Committee on Trauma. *J Am Coll Surg*. 2001;193(3):303-9.
142. Fialka C, Sebök C, Kemetzhofer P, Kemetzhofer P, Kwasny O, Kwasny O, Sterz F, Sterz F, Vécsei V, Vécsei V. Open-chest cardiopulmonary resuscitation after cardiac arrest in cases of blunt chest or abdominal trauma: a consecutive series of 38 cases. *J Trauma*. 2004;57(0022-5282 (Print)):809-14.
143. Karmy-Jones R, Nathens A, Jurkovich GJ, Shatz DV, Brundage S, Wall MJ, Jr., et al. Urgent and emergent thoracotomy for penetrating chest trauma. *J Trauma*. 2004;56(3):664-8; discussion 8-9.
144. Powell DW, Moore EE, Cothren CC, Ciesla DJ, Burch JM, Moore JB, et al. Is emergency department resuscitative thoracotomy futile care for the critically injured patient requiring prehospital cardiopulmonary resuscitation? *J Am Coll Surg*. 2004;199(2):211-5.
145. Seamon MJ, Fisher CA, Gaughan JP, Kulp H, Dempsey DT, Goldberg AJ. Emergency department thoracotomy: survival of the least expected. *World J Surg*. 2008;32(4):604-12.
146. Schulz-Drost S, Mersch D, Gumbel D, Matthes G, Hennig FF, Ekkernkamp A, et al. Emergency department thoracotomy of severely injured patients: an analysis of the TraumaRegister DGU®. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2020;46(3):473-85.

2.8 Abdomen

R. Schwab*, W. Bader, S. Flohé, S. Huber-Wagner, E. Klar, L. Wessel, C. Güsgen

2.8.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Das Abdomen soll untersucht werden, obwohl ein unauffälliger Befund eine relevante intraabdominelle Verletzung selbst beim wachen Patienten nicht ausschließt.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Miller et al. beschreiben in einer prospektiven Studie an hämodynamisch stabilen Patienten nach stumpfem Abdominaltrauma, dass bei 372 untersuchten Patienten von 157 mit schmerzhaftem Abdomen oder Becken nur bei 25,5% eine intraabdominelle Verletzung in einer CT festgestellt werden konnte. Nur bei 20% der Patienten mit „Seatbelt Sign“ konnte in einer CT eine Verletzung nachgewiesen werden [1].

Livingston et al. [2] berichten in einer multizentrischen prospektiven Studie an 2299 Patienten mit stumpfem Bauchtrauma (Ausschlusskriterien: GCS ≤ 14 , Kinder ≤ 16 Jahre, im Notfall laparotomierte Patienten), dass eine positive klinische Untersuchung in Bezug auf äußere Verletzungszeichen oder Bauchschmerz bei 1406 (61%) der Patienten vorlag. Von diesen konnte nur bei 26% eine intraabdominelle Verletzung in einer CT nachgewiesen werden, wohingegen bei 11% der Patienten mit einer in einer CT nachgewiesenen Verletzung die klinische Untersuchung als unauffällig dokumentiert war. Von 265 Patienten mit im CT nachgewiesener, freier intraabdomineller Flüssigkeit hatten 212 (80%) einen auffälligen Befund in der klinischen Untersuchung. Die Sensitivität der klinischen Untersuchung in Bezug auf eine in einer CT nachgewiesene freie Flüssigkeit liegt in der Studie bei 85%, die Spezifität bei 28%, der positivprädiktive Wert bei 63% und der negative prädiktive Wert bei 57%.

In einer prospektiven Studie an 350 Patienten untersuchten Ferrara et al. die Aussagekraft der abdominalen Schmerzhaftigkeit in Bezug auf das Vorhandensein einer intraabdominellen Läsion, welche entweder mit der CT oder der diagnostischen Peritoneallavage (DPL) verifiziert wurde [5]. Sie berechneten eine Sensitivität von 82%, eine Spezifität von 45% und einen positiven prädiktiven Wert von 21% bei einem negativen prädiktiven Wert von 93%.

Gonzalez et al. [3] konnten in einer prospektiven Studie an 162 Patienten (2001–2003, Level-I-Traumazentrum) nach stumpfem Trauma mit klarer Bewusstseinslage (GCS ≥ 14) und unauffälliger klinischer Untersuchung des Abdomens (aber mit der Notwendigkeit einer notfallmäßigen extraabdominalen chirurgischen Intervention [88% unfallchirurgisch] und einer durchgeführten CT des Abdomens) zeigen, dass diese Patienten vor Durchführung des Notfalleingriffes keine CT-Diagnostik des Abdomens erhalten müssen, da die klinische Untersuchung in diesem Patientengut ausreichende Verlässlichkeit bietet. Die durchgeführte CT-Diagnostik erbrachte nur in 2 Fällen (1,2%) pathologische intraperitoneale Befunde, welche keiner weiteren Intervention bedurften (Milzverletzung, Mesenterialhämatom).

Begleitverletzungen

Grieshop et al. [4] versuchten in einer Studie an 1096 Patienten mit stumpfem Bauchtrauma, klinische Möglichkeiten zu diskriminieren, durch welche Patienten herausgefiltert werden könnten, bei denen eine weitere CT-Diagnostik unnötig ist. Patienten im Schockzustand mit einem GCS-Wert <11 oder erlittenem spinalen Trauma wurden ausgewertet, aber aufgrund der eingeschränkten Möglichkeit der klinischen Untersuchung nicht in die Statistik eingeschlossen (n = 140). Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass neben einer auffälligen klinischen Untersuchung (abdomineller Druckschmerz, Abwehrspannung oder sonstige Zeichen eines Peritonismus) auch das Vorliegen einer Makrohämaturie oder eines Thoraxtraumas (Frakturen der Costa I oder II, Rippenserienfrakturen, Sternumfraktur, Skapulafraktur, Mediastinalverbreiterung, Hämato- oder Pneumothorax) als Risikofaktor gesehen werden muss. So erhöhe sich das Risiko einer intraabdominellen Verletzung bei begleitendem Thoraxtrauma um den Faktor 7,6 und im Falle einer gleichzeitigen Makrohämaturie um den Faktor 16,4. Alle Patienten mit relevanten intraabdominellen Verletzungen (n = 44) gehörten zu der Gruppe mit entweder einer auffälligen klinischen Untersuchung oder dem Vorliegen eines der beiden oder beider genannter Risikofaktoren (n = 253) entsprechend einer Sensitivität von 100%. Zum Ausschluss einer Organverletzung, so fordern die Autoren weiter, müsse in solchen Fällen weitere Diagnostik, z.B. mittels einer Computertomografie des Abdomens, durchgeführt werden. Bei den restlichen 703 Patienten, welche weder eine auffällige klinische Untersuchung noch einen Risikofaktor aufwiesen, wurden auch keine intraabdominellen Verletzungen festgestellt. Der berechnete negative prädiktive Wert betrug 100%, sodass auf weitere Diagnostik in diesen Fällen verzichtet werden könne. Eine begleitende knöcherne Beckenverletzung, ein geschlossenes Schädel-Hirn-Trauma, Wirbelsäulenverletzungen und Frakturen der langen Röhrenknochen der unteren Extremität sind laut dieser Studie keine signifikanten unabhängigen Risikofaktoren.

Ballard et al. und Mackersie et al. fanden dagegen in prospektiven Studien heraus, dass auch Beckenfrakturen mit einem erhöhten Risiko für eine intraabdominelle Organverletzung verbunden sind, sodass hierbei aus mehreren Gründen eine CT-Diagnostik gefordert wird [5, 6].

Schurink et al. [7] untersuchten den Stellenwert der klinischen Untersuchung in einer retrospektiven Studie an 204 Patienten bei weiterer Untergliederung des Kollektivs in vier Gruppen: Patienten mit isoliertem Abdominaltrauma (n = 23), Patienten mit Frakturen der unteren Rippen (Costa 7–12) (n = 30), Patienten mit isoliertem Trauma des Neurokraniums (n = 56) und polytraumatisierte Patienten (ISS ≥18) (n = 95). Alle Patienten erhielten eine Sonografie des Abdomens. In Bezug auf die Gruppe mit isoliertem Abdominaltrauma fanden die Untersucher für die klinische Untersuchung an 20 Patienten eine Sensitivität von 95% und einen negativen prädiktiven Wert von 71% bei einem positiven prädiktiven Wert von 84% für das Vorliegen einer intraabdominalen Verletzung. Bei den Patienten mit Rippenfrakturen fand sich eine Sensitivität und ein negativer prädiktiver Wert von 100% bei vier auffälligen klinischen Befunden.

Sonografie

2.8.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine initiale fokussierte abdominelle Sonografie zum Screening freier Flüssigkeit, „Focused Assessment with Sonography for Trauma“ (FAST), sollte durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.8.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Sonografische Wiederholungsuntersuchungen sollten im zeitlichen Verlauf erfolgen, wenn eine computertomografische Untersuchung nicht zeitnah durchgeführt werden kann.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 95%	

2.8.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Sofern die Computertomografie nicht durchführbar ist, kann eine gezielte sonografische Suche nach Parenchymverletzungen ergänzend zur FAST eine Alternative darstellen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

In einem systematischen Review von vier randomisierten und kontrollierten Studien zur Wertigkeit ultraschallbasierter Algorithmen in der Diagnostik von Patienten nach stumpfen Bauchtraumata konnten Stengel et al. zeigen, dass es zurzeit keine Evidenz zur Empfehlung ultraschallbasierter Algorithmen gibt [8]. Derselbe Autor führte eine frühere Metaanalyse bzw. ein systematisches Review zu der Frage nach dem diagnostischen Wert der Sonografie als primäres Untersuchungsmittel zur Erkennung freier intraabdomineller Flüssigkeit (FAST) (19 Studien) oder einer intraabdominellen Organläsion (11 Studien) nach stumpfem Bauchtrauma durch. Bei den 30 ausgewerteten Studien wurden Untersuchungen bis Juli 2000 mit insgesamt 9047 Patienten und Evidenzgraden von IIb–IIIb berücksichtigt [9]. Als ein Resultat der Analyse wird berichtet, dass die Sonografie des Abdomens nur gering sensitiv in der Diagnostik freier Flüssigkeit und intraabdomineller Organverletzungen ist. So werde jede zehnte Organläsion in der primären Sonografie nicht erkannt. Daher wird die Sonografie als nicht ausreichend in der Primärdiagnostik nach Abdominaltrauma erachtet und die weitere Diagnostik (z.B. die Spiral-CT) sowohl bei negativem als auch bei positivem Befund empfohlen [8, 9].

FAST

Miller et al. untersuchten den Stellenwert der FAST unter der Hypothese, dass das Vertrauen auf die Verlässlichkeit einer FAST-Untersuchung zum Übersehen von intraabdominellen Verletzungen nach Abdominaltrauma führt, in einer prospektiven Studie an 359 hämodynamisch stabilen Patienten [1]. Als Goldstandard wurde die CT des Abdomens innerhalb 1 Stunde nach der Ultraschalluntersuchung bei allen Patienten eingesetzt. Die FAST wurde in vier Einstellungen durchgeführt und bei Nachweis von freier Flüssigkeit als positiv bewertet. Die FAST-Untersuchung erbrachte hierbei 313 richtig negative, 16 richtig positive, 22 falsch negative und 8 falsch positive Befunde. Dies führte zu einer Sensitivität von 42%, einer Spezifität von 98%, einem positiven prädiktiven Wert von 67% und einem negativen prädiktiven Wert von 93%. Von den 22 falsch negativ diagnostizierten Patienten hatten 16 Parenchymschäden der Leber oder Milz, jeweils einer eine Mesenterialverletzung und Gallenblasenruptur, zwei eine retroperitoneale Verletzung und zwei weitere Patienten freie Flüssigkeit ohne in einer CT erkennbare Verletzung. Sechs Patienten dieser Gruppe mussten operiert werden und einer erhielt eine Gefäßembolisation mittels Angiografie. Unter den 313 Patienten mit richtig negativem FAST-Befund konnten durch die CT-Untersuchung weitere 19 Leber- und Milzverletzungen sowie elf retroperitoneale Verletzungen (u.a. Hämatom der Aortenwand, Blutung Pankreaskopf, Nierenkontusion) diagnostiziert werden. Bei keinem dieser Patienten musste operativ interveniert werden. Folglich fordern die Autoren unabhängig vom Befund der FAST-Untersuchung die weitere

Abklärung der ausreichend hämodynamisch stabilen Patienten durch eine CT-Untersuchung des Abdomens und Beckens [1].

In einem systematischen Review von Studien zum Stellenwert der FAST in der Diagnostik nach Abdominaltrauma von McGahan et al. findet sich eine Variationsbreite der Sensitivität der Untersuchung in der Erkennung freier Flüssigkeit zwischen 63 und 100%. McGahan et al. kritisieren, dass bei den Studien, welche hohe Sensitivitäten angaben und die FAST als eine geeignete initiale Screeningmethode nennen, signifikante Schwächen im Studiendesign feststellbar sind (keine Standardreferenz, kein konsekutiver Einschluss) [10].

Soyuncu et al. beschreiben eine prospektive Fallserie mit 442 eingeschlossenen Patienten, welche ein stumpfes Bauchtrauma erlitten hatten. In dieser konnten sie zeigen, dass eine FAST, durch einen in der Sonografie des Abdomens Erfahrenen (mind. 1 Jahr Erfahrung) durchgeführt, eine Sensitivität von 86% und eine Spezifität von 99% hat bei 0,95% falsch positiven und 1,1% falsch negativen Ergebnissen (Kontrolle Laparotomie, CT, Autopsie) [11].

Sonografie mit Organdiagnostik

In einer prospektiven Untersuchung verglichen Liu et al. [12] an 55 hämodynamisch stabilen Patienten die diagnostische Aussagefähigkeit des Ultraschalls (mit Screening auf freie Flüssigkeit und Organläsion), der Computertomografie und der DPL an denselben Patienten miteinander. Die DPL wurde erst nach den bildgebenden Verfahren durchgeführt, um die Diagnostik freier Flüssigkeit durch diese nicht zu verfälschen. Für den Ultraschall fanden die Autoren eine Sensitivität von 91,7% und eine Spezifität von 94,7% in der Diagnostik einer intraabdominellen Verletzung (ohne zu differenzieren zwischen dem Nachweis freier Flüssigkeit und dem direkten Nachweis einer Organläsion), welche unter den Ergebnissen der DPL und der CT lagen. Als Nachteile des Ultraschalls werden genannt: (1) die technische Schwierigkeit des Ultraschalls bei subkutanem Emphysem, (2) bei voroperierten Patienten könne freie Flüssigkeit eventuell nicht in den Douglas-Raum abfließen und somit der Diagnostik entgehen, (3) Pankreas und Hohlorganverletzungen könnten nicht gut beurteilt werden sowie (4) die mangelhafte Beurteilbarkeit des retroperitonealen Raumes. Abschließend empfahlen die Autoren den Ultraschall aufgrund seiner Praktikabilität als primäres diagnostisches Mittel bei der Untersuchung hämodynamisch instabiler Patienten, warnten aber davor, die Aussagekraft der Untersuchung aufgrund der genannten Limitationen zu überschätzen.

Richards et al. [13] untersuchten in einer Studie an 3264 Patienten die Güte der Ultraschalluntersuchung des Abdomens hinsichtlich der Diagnostik von freier Flüssigkeit und parenchymatösen Organläsionen nach Abdominaltrauma. Abweichend von der FAST-Untersuchung wurde in dieser Studie somit auch explizit nach parenchymatösen Organläsionen der Leber und Milz oder Niere geschallt. Die Ergebnisse wurden mittels CT, Laparotomie, DPL oder klinischer Beobachtung nachkontrolliert. Freie Flüssigkeit wurde sonografisch bei 288 Patienten nachgewiesen und mittels CT und Laparotomie kontrolliert. Dies ergab eine Sensitivität von 60%, eine Spezifität von 98%, einen negativen prädiktiven Wert von 95% und einen positiven prädiktiven Wert von 82% für die Diagnostik von freier Flüssigkeit allein. Spezifische Organläsionen wurden in 76 Fällen gefunden, 45 mit gleichzeitig vorliegender freier Flüssigkeit. Der gleichzeitige gezielte Ultraschall nach einer parenchymatösen Organläsion erhöhte die Sensitivität der Diagnostik einer intraabdominellen Verletzung auf 67%.

Brown et al. [14] untersuchten 2693 Patienten nach Abdominaltrauma ebenso wie Richards und Liu et al. auf freie Flüssigkeit und auch gezielt auf Parenchymverletzungen. Von diesen hatten 172 eine intraabdominelle Verletzung, welche durch eine Laparotomie, DPL, CT, einen klinischen Verlauf oder eine Autopsie verifiziert worden waren. Bei 44 Patienten (26%) konnte kein Hämato-peritoneum im

Ultraschall festgestellt werden, aber bei 19 dieser Patienten (43%) konnte eine Organläsion im Ultraschall diagnostiziert werden.

Die Autoren schlussfolgern, dass durch eine Beschränkung auf eine kurze, auf die Diagnostik freier Flüssigkeit fokussierte Sonografie (FAST) Organverletzungen übersehen werden. Im Rahmen der Notfalldiagnostik solle daher eine Ultraschalluntersuchung mit der Frage nach freier Flüssigkeit und nach Verletzungen parenchymatöser Organe erfolgen.

Höhere Sensitivitäten (88%) für den Nachweis einer intraabdominellen Verletzung fanden sich bei Healey et al. [15] in einer prospektiven Studie an 800 Patienten. Auch in dieser Studie wurde auf freie Flüssigkeit und Organläsionen gescreent und durch eine CT, DPL, Laparotomie, eine erneute Sonografie oder einen klinischen Verlauf gegenevaluert.

In einem vergleichbaren Studiendesign konnten auch Poletti et al. [16] von höheren Sensitivitäten berichten. Sie untersuchten 439 Patienten nach Abdominaltrauma. 222 dieser Patienten wurden nach primär unauffälligem Befund nicht weiter untersucht und mit der Maßgabe, sich bei subjektiver Verschlechterung wieder vorzustellen, entlassen. Nur die restlichen 217 Patienten wurden ausgewertet: Für die Sonografie zeigte sich eine Sensitivität von 93% (77 von 83 Patienten) für den Nachweis freier Flüssigkeit und eine Sensitivität von 41% (39 von 99 Patienten) für den direkten Nachweis einer parenchymatösen Organverletzung, wobei Verletzungen der Leber in Relation zu anderen Organläsionen gut diagnostiziert werden konnten. In einer Wiederholungsuntersuchung bei primär negativem Befund konnten diese Werte noch gesteigert werden, allerdings war zuvor in einer CT-Untersuchung ein pathologischer Befund festgestellt worden und dem Untersucher auch bekannt. Insgesamt wurden 205 Patienten durch die CT nachuntersucht.

McElveen et al. [17] untersuchten (auf freie Flüssigkeit und Organläsion) 82 konsekutive Patienten und kontrollierten alle diese Patienten mit einer Referenzuntersuchung (71 durch CT, sechs durch Wiederholungsuntersuchung, drei durch DPL und zwei durch Laparotomie) und einem Follow-up für einen 1-wöchigen Zeitraum nach Trauma, entweder hospitalisiert oder ambulant. Bei einer Sensitivität von 88% und einer Spezifität von 98%, begleitet von einem negativen prädiktiven Wert von 97% in der Diagnostik einer intraabdominellen Verletzung, empfahlen sie die Ultraschalluntersuchung als initiale Untersuchungsmethode nach Bauchtrauma.

In einer prospektiven Untersuchung an 210 konsekutiv eingeschlossenen, hämodynamisch stabilen Patienten nach stumpfem Bauchtrauma verglichen Poletti et al. die diagnostische Güte der Sonografie (mit und ohne intravenöses Kontrastmittel) mit der CT. Die Patienten wurden zunächst konventionell sonografiert (inklusive Organdiagnostik) und dann in einer CT untersucht. Patienten mit falsch negativen Befunden in der primären Sonografie erhielten zunächst eine konventionelle Resonografie und dann bei erneut negativem Befund eine kontrastmittelverstärkte Ultraschalluntersuchung. Poletti et al. [18] konnten zeigen, dass weder eine konventionelle Wiederholungssonografie noch die kontrastmittelverstärkte Sonografie die Güte der Computertomografie in der Detektion von Organverletzungen erreicht. In der Computertomografie konnten 88 Organverletzungen (solide Organe) in 71 Patienten nachgewiesen werden. Von 142 Patienten, bei denen in der CT keine freie Flüssigkeit (intra- oder retroperitoneal) nachgewiesen werden konnte, wurden bei 33 (23%) Organläsionen (alle Organe) gefunden. Vier dieser Patienten (12%) benötigten eine Intervention (Laparotomie/interventionelle Angiografie). Die primäre Sonografie erkannte 40% (35 von 88), die Kontrollsonografie 57% (50 von 88) und die kontrastmittelverstärkte Sonografie 80% (70 von 88) der Verletzungen solider Organe. Die Autoren folgerten, dass auch eine kontrastmittelverstärkte Sonografie die Computertomografie beim hämodynamisch stabilen Patienten nicht ersetzen kann.

Wiederholungsuntersuchungen

Hinsichtlich des Stellenwertes einer wiederholten sonografischen Kontrolle des Patienten nach Abdominaltrauma zeigten Hoffmann et al. [19], dass bei 19 (18%) von 105 Patienten mit primär unklarem Befund erst durch eine wiederholte Ultraschalluntersuchung noch im Schockraum (nach kreislaufstabilisierenden Maßnahmen) sicher freie Flüssigkeit intraabdominell nachgewiesen werden konnte. Die Autoren wiesen darauf hin, dass die Untersuchung möglichst von demselben Untersucher durchgeführt werden sollte, um eine optimale Verlaufskontrolle zu erreichen. Die Kontrolluntersuchung sollte rund 10–15 Minuten nach der Primäruntersuchung bei Patienten mit initial minimalem Flüssigkeitsnachweis (1–2 mm Saum) oder unklaren Befunden durchgeführt werden. Im Vergleich zu einer DPL könne durch die wiederholte Sonografie eine eventuelle Zunahme freier Flüssigkeit dokumentiert werden und die Sonografie auch zur Diagnostik retroperitonealer und intrathorakaler Verletzungen eingesetzt werden.

Eine Steigerung der Sensitivität der Ultraschalluntersuchung durch eine wiederholte Untersuchung berichten auch Richards et al. [13] in der oben schon erwähnten Studie.

Nunes et al. [20] konnten in einer prospektiven Studie an 156 Patienten nach stumpfem oder penetrierendem Bauchtrauma zeigen, dass durch Wiederholungen der Ultraschalluntersuchung im Verlauf eine Reduktion der falsch negativen Ergebnisse bezüglich des Nachweises freier intraabdominaler Flüssigkeit um 50% erzielt werden konnte und somit die Sensitivität von 69% (bei einmaligem Scan) auf 85% gesteigert wurde.

Untersucher

Bezüglich der Frage, wer die Untersuchung durchführen soll, äußern sich Hoffmann et al. [19] dahingehend, dass das alleinige Screening auf freie Flüssigkeit mit dem Ultraschall leicht erlernbar sei und dann von einem Mitglied des Schockraumteams verlässlich durchgeführt werden könne. Inwieweit spezifische Fragestellungen jedoch nach der Art und Dauer des Trainings sicher zu beantworten seien, bleibe unklar.

Eine prospektive Studie von Ma et al. [21] zeigte, dass eine 10-stündige theoretische Einführung, verbunden mit der Durchführung von 10–15 Untersuchungen an Gesunden, ausreiche, um eine diagnostische Sicherheit in der Notfallsonografie des Abdomens zu erreichen, solange diese sich auf den Nachweis/Ausschluss von freier Flüssigkeit beschränke.

Gleichlautend, jedoch nicht auf einer Studie basierend ist die Empfehlung von McElveen et al. [17]. Sie forderten 15 Untersuchungen an normalen Patienten und 50 kontrollierte Untersuchungen an Traumapatienten.

Eine retrospektive Untersuchung durch Smith et al. [22] zur Güte des Ultraschalls durch angelegerte, erfahrene Chirurgen zeigte, dass es keiner vorherigen ausgiebigen Ultraschallerfahrung bedarf und dass keine „learning curve“ bestand.

Brown et al. [14] fordern, jedoch auch ohne Vergleichsstudie, im Sinne der Erhöhung der Sensitivität der Ultraschalluntersuchung, auch das Screening auf spezielle Organläsionen einzuschließen, und empfahlen hierfür die Durchführung durch einen erfahrenen Untersucher.

Diagnostische Peritoneallavage

Die Empfehlung zur Durchführung einer diagnostischen Peritoneallavage im Schockraum wurde von den Autoren mit starkem Konsens (100% Zustimmung) empfohlen zu streichen, da sie weder zeitgemäß ist, noch eine klinische Anwendung findet.

Mit einer Sensitivität von 100% und einer Spezifität von 84,2% war die DPL die sensitivste Methode zum Nachweis einer intraabdominalen Verletzung in der Vergleichsstudie mit CT und Sonografie von Liu et al. [12]. Allerdings, so führen die Autoren an, führe die hohe Sensitivität (z.B. durch den Nachweis von Blut durch die Katheterinsertion) zu einer relevanten Anzahl nichttherapeutischer Laparotomien. Kritisch sehen Liu et al. die DPL auch bei Vorliegen eines retroperitonealen Hämatoms, da schon kleine Einrisse im Peritoneum ein positives Ergebnis erbrächten, welches von sechs Patienten mit retroperitonealem Hämatom bei der Hälfte zu einer unnötigen Laparotomie geführt habe.

Hoffmann [19] sieht die Indikation zur DPL nur noch in Ausnahmefällen bei nicht mit dem Ultraschall untersuchbaren Patienten (z.B. extreme Adipositas oder Bauchdeckenemphysem), da die DPL im Vergleich zum Ultraschall und zur CT keine Aussage hinsichtlich retroperitonealer Verletzungen erlaube. Waydhas nennt als Kontraindikation der DPL vor allem vorausgegangene Laparotomien im Unterbauch. Die Autoren fanden jedoch in einer prospektiven Studie an 106 polytraumatisierten Patienten eine deutlich geringere Sensitivität für die Sonografie (88%) gegenüber der DPL (95%). Trotz der geringeren Sensitivität empfahlen sie den Ultraschall als nichtinvasives, nie kontraindiziertes und auch zur Feststellung spezieller Organläsionen befähigtes Diagnostikum als initiale Screeningmethode, welche im Falle einer hämodynamischen Instabilität bei unklarem oder negativem Ultraschallbefund zur Steigerung der Sensitivität durch die DPL ergänzt werden könne [23].

Eine Indikation für den primären Einsatz der DPL besteht theoretisch beim hämodynamisch instabilen Patienten und beim Ausfall weiterer Diagnostika (Sonografie).

Computertomografie

2.8.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT) hat eine hohe Sensitivität und die höchste Spezifität im Erkennen intraabdomineller Verletzungen und soll deshalb nach Abdominaltrauma durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

In der prospektiven Untersuchung von Liu et al. [12] verglichen die Autoren an 55 hämodynamisch stabilen Patienten die diagnostische Aussagefähigkeit des Ultraschalls (mit Screening auf freie Flüssigkeit und Organläsion), der Computertomografie und der DPL an denselben Patienten miteinander. Für die CT fanden sie hierbei eine Sensitivität von 97,2% bei einer Spezifität von 94,7%. Entsprechend gute Ergebnisse beschreiben neuere Studien [24, 25] auch gesondert für den Nachweis einer Hohlorganverletzung durch die Computertomografie (nach Verabreichung eines oralen und intravenösen Kontrastmittels), welche in anderen Studien noch als diagnostischer Schwachpunkt des CTs erkannt wurde [22]. Weiterhin beschreiben Liu et al. die Vorteile der Computertomografie des Abdomens gegenüber der Sonografie und der DPL durch die Möglichkeit, auch das Retroperitoneum sicher darstellen zu können. Die CT kann gut zwischen Hämoperitoneum und Flüssigkeitsverhalt unterscheiden und mittels Kontrastmittel eine frische Blutung lokalisieren. Außerdem könnte durch die Computertomografie des Abdomens (durch das Knochenfenster) gleichzeitig auch eine Diagnostik der Wirbelsäule und des Beckens (oder durch eine Ganzkörperspirale entsprechend dem Verletzungsmuster) erfolgen [26]. Aufgrund der ebenfalls schon berichteten Ergebnisse empfehlen Miller et al. und andere Autoren die Computertomografie des Abdomens beim kreislaufstabilen Patienten unabhängig vom Ultraschallergebnis einer FAST-Untersuchung, da die CT im Vergleich sensitiver in der Diagnostik einer intraabdominellen Läsion erscheint [1].

Hinsichtlich der technischen Durchführung der Untersuchung empfiehlt Linsenmaier für das Abdominaltrauma eine Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT) mit regelhafter venöser Kontrastmittelgabe. Die Schichtdicke sollte in kraniokaudaler Scanrichtung bei einem Pitch von 1,5 mind. 5–8 mm betragen. Bei Verdacht auf eine Verletzung des Urogenitalsystems sollte ein Spätscan (3–5 Minuten nach Bolusgabe) erfolgen [27]. Wenn praktisch möglich, kann grundsätzlich zur verbesserten Diagnostik von Darmverletzungen auch eine Verabreichung eines oralen Kontrastmittels erfolgen [26, 27]. Novelline beschreibt die Gabe von Gastrografin über die Magensonde zunächst im Schockraum direkt nach der Anlage, dann kurz vor dem Transport und zuletzt in der Gantry. Hierdurch würden in der Regel der Magen, das Duodenum und das Jejunum darstellbar. Auch sei eine Kontrastierung des Rektums/Sigmoids via Gabe eines Kontrastmittels über einen Rektaldrain möglich [26].

In einer retrospektiven Fall-Kontroll-Studie an 96 Patienten (54 konsekutiv eingeschlossene mit Darm-/Mesenterialverletzung sowie 42 gematchte Paare ohne Verletzung) mit Laparotomie nach Abdominaltrauma sowie präoperativer CT (standardisiert mit Gabe eines oralen Kontrastmittels über die Magensonde noch im Schockraum) konnten Atri et al. [28] zeigen, dass die Mehrschicht-CT verlässlich relevante Verletzungen am Darm/Mesenterium erkennt und einen hohen negativen prädiktiven Wert hat. Drei Radiologen unterschiedlicher Ausbildungsstände evaluierten die CTs ohne das Outcome zu kennen. 38 (40%) der Untersuchten hatten chirurgischrelevante Verletzungen, 58 (60%) hatten entweder keine oder zu vernachlässigende Verletzungen des Darmes oder Mesenteriums. Die Sensitivität lag bei den drei Untersuchern zwischen 87–95%. Nur zehn CTs wurden ohne orales Kontrastmittel durchgeführt, da die Patienten sofort in die CT gefahren wurden.

Stuhlfaut et al. hingegen kamen in einer retrospektiven Studie an 1082 Patienten (in den Jahren von 2001–2003), welche eine Mehrschicht-CT des Abdomens und Beckens ohne orales Kontrastmittel erhielten zu dem Schluss, dass dieses Verfahren ausreiche, um Darm- und Mesenterialverletzungen zu detektieren, welche einer chirurgischen Therapie bedürfen. Bei 14 Patienten bestand nach der CT der Verdacht auf eine Darm- oder Mesenterialverletzung. Vier CTs dieser Patienten zeigten ein Pneumoperitoneum, zwei ein mesenteriales Hämatom und Darmwandveränderungen sowie jeweils vier nur ein mesenteriales Hämatom oder Darmwandverdickungen. Bei elf dieser Patienten konnte eine Darm-/Mesenterialverletzung chirurgisch nachgewiesen werden. Es zeigten sich 1066 richtig negative, 9 richtig positive, 2 falsch negative sowie 5 falsch positive Ergebnisse. Die Sensitivität betrug 82% und die Spezifität 99%. Der negative prädiktive Wert der Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT)-Untersuchung ohne Kontrastmittel betrug 99% [29].

Obwohl der Vorteil einer Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT) mit regelhafter venöser Kontrastmittelgabe zur raschen und sicheren Diagnostik des Verletzungsmaßes für das Überleben eindeutig nachweisbar ist, sollte die hohe Strahlenbelastung stets bedacht werden. Im Kindesalter wird bei gut 70% eine Strahlendosis erreicht, die potentiell ein Schilddrüsen-malignom induzieren kann [30]. Für erwachsene Patienten liegen dazu keine gesicherten Daten vor. Trotzdem sollte diese mögliche Malignominduktion bei der Indikationsstellung stets erwogen werden.

Brofman et al. [31] empfehlen bei Unklarheit (nur unspezifische radiologische Befunde) hinsichtlich eventuell vorliegender Darm-/Mesenterialverletzungen eine klinische Reevaluation und eine Wiederholungsuntersuchung.

Die Einführung des Mehrschicht-Spiral-CTs wird in Expertenäußerungen einheitlich als Fortschritt in der Spiral-CT-Technik gewertet, da sich neben einer besseren Auflösung die Scandauer erheblich verkürzen lasse und Bewegungsartefakte weniger zum Tragen kämen [16, 26, 27, 32]. Von denselben Autoren wird für die CT-Diagnostik von Frischverletzten auf die Wichtigkeit der Verwendung vorprogrammierter Protokolle hingewiesen (Lagerung, Schichtdicke, Tischvorschub, Zeitpunkt und Art der Applikation von Kontrastmittel, Knochen-/Weichteilfenster, Rekonstruktionen), da sich

hierdurch eine wesentliche Verkürzung der Untersuchung erreichen lasse. Unter Berücksichtigung von Begleitverletzungen empfehlen einige Autoren nach eventuell erfolgter Stabilisierung (bei welcher auch eine Sonografie des Abdomens mit der Frage nach freier Flüssigkeit durchgeführt werden soll) den Einsatz einer Ganzkörper-MSCT. Die Ganzkörper-MSCT erlaubt neben der Untersuchung des Abdomens auch die Diagnostik des Schädels, Thorax, Stammskelettes und der Extremitäten in einem Untersuchungsgang [32].

Die Computertomografie ist die einzige diagnostische Methode, für welche Verletzungsscores [33] vorliegen, anhand welcher Therapieentscheidungen abgeleitet werden können [34].

Eine Einschränkung kann die Durchführung einer MSCT durch den hämodynamischen Zustand des Patienten erfahren (siehe Abschnitt „Einfluss des hämodynamischen Zustandes des Patienten auf die Diagnostik“).

Einfluss des hämodynamischen Zustandes des Patienten auf die Diagnostik

2.8.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei hämodynamisch aufgrund einer intraabdominellen Läsion (freie Flüssigkeit) nicht stabilisierbaren Patienten sollte unverzüglich eine Notfall-Laparotomie eingeleitet werden. Die Möglichkeit eines Schocks nicht abdomineller Ursache sollte hierbei berücksichtigt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Der diagnostische Algorithmus eines Patienten mit stumpfem Bauchtrauma wird grundlegend von dessen Vitalparametern beeinflusst. Oberste Priorität in der Frühphase der Behandlung haben somit die sofortige Evaluierung und Stabilisierung der Vitalparameter. Lässt sich trotz sofortiger Volumensubstitution bzw. Massentransfusion keine ausreichende Kreislauffunktion wiederherstellen, fordern Nast-Kolb et al. bei positiver Unfallanamnese und vorliegendem Verdacht auf eine intraabdominelle Verletzung, eine unmittelbare Notfall-Laparotomie einzuleiten [35]. Grundsätzlich sollte die Indikation zur Notfall-Laparotomie auch bei instabilen Vitalparametern durch eine parallel zum Polytrauma-Management stattfindende Sonografie des Abdomens gestützt werden. Diese Basisdiagnostik ist ohne weitere Zeitverzögerung möglich [12, 16]. Die Arbeitsgruppe um Nast-Kolb fordert bei vorliegenden Schockzuständen sowie bei polytraumatisierten Patienten (ISS \geq 29) auch bei nur geringem Flüssigkeitsnachweis die frühzeitige Laparotomie. Dies begründen die Autoren mit der Tatsache, dass eine retrospektiv nicht therapeutische Laparotomie im Vergleich zur erforderlichen Sekundäroperation bei primär übersehener Organverletzung eine wesentlich geringere Traumatisierung und Gefährdung darstelle [35].

Eine CT-Untersuchung des Abdomens sollte erst bei adäquater Kreislaufstabilität erfolgen [32, 35-38], da therapeutische Interventionen, wie sie ggf. zur Stabilisierung des Patienten nötig werden können, in der CT-Gantry nur beschränkt möglich sind [32, 35, 37, 38]. Diese Empfehlung behält grundsätzlich ihre Gültigkeit [38-40], während Hilbert et al. [41] auch den primären Einsatz der CT auch beim instabilen Patienten diskutieren.

Literatur

1. Miller MT, Pasquale MD, Bromberg WJ, Wasser TE, Cox J. Not so FAST. *J Trauma*. 2003;54(1):52-9; discussion 9-60.
2. Livingston DH, Lavery RF, Passannante MR, Skurnick JH, Baker S, Fabian TC, et al. Free fluid on abdominal computed tomography without solid organ injury after blunt abdominal injury does not mandate celiotomy. *Am J Surg*. 2001;182(1):6-9.
3. Gonzalez RP, Han M, Turk B, Luteran A. Screening for abdominal injury prior to emergent extra-abdominal trauma surgery: a prospective study. *J Trauma*. 2004;57(4):739-41.
4. Grieshop NA, Jacobson LE, Gomez GA, Thompson CT, Solotkin KC. Selective use of computed tomography and diagnostic peritoneal lavage in blunt abdominal trauma. *J Trauma*. 1995;38(5):727-31.
5. Ballard RB, Rozycki GS, Newman PG, Cubillos JE, Salomone JP, Ingram WL, et al. An algorithm to reduce the incidence of false-negative FAST examinations in patients at high risk for occult injury. *Focused Assessment for the Sonographic Examination of the Trauma patient*. *J Am Coll Surg*. 1999;189(2):145-50; discussion 50-1.
6. Mackersie RC, Tiwary AD, Shackford SR, Hoyt DB. Intra-abdominal injury following blunt trauma. Identifying the high-risk patient using objective risk factors. *Arch Surg*. 1989;124(7):809-13.
7. Sherck JP, Oakes DD. Intestinal injuries missed by computed tomography. *J Trauma*. 1990;30(1):1-5; discussion -7.
8. Stuhlfaut JW, Soto JA, Lucey BC, Ulrich A, Rathlev NK, Burke PA, et al. Blunt abdominal trauma: performance of CT without oral contrast material. *Radiology*. 2004;233(3):689-94.
9. Stengel D, Bauwens K, Sehouli J, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A, et al. Emergency ultrasound-based algorithms for diagnosing blunt abdominal trauma. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2005;(2):CD004446.
10. McGahan JP, Richards J, Gillen M. The focused abdominal sonography for trauma scan: pearls and pitfalls. *J Ultrasound Med*. 2002;21(7):789-800.
11. Stengel D, Bauwens K, Sehouli J, Porzsolt F, Rademacher G, Mutze S, et al. Systematic review and meta-analysis of emergency ultrasonography for blunt abdominal trauma. *The British journal of surgery*. 2001;88(7):901-12.
12. Liu M, Lee CH, P'Eng F K. Prospective comparison of diagnostic peritoneal lavage, computed tomographic scanning, and ultrasonography for the diagnosis of blunt abdominal trauma. *J Trauma*. 1993;35(2):267-70.
13. Richards JR, Schleper NH, Woo BD, Bohnen PA, McGahan JP. Sonographic assessment of blunt abdominal trauma: a 4-year prospective study. *J Clin Ultrasound*. 2002;30(2):59-67.
14. Brown MA, Casola G, Sirlin CB, Hoyt DB. Importance of evaluating organ parenchyma during screening abdominal ultrasonography after blunt trauma. *J Ultrasound Med*. 2001;20(6):577-83; quiz 85.
15. Healey MA, Simons RK, Winchell RJ, Gosink BB, Casola G, Steele JT, et al. A prospective evaluation of abdominal ultrasound in blunt trauma: is it useful? *J Trauma*. 1996;40(6):875-83; discussion 83-5.
16. Poletti PA, Wintermark M, Schnyder P, Becker CD. Traumatic injuries: role of imaging in the management of the polytrauma victim (conservative expectation). *Eur Radiol*. 2002;12(5):969-78.
17. McElveen TS, Collin GR. The role of ultrasonography in blunt abdominal trauma: a prospective study. *Am Surg*. 1997;63(2):184-8.
18. Poletti PA, Kinkel K, Vermeulen B, Irmay F, Unger PF, Terrier F. Blunt abdominal trauma: should US be used to detect both free fluid and organ injuries? *Radiology*. 2003;227(1):95-103.
19. Hoffmann R, Nerlich M, Muggia-Sullam M, Pohlemann T, Wippermann B, Regel G, et al. Blunt abdominal trauma in cases of multiple trauma evaluated by ultrasonography: a prospective analysis of 291 patients. *J Trauma*. 1992;32(4):452-8.
20. Nunes LW, Simmons S, Hallowell MJ, Kinback R, Trooskin S, Kozar R. Diagnostic performance of trauma US in identifying abdominal or pelvic free fluid and serious abdominal or pelvic injury. *Acad Radiol*. 2001;8(2):128-36.

21. Ma OJ, Kefer MP, Stevison KF, Mateer JR. Operative versus nonoperative management of blunt abdominal trauma: Role of ultrasound-measured intraperitoneal fluid levels. *The American journal of emergency medicine*. 2001;19(4):284-6.
22. Smith RS, Kern SJ, Fry WR, Helmer SD. Institutional learning curve of surgeon-performed trauma ultrasound. *Arch Surg*. 1998;133(5):530-5; discussion 5-6.
23. Wintermark M, Poletti PA, Becker CD, Schnyder P. Traumatic injuries: organization and ergonomics of imaging in the emergency environment. *Eur Radiol*. 2002;12(5):959-68.
24. Killeen KL, Shanmuganathan K, Poletti PA, Cooper C, Mirvis SE. Helical computed tomography of bowel and mesenteric injuries. *J Trauma*. 2001;51(1):26-36.
25. Pal JD, Victorino GP. Defining the role of computed tomography in blunt abdominal trauma: use in the hemodynamically stable patient with a depressed level of consciousness. *Arch Surg*. 2002;137(9):1029-32; discussion 32-3.
26. Novelline RA, Rhea JT, Rao PM, Stuk JL. Helical CT in emergency radiology. *Radiology*. 1999;213(2):321-39.
27. Linsenmaier U, Kanz KG, Rieger J, Rock C, Pfeifer KJ, Reiser M. [Structured radiologic diagnosis in polytrauma]. *Radiologe*. 2002;42(7):533-40.
28. Atri M, Hanson JM, Grinblat L, Brofman N, Chughtai T, Tomlinson G. Surgically important bowel and/or mesenteric injury in blunt trauma: accuracy of multidetector CT for evaluation. *Radiology*. 2008;249(2):524-33.
29. Waydhas C, Nast-Kolb D, Blahs U, Pfeifer KJ, Schweiberer L. [Abdominal sonography versus peritoneal lavage in shock site diagnosis in polytrauma]. *Chirurg*. 1991;62(11):789-92; discussion 92-3.
30. Schöneberg C, Tampier S, Hussmann S, Lendemans B, Waydhas C. Diagnostik des stumpfen Abdominaltraumas des Kindes - ein systematisches Review mit Metaanalyse. *Zentralbl Chir*. 2014;139(6):584-91.
31. Brofman N, Atri M, Hanson JM, Grinblat L, Chughtai T, Brenneman F. Evaluation of bowel and mesenteric blunt trauma with multidetector CT. *Radiographics*. 2006;26(4):1119-31.
32. Rieger M, Sparr H, Esterhammer R, Fink C, Bale R, Czermak B, et al. [Modern CT diagnosis of acute thoracic and abdominal trauma]. *Anaesthesist*. 2002;51(10):835-42.
33. Moore EE, Cogbill TH, Jurkovich GJ, Shackford SR, Malangoni MA, Champion HR. Organ injury scaling: spleen and liver (1994 revision). *J Trauma*. 1995;38(3):323-4.
34. Schueller G. [Evidence-based diagnosis of abdominal trauma]. *Radiologe*. 2008;48(5):474-9.
35. Nast-Kolb D, Trupka A, Ruchholtz S, Schweiberer L. [Abdominal trauma]. *Der Unfallchirurg*. 1998;101(2):82-91.
36. Nast-Kolb D, Bail HJ, Taeger G. [Current diagnostics for intra-abdominal trauma]. *Chirurg*. 2005;76(10):919-26.
37. Ruchholtz S, Waydhas C, Schroeder T, Piepenbrink K, Kuhl H, Nast-Kolb D. [The value of computed tomography in the early treatment of seriously injured patients]. *Chirurg*. 2002;73(10):1005-12.
38. Wurmb T, Fruhwald P, Brederlau J, Steinhübel B, Frommer M, Kuhnigk H, et al. [The Würzburg polytrauma algorithm. Concept and first results of a sliding-gantry-based computer tomography diagnostic system]. *Anaesthesist*. 2005;54(8):763-8; 70-2.
39. Kanz KG, Korner M, Linsenmaier U, Kay MV, Huber-Wagner SM, Kreimeier U, et al. [Priority-oriented shock trauma room management with the integration of multiple-view spiral computed tomography]. *Der Unfallchirurg*. 2004;107(10):937-44.
40. Wurmb TE, Fruhwald P, Hopfner W, Keil T, Kredel M, Brederlau J, et al. Whole-body multislice computed tomography as the first line diagnostic tool in patients with multiple injuries: the focus on time. *J Trauma*. 2009;66(3):658-65.
41. Hilbert P, zur Nieden K, Hofmann GO, Hoeller I, Koch R, Stuttmann R. New aspects in the emergency room management of critically injured patients: a multi-slice CT-oriented care algorithm. *Injury*. 2007;38(5):552-8.

2.9 Becken

P. Mörsdorf*, D. Osche, S. Herath, K. Sprengel, A. Weise#, N. Könsgen#, U. Schweigkofler

Welchen Stellenwert hat die initiale klinische Beurteilung des Beckens?

2.9.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Eintreffen des Patienten in der Klinik soll eine akut lebensbedrohliche Beckenverletzung ausgeschlossen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.9.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Das Becken des Patienten soll klinisch untersucht werden.	
Literatur, Evidenzgrad	Lustenberger et al (2016), 2b Van Leent et al (2019), 2b Schweigkofler et al (2018), 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Das kreislaufinstabile Polytrauma mit pelviner Massenblutung stellt eine akut lebensbedrohliche Situation dar. Eine Alternative zur sofortigen operativen Blutstillung sowie forcierten Bluts substitution existiert nicht (Expertenmeinung mit starker Evidenz aus der nationalen und internationalen medizinischen Erfahrung im Allgemeinen). Daher muss möglichst früh innerhalb der ersten Minuten nach Ankunft im Schockraum eine lebensbedrohliche Beckenverletzung ausgeschlossen respektive erkannt und therapiert werden [1].

Die klinische Untersuchung des Beckens, Suche nach äußeren Verletzungszeichen sowie die Inspektion des Abdomens durch eine Sonographie sind, ebenso wie die Berücksichtigung der Unfallkinematik (ein Überrolltrauma ist in ca. 80% der Fälle mit einer Beckenfraktur verbunden und führt häufig zu signifikanten Weichteilschäden) essentielle Voraussetzungen für die Diagnosestellung.

Folgende Definitionen für die schwerste Art der Beckenfraktur mit vitaler Bedrohung sind üblich:

„In extremis“-Beckenverletzung: pelvine Massenblutung, wie z.B. bei traumatischer Hemipelvektomie oder „Crushverletzungen“ nach schwerem Überrolltrauma

Komplextrauma des Beckens bzw. Acetabulums: Frakturen/Luxationsfrakturen mit zusätzlichen peripelvinen Verletzungen des Haut-Muskel-Mantels, des Urogenitalsystems, des Darms, der großen Gefäße und/oder der großen Nervenbahnen. Die Modifikation nach Pohlemann et al. [2, 3] beinhaltet die Blutungen aus den zerrissenen Beckenvenen bzw. des präsakralen Plexus, welche zu ca. 80% als Blutungsursache zu nennen sind.

Traumatische Hemipelvektomie: ein- oder beidseitiger Abriss des knöchernen Hemipelvis in Kombination mit der Zerreißung der großen intrapelvinen Nerven- und Gefäßbahnen.

Pelvin bedingte Kreislaufinstabilität (Bedeutung des initialen Blutverlusts, z.B. >2000 ml nach Bonner [4] bzw. >150 ml/min nach Trunkey [5])

Ist aufgrund der klinischen Einschätzung ein Komplextrauma des Beckens im Sinne einer „in extremis“-Situation wahrscheinlich (Komplextrauma mit Kreislaufinstabilität), muss – wenn nicht bereits prähospital erfolgt – schnellstmöglich der Beckenring, ggf. auch nichtinvasiv z.B. mit einem „Pelvic Binder“, geschlossen werden.

Beim Vorliegen mehrfacher Verletzungen sind die Prioritäten der einzelnen Verletzungen gegeneinander abzuwägen. Sind eine oder mehrere Verletzungen per se ebenfalls lebensbedrohlich wird zunächst nur die notfallmäßige Beckenstabilisierung vorgenommen.

Welche Maßnahmen sind im Rahmen der primären Diagnostik bei Verdacht auf Verletzungen des Beckens durchzuführen?

2.9.3	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Verdacht auf eine knöcherne Beckenverletzung soll eine Beckenübersichtsaufnahme oder eine Computertomographie (CT) durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Klinische Untersuchung

Eine körperliche klinische Untersuchung steht in der Regel vor jedweder apparativen Diagnostik. Bei einem Patienten „in extremis“ muss sie auf das Wesentliche fokussiert werden. Sie besteht aus einer vollständigen äußeren Inspektion und Palpation des Beckenbereichs. Die Untersuchung umfasst die äußerliche Suche nach Wunden, Prellmarken oder Hämatomen sowie die Inspektion der Körperöffnungen mit vaginaler und rektaler Untersuchung. Die Aussagefähigkeit einer mechanischen Stabilitätstestung des Beckens ist kritisch zu sehen. Shlamovitz et al. attestierten der klinischen Untersuchung des Beckens lediglich eine geringe Sensitivität für das Erkennen einer per definitionem mechanisch instabilen Beckenringfraktur [6].

Eine besondere Bedeutung kommt der klinischen Untersuchung im prähospitalen Umfeld zu. Durch die nahezu flächendeckende Verbreitung von kommerziellen nichtinvasiven Beckenstabilisierungstools (Beckengurte), könnte eine Instabilität des Beckenringes bereits prähospital eine Stabilisierung mittels Beckengurt triggern. Die Arbeitsgruppe um Schweigkofler konnte in einer Multicenterbeobachtungsstudie eine Sensitivität von 31,6% bei einer Spezifität von 92,2% für das Erkennen von, nach radiologischen Kriterien, als instabil einzustufenden Beckenringfrakturen zeigen [7]. Der positive prädiktive Wert lag dabei bei 72% und der negative prädiktive Wert bei 68% [8]. Lustenberger et al. [9] publizierten in einer Arbeit 2016, basierend auf über 11000 Patienten des DGU-Traumaregisters eine Sensitivität der prähospitalen körperlichen Untersuchung von 55,9% für das Erkennen einer Beckenringinstabilität. Van Leen fand mit seiner Arbeitsgruppe eine Sensitivität von 45% und eine Spezifität der prähospitalen Untersuchung des Beckens von 93%.

Die Publikation von Pehle aus Essen, bezogen auf ein klinisches Setting, fanden eine Sensitivität sowie eine Spezifität der klinischen Untersuchung des Beckens bezüglich einer Instabilität von 44% respektive 99% [10].

Frauen im gebärfähigen Alter sollte im Rahmen der klinischen Untersuchung ein besonderes Augenmerk zuteilwerden. So sollte bei allen diesen Patientinnen ein Schwangerschaftstest im Rahmen

der Schockraumdiagnostik durchgeführt werden. Eine frühzeitige Einbeziehung und engmaschige Mitbetreuung durch die gynäkologische Fachabteilung ist hier unverzichtbar.

Bildgebende Diagnostik

Nach Pehle wurden ca. 1/5 der instabilen Beckenverletzungen erst anhand der Röntgenübersichtsaufnahme des Beckens diagnostiziert [10]. Im Gegensatz zu Kessel et al. [11] und Their et al. [12], welche die Notwendigkeit einer Notfall-Beckenübersicht bei der Vorhaltung einer Notfall-CT hinterfragten, sollte laut Pehle die Beckenübersicht weiterhin Bestandteil der Schockraumdiagnostik beim Polytrauma bleiben [10]. Dies entspricht auch weiterhin der aktuellen Empfehlung des ATLS®-Algorithmus. In der Entscheidungsfindung muss die Kreislaufsituation prioritäre Beachtung finden: Laut den Daten von Miller et al. [13] lässt sich bei Nichtansprechen des Blutdrucks auf die Volumentherapie mit einer 30%igen Spezifität auf eine relevante intrapelvine Blutung schließen. Im Umkehrschluss lässt sich bei einem systolischen Blutdruck von über 90 mmHg mit hoher Sicherheit eine relevante Blutung ausschließen (negativer Vorhersagewert 100%).

Bei der Röntgendiagnostik im Schockraum ist der Tatsache der Durchführung einer Ganzkörper-CT als sog. Trauma-Scan in vielen Schockraum-Algorithmen Rechnung zu tragen. Gemäß des Jahresberichtes des Traumaregisters DGU für das Jahr 2020 [14] haben 76,6% aller Patienten eine Ganzkörper-CT im Rahmen der Schockraumdiagnostik erhalten. Das Ganzkörper-CT als erste und ggf. alleinige bildgebende Diagnostik in der Schockraumphase kann ggf. eine vor- oder nachgeschaltete a.p.(anterior-posterior)-Aufnahme ergänzt werden. In 28,6% gaben befragte DGU-Mitglieder in einer Onlineumfrage (2014) an, dass sie trotz eines geplanten Trauma-Scans eine konventionelle Beckenübersichtsaufnahme durchführen [15]. Young et al. [16] beschreiben, dass allein in der Becken-a.p.-Aufnahme 94% aller Beckenfrakturen richtig klassifiziert werden. Edeiken-Monroe [17] gab diese Trefferquote mit 88% für die Becken-a.p.-Aufnahme an. Zum Vergleich der CT- und Röntgendiagnostik im Hinblick auf Beckenfrakturen liegen mehrere Studien vor: In einer retrospektiven Studie von Berg [18] ließen sich 66% aller Beckenfrakturen im a.p.- Röntgenbild erkennen, während diese Rate bei der CT-Diagnostik mit axialen 10mm-Schnitten bei 86% lag. Auch die Studie von Harley [19] fand eine höhere Sensitivität der CT-Diagnostik vor allem im Erkennen von Frakturen des Sakrums und Acetabulums. Resnik [20] beschrieb zwar auch, dass die einfache Röntgendiagnostik 9% der Frakturen übersieht, merkte aber an, dass diese nicht gesehenen Frakturen keine klinische Relevanz hatten. Stewart [21] empfiehlt dagegen, dass bei ohnehin geplanter Computertomographie das Nativröntgen unterlassen werden sollte. Ähnlich kritisch sehen Kessel et al. [11], Their et al. [12] und Duane et al. [22] die Notwendigkeit einer Notfall-Beckenübersicht bei der Vorhaltung einer Notfall-CT. Stengel et al [23] fanden für die Notfall-CT beim stumpfen Trauma eine Sensitivität von 86,2% und eine Spezifität von 99,8% zur Erkennung von Beckenverletzungen. Sie konsternierten jedoch auch, dass ein negativer CT-Befund ggf. eine weitere Abklärung erfordert.

Die zunehmend bereits prähospital angelegten Beckengurte haben einen Einfluss auf die Durchführung und Bewertung der bildgebenden Diagnostik. So kann bei korrekt angelegtem Beckengurt eine Becken-B1-Verletzung (rein ligamentäre Open-Book-Verletzung) so „kaschiert“ werden, dass sie selbst in der CT-Diagnostik nicht erkannt wird. Eine Arbeitsgruppe der Sektion Notfall-Intensivmedizin und Schwerverletztenversorgung der DGU (NIS) hat daher einen „Clear the Pelvis“-Algorithmus [7] mit konventionellem Röntgen/dynamischer Untersuchung unter Bildverstärker (BV) bei dafür geöffnetem Pelvic-Binder (vor oder nach der CT) entwickelt, um dieser Problematik gerecht zu werden. Eine wissenschaftliche Evaluation dieses Algorithmus steht jedoch noch aus.

Wenn im Röntgen keine Fraktur nachweisbar ist, kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit eine pelvine Blutung ausschließen. Einzelne Studien haben untersucht, inwieweit man über eine Klassifikation der Frakturen anhand der konventionellen Röntgendiagnostik auf Gefäßläsionen schließen kann. So

fanden Dalal et al. [24] einen signifikant höheren Volumenbedarf vor allem bei schwersten anterioposterioren Beckenfrakturen, was sich aber auch über die intraabdominellen Verletzungen erklären ließe.

Daneben gibt es Zahlen zum Vergleich von CT und Angiographie in der Diagnostik relevanter Beckenblutungen: In der Studie von Pereira [25] zeigte sich für die dynamische helikale CT eine Treffsicherheit von über 90% im Erkennen von pelvinen Blutungen, die der Embolisation bedurften. Analog berichtet auch Miller [13] über eine Sensitivität und Spezifität von 60% bzw. 92%. Auch nach Kamaoui hilft die CT-Untersuchung des Beckens mit oder ohne Kontrastmittelaustritt bei der Selektion der Patienten, welche einer Angiographie unterzogen werden sollten [26].

In einer Studie von Brown et al. [27] zeigten 73% der Patienten mit Beckenfraktur und Kontrastmittelnachweis in der CT eine relevante Blutung in der anschließenden Angiographie. Umgekehrt fand sich ebenfalls bei knapp 70% der Patienten mit negativer CT eine Blutungsquelle in der Angiographie, sodass hier die Relevanz der Blutung infrage gestellt werden muss. Auch Brasel et al. bezeichnen die Kontrastmittelextravasation in der CT als Marker für die Verletzungsschwere von Beckenverletzungen, welche jedoch nicht zwangsweise eine Angiographie erfordern. Ähnlich wie Brown fanden sie bei negativer CT jedoch in 33% der Fälle auch Blutungen im Beckenbereich, die von einer Angiographie respektive Embolisation profitieren [28].

Blackmore [29] schlug vor, ab einer KM-Extravasation in der CT von 500 ml oder mehr auf eine intrapelvine Blutung zu schließen. Für diesen Zusammenhang ergab sich bei der Analyse von 759 Patienten eine hochsignifikante Assoziation mit einem RR von 4,8 (95%-CI: 3,0–7,8). Bei einem Extravasat von über 500 ml liegt somit in fast der Hälfte der Fälle eine Blutung vor. Sofern aber weniger als 200 ml Extravasat sichtbar ist, kann man zu 95% davon ausgehen, dass keine Blutung vorliegt. Sheridan [30] berichtet, dass sich die Blutung auch in der Nativ-CT abschätzen lässt, da eine Korrelation zwischen Hämatom-Abbildung und Blutung ab einer Größenausdehnung von mehr als 10 cm² in der CT besteht.

Um nähere Aussagen über die Inzidenz, die Größe und auch die Blutungsquelle (arteriell, venös, ossär) zu erhalten initiierte eine Arbeitsgruppe aus Frankfurt und Koblenz zusammen mit der AG Becken der DGU die sog. BBS (Becken-Blutungs-Studie), bei der retrospektiv CT-Bilder von Ganzkörper-CT-Untersuchungen nach intrapelvinen Hämatomen untersucht werden – Ergebnisse hierzu liegen jedoch noch nicht vor.

Eine Studie aus dem Jahr 2007 [31] untersuchte als Alternative zur CT die Sensitivität und Spezifität der FAST („Focused Assessment with Sonography for Trauma“) bei Patienten mit Beckenfraktur unter dem Aspekt einer Entscheidungshilfe zwischen Notfall-Laparotomie bzw. Notfall-Angiographie. Die Sensitivität und Spezifität für die FAST ergaben 26% und 96%, jedoch half die Notfall-Sonographie mit negativem Ergebnis nicht bei der Entscheidung zwischen der Notwendigkeit einer Laparotomie bzw. Angiographie bei Patienten mit Beckenfraktur [31]. Für diese Entscheidung wird eine CT-Untersuchung des Abdomens gefordert, weil eine Ultraschalluntersuchung im Sinne der eFAST („Extended FAST“) allein nicht als ausreichend eingestuft wird [28].

Klassifikation der Verletzungen

Anhand der bildgebenden Diagnostik sollten die Verletzungen des knöchernen Beckens klassifiziert werden. Eine genaue Klassifikation der Beckenfraktur ist die Grundlage für eine prioritätenorientierte Therapie [17]. Auch bei dem vital bedrohten Patienten sollte schnellstmöglich diese Klassifikation vorgenommen werden.

Hierbei ist die Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese üblich, die drei Frakturtypen unterscheidet:

- stabile A-Verletzungen mit osteoligamentärer Integrität des hinteren Beckenrings, intaktem Beckenboden; das Becken kann physiologischen Belastungen ohne Dislokation widerstehen,
- rotationsinstabile B-Verletzungen mit partiell erhaltener Stabilität des hinteren Beckenrings,
- translationsinstabile C-Verletzungen mit Unterbrechung aller posterioren osteoligamentären Strukturen und auch des Beckenbodens. Die Dislokationsrichtung (vertikal, posterior, Distraction, zusätzliche Rotation) spielt eine untergeordnete Rolle. Der Beckenring ist somit anterior und posterior unterbrochen, die betroffene Beckenhälfte instabil.

Der Begriff einer komplexen Beckenfraktur gilt für alle knöchernen Verletzungen des Beckens mit einer gleichzeitig vorliegenden schweren peripelvinen Weichteilverletzung, z.B. holoviszerales Organverletzungen des Beckens, Verletzungen von Nerven und Gefäßen und/oder der harnableitenden Harnwege.

Ferner ist es hilfreich zwischen offenen und geschlossenen Beckenverletzungen zu unterscheiden. Als offen bezeichnet man eine Beckenverletzung in folgenden Situationen:

- primär offene Beckenfrakturen: definitionsgemäße direkte Verbindung zwischen dem Knochenbruch und der Haut bzw. Schleimhaut der Vagina oder des Anorektums,
- geschlossene Beckenfraktur mit einliegenden Tamponaden zur Blutstillung,
- geschlossene Beckenläsion mit dokumentierter Kontamination des Retroperitoneums aufgrund einer intraabdominellen Verletzung [32].

Dagegen sind Beckenfrakturen mit alleiniger Läsion von Harnblase oder Urethra lediglich als komplex, nicht aber als offen zu bezeichnen. Offene Beckenverletzungen haben aufgrund der intraabdominellen Begleitverletzungen mit der Gefahr des akuten Blutungstodes sowie der späteren Sepsis weiterhin mit ca. 45% eine hohe Mortalität [33].

In der bildgebenden Diagnostik können Zeichen einer Beckeninstabilität identifiziert werden. Hierzu gehört z.B. eine Erweiterung der Symphyse oder der Sacroiliacal-Fugen. Ebenso sollte ein Versatz der Beckenschaufeln in horizontaler oder vertikaler Richtung als Instabilität gedeutet werden. Zu bedenken ist stets, dass die Dislokation im Moment des Unfalls häufig deutlich ausgeprägter ist als im Moment der Diagnostik. So ist die Fraktur des Querfortsatzes des 5. Lendenwirbelkörpers auch als Instabilitätszeichen zu werten, wenn gleichzeitig eine Verletzung des Beckens vorliegt, jedoch in der Bilddiagnostik keine Verschiebung der Beckenschaufel zu erkennen ist. Zusätzlich sollte auch stets bedacht werden, dass ein korrekt angelegter Beckengurt oder Pelvic-Binder eine Instabilität des Beckens kaschieren kann.

Die Ausrichtung der Instabilität des Beckens ist wichtig für die Klassifikation. Besteht nur eine Rotationsinstabilität des Beckens über die vertikale Achse des hinteren Beckenringes, handelt es sich um die Gruppe der B-Verletzungen. Besteht eine Translationsinstabilität in vertikaler oder horizontaler Richtung, handelt es sich um eine Verletzung der Gruppe C.

Wie erfolgt eine Notfallstabilisierung des Beckens?

2.9.4	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei mechanisch instabilem Beckenring und hämodynamischer Instabilität soll eine mechanische Notfallstabilisierung des Beckens vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	Berger-Grosch et al (2021), 2b Esmer et al (2017), 2b Ohmori et al (2018), 2b Höch et al (2021), 2b Schweigkofler et al (2021), 3b↓	
	Konsensstärke: 100%	

Für die notfallmäßige Stabilisierung des Beckens sind nur sichere, einfach und rasch anwendbare Verfahren geeignet. Das Umschlingen des Beckens mit einem Tuch oder die Anwendung eines pneumatischen oder sonstigen kommerziell erhältlichen Beckengurtes ist im Hinblick auf die erreichte mechanische Stabilität dem ventralen Fixateur externe und der Beckenzwinge deutlich unterlegen. Trotzdem stellen beide Maßnahmen in der Notfallsituation zumindest vorübergehend eine effektive Notfallmaßnahme dar [34]. Die Beckenzwinge nach Ganz oder ein Fixateur externe unterscheiden sich hingegen in der erreichbaren mechanischen Stabilität in Abhängigkeit vom Frakturtyp. Die genaue Zeitachse der Stabilisierung einer Verletzung ist jedoch stets zu beachten. So kann eine frühzeitige Stabilisierung mittels Tuschlinge oder Beckengurt (Pelvic-Binder) für das Outcome des Patienten besser sein, als eine späte Stabilisierung mittels supraacetabulärem Fixateur und/oder Beckenzwinge [35].

Die Frage, ob im Einzelfall der ventrale Fixateur externe (supraacetabulär) oder die Beckenzwinge anzuwenden ist, wird weiterhin kontrovers diskutiert. Bei instabilen Beckenverletzungen des Typs C nach (AO bzw. CCF) ist die Beckenzwinge aufgrund ihres größeren Effekts am hinteren Beckenring dem Fixateur externe vorzuziehen, wie biomechanische Untersuchungen nachwiesen [36]. Bei instabilen Beckenverletzungen des Typs B nach AO konnten keine nennenswerten Unterschiede zwischen Fixateur externe und Beckenzwinge gezeigt werden. Ebenso gibt es nach wie vor keine Untersuchungen zu der Frage, welche Methode der Notfallstabilisierung den besten Einfluss auf die Blutstillung hat [37, 38].

Die Beckenzwinge kommt insgesamt seltener als der Fixateur zum Einsatz, da sie im Vergleich zum Fixateur externe bezüglich der Beckenstabilisierung keinen endgültigen Charakter besitzt und spezielle Kontraindikationen sowie potentielle Komplikationen aufweist. Beispielsweise stellen transiliakale Beckenfrakturen eine Kontraindikation dar, weil der Dorn der Beckenzwingen bei Kompression durch die Fraktur hindurchtreten und zu einer Organverletzung im kleinen Becken führen kann. Andererseits ist bei dorsalen Instabilitäten durch einen ventralen Fixateur externe nicht immer eine zuverlässige Stabilisierung möglich. Siegmeth et al. [39] postulieren, dass ein Fixateur externe bei Instabilitäten des vorderen Beckenringes ausreicht, dass jedoch eine Verletzung des hinteren Beckenringes auch notfallmäßig eine zusätzliche Kompression erfordert. Gleiches forderte auch Trafton et al. [40] schon Ende der 80er-Jahre. Studien bezüglich eines kommerziellen Notfallbeckengurtes (nichtinvasive Beckenstabilisierung) kommen zu widersprüchlichen Ergebnissen, was die Reduktion der Mortalität sowie die Reduktion der transfundierten Erythrozytenkonzentrate und die Dauer des unfallbedingten stationären Aufenthaltes angeht. Während Croce [41] Vorteile der Anlage des von ihm untersuchten Beckengurtes belegen konnte, bestätigte sich diese Annahme nicht in den Ergebnissen von

Ghaemmaghami et al. [42]. Als wesentliche Entwicklung muss man jedoch berücksichtigen, dass sich in den letzten Jahren die Anwendung von Beckengurten und anderen nichtinvasiven externen Stabilisierungen zunehmend auch in der prähospitalen Phase etabliert hat. Die Folge ist ein deutlich früherer Therapiebeginn der effektiven Notfallstabilisierung. Die Initiierung der nichtinvasiven Stabilisierung erfolgt meist bereits aufgrund der Unfallkinematik und kann den Patienten mit pelviner Blutung potentiell deutlich früher stabilisieren und therapieren. Einschränkend muss hier allerdings erwähnt werden, dass dieser vermutete und in der klinischen Erfahrung naheliegende Effekt in bisherigen Untersuchungen nur bedingt nachgewiesen werden konnte [43].

Auch in Bezug auf die Schockraumversorgung hat die verbreitete Anwendung des Beckengurtes die notfallmäßige Stabilisierung verändert. Pizanis et al [44] untersuchten in einer retrospektiven Studie den Effekt von drei unterschiedlichen Notfallstabilisierungstechniken insbesondere auf die Mortalität. Hier wurde ein Zeitvorteil bei der Anlage von Tuschlinge und Pelvic Binder gefunden. Auf die in der aktuellen Praxis angewendete sequentielle Vorgehensweise mit prähospitaler Anlage eines Beckengurtes und dann ggf. innerklinischem Wechsel auf eine Beckenzwinge wird hingewiesen, der Effekt durch diese Vorgehensweise konnte aufgrund des Studiendesigns jedoch nicht analysiert werden. Die kommerziell erhältlichen Pelvic-Binder scheinen Vorteile gegenüber der Tuschlinge zu haben. Ursächlich ist die einfache Durchführung der Stabilisierung, insbesondere bei korrekter Beachtung der Positionierung des Tools. Ähnlich wie Bonner et al [4] zeigen bisher unveröffentlichte Ergebnisse einer retrospektiven Analyse von über 500 Trauma-Scans mit knapp 200 angelegten Beckengurten einer Arbeitsgruppe von Schweigkofler aus Frankfurt, dass nur in 62% der Fälle eine korrekte Position in einem Korridor von ± 5 cm um die Idealposition erreicht wird.

Die Daten zur Häufigkeit der Anwendung von Beckenzwinge, Pelvic-Binder und Tuschlinge werden diskrepant angegeben. Wohlrath et al. [15] fanden in einer Umfrage zur Notfallversorgung des Beckens eine Verwendung der Beckenzwinge als Notfall-Stabilisierungstool in nur 47,7% der Fälle, während Pizanis et al. [44] analysierten die Häufigkeit der Anwendung des jeweiligen Notfallstabilisierungstools anhand einer Kohorte aus den Daten des Beckenregisters der DGU. In den Fällen, in denen eine Notfallstabilisierung des Beckenrings notwendig war, kam die Beckenzwinge in 69% der Fälle zur Anwendung.

Die Beckenzwinge wird heute eher seltener im Schockraum sondern zunehmend in der „sicheren“ OP-Umgebung angewendet [44].

Welche Maßnahmen sind bei Beckenfrakturen bezüglich einer begleitenden hämodynamischen Instabilität zu ergreifen?

2.9.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei einer persistierenden Blutung und hämodynamischer Instabilität sollte eine Blutungskontrolle mit den geeigneten Mitteln (Packing, ggf. endovaskulär, chirurgisch) erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	Mann et al (2018), 2b Mikdad et al (2020), 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Hämodynamisch instabile Beckenfrakturen sind meist Folgen von Hoch-Energie Traumata. In den meisten Fällen haben diese Patienten Begleitverletzungen, die einer chirurgischer Therapie bedürfen. Diese Patienten sind häufig instabil und brauchen rasch eine multidisziplinäre Behandlungsstrategie. Wird eine instabile Beckenfraktur in Kombination mit einer Kreislaufinstabilität diagnostiziert, sollte

die Beckenfraktur als mögliche Ursache der Kreislaufinstabilität in Betracht gezogen werden. Die Behandlung einer Beckenfraktur mit begleitender hämodynamischer Instabilität sollte primär eine adäquate Infusionstherapie, mechanische Stabilisation, und präperitoneale Textiltamponade (Packing) beinhalten. Eine Angioembolisation kann bei persistierend instabilen Patienten in Erwägung gezogen werden [45].

Die Beckenfraktur als Ursache der hämodynamischen Instabilität

Eine instabile Beckenfraktur führt abhängig vom Grad der Dislokation des hinteren Beckenringes, zu einer starken Blutungsneigung. Außer bei schweren Beckenüberrolltraumata kann die Notfallstabilisierung des Beckens mit den bereits dargestellten Methoden in Kombination mit der adäquaten Infusionstherapie (permissive Hypotension bei schwer traumatisierten Patienten) eine anhaltende Kreislaufstabilisierung bewirken, sodass die Indikation zur chirurgischen Blutstillung neu abzuwägen ist. Die persistierende Blutung ist in 42% der Fälle die Ursache einer Mortalität nach Beckenfraktur [46-48]. Es gilt somit eine rasche Stabilisierung der Beckenfraktur als Ursache der hämodynamischen Instabilität zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Wenn sich der Patient trotz der ergriffenen o.g. Maßnahmen weiterhin als „Non-Responder“ mit persistierender Kreislaufinstabilität zeigt, sind weitere Maßnahmen zu ergreifen. Zur Verfügung stehen prinzipiell die Möglichkeiten einer chirurgischen Tamponade, der interventionsradiologischen Embolisation, sowie die endovaskuläre Okklusion der Aorta (REBOA). Zu berücksichtigen ist bei der Wahl des Verfahrens, dass primär bei arteriellen Blutungen ein endovaskuläres Vorgehen sinnvoll ist.

Arterielle Blutungsquelle als Ursache hämodynamischer Instabilität

Eine arterielle Blutung bei einer Beckenverletzung wurde lediglich auf 10–20% der Fälle geschätzt. Die übrigen Blutungsquellen sind venösen oder ossären Ursprungs [49, 50]. Eine arterielle Blutungsquelle findet sich in den wenigsten Fällen. Die Häufigkeit der arteriellen Blutung steigt mit dem Grad der Instabilität der Beckenfraktur [13, 47]. Eine Angioembolisation ist aktuell eine weit verbreitete Maßnahme zur Blutungskontrolle arterieller Blutungen [51, 52]. Die rasche Indikationsstellung zu einer Angioembolisation ist assoziiert mit einem verbesserten Überleben des Patienten [53].

Miller [13] sieht die Angiographie und Embolisation in ihrer Wertigkeit noch vor der mechanischen Stabilisierung. Die operative Stabilisierung stelle nur eine Verzögerung der effizienten Blutstillung dar und stelle darüber hinaus ein vermeidbares operatives Trauma für den Patienten dar. Auch laut Hagiwara profitieren Patienten mit Hypotension und sogenannte „Partial-Responder“ nach zwei Litern Flüssigkeit nach stumpfem Bauchtrauma und Verletzungen des Beckens und/oder der Leber und/oder der Milz etc. von einer Angiographie und einer anschließenden Embolisation. Nach der Embolisation sank der Volumenbedarf signifikant und der Schockindex normalisierte sich [54, 55]. Hier darf die eigene lokale Infrastruktur nicht außer Acht gelassen werden. Optimalerweise besteht ein definierter Handlungsablauf, um die vorhandenen Ressourcen zur Stabilisation und Embolisation optimal ineinander übergreifen zu lassen.

Marzi stellte in einer retrospektiven Untersuchung von 173 schwer verletzten Patienten mit Beckenringfrakturen aus den Jahren von 2007–2012 folgenden Algorithmus heraus: die Angioembolisation als blutstillende Therapie wurde lediglich bei hämodynamisch stabilen Patienten, sogenannten Respondern, durchgeführt. Hämodynamisch instabile Patienten hingegen wurden vor Durchführung einer Angioembolisation schnellstmöglich einer mechanischen und chirurgischen Blutstillung im OP zugeführt [56].

Agolini [57] schreibt, dass nur ein kleiner Prozentsatz von Patienten mit Beckenfrakturen eine Embolisation benötigt. Wenn angewandt, zeigt sich allerdings eine Effektivität von nahezu 100%. Das

Alter des Patienten, der Zeitpunkt der Embolisation und das Ausmaß der initialen Kreislaufinstabilität beeinflussen die Überlebensrate; z.B. zeigte die 3 Stunden nach dem Unfall durchgeführte Angiographie eine Mortalität von 75% gegenüber 14% bei weniger als 3 Stunden nach dem Unfall. Pieri et al. konnten eine 100%ige Effektivität der Notfallangiographie mit Embolisation bei beckenbedingter Kreislaufinstabilität und Blutungen aus der A. obturatoria sowie aus den Glutealarterien [58] nachweisen. Eine Studie von Tottermann fand bei 2,5% der Patienten mit Beckenverletzung eine signifikante arterielle Blutung aus der Arteria iliaca interna. Bei einer Gesamtmortalität von 16% im Patientengut konnte er gleichzeitig eine umgekehrte Proportionalität zwischen Alter und Überlebenswahrscheinlichkeit [59] aufzeigen.

Panetta [60] postulierte eine frühe Embolisation bei eigener Zeitangabe von 1–5½ Stunden (Mittel: 2½ Std.), sieht aber keine Korrelation zwischen Durchführungszeit und Mortalität. Ergebnisberichte mit einer Erfolgsrate von ca. 50% bei einer Durchführungszeit von unter 6 Stunden nach dem Unfall zeigten keine Vorteile der Embolisation [25]. Die Gruppe von Kimbrell [61] und Velmahos [62] befürwortet die liberale Anwendung der Embolisation bei abdominellen und pelvinen Verletzungen mit nachgewiesener arterieller Blutung auch bei Patienten ohne initiale Anzeichen einer hämodynamischen Instabilität.

Gourlay und Mitarbeiter [63] beschreiben die Angiographie als Goldstandard bei arteriellen Blutungen welche mit Beckenfrakturen vergesellschaftet sind. Eine spezielle Subpopulation von ca. 7–8% bedarf sogar einer Folgeangiographie aufgrund anhaltender Kreislaufinstabilität. Indikatoren für eine Reangiographie waren in einer Studie von Shapiro [64] anhaltende Schocksymptomatik (RR <90 mmHg), Fehlen einer sonstigen intraabdominellen Verletzung und anhaltender Base Excess von <-10 für mehr als 6 Stunden nach Aufnahme. In den anschließenden Reangiographien fanden sich in 97% der Fälle beckenbedingte Blutungen.

In einer Studie von Fangio waren ca. 10% der Patienten mit Beckenverletzung kreislaufinstabil. Die anschließende Angiographie war in 96% der Fälle erfolgreich. Mit der Angiographie konnten auch in 15% der Fälle beckenunabhängige Blutungen diagnostiziert und behandelt werden. Dadurch sank im angegebenen Patientengut die Rate der falsch positiven Notfall-Laparotomien [65]. Auch Sadri und Mitarbeiter [66] fanden heraus, dass eine spezielle Subgruppe von Beckenverletzungen (ca. 9%) von der notfallmäßigen mechanischen Stabilisierung des Beckenrings mit der Beckenzwinge und anschließender Angiographie/Embolisation bei anhaltendem Volumenbedarf profitiert.

Perez [67] hingegen hält die Embolisation grundsätzlich auch für ein sicheres Verfahren, sieht jedoch bezüglich der Parameter, welche die Indikation und die Effektivität definieren, noch Klärungsbedarf. An signifikanten Vorhersagewerten bei der Identifikation des Patientengutes, welches von einer Angioembolisation profitiert, fanden sich in einer Studie von Salim et al. folgende Parameter: SI-Gelenkssprengung, weibliches Geschlecht und anhaltende Hypotension [68].

Nach Euler [69] besitzen interventionell-radiologische Verfahren wie Embolisation oder Ballonkatheterokklusion erst Bedeutung in der späteren, postprimären Behandlungsphase und nicht während des initialen Polytrauma-Managements. Nur 3–5% der kreislaufinstabilen Patienten mit Beckenverletzung bedürfen einer Embolisation bzw. profitieren davon [70-72]. Hier ist das Gesamtverletzungsmuster des Patienten zu berücksichtigen.

In der Literatur stehen sich, wie dargestellt, unterschiedliche Meinungen gegenüber. Zum Teil lassen sich diese Unterschiede durch erhebliche Differenzen in Bezug auf die Patientenkollektive und deren Verletzungsschwere erklären.

Daten des Beckenregisters III der DGU zeigten eine Zunahme der durchgeführten Notfall-Angiographien in Deutschland von ca. 2% auf 4%. Westhoff empfiehlt im Jahr 2008 die frühklinische

Integration einer interventionellen Notfall-Embolisation bei Beckenfrakturen bei entsprechend vorgehaltener Infrastruktur [73]. Bis 2007 schienen vor allem angloamerikanischen Studien angiographiebetonter ausgerichtet zu sein. Die Ergebnisse der im Folgenden vorgestellten zwei Studien aus dem Jahr 2007 könnte man als beginnenden Paradigmenwechsel deuten.

Die technische Erfolgsrate wurde von 90 bis 100% beschrieben und die klinische Erfolgsrate reicht von 84% bis 100% (Wijffels et al. 2019). Die Mortalität jedoch wird von 4 bis zu 56% beschrieben (Giannoudis et al. 2007).

Die Angiographie mit Embolisation wird als sichere, rasche und effektive Methode zur arteriellen Blutungskontrolle in hämodynamisch instabilen Patienten mit Beckenfraktur beschrieben (Wijffels et al. 2019).

REBOA als ultima ratio

Endovaskuläre und hybride Versorgungstechniken wurden kürzlich als alternative Interventionen zur Behandlung von Beckenfrakturen mit hämodynamischer Instabilität beschrieben. Zu den neuen Interventionen zählt REBOA (resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta). Zur REBOA gibt es wenige Daten und die aktuellen Erfahrungen basieren auf Fallstudien und Fallserien. Ein ABO-Register sammelt Daten von hämodynamisch instabilen Traumapatienten, die mittels REBOA versorgt wurden [74]. Eine präliminäre Analyse des Registers von 72 Patienten beschrieb REBOA als mögliche Option zur Blutungskontrolle, wenn diese in erfahrenen Zentren als Übergangslösung zur definitiven Versorgung verwendet wird.

Eine Metaanalyse von 7 retrospektiven und einer prospektiven [75] Studie zeigte bei 3215 Patienten eine Reduktion der 24h-Mortalität wenn REBOA verwendet wurde (RR 0.71; 95% CI 0.31–1.63; I²: 90.1%; p = 0.416) (Granieri et al. 2022). Ferner beschrieb die Studie eine gepoolte 24h-Mortalität von 23.5% (95% CI 0.15–0.35) (Granieri et al. 2022). Die gepoolte Krankenhausmortalität von REBOA Patienten war 58.3% (95% CI 0.47–0.69). Allerdings zeigen sämtliche Studien ein erhöhtes Risiko eines Confounding Bias, einer Deviation der ursprünglich geplanten Intervention sowie ein moderates Risiko eines Selektionsbias. Basierend auf der Heterogenität und dem hohen Risiko eines Bias ist die Verwendung des REBOA in sehr selektiven Fällen in Erwägung zu ziehen und bedarf hoher interdisziplinärer Expertise und Erfahrung.

Venöse Blutungsquelle als Ursache hämodynamischer Instabilität

Eine venöse Blutstillung wird primär durch eine chirurgisch vorgenommene Austamponierung des kleinen Beckens („Packing“) als sinnvoll erachtet und wird zumindest im deutschsprachigen Raum als Methode der Wahl in einem solchen Fall angesehen ([76], prospektive Studie mit 20 Patienten) [49]. Ebenfalls in einer prospektiven Studie mit 150 Patienten zeigte Cook [77] den Vorteil der raschen mechanischen Stabilisierung und anschließenden chirurgischen Blutstillung bzw. Tamponade. Zu ähnlichen Empfehlungen kamen auch Pohlemann et al. [2] aufgrund einer prospektiven Untersuchung mit 19 Patienten und Bosch [78] nach einer retrospektiven Analyse von 132 Patienten. Eine im Vorfeld durchgeführte mechanische Stabilisierung des Beckenrings ist hierbei aber entgegen der Diskussion bei der arteriellen Blutungsquelle unumgänglich um ein Widerlager zu schaffen.

Aus Mangel an hochrangiger Evidenz sowohl auf Seiten der Tamponade als auch auf Seiten der Embolisation kann letztlich keine ausschließliche Empfehlung gegeben werden. Verglichen mit einer Angioembolisation zeigte eine Metaanalyse, dass mehr als ein Viertel der Patienten mit präperitonealem Packing (Textiltamponade) erst nach einer Angioembolisation eine adäquate Blutungskontrolle erfahren hatten (McDonogh et al. 2022). Aber auch diese Studien wiesen eine gewisse Heterogenität auf und hatten Risiken für diverse Bias.

Hauschild et al. [46] versuchte in einer Studie, basierend auf den Registerdaten des „Beckenregisters“ zwischen 2004 und 2009, einen Vergleich zwischen Angioembolisation und Packing anzustreben. Da aber nicht in allen teilnehmenden Kliniken die Möglichkeiten der Angioembolisation gegeben waren, sind die Gruppenvergleiche nicht ganz adäquat. Die Daten geben weder einen Hinweis auf den Zeitverlauf der Therapieansätze noch auf eine Zuordnung zu einer arteriellen oder venösen Blutungsquelle.

Die Eastern Association for the Surgery of Trauma folgert aus einer Metaanalyse von 24 Studien mit insgesamt 723 hämodynamisch instabilen Patienten, dass das präperitoneales Packing Vorrang vor der Angioembolisation hat und als überbrückende Stabilisierungsmethode zur Angiographie diene (Bugaev et al. 2020). Die Reihenfolge des Packings und der Anlage eines externen Fixateurs spielt hierbei eine untergeordnete Rolle und eine persistierende Instabilität nach Packing war eine Indikation zur Angioembolisation (Bugaev et al. 2020).

Tottermann fand in seiner Studie einen signifikanten Blutdruckanstieg nach Durchführung des chirurgischen Packings. In der anschließenden Angiographie zeigte sich im untersuchten Patientengut trotzdem noch in 80% der Fälle der Nachweis einer arteriellen Blutung, sodass von ihm ein Stufenkonzept mit chirurgischem Packing und anschließender Embolisation vorgeschlagen wurde [79].

Entscheidend ist, dass ein Eingriff zur Kreislaufstabilisierung des Patienten angewendet werden muss, da ein unnötiges Abwarten das Outcome des Patienten verschlechtert. Es ist letztlich zu postulieren, dass die chirurgische Blutstillung (packing+externe Stabilisierung) und die Angioembolisation keine konkurrierenden, sondern ergänzende Verfahren mit unterschiedlichem Fokus darstellen. Welchem Verfahren jeweils der Vorzug gegeben wird, ist sicherlich auch von den lokalen Begebenheiten der behandelnden Klinik abhängig. Besonders berücksichtigt werden sollte neben der Verfügbarkeit der Embolisation der Umstand, dass während dieses Vorganges keine anderen Maßnahmen parallel an dem Patienten durchgeführt werden können. Abschließend sei auch noch auf ein striktes Zeitmanagement hingewiesen, welches in jedem Fall zu beachten ist (Chou et al. 2019).

In der Studie von Cothren zeigte sich im Gegensatz zur Angiographie-Gruppe bei der alleinigen Beckentamponade-Gruppe eine signifikante Reduktion des Erythrozytenkonzentrat-Bedarfs innerhalb von 24 Stunden nach Klinikaufnahme (ca. 12 versus 6 Erythrozytenkonzentrate (EKs); [49]). Entscheidend für die suffiziente Stabilisierung von Patienten mittels chirurgischem Packing ist eine suffiziente Ausbildung des operierenden Personals. Nur bei ausreichend geschultem Operateur ist das Packing eine suffiziente Methode der Blutstillung.

Verbeek forderte im Jahr 2008 die Adaptierung aktueller Behandlungsprotokolle bei der Versorgung von Schwerverletzten mit Beckenfrakturen, um beckenbedingte Blutung zu stoppen, und besonders nichttherapeutische bzw. falsch positive Laparotomien zu vermeiden [80].

Ein möglicher Algorithmus muss Kreislaufzustand und Blutungsquelle berücksichtigen:

- a) mechanische Stabilisierung/Packing (venöse/knöcherner Blutung),
- b) mechanische Stabilisierung (auch nichtinvasiv) und Angioembolisation (art. Blutung),
- c) mechanische Stabilisierung/Packing + ggf. sekundär additive Angioembolisation (persistierende hämodynamische Instabilität nach Packing/Stabilisierung).

Letztendlich fehlt eine klinische Studie, die entsprechende Daten als Entscheidungshilfe für z.B. den o.g. Stufenalgorithmus liefert. Der alleinige Vergleich von Angioembolisation und chirurgischer Blutstillung wird dem Krankheitsbild (Blutungsproblematik bei Beckenfrakturen) nicht gerecht. Diese

Konzept wird von diversen Studien vorgeschlagen, allerdings fehlt nach wie vor die beweisende Evidenz des Nutzen [13](Miller et al. 2003; Parry et al. 2021; Stahel, Burlew, and Moore 2017).

Massentransfusion und Tranexamsäure bei Beckenfrakturen mit hämodynamischer Instabilität

Eine Metaanalyse von 4 Studien mit insgesamt 386 Patienten mit einer Becken- oder Acetabulumfraktur zeigte, dass die Verwendung von Tranexamsäure bei Beckenfrakturen zu einer Reduktion der Transfusionsrate führt (Shu et al. 2021). Tranexamsäure war nicht assoziiert mit erhöhten thrombembolischen Ereignissen (Shu et al. 2021). Die Vorteile der Verwendung von Tranexamsäure sind bekannt (Adams and Marshall 2021). Anhand von 3314 Patienten verglich Marchand et al eine historische Kohorte mit einer aktuellen und zeigte, dass die Mortalität nach Beckenfrakturen etwas zurückgegangen ist. Die Ursache wird unter anderem durch verbesserte chirurgischen Techniken, interventionellen Maßnahmen und medikamentösen Möglichkeiten (Tranexamsäure) begründet (Marchand et al. 2022).

Massentransfusion und Gerinnungsmanagement sind Eckpfeiler der Behandlung von hämodynamisch instabilen Patienten mit Beckenfrakturen. Wenn auch das Stoppen der Blutungsquelle die oberste Priorität hat, gilt es eine adäquate Transfusionstherapie, Gerinnungskontrolle, und Flüssigkeitssubstitution durchzuführen [81, 82].

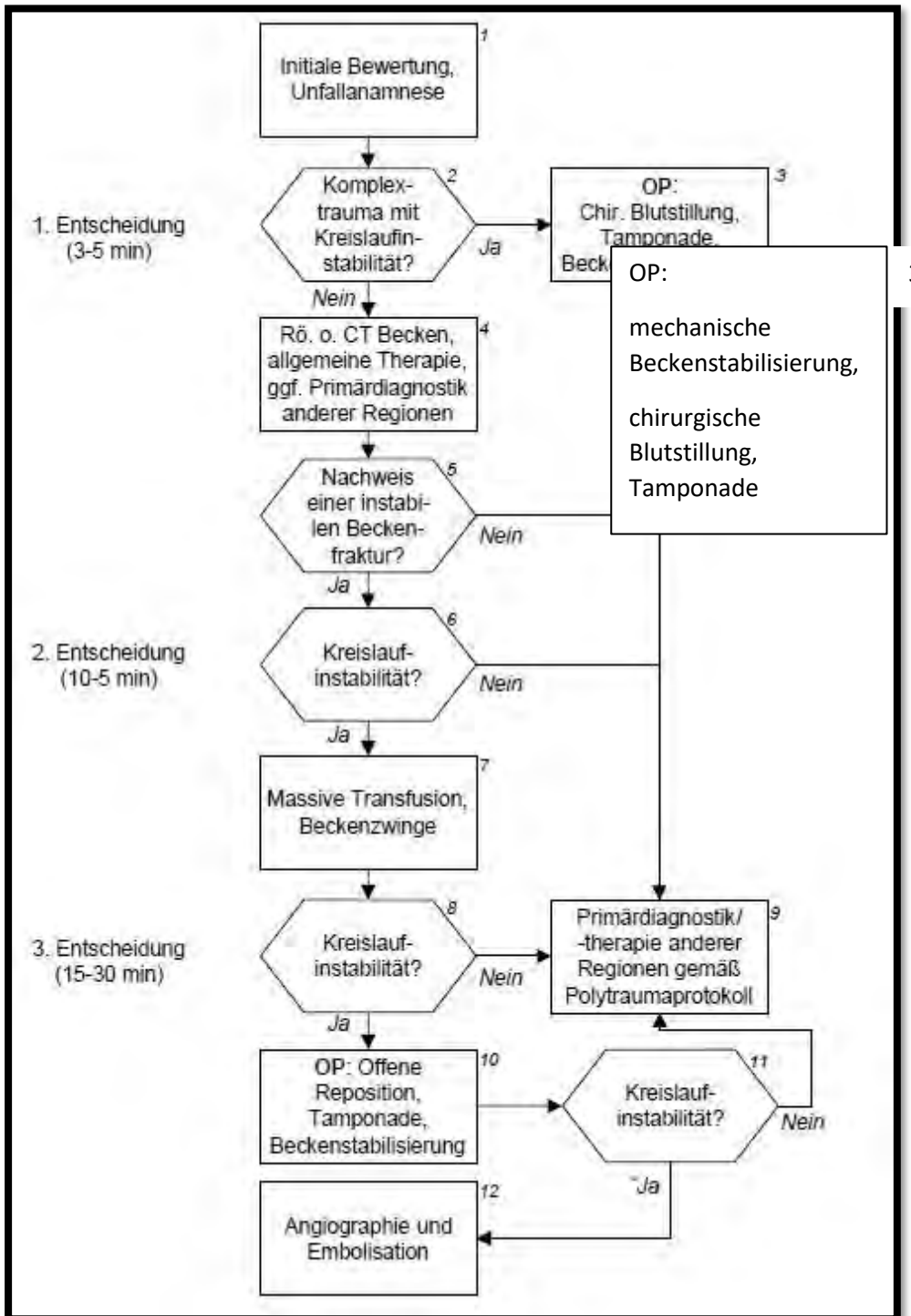
Gibt es bei Kindern und alten Menschen mit Beckenfrakturen Besonderheiten, die zu beachten sind?

Eine schwere Beckenverletzung ist für ein Kind und auch für den alten Menschen noch eher vital bedrohlich als für einen Erwachsenen im mittleren Alter, was umso mehr ein rasches und effektives Handeln erfordert. Die physiologischen Kompensationsmöglichkeiten der Kreislaufregulation und der Homöostase sind deutlich geringer. Der zeitliche Druck, unter dem Entscheidungen getroffen werden müssen, wächst. Beim Kind liegt die Herausforderung allein schon in dem Erkennen der vitalen Bedrohung. Die Kreislaufdekompensation zeichnet sich beim Kind nicht ab, sondern kommt plötzlich, da die Physiologie des Kindes kaum Kompensationsmöglichkeiten bietet. Die Notfallstabilisierung des Beckens kann durch einfache, ggf. manuelle beidseitige laterale Kompression erfolgen. Große Serien über kindliche Beckenfrakturen finden sich in der Literatur nicht. Es sind die Arbeiten von Torode [83], Silber [84] und Tarman [85] zu nennen, die alle berichten, dass sich die Behandlungsrichtlinien im Wesentlichen nicht von denen bei Erwachsenen unterscheiden. Berichte über die Verwendung einer Beckenzwinge beim Kind liegen nicht vor. Die Erfordernisse einer Infusionstherapie und chirurgischen Blutstillung gelten wie bei den Erwachsenen. Bezüglich der bildgebenden Diagnostik hat die Kernspintomographie beim jungen, wachsenden Skelett gegenüber der Computertomographie den Vorteil, auch noch nicht ossifizierte Strukturen darzustellen und somit auch hier eine multipanare Darstellung einer Beckenverletzung zu ermöglichen. Nativröntgenaufnahmen haben im Vergleich zur Computertomographie in der Diagnostik der knöchernen Beckenstrukturen eine deutlich schwächere Aussagekraft und können nach Guillaumondegui et al. [86] der CT nachgeordnet oder ganz unterlassen werden. Lediglich bei kreislaufinstabilen Patienten sei die konventionelle Beckenübersichtsaufnahme im Rahmen des Verletzungsscreenings noch sicher indiziert. Zu beachten ist insbesondere die Elastizität des kindlichen Beckens, welche zu einer kompletten Rückstellung des Beckenskeletts trotz schwerem Überrolltrauma führen kann. Bei 20% der kindlichen komplexen Beckenverletzungen findet sich ein normales Beckenskelett im Nativröntgen und in der Computertomographie.

Die Inzidenz der Beckenringfrakturen steigt im Alter (Clement and Court-Brown 2014; Ragnarsson and Jacobsson 1992). Die Fehltriage ist nach wie vor ein Problem, weil geriatrische Patienten trotz Bagatelltraumata schwere Verletzungen erleiden können und aufgrund mangelnder physiologischer Reserven schwerer reagieren verglichen mit jungen Patienten (Jacobs 2003; Bardes et al. 2019).

Geriatrische Patienten mit Beckenfrakturen brauchen mehr Transfusionen, benötigen vermehrt interventionelle Angiographien und eine erhöhte Mortalität trotz aggressiver Therapien (S. M. Henry et al. 2002; O’Brien et al. 2002). Die erhöhte Blutungsrate wird im Rahmen verringerter Gefäßkompliance diskutiert (Marmor et al. 2020) aber auch in der vermehrten Verschreibung von antikoagulatorischen Medikamenten (Calland et al. 2012; Franko et al. 2006). Eine erhöhte Rate der Verletzung der Corona mortis wurde bei geriatrischen Patienten bisher nicht beschrieben.

Abbildung 1: Behandlungsalgorithmus des komplexen Beckentraumas [87]



Aus dem gegenwärtigen Kenntnisstand lässt sich trotz unterschiedlicher und teilweise recht schwacher Evidenzgrade ein Behandlungsalgorithmus ableiten, der jedoch je nach lokalen logistischen

Verhältnissen abgeändert werden kann. Ein sogenannter „Clear the Pelvis“-Algorithmus muss noch entwickelt und wissenschaftlich evaluiert werden. Der frühen nichtinvasiven und ggf. prophylaktischen Beckenstabilisierung durch den Beckengurt bis zum Ausschluss einer relevanten Beckenverletzung kommt hier, ebenso wie dem sequentiellen Einsatz der radiologischen Diagnostik (Ganzkörper-CT, Beckenübersichtsaufnahme a.p., dynamische Untersuchung unter BV), eine besondere Bedeutung zu.

Literatur

1. Adams JE, Davis GG, Alexander CB, Alonso JE. Pelvic trauma in rapidly fatal motor vehicle accidents. *J Orthop Trauma*. 2003;17(6):406-10.
2. Pohlemann T, Culemann U, Gansslen A, Tscherne H. [Severe pelvic injury with pelvic mass hemorrhage: determining severity of hemorrhage and clinical experience with emergency stabilization]. *Der Unfallchirurg*. 1996;99(10):734-43.
3. Pohlemann T, Paul C, Gansslen A, Regel G, Tscherne H. [Traumatic hemipelvectomy. Experiences with 11 cases]. *Der Unfallchirurg*. 1996;99(4):304-12.
4. Bonner TJ, Eardley WG, Newell N, Masouros S, Matthews JJ, Gibb I, et al. Accurate placement of a pelvic binder improves reduction of unstable fractures of the pelvic ring. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93(11):1524-8.
5. Trunkey DD. Trauma. Accidental and intentional injuries account for more years of life lost in the U.S. than cancer and heart disease. Among the prescribed remedies are improved preventive efforts, speedier surgery and further research. *Sci Am*. 1983;249(2):28-35.
6. Shlamovitz GZ, Mower WR, Bergman J, Chuang KR, Crisp J, Hardy D, et al. How (un)useful is the pelvic ring stability examination in diagnosing mechanically unstable pelvic fractures in blunt trauma patients? *J Trauma*. 2009;66(3):815-20.
7. Schweigkofler U, Wohlrath B, Paffrath T, Flohé S, Wincheringer D, Hoffmann R, et al. „Clear-the-Pelvis-Algorithmus“: Handlungsempfehlung zur Freigabe des Beckens nach nicht invasiver Stabilisierung mittels Beckengurt im Rahmen der Schockraumversorgung. *Z Orthop Unfall*. 2016;154(05):470-6.
8. Wohlrath B, Trentzsch H, Schweigkofler U, et al. Beobachtungsstudie zum Management instabiler Beckenfrakturen. *Anästh Intensivmed*. 2015;56:S81-S87.
9. Lustenberger T, Walcher F, Lefering R, Schweigkofler U, Wyen H, Marzi I, et al. The Reliability of the Pre-hospital Physical Examination of the Pelvis: A Retrospective, Multicenter Study. *World Journal of Surgery*. 2016;40(12):3073-9.
10. Pehle B, Nast-Kolb D, Oberbeck R, Waydhas C, Ruchholtz S. [Significance of physical examination and radiography of the pelvis during treatment in the shock emergency room]. *Der Unfallchirurg*. 2003;106(8):642-8.
11. Kessel B, Sevi R, Jeroukhimov I, Kalganov A, Khashan T, Ashkenazi I, et al. Is routine portable pelvic X-ray in stable multiple trauma patients always justified in a high technology era? *Injury*. 2007;38(5):559-63.
12. Their ME, Bensch FV, Koskinen SK, Handolin L, Kiuru MJ. Diagnostic value of pelvic radiography in the initial trauma series in blunt trauma. *Eur Radiol*. 2005;15(8):1533-7.
13. Miller PR, Moore PS, Mansell E, Meredith JW, Chang MC. External fixation or arteriogram in bleeding pelvic fracture: initial therapy guided by markers of arterial hemorrhage. *J Trauma*. 2003;54(3):437-43.
14. TR-DGU Jahresbericht 2012. https://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/TR-DGU_Jahresbericht_2021.pdf.
15. Wohlrath B, Trentzsch H, Hoffmann R, Kremer M, Schmidt-Horlohe K, Schweigkofler U. [Preclinical and clinical treatment of instable pelvic injuries : Results of an online survey.]. *Der Unfallchirurg*. 2014.
16. Young JW, Burgess AR, Brumback RJ, Poka A. Pelvic fractures: value of plain radiography in early assessment and management. *Radiology*. 1986;160(2):445-51.
17. Edeiken-Monroe BS, Browner BD, Jackson H. The role of standard roentgenograms in the evaluation of instability of pelvic ring disruption. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(240):63-76.
18. Berg EE, Chebuhar C, Bell RM. Pelvic trauma imaging: a blinded comparison of computed tomography and roentgenograms. *J Trauma*. 1996;41(6):994-8.
19. Harley JD, Mack LA, Winquist RA. CT of acetabular fractures: comparison with conventional radiography. *AJR Am J Roentgenol*. 1982;138(3):413-7.
20. Resnik CS, Stackhouse DJ, Shanmuganathan K, Young JW. Diagnosis of pelvic fractures in patients with acute pelvic trauma: efficacy of plain radiographs. *AJR Am J Roentgenol*. 1992;158(1):109-12.

21. Stewart BG, Rhea JT, Sheridan RL, Novelline RA. Is the screening portable pelvis film clinically useful in multiple trauma patients who will be examined by abdominopelvic CT? Experience with 397 patients. *Emerg Radiol.* 2002;9(5):266-71.
22. Duane TM, Dechert T, Wolfe LG, Brown H, Aboutanos MB, Malhotra AK, et al. Clinical examination is superior to plain films to diagnose pelvic fractures compared to CT. *Am Surg.* 2008;74(6):476-9; discussion 9-80.
23. Stengel D, Ottersbach C, Matthes G, Weigeldt M, Grundei S, Rademacher G, et al. Accuracy of single-pass whole-body computed tomography for detection of injuries in patients with major blunt trauma. *CMAJ.* 2012;184(8):869-76.
24. Dalal SA, Burgess AR, Siegel JH, Young JW, Brumback RJ, Poka A, et al. Pelvic fracture in multiple trauma: classification by mechanism is key to pattern of organ injury, resuscitative requirements, and outcome. *J Trauma.* 1989;29(7):981-1000; discussion -2.
25. Pereira SJ, O'Brien DP, Luchette FA, Choe KA, Lim E, Davis Jr K, et al. Dynamic helical computed tomography scan accurately detects hemorrhage in patients with pelvic fracture. *Surgery.* 2000;128(4):678-85.
26. Kamaoui I, Courbiere M, Floccard B, Monneuse O, Allaouchiche B, Pilleul F. [Pelvic trauma: impact of iodinated contrast material extravasation at MDCT on patient management]. *J Radiol.* 2008;89(11 Pt 1):1729-34.
27. Brown CV, Kasotakis G, Wilcox A, Rhee P, Salim A, Demetriades D. Does pelvic hematoma on admission computed tomography predict active bleeding at angiography for pelvic fracture? *Am Surg.* 2005;71(9):759-62.
28. Brasel KJ, Pham K, Yang H, Christensen R, Weigelt JA. Significance of contrast extravasation in patients with pelvic fracture. *J Trauma.* 2007;62(5):1149-52.
29. Blackmore CC, Jurkovich GJ, Linnau KF, Cummings P, Hoffer EK, Rivara FP. Assessment of volume of hemorrhage and outcome from pelvic fracture. *Arch Surg.* 2003;138(5):504-8; discussion 8-9.
30. Sheridan MK, Blackmore CC, Linnau KF, Hoffer EK, Lomoschitz F, Jurkovich GJ. Can CT predict the source of arterial hemorrhage in patients with pelvic fractures? *Emerg Radiol.* 2002;9(4):188-94.
31. Friese RS, Malekzadeh S, Shafi S, Gentilello LM, Starr A. Abdominal ultrasound is an unreliable modality for the detection of hemoperitoneum in patients with pelvic fracture. *J Trauma.* 2007;63(1):97-102.
32. Holting T, Buhr HJ, Richter GM, Roeren T, Friedl W, Herfarth C. Diagnosis and treatment of retroperitoneal hematoma in multiple trauma patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1992;111(6):323-6.
33. Dente CJ, Feliciano DV, Rozycki GS, Wyrzykowski AD, Nicholas JM, Salomone JP, et al. The outcome of open pelvic fractures in the modern era. *Am J Surg.* 2005;190(6):830-5.
34. DeAngelis NA, Wixted JJ, Drew J, Eskander MS, Eskander JP, French BG. Use of the trauma pelvic orthotic device (T-POD) for provisional stabilisation of anterior-posterior compression type pelvic fractures: a cadaveric study. *Injury.* 2008;39(8):903-6.
35. Schweigkofler U, Wincheringer D, Holstein J, Fritz T, Hoffmann R, Pohlemann T, et al. How effective are different models of pelvic binders: results of a study using a Pelvic Emergency Simulator. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society.* 2022;48(2):847-55.
36. Pohlemann T, Krettek C, Hoffmann R, Culemann U, Gansslen A. [Biomechanical comparison of various emergency stabilization measures of the pelvic ring]. *Der Unfallchirurg.* 1994;97(10):503-10.
37. Burkhardt M, Culemann U, Seekamp A, Pohlemann T. [Strategies for surgical treatment of multiple trauma including pelvic fracture. Review of the literature]. *Der Unfallchirurg.* 2005;108(10):812, 4-20.
38. Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H, Pohlemann T. [Pelvic fracture. Diagnostics and current treatment options]. *Chirurg.* 2003;74(7):687-98; quiz 99-700.
39. Siegmeth A, Mullner T, Kukla C, Vecsei V. [Associated injuries in severe pelvic trauma]. *Der Unfallchirurg.* 2000;103(7):572-81.
40. Trafton PG. Pelvic ring injuries. *Surg Clin North Am.* 1990;70(3):655-69.

41. Croce MA, Magnotti LJ, Savage SA, Wood GW, 2nd, Fabian TC. Emergent pelvic fixation in patients with exsanguinating pelvic fractures. *J Am Coll Surg.* 2007;204(5):935-9; discussion 40-2.
42. Ghaemmaghami V, Sperry J, Gunst M, Friese R, Starr A, Frankel H, et al. Effects of early use of external pelvic compression on transfusion requirements and mortality in pelvic fractures. *Am J Surg.* 2007;194(6):720-3; discussion 3.
43. Schweigkofler U, Wohlrath B, Trentzsch H, Horas K, Hoffmann R, Wincheringer D. Is there any benefit in the pre-hospital application of pelvic binders in patients with suspected pelvic injuries? *European Journal of Trauma & Emergency Surgery.* 2021;47(2):493-8.
44. Pizanis A, Pohlemann T, Burkhardt M, Aghayev E, Holstein JH. Emergency stabilization of the pelvic ring: Clinical comparison between three different techniques. *Injury.* 2013;44(12):1760-4.
45. Benders KEM, Leenen LPH. Management of Hemodynamically Unstable Pelvic Ring Fractures. *Front Surg.* 2020;7:601321.
46. Hauschild O, Aghayev E, von Heyden J, Strohm PC, Culemann U, Pohlemann T, et al. Angioembolization for pelvic hemorrhage control: results from the German pelvic injury register. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2012;73(3):679-84.
47. Wijffels DJ, Verbeek DO, Ponsen KJ, Carel Goslings J, van Delden OM. Imaging and Endovascular Treatment of Bleeding Pelvic Fractures: Review Article. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2019;42(1):10-8.
48. Holstein JH, Culemann U, Pohlemann T. What are predictors of mortality in patients with pelvic fractures? *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(8):2090-7.
49. Cothren CC, Osborn PM, Moore EE, Morgan SJ, Johnson JL, Smith WR. Preperitoneal pelvic packing for hemodynamically unstable pelvic fractures: a paradigm shift. *J Trauma.* 2007;62(4):834-9; discussion 9-42.
50. Dyer GS, Vrahas MS. Review of the pathophysiology and acute management of haemorrhage in pelvic fracture. *Injury.* 2006;37(7):602-13.
51. McDonogh JM, Lewis DP, Tarrant SM, Balogh ZJ. Preperitoneal packing versus angioembolization for the initial management of hemodynamically unstable pelvic fracture: A systematic review and meta-analysis. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2022;92(5):931-9.
52. Tanaka C, Tagami T, Nakayama F, Otake K, Kudo S, Takehara A, et al. Effect of angioembolization for isolated complex pelvic injury: A post-hoc analysis of a nationwide multicenter trauma database in Japan. *Injury.* 2022;53(6):2133-8.
53. Matsushima K, Piccinini A, Schellenberg M, Cheng V, Heindel P, Strumwasser A, et al. Effect of door-to-angioembolization time on mortality in pelvic fracture: Every hour of delay counts. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2018;84(5):685-92.
54. Hagiwara A, Minakawa K, Fukushima H, Murata A, Masuda H, Shimazaki S. Predictors of death in patients with life-threatening pelvic hemorrhage after successful transcatheter arterial embolization. *J Trauma.* 2003;55(4):696-703.
55. Hagiwara A, Murata A, Matsuda T, Matsuda H, Shimazaki S. The usefulness of transcatheter arterial embolization for patients with blunt polytrauma showing transient response to fluid resuscitation. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2004;57(2):271-7.
56. Lustenberger T, Wutzler S, Störmann P, Laurer H, Marzi I. The role of angio-embolization in the acute treatment concept of severe pelvic ring injuries. *Injury.* 2015;46:S33-S8.
57. Agolini SF, Shah K, Jaffe J, Newcomb J, Rhodes M, Reed JF, 3rd. Arterial embolization is a rapid and effective technique for controlling pelvic fracture hemorrhage. *J Trauma.* 1997;43(3):395-9.
58. Pieri S, Agresti P, Morucci M, De' Medici L, Galluzzo M, Oransky M. [Percutaneous management of hemorrhages in pelvic fractures]. *Radiol Med.* 2004;107(3):241-51.
59. Totterman A, Dormagen JB, Madsen JE, Klow NE, Skaga NO, Roise O. A protocol for angiographic embolization in exsanguinating pelvic trauma: a report on 31 patients. *Acta Orthop.* 2006;77(3):462-8.
60. Panetta T, Sclafani SJ, Goldstein AS, Phillips TF, Shaftan GW. Percutaneous transcatheter embolization for massive bleeding from pelvic fractures. *J Trauma.* 1985;25(11):1021-9.
61. Kimbrell BJ, Velmahos GC, Chan LS, Demetriades D. Angiographic embolization for pelvic fractures in older patients. *Arch Surg.* 2004;139(7):728-32; discussion 32-3.

62. Velmahos GC, Toutouzas KG, Vassiliu P, Sarkisyan G, Chan LS, Hanks SH, et al. A prospective study on the safety and efficacy of angiographic embolization for pelvic and visceral injuries. *J Trauma*. 2002;53(2):303-8; discussion 8.
63. Gourlay D, Hoffer E, Routt M, Bulger E. Pelvic angiography for recurrent traumatic pelvic arterial hemorrhage. *J Trauma*. 2005;59(5):1168-73; discussion 73-4.
64. Shapiro M, McDonald AA, Knight D, Johannigman JA, Cuschieri J. The role of repeat angiography in the management of pelvic fractures. *J Trauma*. 2005;58(2):227-31.
65. Fangio P, Asehounne K, Edouard A, Smail N, Benhamou D. Early embolization and vasopressor administration for management of life-threatening hemorrhage from pelvic fracture. *J Trauma*. 2005;58(5):978-84; discussion 84.
66. Sadri H, Nguyen-Tang T, Stern R, Hoffmeyer P, Peter R. Control of severe hemorrhage using C-clamp and arterial embolization in hemodynamically unstable patients with pelvic ring disruption. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2005;125(7):443-7.
67. Perez JV, Hughes TM, Bowers K. Angiographic embolisation in pelvic fracture. *Injury*. 1998;29(3):187-91.
68. Salim A, Teixeira PG, DuBose J, Ottochian M, Inaba K, Margulies DR, et al. Predictors of positive angiography in pelvic fractures: a prospective study. *J Am Coll Surg*. 2008;207(5):656-62.
69. Euler E, Nast-Kolb D, Schweiberer L. [Acetabular and pelvic fractures in multiple trauma]. *Orthopade*. 1997;26(4):354-9.
70. Ben-Menachem Y, Coldwell DM, Young JW, Burgess AR. Hemorrhage associated with pelvic fractures: causes, diagnosis, and emergent management. *AJR Am J Roentgenol*. 1991;157(5):1005-14.
71. Failing MS, McGanity PL. Unstable fractures of the pelvic ring. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1992;74(5):781-91.
72. Mucha P, Jr., Welch TJ. Hemorrhage in major pelvic fractures. *Surg Clin North Am*. 1988;68(4):757-73.
73. Westhoff J, Laurer H, Wutzler S, Wyen H, Mack M, Maier B, et al. [Interventional emergency embolization for severe pelvic ring fractures with arterial bleeding. Integration into the early clinical treatment algorithm]. *Der Unfallchirurg*. 2008;111(10):821-8.
74. Coccolini F, Ceresoli M, McGreevy DT, Sadeghi M, Pirouzram A, Toivola A, et al. Aortic balloon occlusion (REBOA) in pelvic ring injuries: preliminary results of the ABO Trauma Registry. *Updates in Surgery*. 2020;72(2):527-36.
75. Henry R, Matsushima K, Henry RN, Magee GA, Foran CP, DuBose J, et al. Validation of a Novel Clinical Criteria to Predict Candidacy for Aortic Occlusion: An Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery Study. *American Surgeon*. 2020;86(10):1418-23.
76. Ertel W, Keel M, Eid K, Platz A, Trentz O. Control of severe hemorrhage using C-clamp and pelvic packing in multiply injured patients with pelvic ring disruption. *J Orthop Trauma*. 2001;15(7):468-74.
77. Cook RE, Keating JF, Gillespie I. The role of angiography in the management of haemorrhage from major fractures of the pelvis. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84(2):178-82.
78. Bosch U, Pohlemann T, Tscherner H. [Primary management of pelvic injuries]. *Orthopade*. 1992;21(6):385-92.
79. Totterman A, Madsen JE, Skaga NO, Roise O. Extraperitoneal pelvic packing: a salvage procedure to control massive traumatic pelvic hemorrhage. *J Trauma*. 2007;62(4):843-52.
80. Verbeek D, Sugrue M, Balogh Z, Cass D, Civil I, Harris I, et al. Acute management of hemodynamically unstable pelvic trauma patients: time for a change? Multicenter review of recent practice. *World J Surg*. 2008;32(8):1874-82.
81. Spahn DR, Bouillon B, Cerny V, Duranteau J, Filipescu D, Hunt BJ, et al. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition. *Crit Care*. 2019;23(1):98.
82. Guerado E, Medina A, Mata MI, Galvan JM, Bertrand ML. Protocols for massive blood transfusion: when and why, and potential complications. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*. 2016;42(3):283-95.

83. Torode I, Zieg D. Pelvic fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 1985;5(1):76-84.
84. Silber JS, Flynn JM, Koffler KM, Dormans JP, Drummond DS. Analysis of the cause, classification, and associated injuries of 166 consecutive pediatric pelvic fractures. *J Pediatr Orthop*. 2001;21(4):446-50.
85. Tarman GJ, Kaplan GW, Lerman SL, McAleer IM, Losasso BE. Lower genitourinary injury and pelvic fractures in pediatric patients. *Urology*. 2002;59(1):123-6; discussion 6.
86. Guillamondegui OD, Mahboubi S, Stafford PW, Nance ML. The utility of the pelvic radiograph in the assessment of pediatric pelvic fractures. *J Trauma*. 2003;55(2):236-9; discussion 9-40.
87. Seekamp A, Burkhardt M, Pohlemann T. Schockraummanagement bei Verletzungen des Beckens. Eine systematische Literaturübersicht. *Der Unfallchirurg*. 2004;107(10):903-10.

2.10 Schädel-Hirn-Trauma

U.M. Mauer*, N. Könsgen#, N. Meyer#, S. Hess#, P. Hilbert-Carius, A. Bender, M. Maegele

Akutversorgung im Schockraum

Nach Überprüfung des klinischen Befundes und Sicherstellung der Vitalfunktionen ist beim polytraumatisierten Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma in der Regel eine bildgebende Diagnostik erforderlich, die im Rahmen des Ganzkörper-CT mit der Nativ-Untersuchung des Schädels beginnt. Da die sofortige Entfernung einer intrakraniellen Blutung lebensrettend sein kann, ist bei stabiler Atem- und Kreislauffunktion eine Verzögerung nicht gerechtfertigt. Auch für den am Unfallort ansprechbaren, für Intubation und Transport sedierten Verletzten gilt diese Forderung, weil die Unterscheidung einer sich entwickelnden intrakraniellen Blutung von einer medikamentösen Ursache der Bewusstlosigkeit nur mittels CT möglich ist.

2.10.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die wiederholte Erfassung und Dokumentation von Bewusstseinslage, mit Pupillenfunktion und Glasgow Coma Scale (Motorik bds.) soll erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Für klinische Befunde findet sich in der Literatur eine prognostische Aussagekraft lediglich für das Vorliegen weiter, lichtstarrer Pupillen [1-3] und eine Verschlechterung des GCS-Wertes [1, 2, 4], die beide mit einem schlechten Outcome korrelieren. Es gibt keine prospektiven randomisiert-kontrollierten Untersuchungen zur Steuerung der Therapie durch die klinischen Befunde. Da solche Studien sicherlich ethisch nicht vertretbar sind, wurde bei der Entwicklung der Leitlinie die Bedeutung der klinischen Untersuchung auf einen A-Empfehlungsgradheraufgestuft unter der derzeit nicht beweisbaren Vorstellung, dass ein möglichst frühzeitiges Entdecken lebensbedrohlicher Zustände mit entsprechenden therapeutischen Konsequenzen (siehe die folgenden Empfehlungen) den Outcome verbessern kann.

Trotz verschiedener Schwierigkeiten [5] hat sich die Glasgow Coma Scale (GCS) international als Einschätzung der momentan festzustellenden Schwere einer Hirnfunktionsstörung eingebürgert. Mit ihr können die Aspekte Augen öffnen, verbale Kommunikation und motorische Reaktion standardisiert bewertet werden. Die neurologischen Befunde, mit Uhrzeit in der Akte dokumentiert, sind entscheidend für den Ablauf der weiteren Behandlung. Kurzfristige Kontrollen des neurologischen Befundes zur Erkennung einer Verschlechterung sind unbedingt durchzuführen [1, 6]. Siehe hierzu auch <https://www.glasgowcomascale.org>.

Die alleinige Verwendung der GCS beinhaltet allerdings die Gefahr einer diagnostischen Lücke, insbesondere wenn nur Summenwerte betrachtet werden. Dies gilt für das beginnende Mittelhirnsyndrom, das sich in spontanen Strecksynergismen bemerkbar machen kann, die nicht durch die GCS erfasst werden, und für Begleitverletzungen des Rückenmarks. Erfasst werden sollen daher die motorischen Funktionen der Extremitäten mit seitengetrennter Unterscheidung an Arm und Bein, ob keine, eine unvollständige oder eine vollständige Lähmung vorliegt. Hierbei sollte auf das Vorliegen

von Beuge- oder Strecksynergismen geachtet werden. Sofern keine Willkürbewegungen möglich sind, muss an allen Extremitäten die Reaktion auf Schmerzreiz erfasst werden.

Liegt keine Bewusstlosigkeit vor, sind zusätzlich Orientierung, Hirnnervenfunktion, Koordination und Sprachfunktion zu erfassen.

2.10.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Anzustreben sind eine Normoxie, Normokapnie und Normotonie. Ein Absinken der arteriellen Sauerstoffsättigung unter 90% soll vermieden werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.10.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei bewusstlosen Patienten (Anhaltgröße GCS ≤8) soll eine Intubation mit adäquater Beatmung (mit Kapnometrie und Blutgasanalyse) erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.10.4	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Beim Erwachsenen sollte eine arterielle Normotension mit einem systolischen Blutdruck ≥ 110 mmHg angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[7] Asmar 2021: LoE 2b [8] Shibahashi 2018: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Aus ethischen Gründen sind prospektive randomisierte kontrollierte Studien, die den Effekt einer Hypotonie und/oder Hypoxie auf den Outcome untersuchen, sicherlich nicht vertretbar. Es gibt aber viele retrospektive Studien [1, 9], die ein deutlich schlechteres Outcome bei Vorliegen einer Hypotonie oder Hypoxie belegen. In erster Linie sind Zustände zu vermeiden, die mit einem Blutdruckabfall oder einer Abnahme der Sauerstoffsättigung im Blut einhergehen. Eine aggressive Therapie zur Anhebung des Blutdruckes und der Sauerstoffsättigung hat sich allerdings aufgrund von Nebenwirkungen nicht immer bewährt. Anzustreben sind eine Normoxie, Normokapnie und Normotonie.

Bei insuffizienter Spontanatmung, in jedem Fall aber auch bei Bewusstlosen mit ausreichender Spontanatmung ergibt sich die Notwendigkeit zur Intubation. Auch hierfür gibt es in der Literatur leider keine hochwertige Evidenz, die einen eindeutigen Nutzen der Maßnahme belegt. Hauptargument für die Intubation ist die effiziente Vermeidung einer Hypoxie. Aber insbesondere auch die Vermeidung einer Hyperkapnie bei Normoxie mit daraus resultierender Verschlechterung des Hirnödems. Diese droht bei Bewusstlosen auch bei suffizienter Spontanatmung, da es durch die gestörten Schutzreflexe zur Aspiration kommen kann. Hauptargument gegen die Intubation ist der hypoxische Schaden, der durch eine fehlerhafte Intubation eintreten kann. Unter den Bedingungen des Schockraums ist aber anzunehmen, dass die Fehlintubation sofort erkannt und korrigiert werden kann. Häufig besteht nach

der Intubation die Notwendigkeit zur Beatmung, deren Effektivität durch eine Kapnografie und Blutgasanalysen überwacht werden soll.

Maßnahmen zur Sicherstellung der Herzkreislauffunktionen sind das Stillen offensichtlicher Blutungen (sofern noch nicht geschehen), die Überwachung von Blutdruck und Puls sowie die Substitution von Flüssigkeitsverlusten, wie sie in dieser Leitlinie beschrieben werden. Spezielle Empfehlungen für die zu verwendende Infusionslösung können bei begleitendem Schädel-Hirn-Trauma nicht gemacht werden [1].

Der ideale systolische Blutdruck beim Schädel-Hirn-Trauma ist in der Literatur in der Diskussion. Auch Leitlinien werden im Hinblick auf den idealen systolischen Blutdruck beim Schädel-Hirn-Trauma derzeit überarbeitet. Dies führte auch zu intensiven Diskussionen innerhalb der Entwicklung dieser Leitlinie. Die zugrunde liegenden Studien sind jedoch allesamt Registerstudien mit unterschiedlichen Studienpopulationen, so werden teilweise isolierte Schädel-Hirn-Traumata und teilweise Polytraumatisierte betrachtet, andererseits wird teilweise der gemessene Blutdruck am Notfallort und teilweise gemessene Blutdruck im Schockraum ausgewertet. Somit trifft keine Studie exakt die Patientengruppe, die in diesem Kapitel betrachtet wird, nämlich polytraumatisierte Patienten mit relevantem Schädel-Hirn-Trauma in der Schockraum-Versorgung. Als Extrakt aus den vorliegenden Studien (z.B. Asmar et al) wurde als minimales Therapieziel ein systolischer Blutdruck während der Schockraumversorgung von 110 mm Hg identifiziert. Auch hier wurde in der Leitlinienentwicklung intensiv das Vorgehen im Schockraum bei Patienten mit einem niederen Blutdruck und nun bekanntem Verletzungsmuster (abdominelle Blutung, Verletzung großes Gefäß) diskutiert. Da in dieser Situation größere Blutungen dann bekannt sind, hat sich die Leitliniengruppe deshalb hier zu einem höheren systolischen Blutdruckparameter durchgerungen. Auf eine mögliche Verschlechterung des Gesamtzustandes des Patienten bei nicht versorgten Verletzungen größerer Gefäße muss jedoch geachtet werden.

2.10.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Beim Polytrauma mit Verdacht auf Schädel-Hirn-Verletzung soll eine CCT durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.10.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Im Falle einer neurologischen Verschlechterung soll eine (Kontroll-)CT durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.10.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei bewusstlosen Patienten und /oder Verletzungszeichen in der initialen CCT sollte eine Verlaufs-CCT innerhalb von 8 Stunden durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Eine hochwertige Evidenz, in welchen Situationen eine kraniale Bildgebung bei Verdacht auf Schädel-Hirn-Verletzung erforderlich ist, findet sich in der Literatur nicht. Bei einem reinen SHT sind folgende Befunde mit einem erhöhten Risiko einer intrakraniellen Blutung verbunden (absolute Indikation [10]):

- Koma,
- Bewusstseinstäubung,
- Amnesie,
- andere neurologische Störungen,
- Erbrechen, wenn ein enger zeitlicher Zusammenhang zur Gewalteinwirkung besteht,
- Krampfanfall,
- klinische Zeichen oder röntgenologischer Nachweis einer Schädelfraktur,
- Verdacht auf Impressionsfraktur und/oder penetrierende Verletzungen
- Verdacht auf Liquorfistel,
- bei Hinweisen auf eine Gerinnungsstörung (Fremdanamnese, Antikoagulantienbehandlung, Thrombozytenaggregationshemmer, nicht sistierende Blutung aus oberflächlichen Verletzungen usw.).

Da die vorliegende Leitlinie sich auf schwerverletzte Patienten bezieht, wird auf die Diskussion der Notwendigkeit eines cranialen CT bei leichtverletzten Patienten mit einem leichten Schädel-Hirn-Trauma (SHT 1. Grades) an dieser Stelle nicht eingegangen.

Als fakultative Indikationen, die alternativ zur Bildgebung eine engmaschige Überwachung erfordern, gelten:

- unklare Angaben über die Unfallanamnese,
- starke Kopfschmerzen,
- Intoxikation mit Alkohol oder Drogen,
- Hinweise auf ein Hochenergietrauma. Als solche gelten [11] eine Fahrzeuggeschwindigkeit >60 km/h, eine große Deformation des Fahrzeugs, das Eindringen von >30 cm in die Passagierkabine, eine Bergungsdauer aus dem Fahrzeug >20 min, ein Sturz >6 m, ein Überrolltrauma, eine Fußgänger- oder Motorradkollision mit >30 km/h oder die Trennung des Fahrers vom Motorrad.

Da bei einem polytraumatisierten Patienten immer von einer größeren Gewalteinwirkung ausgegangen werden kann, bestand bei der Entwicklung der Leitlinie Konsens darüber, dass bei Symptomen einer Schädigung des Gehirns immer eine kraniale computertomografische Bildgebung erfolgen soll. Treten Symptome erst im Behandlungsverlauf auf oder nehmen sie im Verlauf an Schwere zu, so ist eine Kontrolle der Bildgebung erforderlich, da intrakranielle Blutungen mit Verzögerung auftreten bzw. an Größe zunehmen können. Die Kenntnis von einer raumfordernden intrakraniellen Blutung (siehe Kapitel 3.4 „Schädel-Hirn-Trauma“) erfordert ein unverzügliches operatives Eingreifen. Connon mussten in ihrem Kollektiv bei fast einem Drittel der Patienten die Therapie ändern, wenn ein CT wegen einer Verschlechterung des ICP oder der klinischen Symptomatik angefertigt worden ist [12].

Diese Empfehlung der geplanten CT-Kontrolle basiert auf der klinischen Beobachtung, dass bei Patienten mit initial scheinbar unauffälligem kranialen Computertomogramm (CCT) sich intrakranielle, raumfordernde Blutungen entwickeln können bzw. kleinere, nicht operationsbedürftige Befunde deutlich an Größe zunehmen und somit eine OP-Indikation darstellen. Das Auftreten neurologischer Symptome kann mehrere Stunden nachhinken bzw. wird durch die intensivmedizinische Therapie bei bewusstlosen Patienten maskiert. Es bestand daher Übereinstimmung darin, dass in diesen Fällen regulär eine Kontrolle des CCT erfolgen sollte, wenn auch Connon die in ihrer Untersuchung nicht mit

einer signifikanten Evidenz belegen konnten [12]. Dennoch empfehlen auch sie, gerade bei „jungen Patienten“ routinemäßig ein Kontroll-CT.

Als Goldstandard der kranialen Bildgebung gilt die Computertomografie aufgrund der in der Regel raschen Verfügbarkeit und der im Vergleich zur Kernspintomografie einfacheren Untersuchungsdurchführung [13]. Die Kernspintomografie hat eine höhere Sensitivität für umschriebene Gewebläsionen [14]. Sie wird daher vor allem bei Patienten mit neurologischen Störungen ohne pathologischen CT-Befund empfohlen.

2.10.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Zur Behandlung des SHT soll auf die Gabe von Glukokortikoiden verzichtet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.10.9	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei Verdacht auf stark erhöhten intrakraniellen Druck, insbesondere bei Zeichen der transtentoriellen Herniation (Pupillenerweiterung, Strecksynergismen, Streckreaktion auf Schmerzreiz, progrediente Bewusstseinstörung), können die folgenden Maßnahmen angewandt werden: <ul style="list-style-type: none"> • Hyperventilation • Mannitol • Hypertone Kochsalzlösung 	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei schädelhirnverletzten Patienten ist eine Substitution ausgefallener Funktionen (Atmung, Nahrungsaufnahme [9, 15] usw.) erforderlich. Wesentliches Ziel zum gegenwärtigen Zeitpunkt der wissenschaftlichen Erkenntnis ist es, eine Homöostase (Normoxie, Normotonie, Vermeiden einer Hyperthermie) zu erreichen und drohende (z.B. infektiöse) Komplikationen abzuwenden. Sepsis, Pneumonie und Blutgerinnungsstörungen sind unabhängige Prädiktoren eines schlechten klinischen Ergebnisses [16]. Ziel dieser Maßnahmen ist es, das Ausmaß der sekundären Hirnschädigung zu begrenzen und den funktionsgeschädigten, aber nicht zerstörten Zellen des Gehirns optimale Bedingungen für die funktionelle Regeneration zu geben. Dies gilt in gleicher Weise bei Vorliegen eines Schädel-Hirn-Traumas im Rahmen einer Mehrfachverletzung.

Die Notwendigkeit einer antibiotischen Prophylaxe bei frontobasalen Frakturen mit Liquorrhoe ist kontrovers diskutiert worden. Eine Evidenz für die Gabe von Antibiotika liegt jedoch nicht vor [17, 18].

Die Thromboseprophylaxe mittels physikalischer Maßnahmen (z.B. Kompressionsstrümpfe) ist eine unumstrittene Maßnahme zur Vermeidung von Sekundärkomplikationen. Bei der Gabe von Heparin bzw. Heparinderivaten muss der Nutzen gegen die Gefahr einer Größenzunahme intrakranieller Blutungen abgewogen werden, da es bei Hirnverletzungen keine Zulassung für diese Präparate gibt und daher die Anwendung außerhalb des Zulassungsbereiches als Off-Label-Use zustimmungspflichtig durch den Patienten oder seinen gesetzlichen Vertreter ist.

Eine antikonvulsive Therapie verhindert das Auftreten epileptischer Anfälle in der ersten Woche nach Trauma. Das Auftreten eines Anfalls in der Frühphase führt jedoch nicht zu einem schlechteren klinischen Ergebnis [9, 19]. Eine über 1–2 Wochen hinausgehende Antikonvulsivgabe ist nicht mit einer Reduktion spätraumatischer Anfälle verbunden [9, 19, 20].

Die Datenlage in der wissenschaftlichen Literatur hat bisher nicht den Nutzen weiterer, als spezifisch hirnpotektiv angesehener Therapieregimes belegen können. Derzeit kann keine Empfehlung für die hyperbare Sauerstofftherapie [21], die therapeutische Hypothermie [22, 23], die Gabe von 21-Aminosteroiden, Kalziumantagonisten, Glutamat-Rezeptor-Antagonisten oder TRIS-Puffer gegeben werden [1, 24-26].

Die Gabe von Glukokortikoiden ist aufgrund einer signifikant erhöhten 14-Tage-Letalität [27, 28] ohne Verbesserung des klinischen Outcomes [29] nicht indiziert.

Bei Verdacht auf eine transtentorielle Herniation und den Zeichen des Mittelhirnsyndroms (Pupillenerweiterung, Strecksynergismen, Streckreaktion auf Schmerzreiz, progrediente Bewusstseinstörung) kann die Hyperventilation als Behandlungsoption in der Frühphase nach Trauma eingesetzt werden [1, 9]. Richtwerte sind 20 Atemzüge/min bei Erwachsenen. Die früher aufgrund ihrer oftmals eindrucksvollen hirndrucksenkenden Wirkung eingesetzte Hyperventilation hat allerdings aufgrund der induzierten Vasokonstriktion auch eine Reduktion der zerebralen Perfusion zur Folge. Dies beinhaltet das Risiko einer zerebralen Ischämie bei aggressiver Hyperventilation und damit der Verschlechterung des klinischen Outcomes [9].

Die Gabe von Mannitol kann für einen kurzen Zeitraum (bis 1 Std.) den intrakraniellen Druck (Intracranial Pressure [ICP]) senken [9]. Die Therapiesteuerung durch ICP-Messung ist zu bevorzugen [30]. Bei Verdacht auf eine transtentorielle Herniation kann die Gabe auch ohne Messung des ICPs erfolgen. Auf die Serumosmolarität und die Nierenfunktion muss geachtet werden.

Für die hirnpotektive Wirkung hypertoner Kochsalzlösungen gibt es bislang nur wenige Evidenzbelege. Im Vergleich zu Mannitol scheint die Mortalität etwas geringer zu sein. Der Effekt beruht allerdings auf einer kleinen Fallzahl und ist statistisch nicht signifikant [30].

Die Oberkörperhochlagerung auf 30° wird häufig empfohlen, obwohl hierdurch der CPP nicht beeinflusst wird. Extrem hohe ICP-Werte werden jedoch reduziert.

Die (Analgo-)Sedierung per se hat keinen ICP-senkenden Effekt. Unruhezustände unter abnormer Eigenatmung können aber zur ICP-Erhöhung führen, die sich günstig beeinflussen lässt. Durch die verbesserte Beatmung lässt sich darüber hinaus eine bessere Oxygenierung erreichen. Die Gabe von Barbituraten, die in früheren Leitlinien bei anderweitig nicht beherrschbaren Hirndruckkrisen empfohlen wurde [2], ist nicht ausreichend belegt [31]. Auf die negativ inotrope Wirkung, den möglichen Blutdruckabfall und die Beeinträchtigung der neurologischen Beurteilbarkeit bei Barbituratgabe muss geachtet werden.

Die Enthaltungen in der Abstimmung innerhalb der Leitliniengruppe resultieren aus der fehlenden Vollständigkeit der möglichen Therapieoptionen. Hierfür wird auf die ebenfalls überarbeitete Leitlinie zur Therapie des Schädel-Hirn-Trauma beim Erwachsenen verwiesen.

Literatur

1. Gabriel EJ, Ghajar J, Jagoda A, Pons PT, Scalea T, Walters BC. Guidelines for prehospital management of traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*. 2002;19(1):111-74.
2. Surgeons TBFTAAoN. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Management and Prognosis of Severe Traumatic Brain Injury. 2000.
3. Tien HC, Cunha JR, Wu SN, Chughtai T, Tremblay LN, Brenneman FD, et al. Do trauma patients with a Glasgow Coma Scale score of 3 and bilateral fixed and dilated pupils have any chance of survival? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2006;60(2):274-8.
4. Marmarou A, Lu J, Butcher I, McHugh GS, Murray GD, Steyerberg EW, et al. Prognostic value of the Glasgow Coma Scale and pupil reactivity in traumatic brain injury assessed pre-hospital and on enrollment: an IMPACT analysis. *Journal of neurotrauma*. 2007;24(2):270-80.
5. Balestreri M, Czosnyka M, Chatfield D, Steiner L, Schmidt E, Smielewski P, et al. Predictive value of Glasgow Coma Scale after brain trauma: change in trend over the past ten years. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2004;75(1):161-2.
6. Karimi A, Burchardi H. Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) Stellungnahmen, Empfehlungen zu Problemen der Intensiv- und Notfallmedizin 2004; 5. Auflage Köln, asmuth druck & crossmedia.
7. Asmar S, Chehab M, Bible L, Khurram M, Castanon L, Ditillo M, et al. The Emergency Department Systolic Blood Pressure Relationship After Traumatic Brain Injury. *The Journal of surgical research*. 2021;257:493-500.
8. Shibahashi K, Hoda H, Okura Y, Hamabe Y. Acceptable Blood Pressure Levels in the Prehospital Setting for Patients with Traumatic Brain Injury: A Multicenter Observational Study. *World Neurosurgery*. 2021;06:06.
9. Surgeons. TBFTAAoN. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury.
10. Mendelow A, Teasdale G, Jennett B, Bryden J, Hessett C, Murray G. Risks of intracranial haematoma in head injured adults. *British medical journal (Clinical research ed)*. 1983;287(6400):1173-6.
11. Trauma ACoSCo. Advanced Trauma Life Support (ATLS) for Doctors. 7 ed. Chicago 2004.
12. Connon FF, Namdarian B, Ee JL, Drummond KJ, Miller JA. Do routinely repeated computed tomography scans in traumatic brain injury influence management? A prospective observational study in a level 1 trauma center. *Ann Surg*. 2011;254(6):1028-31.
13. Vos PE, Battistin L, Birbamer G, Gerstenbrand F, Potapov A, Prevec T, et al. EFNS guideline on mild traumatic brain injury: report of an EFNS task force. *Eur J Neurol*. 2002;9(3):207-19.
14. Firsching R, Woischneck D, Klein S, Reissberg S, Döhring W, Peters B. Classification of severe head injury based on magnetic resonance imaging. *Acta neurochirurgica*. 2001;143(3):263-71.
15. Yanagawa T, Bunn F, Roberts IG, Wentz R, Pierro A. Nutritional support for head-injured patients. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2002;(3).
16. Piek J, Chesnut RM, Marshall LF, van Berkum-Clark M, Klauber MR, Blunt BA, et al. Extracranial complications of severe head injury. *Journal of neurosurgery*. 1992;77(6):901-7.
17. Brodie HA. Prophylactic antibiotics for posttraumatic cerebrospinal fluid fistulae: a meta-analysis. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*. 1997;123(7):749-52.
18. Villalobos T, Arango C, Kubilis P, Rathore M. Antibiotic prophylaxis after basilar skull fractures: a meta-analysis. *Clinical infectious diseases*. 1998;27(2):364-5.
19. Schierhout G, Roberts I. Antiepileptic drugs for preventing seizures following acute traumatic brain injury. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2001;(4).
20. Chang BS, Lowenstein DH. Practice parameter: antiepileptic drug prophylaxis in severe traumatic brain injury: report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*. 2003;60(1):10-6.
21. Bennett MH, Heard R. Hyperbaric oxygen therapy for multiple sclerosis. *Cochrane database of systematic reviews*. 2004;(1).

22. Harris OA, Colford Jr JM, Good MC, Matz PG. The role of hypothermia in the management of severe brain injury: a meta-analysis. *Archives of Neurology*. 2002;59(7):1077-83.
23. Saxena M, Andrews PJ, Cheng A, Deol K, Hammond N. Modest cooling therapies (35°C to 37.5 °C) for traumatic brain injury. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2014;(8).
24. Langham J, Goldfrad C, Teasdale G, Shaw D, Rowan K. Calcium channel blockers for acute traumatic brain injury. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2003;(4).
25. Roberts I. Aminosteroids for acute traumatic brain injury. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2000;1999(4):Cd001527.
26. Willis C, Lybrand S, Bellamy N. Excitatory amino acid inhibitors for traumatic brain injury. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2003;(1).
27. Alderson P, Roberts I. Corticosteroids for acute traumatic brain injury (Cochrane Review). *Journal of the American College of Surgeons*. 2005;200(6):A40-A1.
28. Collaborators CT. Effect of intravenous corticosteroids on death within 14 days in 10 008 adults with clinically significant head injury (MRC CRASH trial): randomised placebo-controlled trial. *The Lancet*. 2004;364(9442):1321-8.
29. collaborators Ct. Final results of MRC CRASH, a randomised placebo-controlled trial of intravenous corticosteroid in adults with head injury - outcomes at 6 months. *Lancet*. 2005;365:1957-59.
30. Wakai A, Roberts IG, Schierhout G. Mannitol for acute traumatic brain injury. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2005;(4).
31. Roberts I. Barbiturates for acute traumatic brain injury. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2000;(2):Cd000033.

2.11 Wirbelsäule

F. Högel*, O. Gonschorek, A. Woltmann

Bei Patienten, die mit dem Verdacht auf ein Polytrauma in die Klinik eingeliefert werden, besteht prinzipiell auch der Verdacht auf eine Wirbelsäulenverletzung. Im eigenen Krankengut der Jahre 2000–2002 hatten 34 % der Polytraumatisierten (245 von 720) eine Wirbelsäulenverletzung.

Andere Studien fanden eine Rate von 20 % [1]. Umgekehrt geht etwa $\frac{1}{3}$ aller Wirbelsäulenverletzungen mit Begleitverletzungen einher [2, 3]. Insgesamt kann man in Deutschland pro Jahr von ca. 10 000 schwerwiegenden Wirbelsäulen(Ws)-verletzungen ausgehen, die sich zu 1/5 und 4/5 auf Halswirbelsäule und Brust-/Lendenwirbelsäule verteilen [4]. Bei Polytraumen ist in ca. 10 % der Fälle mit einer HWS-Verletzung zu rechnen [5]. Die kindliche Wirbelsäulenverletzung ist mit 1–27 Verletzungen/Millionen Kinder/Jahr in Westeuropa/Nordamerika relativ selten [6].

Das Vorliegen einer Wirbelsäulenverletzung im Rahmen eines Polytraumas hat erhebliche Konsequenzen für die Diagnostik und das therapeutische Vorgehen. Zunächst sind die typischen z. B. thorakalen oder abdominellen Begleitverletzungen auszuschließen. Wird die operative Stabilisierung notwendig, ist eine umfassende präoperative CT-Abklärung der verletzten Region erforderlich. Intensivmedizinische Lagerungsmöglichkeiten hängen von der Stabilität einer nachgewiesenen Wirbelsäulenverletzung ab. Daher ist es wünschenswert, eine Wirbelsäulenverletzung hinsichtlich ihrer Stabilität abzuklären, wenn der Allgemeinzustand des Patienten es zulässt (Kreislauf, Temperatur, Gerinnung, Hirndruck etc.) und bevor der Unfallverletzte vom Schockraum oder von der OP auf die Intensivstation verlegt wird.

Anamnese

2.11.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Anamnese hat einen hohen Stellenwert und sollte erhoben werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Anamnese wird beim Polytraumatisierten meist aus einer Fremdanamnese bestehen. Hierbei ist vor allem der Unfallmechanismus eine wichtige Information, die von der prähospitalen in die klinische Versorgung weitergegeben werden sollte. Das Polytrauma an sich [7-9], Verkehrsunfälle mit hoher Rasanz [2, 7, 10-13], Verkehrsunfälle mit nicht durch Gurt oder Airbag gesicherten Personen [11, 14], Fußgänger, die angefahren wurden [10], Stürze aus großer Höhe [8, 9, 15-17], Alkohol- oder Drogeneinfluss [18] und höheres Lebensalter [10, 19, 20] stellen Prädispositionen für eine Wirbelsäulenverletzung dar. Die Anamnese sollte beim Bewusstlosen auch die aktive Bewegung der Extremitäten und Schmerzangaben vor Bewusstseinsverlust bzw. Intubation erfassen. Das Schädel-Hirn-Trauma und Verletzungen des Gesichtes gelten als Risikofaktoren für das Vorliegen einer Halswirbelsäulenverletzung. Laut der multivariaten Analyse von Blackmore et al. [10] haben Patienten mit Schädelfraktur oder fortgesetzter Bewusstlosigkeit eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit auf das Vorliegen einer Halswirbelsäulenverletzung (Odds Ratio 8,5), während diese bei leichteren Verletzungen, wie z. B. Gesichts-/Kieferfraktur oder kurzfristige Bewusstlosigkeit, weniger stark

ausgeprägt ist (OR 2,6). In ähnlicher Weise fanden Hills und Deane [21], dass das Risiko einer HWS-Verletzung bei Patienten mit SHT etwa 4-mal höher als bei Patienten ohne SHT ist. Bei einem GCS unter 8 ist das Risiko sogar 7-fach erhöht. Andere Studien zur Bedeutung des Schädel-Hirn-Traumas [21, 22], des Bewusstseinsverlustes [13, 23-26] und der Gesichtsschädelfrakturen [21, 27-29] bestätigen die Assoziation zu Wirbelsäulenverletzungen. Lediglich eine Studie mit großer Patientenzahl beschrieb ein tendenziell eher erniedrigtes Risiko von HWS-Verletzungen bei Patienten mit Gesichts- oder Kopfverletzungen [30], wobei aber der GCS als Prädiktor signifikant war. Ob auch Claviculafrakturen als Prädiktor gelten können, ist zweifelhaft [30].

Im Rahmen des demografischen Wandels mit zunehmend älteren Menschen ist jedoch auch gerade bei diesen Patienten bei niederenergetischen Unfällen auf eine Wirbelsäulenverletzung zu achten. So beschrieb Nelson [31] ein Vorkommen von Wirbelsäulenverletzungen in 43 % der Fälle bei „Low - Velocity“-Verletzungen bei Patienten mit einem mittleren ISS von 15.

Klinische Untersuchung

2.11.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Im Schockraum hat die klinische Untersuchung bei Wirbelsäulenverletzungen einen hohen Stellenwert und sollte durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die klinische Untersuchung der Wirbelsäule ist aufgrund ihrer einfachen und schnellen Durchführbarkeit eine wertvolle diagnostische Hilfe im Schockraum [9]. Sie umfasst die Inspektion und Palpation der Wirbelsäule, wo Kontusionen und Hämatome gesehen werden sowie ein Versatz oder Fehlstellungen der Dornfortsatzreihe und Dellen in betroffenen Segmenten tastbar sein können. Schmerzangaben an Kopf und Rumpf können auf eine Wirbelsäulenverletzung hinweisen. Schmerzen auf Druck, Distraction oder Bewegung sowie zwanghafte Fehlstellungen sind weitere Merkmale der Wirbelsäulenverletzung [16]. Sofern der Patient bei Bewusstsein ist, sollten Motorik und Sensibilität geprüft werden. Die neurologische Untersuchung sollte bei bestehenden Ausfällen einen präzisen und standardisierten Befund, am besten nach dem ASIA-IMSOP (American Spinal Injury Association-International Medical Society of Paraplegia)-Klassifikationsbogen, dokumentieren [4, 5]. Es gibt für das Monotrauma gut validierte klinische Entscheidungsregeln [32-35], über die sich eine Wirbelsäulenverletzung sicher ausschließen lässt, was unnötige Röntgendiagnostik erspart. Diese Entscheidungsregeln lassen sich aber nicht auf das Polytrauma übertragen, weil hier prähospitalen Maßnahmen (speziell die Intubation) und Begleitverletzungen (insbesondere des Schädels) eine reliable Anamnese und Untersuchung im Regelfall unmöglich machen [36, 37], da hierdurch die Rückmeldung durch den Patienten nicht oder nur in eingeschränktem Ausmaß gegeben ist. So fanden Cooper et al. [8], dass Schmerzen über einer Wirbelsäulenfraktur nur bei 63 % der schwerer gegenüber 91 % der leichter verletzten Patienten zu finden waren; Patienten mit einem SHT waren hierbei nicht mitbetrachtet worden. Ganz ähnliche Zahlen (58 % vs. 93 %) wurden von Meldon und Moettus berichtet [38], sodass eine klinische Untersuchung hier nur bei einem GCS von 15 als reliabel betrachtet wurde. Mirvis et al. und Barba et al. beobachteten, dass etwa 10 %–20 % aller scheinbar schwer verletzten Patienten in Wahrheit leichter verletzt und somit ausreichend beurteilbar waren, um eine Wirbelsäulenverletzung klinisch ausschließen zu können [39, 40]. Hieraus ergibt sich, dass die klinische Untersuchung beim Polytraumatisierten stark von der Gesamtverletzungsschwere abhängt. Nur in den Fällen, wo ein Patient mit Verdacht auf ein Polytrauma eingeliefert wird, sich die Verletzungsschwere

dann aber als geringer herausstellt (ISS < 16), wird man eventuell auf die radiologische Abklärung der Wirbelsäule verzichten können. Dies ist aber außerhalb des Fokus dieser Leitlinie. Beim Polytrauma ist die klinische Diagnostik nicht ausreichend verlässlich, um den Verdacht einer Wirbelsäulenverletzung hinreichend sicher abklären zu können. Die klinische Untersuchung kann dagegen beim Vorliegen spezifischer Zeichen eine Wirbelsäulenverletzung als Verdachtsdiagnose erhärten [10, 13, 41]. Trotz niedriger Sensitivität erlauben aufgrund ihres hohen positiven prädiktiven Wertes (> 66 %) die folgenden Zeichen die Verdachtsdiagnose einer Wirbelsäulenverletzung beim Polytrauma [42]: tastbare Stufenbildung in der Mediansagittalebene, Schmerz bei Palpation, periphere neurologische Ausfälle oder ein Bluterguss über der Wirbelsäule. Die Arbeiten von Holmes et al. [25], Gonzalez et al. [41] und Ross et al. 1992 [26] unterstützen die Wertigkeit des klinischen Befundes. Gonzalez et al. und Holmes et al. berichten für die klinische Untersuchung insgesamt eine Sensitivität von über 90 % an der HWS und von bis zu 100 % an der BWS/LWS, wobei aber Patienten mit anamnestischen Risikofaktoren (schmerzhafte oder bewusstseinsbeeinträchtigende Begleitverletzungen) als klinische Risikogruppe abgegrenzt wurden. Damit sind diese Studien nicht auf das Polytrauma übertragbar. Beim bewusstlosen Unfallverletzten deuten ein schlaffer Muskeltonus, insbesondere auch des Analsphinkters, eine fehlende Schmerzabwehr, die reine Bauchatmung und ein Priapismus auf eine Querschnittslähmung hin. Zur Wertigkeit der klinischen Untersuchung ist damit die Datenlage insgesamt im Vergleich zur Anamnese etwas besser, auch wenn einige der Studien an Monotrauma- oder gemischten Patientenpopulationen durchgeführt wurden. Die Quintessenz ist, dass das Vorhandensein klinischer Symptome eine Wirbelsäulenverletzung vorhersagen kann. Ihre Abwesenheit schließt eine Wirbelsäulenverletzung aber nicht sicher aus.

Bildgebende Diagnostik

2.11.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine Wirbelsäulenverletzung sollte nach Kreislaufstabilisierung und vor Verlegung auf die Intensivstation durch bildgebende Diagnostik abgeklärt werden	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

Prinzipiell sollte die Diagnostik der Wirbelsäule so früh wie möglich abgeschlossen werden, weil anderenfalls die fortdauernde Ruhigstellung medizinische und pflegerische Maßnahmen erschwert (z. B. Lagerung, zentralvenöser Zugang, Intubation) und auch die Ruhigstellung selbst zu Nebenwirkungen (z. B. Druckulzera, Infektion) führen kann [43, 44]. Schwierig ist die Beantwortung der Frage nach der diagnostischen Abklärung des kreislaufinstabilen Mehrfachverletzten. Hier wird prioritätenorientiert vorgegangen, indem vital bedrohliche Verletzungen (z. B. epidurales Hämatom, Pneumothorax) vorrangig therapiert und auch operiert werden. Ist dieses Ziel erreicht, wird die Wirbelsäule bei sonst fehlenden Kontraindikationen (z. B. Hypothermie) wie oben beschrieben vor Verlegung auf die Intensivstation bildgebend abgeklärt. Ist dies situationsbedingt nicht sinnvoll, weil z. B. ohne aktuelle Konsequenz, wird die Wirbelsäule nach Stabilisierung des Gesamtzustandes, üblicherweise am nächsten Tag, bildgebend abgeklärt [45]. Im Einzelfall können es andere Verletzungen notwendig machen, auf die primäre bildgebende Diagnostik der Wirbelsäule zu verzichten [45]. In diesem Fall müssen die gängigen Vorsichtsmaßnahmen bis auf Weiteres beibehalten werden: HWS-Stütze, Lagerung und Drehen en bloc, Umlagerung mit Rollbrett, Vakuummatratze etc. [46, 47]. „Bildgebend ausgeschlossen“ bedeutet keine Luxation oder instabile WS-Fraktur in beurteilbaren Röntgen-(RX)-Bildern oder in einer CT der Wirbelsäule. Erst wenn die bildgebende

Diagnostik nachgeholt worden ist oder der Patient sich soweit erholt hat, dass durch die klinische Befunderhebung eine Wirbelsäulenverletzung ausgeschlossen werden kann, ist die konsequente Ruhigstellung der Wirbelsäule beendet. Einzelne Autoren verzichten bei leichter verletzten Patienten allerdings bewusst auf die radiologische Primärdiagnostik, wenn absehbar ist, dass der Patient binnen 24 Stunden wieder soweit klinisch beurteilbar ist, dass eine Röntgendiagnostik sicher umgangen werden kann [48]. Dies wird beim Polytrauma allerdings eher selten der Fall sein, sodass dieses Vorgehen hier nicht empfohlen wird.

2.11.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Für die Schockraumdiagnostik sollte bei Kreislaufstabilität je nach Ausstattung der aufnehmenden Klinik die Wirbelsäule abgeklärt werden: Vorzugsweise durch Mehrschicht-Spiral-CT von Kopf bis Becken oder ersatzweise durch konventionelle Röntgendiagnostik der gesamten Wirbelsäule (a. p. und seitlich, Densziel).	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

Klinisch vielfach üblich ist die native Röntgendiagnostik mit gezielter CT-Abklärung [49, 50]. Die radiologische Abklärung der HWS hat im Gegensatz zur weiteren Wirbelsäule oberste Priorität. Möglich ist diese Abklärung mittels CT und konventioneller Röntgendiagnostik (a. p., seitlich und Dens-Zielaufnahme). Eine nur seitliche Aufnahme der HWS erwies sich als nicht ausreichend, um knöcherne Verletzungen ausreichend sicher ausschließen zu können [51-55]. Folgende Anforderungen müssen erfüllt werden: In der seitlichen Ebene sollten alle sieben Halswirbel abgebildet sein [56, 57]. In der a. p. Projektion sollten die Processus spinosi C2–TH1 abgebildet sein, in der Dens-Zielaufnahme sollten die Massae laterales C1 und C2 gut zu beurteilen sein [58]. Von untergeordneter Priorität sind die 45°-Schrägaufnahmen für das C7/TH1-Alignment, Schwimmaufnahmen und ähnliche Projektionen, da sie wenig aussagekräftig und zeitraubend sind sowie eine hohe Strahlendosis aufweisen [59-61]. Soweit erforderlich, sollten Schrägaufnahmen den Schwimmaufnahmen vorgezogen werden [62]. Andere Autoren fanden dagegen, dass Patienten mit inadäquater Darstellung des C7-TH1-Übergangs in der primären Bildgebung danach besser mit Schrägaufnahmen als mit der Computertomografie abgeklärt werden [63], weil sich hierüber die CT-Diagnostik in über 10 % aller Fälle vermeiden ließ. Funktionsaufnahmen der Halswirbelsäule sollten beim bewusstlosen Patienten vom Arzt unter Bildwandler gehalten werden, um ligamentäre Verletzungen bei begründetem Verdacht auszuschließen [64-67]. Ihre Sensitivität beträgt bei Patienten mit erhaltenem Bewusstsein 92 %, ihre Spezifität 99 % [48]. Da in den Funktionsaufnahmen insgesamt jedoch nur selten krankhafte Befunde entdeckt werden, ist der routinemäßige und auch selektive Einsatz der Funktionsaufnahmen in der Primärdiagnostik von fraglicher Effektivität [66, 68-70]. Insgesamt ist ein negativer Befund in den Funktionsaufnahmen noch nicht als Beweis für das Fehlen einer Instabilität zu werten. Als Alternative bietet sich die Computertomografie oder speziell die Kernspintomografie an (siehe unten). Übersehene muskuloskeletale Verletzungen machen beim Polytrauma ca. 12 % aus [71]. Die Halswirbelsäule steht an erster Stelle [72-75]. Die Ursachen sind inadäquate oder nicht durchgeführte Röntgenuntersuchungen oder eine nicht konsistent verfolgte notwendige Diagnostik [56, 74, 76, 77], weswegen bei bewusstlosen Patienten bei fehlender Darstellung der Regionen C0–C3 bzw. C6/C7 mit der CT abgeklärt werden sollte [48, 78]. 20 % der Wirbelsäulenverletzungen werden übersehen, weil die Diagnostik unvollständig ist [79, 80]. Dem entsprechen Daten über 39 Polytraumatisierte, von denen neun eine Halswirbelsäulen(HWS)-verletzung hatten, die nur bei sechs dieser Patienten mit konventionellem Röntgen diagnostiziert werden konnten. Bei den drei übrigen Patienten waren dagegen Zusatzuntersuchungen (1x Funktionsaufnahmen und 2x CT) erforderlich [81]. Die Diagnose

„Polytrauma“ beinhaltet per se ein beträchtliches Risiko, wichtige Verletzungen primär zu übersehen [82]. Übersehene Verletzungen beim Polytrauma betreffen zu 50 % die gesamte Wirbelsäule. Es resultieren daraus eine verlängerte Hospitalisationszeit und zusätzlich nachfolgende Operationen [74]. Beim Polytrauma wird daher empfohlen, die gesamte Wirbelsäule routinemäßig abzuklären [83, 84]. Insbesondere bei stumpfen Rasantraumen und Stürzen aus großer Höhe werden Verletzungen mit Zweitfrakturen in anderen Etagen mit einer Häufigkeit von 10 % gesehen. Deshalb sollen Brust- und Lendenwirbelsäule ebenfalls in zwei Ebenen geröntgt werden [4, 85].

Computertomografie

2.11.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Im konventionellen Röntgen pathologische, verdächtige und nichtbeurteilbare Regionen sollten mit CT weiter abgeklärt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

Aufgrund der höheren diagnostischen Genauigkeit im Erkennen von Wirbelsäulenverletzungen sollte – soweit vorhanden – der CT-Diagnostik der Vorzug gegeben werden [86]. Ein weiterer praktischer Vorteil der CT-Diagnostik ist die deutlich schnellere Abklärung der Wirbelsäule im Vergleich zur konventionellen Röntgendiagnostik [87-89], weil nichtbeurteilbare Aufnahmen, wie zum Beispiel im cervicothorakalen Übergang, kaum noch vorkommen. Üblicherweise erfolgt die CT-Diagnostik mit i. v.-Kontrastmittelgabe. Auch bei Kindern gilt die CT-Diagnostik als vorteilhaft, auch wenn die Strahlendosis hierbei mit ca. 400 mRem (Millirem) höher liegt als bei konventioneller, Röntgendiagnostik (150–300 mRem), wie eine pseudorandomisierte Studie zeigte [90]. Es empfiehlt sich, bei Kindern die Möglichkeiten der klinischen Befundung, trotz der oben genannten Probleme, maximal auszuschöpfen [91]. Grundsätzlich ergibt sich für das Kind im Schockraum kein unterschiedliches Vorgehen gegenüber dem Erwachsenen. Ohne CT sollten nachgewiesene Wirbelsäulenverletzungen nicht operiert werden [92], da sich Beurteilung und Klassifikation der Fraktur oft durch die CT gegenüber dem einfachen Röntgen entscheidend verändern [87, 93]. Insbesondere bei rotationsinstabilen Frakturen ist die vorhergehende CT-Darstellung und -Analyse erforderlich [94]. Gerade die Spiral-CT-Untersuchung vom Kopf bis zum Becken ohne konventionelle Röntgendiagnostik ist beim Polytrauma für die Abklärung der Wirbelsäule besonders geeignet, weil sie zeitsparend ist, eine im Vergleich zur konventionellen Röntgendiagnostik höhere Sicherheit aufweist, weniger Umlagerungsmanöver erfordert und geringere Kosten hervorruft [95]. Wenn die Wirbelsäule sich in der CT unauffällig darstellt, ist eine zusätzliche konventionelle Bildgebung überflüssig [96-100], da der negative prädiktive Wert 100 % fast erreicht. Bei heute durchgängiger Verfügbarkeit erscheint die CT-Diagnostik aktuell das Mittel der Wahl zum Nachweis von Wirbelsäulenverletzungen beim Polytrauma in der Schockraumphase zu sein [101].

Halswirbelsäule (HWS)

Harris et al. 2000 [102] beschreiben die konventionelle Röntgendiagnostik bei HWS-Verletzungen als nicht zufriedenstellend, sodass insbesondere beim Polytrauma die CT, ggf. die Magnetresonanztomografie (MRT), empfohlen wird. Die CT ist für Halswirbelsäulenverletzungen deutlich akkurater als die konventionelle Röntgendiagnostik: Bei 38 von 70 Patienten wurde im konventionellen Röntgenbild, im CT bei 67 dieser 70 Patienten die Halswirbelsäulenverletzung erkannt [103]. Ähnliche Ergebnisse liefern auch eine aktuelle Metaanalyse [104] und die Übersichtsarbeiten von Crim et al. 2001 [105] und Link et al. 1994 [106]: Mit konventionellen seitlichen

Röntgenaufnahmen wurden 60–80 % der Halswirbelsäulenverletzungen erkannt, mit der CT 97–100 % [107] (Tabelle 2). Weiter führende Studien zeigen, dass die Schichtdicke der Computertomografie die diagnostische Genauigkeit beeinflusst [14], was auch bei der Bewertung älterer Studien mit heute veralteten CT-Geräten beachtet werden muss. Aufgrund der Zahlen in der Literatur kommen auch Blackmore et al. zu dem Schluss, dass die primäre CT-Diagnostik gegenüber dem konventionellen Röntgen bei Patienten mit mittlerem und hohem Risiko einer Wirbelsäulenverletzung klinisch und ökonomisch besser abschneidet [108]. Die CT Untersuchung der HWS bietet nicht nur die genaue Beurteilung der knöchernen Verletzung, sondern auch Hinweise auf discoligamentäre Verletzungen, die mit Instabilitäten einhergehen. Dies konnte von Vanguri et al. [109] nachgewiesen werden, der in 38 % der Fälle mit discoligamentären Instabilitäten diese auch im CT nachweisen konnte. Bei Beachtung von indirekten Hinweisen, wie z. B. Teardrop-Frakturen, Erweiterungen der Segmentabstände und prävertebralen Hämatomen, stellt die CT der HWS eine Untersuchung mit hohem Wert dar.

Brust-/Lendenwirbelsäule (BWS/LWS)

Eine Zusammenstellung wichtiger Studien zur CT-Diagnostik im Schockraum bei Verletzungen der BWS/LWS im Rahmen eines Polytraumas gibt Tabelle 3. Es zeigt sich auch hier eine deutlich höhere Sensitivität der CT gegenüber der konventionellen Diagnostik. Beachtet werden muss, dass nicht alle Zusatzbefunde wie Querfortsatzabrisse in der CT klinisch relevant waren, durchaus aber auf andere relevante Verletzungen hinweisen können (Abdominalverletzungen). Hinzu kommen Vorteile in Bezug auf die Zeit und Operationsplanung. Nach Hauser et al. 2003 [87] betrug die Zeit für die konventionelle Röntgendiagnostik zur suffizienten Abklärung der Wirbelsäule 3 Stunden, mit der CT eine Stunde. Darüber hinaus lag die Rate falscher Frakturklassifikationen bei der CT bei 1,4 % und beim Röntgen bei 12,6 %.

Begleitverletzungen Schädel/Thorax/Abdomen

Zur Abklärung der Wirbelsäule und von Begleitverletzungen beim Polytrauma wird eine Standard-CT vom Kopf bis zum Becken beim Polytrauma initial empfohlen, die mit ca. 20 Minuten Zeitaufwand berechnet wird [110]. Insbesondere bei Halswirbelsäulenverletzungen kombiniert mit SHT ist die Computertomografie am Aufnahmetag indiziert [81]. Bei Brustwirbelsäulenfrakturen ist die Notfall-CT-Untersuchung des Thorax, wegen der hohen Rate komplizierter thorakopulmonaler Verletzungen, indiziert [111]. Auch die Konstellation „Lendenwirbelsäulenverletzungen und Abdominaltrauma“, in Form von Einblutungen an der Bauchwand nach Gurtverletzung, spricht dafür, die Wirbelsäulenverletzung mittels CT abzuklären, um gleichzeitig das Abdomen mit beurteilen zu können [112]. Auch Miller et al. 2000 [113] und Patten et al. 2000 [114] weisen auf die Bedeutung der Processus-transversus-Frakturen an der LWS als wichtige Hinweise auf eine abdominelle Begleitverletzung hin, weswegen die CT empfohlen wird. Darüber hinaus wird die Abklärung der thorakolumbalen Wirbelsäule durch die CT auch bei Acetabulum- und Beckenfrakturen empfohlen [93, 115]. In der konventionellen Röntgendiagnostik werden in 11 % der Fälle bei Processus-transversus-Frakturen signifikante Wirbelsäulenfrakturen übersehen, die erst durch die CT erkannt werden, weshalb die CT zur Abklärung dieser Frakturen als erforderlich angegeben wird [116].

Kernspintomografie (MRT)

Kernspintomografische Untersuchungen spielen quantitativ insgesamt beim Polytrauma für die Schockraumphase eine untergeordnete Rolle [117]. Aus logistischen Gründen (Zugang, Metallgegenstände, Zeit, Verfügbarkeit) ist in der Regel beim Polytrauma eine MRT-Untersuchung in der Akutphase nicht sinnvoll. Die wesentliche Indikation zur MRT besteht in der Abklärung unklarer neurologischer Ausfälle. Es können insbesondere Läsionen am Rückenmark, an der Bandscheibe und an Bändern dargestellt werden [105, 118, 119]. Patton et al. [120] hielten jedoch eine Suche nach

ligamentären Verletzungen mittels MRT angesichts der Seltenheit dieser Verletzung für überflüssig. Es gibt keine Studien zum direkten Vergleich zwischen konventionellen Funktionsaufnahmen und MRT-Bildgebung, sodass beide Optionen empfehlenswert erscheinen. Für das Erkennen von Frakturen ist die MRT mit einer Sensitivität von nur 12 % bei einer Spezifität von 97 % kaum geeignet [121]. Im weiteren Verlauf sind MRT-Untersuchungen bei neurologischen Symptomen indiziert und haben die Funktionsaufnahmen für definierte Fragestellungen, wie z. B. bei der Hangman-Fraktur, zum Teil abgelöst [122]. Falsch negative Ergebnisse müssen in der Regel nicht gefürchtet werden, die Spezifität ist jedoch gering [48]. Liegt ein neurologisches Defizit ohne morphologisches Korrelat im CT vor, ist die MRT-Untersuchung des korrespondierenden WS-Abschnittes dringlich. Zusätzliche Indikationen ergeben sich gelegentlich im frühen postoperativen oder posttraumatischen Verlauf, um z. B. intraspinale Epiduralhämatome, prävertebrale Einblutungen oder Bandscheibenverletzungen beurteilen zu können [123-125].

In einer retrospektiven Analyse von Pourthaheri et al. [126] von 830 Fällen wurde der MRT-Untersuchung eine hohe Wertigkeit hinsichtlich der präoperativen Planung von HWS-Verletzungen zugeteilt. Hier zeigte sich, dass zusätzliche Informationen durch die präoperative MRT-Diagnostik in einem signifikanten Ausmaß zu einer anderen Operationsmethodik geführt hätten. Dies bezog sich in 81 % der Fälle auf eine verbliebene Kompression des Rückenmarks und in 9 % der Fälle auf okkulte Instabilitäten. Jedoch ist die Durchführung einer MRT-Diagnostik nur beim kreislaufstabilen Patienten sinnvoll, da sie nach wie vor einen hohen personellen und zeitlichen Aufwand mit sich bringt.

Notfallmaßnahmen wie Reposition und Kortisonbehandlung

2.11.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Im Ausnahmefall einer geschlossenen Notfallreposition der Wirbelsäule sollte diese nur nach suffizienter CT-Diagnostik der Verletzung vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

Vor jeder Reposition ist eine genaue Analyse der Wirbelsäulenverletzung vorzunehmen, d. h. eine sorgfältige Analyse der Bildgebung (CT) vorzuschalten. Trotz schlechter Evidenzlage ist ein Upgrade der Empfehlung wegen der Komplikationsgefahr vorgenommen worden. Die Reposition wird in der Regel unmittelbar präoperativ im OP oder offen während der Operation vorgenommen, gefolgt von einer operativen Stabilisierung der reponierten Verletzung. Vorsicht ist geboten bei der geschlossenen Reposition ohne operative Stabilisierung bzw. Ausräumung der Bandscheibe, da diese beim Repositionsvorgang nach dorsal hernieren und die Neurologie verschlechtern kann [127].

Literatur

1. Buchinger W. [Vertebromedullary injuries in polytrauma]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 1999;34 Suppl 1:S28-31.
2. Burney RE, Maio RF, Maynard F, Karunas R. Incidence, characteristics, and outcome of spinal cord injury at trauma centers in North America. *Arch Surg.* 1993;128(5):596-9.
3. Knop C, Blauth M, Buhren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, et al. [Surgical treatment of injuries of the thoracolumbar transition. 1: Epidemiology]. *Der Unfallchirurg.* 1999;102(12):924-35.
4. Buhren V. [Injuries to the thoracic and lumbar spine]. *Der Unfallchirurg.* 2003;106(1):55-68; quiz - 9.
5. Buhren V. [Fractures and instability of the cervical spine]. *Der Unfallchirurg.* 2002;105(11):1049-66.
6. Augutis M, Levi R. Pediatric spinal cord injury in Sweden: incidence, etiology and outcome. *Spinal Cord.* 2003;41(6):328-36.
7. Albrecht RM, Malik S, Kingsley DD, Hart B. Severity of cervical spine ligamentous injury correlates with mechanism of injury, not with severity of blunt head trauma. *Am Surg.* 2003;69(3):261-5; discussion 5.
8. Cooper C, Dunham CM, Rodriguez A. Falls and major injuries are risk factors for thoracolumbar fractures: cognitive impairment and multiple injuries impede the detection of back pain and tenderness. *J Trauma.* 1995;38(5):692-6.
9. Durham RM, Luchtefeld WB, Wibbenmeyer L, Maxwell P, Shapiro MJ, Mazuski JE. Evaluation of the thoracic and lumbar spine after blunt trauma. *Am J Surg.* 1995;170(6):681-4; discussion 4-5.
10. Blackmore CC, Emerson SS, Mann FA, Koepsell TD. Cervical spine imaging in patients with trauma: determination of fracture risk to optimize use. *Radiology.* 1999;211(3):759-65.
11. Lund PJ, Ruth JT, Dzioba R, Carmody R. Traumatic thoracolumbar facet instability: characteristic imaging findings. *Skeletal Radiol.* 1997;26(6):360-5.
12. Otte D, Sandor L, Zwipp H. [Significance and mechanism of thoracic and lumbar spine injuries in traffic accidents]. *Der Unfallchirurg.* 1990;93(9):418-25.
13. Stanislas MJ, Latham JM, Porter KM, Alpar EK, Stirling AJ. A high risk group for thoracolumbar fractures. *Injury.* 1998;29(1):15-8.
14. Huelke DF, Mackay GM, Morris A. Vertebral column injuries and lap-shoulder belts. *J Trauma.* 1995;38(4):547-56.
15. Bensch FV, Kiuru MJ, Koivikko MP, Koskinen SK. Spine fractures in falling accidents: analysis of multidetector CT findings. *Eur Radiol.* 2004;14(4):618-24.
16. Roberge RJ, Wears RC, Kelly M, Evans TC, Kenny MA, Daffner RD, et al. Selective application of cervical spine radiography in alert victims of blunt trauma: a prospective study. *J Trauma.* 1988;28(6):784-8.
17. Ruchholtz S, Nast-Kolb D, Waydhas C, Schweiberer L. The injury pattern in polytrauma. Value of information regarding accident process in clinical acute management. *Der Unfallchirurg.* 1996;99(9):633-41.
18. Schandler SL, Cohen MJ, Vulpe M, Frank SE. Incidence and characteristics of spinal cord injured patients with a family history of alcoholism. *J Stud Alcohol.* 1995;56(5):522-7.
19. Lomoschitz FM, Blackmore CC, Mirza SK, Mann FA. Cervical spine injuries in patients 65 years old and older: epidemiologic analysis regarding the effects of age and injury mechanism on distribution, type, and stability of injuries. *AJR Am J Roentgenol.* 2002;178(3):573-7.
20. Ryan MD, Henderson JJ. The epidemiology of fractures and fracture-dislocations of the cervical spine. *Injury.* 1992;23(1):38-40.
21. Hills MW, Deane SA. Head injury and facial injury: is there an increased risk of cervical spine injury? *J Trauma.* 1993;34(4):549-53; discussion 53-4.
22. Iida H, Tachibana S, Kitahara T, Horiike S, Ohwada T, Fujii K. Association of head trauma with cervical spine injury, spinal cord injury, or both. *J Trauma.* 1999;46(3):450-2.
23. Demetriades D, Charalambides K, Chahwan S, Hanpeter D, Alo K, Velmahos G, et al. Nonskeletal cervical spine injuries: epidemiology and diagnostic pitfalls. *J Trauma.* 2000;48(4):724-7.

24. Holly LT, Kelly DF, Counelis GJ, Blinman T, McArthur DL, Cryer HG. Cervical spine trauma associated with moderate and severe head injury: incidence, risk factors, and injury characteristics. *Journal of neurosurgery*. 2002;96(3 Suppl):285-91.
25. Holmes JF, Panacek EA, Miller PQ, Lapidis AD, Mower WR. Prospective evaluation of criteria for obtaining thoracolumbar radiographs in trauma patients. *The Journal of emergency medicine*. 2003;24(1):1-7.
26. Ross S, O'Malley KF, DeLong W, Born C, Schwab C. Clinical predictors of unstable cervical spinal injury in multiply injured patients. *Injury*. 1992;23(5):317-9.
27. Hackl W, Fink C, Hausberger K, Ulmer H, Gassner R. The incidence of combined facial and cervical spine injuries. *J Trauma*. 2001;50(1):41-5.
28. Martin RC, 2nd, Spain DA, Richardson JD. Do facial fractures protect the brain or are they a marker for severe head injury? *Am Surg*. 2002;68(5):477-81.
29. Prasad VS, Schwartz A, Bhutani R, Sharkey PW, Schwartz ML. Characteristics of injuries to the cervical spine and spinal cord in polytrauma patient population: experience from a regional trauma unit. *Spinal Cord*. 1999;37(8):560-8.
30. Williams J, Jehle D, Cottingham E, Shufflebarger C. Head, facial, and clavicular trauma as a predictor of cervical-spine injury. *Ann Emerg Med*. 1992;21(6):719-22.
31. Nelson DW, Martin MJ, Martin ND, Beekley A. Evaluation of the risk of noncontiguous fractures of the spine in blunt trauma. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013;75(1):135-9.
32. Bandiera G, Stiell IG, Wells GA, Clement C, De Maio V, Vandemheen KL, et al. The Canadian C-spine rule performs better than unstructured physician judgment. *Annals of emergency medicine*. 2003;42(3):395-402.
33. Hoffman JR, Mower WR, Wolfson AB, Todd KH, Zucker MI. Validity of a set of clinical criteria to rule out injury to the cervical spine in patients with blunt trauma. *National Emergency X-Radiography Utilization Study Group. The New England journal of medicine*. 2000;343(2):94-9.
34. Stiell IG, Clement CM, McKnight RD, Brison R, Schull MJ, Rowe BH, et al. The Canadian C-spine rule versus the NEXUS low-risk criteria in patients with trauma. *The New England journal of medicine*. 2003;349(26):2510-8.
35. Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, et al. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *Jama*. 2001;286(15):1841-8.
36. Chang CH, Holmes JF, Mower WR, Panacek EA. Distracting injuries in patients with vertebral injuries. *J Emerg Med*. 2005;28(2):147-52.
37. Ullrich A, Hendey GW, Geiderman J, Shaw SG, Hoffman J, Mower WR. Distracting painful injuries associated with cervical spinal injuries in blunt trauma. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2001;8(1):25-9.
38. Meldon SW, Moettus LN. Thoracolumbar spine fractures: clinical presentation and the effect of altered sensorium and major injury. *J Trauma*. 1995;39(6):1110-4.
39. Barba CA, Taggart J, Morgan AS, Guerra J, Bernstein B, Lorenzo M, et al. A new cervical spine clearance protocol using computed tomography. *J Trauma*. 2001;51(4):652-6; discussion 6-7.
40. Mirvis SE, Diaconis JN, Chirico PA, Reiner BI, Joslyn JN, Militello P. Protocol-driven radiologic evaluation of suspected cervical spine injury: efficacy study. *Radiology*. 1989;170(3 Pt 1):831-4.
41. Gonzalez RP, Fried PO, Bukhalo M, Holevar MR, Falimirski ME. Role of clinical examination in screening for blunt cervical spine injury. *J Am Coll Surg*. 1999;189(2):152-7.
42. Hsu JM, Joseph T, Ellis AM. Thoracolumbar fracture in blunt trauma patients: guidelines for diagnosis and imaging. *Injury*. 2003;34(6):426-33.
43. Morris CG, McCoy EP, Lavery GG. Spinal immobilisation for unconscious patients with multiple injuries. *BMJ*. 2004;329(7464):495-9.
44. Vickery D. The use of the spinal board after the pre-hospital phase of trauma management. *Emerg Med J*. 2001;18(1):51-4.
45. van Beek EJ, Been HD, Ponsen KK, Maas M. Upper thoracic spinal fractures in trauma patients - a diagnostic pitfall. *Injury*. 2000;31(4):219-23.
46. Gertzbein SD. Neurologic deterioration in patients with thoracic and lumbar fractures after admission to the hospital. *Spine*. 1994;19(15):1723-5.

47. Santora TA, Kaplan LJ, Trooskin SZ. Evaluation of the cervical spine. In: Sing RF, Reilly PM, Messick WJ, editors. Initial management of injuries: an evidence based approach. London: BMJ Books; 2001. p. 20-30
48. British Trauma Society. Guidelines for the initial management and assessment of spinal injury. *Injury*. 2003;34(6):405-25.
49. Eastern Association for Trauma (East) Practice Management Guidelines Work Group. Practice management guidelines for identifying cervical spine injuries following trauma. <http://www.east.org/tpg.html>; 2000.
50. Morris CG, McCoy E. Clearing the cervical spine in unconscious polytrauma victims, balancing risks and effective screening. *Anaesthesia*. 2004;59(5):464-82.
51. Cohn SM, Lyle WG, Linden CH, Lancey RA. Exclusion of cervical spine injury: a prospective study. *J Trauma*. 1991;31(4):570-4.
52. Shaffer MA, Doris PE. Limitation of the cross table lateral view in detecting cervical spine injuries: a retrospective analysis. *Ann Emerg Med*. 1981;10(10):508-13.
53. Suberviola B, Gonzalez-Castro A, Llorca J, Ortiz-Melon F, Minambres E. Early complications of high-dose methylprednisolone in acute spinal cord injury patients. *Injury*. 2008;39(7):748-52.
54. West OC, Anbari MM, Pilgram TK, Wilson AJ. Acute cervical spine trauma: diagnostic performance of single-view versus three-view radiographic screening. *Radiology*. 1997;204(3):819-23.
55. Zabel DD, Tinkoff G, Wittenborn W, Ballard K, Fulda G. Adequacy and efficacy of lateral cervical spine radiography in alert, high-risk blunt trauma patient. *J Trauma*. 1997;43(6):952-6; discussion 7-8.
56. Gerrelts BD, Petersen EU, Mabry J, Petersen SR. Delayed diagnosis of cervical spine injuries. *J Trauma*. 1991;31(12):1622-6.
57. Mower WR, Hoffman JR, Pollack CV, Jr., Zucker MI, Browne BJ, Wolfson AB. Use of plain radiography to screen for cervical spine injuries. *Ann Emerg Med*. 2001;38(1):1-7.
58. DiGiacomo JC, Frankel HL, Rotondo MF. Clearing the cervical spine in victims of blunt trauma. *Mil Med*. 2002;167(5):398-401.
59. Freemyer B, Knopp R, Piche J, Wales L, Williams J. Comparison of five-view and three-view cervical spine series in the evaluation of patients with cervical trauma. *Ann Emerg Med*. 1989;18(8):818-21.
60. MacDonald RL, Schwartz ML, Mirich D, Sharkey PW, Nelson WR. Diagnosis of cervical spine injury in motor vehicle crash victims: how many X-rays are enough? *J Trauma*. 1990;30(4):392-7.
61. Ralston ME, Ecklund K, Emans JB, Torrey SB, Bailey MC, Schutzman SA. Role of oblique radiographs in blunt pediatric cervical spine injury. *Pediatr Emerg Care*. 2003;19(2):68-72.
62. Ireland AJ, Britton I, Forrester AW. Do supine oblique views provide better imaging of the cervicothoracic junction than swimmer's views? *J Accid Emerg Med*. 1998;15(3):151-4.
63. Kaneriyi PP, Schweitzer ME, Spettell C, Cohen MJ, Karasick D. The cost-effectiveness of oblique radiography in the exclusion of C7-T1 injury in trauma patients. *AJR Am J Roentgenol*. 1998;171(4):959-62.
64. Ajani AE, Cooper DJ, Scheinkestel CD, Laidlaw J, Tuxen DV. Optimal assessment of cervical spine trauma in critically ill patients: a prospective evaluation. *Anaesth Intensive Care*. 1998;26(5):487-91.
65. Davis JW, Parks SN, Detlefs CL, Williams GG, Williams JL, Smith RW. Clearing the cervical spine in obtunded patients: the use of dynamic fluoroscopy. *J Trauma*. 1995;39(3):435-8.
66. Lewis LM, Docherty M, Ruoff BE, Fortney JP, Keltner RA, Jr., Britton P. Flexion-extension views in the evaluation of cervical-spine injuries. *Ann Emerg Med*. 1991;20(2):117-21.
67. Sees DW, Rodriguez Cruz LR, Flaherty SF, Ciceri DP. The use of bedside fluoroscopy to evaluate the cervical spine in obtunded trauma patients. *J Trauma*. 1998;45(4):768-71.
68. Anglen J, Metzler M, Bunn P, Griffiths H. Flexion and extension views are not cost-effective in a cervical spine clearance protocol for obtunded trauma patients. *J Trauma*. 2002;52(1):54-9.
69. Griffiths HJ, Wagner J, Anglen J, Bunn P, Metzler M. The use of forced flexion/extension views in the obtunded trauma patient. *Skeletal Radiol*. 2002;31(10):587-91.

70. Pollack CV, Jr., Hendey GW, Martin DR, Hoffman JR, Mower WR. Use of flexion-extension radiographs of the cervical spine in blunt trauma. *Ann Emerg Med.* 2001;38(1):8-11.
71. Enderson BL, Reath DB, Meadors J, Dallas W, DeBoo JM, Maull KI. The tertiary trauma survey: a prospective study of missed injury. *J Trauma.* 1990;30(6):666-9; discussion 9-70.
72. Alker GJ, Oh YS, Leslie EV, Lehotay J, Panaro VA, Eschner EG. Postmortem radiology of head neck injuries in fatal traffic accidents. *Radiology.* 1975;114(3):611-7.
73. Bucholz RW, Burkhead WZ, Graham W, Petty C. Occult cervical spine injuries in fatal traffic accidents. *J Trauma.* 1979;19(10):768-71.
74. Ryan M, Klein S, Bongard F. Missed injuries associated with spinal cord trauma. *Am Surg.* 1993;59(6):371-4.
75. Sweeney JF, Rosemurgy AS, Gill S, Albrink MH. Is the cervical spine clear? Undetected cervical fractures diagnosed only at autopsy. *Ann Emerg Med.* 1992;21(10):1288-90.
76. McLain RF, Benson DR. Missed cervical dissociation--recognizing and avoiding potential disaster. *J Emerg Med.* 1998;16(2):179-83.
77. Metak G, Scherer MA, Dannohl C. [Missed injuries of the musculoskeletal system in multiple trauma-a retrospective study]. *Zentralbl Chir.* 1994;119(2):88-94.
78. Tehranzadeh J, Bonk RT, Ansari A, Mesgarzadeh M. Efficacy of limited CT for nonvisualized lower cervical spine in patients with blunt trauma. *Skeletal Radiol.* 1994;23(5):349-52.
79. Blauth M, Knop C, Bastian L, Krettek C, Lange U. Complex injuries of the spine. *Der Orthopäde.* 1998;27(1):17-31.
80. Cusmano F, Ferrozzi F, Uccelli M, Bassi S. [Upper cervical spine fracture: sources of misdiagnosis]. *Radiol Med.* 1999;98(4):230-5.
81. Schnarkowski P, Friedrich JM, Arand M, Mutschler W. [Cervical spinal injuries in craniocerebral trauma: their x-ray diagnosis on the day of the accident]. *Rofo.* 1991;154(6):605-9.
82. Rogers LF, Hendrix RW. Evaluating the multiply injured patient radiographically. *Orthop Clin North Am.* 1990;21(3):437-47.
83. Dai L-Y, Yao W-F, Cui Y-M, Zhou Q. Thoracolumbar fractures in patients with multiple injuries: diagnosis and treatment—a review of 147 cases. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 2004;56(2):348-55.
84. Pal JM, Mulder DS, Brown RA, Fleiszer DM. Assessing multiple trauma: is the cervical spine enough? *J Trauma.* 1988;28(8):1282-4.
85. Winslow JE, 3rd, Hensberry R, Bozeman WP, Hill KD, Miller PR. Risk of thoracolumbar fractures doubled in victims of motor vehicle collisions with cervical spine fractures. *J Trauma.* 2006;61(3):686-7.
86. Antevil JL, Sise MJ, Sack DI, Kidder B, Hopper A, Brown CV. Spiral computed tomography for the initial evaluation of spine trauma: A new standard of care? *J Trauma.* 2006;61(2):382-7.
87. Hauser CJ, Visvikis G, Hinrichs C, Eber CD, Cho K, Lavery RF, et al. Prospective validation of computed tomographic screening of the thoracolumbar spine in trauma. *J Trauma.* 2003;55(2):228-34; discussion 34-5.
88. Heuchemer T, Waidelich H, Haberle HJ, Bargon G. [The diagnosis of spinal trauma: the indication for CT and myelo-CT on the day of the injury]. *Rofo.* 1992;156(2):156-9.
89. Heyer CM, Rduch GJ, Wick M, Bauer TT, Muhr G, Nicolas V. [Evaluation of multiple trauma victims with 16-row multidetector CT (MDCT): a time analysis]. *Rofo.* 2005;177(12):1677-82.
90. Adelgais KM, Grossman DC, Langer SG, Mann FA. Use of helical computed tomography for imaging the pediatric cervical spine. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine.* 2004;11(3):228-36.
91. Hanson JA, Blackmore CC, Mann FA, Wilson AJ. Cervical spine injury: a clinical decision rule to identify high-risk patients for helical CT screening. *American Journal of Roentgenology.* 2000;174(3):713-7.
92. Hofmann D. [Management of multiple traumas: possibilities and limitations in a general hospital]. *Unfallchirurgie.* 1992;18(2):105-10.

93. Herzog C, Ahle H, Mack MG, Maier B, Schwarz W, Zangos S, et al. Traumatic injuries of the pelvis and thoracic and lumbar spine: does thin-slice multidetector-row CT increase diagnostic accuracy? *Eur Radiol.* 2004;14(10):1751-60.
94. Shanmuganathan K, Mirvis SE, Levine AM. Rotational injury of cervical facets: CT analysis of fracture patterns with implications for management and neurologic outcome. *AJR Am J Roentgenol.* 1994;163(5):1165-9.
95. Novelline RA, Rhea JT, Rao PM, Stuk JL. Helical CT in emergency radiology. *Radiology.* 1999;213(2):321-39.
96. Brohi K, Healy M, Fotheringham T, Chan O, Aylwin C, Whitley S, et al. Helical computed tomographic scanning for the evaluation of the cervical spine in the unconscious, intubated trauma patient. *J Trauma.* 2005;58(5):897-901.
97. Brown CV, Antevil JL, Sise MJ, Sack DI. Spiral computed tomography for the diagnosis of cervical, thoracic, and lumbar spine fractures: its time has come. *J Trauma.* 2005;58(5):890-5; discussion 5-6.
98. Calendine CL, Fajman WA, Hanna SL, Tigges S. Is there need for thoracic spine radiographs following a negative chest CT in trauma patients? *Emerg Radiol.* 2002;9(5):254-6.
99. Ptak T, Kihiczak D, Lawrason JN, Rhea JT, Sacknoff R, Godfrey RR, et al. Screening for cervical spine trauma with helical CT: experience with 676 cases. *Emergency Radiology.* 2001;8(6):315-9.
100. Rybicki FJ, Knoll B, McKenney K, Zou KH, Nunez Jr DB. Imaging of cervical spine trauma: are the anteroposterior and odontoid radiographs needed when CT of the entire cervical spine is routine? *Emergency Radiology.* 2000;7(6):352-5.
101. Josten C, Katscher S. [Radiological Diagnostics in Spinal Injuries]. *Akt Traumatol.* 2003;33(4): 157-164.
102. Harris MB, Kronlage SC, Carboni PA, Robert KQ, Menmuir B, Ricciardi JE, et al. Evaluation of the cervical spine in the polytrauma patient. *Spine.* 2000;25(22):2884-91; discussion 92.
103. Schenarts PJ, Diaz J, Kaiser C, Carrillo Y, Eddy V, Morris JA, Jr. Prospective comparison of admission computed tomographic scan and plain films of the upper cervical spine in trauma patients with altered mental status. *J Trauma.* 2001;51(4):663-8; discussion 8-9.
104. Holmes JF, Akkinipalli R. Computed tomography versus plain radiography to screen for cervical spine injury: a meta-analysis. *J Trauma.* 2005;58(5):902-5.
105. Crim JR, Moore K, Brodke D. Clearance of the cervical spine in multitrauma patients: the role of advanced imaging. *Semin Ultrasound CT MR.* 2001;22(4):283-305.
106. Link TM, Schuierer G, Hufendiek A, Peters PE. [Fractures of the cervical spine. Diagnosis in multiple trauma patients]. *Radiologe.* 1994;34(12):721-7.
107. Platzer P, Jaendl M, Thalhammer G, Dittrich S, Wieland T, Vecsei V, et al. Clearing the cervical spine in critically injured patients: a comprehensive C-spine protocol to avoid unnecessary delays in diagnosis. *Eur Spine J.* 2006;15(12):1801-10.
108. Blackmore CC, Ramsey SD, Mann FA, Deyo RA. Cervical spine screening with CT in trauma patients: a cost-effectiveness analysis. *Radiology.* 1999;212(1):117-25.
109. Vanguri P, Young AJ, Weber WF, Katzen J, Han J, Wolfe LG, et al. Computed tomographic scan: it's not just about the fracture. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2014;77(4):604-7.
110. Leidner B, Adiels M, Aspelin P, Gullstrand P, Wallen S. Standardized CT examination of the multitraumatized patient. *Eur Radiol.* 1998;8(9):1630-8.
111. Glaesener JJ, Hasse W, Exner G, Mikschas V. [Thoracopulmonary complications of fresh fractures of the thoracic spine with neurologic damage]. *Unfallchirurgie.* 1992;18(5):274-9.
112. Beaunoyer M, St-Vil D, Lallier M, Blanchard H. Abdominal injuries associated with thoraco-lumbar fractures after motor vehicle collision. *Journal of pediatric surgery.* 2001;36(5):760-2.
113. Miller CD, Blyth P, Civil ID. Lumbar transverse process fractures--a sentinel marker of abdominal organ injuries. *Injury.* 2000;31(10):773-6.
114. Patten RM, Gunberg SR, Brandenburger DK. Frequency and importance of transverse process fractures in the lumbar vertebrae at helical abdominal CT in patients with trauma. *Radiology.* 2000;215(3):831-4.

115. Archdeacon MT, Anderson R, Harris AM, Wilber JH. Concomitant fractures of the acetabulum and spine: a retrospective review of over 300 patients. *J Trauma*. 2006;60(3):609-12.
116. Krueger MA, Green DA, Hoyt D, Garfin SR. Overlooked spine injuries associated with lumbar transverse process fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1996;(327):191-5.
117. Staedele HG, Gross T, A.L. J, P. R, P. M. Primary Radiologic Diagnostic in Multiple Trauma Patients. *Akt Traumatol*. 2003;33(4): 148-156.
118. Ghanta MK, Smith LM, Polin RS, Marr AB, Spires WV. An analysis of Eastern Association for the Surgery of Trauma practice guidelines for cervical spine evaluation in a series of patients with multiple imaging techniques. *Am Surg*. 2002;68(6):563-7; discussion 7-8.
119. Katzberg RW, Benedetti PF, Drake CM, Ivanovic M, Levine RA, Beatty CS, et al. Acute cervical spine injuries: prospective MR imaging assessment at a level 1 trauma center. *Radiology*. 1999;213(1):203-12.
120. Patton JH, Kralovich KA, Cuschieri J, Gasparri M. Clearing the cervical spine in victims of blunt assault to the head and neck: what is necessary? *Am Surg*. 2000;66(4):326-30; discussion 30-1.
121. Klein GR, Vaccaro AR, Albert TJ, Schweitzer M, Deely D, Karasick D, et al. Efficacy of magnetic resonance imaging in the evaluation of posterior cervical spine fractures. *Spine*. 1999;24(8):771-4.
122. Junge A, El-Sheik M, Celik I, Gotzen L. [Pathomorphology, diagnosis and treatment of "hangman's fractures"]. *Der Unfallchirurg*. 2002;105(9):775-82.
123. D'Alise MD, Benzel EC, Hart BL. Magnetic resonance imaging evaluation of the cervical spine in the comatose or obtunded trauma patient. *Journal of neurosurgery*. 1999;91(1 Suppl):54-9.
124. Stabler A, Eck J, Penning R, Milz SP, Bartl R, Resnick D, et al. Cervical spine: postmortem assessment of accident injuries--comparison of radiographic, MR imaging, anatomic, and pathologic findings. *Radiology*. 2001;221(2):340-6.
125. White P, Seymour R, Powell N. MRI assessment of the pre-vertebral soft tissues in acute cervical spine trauma. *Br J Radiol*. 1999;72(860):818-23.
126. Pourtaheri S, Emami A, Sinha K, Faloon M, Hwang K, Shafa E, et al. The role of magnetic resonance imaging in acute cervical spine fractures. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2014;14(11):2546-53.
127. Grant GA, Mirza SK, Chapman JR, Winn HR, Newell DW, Jones DT, et al. Risk of early closed reduction in cervical spine subluxation injuries. *Journal of neurosurgery*. 1999;90(1 Suppl):13-8.

2.12 Unterkiefer und Mittelgesicht

H. Hanken*, C. Kugler#, A. Weise#

Die Häufigkeit von Verletzungen des Unterkiefers und des Mittelgesichts beim polytraumatisierten Patienten liegt bei etwa 18% [1, 2].

Die häufigsten Begleitverletzungen bei Frakturen des Gesichtsschädels sind mit über 40% zerebrale Hämatome gefolgt von Lungenkontusionen mit über 30% [3].

2.12.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei der klinischen Untersuchung des Kopf-Hals-Bereiches beim polytraumatisierten Patienten sollten Verletzungen aus funktionellen und ästhetischen Gesichtspunkten ausgeschlossen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das Hinzuziehen qualifizierter Spezialisten (FÄ/FA für MKG/HNO – je nach Verfügbarkeit oder hausinterner Absprache) wird bei allen Patienten mit Hinweisen auf Unterkiefer- und Mittelgesichtsverletzungen als sinnvoll erachtet, auch wenn diese naturgemäß von der Qualifikation der beteiligten Ärzte und den räumlichen sowie organisatorischen Verhältnissen abhängt [4-6].

Die Untersuchung sollte durch eine ausführliche Inspektion und Palpation erfolgen [7, 8]. Sie dient unter anderem der Feststellung von äußeren und inneren Verletzungen (z.B. Prellmarken, Hämatome, Schürfungen, Weichteilverletzungen, Blutungen, Zahnverletzungen, Augenverletzungen, Liquorausstritt, Hirnaustritt sowie Unterkiefer- und Mittelgesichtsfrakturen).

2.12.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Zur vollständigen Beurteilung der Situation sollten bei klinischem Anhalt für Unterkiefer- und Mittelgesichtsverletzungen weiterführende diagnostische Maßnahmen durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die apparative Diagnostik wird mithilfe des konventionellen Röntgens und/oder der Computertomografie erhoben [9]. Um entsprechende Bereiche darzustellen, können eine Panoramaschichtaufnahme (Orthopantomogramm), eine Nasennebenhöhlen(NNH)-Aufnahme, spezielle Zahnfilme und eine Schädel-p.a.-Aufnahme nach Clementschitsch oder vom Schädel seitlich erfolgen. Mithilfe der Computertomografie lassen sich progrediente Hirndruckzeichen, Asymmetrien, Frakturen und größere Defekte des Mittelgesichtes sowie der Grad der Dislokation darstellen [10-13]. Es kann eine axiale, sagittale und koronare Schichtung errechnet werden [10, 14] (EL 3, EL 4) sowie ggf. eine 3D Oberflächenrekonstruktion der knöchernen Strukturen, welches bei komplexen Frakturkonstellationen hilfreich sein kann [15]. Mit der Computertomografie ist eine präoperative Planung präziser durchführbar [10, 16]. Dies bedingt eine Reduzierung der Operationszeit und höhere Qualität [10, 17].

Für kleine Deformitäten kann der Röntgendarstellung in 2 Ebenen mit geringerer Strahlenbelastung der Vorzug gegeben werden [18]. Pages et al. weisen darauf hin, dass speziell bei Kindern, die um den Faktor 3 sensitiver gegenüber den Auswirkungen ionisierender Strahlen sind als Erwachsene, aufgrund der Augengefährdung in besonderem Maße darauf geachtet werden sollte [19].

Die Methodik der bildgebenden Diagnostik (Röntgen oder CT) wird meistens durch die Art der Begleitverletzungen und die lokale Geräteverfügbarkeit bestimmt.

Im Falle einer Orbitabeteiligung empfehlen einige Autoren visuell evozierte Potenziale (VEP) oder Elektroretinogramme (ERG) zur Beurteilung der Sehnerven [20-22]. Dies kann besonders in den Fällen, in denen die klinische Funktionsdiagnostik der Sehbahn nicht möglich oder fraglich ist (infolge von Bewusstlosigkeit, Morphingaben, massiver Schwellung), der Objektivierung der Sehbahnfunktion dienen und damit ein frühzeitiges Eingreifen ermöglichen.

Zudem kann zur Detektion weiterer Augenverletzungen eine Ultraschalluntersuchung ergänzend durchgeführt werden [23, 24].

Literatur

1. Cannell H, Silvester K, O'Regan M. Early management of multiply injured patients with maxillofacial injuries transferred to hospital by helicopter. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1993;31(4):207-12.
2. Regel G, Tscherne H. Fractures of the facial bones--second most frequent concomitant injury in polytrauma. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(5):329-.
3. Alvi A, Doherty T, Lewen G. Facial fractures and concomitant injuries in trauma patients. *The laryngoscope*. 2003;113(1):102-6.
4. Mathiasen RA, Eby JB, Jarrahy R, Shahinian HK, Margulies DR. A dedicated craniofacial trauma team improves efficiency and reduces cost. *Journal of Surgical Research*. 2001;97(2):138-43.
5. Perry M. Advanced Trauma Life Support (ATLS) and facial trauma: can one size fit all? Part 1: dilemmas in the management of the multiply injured patient with coexisting facial injuries. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2008;37(3):209-14.
6. Schierle H, Hausamen J. Modern principles in treatment of complex injuries of the facial bones. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(5):330-7.
7. Cantore G, Delfini R, Gambacorta D, Consorti P. Cranio-orbito-facial injuries: technical suggestions. *The Journal of trauma*. 1979;19(5):370-5.
8. Ellis E, 3rd, Scott K. Assessment of patients with facial fractures. *Emerg Med Clin North Am*. 2000;18(3):411-48, vi.
9. Merville L, Diner P, Blomgren I. Craniofacial trauma. *World journal of surgery*. 1989;13(4):419-39.
10. Holmgren EP, Dierks EJ, Homer LD, Potter BE. Facial computed tomography use in trauma patients who require a head computed tomogram. *Journal of oral and maxillofacial surgery*. 2004;62(8):913-8.
11. Lewandowski R, Rhodes C, McCarroll K, Hefner L. Role of routine nonenhanced head computed tomography scan in excluding orbital, maxillary, or zygomatic fractures secondary to blunt head trauma. *Emergency Radiology*. 2004;10(4):173-5.
12. Thai K, Hummel Rr, Kitzmiller W, Luchette F. The role of computed tomographic scanning in the management of facial trauma. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1997;43(2):214-8.
13. Treil J, Faure J, Braga J, Casteigt J, Borianne P. Three-dimensional imaging and cephalometry of cranio-facial asymmetry. *L'Orthodontie Francaise*. 2002;73(2):179-97.
14. RS PM, Stacul F, Smathers R, Zuiani C. 3-dimensional craniofacial computerized tomography. *La Radiologia Medica*. 1986;72(6):399-404.
15. El Fiky I, El Aziz El Sammak DA, El Sammak A, Abdelhady M. Diagnostic performance if multi-slice computed tomography using 2D and 3D images in the assessment of Le Fort fractures. *The Egyptian Journal of Diagnostic Radiology and Nuclear Medicine*. 2017;48(2):415-24.
16. Carls FR, Schuknecht B, Sailer HF. Value of three-dimensional computed tomography in craniomaxillofacial surgery. *The Journal of Craniofacial Surgery*. 1994;5(5):282-8.
17. Santler G, Kärcher H, Ruda C. Indications and limitations of three-dimensional models in cranio-maxillofacial surgery. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 1998;26(1):11-6.
18. Ploder O, Klug C, Backfrieder W, Voracek M, Czerny C, Tschabitscher M. 2D-and 3D-based measurements of orbital floor fractures from CT scans. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2002;30(3):153-9.
19. Pages J, Buls N, Osteaux M. CT doses in children: a multicentre study. *The British Journal of Radiology*. 2003;76(911):803-11.
20. Coutin-Churchman P, Padrón de Freytez A. Vector analysis of visual evoked potentials in migraineurs with visual aura. *Clin Neurophysiol*. 2003;114(11):2132-7.
21. Dempf R, Hausamen JE. [Fractures of the facial skull]. *Der Unfallchirurg*. 2000;103(4):301-13.
22. Gellrich N-C, Gellrich M-M, Zerfowski M, Eufinger H, Eysel UT. Clinical and experimental study on traumatic optic nerve lesion. *Der Ophthalmologe*. 1997;94(11):807-14.
23. Ojaghi Haghghi SH, Morteza Begi HR, Sorkhabi R, Tarzamani MK, Kamali Zonouz G, Mikaeilpour A, et al. Diagnostic Accuracy of Ultrasound in Detection of Traumatic Lens Dislocation. *Emerg (Tehran)*. 2014;2(3):121-4.

24. Ojaghihaghi S, Lombardi KM, Davis S, Vahdati SS, Sorkhabi R, Pourmand A. Diagnosis of traumatic eye injuries with point-of-care ocular ultrasonography in the emergency department. *Annals of emergency medicine*. 2019;74(3):365-71.

2.13 Hals

F. Waldfahrer*, N. Meyer#, S. Wahlen#, J. Zenk

2.13.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Sicherstellung der Atemwege soll bei der Therapie von Verletzungen des Halses Priorität haben.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.13.2	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Halsverletzungen mit drohender Verlegung der Atemwege sollte frühzeitig eine Intubation oder – falls dies nicht möglich ist – die Anlage eines chirurgischen Atemweges erwogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Je nach Verletzungsmuster muss frühzeitig an eine Intubation gedacht werden. Diese kann transoral, transnasal, transvulnär oder via Tracheostomie erfolgen. Über eine endoskopische Intubation können auch bei kompletter Ruptur der Trachea distale Abschnitte unter Defektüberbrückung intubiert werden. Ist eine orale oder transnasale Intubation nicht möglich, muss eine Tracheotomie in Erwägung gezogen werden [1].

Eine Tracheostomie ist immer eine elektive Operation – im akuten Notfall sollte der Zugang über eine Koniotomie als Notfalltracheotomie erfolgen [2]. Bei Trachealeinrissen, -abrissen oder offenen Trachealverletzungen ist eine chirurgische Exploration mit Anlage eines Tracheostomas oder die direkte Rekonstruktion empfohlen. Bei kurzstreckigen, nicht alle Schichten betreffenden Verletzungen kann eine konservative Therapie versucht werden [3]. Gleiches gilt für Traumata im Bereich des Larynx [1, 4, 5].

Diagnostik

2.13.3	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Zur Feststellung von Art und Schwere der Verletzung sollte eine Computertomografie der Halsweichteile durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.13.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei klinischem oder computertomografischem Verdacht auf eine Halsverletzung sollte eine endoskopische Untersuchung des traumatisierten Bereiches erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Siehe hierzu auch Kapitel 2.5 „Bildgebung“. Unter bestimmten Voraussetzungen kann auch bei hämodynamisch instabilen Schwerverletzten eine Computertomografie durchgeführt werden. Um durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen kein zusätzliches Trauma zu generieren, sollte zunächst nach Verletzungen der Halswirbelsäule gefahndet werden oder diese sollten durch Immobilisationstechniken möglichst minimiert werden [5-7]. Zwar lassen sich die resultierenden Verletzungsfolgen aus Trachealeinrissen oder -abrissen mittels bildgebender Diagnostik darstellen (CT/MRT/konv. Röntgen), jedoch ist oft die eigentliche Läsion teilweise nur schwer ersichtlich. Als Beispiel sei ein Hautemphysem nach Trachealverletzung angeführt, wobei die eigentliche Läsion sich in der Bildgebung häufig nicht erkennen lässt oder bei einem ausgeprägten Hämatom am Hals ohne erkennbare Blutungsquelle in der konservativen Bildgebung nicht darzustellen ist. Zusätzlich sind endoskopische Untersuchungen in der diagnostischen Beurteilung von zervikalen Verletzungen empfohlen [8]. Als alternative Diagnostikverfahren bei Verdacht auf Gefäßverletzungen gilt die Duplexsonografie als ein der Angiografie gleichwertiges und nichtinvasives Untersuchungsverfahren [9, 10] und beide stellen somit den Goldstandard bei Verletzungen der Halsgefäße dar. Dies gilt v. a. in den Halszonen I und III nach Roon und Christensen [7]. In Zone II wird zusätzlich die chirurgische Exploration empfohlen. Diese wird zwar in der Literatur kontrovers diskutiert, unumstritten ist jedoch, dass hiermit 100% der Defekte erkannt und ggf. therapiert werden können [7, 9].

2.13.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei penetrierenden Verletzungen der Arteria carotis interna bzw. Arteria carotis communis sollte eine operative Versorgung in Betracht gezogen werden. Dabei kann ein offenes chirurgisches oder ein endovaskuläres Vorgehen gewählt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[11] Blitzer 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Eine retrospektive Registerstudie von Blitzer et al. wertete 3391 Fälle einer Trauma Data Bank aus, wobei nur Erwachsene und nur Fälle berücksichtigt wurden, die den Schockraum lebend verlassen konnten [11]. Eine Randomisation fand verständlicherweise nicht statt.

1976 Patienten wurden nicht-operativ versorgt, bei 1415 Patienten fand entweder eine offene (n=1192) oder endovaskuläre (n=154) Versorgung statt. Die nicht-operative Gruppe war signifikant schwerer verletzt und wies eine signifikant höhere Mortalität auf. Die operative Methodik hatte keinen Einfluss auf das Überleben.

Diese retrospektiven, nicht randomisierten Studienergebnisse erlauben die Empfehlung bei penetrierenden Verletzungen der A. carotis nach entsprechender Einzelfallabwägung eine operative Versorgung zu erwägen und beim Fehlen von Kontraindikationen zu favorisieren.

2.13.6	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei stumpfen Verletzungen der Arteria carotis kann primär eine konservative Behandlung in Betracht gezogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[12] Blitzer 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 95%	

2.13.7	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Sofern bei stumpfen Verletzungen der Arteria carotis ein operatives oder endovaskuläres Vorgehen gewählt wird, sollte dieses erst nach 24 Stunden erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[12] Blitzer 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 95%	

Eine retrospektive Registerstudie von Blitzer et al. wertete 9190 Fälle einer Trauma Data Bank aus, wobei nur Erwachsene berücksichtigt wurden [12]. Eine Randomisation fand nicht statt.

8378 Patienten wurden nicht-operativ versorgt, bei 812 Patienten fand entweder eine offene (n=288) oder endovaskuläre (n=481, beides n=43) Versorgung statt. Beide Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich der Mortalität. In der operativen Gruppe war das Apoplex-Risiko signifikant erhöht, insbesondere bei frühen endovaskulären Interventionen.

Diese retrospektiven, nicht randomisierten Studienergebnisse erlauben die Empfehlung bei stumpfen Verletzungen der A. carotis primär eine nicht-operative Therapie zu favorisieren. Sofern eine operative Maßnahme – vor allem eine endovaskuläre Intervention – erfolgen soll, sollte diese frühestens 24 Stunden nach dem Trauma stattfinden.

Literatur

1. Dienemann H, Hoffmann H. Tracheobronchial injuries and fistulas. *Der Chirurg; Zeitschrift für Alle Gebiete der Operativen Medizin*. 2001;72(10):1131-6.
2. Walz M. Tracheostomy. Indications, methods, risks. *Der Anaesthetist*. 2002;51(2):123-33.
3. Gabor S, Renner H, Pinter H, Sankin O, Maier A, Tomaselli F, et al. Indications for surgery in tracheobronchial ruptures. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2001;20(2):399-404.
4. Donald P. *Trachealchirurgie: Kopf- und Halschirurgie*: Georg Thieme Verlag; 1998.
5. Welkoborsky H. *Verletzungen der Halsregion und der Halswirbelsäule: Praxis der HNO - Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie*: Georg Thieme Verlag; 2001.
6. Oestreicher E, Koch O, Brücher B. [Impalement injury of the neck]. *Hno*. 2003;51(10):829-32.
7. Roon AJ, Christensen N. Evaluation and treatment of penetrating cervical injuries. *The Journal of trauma*. 1979;19(6):391-7.
8. Demetriades D, Velmahos GG, Asensio JA. Cervical pharyngoesophageal and laryngotracheal injuries. *World journal of surgery*. 2001;25(8):1044.
9. Ginzburg E, Montalvo B, LeBlang S, Nunez D, Martin L. The use of duplex ultrasonography in penetrating neck trauma. *Archives of Surgery*. 1996;131(7):691-3.
10. LeBlang SD, Nunez Jr DB. Noninvasive imaging of cervical vascular injuries. *AJR American Journal of Roentgenology*. 2000;174(5):1269-78.
11. Blitzer DN, Ottochian M, O'Connor J, Feliciano DV, Morrison JJ, DuBose JJ, et al. Penetrating Injury to the Carotid Artery: Characterizing Presentation and Outcomes from the National Trauma Data Bank. *Annals of Vascular Surgery*. 2020;67:192-9.
12. Blitzer DN, Ottochian M, O'Connor JV, Feliciano DV, Morrison JJ, DuBose JJ, et al. Timing of intervention may influence outcomes in blunt injury to the carotid artery. *Journal of Vascular Surgery*. 2020;71(4):1323-32.e5.

2.14 Extremitäten

B. Hußmann*, T. Bürger, M. Mutschler, C. Probst, S. Lendemans

Stellenwert der Beurteilung und Untersuchung

Auch wenn es keine wissenschaftlichen Untersuchungen zur Bedeutung und zum notwendigen Umfang der körperlichen Untersuchung im Schockraum gibt, so ist sie doch unabdingbare Voraussetzung für die Erkennung von Symptomen und die Stellung von (Verdachts-)Diagnosen. Die systematische Untersuchung der Extremitäten am entkleideten Patienten „in kraniokaudaler Reihenfolge“ dient in erster Linie der Erkennung von relevanten, teils bedrohlichen Verletzungen, die eine Bildgebung, eine sofortige und spezifische Therapie und in vielen Fällen auch eine logistische Entscheidung noch im Schockraum zur Folge haben können [1, 2]. Sie soll der Abschätzung der Gesamtverletzungsschwere dienen.

Die Untersuchung im Bereich der Extremitäten beinhaltet die genaue Inspektion und manuelle Untersuchung der Extremitäten auf jede Art von äußeren Verletzungszeichen wie Schwellung, Hämatom oder Wunden. Dabei erfolgt auch die Klassifizierung eines vorliegenden geschlossenen oder offenen Weichteilschadens. Sichere Frakturzeichen sind festzuhalten. Die systematische Untersuchung der Extremitäten lässt bereits klinisch Frakturen, Luxationen und Luxationsfrakturen nachweisen oder zumindest eingrenzen. Die Stabilitätsprüfung der großen und kleinen Gelenke ist dabei durchzuführen.

Inhalt der Erstuntersuchung ist ebenfalls die Abgrenzung einer Störung der Durchblutung, Motorik und Sensibilität. Ein mögliches Kompartmentsyndrom ist auszuschließen. Die Erhebung des neurologischen Befundes aller Extremitäten gelingt nur beim Patienten im wachen Zustand, ansonsten muss zumindest der Reflexstatus überprüft werden. Die nochmalige Abgrenzung von neurologischen Störungen in zentralnervöse gegenüber peripheren Ursachen ist für die Behandlung von Extremitätenverletzungen essentiell.

Übersehene Verletzungen finden sich retrospektiv auch im Extremitätenbereich, insbesondere beim bewusstlosen bzw. polytraumatisierten Patienten. Diese Verletzungen bedürfen oftmals auch einer operativen Versorgung [3]. Das Auftreten von übersehenen Verletzungen ist unabhängig von einem möglichen Abbruch der Schockraumdiagnostik wegen einer Notfalloperation.

Bei einem instabilen Patienten wird bisweilen die Untersuchung der Extremitäten vernachlässigt und es werden Verletzungen übersehen [4, 5]. Eine weitere Fehlerquelle ist die untersucherabhängige Beurteilung von Röntgenaufnahmen, die einer Fehlinterpretation unterliegen können [6-8].

Hierbei führen Prozessoptimierungen und ein kontrolliertes Training [9] sowie die Einführung von Leitlinien zu einer Verbesserung der Patientenversorgung [10]. Übersehene Verletzungen der Extremitäten sind jedoch selten lebensbedrohend und lassen sich nach Stabilisierung des mehrfach Verletzten häufig sekundär diagnostizieren und operativ versorgen [11].

Apparative Diagnostik

2.14.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei sicheren oder unsicheren Frakturzeichen sollten Extremitätenbefunde in Abhängigkeit vom Zustand des Patienten durch ein geeignetes radiologisches Verfahren (Natives Röntgen in 2 Ebenen oder CT) abgeklärt werden	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

2.14.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Bildgebung sollte zu einem möglichst frühen Zeitpunkt erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 90%	

Die Schockraumdauer beeinflusst die Behandlungsergebnisse und die Morbidität/Letalität eines Schwerverletzten [10]. Es gibt keinen einzuhaltenden Absolutwert wie z.B. die „Golden Hour“ [12].

Das Ausmaß der Röntgendiagnostik ist in bestimmten Bereichen durch die sichere klinische Untersuchung eingrenzbare. Z.B. bei Knieverletzungen (als Monotrauma) ist eine Fraktur ohne Belastungsschmerz, Erguss oder Hämatom ausgeschlossen worden [13].

Zum Screening speziell auf eine Kniefraktur reicht eine seitliche Röntgenaufnahme. Sie ist zu 100% sensitiv [14].

Beim stabilen Patienten ist bei klinischem Verdacht auf eine knöcherne Extremitätenverletzung eine Röntgenaufnahme in mindestens 2 Ebenen zu erstellen. Der bewusste Verzicht auf die radiologische Darstellung ist nur bei Abbruch der Schockraumdiagnostik wegen Notfall-OP zu vertreten [1].

Untersuchungen zur Schockraumzeit und zu Behandlungsergebnissen speziell bei Extremitätenverletzungen sind nicht bekannt. Auch sind keine Untersuchungen zur Frage bekannt, ob ein bewusstes Verschieben der Röntgendiagnostik von Extremitätenverletzungen zum Verkürzen der Schockraumphase die Behandlungsergebnisse der Verletzten beeinflusst.

Es gibt mehrere wissenschaftliche Untersuchungen zur verspäteten Versorgung von Verletzungen der Extremitäten mit schlechtem Outcome. Sie werden jedoch nicht im Zusammenhang mit einer Verzögerung in der Schockraumdiagnostik betrachtet.

Diagnostik/Therapie

Sollten offensichtliche Fehlstellungen der Extremitäten reponiert werden?

2.14.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Fehlstellungen und Luxationen der Extremitäten sollten reponiert und retiniert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.14.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Das Repositionsergebnis sollte durch weitere Maßnahmen nicht verändert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Eine durch den Rettungsdienst korrekte Immobilisierung einer verletzten Extremität ist im Schockraum bis zur definitiven Versorgung zu belassen. Jede Änderung der Immobilisierung im eigentlichen Verletzungsbereich kann insbesondere bei knöchern instabilen Verhältnissen potentiell zu einer Verschlimmerung von Weichteilschäden sowie Schmerzreaktionen führen [15]. Eine sichere Schnittstelle zum Rettungsdienst vermeidet unnötige Umlagerungen. Ein Einfluss von Umlagerungsmaßnahmen im Schockraum auf die Verletzung von Extremitäten ist wissenschaftlich bisher nicht untersucht.

Mit der prähospitalen Versorgung von Verletzten durch ein Rettungsdienstsystem kann davon ausgegangen werden, dass Extremitätenverletzungen in Neutralstellung immobilisiert werden. Ist diese Retention korrekt durchgeführt, haben Umlagerungsmaßnahmen des gesamten Patienten kaum Einfluss auf die Einzelverletzung der Extremitäten. Ist die Retention korrekt durchgeführt, ist medizinisch gesehen eine Aufhebung/Änderung der Immobilisation einer Extremität bis in den OP-Vorraum nicht erforderlich.

In der Literatur ist bisher keine Pulslosigkeit nach einer prähospitalen Frakturreposition beschrieben.

Offene Frakturen

2.14.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei ausreichend sicherer Information durch den Rettungsdienst sollte ein steriler Notfallverband vor Erreichen des Operationsbereiches nicht geöffnet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Offene Frakturen sind im Schockraum nach den Grundprinzipien der aseptischen Wundbehandlung zu versorgen. Prinzipiell sind offene Frakturen ein chirurgischer Notfall, der eine sofortige operative Versorgung nach sich zieht. Die für einen möglichen Infekt entscheidenden Faktoren liegen außerhalb

des Schockraums: kein mehrfaches Öffnen aus infektiologischen Gründen. Denn resistente Hospitalkeime sind gefährlicher als die am Unfallort eingebrachten Keime. Ein direkter Zusammenhang zwischen Infekthäufigkeit und Exposition konnte von Merritt nicht nachgewiesen werden [16, 17].

Pulslose Extremität

2.14.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei fehlendem peripherem Puls (Doppler/Palpation) einer Extremität sollte eine weiterführende Diagnostik durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

2.14.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	In Abhängigkeit vom Befund und Zustand des Patienten sollte eine konventionelle arterielle digitale Subtraktionsangiografie (DSA), eine Duplexsonografie oder eine Angio-CT (CTA) durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

2.14.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die intraoperative Angiografie sollte bei im Schockraum nicht diagnostizierten Gefäßverletzungen der Extremitäten bevorzugt werden, um die Ischämiezeit zu verkürzen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Im Vergleich der Sensitivität der weiteren apparativen Diagnostik ist die duplexsonografische Untersuchung der invasiven Arteriografie mindestens gleichwertig [18]. Gute Ergebnisse der Sonografie sind in hohem Maße untersucherbezogen [19, 20].

Die Ischämiezeit ist für die Prognose der Extremität sowie des Gesamtorganismus ausschlaggebend. Eine schnelle Diagnose mit Lokalisation der Verletzungen ist essentiell, um dann eine rasche operative Versorgung zu ermöglichen.

Die Sicherung des Verdachts auf das Bestehen einer Gefäßläsion kann allein durch eine klinische Untersuchung meist nicht gestellt werden. Verletzungen der großen Gefäße erfordern eine schnelle und zügige Schockraumdiagnostik. Die duplexsonografische Untersuchung erfüllt – untersucherabhängig – am besten die genannten Anforderungen. Bei klinisch bereits eindeutiger Operationsindikation ist die intraoperative Angiografie der verzögernden Schockraumdiagnostik vorzuziehen. Hier, wie in den oben genannten Untersuchungen zur Sonografie, spielt die Klinikstruktur eine erhebliche Rolle, sodass allgemeingültige Empfehlungen nur eingeschränkt gegeben werden können.

Neuere Arbeiten zeigen, dass bei entsprechend stabilem Patienten der CT-Angiografie gegenüber der konventionellen arteriellen digitalen Subtraktionsangiografie (DSA) der Vorzug zu geben ist. Das Verfahren der computertomografischen Angiografie (CTA) ist deutlich weniger zeitintensiv und zudem

kostengünstiger [21]. Sie ist weniger invasiv als die DSA und die rasche Entwicklung der Technologie erlaubt heute die Darstellung sämtlicher Arterien in kurzer Zeit. Ihr Wert wird allerdings limitiert durch die große Menge von jodhaltigem Kontrastmittel und die hohe Strahlenbelastung. Auch komprimierten kalkhaltige Plaques die präzise Darstellung besonders der mittleren und kleinen Arterien [22, 23]. Das Ausmaß der peripheren Gliedmaßenischämie richtet sich nach der Lokalisation und Länge des Gefäßverschlusses sowie nach dem möglichen Vorhandensein präformierter Kollateralen. In einem gesunden Gefäßsystem kann bereits ein kurzstreckiger Verschluss bzw. die isolierte Unterbrechung einer Gliedmaßenarterie zum Absterben der abhängigen Muskulatur und zum Extremitätenverlust führen.

Allgemein gilt: „Je gesünder das Gefäßsystem ist, desto kürzer ist die Ischämietoleranz.“.

Erschwerend kommt beim Polytrauma hinzu, dass durch die Verletzung der Extremität arterielle Gefäßspasmen ausgelöst werden, die für sich bereits eine deutliche Minderdurchblutung der Extremität beinhalten [24].

Bei einer überlangen Ischämiezeit (nach ca. 3–6 Stunden) muss nach erfolgter Revaskularisation mit dem Risiko des Entstehens eines Kompartmentsyndroms gerechnet werden. Stark ausgeprägte direkte Weichteiltraumen können die Prognose der Revaskularisation weiter verschlechtern.

Kompartmentsyndrom

2.14.9	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom kann die invasive Kompartimentdruckmessung im Schockraum angewendet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das Kompartmentsyndrom ist eine zeitabhängige Noxe und kann sich dynamisch entwickeln. Es entsteht durch ein Ansteigen des intrafaszialen Drucks der Muskellogen. Es kann alle Bereiche der Extremitäten betreffen, vorrangig den Unterschenkel. Ätiologisch sind neben Verletzungen auch Verbrennungen und Lagerungsschäden zu nennen. In der klinischen Untersuchung gibt es viele Kompartimentzeichen, die jedoch alle nicht beweisend sind: Schmerzen, verstärkt bei passiver Anspannung der betroffenen Muskelpartie, Schwellung der betroffenen Muskelpartie, Sensibilitätsstörungen der Muskeldermatome.

Bei Verdachtsdiagnose, orientierend an den oben genannten klinischen Zeichen, erfolgt zeitnah die objektive Messung des intrafaszialen Drucks ggf. als Ausgangswert bereits im Schockraum. Die kontinuierliche Druckmessung ist von Vorteil. Als pathologischer Wert wird der diastolische Blutdruck in mmHg minus des Kompartimentmesswerts in mmHg kleiner als 30 mmHg angegeben [25, 26].

Insbesondere beim Polytrauma muss bei Masseninfusion und -transfusion mit der Entstehung des Kompartmentsyndroms gerechnet werden. Die Möglichkeit der klinischen Einschätzung eines drohenden oder manifesten Kompartmentsyndroms ist bei entsprechend narkotisierten Patienten oft ungenügend, sodass nur die blutige Messung des intrafaszialen Drucks eine richtungsweisende Aussage zulässt. Hierbei bleibt zu beachten, dass die Genauigkeit der Kompartimentdruckmessung untersucherabhängig ist und falsch positiv/negativ sein kann.

Amputationsverletzungen

Beim Mehrfachverletzten ist bei einem Weichteilschaden Grad 3 von geschlossenen bzw. Grad 4 von offenen Frakturen die Sinnhaftigkeit eines Erhaltungsversuchs der Extremität zu diskutieren. Insbesondere beim Polytraumatisierten ist zu berücksichtigen, dass ein protrahierter Erhaltungsversuch mit langen Operationszeiten den Patienten vital gefährden kann.

Die Entscheidung zum Erhaltungsversuch einer verletzten Extremität ist frühestens bei Abschluss des Primary Survey nach ATLS® und ETC sinnvoll. Erst dann kann die Evaluation des gesamten Verletzungsmusters in Hinblick auf einen stabilen Patienten für eine zeitlich ausgedehnte operative Versorgung erfolgen.

Andererseits ist aus der Erfahrung heraus die Indikation eines Erhaltungsversuches einer Extremität erst nach genauer Revision der verletzten Weichteile von einem kompetenten Operateur zu stellen. Dies kann nur im Operationssaal erfolgen.

Somit bleibt die Frage nach einer notfallmäßigen Vervollständigung einer subtotalen Amputation im Schockraum beim instabilen Patienten. Dies sind Einzelfallentscheidungen, die mehr vom übrigen Verletzungsmuster des Verletzten und weniger vom Befund der Extremität abhängen. Hierzu finden sich, wie zu gelungenen Rekonstruktionen oder Replantationen von Extremitäten, viele Kasuistiken in der Literatur. Eine Ableitung von Empfehlungen ist nicht möglich. Die Durchführung einer Studie erscheint unrealistisch.

Bei offenen Extremitätenverletzungen sollte beim mehrfach verletzten Patienten im Schockraum eine Entscheidung über die Operationsfähigkeit in Abhängigkeit von der zu erwartenden Operationsdauer zum Erhalt der Extremität getroffen werden.

Eine notfallmäßige Vervollständigung einer Amputation im Schockraum bleibt dem instabilen Patienten vorbehalten und bedarf einer Einzelentscheidung durch den unfallchirurgischen Teamleiter. Es gilt die Regel: "life before limb".

CT-Diagnostik

Der Einsatz der Computertomografie (CT) im Rahmen der Schockraumdiagnostik betrifft in erster Linie die Stammverletzungen einschließlich der Beckenfrakturen. Letztlich auch durch bauliche Strukturmaßnahmen sowie die Weiterentwicklung der Software schiebt sich die CT-Diagnostik im Schockraummanagement vermehrt vor die konventionelle Röntgendiagnostik der Extremitäten.

Ob hierdurch auf die konventionelle Röntgendiagnostik verzichtet werden kann, wird derzeit nur im Einzelfall zu entscheiden sein. Eine allgemeingültige Empfehlung ist nicht möglich. Wurmb et al. konnten in einer retrospektiven Studie zeigen, dass es bei einem vergleichbaren Patientenkollektiv von einerseits 82 Patienten, die eine komplette Abklärung der Verletzungen mittels einer CT erhielten, und einer weiteren Gruppe mit 79 Patienten, die zunächst die übliche konservative Röntgendiagnostik und im Anschluss eine fokussierte CT erhielten zu einer Zeitersparnis von 23 Minuten versus 70 Minuten in der letztgenannten Gruppe kam [27]. Ruchholtz et al. weisen in ihrer Untersuchung jedoch auf auch im CT übersehene Verletzungen hin und benennen des Weiteren auch die vermehrte Strahlenbelastung [10].

Bei einem stabilen Patienten im Schockraum mit V.a. auf eine Talus- oder Skaphoidfraktur kann eine CT-Diagnostik im Anschluss an eine konventionelle Röntgendiagnostik zur Planung der OP und um Frakturen in diesem Bereich nicht zu übersehen, erfolgen [28, 29].

Literatur

1. American College of Surgeons. Advanced Trauma Life Support. Chicago: 1997.
2. Tscherne H, Regel G. Care of the polytraumatized patient. *J Bone Joint Surg Br* 1996;78(5):840-5.
3. Enderson BL, Reath DB, Meadors J, Dallas W, Deboo JM, Maull KI. The tertiary trauma survey: A prospective study of missed injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1990;30(6):666-70.
4. Born CT, Ross SE, Iannacone WM, Schwab CW, DeLong WG. Delayed identification of skeletal injury in multisystem trauma: the 'missed' fracture. *J Trauma*. 1989;29(12):1643-6.
5. McLaren CA, Robertson C, Little K. Missed orthopaedic injuries in the resuscitation room. *J R Coll Surg Edinb*. 1983;28(6):399-401.
6. Kremli MK. Missed musculoskeletal injuries in a University Hospital in Riyadh: types of missed injuries and responsible factors. *Injury*. 1996;27(7):503-6.
7. Laasonen EM, Kivioja A. Delayed diagnosis of extremity injuries in patients with multiple injuries. *J Trauma*. 1991;31(2):257-60.
8. Metak G, Scherer M, Dannöhl C. Missed injuries of the musculoskeletal system in multiple trauma--a retrospective study. *Zentralblatt für Chirurgie*. 1994;119(2):88-94.
9. Hoyt DB, Shackford SR, Fridland PH, Mackersie RC, Hansbrough JF, Wachtel TL, et al. Video recording trauma resuscitations: an effective teaching technique. *J Trauma*. 1988;28(4):435-40.
10. Ruchholtz S, Zintl B, Nast-Kolb D, Waydhas C, Schwender D, Pfeifer KJ, et al. [Quality management in early clinical polytrauma management. II. Optimizing therapy by treatment guidelines]. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(11):859-66.
11. Pehle B, Kuehne CA, Block J, Waydhas C, Taeger G, Nast-Kolb D, et al. [The significance of delayed diagnosis of lesions in multiply traumatized patients. A study of 1,187 shock room patients]. *Der Unfallchirurg*. 2006;109(11):964-74; discussion 75-6.
12. Lerner EB, Moscati RM. The golden hour: scientific fact or medical "urban legend"? *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine*. 2001;8(7):758-60.
13. Bauer SJ, Hollander JE, Fuchs SH, Thode HC, Jr. A clinical decision rule in the evaluation of acute knee injuries. *J Emerg Med*. 1995;13(5):611-5.
14. Verma A, Su A, Golin AM, O'Marrah B, Amorosa JK. A screening method for knee trauma. *Acad Radiol*. 2001;8(5):392-7.
15. Beck A, Gebhard F, Kinzl L, Strecker W. Principles and techniques of primary trauma surgery management at the site. *Der Unfallchirurg*. 2001;104(11):1082-99.
16. Merritt K. Factors increasing the risk of infection in patients with open fractures. *J Trauma*. 1988;28(6):823-7.
17. Rojczyk M. [Bacteriological findings in open fractures (author's transl)]. *Unfallheilkunde*. 1981;84(11):458-62.
18. Ruppert V, Sadeghi-Azandaryani M, Mutschler W, Steckmeier B. [Vascular injuries in extremities]. *Chirurg*. 2004;75(12):1229-38; quiz 39-40.
19. Kuzniec S, Kauffman P, Molnar LJ, Aun R, Puech-Leao P. Diagnosis of limbs and neck arterial trauma using duplex ultrasonography. *Cardiovasc Surg*. 1998;6(4):358-66.
20. Panetta TF, Hunt JP, Buechter KJ, Pottmeyer A, Batti JS. Duplex ultrasonography versus arteriography in the diagnosis of arterial injury: an experimental study. *J Trauma*. 1992;33(4):627-35; discussion 35-6.
21. Seamon MJ, Smoger D, Torres DM, Pathak AS, Gaughan JP, Santora TA, et al. A prospective validation of a current practice: the detection of extremity vascular injury with CT angiography. *J Trauma*. 2009;67(2):238-43; discussion 43-4.
22. Jakobs TF, Wintersperger BJ, Becker CR. MDCT-imaging of peripheral arterial disease. *Semin Ultrasound CT MR*. 2004;25(2):145-55.
23. Ota H, Takase K, Igarashi K, Chiba Y, Haga K, Saito H, et al. MDCT compared with digital subtraction angiography for assessment of lower extremity arterial occlusive disease: importance of reviewing cross-sectional images. *AJR Am J Roentgenol*. 2004;182(1):201-9.

24. Glass GE, Pearse MF, Nanchahal J. Improving lower limb salvage following fractures with vascular injury: a systematic review and new management algorithm. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*. 2009;62(5):571-9.
25. Elliott KG, Johnstone AJ. Diagnosing acute compartment syndrome. *J Bone Joint Surg Br*. 2003;85(5):625-32.
26. Kosir R, Moore FA, Selby JH, Cocanour CS, Kozar RA, Gonzalez EA, et al. Acute lower extremity compartment syndrome (ALECS) screening protocol in critically ill trauma patients. *J Trauma*. 2007;63(2):268-75.
27. Wurmb TE, Frühwald P, Hopfner W, Keil T, Kredel M, Brederlau J, et al. Whole-body multislice computed tomography as the first line diagnostic tool in patients with multiple injuries: the focus on time. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2009;66(3):658-65.
28. Blum A, Sauer B, Detreille R, Zabel JP, Pierrucci F, Witte Y, et al. [The diagnosis of recent scaphoid fractures: review of the literature]. *J Radiol*. 2007;88(5 Pt 2):741-59.
29. Boack DH, Manegold S, Haas NP. [Treatment strategy for talus fractures]. *Der Unfallchirurg*. 2004;107(6):499-514; quiz 3-4.

2.15 Hand

M. Schädel-Höpfner*

Zur Diagnostik und operativen Therapie von Handverletzungen, speziell beim Polytrauma, finden sich keine über ein Evidenzlevel 4 hinausgehenden Studien. Die vorhandene Literatur beschreibt lediglich Verletzungshäufigkeiten und -kombinationen. Empfehlungen zum Vorgehen bei der Diagnostik und Therapie existieren nur in Form von Expertenmeinungen. Deshalb müssen sich die nachfolgenden evidenzbasierten Empfehlungen an Studien orientieren, in denen Monoverletzungen der Hand untersucht wurden.

Handverletzungen, vor allem Frakturen, können beim Polytraumatisierten in bis zu 25% der Fälle vorkommen [1-4]. Die häufigste Verletzung stellen dabei Frakturen des Handskeletts einschließlich des distalen Radius dar, welche bei 2–16% aller Polytraumatisierten vorkommen [1, 4-7]. Seltener finden sich Sehnen- und Nervenverletzungen mit 2–11% bzw. 1,5% [3]. Amputationen an der Hand kommen in nur 0,2–3% der Polytraumafälle vor [8, 9]. Auch schwere kombinierte Handverletzungen sind beim Polytrauma selten anzutreffen [10].

Primärdiagnostik

2.15.1	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die klinische Beurteilung der Hände sollte im Rahmen der Basisdiagnostik durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Handverletzung ist nicht von der Schwere des Polytraumas abhängig. Auch kann nicht davon ausgegangen werden, dass mit der Verletzungsschwere die Wahrscheinlichkeit für das Übersehen einer Handverletzung ansteigt [3]. Allerdings können primär übersehene und nicht behandelte Handverletzungen später zu erheblichen Funktionseinbußen führen [11]. Im Rahmen der Notfalldiagnostik werden geschlossene Sehnenverletzungen (Tractus intermedius, Endstrecksehne, Avulsion der tiefen Beugesehne) und karpale Frakturen und Luxationen besonders häufig übersehen [12-14]. Die klinische Basisdiagnostik sollte die Untersuchung auf Hautschädigung, Schwellung, Hämatom, abnorme Stellung und Beweglichkeit sowie die Überprüfung der Durchblutung (A. radialis und A. ulnaris, Kapillarfüllung der Fingerbeere) umfassen [10].

2.15.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die radiologische Basisdiagnostik sollte bei klinischem Verdacht auf eine Handverletzung die Röntgenuntersuchung von Hand und Handgelenk in jeweils 2 Standardebenen beinhalten.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

Beim bewusstlosen Patienten mit klinischen Hinweisen auf eine Handverletzung (siehe oben) sind Röntgenaufnahmen der Hand und des Handgelenkes in 2 Ebenen anzufertigen. Besonderes

Augenmerk ist auf das mögliche Vorliegen von karpalen Frakturen und Luxationen zu richten. Bei klinischem Hinweis auf Phalangenfrakturen und wenn diese durch die Röntgenaufnahmen der gesamten Hand nicht sicher auszuschließen oder eindeutig morphologisch zu definieren sind, insbesondere auch bei der Serienfraktur mehrerer Finger, ist es ratsam, zum baldmöglichsten Zeitpunkt den verletzten Finger einzeln in 2 Ebenen zu röntgen [10, 14].

2.15.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei klinischem Verdacht auf eine arterielle Gefäßverletzung sollte eine Doppler- oder Duplexsonografie durchgeführt werden..	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 94%	

Bei klinischem Verdacht auf eine arterielle Gefäßverletzung kann durch eine Doppler- bzw. Duplexuntersuchung eine schnelle und genaue Diagnosestellung erfolgen [15-17]. In den verbleibenden unklaren Fällen mit dringendem klinischem Verdacht auf eine Arterienverletzung ist eine Angiografie nur dann indiziert, wenn der Allgemeinzustand des Patienten eine operative Exploration verbietet [16] oder die Lokalisation der Läsion unsicher ist [18]. Der Allen-Test erlaubt eine sichere Feststellung der Durchgängigkeit der arteriellen radioulnaren Verbindung und der beiden Unterarmarterien [15].

Literatur

1. Aldrian S, Nau T. Hand injury in polytrauma. *Wien Med Wochenschr.* 2005;155:227-32.
2. Regel G, Seekamp A, Takacs J, Bauch S, Sturm JA, Tscherne H. [Rehabilitation and reintegration of polytraumatized patients]. *Der Unfallchirurg.* 1993;96(7):341-9.
3. Schaller P, Geldmacher J. Die Handverletzung beim Polytrauma. Eine retrospektive Studie an 782 Fallen. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie.* 1994;26(6):307-12.
4. Welkerling H, Wening JV, Langendorff HU, Jungbluth KH. [Computer-assisted data analysis of injuries of the skeletal system in polytrauma patients]. *Zentralbl Chir.* 1991;116(22):1263-72.
5. Dittel K, Weller S. Zur Problematik des polytraumatisierten Patienten. *Aktuel Traumatol.* 1981;11:35-42.
6. Nast-Kolb D, Keßler S, Duswald K-H, Betz A, SWEIBERER L. Extremitätenverletzungen polytraumatisierter Patientenstufengerechte Behandlung. *Der Unfallchirurg.* 1986;86(4):149-54.
7. Reynolds BM, Balsano NA, Reynolds FX. Falls from heights: a surgical experience of 200 consecutive cases. *Annals of surgery.* 1971;174(2):304.
8. Brenner P, Reichert B, Berger A. Replantationen bei Mehrfachverletzungen? *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie.* 1995;27(1):12-6.
9. Partington MT, Lineaweaver WC, O'Hara M, Kitzmiller J, Valauri FA, Oliva A, et al. Unrecognized injuries in patients referred for emergency microsurgery. *The Journal of trauma.* 1993;34(2):238-41.
10. Spier W. Die Handverletzung bei Mehrfachverletzten. *Med Welt.* 1971;22:169-72.
11. Mark G. Das Schicksal des polytraumatisierten Patienten mit einer "Bagatellverletzung" an der hand [the fate of the polytraumatized patient with a "minor injury" of the hand]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße* 1989;21(1):51-4.
12. Herzberg G, Comtet J, Linscheid R, Amadio P, Cooney W, Stalder J. Perilunate dislocations and fracture-dislocations: a multicenter study. *The Journal of hand surgery.* 1993;18(5):768-79.
13. Moore M. Orthopedic pitfalls in emergency medicine. *Southern medical journal.* 1988;81(3):371-8.
14. Skruodis B, Wening V, Jungbluth K. Perilunäre Luxationen und Luxationsfrakturen beim Polytraumatisierten—Diagnostik und Therapie. *Unfallchirurgie.* 1989;15(5):236-42.
15. Gelberman RH, Menon J, Fronek A. The peripheral pulse following arterial injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery.* 1980;20(11):948-50.
16. Koman LA, Ruch DS, Smith BP, Smith TL. *Vascular disorders. Operative Hand Surgery.* New York, Edinburgh, London, Melbourne, Tokyo: Churchill Livingstone; 1999.
17. Rothkopf DM, Chu B, Gonzalez F, Borah G, Ashmead IV D, Dunn R. Radial and ulnar artery repairs: assessing patency rates with color Doppler ultrasonographic imaging. *The Journal of hand surgery.* 1993;18(4):626-8.
18. Bongard FS, White GH, Klein SR. Management strategy of complex extremity injuries. *The American journal of surgery.* 1989;158(2):151-5.

2.16 Fuß

S. Rammelt*, S. Ochmann

Diagnostik von Fußverletzungen

Beim bewusstlosen polytraumatisierten Verletzten können Fußverletzungen durch wiederholte klinische Untersuchungen ausgeschlossen werden. Fußverletzungen werden beim polytraumatisierten Patienten überdurchschnittlich häufig initial übersehen. Gründe hierfür sind augenfälligere sowie lebensbedrohliche Verletzungen, eine mangelhafte Röntgentechnik in der Notfallsituation, eine äußerst variable Klinik, die mangelnde Erfahrung des Untersuchers bei z. T. geringen Fallzahlen verschiedener Fußverletzungen sowie Kommunikationsdefizite in der Behandlung Polytraumatisierter durch mehrere Teams [1-9]. Beim bewusstlosen Patienten sind daher wiederholte klinische Untersuchungen bei teilweise subtilen Verletzungszeichen notwendig, um Fußverletzungen mit möglicherweise schwerwiegenden Spätfolgen nicht zu übersehen [4, 10]. Metak et al. [6] stellten in einer retrospektiven Analyse fest, dass 50% aller übersehenen Verletzungen der unteren Extremität den Fuß betrafen, und empfehlen eine gründliche klinische Untersuchung alle 24 Stunden. Beim klinischen Verdacht auf das Vorliegen von Fußverletzungen ist zunächst die Röntgenkontrolle in den standardisierten Einstellungen (s. u.) und, falls diese keine ausreichende Klärung bringt, Stressaufnahmen bzw. eine Fuß-CT indiziert.

Tabelle 3: Standardprojektionen am Fuß (Übersicht in [9, 10]):

Pilon, OSG	OSG ⊥
Talus	OSG ⊥, Fuß dorsoplantar (Röhre 30 ° kraniokaudal gekippt)
Kalkaneus	Kalkaneus seitlich, axial, Fuß dorsoplantar (Röhre 30 ° kraniokaudal gekippt)
Chopart/Lisfranc	Fuß exakt seitlich, Fuß dorsoplantar (Röhre für Chopart 30 °, für Lisfranc 20 ° kaudokranial gekippt), 45 °-Schrägaufnahme Mittelfuß
Mittelfuß/Zehen	Mittel-/Vorfuß a. p., 45 °-Schrägaufnahmen, exakt seitlich

Das Auftreten von Spannungsblasen muss am Fuß auch als Indikator für eine ischämische Schädigung der Haut oder Kompartmentsyndrom angesehen werden [11]. Für die initiale Einschätzung des Gefäßstatus des Fußes wird neben klinischen Kriterien die Dopplersonografie empfohlen [12, 13]. Die Routineangiografie bei fehlendem Dopplersignal wird kontrovers diskutiert [14], sie ist jedoch indiziert, wenn komplexere Rekonstruktionen angestrebt werden [15]. Ein wichtiger Indikator für die Nutrition der Haut ist der *Ankle-Brachial-Index*. Wenn der Dopplerfluss mindestens 50% des A. brachialis-Wertes aufweist, beträgt die Wundheilungsrate 90% [16]. Das Gleiche wurde für eine transkutan gemessene Sauerstoffspannung von über 30 mmHg nachgewiesen [17]. Schlechtere Heilungsraten nach operativen Eingriffen sind beim alten Menschen (periphere arterielle Verschlusskrankheit [pAVK]), beim Diabetiker und bei Nikotinabusus zu erwarten [18-20].

Literatur

1. Ahrberg AB, Leimcke B, Tiemann AH, Josten C, Fakler JK. Missed foot fractures in polytrauma patients: a retrospective cohort study. *Patient safety in surgery*. 2014;8(1):1-6.
2. Haapamaki V, Kiuru M, Koskinen S. Lisfranc fracture-dislocation in patients with multiple trauma: diagnosis with multidetector computed tomography. *Foot & ankle international*. 2004;25(9):614-9.
3. Hay-David AG, Clint SA, Brown RR, Gloucestershire Hospitals NHSFT. The impact of the Major Trauma Network: will trauma units continue to treat complex foot and ankle injuries? *Injury*. 2014;45(12):2005-8.
4. Kotter A, Wieberneit J, Braun W, Rüter A. Die Chopart-Luxation: Eine häufig unterschätzte Verletzung und ihre Folgen. Eine klinische Studie. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(9):737-41.
5. Kremli M. Missed musculoskeletal injuries in a University Hospital in Riyadh: types of missed injuries and responsible factors. *Injury*. 1996;27(7):503-6.
6. Metak G, Scherer MA, Dannohl C. Übersehene Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparats beim Polytrauma--eine retrospektive Studie. *Zentralbl Chir*. 1994;119(2):88-94.
7. Probst C, Schaefer O, Hildebrand F, Krettek C, Mahlke L. [The economic challenges of polytrauma care]. *Der Unfallchirurg*. 2009;112(11):975-80.
8. Rammelt S, Biewener A, Grass R, Zwipp H. Verletzungen des Fusses beim polytraumatisierten Patienten. *Der Unfallchirurg*. 2005;108(10):858-65.
9. Zwipp H. *Chirurgie des Fußes*: Springer-Verlag; 2013.
10. Zwipp H, Rammelt S. Frakturen und Luxationen. In: Wirth CJ, Zichner L, editors. *Orthopädie und orthopädische Chirurgie Stuttgart, NewYork: Georg Thieme Verlag*; 2002. p. 531-618.
11. Peterson W, Sanders W. Principles of fractures and dislocations. In: Rockwood C, Green D, Buchholz R, editors. *Fractures in adults*. Philadelphia: J B Lippincott; 1996. p. 365-8.
12. Attinger C. Use of skin grafting in the foot. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 1995;85(1):49-56.
13. Sanders LJ. Amputations in the diabetic foot. *Clinics in podiatric medicine and surgery*. 1987;4(2):481-501.
14. Shah DM, Corson JD, Karmody AM, Fortune JB, Leather RP. Optimal management of tibial arterial trauma. *J Trauma*. 1988;28(2):228-34.
15. Levin LS, Nunley JA. The management of soft-tissue problems associated with calcaneal fractures. *Clinical orthopaedics and related research*. 1993;(290):151-6.
16. Wagner FW. Transcutaneous Doppler ultrasound in the prediction of healing and the selection of surgical level for dysvascular lesions of the toes and forefoot. *Clin Orthop Relat Res*. 1979;(142):110-4.
17. Wyss CR, Harrington RM, Burgess EM, Matsen FA, 3rd. Transcutaneous oxygen tension as a predictor of success after an amputation. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1988;70(2):203-7.
18. Abidi NA, Dhawan S, Gruen GS, Vogt MT, Conti SF. Wound-healing risk factors after open reduction and internal fixation of calcaneal fractures. *Foot Ankle Int*. 1998;19(12):856-61.
19. Folk JW, Starr AJ, Early JS. Early wound complications of operative treatment of calcaneus fractures: analysis of 190 fractures. *J Orthop Trauma*. 1999;13(5):369-72.
20. McCormack RG, Leith JM. Ankle fractures in diabetics. Complications of surgical management. *J Bone Joint Surg Br*. 1998;80(4):689-92.

2.17 Urogenitaltrakt

T. Nestler*, J. P. Radtke, G. Schönberg, U. Schweigkofler, M. Hohenfellner, C. Ruf

Klinische Primärdiagnostik

2.17.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei der ersten orientierenden Untersuchung sollten der Meatus urethrae externus und – sofern schon einliegend – der transurethrale Blasenkatheter auf Blut hin inspiziert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 93%	

Die Makrohämaturie ist das klassische Leitsymptom für Verletzungen von Niere, Harnblase und/oder Urethra. Verletzungen der Ureteren sind dagegen in fast 50 Prozent der Fälle klinisch unauffällig [1]. Bei der primären Untersuchung des entkleideten Patienten sollte daher auf Blut im Urinkatheter oder am Meatus urethrae externus geachtet werden [2]. Dabei sind Blut am Meatus urethrae und eine Hämaturie voneinander zu unterscheiden, da sie verschiedene diagnostische Bedeutungen haben.

2.17.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Es sollte nach Hämatomen, Ekchymosen und äußeren Verletzungen im Bereich von Flanke, Abdomen, Perineum und äußerem Genital gesucht werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die körperliche Untersuchung sollte bei allen polytraumatisierten Patienten komplett durchgeführt werden, auch wenn sie nur geringe diagnostische Aussagekraft besitzt [3]. Für urologische Verletzungen ist die Untersuchung im Bereich der Körperflanken, des Perineums, der Leisten und der äußeren Genitalien besonders wichtig. Ekchymosen und Abschürfungen im Bauchbereich korrelierten in Studien von Cotton et al. und Allen et al. mit intraabdominellen Verletzungen [4, 5]. Ein Hämatom am Penischaft oder ein perineales Schmetterlingshämatom weisen dagegen auf eine anteriore Harnröhrenverletzung hin [4, 5].

Beim ansprechbaren Patienten können eventuell unfallanamnestische Hinweise und Schmerzen in Bezug auf eine Verletzung urogenitaler Organe erfragt werden. Abdominelle Schmerzen können unspezifische Hinweise auf das Vorliegen intraabdomineller Läsionen geben [6-8]. Daneben deuten sie speziell auf eine Blasenruptur hin, wenn ein Patient vor dem Trauma Harndrang verspürte, nach dem Trauma (ohne Hinweis auf neurologische Läsionen) diesen Drang aber nicht mehr verspürt [9], oder aber wenn der Patient nach dem Trauma erfolglos versucht, Harn zu lassen [10].

Eine digital-rektale Untersuchung sollte dennoch durchgeführt werden, um den Sphinktertonus eines Rückenmarksverletzten beurteilen zu können, sowie bei Auftreten von Blut am Meatus urethrae externus oder falls das Vorliegen einer Beckenfraktur auf eine Urethraerverletzung hindeutet [2]. Der

Befund einer nichtpalpablen, dislozierten oder von einem Hämatom umgebenen Prostata stellt eine klinisch wertvolle Zusatzinformation dar, die auf eine prostatomembranöse Zerreißung hindeutet [2].

2.17.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei einer Kreislaufinstabilität, die eine initiale weiterführende Diagnostik unmöglich macht, und bei Unmöglichkeit einer transurethralen Blasenkatheereinlage sollte perkutan oder im Rahmen der Laparotomie (mit gleichzeitiger Exploration) eine suprapubische Harnableitung durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 93%	

Bei einer kompletten Urethraruptur kann mit dem transurethralen Katheter eine Via falsa verursacht werden [11]. Ebenso kann eine bereits bestehende Harnröhrenverletzung durch die transurethrale Kathetereinlage aggraviert werden [11]. Daher kann bei Patienten mit klinischen Zeichen einer Urethraverletzung im Schockraum eine transurethrale Katheterisierung unter röntgenologischer Kontrolle (z.B. retrogrades Urethrogramm) durchgeführt werden, um die Ausscheidung des Patienten besser überwachen zu können. Kontraindikationen der Katheterisierung bestehen lediglich bei sehr instabilen Patienten, bei denen eine Kathetereinlage eine unnötige Zeitverzögerung darstellen würde, und bei selbst unter röntgenologischer Diagnostik unübersichtlichen Verhältnissen [11].

Sollte eine Kreislaufinstabilität vorliegen und der Patient zum einen wegen des Zeitverzuges nicht weiter diagnostiziert werden können und zum anderen aus diesen Gründen laparotomiert werden, sollte während dieses Eingriffs bereits ein suprapubischer Katheter eingelegt werden, der anschließend auch für diagnostische Zwecke genutzt werden kann [12].

Zur Erkennung einer Mikrohämaturie sollte ein Urinschnelltest (z.B. Streifentest) des Urins vorgenommen werden. Im Vergleich zur mikroskopischen Untersuchung besitzt der Urinschnelltest eine über 95%ige Sensitivität und Spezifität [13-15]. Der Vorteil des Schnelltests liegt in der Verfügbarkeit der Ergebnisse in unter 10 Minuten. Weiter sollte aus dem gewonnenen Urin eine Urinkultur angelegt werden, da eine Bakteriurie bei älteren Patienten häufiger vorkommt und in Kombination mit einer Harnwegsverletzung zu einer Bakteriämie bzw. einem Infekt kommen sein kann [2].

Notwendigkeit bildgebender Diagnostik

2.17.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Alle Patienten mit Hämaturie, Blutaustritt aus dem Meatus urethrae, Dysurie, Unmöglichkeit der Katheterisierung oder sonstigen anamnestischen Hinweisen (lokales Hämatom, Begleitverletzungen, Unfallmechanismus) haben ein erhöhtes Risiko urogenitaler Verletzungen und sollten einer gezielten diagnostischen Abklärung der Niere und/oder der ableitenden Harnwege zugeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 86%	

Auch wenn beim Patienten mit urologischen Verletzungen nur in ca. 0,6% der Fälle Läsionen des oberen und unteren Harntraktes gleichzeitig vorkommen, so sollte bei allen Patienten mit

entsprechenden Hinweisen eine komplette uroradiologische Diagnostik durchgeführt, welche in Form einer Computertomografie bei bestätigter Mikro- oder Makrohämaturie das gesamte harnableitende System erfassen soll [16-18].

Während die Makrohämaturie pathognomonisch für urogenitale Verletzungen ist, stellt die Mikrohämaturie eine Grenzsituation dar. Allgemein wird aber heute akzeptiert, dass nur bei gleichzeitigem Vorliegen anderer diagnostischer Verletzungshinweise die Mikrohämaturie eine weiterführende Diagnostik nach sich ziehen sollte [19, 20].

Nierentraumata werden nach ihrem Verletzungsmechanismus in stumpf oder penetrierend unterschieden. Während stumpfe Nierentraumata in ländlichen Gebieten für 90–95 Prozent der Verletzungen verantwortlich sind (z.B. Pferdetritt, Unfälle), steigt der Anteil an penetrierenden Verletzungen (z.B. Messerstich oder Schussverletzungen) in städtischen Ballungsgebieten auf bis zu 20 Prozent [21, 22]. Stumpfe Nierentraumen beinhalten Auto-, Fußgänger- sowie Sportunfälle und Stürze. Bei Autounfällen zeigen sich zumeist Akzelerationstraumata durch Sicherheitsgurte oder Lenkräder [11, 23]. Aufgrund der weiten Verbreitung von Airbags konnte eine Reduktion der Inzidenz von Nierentraumen um 45–53 Prozent erzielt werden [11]. Direkte, stumpf einwirkende Kräfte auf die Flanke oder das Abdomen im Rahmen von Sportunfällen sind eine weitere häufige Ursache stumpfer Nierentraumen [24]. Plötzliche Dezelerationstraumen durch Unfälle können mit einer Nierenkontusion, Lazeration oder Avulsion des Nierenparenchyms einhergehen [11]. In 5% der Fälle von Abdominaltraumata liegt eine Verletzung des Nierenstiels vor [25]. Ein Verschluss der Arteria renalis ist häufig mit einem Dezelerationstrauma assoziiert [11, 25]. Pathophysiologisch kommt es durch Traktion des Gefäßstiels zu einem Einriss der Intima und durch die entstehende Hämorrhagie zu einer Thrombose [25]. Penetrierende Nierenverletzungen entstehen zumeist durch Schuss- oder Stichverletzungen und sind zumeist schwerer als stumpfe Traumata [11]. Projektile destruieren aufgrund ihrer Kinetik in der Regel mehr Parenchym und sind mit Multiorganverletzungen assoziiert [26]. Das Verletzungsmuster ist von einer Rupturierung des Parenchyms, des Gefäßstiels oder des Nierenbeckenkelchsystems geprägt [11].

Nierentraumata werden nach dem Klassifikationssystem der AAST (American Association for the Surgery of Trauma) fünf Grade eingeteilt entsprechend des Updates von 2018 (Tabelle 4) [27]. Die Klassifikation basiert auf der Computertomografie (CT) des Abdomens oder durch direkte chirurgische Exploration. Auch eine kernspintomografische Validierung ist möglich, im Rahmen der Schockraumphase jedoch aufgrund des Zeitaufwandes unpraktikabel [28]. Die Klassifikation ist eine unabhängige Variable zur Vorhersage der Notwendigkeit einer chirurgischen Exploration oder der Nephrektomie, der Morbidität nach stumpfer oder penetrierender Verletzung und der Mortalität nach stumpfem Trauma [29-31].

Tabelle 4: AAST-Gradeinteilungen des Nierentraumas nach Kozar et al. von 2018 [27]

Grad*	Art der Verletzung	Beschreibung der Verletzung
1	Hämatom und/oder Kontusion	Subkapsuläres, nicht expandierendes Hämatom oder parenchymale Kontusion ohne parenchymalen Riss.
2	Hämatom	Nicht-größer werdendes perirenales Hämatom mit Respektierung der Gerota'schen-Faszie.
	Lazeration	Riss des Nierenparenchyms <1 cm Tiefe ohne Urinextravasation.
3	Lazeration	Riss des Nierenparenchyms <1 cm Tiefe ohne Ruptur des Sammelsystems oder Urinextravasation.

Grad* Art der Verletzung Beschreibung der Verletzung

4	Lazeration	Riss des Parenchyms bis in das Nierenbeckenkelchsystem mit Urinextravasation. Riss des Nierenbeckens und/oder vollständiger Abriss des pyeloureteralen Übergangs.
	Gefäß	Segmentale Verletzung der Nierenvene oder -arterie. Segmentale(r) oder vollständige(r) Niereninfarkt(e) aufgrund einer Gefäßthrombose ohne aktive Blutung.
5	Lazeration	Zertrümmerte Niere mit Verlust der erkennbaren parenchymatösen Nierenanatomie.
	Gefäß	Riss der Hauptnierenarterie oder -vene oder Abriss des Nierenhilums. Devaskularisierte Niere mit aktiver Blutung.

* Bei beidseitigen Verletzungen bis zu Grad 3 eine Stufe upgraden.

Während der prähospitalen Phase sollten zudem mögliche vorbestehende Nierenerkrankungen (Einzelnierigkeit, Niereninsuffizienz) evaluiert werden, wobei insbesondere Patienten mit Einzelniere eine besondere Risikogruppe darstellen [32, 33]. Zudem können anatomische Varianten oder hereditäre Anomalien (Nierenbeckenabgangsstenose, Nierenzysten, Nierensteine) niedriggradige Nierentraumata erschweren [34]. Sebastia et al. beziffern die Inzidenz solcher Normvarianten auf bis zu 22 Prozent [34]. Hämodynamische Stabilität ist das primäre Kriterium für das Management aller Nierentraumata [20]. Penetrierende Traumata des dorsalen Thorax, der Flanke und des Oberbauchs sowie stumpfe Einwirkungen auf Rücken, Flanke, Oberbauch oder den unteren Thorax können ebenfalls wegweisend für ein Nierentrauma sein [11].

Die Diagnostik bei Harnleiterverletzungen ist schwieriger. Bei penetrierenden Verletzungen wird sie zumeist während der Laparotomie gestellt, bei stumpfen Traumata ist sie häufig verzögert [35, 36]. Externe Harnleitertraumata sind zumeist mit schwerwiegenden Abdominal- und Beckenverletzungen vergesellschaftet [37]. Während penetrierende Traumata häufig mit Verletzungen der Gefäße oder intestinaler Organe einhergehen, sind bei stumpfen Verletzungen das knöcherne Becken und die lumbale Wirbelsäule betroffen [37]. Eine Hämaturie ist ein unsicherer Indikator einer Harnleiterverletzung und kann bei jeder Form der Harnleiterverletzung fehlen [38]. Entscheidend ist an die Möglichkeit einer Harnleiterverletzung bei penetrierenden oder stumpfen Abdominaltraumata zu denken [39]. Armenakas et al. konnten zeigen, dass 93 Prozent aller externen Harnleiterverletzungen bei oben genannten klinischen Überlegungen und Symptomen nicht verzögert und in 57 Prozent intraoperativ nachgewiesen werden konnten [40]. Alle Symptome (Fieber, unklare Leukozytose, peritoneale Reizung) sollten zu einer raschen Diagnostik mittels Computertomografie einschließlich CT-Urogramm führen. Sollte eine Harnleiterverletzung initial nicht detektiert worden sein, stellt nach 48 Stunden die retrograde Ureteropyelografie das Diagnostikum der Wahl dar [39].

Patienten mit traumatisch verursachten Harnblasenverletzungen bedürfen meist einer interdisziplinären Therapie, da sowohl stumpfe als auch penetrierende Verletzungen oft mit abdominellen Begleitverletzungen oder Beckenfrakturen einhergehen. Wichtig für das Therapiemanagement sind die Differenzierung zwischen intra- und extraperitonealen Harnblasenverletzungen, sowie das Wissen um assoziierte Verletzungen am Blasenhalss oder der proximalen Urethra. Die initiale Diagnostik zur genauen Beurteilung der Verletzungen spielt daher eine wichtige Rolle. Verkehrsunfälle stellen die häufigste Ursache (90%) für stumpfe Harnblasenverletzungen dar [41, 42]. Circa 70% der Patienten mit stumpfen Harnblasenverletzungen weisen begleitende Beckenfrakturen (vor allem Beckenringfrakturen, Symphysensprengung, Fraktur der Rami ossis pubis) und ca. 44% der Patienten weisen mindestens eine intraabdominelle Verletzung

auf [41-43]. Penetrierende Harnblasenverletzungen durch Schusswunden oder Pfählungsverletzungen sind eher selten [44]. Extraperitoneale Harnblasenrupturen sind häufiger als intraperitoneale und sie sind meistens mit Beckenfrakturen assoziiert, verursacht durch Verschiebung des Beckenringes. Intraperitoneale Harnblasenverletzungen werden durch einen plötzlichen erhöhten intraabdominellen Druck, Tritte ins Genitale oder ins untere Abdomen verursacht. Eine volle Harnblase erhöht dabei das Risiko einer intraperitonealen Harnblasenruptur [42].

Verletzungen der Harnröhre werden nach der AAST in Abhängigkeit der Kontinuität der Harnröhrenzirkumferenz in fünf Grade unterschieden (modifiziert nach Moore et al. [45]):

- I Kontusion (inkompletter Einriss der Harnröhrenzirkumferenz mit Nachweis von Blut am Meatus urethrae ohne Nachweis einer Extravasation im retrograden Urethrogramm (RUG))
- II Dehnungsverletzung (Elongation der Urethra bei unversehrter Harnröhrenzirkumferenz, ohne Extravasation im RUG)
- III Kompletter Einriss der anterioren/posterioren Harnröhrenzirkumferenz (mit Nachweis eines Harnröhrenextravasates und Kontrastmittelnachweis bis in die Harnblase, *partial rupture of urethra*)
- IV Kompletter Abriss der Harnröhre, <2 cm Harnröhrendissoziation (mit Nachweis eines Harnröhrenextravasates aber ohne Kontrastmittelnachweis bis in die Harnblase, *complete rupture of urethra*)
- V Kompletter Abriss der Harnröhre, ≥2 cm Harnröhrendissoziation oder Verletzung bis in die Prostata oder Vagina

90% der Harnröhrenverletzungen treten bei stumpfen äußeren Verletzungsmustern auf wie z.B. bei Verkehrsunfällen, Stoßverletzungen (*straddle trauma*, z.B. Sturz auf Fahrradlenker) oder direkten Verletzungen des Perineums [46]. Sie betreffen vor allem die anteriore vordere Harnröhre (Kompression der bulbären Harnröhre zwischen dem stumpfen Objekt und dem Becken) [46]. Beckenfrakturen-assoziierte Harnröhrenverletzungen (*pelvic fracture-related urethral injuries, PFUI*) sind meist durch Scherverletzungen (Distractionskräfte) verursacht, bei denen Beckenknochenfragmente die Harnröhre interrogieren, und damit eher die anteriore (80%) als die posteriore Harnröhre (d. h. proximal des Sphinkters) betreffen [47]. Penetrierende oder offene Verletzungen, die aus Schussverletzungen, Hundebissen, oder Pfählungsverletzungen resultieren, betreffen häufiger die anteriore (penilen und bulbären) als die posteriore Harnröhre [46]. PFUI betreffen in bis zu 80% die anteriore Harnröhre (distal des Sphinkters) und sind nach der iatrogenen Harnröhrenverletzung die häufigste Verletzung der Harnröhre: 19% der Männer und 6% der Frauen mit Beckenfrakturen weisen assoziierte Harnröhrenverletzungen auf [11]. PFUI treten am häufigsten in Kombination mit instabilen Beckenfrakturen mit Diastase der Sakroiliakalgelenken und/oder der Symphyse auf [47].

2.17.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die weiterführende bildgebende Diagnostik der ableitenden Harnwege sollte durchgeführt werden, wenn eines oder mehrere der folgenden Kriterien zutreffen: Hämaturie, Blutung aus dem Meatus urethrae oder der Vagina, Dysurie und lokales Hämatom.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 88%	

Zahlreiche Studien haben zeigen können, dass Blasenrupturen in ca. 70% der Fälle mit einer Beckenfraktur assoziiert sind [41, 42]. Hochberg und Stone fanden eine direkte Korrelation zwischen der Anzahl der frakturierten Schambeinäste (1, 2 oder 3, 4) und der Häufigkeit von Blasenrupturen (4%, 12%, 40%) [48]. Auch Aihara et al. fanden, dass bei 75% der Blasenrupturen nach stumpfem Trauma eine Sprengung der Symphyse oder des Sakroiliakalgelenkes vorliegt [49]. Dennoch ließ sich umgekehrt aus dem Vorliegen einer komplexen Beckenfraktur nicht auf eine Blasenruptur schließen, denn nur 20% (positiver prädiktiver Wert) der Patienten mit Symphysen- und Sakroiliakalgelenkssprengung wiesen eine Blasenruptur auf [49].

Auch der enge Zusammenhang zwischen Beckenfraktur und Urethraverletzung ist gut dokumentiert. Wiederum spielt aber der Schweregrad der Verletzungen eine große Rolle [50-53]. Koraitim et al. und Aihara et al. konnten in konsistenter Weise zeigen, dass Frakturen der Schambeinäste das Risiko einer Urethraverletzung erhöhen, dass aber vor allem bei komplexeren Beckenfrakturen (Typ C) dieses Risiko enorm ansteigt [49, 54, 55]. Aihara et al. betonen, dass vor allem Frakturen des unteren Schambeinastes auf eine Urethraverletzung hindeuten [49]. Palmer et al. analysierten anhand einer Serie von 200 Patienten mit Beckenfraktur, dass 26 der 27 Patienten mit urologischen Läsionen einen Bruch des vorderen und hinteren Beckenringes aufwiesen [56]. Bei Frauen ist diese Assoziation aufgrund der kürzeren Länge und geringeren bindegewebigen Fixierung der weiblichen Urethra schwächer ausgeprägt [52, 57]. Zudem gehen Urethraverletzungen der Frau meistens mit blutenden Scheidenverletzungen einher [57].

Die klassische Kombination aus Beckenfraktur und Makrohämaturie lässt mit sehr hoher Sicherheit den Schluss auf eine Blasen- und/oder Urethraverletzung zu [48, 56]. Rehm et al. fanden, dass von 719 Patienten mit stumpfer Becken-/Bauchverletzung alle 21 Fälle mit Blasenverletzung durch eine Hämaturie auffielen, die in 17 Fällen auch als Makrohämaturie imponierte [58]. Auch Morey et al. berichteten, dass 85% ihrer Patienten mit Beckenfraktur bei gleichzeitigem Vorliegen einer Blasenruptur eine Makrohämaturie aufwiesen [59]. Bei Palmer et al. lag diese Quote bei 10/11 Patienten, bei Hsieh et al. bei 48/51 [56, 60]. Ein Klaffen der Symphyse und eine Sprengung des Ileosakralgelenkes verdoppelten in der Studie von Aihara et al. das Risiko für eine Blasenverletzung [49]. Aber auch ohne dass eine Beckenfraktur nachweisbar ist, muss bei Patienten mit Makrohämaturie oder Blutaustritt aus dem Meatus urethrae eine Verletzung der ableitenden Harnwege angenommen werden [11, 20].

Die Unterscheidung zwischen Hämaturie und Blut am Meatus urethrae kann hilfreicher Hinweis sein, um zwischen Blasen- und Harnröhrenverletzungen zu unterscheiden. So beschreiben Morey et al., dass alle 53 Patienten mit Blasenruptur eine Hämaturie aufwiesen, dass aber das gleichzeitige Vorliegen von Blut am Meatus urethrae in allen sechs Fällen korrekt auf eine begleitende Urethraverletzung hindeutete [59].

Die Studienlage weist klar aus, dass das Fehlen einer Hämaturie und der gleichzeitige Ausschluss einer Beckenfraktur eine relevante Verletzung der Blase oder Urethra sicher ausschließen [20, 56]. Etwas schwieriger ist diese Einschätzung beim positiven Nachweis einer Beckenfraktur [48]. Hochberg und Stone fanden, dass auch hier eine urologische Verletzung sehr unwahrscheinlich ist, sofern die Beckenfraktur nicht die Schambeinäste betrifft [48].

Bildgebende Diagnostik der Nieren und Ureteren

2.17.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Verdacht auf eine Nierenverletzung sollte eine Computertomografie mit Kontrastmittelgabe durchgeführt werden	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 89%	

Eine kontrastmittelgestützte Computertomografie (CT) ist nahezu flächendeckend verfügbar und erlaubt eine schnelle und adäquate Detektion und ein Staging signifikanter Nierenverletzungen [20]. Auch bei polytraumatisierten Kindern kann eine Computertomografie unmittelbar im Anschluss an die Schockraumphase erfolgen [20]. Aktuelle Entwicklungen moderner Dual-Source-CT-Scanner mit niedriger Röhrenspannung (70–100 kV), der Möglichkeit der Perfusionsmessung und iterativer Bildrekonstruktion führen zu einer deutlichen Reduktion, einerseits der Strahlendosis und andererseits der benötigten Kontrastmittelmenge [61–63]. Bis dato wird diese neue Generation von Dual-Source-CT-Scannern vornehmlich zur CT-Angiografie und der Thorax-Bildgebung angewandt, aufgrund der ebenfalls kurzen Untersuchungszeit ist sie jedoch auch für die Schockraumdiagnostik polytraumatisierter Patienten sinnvoll [61].

Obwohl die intravenöse Pyelografie eine sensitive Methode zur Diagnostik des Nierentraumas darstellt, wurde sie weitestgehend von der CT verdrängt [11, 20]. Folglich empfehlen sie aktuelle Leitlinien nur in Zentren, in denen keine CT verfügbar ist [11, 20, 64]. Die Hauptgründe hierfür sind die zeitliche Verzögerung sowie die niedrigere Bildqualität. Die Validität beschränkt sich auf die Extravasation und den Nachweis einer stummen Niere, der zumeist ein Zeichen des extensiven Nierentraumas oder einer Verletzung der Nierenstielgefäße ist [11]. Extravasationen deuten auf eine höhergradige Nierenverletzung mit Zerreißen der Kapsel sowie Parenchym- und Nierenbeckenbeteiligung hin [11].

Der Ultraschall bietet eine schnelle, nichtinvasive, kostengünstige und strahlungsfreie Möglichkeit, retroperitoneale Flüssigkeitskolektionen zu detektieren [65]. Nachteilig ist die hohe Untersucherabhängigkeit und die Abhängigkeit vom Patientensitus [65]. Nierenlazerationen können zwar prinzipiell per Sonografie detektiert werden, jedoch gelingt weder eine akkurate Detektion der Tiefe, noch der Ausdehnung [20]. Auch Aussagen zur Urinausscheidung oder von Urinleckagen sind nur schwer zu treffen [20]. Demgegenüber sind sonografische Verlaufskontrollen von Parenchymläsionen, retroperitonealen Hämatomen oder Urinomen im Rahmen der intensivmedizinischen Überwachung möglich [8]. Der kontrastmittelgestützte Ultraschall (CEUS) besitzt eine größere Sensitivität als der konventionelle Ultraschall und kann bei stumpfen Verletzungen nützlich sein [66]. Voraussetzung ist jedoch die hämodynamische Stabilität des Patienten [20].

Eine Angiografie ist bei stabilen Patienten indiziert, die nach computertomografischer Diagnostik für eine interventionelle Blutungskontrolle geeignet sind [67]. Die Angiografie ist insgesamt weniger spezifisch, zeitintensiver und invasiver als die Computertomografie, im Hinblick auf eine Lokalisierung und Einteilung des Schweregrades einer Gefäßverletzung ist sie jedoch spezifischer [11].

Diagnostische Indikationen sind Lazerationen, Extravasationen und die Beurteilung von Nierenhilusgefäßen sowie ein unklarer Computertomografiebefund [11]. Darüber hinaus können Ursachen von nichtvisualisierten Nieren (kompletter Abriss der Nierenstielgefäße, Nierenarterienthrombose, Gefäßspasmus nach Kontusion) in der Angiografie beurteilt werden [11].

Die Kernspintomografie eignet sich aufgrund des verlängerten Zeitaufwandes, der Kosteneffektivität und des limitierten Zuganges zum Patienten während der Untersuchung zur initialen Diagnostik nach Nierentraumen nur dann, wenn eine Kontrastmittelallergie vorliegt oder eine CT nicht verfügbar ist [68]. Die Domäne liegt in der Verlaufskontrolle nach Nierentrauma und insbesondere in der Beurteilung von Lazerationen und einzelnen Fragmenten [11, 69].

Im Rahmen der initialen Schockraumdiagnostik hat der Stellenwert der Computertomografie in den vergangenen Jahren sukzessive zugenommen [30]. Folgerichtig stellt die CT in Mitteleuropa aktuell die Standarduntersuchung in der initialen Schockraumphase dar [11].

Bildgebende Diagnostik des unteren Harntraktes

2.17.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Falls es die Prioritätensetzung zulässt, sollten bei Patienten mit klinischen Anhaltspunkten für eine Urethraläsion eine retrograde Urethrografie und ein Zystogramm durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

2.17.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Falls es die Prioritätensetzung zulässt, sollte bei Patienten mit klinischen Anhaltspunkten für eine Blasenverletzung ein retrogrades Zystogramm durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 86%	

Hauptsymptom der Harnblasenverletzung ist die Makrohämaturie (95% aller Patienten) [41, 42]. Ein Fehlen einer Makrohämaturie schließt eine Harnblasenverletzung jedoch nicht aus [70].

Weitere Symptome die hinweisend auf eine Harnblasenverletzung sein können sind: abdominelle Abwehrspannung (bis zu 97%), Unfähigkeit zu miktieren oder Abdomenspannung bei urämischer Aszites [42, 44, 71]. Des Weiteren werden eine Schwellung des Perineums, des Skrotums oder eine Spannung entlang der vorderen Abdominalwand aufgrund von Urinextravasation beobachtet. Ein erhöhter Kreatinin- und Harnstoffanstieg im Serum – verursacht durch eine peritoneale Resorption – kann bei intraperitonealer Harnblasenruptur ebenso vorliegen.

Im Falle eines Harnverhaltes und / oder Blut am Meatus urethrae muss immer an eine Begleitverletzung der Harnröhre gedacht werden, die eine diagnostische Abklärung mittels retrograder Urethrographie vor weiterer Manipulation (Kathetereinlage) notwendig macht [42, 72].

In der Akutsituation beim instabilen Patienten steht die CT im Rahmen des Schockraumprotokolls im Vordergrund [73]. Die konventionelle Zystografie ist bezüglich ihrer Sensitivität und Spezifität mit der CT-Zystografie vergleichbar, spielt aber eher bei stabilen Patienten oder bei Verlaufskontrollen vor Katheterentfernung eine Rolle [74, 75]. Die Zystografie, sowohl konventionell als auch im CT, sollte mit mindestens 350 ml verdünntem Kontrastmittel über einen einliegenden Katheter durchgeführt werden [76].

Das diagnostische Vorgehen bei Harnröhrenverletzungen hängt im Wesentlichen von der kardiopulmonalen Situation und den Begleitverletzungen des Patienten sowie vom Verletzungsmuster ab.

Die retrograde Urethrografie stellt die Basisdiagnostik beim stabilen Patienten zum Nachweis, zur Lokalisation und zum Ausmaß einer Harnröhrenverletzung dar [77]. Ist kein Kontrastmittelübertritt in die Harnblase sichtbar oder bildet sich die posteriore Harnröhre nicht ab, gibt eine zusätzliche antegrade Urethrografie (Miktionszystourethrografie, MCU) weitere Hinweise über das Ausmaß der Verletzung des Blasenhalses, der prostatistischen und membranösen Harnröhre sowie über Länge und Lokalisation einer Harnröhrendistraktion oder -striktur [77].

Die flexible Zystoskopie kann (antegrad über den suprapubischen Zugangsweg) alternativ eingesetzt werden, falls in der retrograden Urethrografie der Blasen Hals oder die posteriore Harnröhre nicht beurteilt werden kann, oder ein Zugang über den Meatus urethrae nicht möglich ist [42, 46, 77, 78].

Die Computer- oder Magnetresonanztomografie mit CT/MRT-Urografie und -Zystografie werden durchgeführt, um abdominelle Begleitverletzungen zu evaluieren und das Ausmaß der jeweiligen Harnröhrenverletzung, insbesondere bei penetrierenden posterioren Harnröhrenverletzungen, abzuschätzen [77, 79].

Schlussendlich ist es bei polytraumatisierten Patienten in etwa 20% der Fälle aufgrund der Begleitverletzungen nicht möglich, das Zystogramm innerhalb der ersten Schockraumphase durchzuführen [60]. Dies mag im Einzelfall unvermeidlich sein, jedoch muss die Diagnostik baldmöglichst nachgeholt werden, damit keine Verletzungen übersehen werden [60]. Andererseits ergeben sich aus der verzögerten Diagnose einer Blasenruptur keine schweren Nachteile für den Patienten [60].

Literatur

1. Bozeman C, Carver B, Zabari G, Caldito G, Venable D. Selective operative management of major blunt renal trauma. *J Trauma*. 2004;57(2):305-9.
2. DGUC. S3-Polytrauma/Schwerverletzten Behandlung. 2011.
3. Brandes S, Borrelli J. Pelvic fracture and associated urologic injuries. *World journal of surgery*. 2001;25(12):1578-87.
4. Allen GS, Moore FA, Cox Jr CS, Wilson JT, Cohn JM, Duke JH. Hollow visceral injury and blunt trauma. *J Trauma*. 1998;45(1):68-9.
5. Cotton BA, Beckert BW, Smith MK, Burd RS. The utility of clinical and laboratory data for predicting intraabdominal injury among children. *J Trauma*. 2004;56(5):1065-8.
6. Brandes S, Coburn M, Armenakas N, McAninch J. Diagnosis and management of ureteric injury: an evidence-based analysis. *BJU international*. 2004;94(3):277-89.
7. Brosman SA, Paul JG. Trauma of the bladder. *Surg Gynecol Obstet*. 1976;143(4):605-8.
8. Buchberger W, Penz T, Wicke K, Eberle J. [Diagnosis and staging of blunt kidney trauma. A comparison of urinalysis, i.v. urography, sonography and computed tomography]. *Rofo*. 1993;158(6):507-12.
9. Buckley JC, McAninch JW. Selective management of isolated and nonisolated grade IV renal injuries. *J Urol*. 2006;176(6 Pt 1):2498-502; discussion 502.
10. Carroll PR, McAninch JW. Major bladder trauma: the accuracy of cystography. *J Urol*. 1983;130(5):887-8.
11. Kitrey N, Djakovic N, Gonsalves M, Kuehhas F, Lumen N, Serafetinidis E, et al. EAU guidelines on urological trauma. *European Association of Urology*. 2016.
12. Chapple CR, Png D. Contemporary management of urethral trauma and the post-traumatic stricture. *Curr Opin Urol*. 1999;9(3):253-60.
13. Carroll PR, McAninch JW. Major bladder trauma: mechanisms of injury and a unified method of diagnosis and repair. *J Urol*. 1984;132(2):254-7.
14. Chandhoke PS, McAninch JW. Detection and significance of microscopic hematuria in patients with blunt renal trauma. *J Urol*. 1988;140(1):16-8.
15. Flancbaum L, Morgan AS, Fleisher M, Cox EF. Blunt bladder trauma: manifestation of severe injury. *Urology*. 1988;31(3):220-2.
16. Miller KS, McAninch JW. Radiographic assessment of renal trauma: our 15-year experience. *J Urol*. 1995;154(2 Pt 1):352-5.
17. Peterson NE, Schulze KA. Selective diagnostic urography for trauma. *J Urol*. 1987;137(3):449-51.
18. Richards JR, Derlet RW. Computed tomography for blunt abdominal trauma in the ED: a prospective study. *The American journal of emergency medicine*. 1998;16(4):338-42.
19. Kawashima A, Vrtiska TJ, LeRoy AJ, Hartman RP, McCollough CH, King BF. CT Urography. *Radiographics*. 2004;35-54.
20. Morey A, Brandes S, Dugi III D. American Urological Association (AUA) Guideline American Urological Association. *AUA Clin Guidel*. 2014:1-57.
21. Kansas BT, Eddy MJ, Mydlo JH, Uzzo RG. Incidence and management of penetrating renal trauma in patients with multiorgan injury: extended experience at an inner city trauma center. *J Urol*. 2004;172(4 Pt 1):1355-60.
22. Sangthong B, Demetriades D, Martin M, Salim A, Brown C, Inaba K, et al. Management and Hospital Outcomes of Blunt Renal Artery Injuries: Analysis of 517 Patients from the National Trauma Data Bank. *Journal of the American College of Surgeons*. 2006;203(5):612-7.
23. Kuan JK, Kaufman R, Wright JL, Mock C, Nathens AB, Wessells H, et al. Renal injury mechanisms of motor vehicle collisions: analysis of the crash injury research and engineering network data set. *The Journal of urology*. 2007;178(3 Pt 1):935-40; discussion 40.
24. Brandes SB, McAninch JW. Urban free falls and patterns of renal injury: a 20-year experience with 396 cases. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1999;47(4):643-9.

25. Bruce LM, Croce Ma, Santaniello JM, Miller PR, Lyden SP, Fabian TC. Blunt renal artery injury: Incidence, diagnosis, and management. *American Surgeon*. 2001;67(6):550-4.
26. Najibi S, Tannast M, Latini JM. Civilian gunshot wounds to the genitourinary tract: Incidence, anatomic distribution, associated injuries, and outcomes. *Urology*. 2010;76(4):977-81.
27. Kozar RA, Crandall M, Shanmuganathan K, Zarzaur BL, Coburn M, Cribari C, et al. Organ injury scaling 2018 update: spleen, liver, and kidney. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2018;85(6):1119-22.
28. Dayal M. Imaging in renal trauma. *World Journal of Radiology*. 2013;5(8):275-.
29. Kuan JK, Wright JL, Nathens AB, Rivara FP, Wessells H. American Association for the Surgery of Trauma Organ Injury Scale for kidney injuries predicts nephrectomy, dialysis, and death in patients with blunt injury and nephrectomy for penetrating injuries. *J Trauma*. 2006;60:351-6.
30. Santucci RA, McAninch JW, Safir M, Mario LA, Service S, Segal MR. Validation of the American Association for the Surgery of Trauma organ injury severity scale for the kidney. *J Trauma*. 2001;50(2):195-200.
31. Shariat SF, Roehrborn CG, Karakiewicz PI, Dhimi G, Stage KH. Evidence-based validation of the predictive value of the American Association for the Surgery of Trauma kidney injury scale. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2007;62(4):933-9.
32. Akcay A, Turkmen K, Lee D, Edelstein CL. Update on the diagnosis and management of acute kidney injury. *International Journal of Nephrology and Renovascular Disease*. 2010;3:129-40.
33. Cachecho R, Millham FH, Wedel SK. Management of the trauma patient with pre-existing renal disease. *Critical Care Clinics*. 1994;10(3):523-36.
34. Sebastia MC, Rodriguez-Dobao M, Quiroga S, Pallisa E, Martinez-Rodriguez M, Alvarez-Castells A. Renal trauma in occult ureteropelvic junction obstruction: CT findings. *European Radiology*. 1999;9(4):611-5.
35. Brandes SB, McAninch JW. Renal Trauma : A Practical Guide to Evaluation and Management. *The Scientific World Journal*. 2004;4:31-40.
36. Kunkle Da, Kansas BT, Pathak A, Goldberg AJ, Mydlo JH. Delayed diagnosis of traumatic ureteral injuries. *The Journal of urology*. 2006;176(6):2503-7.
37. Siram SM, Gerald SZ, Greene WR, Hughes K, Oyetunji Ta, Chrouser K, et al. Ureteral trauma: patterns and mechanisms of injury of an uncommon condition. *American journal of surgery*. 2010;199(4):566-70.
38. Elliott SP, McAninch JW. Ureteral injuries: External and iatrogenic. *Urologic Clinics of North America*. 2006;33(1):55-66.
39. Santucci RA, Doumanian L. Upper Urinary Tract Trauma. In: Wein A, editor. *Campbell-walsh Urology*. Philadelphia: Elsevier; 2012. p. 1169-78.
40. Armenakas NA. Current methods of diagnosis and management of ureteral injuries. *World journal of urology*. 1999;17(2):78-83.
41. Bjurlin Ma, Fantus RJ, Mellett MM, Goble SM. Genitourinary injuries in pelvic fracture morbidity and mortality using the National Trauma Data Bank. *The Journal of trauma*. 2009;67(5):1033-9.
42. Gómez RG, Mundy T, Dubey D, El-Kassaby AW, Kodama R, Santucci R. SIU/ICUD consultation on urethral strictures: pelvic fracture urethral injuries. *Urology*. 2014;83(3):S48-S58.
43. Deibert CM, Spencer BA. The association between operative repair of bladder injury and improved survival: results from the National Trauma Data Bank. *The Journal of urology*. 2011;186(1):151-5.
44. Cinman NM, McAninch JW, Porten SP, Myers JB, Blaschko SD, Bagga HS, et al. Gunshot wounds to the lower urinary tract: a single-institution experience. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013;74(3):725.
45. Moore EE, Cogbill TH, Jurkovich GJ, McAninch JW, Champion HR, Gennarelli TA, et al. Organ injury scaling III: Chest wall, abdominal vascular, ureter, bladder, and urethra. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1992;33(3):337-9.
46. Martinez-Pineiro L. Urethral Trauma. *Emergencies in Urology*: Springer; 2007. p. 276-99.
47. Mouraviev VB, Santucci RA. Cadaveric anatomy of pelvic fracture urethral distraction injury: most injuries are distal to the external urinary sphincter. *J Urol*. 2005;173(3):869-72.

48. Hochberg E, Stone NN. Bladder rupture associated with pelvic fracture due to blunt trauma. *Urology*. 1993;41(6):531-3.
49. Aihara R, Blansfield JS, Millham FH, LaMorte WW, Hirsch EF. Fracture locations influence the likelihood of rectal and lower urinary tract injuries in patients sustaining pelvic fractures. *J Trauma*. 2002;52(2):205-9.
50. Andrich DE, Day AC, Mundy AR. Proposed mechanisms of lower urinary tract injury in fractures of the pelvic ring. *BJU international*. 2007;100(3):567-73.
51. Andrich DE, Mundy AR. The nature of urethral injury in cases of pelvic fracture urethral trauma. *J Urol*. 2001;165(5):1492-5.
52. Black PC, Miller EA, Porter JR, Wessells H. Urethral and bladder neck injury associated with pelvic fracture in 25 female patients. *The Journal of urology*. 2006;175(6):2140-4.
53. Spirnak JP. Pelvic fracture and injury to the lower urinary tract. *The Surgical clinics of North America*. 1988;68(5):1057-69.
54. Koraitim MM. Predictors of surgical approach to repair pelvic fracture urethral distraction defects. *The Journal of urology*. 2009;182(4):1435-9.
55. Koraitim MM, Marzouk ME, Atta MA, Orabi SS. Risk factors and mechanism of urethral injury in pelvic fractures. *Br J Urol*. 1996;77(6):876-80.
56. Palmer JK, Benson GS, Corriere Jr JN. Diagnosis and initial management of urological injuries associated with 200 consecutive pelvic fractures. *The Journal of urology*. 1983;130(4):712-4.
57. Venn S, Greenwell T, Mundy A. Pelvic fracture injuries of the female urethra. *BJU international*. 1999;83(6):626-30.
58. Rehm CG, Mure AJ, O'Malley KF, Ross SE. Blunt traumatic bladder rupture: the role of retrograde cystogram. *Ann Emerg Med*. 1991;20(8):845-7.
59. Morey AF, Iverson AJ, Swan A, Harmon WJ, Spore SS, Bhayani S, et al. Bladder rupture after blunt trauma: guidelines for diagnostic imaging. *J Trauma*. 2001;51(4):683-6.
60. Hsieh C-H, Chen R-J, Fang J-F, Lin B-C, Hsu Y-P, Kao J-L, et al. Diagnosis and management of bladder injury by trauma surgeons. *American journal of surgery*. 2002;184(2):143-7.
61. Christe A, Charimo-Torrente J, Roychoudhury K, Vock P, Roos JE. Accuracy of low-dose computed tomography (CT) for detecting and characterizing the most common CT-patterns of pulmonary disease. *European journal of radiology*. 2013;82(3):e142-50.
62. Ebner L, Knobloch F, Huber A, Landau J, Ott D, Heverhagen JT, et al. Feasible Dose Reduction in Routine Chest Computed Tomography Maintaining Constant Image Quality Using the Last Three Scanner Generations: From Filtered Back Projection to Sinogram-affirmed Iterative Reconstruction and Impact of the Novel Fully Integrated. *J Clin Imaging Sci*. 2014;4(38).
63. Zheng M, Zhao H, Xu J, Wu Y, Li J. Image quality of ultra-low-dose dual-source CT angiography using high-pitch spiral acquisition and iterative reconstruction in young children with congenital heart disease. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2013;7(6):376-82.
64. Bent C, Iyngkaran T, Power N, Matson M, Hajdinjak T, Buchholz N, et al. Urological injuries following trauma. *Clinical radiology*. 2008;63:1361-71.
65. Rippey JCR, Royse AG. Ultrasound in trauma. *Best Practice and Research: Clinical Anaesthesiology*. 2009;23(3):343-62.
66. Gaitini D, Beck-Razi N, Engel A, Dogra VS. Sonographic Evaluation of Vascular Injuries. *Ultrasound Clinics*. 2008;3(1):33-48.
67. Eastham JA, Wilson TG, Ahlering TE. Radiographic evaluation of adult patients with blunt renal trauma. *Journal of Urology*. 1992;148(2 Pt 1):266-7.
68. Nuss GR, Morey AF, Jenkins AC, Pruitt JH, Dugi DD, 3rd, Morse B, et al. Radiographic predictors of need for angiographic embolization after traumatic renal injury. *J Trauma*. 2009;67(3):578-82; discussion 82.
69. Debus F, Moosdorf L, Lopez CL, Ruchholtz S, T S, Kühne CA. Rehabilitation von Schwerverletzten in Deutschland. *Der Unfallchirurg*. 2014:1-8.
70. Avey G, Blackmore CC, Wessells H, Wright JL, Talner LB. Radiographic and clinical predictors of bladder rupture in blunt trauma patients with pelvic fracture. *Academic radiology*. 2006;13(5):573-9.

71. Tonkin JB, Tisdale BE, Jordan GH. Assessment and initial management of urologic trauma. *Medical Clinics*. 2011;95(1):245-51.
72. Gallentine ML, Morey AF. Imaging of the male urethra for stricture disease. *The Urologic clinics of North America*. 2002;29(2):361-72.
73. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick L-M, Körner M, Kay MV, Pfeifer K-J, et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *The Lancet*. 2009;373(9673):1455-61.
74. Quagliano PV, Delair SM, Malhotra AK. Diagnosis of blunt bladder injury: A prospective comparative study of computed tomography cystography and conventional retrograde cystography. *The Journal of trauma*. 2006;61(2):410-21; discussion 21-2.
75. Wirth GJ, Peter R, Poletti PA, Iselin CE. Advances in the management of blunt traumatic bladder rupture: experience with 36 cases. *BJU international*. 2010;106(9):1344-9.
76. Ramchandani P, Buckler PM. Imaging of genitourinary trauma. *American Journal of Roentgenology*. 2009;192(6):1514-23.
77. Chapple C, Barbagli G, Jordan G, Mundy A, Rodrigues-Netto N, Pansadoro V, et al. Consensus statement on urethral trauma. *BJU international*. 2004;93(9):1195-202.
78. Kielb SJ, Voeltz ZL, Wolf JS. Evaluation and management of traumatic posterior urethral disruption with flexible cystourethroscopy. *Journal of Trauma*. 2001;50(1):36-40.
79. Koraitim MM, Reda IS. Role of magnetic resonance imaging in assessment of posterior urethral distraction defects. *Urology*. 2007;70(3):403-6.

3 Erste OP-Phase

3.1 Thorax

C. Schreyer*, A. Markewitz, J. Breuing#, B. Prediger#, L. Becker, C. Spering, J. Neudecker, B. Thiel, S. Schulz-Drost

Operativer Zugangsweg

3.1.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Je nach Verletzungslokalisation kann als Zugang eine anterolaterale Thorakotomie oder eine Sternotomie gewählt werden. Bei unklarer Verletzungslokalisation kann der Clamshell-Zugang in Erwägung gezogen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.1.2	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Beim kardiorespiratorisch stabilen Patienten kann die VATS (Videoassistierte Thorakoskopie) als Zugangsweg/OP-Verfahren verwendet werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Der Standardzugang für die Notfallthorakotomie ist die anterolaterale Thorakotomie auf der Seite der Verletzung in Höhe des 4.–6. Intercostalraumes. Die anterolaterale Thorakotomie scheint aber in bis zu 20% der Fälle eine unzureichende Exposition der verletzten Organe zu ergeben [1].

Ist eine exakte Lokalisation der Verletzung präoperativ möglich, werden die standardisierten Zugänge verwendet, z.B. ein posterolateraler Zugang für Eingriffe an der intrathorakalen Trachea. Ein supraclaviculärer Zugang mit Mobilisierung oder Durchtrennung der Clavicula ermöglicht eine sichere Darstellung der Subclaviagefäße bei einer Verletzung [2-5].

Die mediane Sternotomie wird bei Verletzungen der Aorta ascendens und des Aortenbogens sowie bei Verletzungen der großen Gefäße und des Herzens bevorzugt [1, 4, 6]. Verletzungen der Herz hinterwand sind über eine Sternotomie nur erschwert zu versorgen und werden besser über eine anterolaterale Thorakotomie erreicht.

Für den lebensbedrohlichen Notfall beim instabilen Patienten ist die videoassistierte Thorakoskopie (VATS) meist ungeeignet. Die VATS kann jedoch am kardiorespiratorisch kompensierten Patienten sowohl in diagnostischer als auch in therapeutischer Intention durchgeführt werden. Über eine VATS können Zwerchfellverletzungen, Lungenparenchymverletzungen oder Blutungsquellen identifiziert und behandelt werden. Regelmäßig wird die VATS zur Ausräumung eines Hämatothorax, meist nach der akuten Versorgungsphase, verwendet [7-9].

Zu diesem Thema wird auf die Erläuterungen zu den Empfehlungen 3.1.4 bis 3.1.6 verwiesen. Zusammenfassend löst die VATS beim kardiorespiratorisch stabilen Patienten die Thorakotomie als OP-Zugang in der klinischen Praxis zunehmend ab. Zusätzlich kann das Videothorakoskop im Rahmen

einer Thorakotomie als Hybridverfahren genutzt werden, um schwierig einsehbare Bereiche der Thoraxhöhle zu explorieren.

Penetrierende Thoraxverletzungen

3.1.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Einliegende Fremdkörper sollten beim Vorliegen von perforierenden Thoraxverletzungen erst unter kontrollierten Bedingungen im OP nach Thoraxeröffnung entfernt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Den Thorax penetrierende Fremdkörper dürfen, sobald eine Perforation der Thoraxwand anzunehmen ist, aufgrund eines möglichen Tamponadeeffektes oder sekundären Verletzungen durch unsachgemäße Entfernung des Fremdkörpers nicht entfernt werden. Immer erfolgt die Entfernung im OP oder Schockraum unter Sicht über eine explorative Thorakotomie. In einzelnen Fällen kann beim kreislaufstabilen Patienten eine VATS zur Entfernung des Fremdkörpers erwogen werden. Das luftdichte Verschließen oder Verbinden von Einstichöffnungen ist kontraindiziert, weil es eine Druckentlastung der Pleurahöhle verhindert. Falls keine Entlastung durch eine Thoraxdrainage erfolgt ist, sollte die Versorgung der Thoraxwunde durch einen sterilen semiokklusiven Verband erfolgen.

Indikation zur Thorakotomie / Thorakoskopie

3.1.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Eine penetrierende Thoraxverletzung, die ursächlich für eine hämodynamische Instabilität des Patienten ist, soll einer sofortigen explorativen Thorakotomie zugeführt werden	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.1.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Eine Thorakotomie kann bei initial hohem oder persistierendem relevantem Blutverlust über die liegende Thoraxdrainage sowohl bei stabilem als auch instabilem Patienten erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

3.1.6	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Alternativ zu einer Thorakotomie kann eine VATS (Videoassistierte Thorakoskopie) bei einem kardiopulmonal stabilen Patienten erfolgen.	
	Konsensstärke: 100%	

Die Indikation zur sofortigen Thorakotomie bei penetrierenden Verletzungen ergibt sich bei schweren hämodynamischen Schockzuständen, Zeichen einer Perikardtamponade, starker Blutung und Abwesenheit peripherer Pulse. Weiterhin empfiehlt sich die Notfallthorakotomie bei HerzKreislaufstillstand, wenn initial Lebenszeichen beobachtet wurden bzw. der Eintritt des HerzKreislaufstillstandes nicht länger als 5min zurück liegt [1, 3, 4]. Hämodynamisch stabile Patienten können nach Anlage einer Thoraxdrainage überwacht bzw. weiterer Diagnostik wie einer Spiral-CT mit Kontrastmittel zugeführt werden.

Durch Untersuchungen während des Vietnamkrieges konnte, bei überwiegend penetrierenden Verletzungen, eine Reduktion der Mortalität und der Komplikationsrate bei einer Thorakotomie ab einem Blutverlust von initial >1500 ml bzw. mehr als 500 ml in der ersten Stunde nach Drainageanlage gezeigt werden [10]. In einer retrospektiven multizentrischen Analyse von 157 Patienten, welche zwischen 1995 und 1998 notfallmäßig thorakotomiert wurden, wurde ebenfalls die Abhängigkeit der Mortalität vom thorakalen Blutverlust unabhängig vom Unfallmechanismus (stumpf vs. penetrierend) nachgewiesen. Die Mortalität stieg hierbei um den Faktor 3,2 in der Gruppe mit einem Blutverlust von mehr als 1500 ml in den ersten 24 Stunden, verglichen mit einem Blutverlust aus der Thoraxdrainage von 500 ml/24h. Die Thorakotomie erfolgte hierbei im Mittel $2,4 \pm 5,4$ Stunden nach Aufnahme [11]. Das Konzept, eine Thorakotomie bei stumpfen oder penetrierenden Verletzungen ab einem initialen Blutverlust von 1500ml bzw. bei einer kontinuierlichen Blutung von 250 ml/h über 4 Stunden durchzuführen, wird über viele Jahre durch andere Autoren fortgeschrieben [6, 10-13].

Das Spektrum der möglichen Notfallinterventionen hat sich jedoch in den letzten Jahrzehnten durch erheblich bessere Stabilisierungsmöglichkeiten im Schockraum, moderne Bildgebung und Interventionsverfahren sowie die minimalinvasive Chirurgie wesentlich erweitert. Bei einer sistierenden Blutung und stabilem Patienten wird auch bei einem initialen Blutverlust von mehr als 1500 ml über die Art und Weise des klinischen Vorgehens in der Regel anhand eines durchzuführenden Kontrastmittel-CTs entschieden. Bei persistierender Blutung über mehrere Stunden ist diese Diagnostik bereits erfolgt und ein stabiler Patient wird heutzutage in einer Klinik mit der entsprechenden Expertise eher thorakoskopiert oder interventionell behandelt als thorakotomiert. So kann bei einem Patienten mit bereits mehr als 1500 ml initialem Blutverlust über die Thoraxdrainage, je nach vorliegenden Befunden, Verletzungsmuster und bei Stabilität durchaus die Möglichkeit eines thorakoskopischen Eingriffs bestehen.

Aus diesen Gründen stellte sich in der Leitlinienkommission die Frage, ob man heutzutage die o.a. strikten Mengenempfehlung bei fortwährender Fortschreibung seit 1970 und geringer Evidenz [6, 10-13] der vorliegenden Studien aufrechterhalten kann. Unter dem Aspekt der sich in den letzten Jahrzehnten deutlich weiter entwickelten Diagnostik, Therapie und Behandlungstechniken beim polytraumatisierten Patienten wurden die Mengenangaben aus der Empfehlung von 2016 gestrichen. Trotzdem können die oben diskutierten Verlustmengen immer noch eine Entscheidungshilfe in der Indikationsstellung für eine Thorakotomie oder beim kardiopulmonal stabilen Patienten ggf. zur VATS (Videoassistierte Thorakoskopie) bzw. erforderlichen radiologischen Intervention sein.

Seit Anfang der 1990er Jahre wird die VATS als mögliche Behandlungsalternative zur Thorakotomie in der Behandlung des stabilen Thoraxtraumas eingesetzt. In einer Vielzahl retrospektiven Kohorten an hämodynamisch stabilen Patienten wurde erkannt, dass die VATS in dieser Situation Vorteile gegenüber der Thorakotomie haben kann [7-9]. In einer prospektiven randomisierten Studie aus China bei 80 Patienten mit einem perforierendem Thoraxtrauma (37 VATS / 43 Thorakotomie) wurde ein signifikanter Vorteil ($p < 0.05$) hinsichtlich OP-Zeit, intraoperativer Blutungsmenge und postoperativer Drainagemenge zugunsten der VATS festgestellt. Patienten, bei denen aufgrund von operativen oder anderen Gründen von einer VATS auf eine Thorakotomie umgestiegen werden musste, wurden von der Studie ausgeschlossen. Die Altersgruppen waren vergleichbar und es handelte sich nicht um

Schussverletzungen [14]. Für die frühe Behandlung (innerhalb der ersten 4 Tage) des residualen Hämatothorax gilt die VATS heutzutage als Therapie der Wahl, auch wenn hochwertige vergleichende Studien hierzu nicht vorliegen [15]. Zusammenfassend hat sich die VATS trotz geringer Evidenz in der Praxis als Alternativverfahren zur Thorakotomie beim stabilen Patienten mit Thoraxtrauma entwickelt. Vorteile des Verfahrens sind eine gute Übersicht über den gesamten Thorax und das Diaphragma und der gewebeschonende Operationszugang bei bereits durch das Trauma vorgeschädigtem Gewebe. Ein Umsteigen auf eine Thorakotomie, auch unter weiterer Nutzung der Optik als sogenanntes Hybridverfahren, ist jederzeit möglich.

Im Falle einer thorakalen Kombinationsverletzung mit großem Blutverlust und einer ausgeprägten metabolischen Derangierung kann nach einer Akutversorgung mit Blutungskontrolle ein temporärer Thoraxverschluss im Sinne einer „Damage Control Surgery“ durchgeführt werden. Nach Stabilisierung der Vitalparameter sowie Wiederherstellung der Blutgerinnung und Endorganfunktion des Patienten erfolgen dann individuell die definitive operative Versorgung und der Verschluss des Thorax im Intervall [6, 12, 16, 17].

Verletzungen der Lunge

3.1.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Wenn bei Lungenverletzungen eine Operationsindikation besteht (persistierende Blutung und/oder Luftleckage), sollte der Eingriff parenchymsparend erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	Zusätzliche Evidenz aus Aktualisierung 2022: [18] Aiolfi 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Lungenparenchymverletzungen bei einem penetrierenden oder stumpfen Thoraxtrauma mit persistierender Blutung und/oder Luftleckage bedürfen der chirurgischen Versorgung [12, 17]. Eine der Hauptindikationen für die operative Exploration stellt eine ausgeprägte oder persistierende Blutung dar [11]. Dabei ist ggf. eine operative Versorgung möglicher Lungenparenchymverletzungen zur Blutstillung indiziert. Gegenüber parenchymsparenden Operationsverfahren – wie der Übernähung, einer Traktotomie, der atypischen Resektion oder der Segmentresektion – sind die Lobektomie und Pneumonektomie mit einer höheren Komplikations- und Mortalitätsrate behaftet [12, 16, 17]. Stumpfe Verletzungsformen scheinen mit einer schlechteren Prognose in Bezug auf Liegedauer, Komplikationen und Mortalität einherzugehen [19].

In einer Analyse aus der National Trauma Data Bank aus 2020 wurden 3107 Patienten, welche zwischen 2007 und 2015 eine Lungenresektion im Rahmen eines Thoraxtraumas erhielten, bezüglich Mortalität und Komplikationen analysiert. Abhängig von dem Resektionsausmaß zeigte sich ein signifikanter Anstieg ($p < 0.001$) der Mortalität von 20,3% (Keilresektion) über 30,8% (Lobektomie) bis zu 63,4% (Pneumonektomie). In der Propensity-Score Analyse ergaben sich für Lobektomie und Pneumonektomie ein deutlich erhöhtes Mortalitätsrisiko mit einer OR (odds ratio) von 1,42 (95% Konfidenz Intervall 1,26 - 1,71) und 4,16 (95% Konfidenz Intervall 2,84 - 6,07) im Vergleich zur Keilresektion. Auch die Komplikationsraten, Beatmungszeit, Intensiv und Krankenhausliegedauer waren bei den anatomischen Resektionen erhöht bzw. verlängert [18].

Verletzungen der großen Gefäße

3.1.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei thorakalen Aortenrupturen sollte, wenn technisch und anatomisch möglich, die Implantation einer Endostentprothese gegenüber offenen Revaskularisationsverfahren bevorzugt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Therapie der Aortenruptur besteht traditionell aus einer Aortenrekonstruktion durch eine direkte Naht mit Abklemmung der Aorta bzw. unter Verwendung von verschiedenen Bypassverfahren zur Perfusion der unteren Körperhälfte und des Rückenmarks während der Klemmphase (Linksherzbypass, Gott-Shunt, Herz-Lungen-Maschine) [20, 21].

Aktuelle Studien identifizieren das akute Stenting bei Aortenrupturen als eine minimalinvasive, zeitsparende therapeutische Option mit geringem Zugangsschaden [22]. Komplikationen, wie zerebrale oder spinale Minderperfusion, mit entsprechenden Folgeschäden, wie Paraplegie, treten seltener auf. Langfristig kann auf eine Antikoagulation, wie sie bei den meisten Bypassverfahren notwendig ist, verzichtet werden [23]. In einer Metaanalyse, welche die offene Aortenrekonstruktion mit endovaskulärem Stenting vergleicht, konnten bei gleicher technischer Erfolgsrate für das endovaskuläre Stenting eine signifikant niedrigere Mortalitätsrate sowie eine signifikant niedrigere Rate von postoperativen neurologischen Ausfällen (Paraplegie, Schlaganfälle) nachgewiesen werden [24]. Insgesamt scheint die Implantation einer Endostentprothese dem konventionellen Verfahren vorzuziehen zu sein [25].

Die Komplikationen, wie Paraplegie und akutes Nierenversagen, bei offener Vorgehensweise resultieren aus der operativ bedingten Ischämie. Die Komplikationsrate korreliert mit der Abklemmdauer der Aorta [26]. Wird statt des Abklemmens der Aorta die Perfusion während der Operation durch Bypassverfahren aufrechterhalten, reduziert sich die Komplikationsrate (Paraplegie, Nierenversagen) [20, 21, 27, 28].

Über den Zeitpunkt der Versorgung der Aortenruptur bestimmt der hämodynamische Zustand der Patienten zum Zeitpunkt der Aufnahme. Patienten in einem hämodynamisch instabilen Zustand bzw. solche in extremis müssen sofort operiert werden [27]. Bei Patienten mit begleitenden Schädel-Hirn-Traumen, schweren abdominellen oder skelettalen Verletzungen, welche einer sofortigen operativen Intervention bedürfen, und beim älteren Patienten mit erheblichen kardialen und pulmonalen Komorbiditäten kann eine Versorgung der Aortenverletzung nach der Therapie lebensbedrohlicher Zusatzverletzungen bzw. nach Stabilisierung des Patienten mit verzögerter Dringlichkeit angestrebt werden [4, 6]. In einer Serie von 395 Patienten zeigten Camp et al., dass sich bei hämodynamisch stabilen Patienten die Mortalität bei nicht notfallmäßiger (>4 Stunden) bzw. verzögerter Operation (>24 Stunden) im Gegensatz zur notfallmäßigen Operation (<4 Stunden) nicht signifikant erhöht [27]. Dieser Meinung schließen sich weitere Autoren an [25, 28]. Teilweise werden Verzögerungen bis zu sieben Monaten toleriert [30].

Wird die operative Therapie nicht notfallmäßig durchgeführt, wird eine strenge pharmakologische Blutdruckeinstellung (systolischer Blutdruck bei etwa 100mm Hg / Herzfrequenz <100/min) mit Betablockern und Vasodilatoren empfohlen [25, 28]. Vergleichende prospektive Studien zur Einstellung des Blutdrucks gibt es nicht. In den ESC-Guidelines wird empfohlen, dass der mittlere arterielle Druck 80mm HG nicht übersteigen soll [31].

Verletzungen des Herzens

Lebensbedrohliche Verletzungen des Herzens entstehen in erster Linie durch penetrierende Traumen. Hier sind insbesondere Verletzungen mehrerer Kammern mit einer hohen Mortalität behaftet [3, 4]. Die Kontrolle einer Blutung erfordert insbesondere bei ausgedehnteren Verletzungen mit strukturellen Defekten im Bereich des Herzens den Einsatz der Herzlungenmaschine. Oberflächliche und leichtere transmurale Blutungen im Bereich des rechten Herzens stehen bisweilen durch Kompression, oberflächliche Blutungen im Bereich des linken Ventrikels verschließen sich bisweilen spontan. Ist man gezwungen, ohne herzchirurgische Expertise eine Blutung des Herzens operativ versorgen zu müssen, so sollte man wissen, dass man im Bereich der Ventrikel oder herznaher Gefäße ohne Einsatz der Herzlungenmaschine entweder Fäden der Fadenstärke < 5.0 oder teflonbewehrte Fäden der Stärke 2-0 oder 0 verwenden sollte, alle anderen Fadenstärken machen in diesen Situationen häufig aus kleinen Defekten große Defekte. Eine detaillierte Schilderung des operativen Vorgehens bei strukturellen Defekten des Herzens übersteigt die Möglichkeiten dieser Leitlinie, zumal ein standardisiertes Vorgehen aufgrund der Seltenheit der Verletzungen des Herzens nicht existiert.

Eine intraperikardiale Verletzung der Vena cava inferior verursacht häufig eine lebensbedrohliche Perikardtamponade die unverzüglich zu entlasten ist. Die operative Versorgung der Vena cava erfolgt nach einer Perikardentlastung mittels direkter Naht oder mit einem Patchverschluss, ggf. unter Verwendung der extrakorporalen Zirkulation [4-6].

Der Zugang erfolgt bei höchster Dringlichkeit vorzugsweise über eine mediane Sternotomie oder eine anterolaterale Thorakotomie auf der betroffenen Seite, die von einem in dieser Technik geschulten Operateur ggf. bis zur Clamshell Thorakotomie erweitert werden kann. Nach einer Entlastung der in mehr als 50 % der Fälle vorliegenden Herzbeuteltamponade über eine Längsinzision des Perikards muss eine schnelle Kontrolle der Blutung durch Naht oder Stapler durchgeführt werden. Eine blutende Vorhofwand sollte ausgeklemmt werden (Satinsky-Klemme), danach kann hier eine direkte Naht erfolgen [32]. In desperaten Situationen kann ein Foley-Katheter als temporäre Lösung mit intraventrikulärer Blockung hilfreich sein, wobei der Katheter die Ventrikelfüllung und damit die Aufrechterhaltung eines Kreislaufs erheblich kompromittieren kann. Ventrikelläsionen werden mithilfe eines Perikardpatches oder mit einer Teflonfilz-Augmentation verschlossen, was ohne den Einsatz der Herzlungenmaschine selbst dem Erfahrenen nahezu immer misslingt. Bei dem Versuch einer Naht muss auf die Koronargefäße geachtet werden, um einen Myokardinfarkt zu vermeiden, der je nach Ausmaß und Lokalisation lebensbeendend sein kann. Abschließend wird das Perikard offen gelassen oder es erfolgt eine lockere Adaptation der Perikardinzision, um eine Retamponade zu vermeiden [3, 4]. Verletzungen, die keiner sofortigen Thorakotomie bedürfen, sind nicht hämodynamisch wirksame strukturelle Defekte des Herzens, die im Verlauf ggf. einer definitiven Versorgung zugeführt werden können [32]. In der Diagnostik hinweisgebend ist die transösophageale Echokardiografie.

Proximale Läsionen der Herzkranzgefäße müssen notfallmäßig mit einem aortokoronaren Bypass versorgt werden, zumeist unter Verwendung einer Herz-Lungen-Maschine [33]. Sehr weit distale Läsionen der Koronarien können übernäht oder ligiert werden [3, 4].

Von prognostischer Bedeutung ist der initiale Herzrhythmus und die kardiorespiratorische Funktion des Patienten bei Ankunft im Schockraum [34, 35]. Zu jeder Zeit muss daher versucht werden, die Pumpfunktion des Herzens aufrechtzuerhalten und Herzrhythmusstörungen zu behandeln, um die Mortalität zu senken [34, 35].

Verletzungen des Tracheobronchialsystems

3.1.9	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei klinischem Verdacht auf eine Verletzung des Tracheobronchialsystems sollte eine Tracheobronchoskopie zur Diagnosesicherung erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.1.10	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Traumatische Verletzungen des Tracheobronchialsystems sollten frühzeitig nach Diagnosestellung operativ versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.1.11	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei umschriebenen Verletzungen des Tracheobronchialsystems kann ein konservativer Therapieversuch unternommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Verletzungen des Tracheobronchialsystems sind selten und werden häufig verzögert diagnostiziert [36-38]. Gelegentlich treten tracheobronchiale Verletzungen auch als Komplikation bei orotrachealer Intubation auf [39]. Penetrierende Verletzungen betreffen vorwiegend die zervikale Trachea, während bei stumpfen Verletzungen meist intrathorakale Verletzungen vorliegen. Der rechte Hauptbronchus in unmittelbarer Nähe der Carina ist häufiger betroffen [36-38]. Bei anhaltenden Pneumothoraces trotz korrekter Lage und Funktion der Thoraxdrainage, vorliegendem Weichteilemphysem oder Atelektasen sollte die Verdachtsdiagnose einer tracheobronchialen Verletzung mit einer Tracheobronchoskopie abgeklärt werden [36-38]. Initial gedeckte, auf Höhe des Cuffs des Beatmungstubus befindliche Trachealrupturen, werden aufgrund der Lage häufig übersehen. Deshalb sollte die Trachea zum Ausschluss von Trachealrupturen unter Zurückziehen des Beatmungstubus endoskopiert werden.

Eine fiberoptische Intubation mit Platzierung des Cuffs distal des Defektes kann zur Sicherung des Atemweges direkt angeschlossen werden. In einer retrospektiven Untersuchung stellten Kummer et al. fest, dass ein großer Teil der Patienten einen definitiven Atemweg (Tracheostomie) benötigt [40]. Dabei lag der Schwerpunkt auf penetrierenden Verletzungen. Die operative Versorgung des Tracheobronchialsystems sollte so bald wie möglich nach der Diagnosestellung erfolgen, da eine verzögerte Versorgung mit einer erhöhten Komplikationsrate verbunden ist [32]. Eine operative Versorgung von Luftwegsverletzungen ist gegenüber der konservativen Therapie mit einer deutlich geringeren Mortalität behaftet [36-38]. Eine konservative Therapie sollte nach bronchoskopischer Inspektion nur bei Patienten mit kleinen Bronchusgewebedefekten (Defekt kleiner als 1/3 der Bronchuszirkumferenz) und gut adaptierten Bronchusrändern in Betracht gezogen werden [36-38, 41]. Bei iatrogenen Trachealverletzungen ohne Ventilationsstörungen und oberflächlichen oder gedeckten

Trachealeinrissen fanden Schneider und Kollegen in einer retrospektiven Untersuchung keinen Unterschied zwischen der konservativen und der operativen Vorgehensweise [39].

Zervikale Verletzungen der Trachea werden über eine kollare Inzision versorgt. Als Zugang für intrathorakale Tracheaverletzungen und Hauptbronchusverletzungen sollte eine posterolaterale rechtsseitige Thorakotomie im 3.–4. ICR erfolgen [32]. Bei einfachen Querrissen erfolgt nach einer Bronchusmobilisation und ggf. einer Knorpelspannenresektion die spannungsfreie End-zu-End-Anastomose des Bronchus. Längsrisse mit einer Defektbildung des Pars membranacea werden, falls eine direkte Naht nicht möglich ist, mit einem Patch verschlossen, um Bronchusstenosierungen zu vermeiden [36-38]. Eine stentgestützte Versorgung von tracheobronchialen Verletzungen scheint der aktuellen Literatur zufolge, keine Rolle zu spielen.

Verletzungen des knöchernen Thorax (ohne Wirbelsäule)

Eine Stabilisierung der knöchernen Brustwand wird am stabilen Patienten erwogen und durchgeführt, beim Schwerverletzten ist sie in der Regel nicht Gegenstand der ersten OP-Phase. Zur Stabilisierung der Brustwand stehen verschiedene Implantate wie Metallbügel, rippenumgreifende Klammersysteme und verschiedene Platten zur Verfügung. Drähte und Nähte spielen nur noch eine untergeordnete Rolle.

Knöcherne Verletzungen der Thoraxwand umfassen Frakturen des Sternums, der Rippen und deren Kombinationen. Knapp die Hälfte aller schwer verletzten Patienten hat Rippenfrakturen, davon haben zwei Drittel Frakturen ohne relevante Instabilität der Brustwand und ein Drittel eine instabile Brustwand, davon wiederum knapp ein Drittel mit Beteiligung beider Thoraxhälften. Sternumfrakturen treten ohne begleitende Rippenbrüche mit unter 4% beim Schwerverletzten selten auf, in Kombination mit Rippenbrüchen in ca. 7 bis 21% der Fälle [42].

Die mehrheitlich unkomplizierten Frakturen können konservativ behandelt werden. Eine konsequente Bronchialtoilette und eine ausreichende Schmerztherapie sind hier von entscheidender Bedeutung. Besteht für einen längeren Zeitraum die Notwendigkeit einer künstlichen Beatmung, so werden zahlreiche Frakturmuster auch instabiler Brustwandverletzungen durch eine sogenannte interne pneumatische Schienung im Rahmen der Überdruckbeatmung in eine günstige Stellung gelangen und konsolidieren [29]. Dies kann z.B. der Fall bei schwerer Lungenkontusion oder schwerem Schädel-Hirn-Trauma sein.

Stellt die instabile Brustwand jedoch die Hauptursache für die Notwendigkeit einer Beatmung dar, so kann eine operative Stabilisierung die Beatmungszeit und Intensivliegedauer verkürzen [43-47].

Des Weiteren konnten in der Literatur folgende Indikationen zur operativen Versorgung herausgearbeitet werden:

Sternumfrakturen [48]

- starke, andauernde oder therapieresistente Schmerzen
- respiratorische Insuffizienz oder Abhängigkeit von der Beatmung
- überlappende oder imprimierte Frakturen
- Sternumdeformität oder Instabilität
- Pseudarthrosen
- Zwangshaltung des Rumpfes durch Fehlstellung und/oder Schmerzen
- eingeschränkter Bewegungsumfang

Rippenfrakturen [49]

- instabile Brustwand (Flail Chest) mit Weaningversagen oder paradoxer Atemmobilität beim Weaning
- prolongierte Schmerzen
- Brustwanddeformität
- symptomatische Pseudarthrosen
- Thorakotomie aus anderer Indikation (Rippenosteosynthese auf dem „Rückzug“ aus dem Thorax)

Literatur

1. Karmy-Jones R, Nathens A, Jurkovich GJ, Shatz DV, Brundage S, Wall MJ, Jr., et al. Urgent and emergent thoracotomy for penetrating chest trauma. *J Trauma*. 2004;56(3):664-8; discussion 8-9.
2. Branney SW, Moore EE, Feldhaus KM, Wolfe RE. Critical analysis of two decades of experience with postinjury emergency department thoracotomy in a regional trauma center. *J Trauma*. 1998;45(1):87-94; discussion -5.
3. Feliciano DV, Rozycki GS. Advances in the diagnosis and treatment of thoracic trauma. *Surg Clin North Am*. 1999;79(6):1417-29.
4. Wall MJ, Jr., Soltero E. Damage control for thoracic injuries. *Surg Clin North Am*. 1997;77(4):863-78.
5. Xenos ES, Freeman M, Stevens S, Cassada D, Pacanowski J, Goldman M. Covered stents for injuries of subclavian and axillary arteries. *J Vasc Surg*. 2003;38(3):451-4.
6. Wall MJ, Jr., Hirshberg A, LeMaire SA, Holcomb J, Mattox K. Thoracic aortic and thoracic vascular injuries. *Surg Clin North Am*. 2001;81(6):1375-93.
7. Ben-Nun A, Orlovsky M, Best LA. Video-assisted thoracoscopic surgery in the treatment of chest trauma: long-term benefit. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(2):383-7.
8. Goodman M, Lewis J, Guitron J, Reed M, Pritts T, Starnes S. Video-assisted thoracoscopic surgery for acute thoracic trauma. *Journal of emergencies, trauma, and shock*. 2013;6(2):106-9.
9. Billeter AT, Druen D, Franklin GA, Smith JW, Wrightson W, Richardson JD. Video-assisted thoracoscopy as an important tool for trauma surgeons: a systematic review. *Langenbeck's archives of surgery / Deutsche Gesellschaft für Chirurgie*. 2013;398(4):515-23.
10. McNamara JJ, Messersmith JK, Dunn RA, Molot MD, Stremple JF. Thoracic injuries in combat casualties in Vietnam. *Ann Thorac Surg*. 1970;10(5):389-401.
11. Karmy-Jones R, Jurkovich GJ, Nathens AB, Shatz DV, Brundage S, Wall MJ, Jr., et al. Timing of urgent thoracotomy for hemorrhage after trauma: a multicenter study. *Arch Surg*. 2001;136(5):513-8.
12. Cothren C, Moore EE, Biffi WL, Franciose RJ, Offner PJ, Burch JM. Lung-sparing techniques are associated with improved outcome compared with anatomic resection for severe lung injuries. *J Trauma*. 2002;53(3):483-7.
13. Mansour MA, Moore EE, Moore FA, Read RR. Exigent postinjury thoracotomy analysis of blunt versus penetrating trauma. *Surg Gynecol Obstet*. 1992;175(2):97-101.
14. Jin J, Song B, Lei YC, Leng XF. Video-assisted thoracoscopic surgery for penetrating thoracic trauma. *Chin J Traumatol*. 2015;18(1):39-40.
15. Patel NJ, Dultz L, Ladhani HA, Cullinane DC, Klein E, McNickle AG, et al. Management of simple and retained hemothorax: A practice management guideline from the Eastern Association for the Surgery of Trauma. *Am J Surg*. 2021;221(5):873-84.
16. Gasparri M, Karmy-Jones R, Kralovich KA, Patton JH, Jr., Arbabi S. Pulmonary tractotomy versus lung resection: viable options in penetrating lung injury. *J Trauma*. 2001;51(6):1092-5; discussion 6-7.
17. Huh J, Wall MJ, Jr., Estrera AL, Soltero ER, Mattox KL. Surgical management of traumatic pulmonary injury. *Am J Surg*. 2003;186(6):620-4.
18. Aiolfi A, Inaba K, Martin M, Matsushima K, Bonitta G, Bona D, et al. Lung Resection for Trauma: A Propensity Score Adjusted Analysis Comparing Wedge Resection, Lobectomy, and Pneumonectomy. *American Surgeon*. 2020;86(3):261-5.
19. Martin MJ, McDonald JM, Mullenix PS, Steele SR, Demetriades D. Operative management and outcomes of traumatic lung resection. *J Am Coll Surg*. 2006;203(3):336-44.
20. Cardarelli MG, McLaughlin JS, Downing SW, Brown JM, Attar S, Griffith BP. Management of traumatic aortic rupture: a 30-year experience. *Ann Surg*. 2002;236(4):465-9; discussion 9-70.
21. Miller PR, Kortesis BG, McLaughlin CA, 3rd, Chen MY, Chang MC, Kon ND, et al. Complex blunt aortic injury or repair: beneficial effects of cardiopulmonary bypass use. *Ann Surg*. 2003;237(6):877-83; discussion 83-4.

22. Ott MC, Stewart TC, Lawlor DK, Gray DK, Forbes TL. Management of blunt thoracic aortic injuries: endovascular stents versus open repair. *J Trauma*. 2004;56(3):565-70.
23. Tang GL, Tehrani HY, Usman A, Katariya K, Otero C, Perez E, et al. Reduced mortality, paraplegia, and stroke with stent graft repair of blunt aortic transections: a modern meta-analysis. *J Vasc Surg*. 2008;47(3):671-5.
24. Peterson BG, Matsumura JS, Morasch MD, West MA, Eskandari MK. Percutaneous endovascular repair of blunt thoracic aortic transection. *J Trauma*. 2005;59(5):1062-5.
25. Fabian TC, Davis KA, Gavant ML, Croce MA, Melton SM, Patton JH, Jr., et al. Prospective study of blunt aortic injury: helical CT is diagnostic and antihypertensive therapy reduces rupture. *Ann Surg*. 1998;227(5):666-76; discussion 76-7.
26. Jahromi AS, Kazemi K, Safar HA, Doobay B, Cina CS. Traumatic rupture of the thoracic aorta: cohort study and systematic review. *J Vasc Surg*. 2001;34(6):1029-34.
27. Camp PC, Shackford SR. Outcome after blunt traumatic thoracic aortic laceration: identification of a high-risk cohort. Western Trauma Association Multicenter Study Group. *J Trauma*. 1997;43(3):413-22.
28. Fabian TC, Richardson JD, Croce MA, Smith JS, Jr., Rodman G, Jr., Kearney PA, et al. Prospective study of blunt aortic injury: Multicenter Trial of the American Association for the Surgery of Trauma. *J Trauma*. 1997;42(3):374-80; discussion 80-3.
29. Dehghan N, de Mestral C, McKee MD, Schemitsch EH, Nathens A. Flail chest injuries: a review of outcomes and treatment practices from the National Trauma Data Bank. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;76(2):462-8.
30. Reed AB, Thompson JK, Crafton CJ, Delvecchio C, Giglia JS. Timing of endovascular repair of blunt traumatic thoracic aortic transections. *J Vasc Surg*. 2006;43(4):684-8.
31. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Bartolomeo RD, Eggebrecht H, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014;35(41):2873-926.
32. Meredith JW, Hoth JJ. Thoracic trauma: when and how to intervene. *Surg Clin North Am*. 2007;87(1):95-118, vii.
33. Chaudhry UA, Harling L, Sepehrpour AH, Stavridis G, Kokotsakis J, Ashrafian H, et al. Beating-Heart Versus Conventional On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting: A Meta-Analysis of Clinical Outcomes. *Ann Thorac Surg*. 2015;100(6):2251-60.
34. Asensio JA, Berne JD, Demetriades D, Chan L, Murray J, Falabella A, et al. One hundred five penetrating cardiac injuries: a 2-year prospective evaluation. *J Trauma*. 1998;44(6):1073-82.
35. Asensio JA, Murray J, Demetriades D, Berne J, Cornwell E, Velmahos G, et al. Penetrating cardiac injuries: a prospective study of variables predicting outcomes. *J Am Coll Surg*. 1998;186(1):24-34.
36. Balci AE, Eren N, Eren S, Ulku R. Surgical treatment of post-traumatic tracheobronchial injuries: 14-year experience. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2002;22(6):984-9.
37. Kiser AC, O'Brien SM, Detterbeck FC. Blunt tracheobronchial injuries: treatment and outcomes. *Ann Thorac Surg*. 2001;71(6):2059-65.
38. Rossbach MM, Johnson SB, Gomez MA, Sako EY, Miller OL, Calhoon JH. Management of major tracheobronchial injuries: a 28-year experience. *Ann Thorac Surg*. 1998;65(1):182-6.
39. Schneider T, Storz K, Dienemann H, Hoffmann H. Management of iatrogenic tracheobronchial injuries: a retrospective analysis of 29 cases. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(6):1960-4.
40. Kummer C, Netto FS, Rizoli S, Yee D. A review of traumatic airway injuries: potential implications for airway assessment and management. *Injury*. 2007;38(1):27-33.
41. Dienemann H, Hoffmann H. Tracheo-bronchiale Verletzungen und Fisteln. *Chirurg*. 2001;72(10):1131-6.
42. Schulz-Drost S, Oppel P, Grupp S, Krinner S, Langenbach A, Lefering R, et al. Knöcherne Verletzung der Brustwand beim Polytrauma: Inzidenz, Begleitverletzungen, Verlauf und Outcome. *Der Unfallchirurg*. 2016;119(12):1023-30.

43. Cataneo AJ, Cataneo DC, de Oliveira FH, Arruda KA, El Dib R, de Oliveira Carvalho PE. Surgical versus nonsurgical interventions for flail chest. The Cochrane database of systematic reviews. 2015;(7):CD009919.
44. Lafferty PM, Anavian J, Will RE, Cole PA. Operative treatment of chest wall injuries: indications, technique, and outcomes. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2011;93(1):97-110.
45. Leinicke JA, Elmore L, Freeman BD, Colditz GA. Operative management of rib fractures in the setting of flail chest: a systematic review and meta-analysis. Ann Surg. 2013;258(6):914-21.
46. Marasco SF, Davies AR, Cooper J, Varma D, Bennett V, Nevill R, et al. Prospective randomized controlled trial of operative rib fixation in traumatic flail chest. J Am Coll Surg. 2013;216(5):924-32.
47. Tanaka H, Yukioka T, Yamaguti Y, Shimizu S, Goto H, Matsuda H, et al. Surgical stabilization of internal pneumatic stabilization? A prospective randomized study of management of severe flail chest patients. J Trauma. 2002;52(4):727-32; discussion 32.
48. Harston A, Roberts C. Fixation of sternal fractures: a systematic review. J Trauma. 2011;71(6):1875-9.
49. Nirula R, Diaz JJ, Jr., Trunkey DD, Mayberry JC. Rib fracture repair: indications, technical issues, and future directions. World J Surg. 2009;33(1):14-22.

3.2 Zwerchfell

R. Schwab*, E. Klar, C. Ludwig, G. Matthes, D. Stengel

3.2.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine traumatische Zwerchfellruptur sollte bei Erkennung im Rahmen der Erstdiagnostik und/oder intraoperativen Feststellung zügig verschlossen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Eine bei stumpfen Verletzungen in bis zu 1,6% der Fälle vorliegende Zwerchfellruptur wird meist bei Verkehrsunfällen durch einen seitlichen Aufprall hervorgerufen und betrifft überwiegend die linke Zwerchfellseite [1-7].

Zum idealen Operationszeitpunkt beim Polytraumatisierten liegen keine validen Daten vor. Es lässt sich lediglich festhalten, dass bei der intrathorakalen Verlagerung von Abdominalorganen ein rascher Verschluss der Ruptur erfolgen sollte. Dies gilt auch für die intraoperative Erkennung einer Zwerchfellruptur im Falle einer Höhleneröffnung aufgrund anderer Verletzungen.

Es gibt derzeit jedoch keine eindeutigen Hinweise, dass ein verzögerter Verschluss die Letalität erhöht. Die Random-Effects-Metaregression von 22 Studien (n = 980) aus den Jahren 1976–1992 [7] zeigte bei einer Gesamtsterblichkeit von 17% keinen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit verzögerter Versorgungen und der Letalität (beta -0,013, 95%-KI: -0,267 bis -0,240). Auch ein Pleuraempyem war in einer aktuellen Analyse von 4153 Patienten der National Trauma Database nicht mit dem Zeitpunkt der operativen Intervention assoziiert [8].

Der operative Zugang erfolgt in der akuten Situation bei kreislaufinstabilen Patienten und beim Fehlen thorakaler Läsionen idealerweise über einen transabdominellen Zugang. Bei gesicherten Kombinationsverletzungen, mangelnder Übersicht oder einer technisch schwer durchzuführenden Naht wird ein thorakoabdominaler Zugang verwendet [7-9].

Der Zwerchfelldefekt kann meist mittels direkter Naht verschlossen werden, nur selten ist eine plastische Defektdeckung notwendig [1, 6, 9]. Über die Erfolgsraten bestimmter Nahttechniken (fortlaufend versus Einzelknopf) oder -materialien (monofil versus geflochten, resorbierbar versus nichtresorbierbar) lassen sich auf der Basis der verfügbaren Daten keine verbindlichen Aussagen treffen. Endoskopische Techniken eignen sich zum Verschluss posttraumatischer Zwerchfellhernien [10, 11]; in der ersten Operationsphase eines polytraumatisierten Patienten muss die Indikation zum laparoskopischen oder thorakoskopischen Vorgehen sehr kritisch geprüft werden.

Literatur

1. Athanassiadi K, Kalavrouziotis G, Athanassiou M, Vernikos P, Skrekas G, Poultsidi A, et al. Blunt diaphragmatic rupture. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1999;15(4):469-74.
2. Bergeron E, Clas D, Ratte S, Beauchamp G, Denis R, Evans D, et al. Impact of deferred treatment of blunt diaphragmatic rupture: a 15-year experience in six trauma centers in Quebec. *J Trauma*. 2002;52(4):633-40.
3. Brasel KJ, Borgstrom DC, Meyer P, Weigelt JA. Predictors of outcome in blunt diaphragm rupture. *J Trauma*. 1996;41(3):484-7.
4. Chughtai T, Ali S, Sharkey P, Lins M, Rizoli S. Update on managing diaphragmatic rupture in blunt trauma: a review of 208 consecutive cases. *Can J Surg*. 2009;52(3):177-81.
5. Kearney PA, Rouhana SW, Burney RE. Blunt rupture of the diaphragm: mechanism, diagnosis, and treatment. *Ann Emerg Med*. 1989;18(12):1326-30.
6. Mihos P, Potaris K, Gakidis J, Paraskevopoulos J, Varvatsoulis P, Gougoutas B, et al. Traumatic rupture of the diaphragm: experience with 65 patients. *Injury*. 2003;34(3):169-72.
7. Shah R, Sabanathan S, Mearns AJ, Choudhury AK. Traumatic rupture of diaphragm. *Ann Thorac Surg*. 1995;60(5):1444-9.
8. Barmparas G, DuBose J, Teixeira PG, Recinos G, Inaba K, Plurad D, et al. Risk factors for empyema after diaphragmatic injury: results of a National Trauma Databank analysis. *J Trauma*. 2009;66(6):1672-6.
9. Matsevych OY. Blunt diaphragmatic rupture: four year's experience. *Hernia*. 2008;12(1):73-8.
10. Lomanto D, Poon PL, So JB, Sim EW, El Oakley R, Goh PM. Thoracoscopic repair of traumatic diaphragmatic rupture. *Surg Endosc*. 2001;15(3):323.
11. Ouazzani A, Guerin E, Capelluto E, Landolfo G, Roman A, Bruyns J, et al. A laparoscopic approach to left diaphragmatic rupture after blunt trauma. *Acta Chir Belg*. 2009;109(2):228-31.

3.3 Abdomen

C. GÜsgen, J. Breuing[#], B. Prediger[#], R. Schwab^{*}

Chirurgischer Zugangsweg

3.3.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	In der Traumasituation sollte die Medianlaparotomie gegenüber anderen Zugangswegen bevorzugt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Medianlaparotomie stellt einen anatomisch begründeten, universellen chirurgischen Zugang zum traumatisierten Abdomen dar. Sie erlaubt einen guten Überblick über alle vier Quadranten und ist insbesondere in der Traumasituation schneller und blutärmer durchführbar als quere Inzisionen.

Es existiert nur eine über 30 Jahre alte quasirandomisierte Studie (Zuteilung zu den Behandlungsgruppen nach gerader oder ungerader Aufnahme Nummer), in der die Medianlaparotomie mit einer queren Oberbauchlaparotomie bei Patienten mit Abdominaltrauma verglichen wurde [1]. Die Wundinfektionsraten bei Patienten mit negativer und positiver Laparotomie betragen, unabhängig vom gewählten Zugangsweg, 2% und 11%. Die mittlere Narkosedauer war nach positiver Medianlaparotomie um 25 Minuten kürzer als nach der queren Oberbauchlaparotomie. Dieser Unterschied war nach den publizierten Daten statistisch signifikant ($p = 0,02$). Es wurden jedoch keine Standardabweichungen berichtet oder eine weitere Aufschlüsselung der OP-Zeiten vorgenommen. Die Studie kann nicht als Beleg zugunsten einer bestimmten Schnittführung dienen, sondern stützt die Möglichkeit chirurgischer Präferenzen („Adequacy of organ exposure is still a matter of personal preference“).

Indirekte Evidenz stammt aus randomisierten Studien bei elektiven abdominalen Eingriffen. Ein Cochrane-Review legt einen Vorteil der queren Inzision im Hinblick auf den postoperativen Bedarf an Morphinäquivalenten, die Lungenfunktion und die Rate von Narbenhernien nahe [2]. Eine Differenz in der Rate pulmonaler Komplikationen oder der Wundinfektionen ließ sich nicht nachweisen. Die im Jahr 2009 publizierte multizentrische randomisierte POVATI (Postsurgical Pain Outcome of Vertical and Transverse abdominal Incision)-Studie zeigte eine Äquivalenz im primären Endpunkt des postoperativen Analgetikabedarfs und fehlende Differenzen in sekundären Endpunkten wie pulmonale Komplikationen, Mortalität und Narbenhernien nach 1 Jahr [3]. Auch hier betonen die Autoren die Möglichkeit des situationsabhängigen Zugangs zum Abdomen („The decision about the incision should be driven by surgeon preference with respect to the patient’s disease and anatomy“).

Für den polytraumatisierten Patienten existieren weiterhin keine berücksichtigungsfähigen klinischen Studien zum Vergleich der Notfall-Laparoskopie mit der Notfall-Laparotomie. Es sollte auch weiterhin dem Konsens der EAES gefolgt werden, dass die derzeitige Datenlage eine eindeutige Empfehlung zugunsten therapeutischer laparoskopischer Eingriffe beim polytraumatisierten Patienten mit schwerem Bauchtrauma verbietet („Nevertheless, the scarceness of clinical data prohibits a clear recommendation in favor of therapeutic laparoscopy for trauma“) [4, 5].

Damage Control (DC): Allgemeine Grundsätze

3.3.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei kreislaufinstabilen Patienten mit komplexen intraabdominellen Schäden sollte dem Damage-Control-Prinzip (Blutstillung, Packing, temporärer Bauchdeckenverschluss/Laparostoma) gegenüber dem Versuch einer definitiven Sanierung Vorrang gegeben werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Der Begriff „Damage Control“ (DC) wurde durch die US-Marine geprägt und bezeichnete ursprünglich die Fähigkeit eines Schiffes, Schäden hinzunehmen und dabei einsatzfähig zu bleiben [6]. Grundlage und Indikation für eine DC oder abgekürzte (abbreviated/truncated) Laparotomie ist die sog. AHK-Trias aus Azidose (pH <7,2), Hypothermie (<34 °C) und Koagulopathie (International Normalized Ratio [INR] >1,6 bzw. Transfusionsbedarf im OP >4 l) [7].

Es gibt zwar derzeit keinen standardisierten oder einheitlichen DC-Algorithmus, allerdings gelten als wesentliche und allgemein akzeptierte Elemente [7-10]:

1. die rasche Blutstillung und die Vermeidung einer (weiteren) peritonealen Kontamination
2. der temporäre Verschluss des Abdomens (Laparostoma)
3. die intensivmedizinische Stabilisierung der Körpertemperatur, Hämodynamik und Blutgerinnung
4. geplante Reoperationen zur Reparatur und Rekonstruktion der Organverletzungen
5. der definitive Bauchdeckenverschluss

In der Phase einer ersten operativen Versorgung sind die Blutungskontrolle („stop the bleeding“) sowie die Kontaminationskontrolle („stop the contamination“) die Schlüsselmanöver.

Ein wichtiges Element bei Blutungen aus der Leber ist das perihepatische Packing. Hierbei sollte die Leber vollständig aus ihren Aufhängebändern mobilisiert werden und die Masse der Tamponade parakaval dorsal und subhepatisch zwischen Leber und rechter Kolonflexur eingebracht werden, um eine Kompression gegen das Zwerchfell und Retroperitoneum zu erreichen, ohne aber den venösen Abstrom aus den Lebervenen zu behindern [11-15].

Ein Überlebensvorteil für Patienten nach DC gegenüber einer einzeitigen definitiven chirurgischen Therapie (Definite Laparotomy, DL) trotz Vorliegen einer AHK-Trias wurde in drei kleinen retrospektiven Kohortenstudien nachgewiesen [16-18]. Eine weitere retrospektive Kohortenstudie zeigte hingegen einen Überlebensvorteil in der DL-Gruppe [19] ([Tabelle 3.3.1](#)). Das gepoolte relative Risiko (Random Effects) beträgt 0,79 (95%-CI: 0,48–1,33) zugunsten der DC. Berücksichtigt man in der Studie von Rotondo [17] nur die Maximalverletzten, beträgt das gepoolte relative Risiko 0,60 (95%-CI: 0,30–1,19). In keiner dieser Studien erfolgte eine multivariate Adjustierung für Unterschiede in der Verletzungsschwere oder sonstige Confounder; die Ergebnisse unterliegen somit Verzerrungen.

In einem Cochrane-Review konnten die Autoren, trotz umfangreicher Suchstrategie in neun Datenbanken (einschl. Kongressabstracts und „grauer“ Literatur) sowie einer Handsuche, keine randomisierten Studien identifizieren [20].

Einzelne Berichte legen Überlebensraten von 90% nach DC auch bei prognostisch ungünstiger Ausgangssituation nahe [21]. In den meisten größeren Fallserien hingegen liegt die Letalität von Verletzten, bei denen eine DC-Laparotomie erforderlich wurde, bei 25–50% [22-24].

Das Pringle-Manöver mit Ausklemmung der Vena portae und Arteria hepatica propria stellt möglicherweise eine der ältesten DC-Techniken zur temporären Blutstillung bei ausgeprägten Leberverletzungen dar [25]. Während bei Patienten, bei denen präoperativ kein Schockgeschehen vorliegt, eine Ischämiezeit von 45–60 Minuten durch das Leberparenchym ohne schwerwiegenden postoperativen Funktionsausfall toleriert wird, soll die volle Ausschöpfung dieser Ischämiezeit beim polytraumatisierten Patienten die Gefahr eines postoperativen Leberversagens deutlich erhöhen [14].

Tabelle 3.3.1. Damage Control vs. definitive Versorgung.

Studie	LoE	Patienten	Ergebnis	
Stone et al. 1983 [18]	2b	31 Patienten mit penetrierenden oder stumpfen Bauchverletzungen und intraoperativer Entwicklung einer Koagulopathie	Definitive Versorgung (n = 14) Überlebensrate gesamt: 1/14 (7%) RR (95%-KI) 0,11 (0,02–0,75)	Damage Control (n = 17) ^a Überlebensrate gesamt: 11/17 (65%)
Rotondo et al. 1993 [17]	2b	46 Patienten mit penetrierenden Abdominalverletzungen	Definitive Versorgung (n = 22) Überlebensrate gesamt: 12/22 (55%) RR (95%-KI) 0,94 (0,56–1,56) Überlebensrate bei max. Verletzung: 1/9 (11%) ^c RR (95%-KI) 0,14 (0,02–0,94)	Damage Control (n = 24) ^b Überlebensrate gesamt: 14/24 (58%) Überlebensrate bei max. Verletzung: 10/13 (77%) ^c
Mackenzie et al. 2007 [16]	2b	37 Patienten mit penetrierenden oder stumpfen Leberverletzungen Grad IV/V	Definitive Versorgung (n = 30) Überlebensrate gesamt: 19/30 (63%) RR (95%-KI) 0,63 (0,48–0,83)	Damage Control (n = 7) Überlebensrate gesamt: 7/7 (100%)
Nicholas et al. 2003 [19]	2b	250 Patienten mit penetrierenden Abdominalverletzungen	Definitive Versorgung (n = 205) Überlebensrate gesamt: 184/205 (90%) RR (95%-KI) 1,22 (1,02–1,47, p=0,0032)	Damage Control (n = 45) Überlebensrate gesamt: 33/45 (73%)

^a sofortiger Stopp, Packing, Abdominalverschluss unter Spannung, mittlere Dauer bis zum Second Look: 27 h;

^b Vier-Quadranten-Packing, Blutstillung, Ligatur oder einfache (Klammer-)Naht bei Hohlorganverletzungen, temporärer Bauchdeckenverschluss, mittlere Dauer bis zum Second Look: 32 h; ^c Verletzung großer Gefäße + ≥2 Viszeralverletzungen; Packing + Angioembolisation

3.3.3	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei hämodynamisch stabilen Patienten mit penetrierendem Abdominaltrauma kann eine Laparoskopie sicher durchgeführt werden und die Rate von „nicht-therapeutischen“ Laparotomien senken.	
Literatur, Evidenzgrad	[26] Hajibandeh 2016: LoE 2a	
	Konsensstärke: 100%	

Penetrierende abdominelle Verletzungen werden operativ exploriert. Die Laparotomie stellt dabei das am häufigsten angewandte Verfahren dar. Hajibandeh et al. [26] konnten in ihrem systematischen Review und in der darauf beruhenden Metaanalyse aufzeigen, dass die Laparoskopie bei hämodynamisch stabilen Patienten nach penetrierendem Abdominaltrauma relevante Vorteile gegenüber der Laparotomie hat.

Sie besitzt, wie die Laparotomie, eine nahezu 100% Sensitivität im Nachweis von Verletzungen. Der wichtigste Vorteil der Laparoskopie liegt der Auswertung zufolge in der um 45,6% erfolgten Reduktion der „nicht-therapeutischen“ Laparotomierate. Sie ist sicher durchführbar und kann postoperative Komplikationen und die Komorbidität reduzieren. So liegt ein geringeres Risiko für Wundinfektionen (Odd ratio (OR): 0,55; 95% Konfidenzintervall (KI), 0,37-0,81, P = 0,003), Pneumonien (OR: 0,22; 95% KI, 0,13-0,37, P <0,00001), eine signifikant kürzere stationäre Behandlung (MD: -3,05; 95% KI -4,68 bis -1,42, P = 0,0002) und eine kürzere Eingriffszeit im Vergleich zur Laparotomie vor (MD: -27,99; 95% KI, -43,17 bis -12,80, p=0,0003). Im Vordergrund der Analyse steht das diagnostische Potential der Laparoskopie beim penetrierenden Abdominaltrauma.

Durch Nachweis oder Ausschluss von peritonealen Verletzungen durch die Laparoskopie beim hämodynamisch stabilen Patienten lässt sich die Rate der nicht-therapeutischen Laparotomien und deren höhere Komorbiditäten signifikant senken. Angemerkt werden muss, dass die Metaanalyse keinerlei Rückschlüsse auf das therapeutische Potential der Laparoskopie im Vergleich zur Laparotomie zulässt.

Damage Control: Temporärer Bauchdeckenverschluss

3.3.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Nach Damage-Control-Laparotomie sollte das Abdomen nur temporär und nicht mittels Fasziennaht verschlossen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Der primäre Faszienverschluss nach DC-Laparotomie erhöht das Risiko für ein abdominelles Kompartmentsyndrom (AKS). Nach primärer Fasziennaht wurde im Vergleich mit dem ausschließlichen Hautverschluss bzw. der Einlage eines 3-Liter-Spülbeutels für Zystoskopien als Viszeralchutzfolie über ein 6-fach erhöhtes relatives Risiko für ein AKS berichtet [27]. Dem reduzierten Risiko für ein AKS durch einen temporären Verschluss stehen Flüssigkeitsverlust und eine gestörte Temperaturregulation durch die große Austauschfläche sowie der erschwerte Faszienverschluss bei einer Bauchdeckenrekonstruktion gegenüber.

Als temporäre Materialien haben sich weltweit die breite Anwendung der Vakuumversiegelung [28, 29], der von kommerziellen Produkte mit Reiß- oder Klettverschluss (Wittmann-Patch oder Artificial Burr) [30] etabliert.

Das gemeinsame Prinzip aller etablierten Verfahren der Laparostoma-Anlage ist der mechanische Viszeralschutz durch die Einlage einer Kunststofffolie.

Damage Control: Second Look nach Packing

3.3.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Nach Packing intraabdomineller Blutungen sollte die Second-Look-Operation zwischen 24 und 72 Stunden nach dem Ersteingriff erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Nach dem Packing intraabdomineller Blutungen und nachfolgender intensivmedizinischer Stabilisierung im Rahmen der Damage-Control-Sequenz ist eine „Second-Look-Operation“ zur weiteren Versorgung der Organverletzungen erforderlich.

Dieser operative Eingriff kann einer definitiven chirurgischen Versorgung oder lediglich auch im Wechsel der komprimierenden Bauchtücher und einer weiteren Kontaminationskontrolle entsprechen. Hierbei muss die Balance zwischen dem Risiko einer erneuten Blutung und den möglichen Komplikationen (Infektionen, Fisteln, Einschränkung der Lungenfunktion, abdominelles Kompartmentsyndrom) gewahrt werden.

Die verfügbaren Daten aus retrospektiven Kohortenuntersuchungen zeigen, dass ein „Unpacking“ nach 24–36 Stunden mit einem erhöhten Blutungsrisiko assoziiert ist (gepooltes relatives Risiko, Fixed Effects: 3,51, 95%-Konfidenzintervall: 1,39–8,90) [31, 32]. Es existiert keine eindeutige Evidenz, dass ein Belassen von Bauchtüchern über einen Zeitraum von 48 Stunden das Risiko septischer Komplikationen erhöht (gepooltes relatives Risiko, Fixed Effects: 1,01, 95%-CI: 0,59–1,70) [31-34]. In der Untersuchung von Abikhaled war jedoch ein Belassen der Tamponaden länger als 72 Stunden mit einer fast 7-fachen Erhöhung des relativen Risikos für intraabdominelle Abszesse assoziiert (6,77; 95%-CI: 0,84–54,25) [33]. Diese Ergebnisse konnten wiederum in einer aktuellen Untersuchung von Ordonez an 121 Patienten mit DC-Laparotomie und abdominellem Packing nach penetrierendem Abdominaltrauma bestätigt werden. Bei Entfernung des abdominalen Packings nach weniger als 24 Stunden dominieren neuerliche Blutungskomplikationen, nach mehr als 72 Stunden stehen Infektionskomplikationen im Vordergrund [35].

Daher sollte die Sekond-Look-Operation nicht früher als 24 Stunden und nicht später als 72 Stunden nach dem Ersteingriff erfolgen (Tabelle 3.3.2).

Tabelle 3.3.2. Second Look nach Packing.

Studie	LoE	Patienten	Ergebnis		
Ordonez et al. 2b 2012 [35]		121 Patienten mit penetrierendem Abdominaltrauma Second Look <24 h (n = 26) 24–48 h (n = 42) 48–72 h (n = 35) >72 h (n=18)			
Nicol et al. 2b 2007 [32]		93 Patienten mit penetrierendem oder stumpfem Lebertrauma	Second Look 24 h: (n = 25): Nachblutung: 8/25 (32%) Tamponaden in situ 24 h (n = 8): Komplikationen: 5/8 (63%)	Second Look 48 h: (n = 44): Nachblutung: 5/44 (11%) Tamponaden in situ 48 h (n = 44): Komplikationen: 6/44 (14%)	Second Look 72 h: (n = 3): Nachblutung: 0/3 Tamponaden in situ 72 h (n = 20): Komplikationen: 3/20 (15%)
Cué et al. 1990 [34]	2b	21 Patienten mit penetrierendem oder stumpfem Lebertrauma	Tamponaden in situ 24 h (n = 7): Abszess: 2/7 (29%)	Tamponaden in situ 48 h (n = 6): Abszess: 2/6 (33%)	Tamponaden in situ 72 h (n = 8): Abszess: 3/8 (38%)
Caruso et al. 1999 [31]	2b	93 Patienten mit penetrierendem oder stumpfem Lebertrauma	Second Look <36 h (n = 39): Nachblutung: 8/39 (21%) Komplikationen: 13/39 (33%) Letalität: 7/39 (18%)	Second Look 36–72 h (n = 24): Nachblutung: 1/24 (4%) Komplikationen: 7/29 (29%) Letalität: 7/24 (29%)	
Sharp et al. 1992 [36]	2b	22 Patienten mit penetrierendem oder stumpfem Lebertrauma	6 Patienten mit septischen Komplikationen: Tamponade in situ 2,2 ± 0,4 (2–3) Tage	16 Patienten ohne septische Komplikationen: Tamponade in situ 2,0 ± 1,0 (1–7) Tage	
Abikhaled et al. 1997 [33]	2b	35 Patienten mit penetrierendem oder stumpfem Bauchtrauma	Tamponaden in ≤72 h (n = 22): Abszess: 1/22 (5%) Sepsis: 11/22 (50%) Letalität: 1/22 (5%)	Tamponaden in situ >72 h (n = 13): Abszess: 4/13 (31%) Sepsis: 10/13 (77%), Letalität: 6/13 (46%)	

Definitiver Bauchdeckenverschluss

3.3.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Wenn ein Laparostoma angelegt wurde, sollte ein definitiver Verschluss so früh wie möglich angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Hatch et al. [37, 38] analysierten retrospektiv die klinischen Verläufe nach 925 konsekutiven Trauma-Laparotomien von welchen 282 (30%) im Rahmen einer DC-Sequenz durchgeführt wurden. Hiervon überlebten 247 (88%) Patienten die Phase bis zur Second-Look-Operation in welcher bei 86 Patienten (35%) bereits zu diesem Zeitpunkt ein Faszienverschluss erfolgte. In 161 Fällen (65%) wurde der definitive Faszienverschluss erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt oder erreicht. In der Gruppe mit frühem Faszienverschluss kam es zu einer geringeren Komplikationsrate im weiteren Verlauf. Beide Gruppen waren insbesondere bezüglich des ISS und der frühen Labor- und Vitalparameter vergleichbar. So kommen die Autoren zur Schlussfolgerung: "The current data demonstrate quite convincingly that early fascial reapproximation is associated with a significant decrease in complications and organ failure. Therefore, we recommend DCL in only the sickest subset of patients, optimization of open abdomen management, and fascial closure at the earliest possible time."

Die multivariate Analyse beider Gruppen zeigte, dass der Einsatz eines Vakuum-Systems zum temporären Bauchdeckenverschluss bereits bei der DC-Laparotomie ein unabhängiger Faktor für den erfolgreichen frühen Faszienverschluss ist (Odds ratio: 3,1; 95%-Konfidenzintervall [KI]: 1,42– 6,63; p = 0,004) [39].

Die ideale Technik für den Faszienverschluss nach Laparostoma ist bislang nicht geklärt. Bei Analyse der bisherigen Publikationen wird deutlich, dass neben der Heterogenität der untersuchten Kollektive auch deutliche Verfahrensunterschiede bestehen. Multizentrische Studien fehlen nahezu vollständig. Die meisten Ergebnisse stammen aus retrospektiven, monozentrischen Untersuchungen. Das aktuelle Evidenzniveau ist demnach unzureichend und lässt zu viele Fragen offen.

Um die Datenlage und somit Behandlungsqualität in Deutschland diesbezüglich zu verbessern, wurde durch die Deutsche Gesellschaft für Allgemein- und Viszeralchirurgie (DGAV) ein Laparostoma-Register implementiert.

Nichtoperatives Management von stumpfen Leber- oder Milzverletzungen

3.3.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Beim hämodynamisch stabilen Patienten mit isolierter stumpfer Leber- oder Milzverletzung sollte ein nichtoperatives Management angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das nichtoperative Management mit gleichzeitiger intensivmedizinischer Überwachung sowie unverzüglichen interventionellen und operativen Interventionsmöglichkeiten von isolierten stumpfen

Leber- und Milzverletzungen beim kreislaufstabilen Patienten ist bei traumatisierten Kindern der unstrittige Behandlungsstandard.

In den letzten Jahren zeichnet sich auch für erwachsene Patienten ein Trend hin zum konservativen Vorgehen unter der Voraussetzung des isolierten stumpfen Traumas und der hämodynamischen Stabilität ab und wird von einigen Autoren als Standard propagiert [40-42].

Hommes et al. [41] formulieren als Voraussetzungen für das nichtoperative Management hämodynamisch stabile Patienten mit positiver Kreislaufreaktion auf eine Volumensubstitution sowie eine CT, welche weitere operationspflichtige intraabdominelle Verletzungen (z.B. eine Darmperforation), ausschließt.

Nach der Implementierung eines „Damage Control Resuscitation“-Protokolls fanden Shresta et al. [42] eine Verbesserung der Erfolgsquote einer nichtoperativen Behandlung von relevanten stumpfen Leberverletzungen auch höherer Schweregrade.

Angioembolisation

3.3.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Wenn bei einem hämodynamisch stabilisierbaren Patienten mit Leberverletzung in einer Kontrastmittel-CT ein Hinweis auf eine arterielle Blutung besteht, sollte, wenn möglich, eine selektive Angioembolisation durchgeführt werden oder eine Laparotomie erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die interventionelle Blutungskontrolle hat einen festen Stellenwert im Polytrauma-Management und kommt sowohl bei der definitiven Therapie von Organ- und Gefäßverletzungen als auch in Kombination mit Operationsverfahren (vorher, nachher oder Hybrid-OP) zur Anwendung [43, 44].

Beim Nachweis aktiver Blutungen in der kontrastmittelverstärkten CT, die operativ nicht angegangen werden können oder müssen, und gutem Ansprechen auf die Flüssigkeits- und Bluts substitution im Schockraum kann eine Angioembolisation zu einer dauerhaften Kreislaufstabilisierung beitragen und somit das Schlüsselmanöver zur definitiven Therapie darstellen [45, 46].

Randomisierte Studien existieren weiterhin nicht. Die derzeit beste verfügbare Evidenz liegt weiterhin für stumpfe und penetrierende Leberverletzungen vor und legt eine Reduktion der Letalität durch eine zusätzliche Angioembolisation bei DC-Versorgung im Vergleich zur alleinigen operativen Therapie nahe (gemeinsames RR [Fixed Effects] 0,47, 95%-KI: 0,28–0,78) [45, 47-51]. Berücksichtigt werden muss die Verzerrung durch fehlende multivariate Adjustierung. Nicht beantwortet werden kann derzeit die Frage, ob die Angioembolisation bei Leberverletzungen vor oder nach der DC-Laparotomie erfolgen sollte. Zwei Studien befürworten die frühe neoadjuvante Angioembolisation aufgrund geringerer Komplikationsraten [49, 51]. In zwei anderen Studien hingegen wurde die Sterblichkeit gesenkt, wenn die Angioembolisation nach einer DC-Laparotomie erfolgte [50, 52].

Die Indikation zur endovaskulären Intervention, zur Operation oder zur Kombination beider Verfahren muss sorgfältig im Einzelfall gestellt werden. Die Entscheidungsfindung orientiert sich an der schnellen Verfügbarkeit eines erfahrenen interventionellen Radiologen, dem Erfolg kreislaufstabilisierender Maßnahmen, dem intraoperativen Befund und der postoperativen Hämodynamik.

3.3.9	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei interventionspflichtigen Milzverletzungen sollte beim kreislaufstabilisierbaren Patienten statt einer operativen Blutstillung eine selektive Angioembolisation erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Vergleichbares wie für die Leberverletzungen gilt auch für die Angioembolisation bei Blutungen aus der Milz.

In der vorangegangenen Leitlinienversion wurde aufgrund der damals verfügbaren Daten eher zur Zurückhaltung aufgefordert [37, 53-55]. So führte in den Publikationen aus den Jahren 2005–2008 die Angioembolisation im Vergleich zur nicht operativen Therapie weder zur Senkung der Therapieversagerrate (gemeinsames RR [Random Effects] 1,13; 95%-KI: 0,86– 1,48) noch zur Reduktion der Sterblichkeit (gemeinsames RR [Fixed Effects] 1,19; 95%-KI: 0,66–1,15). Daten von Bhullar [56] und Miller [57] konnten zwischenzeitlich einen positiven Effekt der selektiven Angioembolisation, insbesondere bei höhergradigen stumpfen Milzverletzungen, nachweisen.

Auch hier muss die Indikation zur endovaskulären Intervention oder zur Operation sorgfältig im Einzelfall gestellt werden. Die Entscheidungsfindung orientiert sich an der schnellen Verfügbarkeit eines erfahrenen interventionellen Radiologen und dem Erfolg kreislaufstabilisierender Maßnahmen.

Milzerhaltende Operationen

3.3.10	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Eine milzerhaltende Operation sollte bei operationspflichtigen Milzverletzungen der Schweregrade 1–3 nach AAST/Moore angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.3.11	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei erwachsenen Patienten mit operationspflichtigen Milzverletzungen der Schweregrade 4–5 nach AAST/Moore sollte die Splenektomie gegenüber einem Erhaltungsversuch bevorzugt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das Risiko für ein „overwhelming post-splenectomy syndrome (OPSI)“ nach Splenektomie wird auf 2,5% geschätzt [58]. Milzverletzungen stellen bei kreislaufstabilen Patienten nur noch selten eine Indikation zur Laparotomie dar. Für den Chirurgen stellt sich daher erst bei gegebener Notwendigkeit für eine Operation (z.B. bei Kreislaufinstabilität bzw. hohem Transfusionsbedarf) die Frage nach der Möglichkeit und der Sicherheit eines Organerhalts.

Heuer et al. [40] werteten Datensätze aus dem DGU-Traumaregister aus und fanden bei der Patientengruppe mit konservativem Milzerhalt geringere systemische Infektionsraten als in der

Splenektomie-Gruppe. In der gleichen Analyse wird empfohlen, dass Grad 1-3 Verletzungen für den Milzerhalt sprechen und beim erwachsenen Patienten Grad 4 und 5 Verletzungen in Zusammenhang mit Kreislaufinstabilität und hohem Transfusionsbedarf eine Operationsindikation darstellen [40].

In einer Serie von 326 Patienten aus den frühen 80er-Jahren betrug die Raten milzerhaltender Operationen bei Moore I/II, III und IV/V-Verletzungen 88,5%, 61,5% und 7,7% [59]. Ein ähnlicher Trend in Abhängigkeit vom ISS konnte auch in einer jüngeren Studie mit Einschluss von 2258 erwachsenen Patienten demonstriert werden [60]. Die Versagerquote (Nachblutung, sekundäre Splenektomie) nach Versuch des Milzerhaltes betrug 7 von 240 (2,9%; 95%-CI: 1,2– 5,9%). Bei 66,4% aller Patienten mit einem ISS ≥ 15 war eine Splenektomie erforderlich. Carlin konnte in einer multivariaten Analyse an 546 Patienten aus einem 17-Jahres-Zeitraum Grad 4 und Grad 5-Verletzungen als unabhängige prädiktive Variablen für eine Splenektomie bei erwachsenen Patienten herausarbeiten [61]. Bei Kindern steht auch bei Grad 4 und Grad 5-Verletzungen der Milzerhalt im Vordergrund.

Penetrierende Hohlorganverletzungen

3.3.12	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Penetrierende Kolonverletzungen sollen durch Übernähung oder Resektion kontrolliert werden, um das Risiko für intraabdominelle Infektionen zu reduzieren.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Penetrierende Kolonverletzungen stellen aufgrund der Kontamination der sterilen Bauchhöhle mit einer anaeroben Mischflora ein potentiell lebensbedrohliches Krankheitsbild dar. So haben Patienten mit abdominellen Schussverletzungen, die einer sofortigen operativen Therapie zugeführt werden müssen, gegenüber Patienten mit nichtoperativ bzw. sekundäroperativ beherrschbaren Verletzungen weiterhin ein 100-fach erhöhtes relatives Risiko zu versterben [62].

Seit 1979 wurden sechs randomisierte Studien (RCTs) publiziert, in denen die Ergebnisse nach primär kontinuierlicher operativer Versorgung mit denen nach temporärer Vorschaltung eines Anus praeter und Belassen des verletzten Darmanteils verglichen wurden [63-68]. Diese Studien wurden in einem im Jahr 2009 aktualisierten Cochrane-Review zusammengefasst [69]. Die beobachteten Trends ließen sich auch in der multizentrischen Studie der American Association for the Surgery of Trauma (AAST) reproduzieren [70].

Auf der Basis der besten verfügbaren Evidenz ergibt sich ein nicht signifikanter Trend in der Sterblichkeit zugunsten der primären Anastomose (RR 0,67; 95%-CI: 0,31–1,45) bei deutlicher Reduktion der Komplikationsraten (RR 0,73; 95%-CI: 0,52–1,02). Das Risiko für intraabdominelle Infekte könnte möglicherweise durch eine primäre Anastomose um 23% reduziert werden (RR 0,77; 95%-CI: 0,55–1,06), auch wenn der eindeutige wissenschaftliche Beweis durch eine adäquat gestaltete randomisierte Studie aussteht.

In der initialen Trauma-Laparotomie in einer DC-Sequenz sind primäre Anastomosen nicht angezeigt, hier steht nach der Blutungs- die Kontaminationskontrolle im Vordergrund.

Literatur

1. Stone HH, Hoefling SJ, Strom PR, Dunlop WE, Fabian TC. Abdominal incisions: transverse vs vertical placement and continuous vs interrupted closure. *Southern medical journal*. 1983;76(9):1106-8.
2. Brown SR, Goodfellow PB. Transverse versus midline incisions for abdominal surgery. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2005;(4):CD005199.
3. Seiler CM, Deckert A, Diener MK, Knaebel HP, Weigand MA, Victor N, et al. Midline versus transverse incision in major abdominal surgery: a randomized, double-blind equivalence trial (POVATI: ISRCTN60734227). *Ann Surg*. 2009;249(6):913-20.
4. Hori Y. Diagnostic laparoscopy guidelines : This guideline was prepared by the SAGES Guidelines Committee and reviewed and approved by the Board of Governors of the Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES), November 2007. *Surg Endosc*. 2008;22(5):1353-83.
5. Sauerland S, Agresta F, Bergamaschi R, Borzellino G, Budzynski A, Champault G, et al. Laparoscopy for abdominal emergencies: evidence-based guidelines of the European Association for Endoscopic Surgery. *Surg Endosc*. 2006;20(1):14-29.
6. Committee on Technology for Future Naval Forces. *Technology for the United States Navy and Marine Corps, 2000-2035. Becoming a 21st-Century Force*. 1997.
7. Rotondo MF, Zonies DH. The damage control sequence and underlying logic. *Surg Clin North Am*. 1997;77(4):761-77.
8. Germanos S, Gourgiotis S, Villias C, Bertucci M, Dimopoulos N, Salemis N. Damage control surgery in the abdomen: an approach for the management of severe injured patients. *International journal of surgery (London, England)*. 2008;6(3):246-52.
9. Lee JC, Peitzman AB. Damage-control laparotomy. *Current opinion in critical care*. 2006;12(4):346-50.
10. Loveland JA, Boffard KD. Damage control in the abdomen and beyond. *The British journal of surgery*. 2004;91(9):1095-101.
11. Baracco-Gandolfo V, Vidarte O, Baracco-Miller V, del Castillo M. Prolonged closed liver packing in severe hepatic trauma: experience with 36 patients. *J Trauma*. 1986;26(8):754-6.
12. Feliciano DV, Mattox KL, Burch JM, Bitondo CG, Jordan GL, Jr. Packing for control of hepatic hemorrhage. *J Trauma*. 1986;26(8):738-43.
13. Feliciano DV, Mattox KL, Jordan GL, Jr. Intra-abdominal packing for control of hepatic hemorrhage: a reappraisal. *J Trauma*. 1981;21(4):285-90.
14. Kremer B, Henne-Bruns D. [Value of various techniques in liver rupture]. *Chirurg*. 1993;64(11):852-9.
15. Reed RL, 2nd, Merrell RC, Meyers WC, Fischer RP. Continuing evolution in the approach to severe liver trauma. *Ann Surg*. 1992;216(5):524-38.
16. MacKenzie S, Kortbeek JB, Mulloy R, Hameed SM. Recent experiences with a multidisciplinary approach to complex hepatic trauma. *Injury*. 2004;35(9):869-77.
17. Rotondo MF, Schwab CW, McGonigal MD, Phillips GR, 3rd, Fruchterman TM, Kauder DR, et al. 'Damage control': an approach for improved survival in exsanguinating penetrating abdominal injury. *J Trauma*. 1993;35(3):375-82; discussion 82-3.
18. Stone HH, Strom PR, Mullins RJ. Management of the major coagulopathy with onset during laparotomy. *Ann Surg*. 1983;197(5):532-5.
19. Nicholas JM, Rix EP, Easley KA, Feliciano DV, Cava RA, Ingram WL, et al. Changing patterns in the management of penetrating abdominal trauma: the more things change, the more they stay the same. *J Trauma*. 2003;55(6):1095-108; discussion 108-10.
20. Cirocchi R, Abraha I, Montedori A, Farinella E, Bonacini I, Tagliabue L, et al. Damage control surgery for abdominal trauma. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2010;(1):CD007438.

21. Johnson JW, Gracias VH, Schwab CW, Reilly PM, Kauder DR, Shapiro MB, et al. Evolution in damage control for exsanguinating penetrating abdominal injury. *J Trauma*. 2001;51(2):261-9; discussion 9-71.
22. Arvieux C, Cardin N, Chiche L, Bachellier P, Falcon D, Letoublon C, et al. [Damage control laparotomy for haemorrhagic abdominal trauma. A retrospective multicentric study about 109 cases]. *Ann Chir*. 2003;128(3):150-8.
23. Asensio JA, Petrone P, Roldan G, Kuncir E, Ramicone E, Chan L. Has evolution in awareness of guidelines for institution of damage control improved outcome in the management of the posttraumatic open abdomen? *Arch Surg*. 2004;139(2):209-14; discussion 15.
24. Shapiro MB, Jenkins DH, Schwab CW, Rotondo MF. Damage control: collective review. *J Trauma*. 2000;49(5):969-78.
25. Pringle JH. V. Notes on the Arrest of Hepatic Hemorrhage Due to Trauma. *Ann Surg*. 1908;48(4):541-9.
26. Hajibandeh S, Hajibandeh S, Gumber AO, Wong CS. Laparoscopy versus laparotomy for the management of penetrating abdominal trauma: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Surgery*. 2016;34:127-36.
27. Offner PJ, de Souza AL, Moore EE, Biffl WL, Franciose RJ, Johnson JL, et al. Avoidance of abdominal compartment syndrome in damage-control laparotomy after trauma. *Arch Surg*. 2001;136(6):676-81.
28. Bee TK, Croce MA, Magnotti LJ, Zarzaur BL, Maish GO, 3rd, Minard G, et al. Temporary abdominal closure techniques: a prospective randomized trial comparing polyglactin 910 mesh and vacuum-assisted closure. *J Trauma*. 2008;65(2):337-42; discussion 42-4.
29. Boele van Hensbroek P, Wind J, Dijkgraaf MG, Busch OR, Goslings JC. Temporary closure of the open abdomen: a systematic review on delayed primary fascial closure in patients with an open abdomen. *World J Surg*. 2009;33(2):199-207.
30. Aprahamian C, Wittmann DH, Bergstein JM, Quebbeman EJ. Temporary abdominal closure (TAC) for planned relaparotomy (etappenlavage) in trauma. *J Trauma*. 1990;30(6):719-23.
31. Caruso DM, Battistella FD, Owings JT, Lee SL, Samaco RC. Perihepatic packing of major liver injuries: complications and mortality. *Arch Surg*. 1999;134(9):958-62; discussion 62-3.
32. Nicol AJ, Hommes M, Primrose R, Navsaria PH, Krige JE. Packing for control of hemorrhage in major liver trauma. *World J Surg*. 2007;31(3):569-74.
33. Abikhaled JA, Granchi TS, Wall MJ, Hirshberg A, Mattox KL. Prolonged abdominal packing for trauma is associated with increased morbidity and mortality. *Am Surg*. 1997;63(12):1109-12; discussion 12-3.
34. Cue JI, Cryer HG, Miller FB, Richardson JD, Polk HC, Jr. Packing and planned reexploration for hepatic and retroperitoneal hemorrhage: critical refinements of a useful technique. *J Trauma*. 1990;30(8):1007-11; discussion 11-3.
35. Ordonez C, Pino L, Badiel M, Sanchez A, Loaiza J, Ramirez O, et al. The 1-2-3 approach to abdominal packing. *World J Surg*. 2012;36(12):2761-6.
36. Sharp KW, Locicero RJ. Abdominal packing for surgically uncontrollable hemorrhage. *Ann Surg*. 1992;215(5):467-74; discussion 74-5.
37. Harbrecht BG, Ko SH, Watson GA, Forsythe RM, Rosengart MR, Peitzman AB. Angiography for blunt splenic trauma does not improve the success rate of nonoperative management. *J Trauma*. 2007;63(1):44-9.
38. Hatch QM, Osterhout LM, Podbielski J, Kozar RA, Wade CE, Holcomb JB, et al. Impact of closure at the first take back: complication burden and potential overutilization of damage control laparotomy. *J Trauma*. 2011;71(6):1503-11.
39. Hatch QM, Osterhout LM, Ashraf A, Podbielski J, Kozar RA, Wade CE, et al. Current use of damage-control laparotomy, closure rates, and predictors of early fascial closure at the first take-back. *J Trauma*. 2011;70(6):1429-36.
40. Heuer M, Taeger G, Kaiser GM, Nast-Kolb D, Kuhne CA, Ruchholtz S, et al. No further incidence of sepsis after splenectomy for severe trauma: a multi-institutional experience of The trauma

- registry of the DGU with 1,630 patients. *European journal of medical research*. 2010;15(6):258-65.
41. Hommes M, Navsaria PH, Schipper IB, Krige JE, Kahn D, Nicol AJ. Management of blunt liver trauma in 134 severely injured patients. *Injury*. 2015;46(5):837-42.
 42. Shrestha B, Holcomb JB, Camp EA, Del Junco DJ, Cotton BA, Albarado R, et al. Damage-control resuscitation increases successful nonoperative management rates and survival after severe blunt liver injury. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2015;78(2):336-41.
 43. Dondelinger RF, Trotteur G, Ghaye B, Szapiro D. Traumatic injuries: radiological hemostatic intervention at admission. *Eur Radiol*. 2002;12(5):979-93.
 44. Lin BC, Wong YC, Lim KE, Fang JF, Hsu YP, Kang SC. Management of ongoing arterial haemorrhage after damage control laparotomy: optimal timing and efficacy of transarterial embolisation. *Injury*. 2010;41(1):44-9.
 45. Asensio JA, Roldan G, Petrone P, Rojo E, Tillou A, Kuncir E, et al. Operative management and outcomes in 103 AAST-OIS grades IV and V complex hepatic injuries: trauma surgeons still need to operate, but angioembolization helps. *J Trauma*. 2003;54(4):647-53; discussion 53-4.
 46. Hagiwara A, Murata A, Matsuda T, Matsuda H, Shimazaki S. The usefulness of transcatheter arterial embolization for patients with blunt polytrauma showing transient response to fluid resuscitation. *J Trauma*. 2004;57(2):271-6; discussion 6-7.
 47. Asensio JA, Petrone P, Garcia-Nunez L, Kimbrell B, Kuncir E. Multidisciplinary approach for the management of complex hepatic injuries AAST-OIS grades IV-V: a prospective study. *Scandinavian journal of surgery : SJS : official organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society*. 2007;96(3):214-20.
 48. Johnson JW, Gracias VH, Gupta R, Guillamondegui O, Reilly PM, Shapiro MB, et al. Hepatic angiography in patients undergoing damage control laparotomy. *J Trauma*. 2002;52(6):1102-6.
 49. Mohr AM, Lavery RF, Barone A, Bahramipour P, Magnotti LJ, Osband AJ, et al. Angiographic embolization for liver injuries: low mortality, high morbidity. *J Trauma*. 2003;55(6):1077-81; discussion 81-2.
 50. Monnin V, Sengel C, Thony F, Bricault I, Voirin D, Letoublon C, et al. Place of arterial embolization in severe blunt hepatic trauma: a multidisciplinary approach. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2008;31(5):875-82.
 51. Wahl WL, Ahrns KS, Brandt MM, Franklin GA, Taheri PA. The need for early angiographic embolization in blunt liver injuries. *J Trauma*. 2002;52(6):1097-101.
 52. Velmahos GC, Chahwan S, Falabella A, Hanks SE, Demetriades D. Angiographic embolization for intraperitoneal and retroperitoneal injuries. *World J Surg*. 2000;24(5):539-45.
 53. Cooney R, Ku J, Cherry R, Maish GO, 3rd, Carney D, Scorza LB, et al. Limitations of splenic angioembolization in treating blunt splenic injury. *J Trauma*. 2005;59(4):926-32; discussion 32.
 54. Duchesne JC, Simmons JD, Schmieg RE, Jr., McSwain NE, Jr., Bellows CF. Proximal splenic angioembolization does not improve outcomes in treating blunt splenic injuries compared with splenectomy: a cohort analysis. *J Trauma*. 2008;65(6):1346-51; discussion 51-3.
 55. Smith HE, Biffl WL, Majercik SD, Jednacz J, Lambiase R, Cioffi WG. Splenic artery embolization: Have we gone too far? *J Trauma*. 2006;61(3):541-4; discussion 5-6.
 56. Bhullar IS, Frykberg ER, Siragusa D, Chesire D, Paul J, Tepas JJ, 3rd, et al. Selective angiographic embolization of blunt splenic traumatic injuries in adults decreases failure rate of nonoperative management. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2012;72(5):1127-34.
 57. Miller PR, Chang MC, Hoth JJ, Mowery NT, Hildreth AN, Martin RS, et al. Prospective trial of angiography and embolization for all grade III to V blunt splenic injuries: nonoperative management success rate is significantly improved. *J Am Coll Surg*. 2014;218(4):644-8.
 58. Velanovich V. Blunt splenic injury in adults: a decision analysis comparing options for treatment. *Eur J Surg*. 1995;161(7):463-70.
 59. Feliciano DV, Bitondo CG, Mattox KL, Rumisek JD, Burch JM, Jordan GL, Jr. A four-year experience with splenectomy versus splenorrhaphy. *Ann Surg*. 1985;201(5):568-75.

60. Hunt JP, Lentz CW, Cairns BA, Ramadan FM, Smith DL, Rutledge R, et al. Management and outcome of splenic injury: the results of a five-year statewide population-based study. *Am Surg.* 1996;62(11):911-7.
61. Carlin AM, Tyburski JG, Wilson RF, Steffes C. Factors affecting the outcome of patients with splenic trauma. *Am Surg.* 2002;68(3):232-9.
62. Velmahos GC, Demetriades D, Toutouzas KG, Sarkisyan G, Chan LS, Ishak R, et al. Selective nonoperative management in 1,856 patients with abdominal gunshot wounds: should routine laparotomy still be the standard of care? *Ann Surg.* 2001;234(3):395-402; discussion -3.
63. Chappuis CW, Frey DJ, Dietzen CD, Panetta TP, Buechter KJ, Cohn I, Jr. Management of penetrating colon injuries. A prospective randomized trial. *Ann Surg.* 1991;213(5):492-7; discussion 7-8.
64. Falcone RE, Wanamaker SR, Santanello SA, Carey LC. Colorectal trauma: primary repair or anastomosis with intracolonic bypass vs. ostomy. *Dis Colon Rectum.* 1992;35(10):957-63.
65. Gonzalez RP, Falimirski ME, Holevar MR. Further evaluation of colostomy in penetrating colon injury. *Am Surg.* 2000;66(4):342-6; discussion 6-7.
66. Kamwendo NY, Modiba MC, Matlala NS, Becker PJ. Randomized clinical trial to determine if delay from time of penetrating colonic injury precludes primary repair. *The British journal of surgery.* 2002;89(8):993-8.
67. Sasaki LS, Allaben RD, Golwala R, Mittal VK. Primary repair of colon injuries: a prospective randomized study. *J Trauma.* 1995;39(5):895-901.
68. Stone HH, Fabian TC. Management of perforating colon trauma: randomization between primary closure and exteriorization. *Ann Surg.* 1979;190(4):430-6.
69. Nelson R, Singer M. Primary repair for penetrating colon injuries. *The Cochrane database of systematic reviews.* 2003;(3):CD002247.
70. Demetriades D, Murray JA, Chan L, Ordonez C, Bowley D, Nagy KK, et al. Penetrating colon injuries requiring resection: diversion or primary anastomosis? An AAST prospective multicenter study. *J Trauma.* 2001;50(5):765-75.

3.4 Schädel-Hirn-Trauma

U.M. Mauer*, B. Prediger#, A. Bender, M. Maegele, N. Könsgen#

3.4.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Raumfordernde intrakranielle Verletzungen sollen notfallmäßig operativ versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Ziel der Therapie nach einem SHT ist es, das Ausmaß der sekundären Hirnschädigung zu begrenzen und den funktionsgeschädigten, aber nicht zerstörten Zellen des Gehirns optimale Bedingungen für die funktionelle Regeneration zu geben. Operationspflichtige Verletzungsfolgen müssen rechtzeitig behandelt werden.

Die Indikation für eine operative Entlastung einer traumatischen intrakraniellen Raumforderung ist nie durch prospektiv randomisierte und kontrollierte Studien überprüft worden. Es gibt mehrere retrospektive Analysen [1-6], aus denen der Nutzen einer operativen Dekompression ableitbar ist. Aufgrund der jahrzehntelangen übereinstimmenden Erfahrung kann die Notwendigkeit des operativen Vorgehens als eine Grundannahme guter klinischer Praxis angesehen werden, die nicht infrage gestellt wird [7].

Raumfordernde intrakranielle Verletzungen stellen eine absolut dringliche Operationsindikation dar. Dies gilt sowohl für traumatische intrakranielle Blutungen (Epiduralhämatom, Subduralhämatom, Intrazerebralhämatom/-kontusion) als auch für raumfordernde Impressionsfrakturen. Die Definition der Raumforderung ergibt sich dabei durch die Verlagerung zerebraler Strukturen, insbesondere des normalerweise in der Mittellinie gelegenen 3. Ventrikels. Neben dem Befund in der Computertomografie (CT) (Dicke, Volumen und Lokalisation des Hämatoms, Ausmaß der Mittellinienverlagerung) ist der klinische Befund entscheidend für die Indikationsstellung und die Schnelligkeit, mit der die operative Versorgung zu erfolgen hat. Bei Zeichen einer transtentoriellen Herniation können Minuten über das klinische Ergebnis entscheiden. Die Angabe von Volumina, bei denen ein Eingriff erfolgen sollte, wird als nicht sinnvoll betrachtet, da für die Indikationsstellung die individuelle Situation des Patienten (Alter, evtl. vorbestehende Hirnatrophie u.a.) berücksichtigt werden muss.

Operationen mit aufgeschobener Dringlichkeit

Offene oder geschlossene Impressionsfrakturen ohne Verlagerung der Mittellinienstrukturen, penetrierende Verletzungen und basale Frakturen mit Liquorrhoe stellen Operationen mit aufgeschobener Dringlichkeit dar. Ihre Durchführung bedarf neurochirurgischer Kompetenz. Der Zeitpunkt des operativen Eingriffes hängt dabei von vielen Faktoren ab und muss individuell festgelegt werden.

Nichtoperative Behandlung intrakranieller Blutungen

In Einzelfällen ist bei nicht raumfordernden Blutungen und stabilem neurologischem Befund ein nichtoperatives Vorgehen gerechtfertigt [3-5]. Diese Patienten müssen aber einer engmaschigen klinischen und computertomografischen Verlaufsbeobachtung unterzogen werden. Im Falle einer klinischen Verschlechterung oder Zunahme der Raumforderung muss eine sofortige operative Entlastung durchführbar sein.

3.4.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Messung des intrakraniellen Druckes sollte bei bewusstlosen schädelhirnverletzten Patienten erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[8] Lele 2019: LoE 1b [9] Ahl 2019: LoE 2b [10] Aiolfi 2017: LoE 2b [11] Al Saiegh 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 89%	

Die Messung des intrakraniellen Druckes (ICP) hat in den letzten Jahrzehnten international ihren Einzug in die Akutversorgung bewusstloser schädelhirnverletzter Patienten gefunden und wurde mittlerweile in mehreren internationalen Leitlinien implementiert [7, 12-16]. Aus pathophysiologischen Überlegungen heraus erscheint sie sinnvoll, da die klinische Überwachung vieler zerebraler Funktionen nur eingeschränkt möglich ist. Sie kann bei sedierten Patienten als Instrument der Überwachung auf eine drohende Mittelhirneinklemmung durch eine progrediente Hirnschwellung oder raumfordernde intrakranielle Hämatomate hinweisen und erlaubt es so, frühzeitig Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Auch wenn es derzeit keine prospektive randomisierte kontrollierte Studie gibt, die das klinische Ergebnis in Relation zur Durchführung eines ICP-Monitorings setzt [17], weisen sowohl mehrere prospektive wie auch Register-Kohortenstudien [16, 18-22] der letzten Jahre auf den positiven Einfluss der Messung des intrakraniellen Druckes auf den Gesamtverlauf und das Outcome hin. Die viel diskutierte Arbeit von Chesnut et al. [23] konnte diesen positiven Zusammenhang verglichen mit einer engmaschigen klinischen Verlaufskontrolle und regelmäßigen CT-Untersuchungen nicht zeigen; bei dieser Studie ist jedoch neben diversen methodischen Kritikpunkten die Hauptfrage, inwiefern die Ergebnisse aus Bolivien und Ecuador auf unseren Standard der Therapie übertragen werden können. So wurde zum Beispiel weniger als die Hälfte der Patienten mit einem offiziellen Ambulanzfahrzeug in die Klinik gebracht. Die Einführung von Leitlinien, die unter anderem ein ICP-Monitoring vorsehen, führte darüber hinaus zu einer Zunahme günstiger Verläufe bei SHT-Patienten [24, 25]. Einige Registerstudien kommen zu einem schlechteren Verlauf bei ICP-Monitoring (z.B. Ahl et al., Aiolfi et al. [9, 10]) und einige zu einem besseren Verlauf (z.B. Al Saiegh et al., Lele et al. [8, 11]). Bei einer derartigen Fragestellung sind Registerstudien naturgemäß nur sehr eingeschränkt aussagekräftig.

Die intrakranielle Druckmessung wird bei bewusstlosen Patienten unter Berücksichtigung des klinischen Verlaufes und der bildmorphologischen Befunde nach SHT zur Überwachung und Therapiesteuerung eingesetzt. Sie ist aber nicht bei jedem Bewusstlosen erforderlich. Bei Patienten mit infauster Prognose ohne sinnvolle Interventionsmöglichkeit ist auch kein ICP-Monitoring notwendig.

Voraussetzung für eine ausreichende Hirndurchblutung ist ein adäquater zerebraler Perfusionsdruck (Cerebral Perfusion Pressure – CPP), der sich vereinfacht aus der Differenz des mittleren arteriellen Blutdruckes und des mittleren ICP errechnen lässt. Die Frage, ob bei erhöhtem ICP mehr die Senkung

des ICP oder die Aufrechterhaltung des CPP im Vordergrund der Therapie stehen sollte, wird in der Literatur unterschiedlich beantwortet. Die derzeit vorliegende Evidenz spricht dafür, dass der CPP einerseits nach Möglichkeit nicht unter 50 mmHg sinken sollte [13, 26], dieser andererseits nicht durch eine aggressive Therapie auf über 70 mmHg angehoben werden sollte [13, 26].

Zur kontinuierlichen Bestimmung des CPP ist eine invasive ICP-Messung erforderlich. Solange die Ventrikel nicht vollständig ausgepresst sind, bietet das ICP-Monitoring über eine Ventrikeldrainage die Möglichkeit, durch Ablassen von Liquor einen erhöhten ICP zu senken.

Eine Bestimmung des individuell optimalen CPP setzt eine gleichzeitige Kenntnis von Hirndurchblutung, Sauerstoffversorgung und -bedarf und/oder Hirnstoffwechsel voraus. Regionale Messungen (mittels Parenchymsensoren, transkranieller Doppleruntersuchungen oder perfusionsgewichteter Bildgebung) zur Abschätzung dieses Wertes sind Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen [27, 28], aber noch keine Routine in der täglichen klinischen Praxis.

3.4.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Die operative Dekompression durch Kraniektomie und Duraerweiterungsplastik kann bei erhöhtem Hirndruck erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Eine wirksame Möglichkeit, den erhöhten intrakraniellen Druck zu senken, ist die operative Dekompression durch Kraniektomie und ggf. Duraerweiterungsplastik. Die Notwendigkeit ergibt sich meist bei Entwicklung eines ausgeprägten (sekundären) Hirnödems und daher häufiger mit einer mehrtägigen Latenz. Die Methode zeigt nach einigen prospektiven randomisierten kontrollierten Studie einen guten Behandlungserfolg trotz erhöhter Komplikationsrate [29, 30]. Bei weiteren prospektiven Studien [31-34] sind die Durchführung der Studien und die Interpretation der klinischen Ergebnisse Gegenstand anhaltender Diskussion, sodass noch keine abschließende Empfehlung ausgesprochen werden kann [35].

Literatur

1. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, Gordon D, Hartl R, Newell DW, et al. Surgical management of depressed cranial fractures. *Neurosurgery*. 2006;58(3 Suppl):S56-60; discussion Si-iv.
2. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, Gordon D, Hartl R, Newell DW, et al. Surgical management of posterior fossa mass lesions. *Neurosurgery*. 2006;58(3 Suppl):S47-55; discussion Si-iv.
3. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, Gordon D, Hartl R, Newell DW, et al. Surgical management of traumatic parenchymal lesions. *Neurosurgery*. 2006;58(3 Suppl):S25-46; discussion Si-iv.
4. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, Gordon D, Hartl R, Newell DW, et al. Surgical management of acute subdural hematomas. *Neurosurgery*. 2006;58(3 Suppl):S16-24; discussion Si-iv.
5. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, Gordon D, Hartl R, Newell DW, et al. Surgical management of acute epidural hematomas. *Neurosurgery*. 2006;58(3 Suppl):S7-15; discussion Si-iv.
6. Firsching R, Heimann M, Frowein RA. Early dynamics of acute extradural and subdural hematomas. *Neurological research*. 1997;19(3):257-60.
7. Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie. AWMF S2e Leitlinie: Schädelhirntrauma im Erwachsenenalter 2015; 008/001. Available from: http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/008-001l_S2e_Schaedelhirntrauma_SHT_Erwachsene_2015-12.pdf.
8. Lele A, Kannan N, Vavilala MS, Sharma D, Mossa-Basha M, Agyem K, et al. Patients Who Benefit from Intracranial Pressure Monitoring without Cerebrospinal Fluid Drainage After Severe Traumatic Brain Injury. *Neurosurgery*. 2019;85(2):231-9.
9. Ahl R, Sarani B, Sjolín G, Mohseni S. The Association of Intracranial Pressure Monitoring and Mortality: A Propensity Score-Matched Cohort of Isolated Severe Blunt Traumatic Brain Injury. *Journal of Emergencies Trauma & Shock*. 2019;12(1):18-22.
10. Aiolfi A, Benjamin E, Khor D, Inaba K, Lam L, Demetriades D. Brain Trauma Foundation Guidelines for Intracranial Pressure Monitoring: Compliance and Effect on Outcome. *World Journal of Surgery*. 2017;41(6):1543-9.
11. Al Saiegh F, Philipp L, Mouchtouris N, Chalouhi N, Khanna O, Shah SO, et al. Comparison of Outcomes of Severe Traumatic Brain Injury in 36,929 Patients Treated with or without Intracranial Pressure Monitoring in a Mature Trauma System. *World Neurosurgery*. 2020;136:e535-e41.
12. The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Indications for intracranial pressure monitoring. *Journal of neurotrauma*. 2000;17(6-7):479-91.
13. The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Intracranial pressure treatment threshold. *Journal of neurotrauma*. 2000;17(6-7):493-5.
14. The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Recommendations for intracranial pressure monitoring technology. *Journal of neurotrauma*. 2000;17(6-7):497-506.
15. Bullock R, Chesnut RM, Clifton G, Ghajar J, Marion DW, Narayan RK, et al. Guidelines for the management of severe head injury. Brain Trauma Foundation. *European journal of emergency medicine : official journal of the European Society for Emergency Medicine*. 1996;3(2):109-27.
16. Mauritz W, Janciak I, Wilbacher I, Rusnak M. Severe traumatic brain injury in Austria IV: intensive care management. *Wiener klinische Wochenschrift*. 2007;119(1-2):46-55.
17. Forsyth RJ, Raper J, Todhunter E. Routine intracranial pressure monitoring in acute coma. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2015;11:CD002043.
18. Balestreri M, Czosnyka M, Hutchinson P, Steiner LA, Hiler M, Smielewski P, et al. Impact of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure on severe disability and mortality after head injury. *Neurocritical care*. 2006;4(1):8-13.
19. Farahvar A, Gerber LM, Chiu Y-L, Carney N, Härtl R, Ghajar J. Increased mortality in patients with severe traumatic brain injury treated without intracranial pressure monitoring. *Journal of neurosurgery*. 2012;117(4):729-34.

20. Hiler M, Czosnyka M, Hutchinson P, Balestreri M, Smielewski P, Matta B, et al. Predictive value of initial computerized tomography scan, intracranial pressure, and state of autoregulation in patients with traumatic brain injury. *Journal of neurosurgery*. 2006;104(5):731-7.
21. Lane PL, Skoretz TG, Doig G, Girotti MJ. Intracranial pressure monitoring and outcomes after traumatic brain injury. *Can J Surg*. 2000;43(6):442-8.
22. Talving P, Karamanos E, Teixeira PG, Skiada D, Lam L, Belzberg H, et al. Intracranial pressure monitoring in severe head injury: Compliance with Brain Trauma Foundation guidelines and effect on outcomes: A prospective study. *Journal of neurosurgery*. 2013;119(5):1248-54.
23. Chesnut RM, Temkin N, Carney N, Dikmen S, Rondina C, Videtta W, et al. A trial of intracranial-pressure monitoring in traumatic brain injury. *New England Journal of Medicine*. 2012;367(26):2471-81.
24. Fakhry SM, Trask AL, Waller MA, Watts DD. Management of brain-injured patients by an evidence-based medicine protocol improves outcomes and decreases hospital charges. *J Trauma*. 2004;56(3):492-9; discussion 9-500.
25. Palmer S, Bader MK, Qureshi A, Palmer J, Shaver T, Borzatta M, et al. The impact on outcomes in a community hospital setting of using the AANS traumatic brain injury guidelines. *American Association of Neurological Surgeons. J Trauma*. 2001;50(4):657-64.
26. The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Guidelines for cerebral perfusion pressure. *Journal of neurotrauma*. 2000;17(6-7):507-11.
27. Jaeger M, Schuhmann MU, Soehle M, Meixensberger J. Continuous assessment of cerebrovascular autoregulation after traumatic brain injury using brain tissue oxygen pressure reactivity. *Critical care medicine*. 2006;34(6):1783-8.
28. Steiner LA, Czosnyka M, Piechnik SK, Smielewski P, Chatfield D, Menon DK, et al. Continuous monitoring of cerebrovascular pressure reactivity allows determination of optimal cerebral perfusion pressure in patients with traumatic brain injury. *Critical care medicine*. 2002;30(4):733-8.
29. Qiu W, Guo C, Shen H, Chen K, Wen L, Huang H, et al. Effects of unilateral decompressive craniectomy on patients with unilateral acute post-traumatic brain swelling after severe traumatic brain injury. *Crit Care*. 2009;13(6):R185.
30. Chen J, Li M, Chen L, Chen W, Zhang C, Feng Y, et al. The Effect of Controlled Decompression for Severe Traumatic Brain Injury: A Randomized, Controlled Trial. *Frontiers in neurology [electronic resource]*. 2020;11:107.
31. Cooper DJ, Rosenfeld JV, Murray L, Wolfe R, Ponsford J, Davies A, et al. Early decompressive craniectomy for patients with severe traumatic brain injury and refractory intracranial hypertension--a pilot randomized trial. *Journal of critical care*. 2008;23(3):387-93.
32. Hutchinson PJ, Corteen E, Czosnyka M, Mendelow AD, Menon DK, Mitchell P, et al. Decompressive craniectomy in traumatic brain injury: the randomized multicenter RESCUEicp study (www.RESCUEicp.com). *Acta neurochirurgica Supplement*. 2006;96:17-20.
33. Moein H, Sanati MA, Fard SA, Moein P, Hasheminasab SM. Outcome of decompressive craniectomy in patients with severe head injury: A pilot randomized clinical trial. *Neurosurgery Quarterly*. 2012;22(3):149-52.
34. Mendelow AD, Gregson BA, Rowan EN, Francis R, McColl E, McNamee P, et al. Early Surgery versus Initial Conservative Treatment in Patients with Traumatic Intracerebral Hemorrhage (STITCH[Trauma]): The First Randomized Trial. *Journal of neurotrauma*. 2015;32(17):1312-23.
35. Sahuquillo J, Arikian F. Decompressive craniectomy for the treatment of refractory high intracranial pressure in traumatic brain injury. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2006;(1):CD003983.

3.5 Wirbelsäule

R. Hartensuer*, K. Sprengel, S. Huber-Wagner, A. Weise#, J. Breuing#, F. Högel

3.5.1	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Patienten mit operativ therapierbaren Wirbelsäulenverletzungen oder Fehlstellungen mit gesicherten oder anzunehmenden neurologischen Ausfällen sollten möglichst frühzeitig operiert werden, sofern es der Gesamtzustand erlaubt (idealerweise „day 1 surgery“).	
Literatur, Evidenzgrad	Zusätzliche Evidenz aus Aktualisierung 2022: [1] Balas 2021: LoE 2b [2] Bliemel 2014: LoE 2b [3] Godzik 2019: LoE 2b [4] Ruddell 2021: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Die der Empfehlung zugrundeliegende Literatur basiert auf Auswertungen unterschiedlicher Register mit einem Evidenzlevel von 2b.

Basierend auf Daten des American College of Surgeons Trauma Quality Improvement Programs (TQIP) konnte gezeigt werden, dass das Komplikationsrisiko bei verzögerter Versorgung von thorakolumbalen Verletzungen mit Rückenmarksschädigung bereits nach 12 Stunden ansteigt. Patienten, welche binnen 12 Stunden operiert wurden, zeigten signifikant weniger Komplikationen und einen kürzeren Aufenthalt auf der Intensivstation [1]. Ähnliche Zusammenhänge (allerdings innerhalb von 72 Stunden versus nach 72 Stunden) konnten anhand von Daten aus dem Healthcare Cost and Utilization Project (HCUP) und dem TraumaRegister DGU gezeigt werden [2, 4]. Auch Daten der National Trauma Data Bank (NTDB) zeigen keine signifikant erhöhte Mortalität nach früher spinaler Intervention bei Patienten mit traumatischer Rückenmarksverletzung [3]. Entsprechend formulierte eine internationale Konsensusgruppe um die AOSpine North America, AOSpine International und der American Association and Congress of Neurological Surgeons in ihrer Guideline beim Central Cord Syndrom und akuten Rückenmarksverletzungen, dass eine Versorgung innerhalb von 24 Stunden anzustreben sei [5, 6]. Allerdings mussten auch sie einräumen, dass der Evidenzlevel in der Literatur insbesondere bzgl. Komplikationsrate gering ist. Mit einer gepoolten Datenbankanalyse von knapp 1600 Patienten aus Teilen dieser Autorenschaft konnte allerdings die Forderung nach einer Dekompression innert 24 Stunden in Hinblick auf das bessere neurologische Outcome klar unterstützt werden [7]. Die mediane Zeit der Patienten in der frühversorgten Gruppe betrug hierbei 13 Stunden. In einer anderen Arbeit aus der BG Klinik Murnau, mit kleinem monozentrischem Kollektiv, waren 8 Stunden der Cut-off [8]. Belastbare, spezifische Daten beim schwerverletzten Patienten mit Rückenmarksverletzungen lassen sich in der Literatur nur schwer finden. Eine Arbeit aus dem TraumaRegister DGU unterstützt die grundsätzliche frühe Versorgung innerhalb von 72 Stunden bei polytraumatisierten Patienten mit thorakolumbalen Frakturen und schweren Thoraxtrauma [9] wie auch eine Multizenterstudie mit 250 Patienten bei Typ B und C Verletzungen beim polytraumatisierten Patienten [10]. Beide Arbeiten geben aber keine oder nur limitierte Auskünfte über das Ausmaß der neurologischen Verletzung und sind daher hier nur eingeschränkt diskutabel. Kleinere retro- und prospektive Kohortenstudien sind hinsichtlich ihrer Aussage uneinheitlich [11, 12].

3.5.2	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei entsprechender Frakturmorphologie mit Kompression des Spinalkanals oder translatorischer Verletzung und ohne Möglichkeit zum Ausschluss einer spinalen neurologischen Schädigung soll bis zum Ausschluss von einer solchen ausgegangen werden	
	Konsensstärke: 100%	

Grundsätzlich ist anzumerken, dass der neurologische spinale Status in der Primärversorgung des schwerverletzten Patienten oft nicht bekannt und zu diesem Zeitpunkt auch oft nicht sicher zu evaluieren ist. Daher sollte bei entsprechender Frakturmorphologie und ohne sicheren Ausschluss einer spinalen neurologischen Schädigung bis zum Ausschluss von einer solchen ausgegangen werden.

Zusammenfassend scheint dabei die Empfehlung einer schnellstmöglichen Dekompression und Stabilisation zur Verbesserung des neurologischen Outcomes gerechtfertigt, sofern es der Gesamtzustand des schwerverletzten Patienten erlaubt, welche dann mutmaßlich mit einer geringeren Komplikationsrate bei diesen frühversorgten Patienten einhergeht, auch wenn hierfür schlussendlich eine Evidenzgrundlage fehlt.

3.5.3	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Instabile Wirbelsäulenverletzungen ohne Neurologie sollten operativ versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[2] Bliemel 2014: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Grundsätzlich gilt nach Ergebnissen von Jacobs und Kollegen, dass die Erfolge der operativen Therapie instabiler Brustwirbel- und Lendenwirbelsäulenfrakturen besser sind als bei einer konservativen Therapie, und zwar bezüglich des Repositionsergebnis, des neurologischen Outcomes, des Mobilisationsgrades, der Rehabilitationszeit und den auftretenden Komplikationen [13, 14].

Auch für polytraumatisierte Patienten mit schwerer Wirbelsäulenverletzung (AIS ≥ 3) und unabhängig einer potentiellen Rückenmarksverletzung konnte mit Daten des TraumaRegisters DGU gezeigt werden, dass eine frühzeitige operative Stabilisierung der Wirbelsäule mit einer kürzeren Verweildauer auf der Intensivstation und weniger Beatmungstagen assoziiert war. Ein negativer Effekt einer zeitnahen Wirbelsäulenstabilisierung konnten nicht gefunden werden [2]. Gerade auch beim begleitenden Thoraxtrauma konnte im TraumaRegister DGU ein positiver Effekt einer frühen spinalen Stabilisierung gezeigt werden [9].

In einer prospektiven Studie bei allerdings geringer Fallzahl (n=22) konnte eine signifikant geringere Mortalität bei spinaler Stabilisierung in den ersten 72 Stunden gezeigt werden. Eingeschlossen wurden hierbei polytraumatisierte Patienten mit einer Typ B der Typ C Verletzung der thorakalen oder lumbalen Wirbelsäule, mit einer Kyphose über 30° und/oder traumatischer Rückenmarksverletzung [12].

Es gibt aus anderen Arbeiten Hinweise, dass das gewählte Zeitfenster der primären Stabilisation innerhalb der ersten 24 Stunden weiter von Vorteil ist [15].

Gegenstand aktueller Diskussionen verbleibt hier sicherlich, die Bewertung der Stabilität. Verletzungen, welchen ein Distraktions- oder Translationsmechanismus zugrunde liegen, lassen sich

grundsätzlich als instabil bewerten. Nach der AO Spine Klassifikation werden diese als B und C Verletzungen klassifiziert. A Verletzungen hingegen liegt ein Kompressionsmechanismus zugrunde. Dieser kann unterschiedlich ausgeprägt sein [16, 17]. Ab einem gewissen Grad kann auch hier von einer Instabilität ausgegangen werden.

Konsekutiv kann auch die Zerstörung des Wirbelkörpers und eine potentielle Kompression des Spinalkanals unterschiedlich ausgeprägt sein.

Diese Systematik ist grundsätzlich sowohl für die subaxiale Halswirbelsäule als auch für die thorakale, thorakolumbale und lumbale Wirbelsäule anwendbar. Allerdings zeigen verschiedene Regionen der Wirbelsäule unterschiedliche morphologische und biomechanische Besonderheiten, so dass hier die Einschätzung der Stabilität und des Risikos einer potentiellen sekundären spinalen Schädigung nicht pauschal anhand einer bisher verfügbaren Klassifikation beschrieben werden. Dies unterliegt vielmehr der klinischen Einschätzung eines auf dem Gebiet der Wirbelsäule erfahrenen Chirurgen.

3.5.4	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Die initiale Stabilisierung sollte unter Berücksichtigung der Gesamtsituation frühzeitig erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[2] Bliemel 2014: LoE 2b [9] Hager 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Eine möglichst frühzeitige Stabilisierung der Wirbelsäule scheint den Verlauf der intensivmedizinischen Therapie des Schwerverletzten positiv zu beeinflussen. Ein prinzipieller Nachteil einer frühzeitigen spinalen Intervention findet sich nicht [2]. Eine frühzeitige Stabilisierung innerhalb von 72 Stunden führt zu einer verkürzten Liegedauer auf der Intensivstation und diese Patienten benötigen eine kürzere Beatmungsdauer. Sie erleiden auch seltener ein ARDS oder Multiorganversagen. Zudem konnte auch die Sepsisrate gesenkt werden [9]. Allerdings scheint eine kritische Patientenselektion nötig zu sein. Konieczny und Kollegen berichten über potentiell negative Effekte bei Patienten mit ausgeprägtem Thoraxtrauma und begleitender traumatischer Anämie [12].

Operationstechnik

3.5.5	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad GPP	Stabilisierungen an der HWS können abhängig von der Verletzung von ventral und/oder dorsal oder in Ausnahmefällen mittels Halofixateur durchgeführt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Evidenzbasierte Empfehlungen zur Operationstechnik sind bisher nicht möglich. Es existieren zurzeit zwei S1 Leitlinien zur Versorgung von Halswirbelsäulenverletzungen (AWMF-Nr. 012-011 und AWMF-Nr. 012-032). Hierbei wird ausgeführt, dass wesentliche Ziele der operativen Therapie die Reposition, Retention und knöcherne Ausheilung der verletzten Wirbelsäulensegmente sind. Die hierzu zur Verfügung stehenden ventralen, dorsalen oder dorso-ventral-kombinierten Verfahren sollen nach patientenspezifischen Faktoren sowie der Wirbelsäulenverletzungsmorphologie angewandt werden. Diese Einschätzung ist vermutlich auch oder gerade beim Polytrauma nach patientenspezifischen Gesichtspunkten in Hinblick auf das Gesamttrauma und der zur Versorgung benötigten Lagerung sowie

der resultierenden OP-, bzw. Zugangsmorbidität von einem erfahrenen Wirbelsäulenchirurgen zu treffen.

Der Halofixateur kann in vielen Fällen, auch durch einen nicht so erfahrenen Behandler, die Halswirbelsäule effektiv stabilisieren, bis eine qualifizierte Entscheidung getroffen und die definitive operative Therapie durchgeführt werden kann.

3.5.6	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei Verletzungen der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule sollte der dorsale Fixateur interne als primäre Operationsmethode zur Stabilisierung eingesetzt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Evidenzbasierte Empfehlungen zur Operationstechnik sind bisher nicht möglich. Es existiert zurzeit eine S1 Leitlinien zur Versorgung von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen (AWMF-Nr. 012-028). Hierin findet eine dezidierte Auseinandersetzung verschiedener Verletzungsformen und der möglichen Behandlung statt. Diese differenzierte Auseinandersetzung ist vermutlich auch oder gerade auch beim Polytrauma nach patientenspezifischen Gesichtspunkten des Gesamttraumas bezüglich Lagerung und Zugangsmorbidität von einem erfahrenen Wirbelsäulenchirurgen zu treffen.

In einer multizentrischen Erhebung der AG Wirbelsäule der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie konnte gezeigt werden, dass bei 733 eingeschlossenen Patienten 51,8% isoliert von dorsal, 43,5% von dorsal und ventral und nur 4,6% von rein ventral versorgt wurden. Der durchschnittliche Injury Severity Score (ISS) war bei den posterior versorgten mit 15,6 Punkten deutlich höher als bei den anterior versorgten (ISS = 11,4) und den kombiniert versorgten (ISS = 13,8) [18]. Entsprechend kann der dorsale Zugang unter Verwendung eines Fixateur interne als anerkannte und präferierte primäre Versorgungsstrategie für die thorakolumbale Wirbelsäule auch beim Polytrauma betrachtet werden.

Bereits 1993 konnte gezeigt werden, dass die offene Versorgung der Wirbelsäulenverletzung zu einen second hit führen kann [19]. Dem stehen die bereits dargelegten und überwiegenden Vorteile einer frühen Versorgung entgegen.

Minimalinvasive, perkutane Techniken zur dorsalen Stabilisierung beim Polytrauma haben gezeigt, dass hierdurch das operative Trauma reduziert werden kann [20]. Folglich lässt sich dieser vermeintliche Widerspruch zumindest partiell erklären.

Literatur

1. Balas M, Guttman MP, Badhiwala JH, Lebovic G, Nathens AB, da Costa L, et al. Earlier Surgery Reduces Complications in Acute Traumatic Thoracolumbar Spinal Cord Injury: Analysis of a Multi-Center Cohort of 4108 Patients. *Journal of neurotrauma*. 2021.
2. Bliemel C, Lefering R, Buecking B, Frink M, Struwer J, Krueger A, et al. Early or delayed stabilization in severely injured patients with spinal fractures? Current surgical objectivity according to the Trauma Registry of DGU: treatment of spine injuries in polytrauma patients. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;76(2):366-73.
3. Godzik J, Dalton J, Hemphill C, Walker C, Chapple K, Cook A, et al. Early surgical intervention among patients with acute central cord syndrome is not associated with higher mortality and morbidity. *J Spine Surg*. 2019;5(4):466-74.
4. Ruddell JH, DePasse JM, Tang OY, Daniels AH. Timing of Surgery for Thoracolumbar Spine Trauma: Patients With Neurological Injury. *Clin Spine Surg*. 2021;34(4):E229-e36.
5. Fehlings MG, Tetreault LA, Wilson JR, Aarabi B, Anderson P, Arnold PM, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Patients With Acute Spinal Cord Injury and Central Cord Syndrome: Recommendations on the Timing (≤ 24 Hours Versus >24 Hours) of Decompressive Surgery. *Global Spine J*. 2017;7(3 Suppl):195S-202S.
6. Wilson JR, Tetreault LA, Kwon BK, Arnold PM, Mroz TE, Shaffrey C, et al. Timing of Decompression in Patients With Acute Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Global Spine J*. 2017;7(3 Suppl):95S-115S.
7. Badhiwala JH, Wilson JR, Witiw CD, Harrop JS, Vaccaro AR, Aarabi B, et al. The influence of timing of surgical decompression for acute spinal cord injury: a pooled analysis of individual patient data. *Lancet Neurol*. 2021;20(2):117-26.
8. Grassner L, Wutte C, Klein B, Mach O, Riesner S, Panzer S, et al. Early Decompression (< 8 h) after Traumatic Cervical Spinal Cord Injury Improves Functional Outcome as Assessed by Spinal Cord Independence Measure after One Year. *Journal of neurotrauma*. 2016.
9. Hager S, Eberbach H, Lefering R, Hammer TO, Kubosch D, Jäger C, et al. Possible advantages of early stabilization of spinal fractures in multiply injured patients with leading thoracic trauma - analysis based on the TraumaRegister DGU®. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*. 2020;28(1):42.
10. Kobbe P, Krug P, Andruszkow H, Pishnamaz M, Hofman M, Horst K, et al. Early Spinal Injury Stabilization in Multiple-Injured Patients: Do All Patients Benefit? *J Clin Med*. 2020;9(6).
11. Sousa A, Rodrigues C, Barros L, Serrano P, Rodrigues-Pinto R. Early Versus Late Spine Surgery in Severely Injured Patients-Which Is the Appropriate Timing for Surgery? *Global Spine J*. 2021:2192568221989292.
12. Konieczny MR, Struwer J, Jettkant B, Schinkel C, Kalicke T, Muhr G, et al. Early versus late surgery of thoracic spine fractures in multiple injured patients: is early stabilization always recommendable? *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2015;15(8):1713-8.
13. Wood KB, Bohn D, Mehbod A. Anterior versus posterior treatment of stable thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit: a prospective, randomized study. *J Spinal Disord Tech*. 2005;18 Suppl:S15-23.
14. Jacobs RR, Asher MA, Snider RK. Thoracolumbar spinal injuries. A comparative study of recumbent and operative treatment in 100 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1980;5(5):463-77.
15. Stahel PF, VanderHeiden T, Flierl MA, Matava B, Gerhardt D, Bolles G, et al. The impact of a standardized "spine damage-control" protocol for unstable thoracic and lumbar spine fractures in severely injured patients: a prospective cohort study. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013;74(2):590-6.
16. Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, Dvorak M, Schnake K, Bellabarba C, et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(23):2028-37.

17. Vaccaro AR, Koerner JD, Radcliff KE, Oner FC, Reinhold M, Schnake KJ, et al. AOSpine subaxial cervical spine injury classification system. *Eur Spine J.* 2016;25(7):2173-84.
18. Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audige L, Kandziora F, Pizanis A, et al. Operative treatment of 733 patients with acute thoracolumbar spinal injuries: comprehensive results from the second, prospective, Internet-based multicenter study of the Spine Study Group of the German Association of Trauma Surgery. *Eur Spine J.* 2010;19(10):1657-76.
19. Waydhas C, Nast-Kolb D, Kick M, Richter-Turtur M, Trupka A, Machleidt W, et al. [Operative injury in spinal surgery in the management of polytrauma patients]. *Der Unfallchirurg.* 1993;96(2):62-5.
20. Falzarano G, Medici A, Pica G, Grubor P, Grubor M, Muzi FV, et al. Is the early percutaneous spine total care to treat the polytrauma patient a good way? *Journal of Acute Disease.* 2015;4(1):78-82.

3.6 Unterkiefer und Mittelgesicht

R. Gutwald*

Sicherung der Atemwege, Blutungen

3.6.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei Unterkiefer- und Mittelgesichtsverletzungen sollen eine primäre Sicherung der Atemwege und eine Blutungsstillung im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die unmittelbare Sicherung der Atemwege und die Versorgung starker Blutungen sind lebenswichtig [1]. Häufig droht eine Erstickungsgefahr durch Fremdkörper (z.B. Zahnprothesen, Zahn- und Knochenfragmente, Blutkoagel, Schleim, Erbrochenes). Diese Gefahr sollte durch eine manuelle Säuberung der Mundhöhle und des Rachens sowie durch das Absaugen der tieferen Atemwege beseitigt werden [2]. Bei Instabilität des Unterkiefers infolge von Trümmerungen oder einer Aussprengung des Mittelstückes kann es zur Rücklage der Zunge mit Verlegung der Atemwege kommen. Eine Reposition und Stabilisierung des Unterkiefers mit Drahtligaturen an vorhandenen Zähnen kann die bedrohliche Situation beheben [2]. Sollten im Kopf-Hals-Bereich die Luftwege durch eine starke Blutung, Zungenschwellung und -verlagerung behindert sein, ist in Abhängigkeit von der Dringlichkeit und Realisierbarkeit eine Intubation, eine Tracheotomie oder Koniotomie (Krikothyroidotomie) notwendig [3, 4].

Sind größere Gefäße betroffen (i. d. R. die Abgänge der Arteria carotis externa), ist eine operative Blutstillung notwendig. Es wird die offene operative Blutstillung mit Gefäßunterbindung, bipolarer Elektrokoagulation oder die Embolisation mit Angiografie empfohlen [4-6]. Zur effektiven Blutstillung sollte die Blutungsquelle genau lokalisiert werden [7]. Die Epistaxis ist eine der häufigsten Blutungen. Durch primäre Kompression mittels Tamponade können die meisten Blutungen gestillt werden [8, 9]. Bei persistierender Blutung im Nasen-Rachen-Raum besteht die Notwendigkeit, eine Bellocq-Tamponade oder einen Ballonkatheter einzulegen [10]. Bei Blutungen aus dem Mittelgesichtsbereich insbesondere der A. maxillaris kann durch die Kompression des Oberkiefers nach dorsokranial gegen die Schädelbasis (z.B. Spatelverband, Abdrucklöffel mit extraoralen Bügeln) versucht werden, die Blutung zu stoppen [2]. Bei sagittalen Oberkieferfrakturen kann eine Kompression z.B. durch eine quere Drahtnaht von den Molaren der einen Seite zu den Molaren der gegenüberliegenden Seite notwendig werden [2, 11]. Die Reposition und Fixierung der Gesichtsschädelfrakturen stellen oft die beste kausale Therapie auch für schwere Hämorrhagien dar [10].

Gesichtsweichteilverletzungen

3.6.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Weichteilverletzungen sollten im Rahmen der ersten OP-Phase versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Verletzungen der Gesichtsweichteile treten entweder isoliert in Form von Schürf-, Riss-, Schnitt-, Quetsch- und Defektwunden oder im Rahmen von schweren Traumata in Kombination mit Gesichtsschädelfrakturen auf. Dabei sind Riss- und Quetschwunden die häufigsten Gesichtsweichteilverletzungen [12]. Weichteilverletzungen, insbesondere z.B. solche mit freiliegenden Knorpel- und/oder Knochenflächen, sollten möglichst frühzeitig versorgt werden. Idealerweise kann dies bereits im Schockraum erfolgen [13]. Bessere ästhetische sowie funktionelle Ergebnisse werden unter anderem durch eine schnelle Versorgung der Weichteilverletzungen erzielt [14-19].

Wichtigstes Prinzip in den ersten Stunden nach dem Trauma sind eine adäquate Blutstillung und die zerebrale Entlastung bei Hirndruck [20]. Erst sekundär werden die Gesichtsschädel- und Weichteilverletzungen versorgt [21]. Bei kombinierten Weichteilverletzungen mit Gesichtsschädelfrakturen sollte die definitive Weichteilverversorgung möglichst nach der Rekonstruktion der knöchernen Strukturen („von innen nach außen“) erfolgen [22]. Funktionelle Strukturen wie Augenlider, Lippen, der Fazialnerv und der Parotis-Ausführungsgang sollten bei der primären Wundversorgung rekonstruiert werden [23]. Subtile Wundsäuberung und Fremdkörperentfernung sind vor den plastischen rekonstruktiven Maßnahmen durchzuführen, um später gute ästhetische und funktionelle Ergebnisse erzielen zu können [24]. Größere rekonstruktive Maßnahmen oder mikrovaskuläre Rekonstruktionen werden in der Regel zweizeitig vorgenommen [25].

Zahnverletzungen, Alveolarfortsatzfrakturen

3.6.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Es sollte eine Sofortversorgung, gegebenenfalls eine rasche Versorgung des Zahn-Alveolarfortsatz-Traumas angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das Ziel der Therapie von Zahnverletzungen und Alveolarfortsatzfrakturen besteht darin, Form und Funktion (Ästhetik, Okklusion, Artikulation, Phonation) wiederherzustellen. Hierbei wird versucht, die Zahnstruktur sowie den Alveolarfortsatz zu erhalten.

Die Therapie ist von der allgemeinen Erhaltungswürdigkeit und Vitalität der Zähne abhängig [26].

Die Prognose eines langfristigen Zahnerhalts nach Avulsion hängt von der Dauer und der Lagerung des Zahnes (z.B. Zellkulturmedium/Dentosafe, kalte Milch, physiologische Kochsalzlösung, Mundhöhle) bis zur erfolgreichen Replantation ab [27, 28]. Die günstigsten Replantationsergebnisse sind innerhalb der ersten 30 Minuten zu erzielen [29]. Die ungünstigste Prognose haben avulsierte Zähne, die über mehrere Stunden trocken aufbewahrt wurden, obwohl in Einzelfallbeschreibungen auch von

erfolgreichen Replantationen berichtet wird. Deshalb kann die Replantation nach längerer Zeit auch im Einzelfall als Versuch gerechtfertigt sein [30].

Eine Versorgung von Frakturen des Alveolarfortsatzes ist ebenfalls so früh wie möglich einzuleiten [29, 31].

Die Akutbehandlung sollte bei Extrusion, lateraler Dislokation oder Avulsion eines Zahnes, einer Alveolarfortsatzfraktur oder einer Wurzelfraktur innerhalb weniger Stunden erfolgen [26, 31]. Ein behutsamer Umgang mit dem Desmodont und eine zügige Fixation über Splints oder Schienenverbände schützen vor Infektionen und dauerhaftem Zahnverlust [27, 28, 32].

Versorgungen von komplizierten Kronenfrakturen nach 3 Stunden und unkomplizierten Kronenfrakturen mit freiliegenderem Dentin nach 48 Stunden verschlechtern die Prognose vitaler Zähne [31].

Unterkiefer und Mittelgesicht

3.6.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	In Abhängigkeit von der Gesamtverletzungsschwere kann die Versorgung von Mittelgesichts- und Unterkieferfrakturen in der ersten OP-Phase oder sekundär erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das Ziel der Therapie besteht darin, Form und Funktion wiederherzustellen. Besonderer Wert wird auf die Wiederherstellung der Okklusion, Artikulation, der Gelenkfunktion und Ästhetik sowie der Funktion von motorischen und/oder sensiblen Nerven gelegt. Die Behandlungsstrategien, Operationstechniken und das Prozedere sind vergleichbar mit denen bei isolierten Frakturen oder Kombinationsfrakturen des Unterkiefers und/oder des Mittelgesichts.

Idealerweise erfolgt eine einzeitige frühe Primärversorgung von Mittelgesichts- und Unterkieferfrakturen [33, 34]. Eine frühe Versorgung mit anatomischer Reposition und Fixation führte bei Mittelgesichtsfrakturen zu einer Verringerung der Ödembildung sowie einer besseren Rekonturierung der Gesichteweichteile [35-37]. Der Zeitraum wurde jedoch von den Autoren sehr ungenau mit „unmittelbar“ oder „innerhalb der ersten Tage“ angegeben. Bos et al. [38] fordern eine chirurgische Versorgung von Mittelgesichtsfrakturen mit offener Reposition und Fixation innerhalb von 48–72 Stunden, um ein gutes ästhetisches und funktionelles Ergebnis zu erzielen und sekundäre Korrekturen zu vermeiden. Eine bessere Reposition der Knochenfragmente und schnellere Heilung und damit auch günstigere ästhetische Resultate konnten bei Kindern mit Mittelgesichtsfrakturen beobachtet werden, die innerhalb einer Woche nach Trauma operiert wurden [39].

Bezüglich eines begleitenden Schädel-Hirn-Traumas (SHT) gibt die Glasgow Coma Scale (GCS) wertvolle Informationen über die Prognose des Verletzten. So müssen aber Patienten mit einem niedrigen GCS nicht automatisch von der Versorgung von Gesichtsschädelfrakturen ausgeschlossen werden. So berichtet Manson [36], dass Patienten mit Kopfverletzungen ohne erhöhte Komplikationsraten operiert werden können, vorausgesetzt, der intrakranielle Druck wird während des Eingriffs unterhalb eines Werts von 25 mmHg gehalten. Derdyn et al. [40] beobachteten in einer retrospektiven Untersuchung an 49 Patienten mit Unterkiefer- und/oder Mittelgesichtsfrakturen mit zusätzlichem Schädel-Hirn-Trauma, dass Patienten mit einem Hirndruck unter 15 mmHg nach einer frühen operativen Versorgung (0–3 Tage nach Unfall) vergleichbare Überlebensraten hatten wie

Vergleichsgruppen nach mittlerer (4-7 Tage) oder später (>7 Tage) operativer Versorgung. Zwischen den früh-, mittelfristig- und spätoperierten vergleichbaren Patientenkollektiven ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich postoperativer Komplikationen. Gesichtsschädelverletzte Patienten mit niedrigem GCS, intrakranieller Blutung und Verlagerung von medianen Hirnstrukturen nach lateral sowie Multisystemtraumen hatten hingegen eine signifikant schlechtere Prognose.

Aufgrund der Verbesserungen der funktionellen und ästhetischen Ergebnisse durch Verwendung von Mini- und Mikroplatten sowie durch weniger invasive Operationstechniken [41] wird eine Frühversorgung innerhalb von 24–72 Stunden zunehmend kontrovers diskutiert.

Hat der Allgemeinzustand oder haben andere Verletzungen höhere Priorität, so kann nach der Versorgung von Weichteilverletzungen und der temporären Stabilisierung (z.B. mit Schienenverbänden, Drahtligaturen, Splints) von Frakturen die definitive Versorgung von Gesichtsschädelverletzungen um 7–10 Tage nach dem Unfallereignis aufgeschoben werden [33]. Weichteilversorgungen und temporäre Stabilisierungen können im Idealfall bereits im Schockraum erfolgen [13].

Weider et al. [42] konnten in einer retrospektiven Studie mit vergleichbaren Gruppen an insgesamt 82 polytraumatisierten Patienten mit Unterkiefer- und/oder Mittelgesichtsfrakturen aufweisen, dass eine verzögerte Versorgung (≥ 48 Stunden) zu keiner Verlängerung der Behandlungszeit auf der Intensivstation und des stationären Aufenthaltes führte. Die Infektionsrate war vernachlässigbar und die Komplikationsrate vergleichbar mit der von Patienten, die innerhalb von 48 Stunden operiert wurden. Schettler [43] konnte keine Nachteile der definitiven Versorgung von Mittelgesichtsfrakturen innerhalb von 14 Tagen beobachten. Es wurden weder Infektionen noch bleibende Störungen der Augenmotilität in höherem Ausmaß gegenüber der Sofortbehandlung festgestellt. Dagegen ließ sich nach Abklingen der ersten schweren Ödeme die subtile Wiedervereinigung auch kleinster Knochenfragmente wesentlich leichter durchführen. Er sieht den günstigsten Zeitraum für die definitive Versorgung zwischen dem 5. und 10. Tag nach dem Trauma. Kühne et al. [13] analysierten retrospektiv insgesamt 78 operierte Schockraumpatienten mit Unterkiefer- und /oder Mittelgesichtsfrakturen. Es ergab sich eine vergleichsweise identische postoperative Komplikationsrate bei den Patienten, die früh primär (innerhalb von 72 Stunden) oder verzögert (nach 72 Stunden) operiert wurden. Die Gruppe der verzögert operierten Patienten wies eine deutlich höhere Gesamtverletzungsschwere auf als jene, welche früh primär versorgt wurde.

Ausnahmen für eine verzögerte Versorgung bilden unstillbare Blutungen aus Frakturen, die eine sofortige Reposition und Osteosynthese erfordern, sowie intraorbitale oder intrakranielle Schädigungen der Sehbahn, die ein therapeutisches Handeln innerhalb weniger Stunden notwendig machen [33]. Bei retrobulbären Hämatomen, erhöhtem Augendruck oder direkten Optikuskompressionen bei Visusverschlechterung können eine unverzüglich eingeleitete Megadosis-Kortisontherapie über 48 Stunden (30 mg Urbason/kg KG i. v. als Bolus und 5,4 mg Urbason/kg KG stündlich über die nachfolgenden 47 Stunden) und/oder eine sofortige chirurgische Optikusdekompression notwendig werden [4, 29, 33, 44].

Bei fachübergreifenden Verletzungen sind unbedingt die entsprechenden Fachdisziplinen in die Behandlungsplanung und Behandlung mit einzubeziehen [45]. Es sollte in Abhängigkeit von der Verletzungsschwere die Reihenfolge der zu treffenden Maßnahmen interdisziplinär festgelegt werden [13, 42, 45].

Literatur

1. Tung T-C, Tseng W-S, Chen C-T, Lai J-P, Chen Y-R. Acute life-threatening injuries in facial fracture patients: a review of 1,025 patients. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2000;49(3):420-4.
2. Austermann K-H. Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde in 5 Bänden: Lehrbuch zur Aus-und Fortbildung in 5 Bänden; Fortsetzung des Standardwerkes von Hofer, Reichenbach, Spreter von Kreudenstein, Wannenmacher. 2. Spezielle Chirurgie: 41 Tabellen: Thieme; 2002.
3. Bootz F. Immediate management of rupture and soft tissue injuries in the area of the head-neck. *HNO*. 1993;41(11):542-52.
4. Perry M, O'Hare J, Porter G. Advanced Trauma Life Support (ATLS) and facial trauma: can one size fit all? Part 3: Hypovolaemia and facial injuries in the multiply injured patient. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2008;37(5):405-14.
5. Heymans O, Nélisten X, Gilon Y, Damme HV, Flandroy P. [Vascular complications after cranio-facial trauma]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 2002;103(5):281-7.
6. Kirichenko M, Mosunov A, Bronnikov N, Astakhov S. Surgical treatment of blood vessel injuries in a trauma center. *Vestnik Khirurgii Imeni II Grekova*. 1983;131(10):88-91.
7. Sparacino LL. Epistaxis management: what's new and what's noteworthy. *Lippincott's Primary Care Practice*. 2000;4(5):498-507.
8. McGarry G, Moulton C. The first aid management of epistaxis by accident and emergency department staff. *Emergency Medicine Journal*. 1993;10(4):298-300.
9. Strachan D, England J. First-aid treatment of epistaxis--confirmation of widespread ignorance. *Postgraduate medical journal*. 1998;74(868):113-4.
10. Hausamen J-E, Schmelzeisen R. Behandlung von Blutungen im Kiefer-und Gesichtsbereich. *Wandel der Chirurgie in unserer Zeit*: Springer; 1993. p. 333-7.
11. Schubert J. *Wundlehre. Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Band 1: Allgemeine Chirurgie*. New York: Georg Thieme Verlag, Stuttgart; 2000. p. 1-26.
12. Tu AH, Giroto JA, Singh N, Dufresne CR, Robertson BC, Seyfer AE, et al. Facial fractures from dog bite injuries. *Plastic and reconstructive surgery*. 2002;109(4):1259-65.
13. Kühne CA, Krueger C, Homann M, Mohr C, Ruchholtz S. [Epidemiology and management in emergency room patients with maxillofacial fractures]. *Mund Kiefer Gesichtschir*. 2007;11(4):201-8.
14. Bruce D. Craniofacial trauma in children. *J Craniomaxillofac Trauma*. 1995;1(1):9-19.
15. Jones 3rd W, Whitaker LA, Murtagh F. Applications of reconstructive craniofacial techniques to acute craniofacial trauma. *The Journal of Trauma*. 1977;17(5):339-43.
16. Merville LC, Diner PA, Blomgren I. Craniofacial trauma. *World J Surg*. 1989;13(4):419-39.
17. Robotti E, Ravegnani M, Bocchiotti G. A new prospect on the approach to open, complex, craniofacial trauma. *Journal of Neurosurgical Sciences*. 1992;36(2):89-99.
18. Stranc MF, Harrison DH. Primary treatment of craniofacial injuries. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 1978;79(5):363-71.
19. Vigneul J, Le Flem P, Princ G. Craniofacial trauma. Value and methods of early treatment. 70 cases (author's transl). *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale*. 1979;80(5):280-98.
20. Marzi I, Mutschler W. Strategie der operativen Versorgung des Polytraumas. *Zentralbl Chir*. 1996;121(11):950-62.
21. Tscherne H, Regel G, Pape H, Pohlemann T, Krettek C. Internal fixation of multiple fractures in patients with polytrauma. *Clinical orthopaedics and related research*. 1998;(347):62-78.
22. Lewandowski B, Brodowski R, Blajer P. Primary management of facial skeleton injuries in patients treated at the maxillofacial surgery ward. *Polski Merkuriusz Lekarski: Organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*. 2000;8(45):136-40.
23. Spauwen PH. [Soft tissue injuries of the face]. *Ned Tijdschr Tandheelkd*. 1997;104(11):421-4.
24. Leach J. Proper handling of soft tissue in the acute phase. *Facial plastic surgery*. 2001;17(04):227-38.

25. Rodriguez ED, Martin M, Bluebond-Langner R, Khalifeh M, Singh N, Manson PN. Microsurgical reconstruction of posttraumatic high-energy maxillary defects: establishing the effectiveness of early reconstruction. *Plastic and reconstructive surgery*. 2007;120(7):103S-17S.
26. Andreasen JO, Bakland LK, Flores MT, Andreasen FM, Andersson L. *Traumatic dental injuries: a manual*: John Wiley & Sons; 2011.
27. Flores MT, Andersson L, Andreasen JO, Bakland LK, Malmgren B, Barnett F, et al. Guidelines for the management of traumatic dental injuries. I. Fractures and luxations of permanent teeth. *Dental traumatology*. 2007;23(2):66-71.
28. Flores MT, Andersson L, Andreasen JO, Bakland LK, Malmgren B, Barnett F, et al. Guidelines for the management of traumatic dental injuries. II. Avulsion of permanent teeth. *Dental traumatology : official publication of International Association for Dental Traumatology*. 2007;23(3):130-6.
29. Booth PW, Eppley B, Schmelzeisen R. *Maxillofacial trauma and esthetic facial reconstruction*: Elsevier Health Sciences; 2016.
30. Gutwald R, Gellrich N, Schmelzeisen R. *Einführung in die zahnärztliche Chirurgie*. Jena: Urban&Fischer Verlag, München; 2003.
31. Dale RA. Dentoalveolar trauma. *Emerg Med Clin North Am*. 2000;18(3):521-38.
32. Yang D, Shi Z. Clinical retrospect on autoimplantation of traumatically dislocated teeth. *Hua xi kou Qiang yi xue za zhi= Huaxi Kouqiang Yixue Zazhi= West China Journal of Stomatology*. 2000;18(6):401-3.
33. Dempf H, Hausamen J. *Gesichtsschädelfrakturen*. Unfallchirurg 1032000.
34. Schierle H, Hausamen J-E. Moderne Prinzipien in der Behandlung komplexer Gesichtsschädelverletzungen. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(5):330-7.
35. S GJ. Complex craniomaxillofacial trauma: evolving concepts in management. A trauma unit's experience—1989 Fraser B. Gurd lecture. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1990;30(4):377-83.
36. Manson P. Management of facial fractures. *Perspect Plast Surg*. 1988;2.
37. Sargent L, Rogers G. Nasoethmoid orbital fractures: diagnosis and management. *The Journal of cranio-maxillofacial trauma*. 1999;5(1):19-27.
38. Bos RR, Jansma J, Vissink A. [Fractures of the midface]. *Ned Tijdschr Tandheelkd*. 1997;104(11):440-3.
39. Kos M, Luczak K, Godzinski J, Rapala M, Klempous J. Midfacial fractures in children. *European journal of pediatric surgery*. 2002;12(04):218-25.
40. Derdyn C, Persing J, Broaddus W, Delashaw J, Jane J, Levine P, et al. Craniofacial trauma: an assessment of risk related to timing of surgery. *Plastic and reconstructive surgery*. 1990;86(2):238-45; discussion 46.
41. Hartel J, Hoppe K. Erfolgsrate in der Behandlung von Mittelgesichtsfrakturen. *Dtsch Z Mund-Kiefer-Gesichts-Chir*. 1991;15:111-5.
42. Weider L, Hughes K, Ciarochi J, Dunn E. Early versus delayed repair of facial fractures in the multiply injured patient. *The American surgeon*. 1999;65(8):790.
43. Schettler D. Zeitpunkt der definitiven Versorgung schwerer Orbita- und Mittelgesichtsverletzungen. *Fortschr Kiefer Gesichtschir*. 1991;36:39-41.
44. Gellrich N-C, Gellrich M-M, Zerfowski M, Eufinger H, Eysel UT. Clinical and experimental study on traumatic optic nerve lesion. *Der Ophthalmologe*. 1997;94(11):807-14.
45. Mathiasen RA, Eby JB, Jarrahy R, Shahinian HK, Margulies DR. A dedicated craniofacial trauma team improves efficiency and reduces cost. *Journal of Surgical Research*. 2001;97(2):138-43.

3.7 Hals

F. Waldfahrer*

3.7.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Sofern zuvor noch keine Intubation oder Tracheotomie erfolgt ist, sollen vor Einleitung einer Intubationsnarkose alle die Atemwege betreffenden Befunde gesichtet und bewertet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.7.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Es sollen Intubationshilfsmittel und ein Koniotomieset zur unmittelbaren Verfügung gehalten werden. „Difficult Airway“-Algorithmen sollen hierbei Beachtung finden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.7.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Eine zuvor ausgeführte Koniotomie soll operativ verschlossen werden, erforderlichenfalls soll eine Tracheotomie vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.7.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Penetrierende Traumen des Ösophagus sollten innerhalb von 24 Stunden einer primär rekonstruktiven Therapie zugeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei einer Beteiligung der oberen Luftwege bei einem Polytrauma ist mit Intubationsschwierigkeiten durch Schwellung, Verlegung und/oder Sekret bzw. Blut zu rechnen.

Bei Trachealeinrissen oder -abrissen oder offenen Trachealverletzungen wird eine chirurgische Exploration mit Anlage eines Tracheostomas oder eine direkte Rekonstruktion empfohlen [1]. Gleiches gilt für Traumen im Bereich des Larynx.

Eine konservative Therapie bei Trachealeinrissen wird kontrovers diskutiert. Bei nicht klaffenden, mit dem Tubus überbrückbaren, kurzstreckigen Läsionen kann eine konservative Therapie überlegt werden [2]. Für eine operativ möglichst früh liegende Rekonstruktion via transzervikalem Zugang,

Thorakotomie oder als Sonderfall einem transzervikal-transtrachealem Zugang sprechen sich die meisten Studien aus. Empfohlen wird die allschichtige Naht mit resorbierbarem Material und Einzelknopfnähten [1, 3-7]. Die Entscheidung, ob eine Tracheotomie im klassischen Sinn, also ein epithelisiertes Tracheostoma, oder eine Punktionstracheotomie zur Anwendung kommt, muss im Einzelfall gefällt werden. Zum einen sind die Ausschlusskriterien für eine Punktionstracheotomie zu beachten, zum anderen die Gefahr einer iatrogenen Verletzung von benachbarten Strukturen [5]. Für das epithelisierte Tracheostoma spricht vor allem die Erleichterung des Kanülenwechsels. Bei Larynxtraumen sollte versucht werden, eine frühzeitige Rekonstruktion herbeizuführen. Literaturstellen, die auf eine rein konservative Behandlung von Larynxtraumen abzielen, finden sich nicht [1, 3-7], insbesondere nicht vor dem Hintergrund der Vermeidung von Stenosen und Stimmstörungen. Neben der Beseitigung von Stenosen und der Deckung von Knorpeldefekten wird die Einlage von mehrwöchig verbleibenden laryngealen Stents, um Stenosen, Strikturen und Webbing zu verhindern, empfohlen [3-5].

Eine elektive Tracheotomie sollte erwogen werden, wenn eine länger dauernde Beatmungstherapie zu erwarten ist. Historische Studien haben gezeigt, dass es bereits nach 48 Stunden orotrachealer Intubation zu irreversiblen Schäden an den Larynx- und Trachealknorpeln kommen kann, wobei der Blutdruck, Tubusmaterialien und der Einsatz vasoaktiver Substanzen wichtige Einflussfaktoren sind. Die kritische Stelle ist vor allem der Ringknorpel; durch moderne Cuffs (Low Pressure High Volume) kann bei gleichzeitigem Monitoring des Cuff-Druckes das Risiko einer Trachealstenose gesenkt werden. Die frühzeitige Tracheotomie dient also vornehmlich dem Zweck, eine Ringknorpelstenose zu vermeiden.

Eine Schädigung des Nervus laryngeus recurrens bzw. des Nervus vagus lässt sich anhand einer Laryngoskopie (direkt und indirekt) oder Stroboskopie durch Beurteilung der Stimmlippenbeweglichkeit am einfachsten erkennen. In der Literatur finden sich keine Hinweise auf eine notfallmäßige operative Therapie einer vermuteten Rekurrensparese im Rahmen eines Polytraumas. Hier steht die Sicherstellung einer ggf. resultierenden Atemwegsstenose durch eine posttraumatische Stimmlippenlähmung im Vordergrund. Studien zu traumatisch induzierten Kehlkopflähmungen finden sich nicht. Die Aussagen basieren auf postoperativen Paresen nach Strumaoperationen. Hier werden widersprüchliche Erfolge bei chirurgischen Dekompressionen und Rekonstruktionen berichtet. Eine erkennbare Besserung der Situation für den Patienten lässt sich aus der Literatur nicht herleiten. Bildgebende Verfahren wie die Computertomografie können, im Anschluss an die endoskopisch zu stellende Funktionsdiagnostik (Laryngoskopie/ Stroboskopie), Hinweise auf die Lokalisation der Schädigung geben [5, 8].

Für im zervikalen Abschnitt des Ösophagus liegende umschriebene Perforationen kann alternativ zur chirurgischen eine konservative Therapie unter Antibiotikaschutz erwogen werden [9]. Eine direkte Naht aller Schichten innerhalb der ersten 24 Stunden bietet laut Fallserien die beste Prognose für den klinischen Verlauf [10, 11]. Intrathorakale Ösophagusverletzungen sollten der Literatur immer einer chirurgischen Therapie zugeführt werden; es finden sich keine Studien, die sich für eine konservative Therapie aussprechen. Für nicht per direkte Naht zugängliche Ösophagusperforationen werden Teilresektionen, ggf. mit Interponaten, empfohlen [4, 10-15], alternativ kann auch eine endoluminale Klebung mit Fibrinkleber erwogen werden. Bei all diesen Empfehlungen ist zu beachten, dass sich keine klinischen Studien, sondern nur Fallserien und Einzelberichte finden.

Dies sollte als chirurgische Rekonstruktion, ggf. mit Interponaten der arteriellen Gefäße, erfolgen. Nicht das Lumen verschließende Verletzungen können aber auch konservativ therapiert werden (z.B. Dissektionen). Eine Rekonstruktion venöser Gefäße soll nicht erfolgen/ist nicht indiziert.

Angiografie, Computertomografie und Duplex- bzw. Dopplersonografie stellen die Untersuchungsverfahren der Wahl bei Verletzungen der Halsgefäße dar [16], dies gilt uneingeschränkt in Zone I und III nach Roon und Christensen [17]. In Zone II wird zusätzlich die chirurgische Exploration empfohlen. Diese wird zwar in der Literatur kontrovers diskutiert, unumstritten ist jedoch, dass hiermit 100% der Defekte erkannt und, falls erforderlich, therapiert werden können [16, 17]. Die größte klinisch kontrollierte Studie findet sich bei Weaver et al. [18] und kommt zu dem Schluss, dass Rekonstruktionen der arteriellen Gefäße das beste Outcome bei penetrierenden Verletzungen bieten. Die Wiederherstellung der arteriellen Strombahn soll in einem Zeitfenster von 120 Minuten erfolgen [19]. Nicht das Lumen verschließende Verletzungen können konservativ unter duplexsonografischer Kontrolle erfolgreich konservativ therapiert werden [18].

Bei Pseudoaneurysmen oder Fisteln besteht neben einem chirurgischen Eingriff auch die Möglichkeit einer neuroradiologischen endovaskulären Therapie [20]. Studien, die sich für die Rekonstruktion verletzter venöser Gefäße aussprechen, finden sich nicht [4].

Literatur

1. Dienemann H, Hoffmann H. Tracheobronchial injuries and fistulas. *Der Chirurg; Zeitschrift für Alle Gebiete der Operativen Medizin*. 2001;72(10):1131-6.
2. Gabor S, Renner H, Pinter H, Sankin O, Maier A, Tomaselli F, et al. Indications for surgery in tracheobronchial ruptures. *European journal of cardio-thoracic surgery*. 2001;20(2):399-404.
3. Donald P. Trachealchirurgie. *Kopf- und Halschirurgie*: Georg Thieme Verlag; 1998.
4. Pitcock J. Traumatologie der Halsweichteile. *Kopf- und Halschirurgie*: Georg Thieme Verlag; 1998. p. 459-75.
5. Welkoborsky H. Verletzungen der Halsregion und der Halswirbelsäule. *Praxis der HNO - Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie*: Georg Thieme Verlag; 2010.
6. Hwang S, Yeak S. Management dilemmas in laryngeal trauma. *The Journal of Laryngology & Otology*. 2004;118(5):325-8.
7. Bell RB, Verschueren DS, Dierks EJ. Management of laryngeal trauma. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. 2008;20(3):415-30.
8. Thermann M, Feltkamp M, Elies W, Windhorst T. Recurrent laryngeal nerve paralysis after thyroid gland operations. Etiology and consequences. *Der Chirurg; Zeitschrift für Alle Gebiete der Operativen Medizin*. 1998;69(9):951-6.
9. Demetriades D, Velmahos GG, Asensio JA. Cervical pharyngoesophageal and laryngotracheal injuries. *World journal of surgery*. 2001;25(8):1044.
10. Eroğlu A, Can Kürkçüoğlu İ, Karaoğlanoğlu N, Tekinbaş C, Yılmaz Ö, Başoğlu M. Esophageal perforation: the importance of early diagnosis and primary repair. *Diseases of the Esophagus*. 2004;17(1):91-4.
11. Kotsis L, Kostic S, Zubovits K. Multimodality treatment of esophageal disruptions. *Chest*. 1997;112(5):1304-9.
12. Lamesch P, Dralle H, Blauth M, Hauss J, Meyer H. Perforation of the cervical esophagus after ventral fusion of the cervical spine. Defect coverage by muscle-plasty with the sternocleidomastoid muscle: case report and review of the literature. *Der Chirurg; Zeitschrift für Alle Gebiete der Operativen Medizin*. 1997;68(5):543-7.
13. Mai C, Nagel M, Saeger H. Surgical therapy of esophageal perforation. A determination of current status based on 4 personal cases and the literature. *Der Chirurg; Zeitschrift für Alle Gebiete der Operativen Medizin*. 1997;68(4):389-94.
14. Strohm PC, Müller CA, Jonas J, Bähr R. [Esophageal perforation. Etiology, diagnosis, therapy]. *Chirurg*. 2002;73(3):217-22.
15. Sung S, Park J, Kim Y, Kim J. Surgery in thoracic esophageal perforation: primary repair is feasible. *Diseases of the Esophagus*. 2002;15(3):204-9.
16. Ginzburg E, Montalvo B, LeBlang S, Nunez D, Martin L. The use of duplex ultrasonography in penetrating neck trauma. *Archives of Surgery*. 1996;131(7):691-3.
17. Roon AJ, Christensen N. Evaluation and treatment of penetrating cervical injuries. *The Journal of trauma*. 1979;19(6):391-7.
18. Weaver FA, Yellin AE, Wagner WH, Brooks SH, Weaver AA, Milford MA. The role of arterial reconstruction in penetrating carotid injuries. *Archives of Surgery*. 1988;123(9):1106-11.
19. Etl S, Hafer G, Mundinger A. Cervical vascular penetrating trauma. *Der Unfallchirurg*. 2000;103(1):64-7.
20. Diaz-Daza O, Arraiza FJ, Barkley JM, Whigham CJ. Endovascular therapy of traumatic vascular lesions of the head and neck. *Cardiovascular and interventional radiology*. 2003;26(3):213-21.

3.8 Obere Extremitäten

K. Horst*, H. Andruszkow, M. Frink, P. Lechler, T. Lustenberger, F. Hildebrand

3.8.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die operative Versorgung von Frakturen langer Röhrenknochen der oberen Extremitäten sollte frühzeitig erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei polytraumatisierten Patienten liegen häufig Verletzungen der oberen Extremität vor [1, 2]. Prospektive vergleichende Studien zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für die operative Versorgung von Frakturen langer Röhrenknochen der oberen Extremität bei polytraumatisierten Patienten existieren zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht. Dementsprechend orientieren sich die folgenden Angaben an Studien, die entweder Schaftfrakturen der unteren Extremität beim Polytrauma analysieren oder aus dem Gesamtkollektiv der polytraumatisierten Patienten, die Subpopulation mit Frakturen der langen Röhrenknochen der oberen Extremität auswerten.

Schwere Verletzungen der Extremitäten führen zu einer Zunahme der operativen Maßnahmen und einer prolongierten Therapiedauer [1]. Schaftfrakturen der oberen Extremität sollen frühzeitig, möglichst direkt im Anschluss an die kardiorespiratorische Stabilisierung, operativ versorgt werden [3]. Bestehen Bedenken gegen eine primäre interne Fixation, stellt der Fixateur externe, in Ausnahmefällen auch die primäre Gipsbehandlung und der spätere Verfahrenswechsel, eine Alternative dar [4]. Auch gelenknahe Frakturen können nach initialer Stabilisierung mittels Fixateur externe oder ggf. Gipsbehandlung geplant sekundär unter der Berücksichtigung von Frakturtyp und additiven Verletzungen versorgt werden [5].

Die operative Versorgung offener Frakturen beinhaltet zum einen die stabilisierenden Maßnahmen und zum anderen das simultane Weichteildébridement. Diese Maßnahmen sollten möglichst innerhalb der ersten 6 Stunden stattfindenden. Das Verfahren zur Stabilisierung (temporär vs. definitiv) ist dabei abhängig vom Gesamtzustand des Patienten und dem Schweregrad der Weichteilverletzung.

In der Hierarchie der Dringlichkeit der Versorgung besteht allerdings auch eine Abhängigkeit vom Vorliegen anderer Frakturen. So liegt im Allgemeinen die Priorität der Frakturen der oberen Extremität bei polytraumatisierten Patienten nach der Versorgung von Verletzungen des Torso und ggf. der unteren Extremität, aber vor komplexen Gelenkrekonstruktionen, sowie der definitiven Behandlung von maxillofazialen Verletzungen und Weichteilrekonstruktionen. Spezifische Begleitfaktoren (z.B. Vorliegen einer offenen Fraktur) können eine Modifizierung dieses Behandlungsablaufs nötig machen [4].

Vergleichende Studien, die sich spezifisch mit der geeignetsten Operationsverfahrens bei Frakturen der oberen Extremität beim polytraumatisierten Patienten beschäftigen, liegen ebenso nicht vor. Da der polytraumatisierte Patient jedoch zusammen mit isolierten Verletzungen in heterogene Gruppen von Patienten mit Frakturen langer Röhrenknochen der oberen Extremität eingeschlossen wird, erfolgt

in der Regel der Analogieschluss aus der Gesamtheit dieser Population. Große Studien mit entsprechend hohem Evidenzniveau liegen aber auch hier nicht vor [6].

Bei der Versorgung von Frakturen der oberen Extremität bei polytraumatisierten Patienten steht die zügige und sichere Stabilisierung der Fraktur im Vordergrund. Innerhalb dieses Kontextes werden die Wertigkeit von Marknagelung und Plattenosteosynthese kontrovers diskutiert. Hierbei erscheint aber die Sicherheit des Chirurgen in der Beherrschung des jeweiligen Verfahrens wichtiger zu sein als die beschriebenen verfahrensspezifischen Vor- und Nachteile [5, 7-14]. Bei metaphysären Frakturen an Radius und Ulna kommen inzwischen auch spezifische intramedulläre Verfahren zum Einsatz; aussagefähige Studien zu deren Verwendung bei polytraumatisierten Patienten liegen nicht vor [15].

3.8.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Entscheidung zur Amputation oder zum Extremitätenerhalt bei Schwereverletzung der oberen Extremität sollte als Individualentscheidung vorgenommen werden. Hierbei spielen der lokale und allgemeine Zustand des Patienten die entscheidende Rolle.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.8.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	In seltenen Fällen und bei extrem schweren Verletzungen kann eine Amputation empfohlen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei subtotalen Amputationsverletzungen sollten ggf. auch unter Verkürzung der Extremität die Frakturstabilisierung und die Rekonstruktion von Nerven, Gefäßen und Weichteilen nach der Reanimationsphase und Versorgung vitaler Verletzungen sofort erfolgen. Bei totalen Amputationsverletzungen entscheiden die Verfügbarkeit und der Zustand der verlorenen Extremität über die Durchführung einer Replantation oder der definitiven Amputation zur Schaffung eines vitalen Stumpfes. Auch stark verschmutzte, hochgradig offene Frakturen stellen per se keine Indikation zur primären Amputation beim polytraumatisierten Patienten dar [16]. Hier stehen Stabilisierung und Débridement im Vordergrund [16, 17]. In der Literatur sind hierzu im Wesentlichen nur Kasuistiken vorhanden [18].

3.8.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die operative Versorgung von Gefäßverletzungen sollte, sofern es die Schwere der Gesamtverletzung zulässt, frühestmöglich, d. h. direkt nach Behandlung der vital bedrohenden Verletzungen, erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Wiederherstellung einer adäquaten Perfusion der verletzten Extremität stellt auch beim polytraumatisierten Patienten einen zu priorisierenden Behandlungsschritt dar. Dies beruht auf der Erkenntnis, dass die Dauer der Ischämie als der entscheidende, chirurgisch zu beeinflussende Faktor

hinsichtlich eines schlechten Outcomes der betroffenen Extremität nachgewiesen wurde [19-21]. Bei jenen Verletzungen, die im Zusammenhang mit der Gefäßverletzung eine sekundäre Amputation erforderten, überschritt in 51,8% der Fälle die Ischämiezeit 6 Stunden, bei 81,4% lag ein hochgradiger Weichteilschaden und bei 85,2% eine drittgradig offene Fraktur vor [21].

Bei vitaler Gefährdung gilt es, im Sinne einer Einzelfallentscheidung rekonstruktive Eingriffe ggfs. zurückzustellen. Hierzu liegen wissenschaftlich aufgrund geringer Fallzahlen jedoch lediglich einzelne Fallserien vor [19-21].

Ein palpatorisch fehlender Pulsnachweis der betroffenen Extremität kann ein entscheidender Hinweis auf eine frakturassoziierte, aber auch isolierte Gefäßverletzung sein [21]. Doppler- und Duplexsonografie können die weitere Diagnostik ergänzen, sind jedoch als nicht sensitiv genug beschrieben, um eine Gefäßverletzung sicher auszuschließen [21]. Vielmehr wird die Empfehlung zur Durchführung einer zeitnahen, präoperativen Angiografie bei geringstem Verdacht einer Gefäßverletzung ausgesprochen [21].

3.8.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Verletzungen mit Nervenbeteiligung sollten in Abhängigkeit von der Art des Nervenschadens zusammen mit der Stabilisierung versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die adäquate Evaluation potentieller nervaler Läsionen ist erschwert, da polytraumatisierte Patienten bei Einlieferung in der Klinik häufig intubiert und beatmet sind. Zudem ist eine dezidierte Untersuchung bezüglich der Sensibilität und Motorik der frakturierten oberen Extremität am Unfallort oft nicht adäquat durchführbar. Auch aus diesen Gründen liegt die in der Literatur beschriebene Inzidenz peripherer, frakturbegleitender Nervenläsionen der oberen Extremität zwischen 1% und 18% [22, 23].

Sofern es sich nicht lediglich um eine Dekompression im Rahmen der Frakturversorgung handelt, ist eine Rekonstruktion peripherer Nervenläsionen im Bereich langer Röhrenknochen der oberen Extremität als zeitaufwendig und komplex zu erachten. Daher ist eine geplante operative Versorgung im stabilen Umfeld zu priorisieren [24-28]. Konsekutiv ist ein solches Therapiekonzept in das primäre Management polytraumatisierter Patienten nur in Ausnahmefällen zu integrieren. Dies ist nicht nur für die Verletzung einzelner peripherer Nerven, sondern auch für obere Plexusläsionen anzustreben [24-28]. Wissenschaftlich liegen diesbezüglich aufgrund geringer Fallzahlen jedoch nur einzelne Fallserien vor, die sich nicht auf polytraumatisierte Patienten fokussieren. Hinsichtlich des Outcomes ist zu berücksichtigen, dass dieses multifaktoriell und nicht ausschließlich durch den Operationszeitpunkt determiniert wird [29].

Kompartmentsyndrome im Zusammenhang mit Frakturen langer Röhrenknochen an der oberen Extremität sind selten. Aufgrund der deletären Folgen innerhalb weniger Stunden erfordert dieses Krankheitsbild aber die rasche Dekompression im Rahmen der Frakturstabilisierung. Dies gilt sowohl für polytraumatisierte Patienten als auch bei Einzelverletzungen und sollte schnellstmöglich nach Trauma bzw. Diagnose des Kompartmentsyndroms erfolgen. Die Prognose ist hierbei von der Gesamtheit der Verletzungen abhängig. So wurde in diesem Zusammenhang ein besseres Outcome bei isoliertem Kompartmentsyndrom ohne Fraktur nachgewiesen [30, 31]. Dennoch stützt sich die Aussage zum raschen Handeln weniger auf spezifische Studien zum Kompartmentsyndrom der oberen

Extremität beim Polytrauma als vielmehr auf den Erfahrungswert der Traumaversorgung an der unteren Extremität.

Beim pädiatrischen Polytrauma stellen Frakturen mit Beteiligung der Epiphysenfugen eine dringliche operative Indikation nach Stabilisierung der Vitalfunktionen dar. Schaftfrakturen langer Röhrenknochen werden häufig mittels elastischer Markraumschienung außerhalb der Epiphysenfugen fixiert [32], die Anlage eines Fixateur externe stellt eine anerkannte operative Alternative dar. Insbesondere bei offener Fraktursituation sowie Trümmerfrakturen sind gute Heilungsergebnisse nach Anwendung externer Fixateure beschrieben [33]. Es bleibt jedoch zu berücksichtigen, dass die wissenschaftlich beschriebenen Fallzahlen diesbezüglich sehr klein sind [33, 34]. Grundsätzlich wird daher empfohlen, das operative Konzept auf das Alter des Kindes als auch auf die Begleitverletzungen abzustimmen [35, 36]. Hierzu liegen aufgrund geringer Fallzahlen lediglich einzelne Fallserien vor, welche sich nicht exklusiv auf das Polytrauma beschränken.

Literatur

1. Banerjee M, Bouillon B, Shafizadeh S, Paffrath T, Lefering R, Wafaisade A, et al. Epidemiology of extremity injuries in multiple trauma patients. *Injury*. 2013;44(8):1015-21.
2. Rubin G, Peleg K, Givon A, Israel Trauma G, Rozen N. Upper extremity fractures among hospitalized road traffic accident adults. *The American journal of emergency medicine*. 2015;33(2):250-3.
3. Rommens PM, Vansteenkiste F, Stappaerts KH, Broos PL. [Indications, dangers and results of surgical treatment of humeral shaft fractures]. *Der Unfallchirurg*. 1989;92(12):565-70.
4. Tscherne H, Regel G, Pape HC, Pohlemann T, Krettek C. Internal fixation of multiple fractures in patients with polytrauma. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(347):62-78.
5. Bleeker WA, Nijsten MW, ten Duis HJ. Treatment of humeral shaft fractures related to associated injuries. A retrospective study of 237 patients. *Acta Orthop Scand*. 1991;62(2):148-53.
6. Nast-Kolb D, Knoefel WT, Schweiberer L. [The treatment of humeral shaft fractures. Results of a prospective AO multicenter study]. *Der Unfallchirurg*. 1991;94(9):447-54.
7. Bell MJ, Beauchamp CG, Kellam JK, McMurtry RY. The results of plating humeral shaft fractures in patients with multiple injuries. The Sunnybrook experience. *J Bone Joint Surg Br*. 1985;67(2):293-6.
8. Blum J, Rommens PM, Janzing H, Langendorff HS. [Retrograde nailing of humerus shaft fractures with the unreamed humerus nail. An international multicenter study]. *Der Unfallchirurg*. 1998;101(5):342-52.
9. Bonnaire F, Seif El Nasr M. Indikation und Technik der Plattenosteosynthese am Oberarmschaft. *Aktuelle Traumatol*. 1997;27:86-90.
10. Brumback RJ, Bosse MJ, Poka A, Burgess AR. Intramedullary stabilization of humeral shaft fractures in patients with multiple trauma. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1986;68(7):960-70.
11. Idoine JD, 3rd, French BG, Opalek JM, DeMott L. Plating of acute humeral diaphyseal fractures through an anterior approach in multiple trauma patients. *J Orthop Trauma*. 2012;26(1):9-18.
12. Rommens PM, Blum J, Runkel M. Retrograde nailing of humeral shaft fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(350):26-39.
13. Rommens PM, Verbruggen J, Broos PL. Retrograde locked nailing of humeral shaft fractures. A review of 39 patients. *J Bone Joint Surg Br*. 1995;77(1):84-9.
14. Vander Griend R, Tomasin J, Ward EF. Open reduction and internal fixation of humeral shaft fractures. Results using AO plating techniques. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1986;68(3):430-3.
15. Gao H, Luo CF, Zhang CQ, Shi HP, Fan CY, Zen BF. Internal fixation of diaphyseal fractures of the forearm by interlocking intramedullary nail: short-term results in eighteen patients. *J Orthop Trauma*. 2005;19(6):384-91.
16. Kumar AR, Grewal NS, Chung TL, Bradley JP. Lessons from the modern battlefield: successful upper extremity injury reconstruction in the subacute period. *J Trauma*. 2009;67(4):752-7.
17. Levin LS, Goldner RD, Urbaniak JR, Nunley JA, Hardaker WT, Jr. Management of severe musculoskeletal injuries of the upper extremity. *J Orthop Trauma*. 1990;4(4):432-40.
18. Kaleli T, Ozerdemoglu RA. Traumatic forearm amputation with avulsions of the ulnar and median nerves from the brachial plexus. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1998;118(1-2):119-20.
19. Karas EH, Strauss E, Sohail S. Surgical stabilization of humeral shaft fractures due to gunshot wounds. *Orthop Clin North Am*. 1995;26(1):65-73.
20. Richter A, Silbernig D, Oestreich K, Karaorman M, Storz LW. [Peripheral vascular injuries in polytrauma]. *Der Unfallchirurg*. 1995;98(9):464-7.
21. Schlickewei W, Kuner EH, Mullaji AB, Gotze B. Upper and lower limb fractures with concomitant arterial injury. *J Bone Joint Surg Br*. 1992;74(2):181-8.
22. Bercik MJ, Kingsbery J, Ilyas AM. Peripheral nerve injuries following gunshot fracture of the humerus. *Orthopedics*. 2012;35(3):e349-52.

23. Saadat S, Eslami V, Rahimi-Movaghar V. The incidence of peripheral nerve injury in trauma patients in Iran. *Ulusal travma ve acil cerrahi dergisi = Turkish journal of trauma & emergency surgery : TJTES*. 2011;17(6):539-44.
24. Dabezies EJ, Banta CJ, 2nd, Murphy CP, d'Ambrosia RD. Plate fixation of the humeral shaft for acute fractures, with and without radial nerve injuries. *J Orthop Trauma*. 1992;6(1):10-3.
25. Kwasny O, Maier R. [The significance of nerve damage in upper arm fractures]. *Der Unfallchirurg*. 1991;94(9):461-7.
26. Nast-Kolb D, Ruchholtz S, Schweiberer L. Die Bedeutung der Radialisparese für die Wahl des Behandlungsverfahrens der Humerusschaftfraktur. *Aktuelle Traumatol*. 1997;27:100-4.
27. Pollock FH, Drake D, Bovill EG, Day L, Trafton PG. Treatment of radial neuropathy associated with fractures of the humerus. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1981;63(2):239-43.
28. Sonneveld GJ, Patka P, van Mourik JC, Broere G. Treatment of fractures of the shaft of the humerus accompanied by paralysis of the radial nerve. *Injury*. 1987;18(6):404-6.
29. Hundepool CA, Ultee J, Nijhuis TH, Houpt P, Research Group Z, Hovius SE. Prognostic factors for outcome after median, ulnar, and combined median-ulnar nerve injuries: a prospective study. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*. 2015;68(1):1-8.
30. Schmidt U, Tempka A, Nerlich M. [Compartment syndrome of the forearm]. *Der Unfallchirurg*. 1991;94(5):236-9.
31. Wippermann B, Schmidt U, Nerlich M. [Results of treatment of compartment syndrome of the upper arm]. *Der Unfallchirurg*. 1991;94(5):231-5.
32. Verstreken L. [Orthopedic treatment of the child with multiple injuries and its current progress]. *Acta Chir Belg*. 1990;90(4):177-84.
33. Bennek J. The use of upper limb external fixation in paediatric trauma. *Injury*. 2000;31 Suppl 1:21-6.
34. Schranz PJ, Gultekin C, Colton CL. External fixation of fractures in children. *Injury*. 1992;23(2):80-2.
35. Machan FG, Vinz H. [Humeral shaft fracture in childhood]. *Unfallchirurgie*. 1993;19(3):166-74.
36. Von Laer L. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter*. Stuttgart, New York: Thieme; 1996.

3.9 Hand

M. Schädel-Höpfner*, F. Siemers

3.9.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Geschlossene Frakturen und Luxationen sollten in der ersten OP-Phase vorzugsweise konservativ behandelt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 90%	

3.9.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Luxationen sollen in der ersten OP-Phase reponiert und retiniert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

75% der Handverletzungen beim Polytrauma sind geschlossene Frakturen [1, 2]. Prinzipiell sind geschlossene Frakturen und Luxationen ohne größeren Aufwand nach klinischen Kriterien zu reponieren und mit einfachen Mitteln (Gips, Schienen) ruhigzustellen. Jedoch ist bei instabilen, stark dislozierten Frakturen des distalen Radius, der Mittelhand und der Phalangen nach geschlossener Reposition die primäre Stabilisierung über einen Fixateur externe und Kirschner-Drähte angezeigt.

In der Sekundärphase (5.–12. Tag) sind folgende Verletzungen definitiv operativ zu versorgen: instabile und in nichttolerablen Fehlstellungen verbliebene Frakturen, im Rahmen der ersten OP-Phase temporär versorgte Bandverletzungen und Frakturen.

Luxationen der Fingergelenke stellen für die Prognose der Handfunktion bedeutsame Verletzungen dar. Prinzipiell soll die Reposition umgehend erfolgen [3, 4]. Ist eine geschlossene Reposition nicht möglich, soll die Reposition in der ersten OP-Phase offen erfolgen. Nach primär erfolgreicher Reposition kann eine stabile, geschlossene Fingergelenkluxation ohne artikuläre Fraktur konservativ behandelt werden [3, 5-12].

3.9.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei offenen Frakturen und Luxationen sollten ein primäres Débridement und eine Stabilisierung durch Drähte oder Fixateur externe erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Offene Frakturen und Luxationen sind in der ersten OP-Phase zu versorgen. Dabei entspricht das prinzipielle Vorgehen dem üblichen Prozedere bei offenen knöchernen Verletzungen (Verbandöffnung erst im OP, Wundreinigung, Débridement, Spülung, Frakturstabilisierung, Weichteilrekonstruktion). Die Frakturstabilisierung mit dem Fixateur externe oder mit Kirschner-Drähten ist einer

zeitaufwendigen primär definitiven Osteosynthese (Platten, Schrauben) vorzuziehen [13-18]. Wundspülung und sorgfältiges Débridement tragen entscheidend zur Infektvermeidung bei [19, 20]. Die Durchführung eines Second Look nach 2–3 Tagen ist abhängig vom primären lokalen Verletzungsmuster und von der klinischen Situation [19].

3.9.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei perilunärer/n Luxation/sfrakturen soll die Reposition in der ersten OP-Phase, erforderlichenfalls offen, vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 94%	

Die Langzeitergebnisse nach perilunären Luxationen/Lunatumluxationen hängen von der frühzeitigen Diagnosestellung und der korrekten Behandlung ab. Die Reposition der dislozierten Carpalia ist in der ersten OP-Phase frühzeitig geschlossen oder, falls dies nicht möglich ist, offen vorzunehmen. Nach primär geschlossener oder offener Reposition soll eine Stabilisierung durch Kirschner-Drähte und/oder einen Fixateur externe vorgenommen werden [21-24].

Die definitive offene Reposition, interne Fixation durch Bohrdrähte und/oder Rekonstruktion der rupturierten Ligamente sind in der Sekundärphase vorzunehmen. Frakturen im Rahmen perilunärer Luxationsverletzungen sind mit Schrauben oder Bohrdrähten osteosynthetisch zu versorgen [22, 25, 26]. Während die Verletzungsmorphologie (Verlauf der Fraktur- und Luxationslinie, Ausmaß der Dislokation) für das klinische und radiologische Langzeitergebnis nicht wesentlich ist, stellen die Zeit bis zur Diagnosestellung und die Exaktheit und Retention der Reposition relevante Prognosefaktoren dar [21, 22].

Amputationsverletzungen

3.9.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Indikationsstellung zur Replantation soll sich an der Gesamtverletzungsschwere nach dem Grundsatz „life before limb“ orientieren.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.9.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Dabei (Indikationsstellung) sollten der Lokalbefund und patientenabhängige Faktoren berücksichtigt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Replantationen im Handbereich sind bei Polytraumatisierten möglich und sinnvoll, sofern ein Schweregrad I–II (Polytrauma Score [PTS]) vorliegt [27, 28]. Allerdings ist die Indikation zur Replantation bei allen lebensbedrohlich Verletzten eng zu stellen, da die Operationszeit erheblich verlängert und die Morbidität vermehrt wird [29, 30].

Als negative Prädiktoren gelten Crush- oder Avulsionsverletzungen, starke Kontamination, warme Ischämie über 12 Stunden bzw. kalte Ischämie über 24 Stunden, Arteriosklerose und Rauchen [29-39]. Bei Replantationen in Höhe des Handgelenkes und proximal davon kann die 30 Minuten nach Reperfusion im Amputat gemessene Serum-Kalium-Konzentration als Prognoseindikator genutzt werden (kritischer Wert 6,5 mmol/l) [40].

3.9.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Wie auch bei isolierten Handverletzungen sollte eine Replantation besonders bei Verlust des Daumens, mehrerer Finger oder bei Amputation in Höhe von Mittelhand/Handwurzel/Handgelenk sowie bei allen kindlichen Amputationsverletzungen angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Vorrangig indiziert sind Replantationen bei Amputationen des Daumens, mehrerer Finger, der Mittelhand und des Handgelenkes [29, 30, 34, 36, 37, 41-43]. Revaskularisationen weisen eine etwas günstigere Prognose auf, da noch vorhandene Gewebebrücken den venösen Abstrom oft verbessern [44, 45].

Sofern es der Allgemeinzustand erlaubt, ist bei Kindern die Indikation zur Replantation weiter zu stellen, da gute funktionelle Resultate erwartet werden können [36, 44, 46-48]. Dabei gelten glattrandige Abtrennungen und ein Körpergewicht über 11 kg als positive Prädiktoren [49]. Die Finger von Kindern tolerieren deutlich längere Ischämiezeiten als die Erwachsener [50].

3.9.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Einzelne Finger sollten bei Amputation proximal des Superficialis-Sehnenansatzes (Mittelgliedbasis) nicht replantiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 95%	

Die Amputationshöhe eines Fingers ist entscheidend für die Indikationsstellung zur Replantation. Bei Amputationen eines einzelnen Fingers proximal des Superficialis-Sehnenansatzes ist wegen des zu erwartenden schlechten funktionellen Resultats als Folge der starken Bewegungseinschränkung keine Replantation angezeigt [33, 38, 43]. Dagegen sind bei weiter distal gelegenen Amputationen Replantationen sinnvoll, sofern eine Rekonstruktion dorsaler Venen möglich ist. Am distalen Endglied können auch ohne venöse Rekonstruktion gute Ergebnisse erzielt werden [35, 36, 51-55].

Komplexverletzung der Hand

3.9.9	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Die Entscheidung zur Durchführung aufwendiger Erhaltungsversuche an der Hand ist eine Individualentscheidung. Sie soll die Gesamtverletzungsschwere und die Schwere der Handverletzung berücksichtigen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 95%	

Beim Vorliegen komplexer Handverletzungen mit Beteiligung von Knochen, Sehnen, Nerven und Haut müssen die durch die Rekonstruktion bedingten zusätzlichen Belastungen des Patienten gegen die Erfolgsaussichten und den zu erwartenden funktionellen Gewinn abgewogen werden. Aufwendige Erhaltungsversuche im Handbereich sind nur bei den PTS-Schweregraden I und II indiziert [28]. Grundsätzlich soll die Indikationsstellung für oder gegen den Erhalt der Hand die individuellen Umstände des einzelnen Patienten berücksichtigen. Als zusätzliche Entscheidungshilfe kann dabei der MESS (Mangled Extremity Severity Score) dienen, welcher ursprünglich für die untere Extremität entwickelt wurde. In pro- und retrospektiven Studien konnte auch für die obere Extremität bei einem MESS-Wert von mindestens 7 Punkten ein positiver Vorhersagewert von 100% für eine Amputation ermittelt werden [56-58].

3.9.10	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	In der ersten OP-Phase sollten Débridement und knöcherner Stabilisierung durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Das Débridement und die Stabilisierung des Handskeletts haben bei einer offenen Verletzung Vorrang, während die Nerven-, Sehnen- und Hautrekonstruktion zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen kann [15, 17, 59-61]. Zeitaufwendige definitive Rekonstruktionen der Weichteilstrukturen sind in der Sekundärphase vorzunehmen. Die Vor- und Nachteile (Zeitaufwand, operative Traumatisierung, Übungsstabilität) von Bohrdrahtosteosynthesen sind gegen die von stabilen Osteosynthesen durch Platten und Schrauben abzuwägen [59, 62, 63].

Haut-/Weichteilverletzung inklusive thermischer/chemischer Schädigung

Im Rahmen der ersten OP-Phase ist ein Débridement avitaler und verschmutzter Gewebeanteile vorzunehmen [18, 63]. Das Feuchthalten der Wundflächen und tiefer liegender Strukturen mittels geeigneter Verbandstechniken ist wichtiger als der Versuch einer plastischen Weichteildeckung im Rahmen der Erstversorgung [15].

Beim Vorliegen sauberer und infektfreier Wunden sollte in der Sekundärphase (5.–12. Tag) die definitive Defektdeckung vorgenommen werden. Dabei sollte dem Verfahren der Vorzug gegeben werden, dass mit den geringsten Belastungen für den Patienten die größten Aussichten auf eine stabile Defektrekonstruktion bietet [64, 65].

3.9.11	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Erstbehandlung ausgedehnter Haut-Weichteil-Schäden sollte ein gründliches Débridement mit anschließendem Feuchthalten der nicht primär verschließbaren Wundflächen beinhalten.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.9.12	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Thermisch/chemisch geschädigte, vollständig avitale Hautareale sollten initial débridiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.9.13	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei tiefreichender und großflächiger thermischer/chemischer Schädigung sollte eine Escharotomie analog zum Vorgehen beim Kompartmentsyndrom durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Thermische Verletzungen im Bereich der Hände bedürfen eines initialen Débridements unter Entfernung aller sicher avitalen Areale. Hierdurch lässt sich eine erste Einschätzung der Verletzungstiefe (Grad 1 bis Grad 3) vornehmen.

Die Frage, ob Blasen bei oberflächlich dermalen Läsionen (Grad 2a) abgetragen werden sollen, wird kontrovers diskutiert [66, 67]. Befürworter des Belassens von Brandblasen postulieren, dass die Blasenflüssigkeit ein für die Wundheilung vorteilhaftes Wundmilieu erhält. Darüber hinaus soll die Schmerzintensität geringer sein und Prozesse wie Zellproliferation und Angiogenese werden unterstützt [68, 69]. In den meisten deutschsprachigen Brandverletztenzentren werden die Blasen im Rahmen der initialen Behandlung bei Aufnahme abgetragen. Grund hierfür ist die hohe Konzentration proinflammatorischer Zytokine im Blaseninhalt, die zu einer verzögerten Wundheilung führen kann. Die proteinreiche Flüssigkeit in den Blasen bietet darüber hinaus einen guten Nährboden für bakterielles Wachstum [70, 71].

Darüber hinaus können nach einem umfangreichen initialen Débridement, Zirkulationsstörungen besser erkannt und entsprechend behandelt werden. Liegen tiefergradige, zirkuläre thermische Läsionen im Bereich der Hände vor, ist eine Perfusionsstörung zu befürchten. Eine umgehende Fasziotomie sollte durchgeführt werden (Technik siehe Abschnitt zum Kompartmentsyndrom).

Nach Abschluss der ersten operativen Maßnahmen erfolgt die Anlage eines antiseptischen Verbandes. Bevorzugt kommen Feuchtverbände mit klaren, antiseptischen Substanzen (z.B. Octenisept, Polyhexanid) zum Einsatz.

Bei sicher oberflächlich dermalen Läsionen (Grad 2a) können nach den ersten therapeutischen Maßnahmen Hydrokolloid-, PU-Schaum- oder Membranverbände aufgebracht werden. Unter Anwendung dieser biosynthetischen Verbandanordnungen kommt es u.a. aufgrund der vitalen Hautanhangsgebilde zu einer Reepithelialisierung innerhalb von zwei Wochen. Unterschiedliche Verbandanordnungen, die den Regenerationsprozess unterstützen sind bekannt [72].

Die Entscheidung für die Anlage dieser Verbandanordnungen kann allerdings auch im Rahmen einer Reevaluation, 24 Stunden nach der Erstversorgung, getroffen werden.

Auf die Verwendung von Silbersulfadiazin-Creme sollte bei oberflächlichen (Grad 2a) und tiefdermalen (Grad 2b) thermischen Verletzungen verzichtet werden. Neben der Beeinträchtigung der

Tiefenbestimmung zeigt das Ergebnis einer Metaanalyse schlechtere Ergebnisse für die Wundheilung bei der Verwendung von Silbersulfadiazin-Creme [73].

Sicher drittgradige Areale, also Bereiche, die mit weiterführenden operativen Maßnahmen im Verlauf behandelt werden müssen, können initial mit Silbersulfadiazin-Creme versorgt werden.

Nach Abschluss der ersten operativen Maßnahmen ist eine Hochlagerung der Extremitäten zur Ödemprophylaxe sinnvoll.

Sehnenverletzungen (Beugesehnen, Strecksehnen)

3.9.14	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Aufwendige Sehnennähte sollten nicht primär durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 94%	

Ob eine Beugesehnenrekonstruktion primär oder verzögert primär („delayed primary suture“) versorgt werden sollte, wird kontrovers diskutiert [74-81]. Bei polytraumatisierten Patienten können jedoch aufwendige Sehnennähte in der Sekundärphase (5.–7. Tag) erfolgen, ohne dass Nachteile zu erwarten sind [18, 60, 63, 79, 80, 82, 83]. Nachteilig sind dagegen sogenannte sekundäre Beugesehnenrekonstruktionen (nach Wochen) [84].

Für den Zeitplan der Rekonstruktion von Strecksehnenverletzungen gelten prinzipiell die gleichen Empfehlungen wie für die Beugesehnenverletzungen. Allerdings können das Ausmaß der Schädigung des Weichteilmantels und offene Gelenkverletzungen eine primär definitive Versorgung erforderlich machen [85, 86].

Welche Beugesehnenrekonstruktionstechnik zur Anwendung kommen sollte, hängt von der Präferenz des Operateurs ab, da die individuelle Erfahrung und Durchführung entscheidender sind als die Wahl der Nahttechnik [80].

Bei Durchtrennung beider Beugesehnen wird eine Rekonstruktion beider Sehnen favorisiert [60, 65, 74, 75, 77-81]. Jedoch wird in Zone 2 wegen besserer funktioneller Ergebnisse die alleinige Rekonstruktion der Profundusehne von verschiedenen Autoren bevorzugt [76, 87, 88]. Zudem konnte in einer prospektiv randomisierten Studie nachgewiesen werden, dass in Zone 2 (Tang-Subdivision 2C) insbesondere bei verzögert primärer Versorgung die Resektion der oberflächlichen Beugesehne und die alleinige Rekonstruktion der tiefen Beugesehne zu bevorzugen sind [89]. Deshalb soll in der Zone 2 insbesondere bei der verzögerten primären Beugesehnenrekonstruktion nur die Profundusehne rekonstruiert werden.

Eine routinemäßige Antibiotikagabe ist auch bei verzögert primärer Beugesehnenrekonstruktion nicht angezeigt. Stone und Davidson [82] konnten in einer retrospektiven Kohortenstudie zeigen, dass der Verzicht auf eine Antibiotikagabe bei primärer oder verzögert primärer Beugesehnenrekonstruktion das Risiko des Auftretens von Infektionen nicht erhöht [82]. Vielmehr ist die Gabe von Antibiotika beim Polytraumatisierten vom Vorliegen anderer Verletzungen oder vom Auftreten von infektiösen Komplikationen abhängig.

Nervenverletzungen der Hand

3.9.15	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei vermuteten geschlossenen Nervenverletzungen kann auf aufwendige diagnostische Maßnahmen oder operative Freilegungen primär verzichtet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Geschlossene Nervenschäden an der Hand sind Folge der Einwirkung von Druck- oder Dehnungskräften. Eine Kontinuitätsunterbrechung der Nerven ist nicht zu erwarten. Deshalb ist eine primäre operative Revision hier nicht angezeigt. Ausnahmen stellen lediglich nervale Läsionen bei Frakturen oder Luxationen dar, bei denen im Rahmen der operativen Versorgung der Skelettverletzung der Nerv aufgesucht und dekomprimiert werden kann. Somit besteht auch keine Notwendigkeit zur Durchführung aufwendiger diagnostischer Maßnahmen, um vermutete Läsionen schon beim bewusstlosen Patienten aufzudecken [63]. Die Entwicklung der klinischen Symptomatik und neurophysiologischer Parameter bleibt abzuwarten.

3.9.16	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die operative Rekonstruktion offener Nervenverletzungen sollte als verzögerte primäre Naht durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 90%	

Offene Nervenverletzungen bedürfen einer zeitaufwendigen mikrochirurgischen Rekonstruktion. Durch die initiale Nervenwiederherstellung soll das bestmögliche Ergebnis erreicht werden [90]. Deshalb sind diese Eingriffe als „delayed primary surgery“ in der Sekundärphase am 5.–7. Tag vorzunehmen [18, 83, 91]. Eine spätere, sekundäre Rekonstruktion führt zu schlechteren Ergebnissen [92-96]. Es ist hilfreich, im Rahmen der Erstoperation die Nervenstümpfe zu identifizieren und atraumatisch zu markieren [63].

Kompartmentsyndrom

3.9.17	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei klinischem Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom der Hand kann eine apparative Druckmessung vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 95%	

Die frühzeitige Diagnosestellung bei Vorliegen eines Kompartmentsyndroms ist entscheidend, da in diesem Fall spätestens nach acht Stunden irreversible Schäden für Muskulatur und Nerven daraus resultieren [97]. Die Diagnose wird primär nach klinischen Kriterien gestellt [98, 99]. Eine normale Farbe und Temperatur der Finger sowie das Vorhandensein distaler Pulse [97, 98, 100-103] schließen

ein Kompartmentsyndrom nicht aus. Das Leitsymptom „Schmerz“, schmerzprovozierende Muskeldehnungs- und Sensibilitätstests sind beim in der Regel bewusstlosen oder analgosedierten Polytraumatisierten nicht verwendbar. Sofern ein Kompartmentsyndrom nicht schon klinisch diagnostiziert wurde, kann die definitive Diagnosestellung anhand einer apparativen Druckmessung erfolgen [104, 105]. Als kritischer Wert und Indikation zur Fasziotomie gelten beim bewusstlosen Patienten Kompartimentdrücke über 30 mmHg bzw. bei Hypotension das Überschreiten der Differenz pdiastolisch –30 mmHg [97, 102, 103, 106].

3.9.18	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Beim Vorliegen eines manifesten Kompartmentsyndroms an der Hand soll die Fasziotomie umgehend erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Wenn die Diagnose eines Kompartmentsyndroms gestellt wurde, ist eine unverzügliche Fasziotomie indiziert. Eine frühzeitige ausreichende Dermatofasziotomie verhindert ischämische Kontrakturen und stellt einen Notfalleingriff dar [97, 98, 101-103].

Wurde ein Kompartmentsyndrom klinisch oder apparativ nachgewiesen, sind an der Hand alle zehn Kompartimente über vier Inzisionen zu entlasten, wohingegen am Unterarm in der Regel eine palmare Fasziotomie ausreicht. Am Unterarm wird die palmare Fasziotomie als parathenarer Karpaltunnelschnitt begonnen und bis zur Ellenbeuge unter Spaltung des Lacertus fibrosus fortgeführt, wobei eine median-bogenförmige und eine palmar-ulnare Schnitfführung gleich effektiv sind [97, 107]. Führt dies nicht zu einer ausreichenden Drucksenkung im dorsalen Kompartiment, ist am dorsalen Unterarm eine zusätzliche Entlastung über eine gerade mediane Schnitfführung erforderlich [105, 107]. Die zehn Kompartimente der Hand müssen über mehrere Schnitte entlastet werden. Durch dorsale Inzisionen über die Metakarpalia II und IV sind die dorsalen und palmaren Interosseuskompartimente zugänglich. Für das Thenar- und Hypothenarkompartiment erfolgt die Schnitfführung an der radialen Seite des Metakarpale I bzw. der ulnaren Seite des Metakarpale V [105].

An den Fingern wird die Indikation zur Fasziotomie nach klinischen Kriterien gestellt. Da für die Finger eine apparative Druckmessung nicht sinnvoll ist, entscheidet hier der Schwellungszustand über die Indikationsstellung zur Fasziotomie. Die Inzision erfolgt einseitig, und zwar radial für Daumen und Kleinfinger und ulnar für die übrigen Finger. Eine mittseitliche Schnitfführung von der Fingerkuppe bis zur Interdigitalfalte ist zu bevorzugen. Unter Schonung der Nerven-Gefäß-Bündel sind bei palmarer Beugesehnenpassage die Cleland-Ligamente beider Seiten zu spalten [105].

Literatur

1. Aldrian S, Nau T, Weninger P, Vecsei V. [Hand injury in polytrauma]. *Wien Med Wochenschr.* 2005;155(9-10):227-32.
2. Schaller P, Geldmacher J. [Hand injury in polytrauma. A retrospective study of 782 cases]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe* 1994;26(6):307-12.
3. Chinchalkar SJ, Gan BS. Management of proximal interphalangeal joint fractures and dislocations. *Journal of hand therapy : official journal of the American Society of Hand Therapists.* 2003;16(2):117-28.
4. Mark G. [The fate of the polytraumatized patient with a "minor injury" of the hand]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe* 1989;21(1):51-4.
5. Arora R, Lutz M, Fritz D, Zimmermann R, Gabl M, Pechlaner S. Dorsolateral dislocation of the proximal interphalangeal joint: closed reduction and early active motion or static splinting; a retrospective study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2004;124(7):486-8.
6. Glickel S.Z, BOA, Eaton R.G.,. Dislocations and ligament injuries in the digits. *Operative Hand Surgery.* 1999;(p. 772-808).
7. Liss FE, Green SM. Capsular injuries of the proximal interphalangeal joint. *Hand clinics.* 1992;8(4):755-68.
8. Lutz M, Reinhart C, Kathrein A, Kralinger F, Angermann P, Gabl M, et al. [Dorsal dislocation of the proximal interphalangeal joints of the finger. Results after static and functional treatment]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe* 2001;33(3):207-10.
9. Soelberg M, Gebuhr P, Klareskov B. Interphalangeal dislocations of the fingers treated by an elastic double-finger bandage. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland).* 1990;15(1):66-7.
10. Straub G, Orthner E. Die konservative Behandlung stabiler Mittelgelenkluxationen mit der Stack'schen Schiene. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie.* 1996;28(5):246-8.
11. Vicar AJ. Proximal interphalangeal joint dislocations without fractures. *Hand clinics.* 1988;4(1):5-13.
12. Wolff G, Dittmann M, Frede KE. [Clinical management of the patient with multiple injuries. Indications for priorities and therapeutic plan]. *Chirurg.* 1978;49(12):737-44.
13. Ashmead Dt, Rothkopf DM, Walton RL, Jupiter JB. Treatment of hand injuries by external fixation. *The Journal of hand surgery.* 1992;17(5):954-64.
14. Brown PW. War wounds of the hand revisited. *The Journal of hand surgery.* 1995;20(3 Pt 2):S61-7.
15. Brown PW. Open injuries of the hand. *Operative Hand Surgery.* 1999;p. 1607-30
16. Freeland AE. External fixation for skeletal stabilization of severe open fractures of the hand. *Clin Orthop Relat Res.* 1987;(214):93-100.
17. Peimer CA, Smith RJ, Leffert RD. Distraction-fixation in the primary treatment of metacarpal bone loss. *The Journal of hand surgery.* 1981;6(2):111-24.
18. Spier W. Die Handverletzung bei Mehrfachverletzten. *Med Welt.* 1971;22:169-72.
19. Gonzalez MH, Jablon M, Weinzeig N. Open fractures of the hand. *Journal of the Southern Orthopaedic Association.* 1999;8(3):193-202.
20. Suprock MD, Hood JM, Lubahn JD. Role of antibiotics in open fractures of the finger. *The Journal of hand surgery.* 1990;15(5):761-4.
21. Garcia-Elias M, Irisarri C, Henriquez A, Abanco J, Fores J, Lluch A, et al. Perilunar dislocation of the carpus. A diagnosis still often missed. *Annales de chirurgie de la main : organe officiel des sociétés de chirurgie de la main.* 1986;5(4):281-7.

22. Herzberg G, Comtet JJ, Linscheid RL, Amadio PC, Cooney WP, Stalder J. Perilunate dislocations and fracture-dislocations: a multicenter study. *The Journal of hand surgery*. 1993;18(5):768-79.
23. Rawlings ID. The management of dislocations of the carpal lunate. *Injury*. 1981;12(4):319-30.
24. Skruodis B, Wening VJ, Jungbluth KH. [Perilunar dislocations and dislocation fractures in polytrauma patients--diagnosis and therapy]. *Unfallchirurgie*. 1989;15(5):236-42.
25. Garcia-Elias M. Carpal instabilities and dislocations. *Operative Hand Surgery*. 1999;p. 865-928.
26. Inoue G, Tanaka Y, Nakamura R. Treatment of trans-scaphoid perilunate dislocations by internal fixation with the Herbert screw. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1990;15(4):449-54.
27. Brenner P, Reichert B, Berger A. [Replantation in multiple injuries?]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefäße* 1995;27(1):12-6.
28. Sudkamp N, Haas N, Flory PJ, Tschernhe H, Berger A. [Criteria for amputation, reconstruction and replantation of extremities in multiple trauma patients]. *Chirurg*. 1989;60(11):774-81.
29. Boulas HJ. Amputations of the fingers and hand: indications for replantation. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 1998;6(2):100-5.
30. Raskin KB, Weiland AJ. Current concepts of replantation. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*. 1995;24(4 Suppl):131-4.
31. Arakaki A, Tsai TM. Thumb replantation: survival factors and re-exploration in 122 cases. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1993;18(2):152-6.
32. Betancourt FM, Mah ET, McCabe SJ. Timing of critical thrombosis after replantation surgery of the digits. *Journal of reconstructive microsurgery*. 1998;14(5):313-6.
33. Chiu HY, Shieh SJ, Hsu HY. Multivariate analysis of factors influencing the functional recovery after finger replantation or revascularization. *Microsurgery*. 1995;16(10):713-7.
34. Earley MJ, Watson JS. Twenty four thumb replantations. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1984;9(1):98-102.
35. Foucher G, Norris RW. Distal and very distal digital replantations. *British journal of plastic surgery*. 1992;45(3):199-203.
36. Goldner RD, Urbaniak JR. Replantation. *Green's operative hand surgery*. 2005;1:1139-55.
37. Schlenker JD, Kleinert HE, Tsai TM. Methods and results of replantation following traumatic amputation of the thumb in sixty-four patients. *The Journal of hand surgery*. 1980;5(1):63-70.
38. Urbaniak JR, Roth JH, Nunley JA, Goldner RD, Koman LA. The results of replantation after amputation of a single finger. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1985;67(4):611-9.
39. van Adrichem LN, Hovius SE, van Strik R, van der Meulen JC. The acute effect of cigarette smoking on the microcirculation of a replanted digit. *The Journal of hand surgery*. 1992;17(2):230-4.
40. Waikukul S, Vanadurongwan V, Unnanuntana A. Prognostic factors for major limb re-implantation at both immediate and long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Br*. 1998;80(6):1024-30.
41. Goldner RD, Nunley JA. Replantation proximal to the wrist. *Hand clinics*. 1992;8(3):413-25.
42. Ward WA, Tsai TM, Breidenbach W. Per Primam thumb replantation for all patients with traumatic amputations. *Clin Orthop Relat Res*. 1991;(266):90-5.
43. Zhong-Wei C, Meyer VE, Kleinert HE, Beasley RW. Present indications and contraindications for replantation as reflected by long-term functional results. *Orthop Clin North Am*. 1981;12(4):849-70.
44. Saies AD, Urbaniak JR, Nunley JA, Taras JS, Goldner RD, Fitch RD. Results after replantation and revascularization in the upper extremity in children. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1994;76(12):1766-76.
45. Soucacos PN, Beris AE, Toulitatos AS, Korobilias AB, Gelalis J, Sakas G. Complete versus incomplete nonviable amputations of the thumb. Comparison of the survival rate and functional results. *Acta orthopaedica Scandinavica Supplementum*. 1995;264:16-8.
46. Demiri E, Bakhach J, Tsakoniatis N, Martin D, Baudet J. Bone growth after replantation in children. *Journal of reconstructive microsurgery*. 1995;11(2):113-22; discussion 22-3.

47. Taras JS, Nunley JA, Urbaniak JR, Goldner RD, Fitch RD. Replantation in children. *Microsurgery*. 1991;12(3):216-20.
48. Zuker RM, Stevenson JH. Proximal upper limb replantation in children. *J Trauma*. 1988;28(4):544-7.
49. Baker GL, Kleinert JM. Digit replantation in infants and young children: determinants of survival. *Plastic and reconstructive surgery*. 1994;94(1):139-45.
50. Cheng GL, Pan DD, Yang ZX, Fang GR, Gong XS. Digital replantation in children. *Ann Plast Surg*. 1985;15(4):325-31.
51. Chen CT, Wei FC, Chen HC, Chuang CC, Chen HT, Hsu WM. Distal phalanx replantation. *Microsurgery*. 1994;15(1):77-82.
52. Goldner RD, Stevanovic MV, Nunley JA, Urbaniak JR. Digital replantation at the level of the distal interphalangeal joint and the distal phalanx. *The Journal of hand surgery*. 1989;14(2 Pt 1):214-20.
53. Keller HP, Lanz U, Greulich M. [Replantation of parts of the distal phalanx without venous anastomosis]. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Handchirurgie : Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe* 1984;16(1):28-30.
54. Malizos KN, Beris AE, Kabani CT, Korobilias AB, Mavrodontidis AN, Soucacos PN. Distal phalanx microsurgical replantation. *Microsurgery*. 1994;15(7):464-8.
55. Suzuki K, Matsuda M. Digital replantations distal to the distal interphalangeal joint. *Journal of reconstructive microsurgery*. 1987;3(4):291-5.
56. Durham RM, Mistry BM, Mazuski JE, Shapiro M, Jacobs D. Outcome and utility of scoring systems in the management of the mangled extremity. *Am J Surg*. 1996;172(5):569-73; discussion 73-4.
57. Helfet DL, Howey T, Sanders R, Johansen K. Limb salvage versus amputation. Preliminary results of the Mangled Extremity Severity Score. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;(256):80-6.
58. Slauterbeck JR, Britton C, Moneim MS, Clevenger FW. Mangled extremity severity score: an accurate guide to treatment of the severely injured upper extremity. *J Orthop Trauma*. 1994;8(4):282-5.
59. Elton RC, Bouzard WC. Gunshot and fragment wounds of the metacarpus. *Southern medical journal*. 1975;68(7):833-43.
60. Steinberg DR. Acute flexor tendon injuries. *Orthop Clin North Am*. 1992;23(1):125-40.
61. Swanson TV, Szabo RM, Anderson DD. Open hand fractures: prognosis and classification. *The Journal of hand surgery*. 1991;16(1):101-7.
62. Buchler U. Traumatic soft-tissue defects of the extremities. Implications and treatment guidelines. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1990;109(6):321-9.
63. Buchler U, Hastings H. Combined injuries. *Operative hand surgery*. 1999:1631-50.
64. Germann G SR, Levin LS, . Decision-making in reconstructive surgery: upper extremity 2000.
65. Massengill JB. Treatment of skin loss in the hand. *Orthopaedic review*. 1987;16(6):386-93.
66. Rockwell WB, Ehrlich HP. Should burn blister fluid be evacuated? *The Journal of burn care & rehabilitation*. 1990;11(1):93-5.
67. Swain AH, Azadian BS, Wakeley CJ, Shakespeare PG. Management of blisters in minor burns. *British medical journal (Clinical research ed)*. 1987;295(6591):181.
68. Pan SC, Wu LW, Chen CL, Shieh SJ, Chiu HY. Deep partial thickness burn blister fluid promotes neovascularization in the early stage of burn wound healing. *Wound repair and regeneration : official publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*. 2010;18(3):311-8.
69. Sargent RL. Management of blisters in the partial-thickness burn: an integrative research review. *Journal of burn care & research : official publication of the American Burn Association*. 2006;27(1):66-81.
70. Heggors JP, Ko F, Robson MC, Heggors R, Craft KE. Evaluation of burn blister fluid. *Plastic and reconstructive surgery*. 1980;65(6):798-804.
71. Ono I, Gunji H, Zhang JZ, Maruyama K, Kaneko F. A study of cytokines in burn blister fluid related to wound healing. *Burns : journal of the International Society for Burn Injuries*. 1995;21(5):352-5.

72. Greenhalgh DG. Topical antimicrobial agents for burn wounds. *Clinics in plastic surgery*. 2009;36(4):597-606.
73. Wasiak J, Cleland H, Campbell F. Dressings for superficial and partial thickness burns. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2008;(4):CD002106.
74. Kleinert HE, Kutz JE, Atasoy E, Stormo A. Primary repair of flexor tendons. *Orthop Clin North Am*. 1973;4(4):865-76.
75. Kleinert HE, Schepel S, Gill T. Flexor tendon injuries. *Surg Clin North Am*. 1981;61(2):267-86.
76. Lister GD, Kleinert HE, Kutz JE, Atasoy E. Primary flexor tendon repair followed by immediate controlled mobilization. *The Journal of hand surgery*. 1977;2(6):441-51.
77. Strickland JW. Management of acute flexor tendon injuries. *Orthop Clin North Am*. 1983;14(4):827-49.
78. Strickland JW. Flexor tendon repair. *Hand clinics*. 1985;1(1):55-68.
79. Strickland JW. Flexor tendon injuries. Part 2. Flexor tendon repair. *Orthopaedic review*. 1986;15(11):701-21.
80. Strickland JW. Flexor tendon surgery. Part 1: Primary flexor tendon repair. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1989;14(3):261-72.
81. Strickland JW. Delayed treatment of flexor tendon injuries including grafting. *Hand clinics*. 2005;21(2):219-43.
82. Stone JF, Davidson JS. The role of antibiotics and timing of repair in flexor tendon injuries of the hand. *Ann Plast Surg*. 1998;40(1):7-13.
83. Wehner W. Mittelhand- und Fingerfrakturen bei Mehrfachschwererletzten. *Hefte Unfallheilkd*. 1980;141:p. 59-64
84. Verdan CE. Primary repair of flexor tendons. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1960;42-A:647-57.
85. Doyle J. Extensor tendons-acute injuries. *Operative Hand Surgery*. 1999;2:1950-87.
86. Verdan CE. Primary and secondary repair of flexor and extensor tendon injuries. *Hand Surgery*. 1975;p. 144-66
87. Coenen L, Boeckx W, Gruwez JA. The treatment of flexor tendon lesions of the fingers. *Acta Chir Belg*. 1981;80(4):195-204.
88. Jensen EG, Weilby A. Primary tendon suture in the thumb and fingers. *The Hand*. 1974;6(3):297-303.
89. Tang JB. Flexor tendon repair in zone 2C. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1994;19(1):72-5.
90. de Medinaceli L, Seaber AV. Experimental nerve reconnection: importance of initial repair. *Microsurgery*. 1989;10(1):56-70.
91. Brushart TM. Nerve repair and grafting. *Operative Hand Surgery*. 1999;p. 1381-403.
92. Birch R, Raji AR. Repair of median and ulnar nerves. Primary suture is best. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73(1):154-7.
93. Kallio PK, Vastamaki M. An analysis of the results of late reconstruction of 132 median nerves. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1993;18(1):97-105.
94. Kallio PK, Vastamaki M, Solonen KA. The results of secondary microsurgical repair of radial nerve in 33 patients. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1993;18(3):320-2.
95. Marsh D, Barton N. Does the use of the operating microscope improve the results of peripheral nerve suture? *J Bone Joint Surg Br*. 1987;69(4):625-30.
96. Vastamaki M, Kallio PK, Solonen KA. The results of secondary microsurgical repair of ulnar nerve injury. *Journal of hand surgery (Edinburgh, Scotland)*. 1993;18(3):323-6.
97. Whitesides TE, Heckman MM. Acute Compartment Syndrome: Update on Diagnosis and Treatment. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 1996;4(4):209-18.
98. Holden CE. Compartmental syndromes following trauma. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;(113):95-102.
99. Holden CE. The pathology and prevention of Volkmann's ischaemic contracture. *J Bone Joint Surg Br*. 1979;61-B(3):296-300.
100. Blount WP. Volkmann's ischemic contracture. *Surg Gynecol Obstet*. 1950;90:p. 244-6.

101. Eichler GR, Lipscomb PR. The changing treatment of Volkmann's ischemic contractures from 1955 to 1965 at the Mayo Clinic. *Clin Orthop Relat Res.* 1967;50:215-23.
102. Hargens AR, Akeson WH, Mubarak SJ, Owen CA, Gershuni DH, Garfin SR, et al. Kappa Delta Award paper. Tissue fluid pressures: from basic research tools to clinical applications. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society.* 1989;7(6):902-9.
103. Mubarak SJ, Hargens AR. Acute compartment syndromes. *Surg Clin North Am.* 1983;63(3):539-65.
104. Ortiz P, Tache A, Sirvent JM, Bonet A, Febrer M, Andres O. [Management of thoracic aorta traumatism in 5 multiple traumatized patients]. *Med Intensiva.* 2008;32(4):194-7.
105. Rowland SA. Fasciotomy: The treatment of compartment syndrome. *Operative Hand Surgery.* 1999;p. 689-710.
106. McQueen MM, Court-Brown CM. Compartment monitoring in tibial fractures. The pressure threshold for decompression. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78(1):99-104.
107. Gelberman RH, Zakaib GS, Mubarak SJ, Hargens AR, Akeson WH. Decompression of forearm compartment syndromes. *Clin Orthop Relat Res.* 1978;(134):225-9.

3.10 Untere Extremitäten

K.O. Jensen*, B. Prediger#, N. Könsgen#, M.P.J. Teuben

3.10.1	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei isolierten und multiplen Frakturen der unteren Extremität sollte beim stabilen Zustand des Patienten eine primär-definitive osteosynthetische Versorgung angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Rixen 2016: LoE 1b [2] Blair 2019: LoE 2b [3] Cantu 2014: LoE 2b [4] Morshed S 2009: LoE 2b [5] Morshed S 2015: LoE 2b [6] Stojiljković 2009: LoE 2b [7] Richards 2020: LoE 2b [8] Flagstad 2021: LoE 2b [9] Steinhausen 2014: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

3.10.2	Empfehlung	Neu 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Patienten, deren Zustand nicht als stabil beurteilt wird, sollte eine primär temporäre Versorgung angestrebt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[1] Rixen 2016: LoE 1b [2] Blair 2019: LoE 2b [3] Cantu 2014: LoE 2b [4] Morshed S 2009: LoE 2b [5] Morshed S 2015: LoE 2b [6] Stojiljković 2009: LoE 2b [7] Richards 2020: LoE 2b [8] Flagstad 2021: LoE 2b [9] Steinhausen 2014: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

Isolierte Frakturen langer Röhrenknochen der unteren Extremitäten können nach zwei konträren Therapiekonzepten behandelt werden: a) die primär definitive Osteosynthese und b) die zweizeitige Osteosynthese mit sekundär definitiver Versorgung. Bezüglich Kombinationsverletzungen langer Röhrenknochen der unteren Extremitäten können ebenfalls die gleichen zwei Therapiekonzepten oder eine Kombination von Therapiekonzepten angewendet werden. Die verschiedenen, isolierten langen Röhrenknochen der unteren Extremitäten werden von proximal nach distal adressiert. Es werden den folgenden Frakturen unterschieden: proximale Femurfrakturen, Femurschaftfrakturen, distale Femurfrakturen, proximale Tibiafrakturen, Tibiaschaftfrakturen, distale Tibiafrakturen und

Sprunggelenkfrakturen. Im Anschluss werden ebenfalls die Therapiekonzepte für bilateralen Frakturen und Kombinationsverletzungen evaluiert.

Es existieren keine kontrollierten Studien zur Therapie der **isolierten proximalen Femurfraktur** spezifisch beim polytraumatisierten Patienten. Im Folgenden zitierte Studien enthalten sowohl Monotrauma-Patienten mit isolierten proximalen Femurfrakturen als auch polytraumatisierte Patienten mit proximaler Femurfraktur [10-12]. Proximale Femurfrakturen werden aufgrund ihrer Lokalisation eingeteilt in intrakapsuläre, extrakapsuläre (trochantäre) und subtrochantäre Frakturen.

Die intrakapsuläre Femurkopffrakturen (Pipkin-Frakturen) sind selten und oft mit Hüftluxationen und/oder Acetabulumfrakturen assoziiert. Die operative Versorgung reicht von der Entfernung kleiner osteochondraler Fragmente über die Refixation bis hin zur Rekonstruktion des Femurkopfes. Schenkelhalsfrakturen sind zwar bei alten Menschen nach verhältnismäßig trivialen Traumen häufig, jedoch bei jungen Menschen meist durch ein Hochrasanztrauma verursacht, das häufig mit multiplen weiteren Verletzungen vergesellschaftet ist. Als den Femurkopf erhaltendes Verfahren wird bei jüngeren Patienten die (kanülierte) Schraubenosteosynthese oder vergleichbare Verfahren favorisiert [13-18]. Gleichwertig wird die prothetische Versorgung bei älteren Patienten angeführt [14, 16-22]. Während in den von Bhandari et al. [23] und Parker et al. [24-26] durchgeführten Metaanalysen die osteosynthetische Versorgung der isolierten Schenkelhalsfraktur zu einer wesentlich höheren Revisionsrate führte, zeigten sich die Infektrate, der Blutverlust, die Operationszeit und tendenziell die Mortalität [23] in der Gruppe mit Gelenkersatz höher. Es konnte bisher kein Vorteil für die bipolare Prothese gegenüber der Totalendoprothese beim polytraumatisierten Patienten nachgewiesen werden [24-28].

Für die extrakapsuläre Fraktur steht die definitive Versorgung mit extramedullärer, plattenfixierter Hüft-gleitschraube (dynamische Hüftschraube, Medoff-Gleitplatte o.ä.) oder intramedullärem Verfahren (proximaler Femurnagel, Gamma-Nagel usw.) zur Verfügung [16-18, 24-26, 29-45]. Im Allgemeinen wird die zeitgerechte chirurgische definitive Versorgung der proximalen Femurfraktur als Standardbehandlung angesehen [23, 25, 26, 29, 46-52].

Bezüglich der zeitlichen Terminierung der Frakturversorgung existiert keine Evidenz durch randomisierte Studien; und Beobachtungsstudien führen zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen [51, 53-56]. Die frühe operative Versorgung (innerhalb von 24–36 Stunden) nach physiologischer Stabilisierung wird für die meisten Patienten empfohlen. Die unnötige Verzögerung der Operation kann die Komplikationsrate (Dekubitusrate, Pneumonie) erhöhen. Als Notfallindikation zur Operation gelten: die offene Fraktur; die Fraktur mit Gefäß- bzw. Nervenverletzung; die Fraktur mit Kompartmentsyndrom. Muss die Operation signifikant verzögert werden (>48 Stunden), kann vorübergehend (oder gegebenenfalls dauerhaft) auch ein gelenksübergreifender Fixateur externe angelegt werden. Mögliche Komplikationen sind: Blutung, Infektion, Wundheilungsstörung, avaskuläre Nekrose des Femurkopfes, Pseudarthrose, Rotationsfehlstellung, Bewegungseinschränkung, Prothesenluxation, Thrombose, Embolie [57].

Bezüglich der Risikobeurteilung (Damage Control) des Polytraumatisierten, zur Entscheidungshilfe für die Frakturversorgungsstrategie, sei auf das Einleitungskapitel im Rahmen der ersten OP-Phase hingewiesen.

Unter allen zur **isolierten Femurschaftfraktur** beim Polytrauma publizierten kontrollierten Studien zeigt sich lediglich eine Minderheit mit prospektivem oder randomisiertem Studiendesign [58-77]. Die Mehrzahl der Arbeiten stützte sich jedoch auf retrospektive Daten. Die chirurgische Stabilisierung der Femurschaftfraktur (entweder die definitive Marknagelosteosynthese/Plattenosteosynthese oder die zweizeitige Osteosynthese mit primärer Externe Fixateur und sekundär definitive Versorgung mittels Marknagelosteosynthese/Plattenosteosynthese) wird als Standardbehandlung angesehen. Eine

randomisiert kontrollierte Studie konnte keine signifikanten Ergebnisse liefern bzgl. Zeitpunkt und Versorgungsstrategie von Femurfrakturen bei schwerverletzten Patienten auf Grund einer zu geringen Power der Studie [1].

Eine frühzeitige definitive Versorgung wird bei stabilen polytraumatisierten Patienten als sicher angesehen. Darüber hinaus zeigen sich hier eine geringere Mortalität, sowie niedrigere systemische Komplikationsraten [2]. Die verzögerte, definitive Frakturversorgung mittels des Damage Control Prinzips ist für instabile Patienten zu bevorzugen [3-6]. Jedoch ist eine definitive Frakturversorgung nach 48 Stunden bei Schwerverletzten mit erhöhter Mortalität behaftet [3, 7]. Ähnliche Ergebnisse und Empfehlungen sind für bilaterale Femurschaftfrakturen beschrieben [8, 9]. Für die detaillierte Empfehlung bzgl. Therapieverfahren bei Femurschaftfrakturen sei auf die Empfehlung 3.10.3 hingewiesen.

Als Notfallindikation zur Operation gilt: die offene Fraktur; die Fraktur mit Gefäß- bzw. Nervenverletzung; die Fraktur mit Kompartmentsyndrom. Bei hämodynamisch stabiler Situation steht die frühzeitige definitive Osteosynthese im Vordergrund, wobei von den meisten Autoren der intramedulläre Nagel als Goldstandard bevorzugt wird [62, 63, 68, 76].

Es existieren keine kontrollierten Studien zur Therapie der **isolierten distalen Femurfraktur** spezifisch beim Polytrauma. Im Folgenden zitierte Studien enthalten sowohl nicht-polytraumatisierten Patienten mit isolierten distalen Femurfrakturen als auch polytraumatisierte Patienten mit distaler Femurfraktur. Die chirurgische Versorgung der distalen Femurfraktur wird als Standardbehandlung angesehen. Als Notfallindikation zur Operation gilt: die offene Fraktur; die Fraktur mit Gefäß- bzw. Nervenverletzung; die Fraktur mit Kompartmentsyndrom. Bei hämodynamisch stabiler Situation steht die frühzeitige definitive Osteosynthese im Vordergrund. Abhängig vom Frakturtyp können sowohl intraartikuläre Frakturen als auch Frakturen ohne intraartikuläre Beteiligung des distalen Femurs durch eine offene oder geschlossene Reposition und eine Osteosynthese mittels Platte (Less Invasive Stabilization System [LISS] o.ä., Winkelplatte usw.) oder retrograder Nagelung versorgt werden [78-84]. Bei hämodynamisch instabiler Situation oder im Rahmen einer Damage-Control-Konzeption kann vorübergehend auch ein gelenkübergreifender Fixateur externe angelegt werden.

Komplikationsmöglichkeiten: Blutung, Infektion, Wundheilungsstörung, Pseudarthrose, Rotationsfehlstellung, Bewegungseinschränkung, Thrombose, Embolie, Früharthrose.

Als Kontraindikationen der primären, definitiven Versorgung beim hämodynamisch stabilen Patienten werden offene, instabile, distale Grad-III-Femurfrakturen angesehen. In diesen Fällen kommen alternative Verfahren wie der Fixateur externe als Stabilisierungsform zum Einsatz [85].

Es existieren keine kontrollierten Studien zur Therapie der **isolierten proximalen Tibiafraktur** spezifisch beim Polytrauma. Im Folgenden zitierte Studien enthalten sowohl Monotrauma-Patienten mit isolierter proximaler Tibiafraktur als auch polytraumatisierte Patienten mit proximaler Tibiafraktur.

Die Primärversorgung kann durch eine Schienenruhigstellung erfolgen. Nicht dislozierte Frakturen werden konservativ unter Entlastung und funktioneller Therapie behandelt. Gegebenenfalls kann eine operative Fixierung zur Prävention einer sekundären Dislokation erfolgen. Die chirurgische Versorgung der dislozierten proximalen Tibiafraktur wird als Standardbehandlung angesehen [86, 87]. Konkurrierende Verfahren sind Plattensysteme (konventionell, winkelstabiles „Less Invasive Stabilization System“ – LISS usw.), Tibianägel, Schrauben und Fixateursysteme [88-91], die in Abhängigkeit von der Komplexität und der Gelenkflächenbeteiligung der Fraktur angewendet werden. Anforderungen an die Osteosynthese sind die Möglichkeit der Gelenkflächenrekonstruktion und dauerhaften Frakturretention sowie eine übungstabile Versorgung bei Minimierung des perioperativen Weichteilschadens. Bei geringgradiger Dislokation können auch eine arthroskopisch

assistierte, radiologisch kontrollierte Reposition und eine perkutane Schraubenfixierung erfolgen [92]. Als Notfallindikation zur Operation gilt: die offene Fraktur; die Fraktur mit Gefäß- bzw. Nervenverletzung; die Fraktur mit Kompartmentsyndrom. Hier kann gegebenenfalls ein Fixateur externe angelegt werden bis die Weichteilverhältnisse eine definitive Versorgung erlauben. Bei hämodynamisch stabiler Situation steht die frühzeitige definitive elektive Osteosynthese nach initialer Abschwellung (z.B. nach 3–5 Tagen) im Vordergrund. Tibiaplateaufrakturen sind in bis zu 50% der Fälle mit Meniskusverletzungen und in bis zu 25% der Fälle mit ligamentären Verletzungen assoziiert [93].

Mögliche Komplikationen sind [94]: Blutung, Infektion, Wundheilungsstörung, Pseudarthrose, Rotationsfehlstellung, Bewegungseinschränkung, Thrombose, Embolie, Früharthrose.

Es liegen keine kontrollierten Studien zum optimalen Versorgungsverfahren speziell für eine im Rahmen eines Polytraumas aufgetretene **isolierte Schafffraktur der Tibia** vor. Kernforderung ist eine adaptierte Versorgung in Abhängigkeit vom Gesamtzustand. Aufgrund der marginalen Weichteilsituation an der distalen Hälfte der Tibia wird die Behandlungsstrategie oftmals nicht von der Fraktur per se, sondern von der vorliegenden Weichteilsituation diktiert.

Stabile Frakturen mit minimaler Dislokation können konservativ durch Gipsruhigstellung behandelt werden [95]. Die chirurgische Versorgung der instabilen Tibiaschaftfraktur wird als Standardbehandlung angesehen – meist durch intramedulläre Nagelung [72, 96, 97]. Als Notfallindikation zur Operation gilt: die offene Fraktur; die Fraktur mit Gefäßverletzung; die Fraktur mit Kompartmentsyndrom. Bei hämodynamisch stabiler Situation steht die frühzeitige definitive Osteosynthese im Vordergrund. Muss die Operation signifikant verzögert werden (>48 Stunden) oder liegt eine ausgedehnte offene Verletzung mit hochgradiger Kontamination vor, kann auch vorübergehend (oder gegebenenfalls dauerhaft) ein Fixateur externe angelegt werden [98].

In einer Metaanalyse von Bhandari et al. [99] wurde die Behandlung von offenen Tibia-schaftfrakturen untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass unaufgebohrte Marknägel im Vergleich zum Fixateur externe das Risiko einer Reoperation, einer Pseudarthrose und einer oberflächlichen Infektion reduzierten. Der Vergleich mit unaufgebohrten Nägeln wies ein geringeres Reoperationsrisiko bei den aufgebohrten Nägeln auf. In einer prospektiv randomisierten Studie konnte ebenfalls bei geschlossenen Frakturen eine geringere Rate an Sekundäroperationen und Pseudarthrosen nach aufgebohrtem gegenüber unaufgebohrtem Marknagel nachgewiesen werden [100]. Tibiaschaftfrakturen sind in bis zu 22% der Fälle mit ligamentären Verletzungen assoziiert. Mögliche Komplikationen sind: Blutung, Infektion, Wundheilungsstörung, Weichteilnekrose mit der Notwendigkeit einer plastischen Deckung (Lappenplastik), Pseudarthrose, Rotationsfehlstellung, Bewegungseinschränkung, Thrombose, Embolie. Bezüglich der Risikobeurteilung (Damage Control) des Polytraumatisierten, zur Entscheidungshilfe für die Frakturversorgungsstrategie, sei auf das Einleitungskapitel im Rahmen der ersten OP-Phase hingewiesen.

Es existieren keine kontrollierten Studien zur isolierten Therapie **der isolierten distalen Tibiafraktur** speziell beim Polytrauma. Im Folgenden zitierte Studien enthalten sowohl Patienten mit isolierter distaler Tibiafraktur als auch polytraumatisierte Patienten mit distaler Tibiafraktur.

Die chirurgische Versorgung der distalen Tibiafraktur wird als Standardbehandlung angesehen. Aufgrund der marginalen Weichteilsituation an der distalen Tibia (und am Pilon) wird die Behandlungsstrategie oftmals nicht von der Fraktur per se, sondern von der vorliegenden Weichteilsituation diktiert. Als Notfallindikation zur Operation gilt: die offene Fraktur; die Fraktur mit Gefäßverletzung und die Fraktur mit Kompartmentsyndrom. Bei hämodynamisch stabiler Situation steht die frühzeitige definitive Osteosynthese im Vordergrund. Distale Tibiafrakturen ohne Pilonbeteiligung können durch eine Marknagelosteosynthese versorgt werden. Neben der Marknagelung ist die winkelstabile Plattenosteosynthese zusätzlich als Verfahrensmöglichkeit zu

erwähnen, insbesondere als eingeschobene Platte. Bei zusätzlicher distaler Fibulafraktur empfiehlt sich die zusätzliche Plattenosteosynthese der Fibula (um einen Rahmen zu bilden und eine distale Achsabweichung zu vermeiden) [101-109]. Bei Pilonbeteiligung werden die offene Reposition und Osteosynthese als Standardbehandlung angesehen. Muss die Operation (z.B. bei starker Schwellung oder offener Kontamination) signifikant verzögert werden (>48 Stunden), kann vorübergehend (oder gegebenenfalls dauerhaft) auch ein gelenksübergreifender Fixateur externe angelegt werden, ggf. mit perkutaner Fixation der Gelenkfläche (Schrauben, K-Drähte). Mögliche Komplikationen sind: Blutung, Infektion, Wundheilungsstörung, Weichteilnekrose mit der Notwendigkeit einer plastischen Deckung (Lappenplastik), Pseudarthrose, Rotationsfehlstellung, Bewegungseinschränkung, Thrombose, Embolie, Früharthrose.

Es existieren keine kontrollierten Studien zur isolierten Therapie der **isolierten Sprunggelenksfrakturen** speziell beim Polytrauma. Im Folgenden zitierte Studien enthalten sowohl Patienten mit isolierter Sprunggelenksfraktur als auch polytraumatisierte Patienten mit Sprunggelenksfraktur.

Die operative Versorgung überhaupt und die Art der osteosynthetischen Versorgung der Fibulafraktur sind nicht zuletzt abhängig vom übrigen Verletzungsmuster des polytraumatisierten Patienten. So wird von einigen Autoren ab einer Verletzungsschwere von ISS >25 bzw. 29 Punkten und /oder einem Thoraxtrauma von AIS >3 die externe Fixation bevorzugt [95, 110, 111]. Außerdem bestimmt die Frakturart die Wahl des Osteosynthesematerials.

Proximale Fibula: Bei Maisonneuve-Verletzungen sollte die distale Fibula operativ zur Tibia im oberen Sprunggelenk gestellt werden [112]. Dabei sollten zwei Syndesmosenschrauben eingebracht werden, da diese als trikortikale Schrauben eine 5-mal größere Reiß- und Rotationsfestigkeit aufweisen als die alleinige Naht der Syndesmose [113, 114].

Fibulaschaft: Hohe Fibulafrakturen im Sinne einer Pronations-Eversions-Verletzung nach Lauge-Hansen Typ III oder IV sollten operativ versorgt werden (Plattenosteosynthese). Der komplexe Luxationsmechanismus kann außerdem zu anderen knöchernen (Innenknöchelfrakturen) und ligamentären Verletzungen geführt haben (Syndesmosen, medialer/lateraler Kapsel-Band-Apparat) [115].

Distale Fibula: Bei den isolierten Außenknöchelfrakturen muss zwischen „stabilen“ und „instabilen“ Frakturen unterschieden werden. Dabei sind „stabile“ Frakturen solche in Höhe der Syndesmose (Weber B1) bzw. sog. Supinations-Eversions-Frakturen Typ SE II nach Lauge-Hansen [116-119]. Eine stabile Außenknöchelfraktur liegt vor, wenn keine Fibulaverkürzung, keine Frakturdislokation >2 mm, kein Achsenknick und eine intakte hintere Syndesmose besteht [117, 118]. Stabile Außenknöchelfrakturen können konservativ z.B. in einer Gipsschiene oder Kunststofforthese ruhiggestellt werden. Davon abweichende Frakturarten müssen operativ angegangen werden.

Die Art der Osteosynthese hängt auch von der begleitenden Weichteilverletzung (Kontusion, Schwellung, Kompartmentsyndrom) ab [120]. Bei höhergradigen Weichteilschäden oder komplexeren Frakturarten (z.B. Luxationsfrakturen) ist zunächst, unabhängig vom übrigen Verletzungsmaß, die externe Fixation anzustreben, um drohende Gefäß-Nerven-Schäden zu verhindern [121]. Bei stabilen Außenknöchelfrakturen bzw. stabil osteosynthetisch versorgten Außenknöchelfrakturen zeigt ein frühfunktionelles, frühbelastendes Nachbehandlungskonzept eine signifikante Verbesserung des Sprunggelenksbewegungsausmaßes und bedingt eine kürzere Rehabilitationsphase [122].

Einzelverletzungen der unteren Extremität sollten im Rahmen des Damage Control zunächst mit externer Fixation versorgt werden. Bei allen Grenzfällen, insbesondere bei Patienten mit begleitendem Schädel-Hirn-Trauma oder ausbleibender adäquater Besserung von Kreislauf- und

Beatmungsparameter trotz umfangreicher, initialer Schockraum- und Intensivbehandlung (gemessen an der fehlenden Normalisierung der Lactat-Werte sowie Besserung der Beatmungsparameter), sollte großzügig die Indikation zur externen Fixation als Damage-Control-Operation gestellt werden [123, 124].

Die Versorgungsstrategie **multipler Femur- und Unterschenkelchaftfrakturen** beim polytraumatisierten Patienten stellt bis heute ein wissenschaftlich nicht abschließend untersuchtes Problem dar. Obwohl die angegebene Inzidenz multipler Femur- und Unterschenkelchaftfrakturen mit 2–7% die klinische Bedeutung erahnen lässt, ist diese in der Literatur kaum thematisiert. Die Mehrzahl der Arbeiten stützte sich auf retrospektiv-klinische Daten (n = 42, 4–222 Patienten) wie auch Falldarstellungen (n = 29). Neben dem Hauptzielkriterium Letalität fanden sich zahlreiche Nebenzielkriterien wie Komplikationsraten, Liegedauer und Begleitverletzungen. Die überwiegende Mehrheit der Autoren sieht die Vorteile einer frühen Stabilisierung der Frakturen – kontrovers in der Diskussion bleiben bis heute jedoch das Verfahren und der Zeitpunkt. In der bisher einzigen prospektiven Studie fiel der hohe Anteil pulmonaler Komplikationen in der Gruppe der multiplen Marknagelung (8,2% versus 62,5%) auf [125]. Als Konsequenz aus den Ergebnissen dieser Arbeit empfiehlt der Autor ein mehrzeitiges Versorgungskonzept. Andere Autoren konnten in ihren retrospektiv erhobenen Daten kein erhöhtes pulmonales Risiko wie das der (Fett-)Lungenembolie nach multiplen Marknagelungen erheben. Andere wiederum konnten in ihren Ergebnissen eine verkürzte Rekonvaleszenz und niedrigere Komplikationsrate der operativ stabilisierten (kindlichen) Patienten aufzeigen und propagieren die primär definitive Stabilisierung. Zusammenfassend wird in der Literatur die frühe definitive operative Stabilisierung zunehmend favorisiert, jedoch bleiben Art und Zeitpunkt der operativen Stabilisierung weiterhin Gegenstand kontroverser Diskussionen. Es empfiehlt sich deshalb analog zu der operativen Versorgung von Monoverletzungen der unteren Extremitäten (siehe oben) am ehesten ein dem Risikoprofil adjustiertes Vorgehen [123, 124, 126]. So kann die Mehrheit schwerverletzter Patienten, bei stabilen Kreislaufverhältnissen innerhalb von 24 Stunden, sicher primär mittels (multipler) Marknagelung versorgt werden. Patienten mit instabilen Kreislaufverhältnissen, hämorrhagischem Schock oder einer ausgeprägten Kombination an schweren Einzelverletzungen sollten im Rahmen des Damage Control zunächst mit externer Fixation versorgt werden. Bei allen Grenzfällen, insbesondere bei Patienten mit begleitendem Schädel-Hirn-Trauma oder ausbleibender adäquater Besserung von Kreislauf- und Beatmungsparametern, trotz umfangreicher initialer Schockraum- und Intensivbehandlung (gemessen unter anderem an der fehlenden Normalisierung der Lactat-Werte sowie Besserung der Beatmungsparameter), sollte großzügig die Indikation zur externen Fixation als Damage-Control-Operation gestellt werden.

Da es sich sowohl bei den isolierten als auch bei den multiplen Frakturen der langen Röhrenknochen der unteren Extremität im Rahmen der Polytrauma-Versorgung um eine klinisch relevante, in der täglichen Praxis häufig zu entscheidende Fragestellung handelt, besteht somit die dringende Notwendigkeit weiterer prospektiver Studien mit adäquatem Studiendesign zur Klärung des Therapiekonzeptes.

3.10.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Zur definitiven Versorgung einer Femurschaftfraktur polytraumatisierter Patienten sollte die Verriegelungsmarknagelung als Operationsverfahren der Wahl durchgeführt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[58] Anwar 2004: LoE 1b [64] Canadian Orthopaedic Trauma 2006: LoE 1b [61] Bosse 1997: LoE 2a [62] Brumback 1999: LoE 2b [72] Riemer 1992: LoE 2b [127] Scalea 2000: LoE 2b [73] Schmidtman 1997: LoE 2b [59] Aufmkolk 1998: LoE 3 [60] Bone 1995: LoE 3 [69] Neudeck 1998: LoE 3 [74] Smrke 2000: LoE 3 [77] Wozasek 1994: LoE 5 [71] Pell 1993: LoE 5 [75] Sudkamp 1989: LoE 5 [128] Brumback 1995: LoE 5	
	Konsensstärke: 100%	

Die chirurgische Stabilisierung der Femurschaftfraktur wird als Standardbehandlung angesehen (siehe Schlüsselempfehlung 3.10.1/.2). Als Notfallindikation zur Operation gilt: die offene Fraktur; die Fraktur mit Gefäß- bzw. Nervenverletzung; die Fraktur mit Kompartmentsyndrom. Bei hämodynamisch stabiler Situation steht die frühzeitige definitive Osteosynthese im Vordergrund, wobei von den meisten Autoren der intramedulläre Nagel als Goldstandard bevorzugt wird [62, 63, 68, 76]. Das zentrale Argument der Befürworter des Marknagels ist die Frühbelastbarkeit.

Dennoch konnten Neudeck et al. [69] in einer retrospektiven Untersuchung an 255 polytraumatisierten Patienten mit Femurfraktur zeigen, dass nur 29% dieser Patienten unter Berücksichtigung der Verletzungsschwere, des Verletzungsmusters und des klinischen Verlaufs den Vorteil der Frühbelastung nach primärer Marknagelung nutzen konnten. So wird die Wahl des primären Operationsverfahrens (Nagelung versus Plattenosteosynthese) beim polytraumatisierten Patienten von wenigen Autoren auch kontrovers diskutiert [59-61, 66, 67, 70, 72-74]. Bone et al. [60] zeigten, dass die Inzidenz der pulmonalen Komplikationen nicht von der Stabilisierungsart (Nagel/Platte) der Femurfraktur abhängig ist, sondern allein durch die Lungenverletzung bedingt ist. Bosse et al. [61] fanden analog hierzu in einer retrospektiven Studie an 217 Patienten mit aufgebohrter Femurnagelung und an 206 Patienten mit Platten-osteosynthese keine Unterschiede in der Inzidenz des Lungenversagens (ARDS) bei Polytraumatisierten mit bzw. ohne Thoraxtrauma. Auch Aufmkolk et al. [59] wiesen in einer retrospektiven Studie für die primäre Plattenosteosynthese keine Erhöhung der Letalität und Morbidität bei Patienten mit und ohne Thoraxtrauma (AIS Thorax ≥ 3) nach. Unterstützend hierzu wurde in mehreren Tiermodellen unter anderem durch Wozasek et al. [77] kein signifikanter pulmonal-hämodynamischer Effekt zwischen der Marknagelung und der Plattenosteosynthese nachgewiesen. Die Tatsache der Fettembolisation aufgrund der intramedullären Druckerhöhung bei Marknagelung ist unumstritten und in vielen klinischen und tierexperimentellen Studien insbesondere echokardiografisch nachgewiesen [71]. Die Frage nach der klinischen Relevanz bleibt letztlich weiterhin ungeklärt und somit auch die Frage, ob die (un)aufgebohrte Marknagelung zu

bevorzugen ist. Entsprechend konnten mehrere prospektiv randomisierte Studien mit dem Vergleich zwischen aufgebohrter und unaufgebohrter Marknagelung keine Unterschiede in der ARDS-Rate, den pulmonalen Komplikationen und der Überlebensrate nachweisen [58, 64].

Als Kontraindikationen der primären Marknagelung beim hämodynamisch stabilen Patienten werden offene Grad-III-Femurfrakturen mit Gefäßbeteiligung angesehen [65, 69, 75]. In diesen Fällen kommen alternative Verfahren wie der Fixateur externe als Stabilisierungsform zum Einsatz [127].

Femurschaftfrakturen sind durch gute Kallusbildung und ein niedriges Komplikationsrisiko gekennzeichnet [128]. 10–20% der Femurschaftfrakturen sind mit ligamentären Verletzungen im Kniegelenk vergesellschaftet. Als Komplikationsmöglichkeiten gelten: Blutung, Infektion, Wundheilungsstörung, avaskuläre Nekrose des Femurkopfes, Pseudarthrose, Rotationsfehlstellung, Bewegungseinschränkung, Thrombose, Embolie.

Hinsichtlich des Operationszeitpunktes konnten Patel et al. zeigen, dass eine möglichst frühzeitige definitive Osteosynthese im Vordergrund stehen sollte und es für die Versorgungsqualität keinen Unterschied macht, ob die Patienten außerhalb der Regeldienstzeit, also auch nachts oder während des Regeldienstes operiert werden [129].

3.10.4	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Luxationen der unteren Extremität sollen zum frühestmöglichen Zeitpunkt reponiert und retiniert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[130] Dedmond 2001: LoE 2c [131] Green 1977: LoE 2c [132] Huang 2000: LoE 5	
	Konsensstärke: 100%	

Es existieren keine kontrollierten Studien zur Therapie der Knieluxation speziell beim Polytrauma. Im Folgenden zitierte Studien enthalten sowohl Patienten mit isolierter Knieluxation als auch polytraumatisierte Patienten mit Knieluxation. Höchste Priorität in der Versorgung hat eine etwaige Gefäßverletzung (A. poplitea), welche versorgt werden muss. Die Studie von Green und Allen [131] mit 245 Patienten mit Knieluxation zeigte eine Gefäßverletzung in 32% der Fälle. 86% der Patienten, bei denen die Gefäßrekonstruktion jenseits des 8-Stunden-Intervalls erfolgte, mussten amputiert werden, 2/3 der übrigen Patienten behielten eine ischämische Kontraktur. Bei Überschreiten des Ischämie-Intervalls über die 6-Stunden-Grenze und bei drohendem Kompartmentsyndrom wird die Kompartmentspaltung empfohlen.

Beim hämodynamisch stabilen und instabilen polytraumatisierten Patienten sollte die Knieluxation zum frühestmöglichen Zeitpunkt reponiert werden. Gelingt die geschlossene Reposition nicht, wird das luxierte Gelenk offen reponiert [132]. Die Retention des Repositionsergebnisses kann bei geplanter konservativer Therapie sowie bei geplanter früher Kreuzbandrekonstruktion mittels Fixateur externe und Transfixation mit Steinmann-Nagel oder mit Brace/Gips erfolgen. Nach Expertenmeinung weist der Fixateur externe gegenüber den anderen Methoden Vorteile auf [133]. Hier sollten MR-kompatible Implantate verwendet werden, um eine entsprechende Bildgebung nach Reposition und temporärer Fixation zu ermöglichen. Die ligamentären Verletzungen nach Knieluxation können operativ oder konservativ behandelt werden. Die Metaanalyse von Dedmond und Almekinders [130] untersuchte die Ergebnisse von zwölf retrospektiven und drei prospektiven Studien mit 132 operativ und 74 konservativ therapierten Knieluxationen im Hinblick auf das klinische Ergebnis. Die operativ versorgten Patienten zeigten signifikant bessere Ergebnisse im Bewegungsausmaß (123° vs. 108°), im Lysholm

Score (85,2 vs. 66,5) sowie eine verminderte Flexionskontraktur (0,5° vs. 3,5°). Eine Randomisierung der Therapiegruppen hat nicht stattgefunden, die Indikation zum operativen oder konservativen Vorgehen wird nicht begründet. Zwei weitere retrospektive Studien zeigten ebenfalls eine Überlegenheit der operativen gegenüber der nichtoperativen Therapie [134, 135].

Für die operative Versorgung der Kreuzbänder nach Knieluxation steht die direkte Naht oder der Kreuzbandersatz zur Verfügung. Die retrospektive Studie von Mariani et al. [136] zeigte bei kleiner Fallzahl im Rahmen von Knieluxationen bezüglich Stabilität und Bewegungsumfang eine Überlegenheit der vorderen und hinteren Kreuzbandersatzplastik mit Patellarsehne oder Semitendinosusehne gegenüber der direkten Naht [136].

Es existieren keine kontrollierten Studien zur Therapie der Hüftluxation speziell beim Polytrauma. Eine Übersichtsarbeit zeigt eine Inzidenz bei Polytrauma-Patienten von unter 1% [109]. Eine frühzeitige Diagnostizierung und Reposition sind relevant für das Outcome [137-139].

3.10.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Bei der operativen Versorgung sowohl geschlossener als auch offener Frakturen der unteren Extremität soll eine perioperative Antibiotikaprophylaxe erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[140] Gillespie 2003: LoE 1a [141] Slobogean 2008: LoE 1a [142] Dellinger 1988: LoE 1b [143] Hunfeld 2003: LoE 2 [144] Henry 1990: LoE 3	
	Konsensstärke: 100%	

Bei offenen Frakturen besteht eine präoperative bakterielle Kontamination bei 48–60% aller Wunden und bei 100% aller schweren Wunden [145].

Antibiotikagabe bei geschlossenen Frakturen:

Bei der operativen Versorgung geschlossener Frakturen empfiehlt es sich, eine Antibiotika-prophylaxe (üblicherweise „Single-shot“-Gabe eines langwirksamen Cephalosporins der 1. Generation) generell bei der Implantation von Fremdmaterial zu verabreichen [143, 146]. Zum Management von Schenkelhalsfrakturen gibt es Daten des EL 1, die eine signifikante Reduktion postoperativer Wundinfekte durch eine perioperative antibiotische Therapie belegen [143, 147-149]. Aus der Cochrane-Recherche des Jahres 2003, die Daten von 8307 Patienten aus 22 Studien analysierte, ergibt sich eine signifikante Reduktion postoperativer Wundinfekte sowie auch zusätzlich von Infekten des Urogenital- und Atemtraktes durch präoperative „Single-shot“-Antibiose bei operativer Versorgung von Frakturen der langen Röhrenknochen. Weder im Cochrane-Review von Gillespie et al. [140] noch in der Metaanalyse von Slobogean et al. [141] konnten weitere Vorteile einer Mehrfachverabreichung gegenüber der „Single-shot“-Antibiose nachgewiesen werden.

Antibiotikagabe bei offenen Frakturen:

Beim Vorliegen offener Frakturen belegt ausreichende Evidenz, dass eine antimikrobielle Prophylaxe erfolgen sollte. Gemäß der Leitlinie der EAST (Eastern Association for the Surgery of Trauma) empfiehlt sich neben einem sorgfältigen Wunddébridement eine ebenfalls möglichst frühzeitig beginnende Abdeckung grampositiver Keime [150, 151]. Bei Frakturen des Grades III nach Gustillo sollte eine zusätzliche Therapie gramnegativer Erreger bzw. von hochdosiertem Penizillin bei landwirtschaftlichen

Verletzungen zur Prophylaxe von Clostridieninfekten vorgenommen werden. Die Therapie sollte bis 24 Stunden nach der primären Defektdeckung fortgesetzt werden. Bei Grad-III-Frakturen sollte die antibiotische Therapie bis 72 Stunden nach dem Trauma bzw. nicht mehr als 24 Stunden nach Erreichen einer Weichteildeckung fortgeführt werden [145]. Wie auch eine Reihe anderer Studien [152] konnten Dellinger et al. [142] an 248 Patienten keinen signifikanten Unterschied in der Infektionsrate in Abhängigkeit von der Dauer der Antibiotikaphylaxe (1 vs. 5 Tage) zeigen [153, 154]. In der Literatur wird zunehmend, bei ausgeprägten offenen Verletzungen mit gravierender Kontamination, ergänzend zur systemischen IV-Antibiose, der Einsatz von lokalen Antibiotika-Trägern, wie etwa antibiotikaimprägnierten Ketten (PMMA-Ketten), zur lokalen Infektions-prophylaxe favorisiert [153, 155, 156]. Jedoch bleiben die spezifische Indikation, Art und Zeitpunkt der lokalen Anwendung weiterhin Gegenstand kontroverser Diskussionen [144, 152, 157, 158].

3.10.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die operative oder endovaskuläre Versorgung von Gefäßverletzungen der unteren Extremität sollte, sofern es die Schwere der Gesamtverletzung zulässt, frühestmöglich d.h. direkt nach der Behandlung der vital bedrohenden Verletzungen, erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Über die Inzidenz von arteriellen und venösen Gefäßverletzungen der unteren Extremität beim polytraumatisierten Patienten liegen nur wenige gesicherte Daten vor. Der Schweregrad, der Entstehungsmechanismus, die Lokalisation der Gefäßverletzung (und der sonstigen Verletzungen) und die Qualität der präoperativen Diagnostik und Versorgung variieren weltweit stark in den einzelnen Kollektiven [159-163]. Die morphologischen Schäden an den Gefäßen in Abhängigkeit vom Entstehungsmechanismus sind in ihrer Bedeutung für die Versorgungsart exakt beschrieben [164].

Die hier aufgeführten Versorgungsempfehlungen basieren überwiegend auf den Erfahrungen und Empfehlungen von Experten, die ihre Ergebnisse und Schlussfolgerungen für einzelne Kollektive publiziert haben. Lediglich eine Publikation hat eine kontrollierte randomisierte Studie als Basis [165]. Die publizierten Empfehlungen aus verschiedenen Teilbereichen der Unfallchirurgie und Gefäßchirurgie erlauben jedoch nur bedingte Rückschlüsse auf die Behandlung von schweren Verletzungen der unteren Extremität mit Gefäßbeteiligung beim polytraumatisierten Patienten. Somit steht am Ende eine Individualentscheidung für den einzelnen Patienten.

Die operative Versorgung von arteriellen und venösen Verletzungen der unteren Extremität sollte auch beim polytraumatisierten Patienten, sofern es die Schwere der Gesamtverletzung zulässt, frühestmöglich, d. h. direkt nach der Behandlung der vital bedrohenden Verletzungen, erfolgen. Hierbei besteht in der Literatur keine Einigkeit, ob eine Fraktur zunächst stabilisiert und dann gefäßrekonstruiert werden soll oder ob eine umgekehrte Reihenfolge vorteilhaft ist. Auch Interimslösungen (primäre Shuntanlage zum Erhalt der Durchblutung, Frakturstabilisierung und spätere definitive Gefäßrekonstruktion oder im Sinne des Damage Control bis zur physiologischen Rekompensation des Patienten nach schwerem Trauma) werden diskutiert [166-173]. Bei komplexen Traumen mit einer hohen Vorhersage-wahrscheinlichkeit für eine Gefäßverletzung sollte eine primäre Gefäßrevision mit ggf. sofortiger Gefäßrekonstruktion durchgeführt werden [165]. Die zur Verfügung stehenden Materialien, Operationsprinzipien und operativen Techniken entsprechen denen der nicht traumatisch bedingten Versorgung arterieller und venöser Rekonstruktionen und gehen zum Teil im Indikationsspektrum darüber hinaus.

Arterielle Verletzungen der Iliakal- und Femoralstrombahn sollten rekonstruiert werden und sind technisch meist gut zugänglich. Eine isolierte crurale Arterienverletzung kann bei nach-gewiesener Offenheit der anderen distalen Stammarterien ligiert werden. Sind mindestens zwei Gefäße betroffen, liegt nahezu immer eine kritische Durchblutungsstörung vor, die einer primären Revaskularisation bedarf. Die Kombination mit venösen Verletzungen erhöht die Amputationsrate, weshalb die Indikation zur venösen Rekonstruktion bei Kombinations-verletzungen weit gestellt werden sollte [160, 161, 174]. Arterielle Verletzungen der unteren Extremität sollten (in absteigender Reihenfolge) mittels direkter Naht, Anlage einer Kontinuitätserhaltenden Anastomose, einer Patch-Angioplastie (autolog, Kunststoff) oder einer Bypassrekonstruktion (autolog, Kunststoff, Composite) versorgt werden [163, 175]. Venöse Verletzungen der unteren Extremität sollten (in absteigender Reihenfolge) mittels Patch-Plastik, autologem Veneninterponat, PTFE(Polytetrafluorethylen)-Interponat oder primärer Ligatur versorgt werden [176-182].

Die Indikation zur Fasziotomie sollte frühzeitig gestellt werden, ggf. sollte sie noch vor der Gefäßrekonstruktion durchgeführt werden [160, 183].

Die endovaskuläre Therapie arterieller Verletzungen stellt eine weitere Möglichkeit zur Versorgung arterieller Verletzungen der unteren Extremität auch beim polytraumatisierten Patienten dar. Etablierte, proximal an der Extremität eingesetzte Verfahren (Coiling, gecoverte Stents) können im Einzelfall auch peripher eingesetzt werden. Auch temporäre Revaskularisationen können damit bis zur definitiven chirurgischen Versorgung angestrebt werden [184-187].

3.10.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Beim Kompartmentsyndrom der unteren Extremität sollen die sofortige Kompartimententlastung und Fixation einer begleitenden Fraktur erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	[188] Bhandari 2000: LoE 1a [189] McQueen 1996: LoE 2b [190] Holden 1975: LoE 5 [191] Mubarak 1983: LoE 5	
	Konsensstärke: 100%	

Kompartmentsyndrome im Zusammenhang mit Frakturen langer Röhrenknochen an der unteren Extremität und insbesondere der Tibia sind nicht selten. Aufgrund der deletären Folgen innerhalb weniger Stunden erfordern sie aber die rasche Dekompression (Fasziotomie) im Rahmen der Frakturstabilisation. Van den Brand et al. [192] befürworten sogar die prophylaktische gegenüber der therapeutischen Fasziotomie. Die frühzeitige Diagnosestellung bei Vorliegen eines Kompartmentsyndroms ist essentiell, da aus diesem spätestens nach 8 Stunden irreversible Schäden für Muskulatur und Nerven resultieren [193]. Die Diagnose wird primär nach klinischen Kriterien gestellt [190]. Eine normale Farbe und Temperatur der Haut sowie das Vorhandensein distaler Pulse [190, 191, 193, 194] schließen ein Kompartmentsyndrom nicht aus. Das Leitsymptom „Schmerz“ sowie schmerzprovozierende Muskeldehnungs- und Sensibilitätstests sind beim in der Regel bewusstlosen oder analgosedierten Polytraumatisierten nicht verwendbar. Deshalb sollte beim bewusstlosen Patienten laut Rowland et al. [195] die definitive Diagnosestellung anhand einer apparativen Druckmessung erfolgen. Als kritischer Wert und Indikation zur Fasziotomie gelten beim bewusstlosen Patienten Kompartimentdrücke über 30 mmHg bzw. bei Hypotension das Überschreiten der Differenz p-diaistolisch – 30mmHg [189, 191, 193, 194, 196]. Wenn die Diagnose eines Kompartmentsyndroms gestellt wurde, ist eine unverzügliche Fasziotomie (Notfalleingriff) indiziert [190, 191, 193, 194]. Am Unterschenkel sollten alle vier Muskellogen eröffnet werden. Die Prognose ist von der Gesamtheit der

Verletzungen abhängig und weist bei isoliertem Kompartiment ohne Fraktur die günstigste Prognose auf. Bei begleitender Fraktur sollte neben der Fasziotomie die stabile Osteosynthese durchgeführt werden. Die bevorzugte stabile Osteosynthese ist die intramedulläre Marknagelung [197, 198], da sie gegenüber anderen Verfahren zu der geringsten Irritation für das Weichteil führt und die Notwendigkeit der Pin-Transfixation des Gewebes vermeidet. In einer Metaanalyse von Bhandari et al. [188] wurde der aufgebohrte Marknagel dem unaufgebohrten Marknagel mit der Frage nach dem relativen Risiko eines Kompartimentsyndroms gegenübergestellt. Obwohl nicht signifikant (relatives Risiko 0,45; 95%-CI: 0,13–1,56), schlossen die Autoren, dass das Aufbohren des Marknagels das Risiko für ein Kompartimentsyndrom zu senken scheint. Dennoch stützt sich die Aussage zum raschen Handeln weniger auf spezifische Studien zum Kompartimentsyndrom beim Polytrauma als vielmehr auf Erfahrungen.

3.10.8	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Entscheidung zum Extremitätenerhalt oder zur Amputation bei Schwerverletzung der unteren Extremität sollte als Individualentscheidung vorgenommen werden. Hierbei spielen der lokale und allgemeine Zustand des Patienten die entscheidende Rolle.	
Literatur, Evidenzgrad	[199] Alexander 1991: LoE 3 [200] Bondurant 1988: LoE 3 [201] McNamara 1994: LoE 3 [202] Russell 1991: LoE 3 [203] Starr 1996: LoE 3 [204] Gregory 1985: LoE 3 [205] Howe 1987: LoE 3 [206] Johansen 1990: LoE 3 [207] Bonanni 1993: LoE 5	
	Konsensstärke: 100%	

Die Schwerverletzung der unteren Extremität kann ein komplexes Problem in der Behandlung des Polytraumas darstellen. Hier kann die kritische Entscheidung zwischen Amputation und Extremitätenerhalt notwendig werden. In der Literatur wird gezeigt, dass der Verlust der neurologischen Funktion mit einer verspäteten Amputation und erhöhten Morbidität sowie auch Mortalität korreliert [199]. Die frühe Amputation sollte bei fehlender Funktion und Sensibilität des Fußes/der Extremität in Erwägung gezogen werden. Umgekehrt sollte bei bestehender Funktion und Sensibilität des Fußes /der Extremität der Erhalt angestrebt werden [199]. Somit sollte für alle Patienten, z.B. mit einer Typ-III-C-Fraktur und kompletter Unterbrechung des Nervus ischiadicus oder tibialis, die Amputation im Vordergrund stehen. Keine der Studien hat bei signifikanter Nervenunterbrechung einen Vorteil des Extremitätenerhalts gegenüber der frühen Amputation gezeigt [200-202].

Die vaskuläre Integrität vergrößert die Wahrscheinlichkeit des Extremitätenerhalts [208]. Die Durchblutungsstörung sollte so schnell wie möglich behoben werden. Eine Ischämiedauer von >6 Stunden war mit irreversiblen Nervenschäden und Funktionsverlust korreliert [203, 209]. Sinnvollerweise sollten nekrotische Extremitäten(anteile) amputiert werden. Eine Verzögerung der Amputation führt zu einem signifikanten Anstieg der Sepsis, Immobilität, Anzahl notwendiger operativer Eingriffe, Mortalität und Kosten [200-202]. Es wurden viele Berichte über objektive Kriterien für die Entscheidung zur Amputation oder zum Extremitätenerhalt veröffentlicht [204-206, 210]. Keine Studie konnte jedoch bisher garantierte Vorhersageinstrumente für diese Entscheidung definieren.

Scoring-Systeme (z.B. Predictive Salvage Index, Mangled Extremity Severity Score [MESS], Limb Salvage Score oder Nerve Injury, Ischemia, Soft-tissue injury, Skeletal injury, Shock and Age of patient [NISSSA]-Scoring Index) können als Ergänzung zur klinischen Beurteilung dienen. Somit ist es unbedingt notwendig, dass bei jedem Patienten und jeder Verletzung eine Individualentscheidung vorgenommen wird. Die Entscheidung zur Amputation oder zum Extremitätenerhalt sollte niemals auf der alleinigen Grundlage eines Protokolls oder Algorithmus getroffen werden [207, 211]. Zusammengefasst ist somit die primäre und sekundäre Amputationsrate bei Verletzungen der unteren Extremität (ohne, dass sie sich z.B. durch Scoring-Systeme vorhersagen lässt) abhängig von der Anzahl und Höhenlokalisierung der zeitgleich verletzten arteriellen und venösen Gefäße, der verletzten Nerven, der Gesamtschwere der Verletzungen und dem Ausmaß des begleitenden Weichteilschadens [160, 161, 163, 170, 174, 183, 212-220].

Literatur

1. Rixen D, Steinhausen E, Sauerl S, Lefering R, Maegele MG, et al. Randomized, controlled, two-arm, interventional, multicenter study on risk-adapted damage control orthopedic surgery of femur shaft fractures in multiple-trauma patients. *Trials [Electronic Resource]*. 2016;17:47.
2. Blair JA, Kusnezov N, Fisher T, Prabhakar G, Bader JO, Belmont PJ. Early Stabilization of Femur Fractures in the Setting of Polytrauma Is Associated With Decreased Risk of Pulmonary Complications and Mortality. *Journal of Surgical Orthopaedic Advances*. 2019;28(2):137-43.
3. Cantu RV, Graves SC, Spratt KF. In-hospital mortality from femoral shaft fracture depends on the initial delay to fracture fixation and Injury Severity Score: a retrospective cohort study from the NTDB 2002-2006. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;76(6):1433-40.
4. Morshed S, Miclau T, 3rd, Bembom O, Cohen M, Knudson MM, Colford JM, Jr. Delayed internal fixation of femoral shaft fracture reduces mortality among patients with multisystem trauma. *Journal of Bone & Joint Surgery - American Volume*. 2009;91(1):3-13.
5. Morshed S, Mikhail C, Miclau Iii T. Timing of Femoral Shaft Fracture Fixation Affects Length of Hospital Stay in Patients with Multiple Injuries. *The open orthopaedics journal*. 2015;9:324-31.
6. Stojiljković P, Golubić Z, Mladenović D, Micić I, Milenković S, Karalejić S, et al. Damage control strategy in the treatment of closed femoral shaft fractures in polytrauma patients. *Acta Facultatis Medicae Naissensis*. 2009;26(3):127-33.
7. Richards JE, Medvecz AJ, O'Hara NN, Guillaumondegui OD, O'Toole RV, Obremskey WT, et al. Musculoskeletal Trauma in Critically Injured Patients: Factors Leading to Delayed Operative Fixation and Multiple Organ Failure. *Anesthesia & Analgesia*. 2020;131(6):1781-8.
8. Flagstad IR, Tatman LM, Heare A, Parikh HR, Albersheim M, Atchison J, et al. Single-Stage versus Two-Stage Bilateral Intramedullary Nail Fixation in Patients with Bilateral Femur Fractures, A Multicenter Retrospective Review. *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2021;5:05.
9. Steinhausen E, Lefering R, Tjardes T, Neugebauer EA, Bouillon B, Rixen D, et al. A risk-adapted approach is beneficial in the management of bilateral femoral shaft fractures in multiple trauma patients: an analysis based on the trauma registry of the German Trauma Society. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2014;76(5):1288-93.
10. Chilov MN, Cameron ID, March LM. Evidence-based guidelines for fixing broken hips: an update. *Medical journal of Australia*. 2003;179(9):489-94.
11. March LM, Cameron ID, Cumming RG, Chamberlain AC, Schwarz JM, Brnabic A, et al. Mortality and morbidity after hip fracture: can evidence based clinical pathways make a difference? *The journal of rheumatology*. 2000;27(9):2227-31.
12. March LM, Chamberlain AC, Cameron ID, Cumming RG, Brnabic A, Finnegan T, et al. How best to fix a broken hip. Fractured Neck of Femur Health Outcomes Project Team. *The Medical journal of Australia*. 1999;170(10):489-94.
13. Benterud J, Husby T, Nordsletten L, Alho A. Fixation of displaced femoral neck fractures with a sliding screw plate and a cancellous screw or two Olmed screws. A prospective, randomized study of 225 elderly patients with a 3-year follow-up. *Annales chirurgiae et gynaecologiae*. 1996;86(4):338-42.
14. Johansson T, Jacobsson S-A, Ivarsson I, Knutsson A, Wahlström O. Internal fixation versus total hip arthroplasty in the treatment of displaced femoral neck fractures: a prospective randomized study of 100 hips. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 2000;71(6):597-602.
15. Lagerby M, Asplund S, Ringqvist I. Cannulated screws for fixation of femoral neck fractures: no difference between Uppsala screws and Richards screws in a randomized prospective study of 268 cases. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1998;69(4):387-91.
16. Parker M, Handol H. Extramedullary fixation implants and fixators for extracapsular hip fractures *The Cochrane database of systematic reviews*. 2002;(CD000339).
17. Parker M, Handoll H. Gamma and other cephalocondylic intramedullary nails versus extramedullary implants for extracapsular hip fractures *Cochrane Database Syst Rev* 2002;(CD000093).

18. Parker M, Handoll H, Bhonsle S, Gillespie W. Condylcephalic nails versus extramedullary implants for extracapsular hip fractures. The Cochrane database of systematic reviews. 2002;(CD000338).
19. Parker MJ, Blundell C. Choice of implant for internal fixation of femoral neck fractures: meta-analysis of 25 randomised trials including 4,925 patients. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 1998;69(2):138-43.
20. Parker MJ, Pryor GA. Internal fixation or arthroplasty for displaced cervical hip fractures in the elderly: a randomised controlled trial of 208 patients. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 2000;71(5):440-6.
21. Ravikumar KJ, Marsh G. Internal fixation versus hemiarthroplasty versus total hip arthroplasty for displaced subcapital fractures of femur—13 year results of a prospective randomised study. *Injury*. 2000;31(10):793-7.
22. Van Dortmont L, Douw C, Van Breukelen A, Laurens D, Mulder P, Wereldsma J, et al. Cannulated screws versus hemiarthroplasty for displaced intracapsular femoral neck fractures in demented patients. *Annales chirurgiae et gynaecologiae*. 1999;89(2):132-7.
23. Bhandari M, Devereaux P, Swiontkowski MF, Tornetta P, Obremskey W, Koval KJ, et al. Internal fixation compared with arthroplasty for displaced fractures of the femoral neck. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 2003;85(9):1673-81.
24. Parker M, Handoll H. Intramedullary nails for extracapsular hip fractures in adults. The Cochrane database of systematic reviews. 2006;(CD004961).
25. Parker MJ, Gurusamy K. Internal fixation versus arthroplasty for intracapsular proximal femoral fractures in adults. The Cochrane database of systematic reviews. 2006;(CD001708).
26. Parker MJ, Handoll H. Replacement arthroplasty versus internal fixation for extracapsular hip fractures in adults. The Cochrane database of systematic reviews. 2006;(CD000086).
27. Calder S, Anderson G, Jagger C, Harper W, Gregg P. Unipolar or bipolar prosthesis for displaced intracapsular hip fracture in octogenarians. *J Bone Joint Surg Br*. 1996;78:391-4.
28. Cornell CN, Levine D, O'Doherty J, Lyden J. Unipolar versus bipolar hemiarthroplasty for the treatment of femoral neck fractures in the elderly. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;348:67-71.
29. Baumgaertner MR, Curtin SL, Lindskog DM. Intramedullary versus extramedullary fixation for the treatment of intertrochanteric hip fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(348):87-94.
30. Buciuto R, Hammer R. RAB-plate versus sliding hip screw for unstable trochanteric hip fractures: stability of the fixation and modes of failure--radiographic analysis of 218 fractures. *J Trauma*. 2001;50(3):545-50.
31. Buciuto R, Uhlin B, Hammerby S, Hammer R. RAB-plate vs Richards CHS plate for unstable trochanteric hip fractures. A randomized study of 233 patients with 1-year follow-up. *Acta Orthop Scand*. 1998;69(1):25-8.
32. Chinoy MA, Parker MJ. Fixed nail plates versus sliding hip systems for the treatment of trochanteric femoral fractures: a meta analysis of 14 studies. *Injury*. 1999;30(3):157-63.
33. Fritz T, Hiersemann K, Krieglstein C, Friedl W. Prospective randomized comparison of gliding nail and gamma nail in the therapy of trochanteric fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1999;119(1-2):1-6.
34. Hardy DC, Descamps P-Y, Krallis P, Fabeck L, Smets P, Bertens CL, et al. Use of an Intramedullary Hip-Screw Compared with a Compression Hip-Screw with a Plate for Intertrochanteric Femoral Fractures. A Prospective, Randomized Study of One Hundred Patients*. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1998;80(5):618-30.
35. Hoffman CW, Lynskey TG. Intertrochanteric fractures of the femur: a randomized prospective comparison of the Gamma nail and the Ambi hip screw. *The Australian and New Zealand journal of surgery*. 1996;66(3):151-5.
36. Hoffmann R, Schmidmaier G, Schulz R, Schütz M, Südkamp N. Classic nail versus DHS. A prospective randomised study on operative fixation of trochanteric femur fractures. *Der Unfallchirurg*. 1999;102(3):182-90.
37. Koval KJ. Intramedullary nailing of proximal femur fractures. *American journal of orthopedics (Belle Mead, NJ)*. 2007;36(4 Suppl):4-7.

38. Lunsjö K, Ceder L, Thorngren K-G, Skytting B, Tidermark J, Berntson P-O, et al. Extramedullary fixation of 569 unstable intertrochanteric fractures: a randomized multicenter trial of the Medoff sliding plate versus three other screw-plate systems. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 2001;72(2):133-40.
39. Lunsjö K, Ceder L, Tidermark J, Hamberg P, Larsson B-E, Ragnarsson B, et al. Extramedullar fixation of 107 subtrochanteric fractures: A randomized multicenter trial of the Medoff sliding plate versus 3 other screw-plate systems. *Acta orthopaedica Scandinavica*. 1999;70(5):459-66.
40. Madsen JE, Næss L, Aune AK, Alho A, Ekeland A, Strømsøe K. Dynamic hip screw with trochanteric stabilizing plate in the treatment of unstable proximal femoral fractures: a comparative study with the Gamma nail and compression hip screw. *Journal of orthopaedic trauma*. 1998;12(4):241-8.
41. Olsson O, Ceder L, Hauggaard A. Femoral shortening in intertrochanteric fractures. A comparison between the Medoff sliding plate and the compression hip screw. *J Bone Joint Surg Br*. 2001;83(4):572-8.
42. Park SR, Kang JS, Kim HS, Lee WH, Kim YH. Treatment of intertrochanteric fracture with the Gamma AP locking nail or by a compression hip screw--a randomised prospective trial. *International orthopaedics*. 1998;22(3):157-60.
43. Parker MJ, Pryor GA. Gamma versus DHS nailing for extracapsular femoral fractures. Meta-analysis of ten randomised trials. *International orthopaedics*. 1996;20(3):163-8.
44. Pelet S, Arlettaz Y, Chevalley F. [Osteosynthesis of per- and subtrochanteric fractures by blade plate versus gamma nail. A randomized prospective study]. *Swiss surgery = Schweizer Chirurgie = Chirurgie suisse = Chirurgia svizzera*. 2001;7(3):126-33.
45. Watson JT, Moed BR, Cramer KE, Karges DE. Comparison of the compression hip screw with the Medoff sliding plate for intertrochanteric fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;(348):79-86.
46. Brien WW, Wiss DA, Becker V, Jr., Lehman T. Subtrochanteric femur fractures: a comparison of the Zickel nail, 95 degrees blade plate, and interlocking nail. *J Orthop Trauma*. 1991;5(4):458-64.
47. Desjardins A, Roy A, Paiement G, Newman N, Pedlow F, Desloges D, et al. Unstable intertrochanteric fracture of the femur. A prospective randomised study comparing anatomical reduction and medial displacement osteotomy. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1993;75(3):445-7.
48. Goldhagen PR, O'Connor DR, Schwarze D, Schwartz E. A prospective comparative study of the compression hip screw and the gamma nail. *J Orthop Trauma*. 1994;8(5):367-72.
49. Haentjens P, Casteleyn PP, De Boeck H, Handelberg F, Opdecam P. Treatment of unstable intertrochanteric and subtrochanteric fractures in elderly patients. Primary bipolar arthroplasty compared with internal fixation. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1989;71(8):1214-25.
50. Lu-Yao GL, Keller RB, Littenberg B, Wennberg JE. Outcomes after displaced fractures of the femoral neck. A meta-analysis of one hundred and six published reports. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1994;76(1):15-25.
51. Parker MJ, Myles JW, Anand JK, Drewett R. Cost-benefit analysis of hip fracture treatment. *J Bone Joint Surg Br*. 1992;74(2):261-4.
52. Wiss DA, Brien WW. Subtrochanteric fractures of the femur. Results of treatment by interlocking nailing. *Clin Orthop Relat Res*. 1992;(283):231-6.
53. Bredahl C, Nyholm B, Hindsholm KB, Mortensen JS, Olesen AS. Mortality after hip fracture: results of operation within 12 h of admission. *Injury*. 1992;23(2):83-6.
54. Dolk T. Operation in hip fracture patients--analysis of the time factor. *Injury*. 1990;21(6):369-72.
55. Hoerer D, Volpin G, Stein H. Results of early and delayed surgical fixation of hip fractures in the elderly: a comparative retrospective study. *Bull Hosp Jt Dis*. 1993;53(1):29-33.
56. Villar RN, Allen SM, Barnes SJ. Hip fractures in healthy patients: operative delay versus prognosis. *British medical journal (Clinical research ed)*. 1986;293(6556):1203-4.
57. Pagnani MJ, Lyden JP. Postoperative femoral fracture after intramedullary fixation with a Gamma nail: case report and review of the literature. *J Trauma*. 1994;37(1):133-7.

58. Anwar IA, Battistella FD, Neiman R, Olson SA, Chapman MW, Moehring HD. Femur fractures and lung complications: a prospective randomized study of reaming. *Clin Orthop Relat Res.* 2004;(422):71-6.
59. Aufmkolk M, Neudeck F, Voggenreiter G, Schneider K, Obertacke U, Schmit-Neuerburg KP. [Effect of primary femoral plate osteosynthesis on the course of polytrauma patients with or without thoracic trauma]. *Der Unfallchirurg.* 1998;101(6):433-9.
60. Bone LB, Babikian G, Stegemann PM. Femoral canal reaming in the polytrauma patient with chest injury. A clinical perspective. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;(318):91-4.
61. Bosse MJ, MacKenzie EJ, Riemer BL, Brumback RJ, McCarthy ML, Burgess AR, et al. Adult respiratory distress syndrome, pneumonia, and mortality following thoracic injury and a femoral fracture treated either with intramedullary nailing with reaming or with a plate. A comparative study. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1997;79(6):799-809.
62. Brumback RJ, Toal TR, Jr., Murphy-Zane MS, Novak VP, Belkoff SM. Immediate weight-bearing after treatment of a comminuted fracture of the femoral shaft with a statically locked intramedullary nail. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1999;81(11):1538-44.
63. Butler MS, Brumback RJ, Ellison TS, Poka A, Bathon GH, Burgess AR. Interlocking intramedullary nailing for ipsilateral fractures of the femoral shaft and distal part of the femur. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1991;73(10):1492-502.
64. Canadian Orthopaedic Trauma S. Reamed versus unreamed intramedullary nailing of the femur: comparison of the rate of ARDS in multiple injured patients. *J Orthop Trauma.* 2006;20(6):384-7.
65. Friedl H, Trentz O. Marknagelung im Rahmen der Versorgung bei Polytraumatisierten. *Op J.* 1995;11:308-12.
66. Jekic IM, Jekic ML. [The status of plate osteosynthesis in the treatment of femur shaft fracture in polytrauma patients]. *Helv Chir Acta.* 1994;60(4):611-3.
67. Kregor PJ, Song KM, Routt ML, Jr., Sangeorzan BJ, Liddell RM, Hansen ST, Jr. Plate fixation of femoral shaft fractures in multiply injured children. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1993;75(12):1774-80.
68. Lhowe DW, Hansen ST. Immediate nailing of open fractures of the femoral shaft. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1988;70(6):812-20.
69. Neudeck F, Aufmkolk M, Voggenreiter G, Olivier LC, Majetschak M, Obertacke U. [How many severely injured multiple-trauma patients can benefit from the biomechanical advantage of early mobilization following femoral intramedullary nailing?]. *Der Unfallchirurg.* 1998;101(10):769-74.
70. Paar O, Kasperk R, Schubert T. [Plate osteosynthesis of the femur in patients with multiple and mono-trauma]. *Aktuelle Traumatol.* 1990;20(4):171-5.
71. Pell AC, Christie J, Keating JF, Sutherland GR. The detection of fat embolism by transoesophageal echocardiography during reamed intramedullary nailing. A study of 24 patients with femoral and tibial fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 1993;75(6):921-5.
72. Riemer BL, Butterfield SL, Burke CJ, 3rd, Mathews D. Immediate plate fixation of highly comminuted femoral diaphyseal fractures in blunt polytrauma patients. *Orthopedics.* 1992;15(8):907-16.
73. Schmidtmann U, Knopp W, Wolff C, Sturmer KM. [Results of elastic plate osteosynthesis of simple femoral shaft fractures in polytraumatized patients. An alternative procedure]. *Der Unfallchirurg.* 1997;100(12):949-56.
74. Smrke D, Princic J. [Plate and screw osteosynthesis in femoral shaft fractures. Retrospective study of 500 femur shaft fractures]. *Der Unfallchirurg.* 2000;103(2):110-4.
75. Südkamp N, Haas N, Flory P, Tscherne H, Berger A. Criteria for amputation, reconstruction and replantation of extremities in multiple trauma patients. *Der Chirurg; Zeitschrift für Alle Gebiete der Operativen Medizin.* 1989;60(11):774-81.
76. Winquist RA, Hansen ST, Jr., Clawson DK. Closed intramedullary nailing of femoral fractures. A report of five hundred and twenty cases. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1984;66(4):529-39.

77. Wozasek GE, Simon P, Redl H, Schlag G. Intramedullary pressure changes and fat intravasation during intramedullary nailing: an experimental study in sheep. *J Trauma*. 1994;36(2):202-7.
78. Hartin NL, Harris I, Hazratwala K. Retrograde nailing versus fixed-angle blade plating for supracondylar femoral fractures: a randomized controlled trial. *ANZ J Surg*. 2006;76(5):290-4.
79. Iannaccone WM, Bennett FS, DeLong WG, Jr., Born CT, Dalsey RM. Initial experience with the treatment of supracondylar femoral fractures using the supracondylar intramedullary nail: a preliminary report. *J Orthop Trauma*. 1994;8(4):322-7.
80. Kayali C, Agus H, Turgut A. Successful results of minimally invasive surgery for comminuted supracondylar femoral fractures with LISS: comparative study of multiply injured and isolated femoral fractures. *J Orthop Sci*. 2007;12(5):458-65.
81. Ostermann PA, Neumann K, Ekkernkamp A, Muhr G. Long term results of unicondylar fractures of the femur. *J Orthop Trauma*. 1994;8(2):142-6.
82. Schutz M, Muller M, Regazzoni P, Hontzsch D, Krettek C, Van der Werken C, et al. Use of the less invasive stabilization system (LISS) in patients with distal femoral (AO33) fractures: a prospective multicenter study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2005;125(2):102-8.
83. Stocker R, Heinz T, Vecsei V. [Results of surgical management of distal femur fractures with joint involvement]. *Der Unfallchirurg*. 1995;98(7):392-7.
84. Zehntner MK, Marchesi DG, Burch H, Ganz R. Alignment of supracondylar/intercondylar fractures of the femur after internal fixation by AO/ASIF technique. *J Orthop Trauma*. 1992;6(3):318-26.
85. Dugan TR, Hubert MG, Siska PA, Pape HC, Tarkin IS. Open supracondylar femur fractures with bone loss in the polytraumatized patient - Timing is everything! *Injury*. 2013;44(12):1826-31.
86. Honkonen SE. Indications for surgical treatment of tibial condyle fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1994;(302):199-205.
87. Moore TM, Patzakis MJ, Harvey JP. Tibial plateau fractures: definition, demographics, treatment rationale, and long-term results of closed traction management or operative reduction. *J Orthop Trauma*. 1987;1(2):97-119.
88. Beck M, Gradl G, Gierer P, Rotter R, Witt M, Mittlmeier T. [Treatment of complicated proximal segmental tibia fractures with the less invasive stabilization locking plate system]. *Der Unfallchirurg*. 2008;111(7):493-8.
89. Jiang R, Luo CF, Wang MC, Yang TY, Zeng BF. A comparative study of Less Invasive Stabilization System (LISS) fixation and two-incision double plating for the treatment of bicondylar tibial plateau fractures. *Knee*. 2008;15(2):139-43.
90. Nork SE, Barei DP, Schildhauer TA, Agel J, Holt SK, Schrick JL, et al. Intramedullary nailing of proximal quarter tibial fractures. *J Orthop Trauma*. 2006;20(8):523-8.
91. Ricci WM, Rudzki JR, Borrelli J, Jr. Treatment of complex proximal tibia fractures with the less invasive skeletal stabilization system. *J Orthop Trauma*. 2004;18(8):521-7.
92. Guanche CA, Markman AW. Arthroscopic management of tibial plateau fractures. *Arthroscopy*. 1993;9(4):467-71.
93. Bennett WF, Browner B. Tibial plateau fractures: a study of associated soft tissue injuries. *J Orthop Trauma*. 1994;8(3):183-8.
94. Young MJ, Barrack RL. Complications of internal fixation of tibial plateau fractures. *Orthopaedic review*. 1994;23(2):149-54.
95. Rüter A, Trentz O, Wagner M. *Unfallchirurgie*. 1. ed. München-Wien-Baltimore: Urban Schwarzenberg; 1995.
96. Whittle AP, Russell TA, Taylor JC, Lavelle DG. Treatment of open fractures of the tibial shaft with the use of interlocking nailing without reaming. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1992;74(8):1162-71.
97. Wu CC, Shih CH. Complicated open fractures of the distal tibia treated by secondary interlocking nailing. *J Trauma*. 1993;34(6):792-6.
98. Inan M, Halici M, Ayan I, Tuncel M, Karaoglu S. Treatment of type IIIA open fractures of tibial shaft with Ilizarov external fixator versus unreamed tibial nailing. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2007;127(8):617-23.

99. Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF, Schemitsch EH. Treatment of open fractures of the shaft of the tibia. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83(1):62-8.
100. Larsen LB, Madsen JE, Hoiness PR, Ovre S. Should insertion of intramedullary nails for tibial fractures be with or without reaming? A prospective, randomized study with 3.8 years' follow-up. *J Orthop Trauma.* 2004;18(3):144-9.
101. Boos N, Bugyi I. [Results of locking intramedullary nailing in distal tibial shaft fractures]. *Der Unfallchirurg.* 1989;92(9):453-8.
102. DeLee JC, Heckman JD, Lewis AG. Partial fibulectomy for ununited fractures of the tibia. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1981;63(9):1390-5.
103. Habernek H, Kwasny O, Schmid L, Ortner F. Complications of interlocking nailing for lower leg fractures: a 3-year follow up of 102 cases. *J Trauma.* 1992;33(6):863-9.
104. Lottes J. Intramedullary nailing of the tibia. *American Academy of Orthopaedic Surgeons: Instructional Course Lectures, Ann Arbor: JW Edwards.* 1958;15:65-77.
105. Rankin EA, Metz CW, Jr. Management of delayed union in early weight-bearing treatment of the fractured tibia. *J Trauma.* 1970;10(9):751-9.
106. Richter D, Hahn MP, Laun RA, Ekkernkamp A, Muhr G, Ostermann PA. [Ankle para-articular tibial fracture. Is osteosynthesis with the unreamed intramedullary nail adequate?]. *Chirurg.* 1998;69(5):563-70.
107. Sorensen KH. Treatment of delayed union and non-union of the tibia by fibular resection. *Acta Orthop Scand.* 1969;40(1):92-104.
108. Vallier HA, Le TT, Bedi A. Radiographic and clinical comparisons of distal tibia shaft fractures (4 to 11 cm proximal to the plafond): plating versus intramedullary nailing. *J Orthop Trauma.* 2008;22(5):307-11.
109. Weber TG, Harrington RM, Henley MB, Tencer AF. The role of fibular fixation in combined fractures of the tibia and fibula: a biomechanical investigation. *J Orthop Trauma.* 1997;11(3):206-11.
110. Ankin NL. [Surgical treatment of fractures of long bones in a patient with multiple injuries]. *Klin Khir.* 1998;(7):41-4.
111. Nast-Kolb D. [Intramedullary nailing in polytrauma. Pro and contra early management]. *Der Unfallchirurg.* 1997;100(1):80-4.
112. Duchesneau S, Fallat LM. The Maisonneuve fracture. *J Foot Ankle Surg.* 1995;34(5):422-8.
113. Grass R, Herzmann K, Biewener A, Zwipp H. [Injuries of the inferior tibiofibular syndesmosis]. *Der Unfallchirurg.* 2000;103(7):520-32.
114. Xenos JS, Hopkinson WJ, Mulligan ME, Olson EJ, Popovic NA. The tibiofibular syndesmosis. Evaluation of the ligamentous structures, methods of fixation, and radiographic assessment. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1995;77(6):847-56.
115. Richter J, Muhr G. [Ankle joint fractures in adults]. *Chirurg.* 2000;71(4):489-502.
116. Brink O, Staunstrup H, Sommer J. Stable lateral malleolar fractures treated with aircast ankle brace and DonJoy R.O.M.-Walker brace: a prospective randomized study. *Foot Ankle Int.* 1996;17(11):679-84.
117. Dietrich A, Lill H, Engel T, Schonfelder M, Josten C. Conservative functional treatment of ankle fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2002;122(3):165-8.
118. Richter J, Langer C, Hahn MP, Josten C, Muhr G. [Is functional conservative treatment of stable lateral ankle fractures justified?]. *Chirurg.* 1996;67(12):1255-60.
119. Yde J, Kristensen KD. Ankle fractures: supination-eversion fractures stage II primary and late results of operative and non-operative treatment. *Acta orthopaedica Scandinavica.* 1980;51(1-6):695-701.
120. Phillips WA, Schwartz HS, Keller CS, Woodward HR, Rudd WS, Spiegel PG, et al. A prospective, randomized study of the management of severe ankle fractures. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1985;67(1):67-78.
121. Bray TJ, Endicott M, Capra SE. Treatment of open ankle fractures. Immediate internal fixation versus closed immobilization and delayed fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(240):47-52.

122. Port AM, McVie JL, Naylor G, Kreibich DN. Comparison of two conservative methods of treating an isolated fracture of the lateral malleolus. *J Bone Joint Surg Br.* 1996;78(4):568-72.
123. Caba-Doussoux P, Leon-Baltasar JL, Garcia-Fuentes C, Resines-Erasun C. Damage control orthopaedics in severe polytrauma with femur fracture. *Injury.* 2012;43 Suppl 2:S42-6.
124. D'Alleyrand JC, O'Toole RV. The evolution of damage control orthopedics: current evidence and practical applications of early appropriate care. *Orthop Clin North Am.* 2013;44(4):499-507.
125. Zalavras C, Velmahos G, Tan Chan L, Patzakis M, D D. Multiple intramedullary nailing: A risk factor for respiratory compromise following femur fractures. Annual Meeting of AAOS; New Orleans 2003.
126. Steinhausen E, Lefering R, Tjardes T, Neugebauer EA, Bouillon B, Rixen D, et al. A risk-adapted approach is beneficial in the management of bilateral femoral shaft fractures in multiple trauma patients: an analysis based on the trauma registry of the German Trauma Society. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2014;76(5):1288-93.
127. Scalea TM, Boswell SA, Scott JD, Mitchell KA, Kramer ME, Pollak AN. External fixation as a bridge to intramedullary nailing for patients with multiple injuries and with femur fractures: damage control orthopedics. *J Trauma.* 2000;48(4):613-21; discussion 21-3.
128. Brumback RJ, McGarvey WC. Fractures of the tibial plafond. Evolving treatment concepts for the pilon fracture. *Orthop Clin North Am.* 1995;26(2):273-85.
129. Patel NM, Yoon RS, Koerner JD, Donegan DJ, Liporace FA. Timing of diaphyseal femur fracture nailing: is the difference night and day? *Injury.* 2014;45(3):546-9.
130. Dedmond BT, Almekinders LC. Operative versus nonoperative treatment of knee dislocations: a meta-analysis. *Am J Knee Surg.* 2001;14(1):33-8.
131. Green NE, Allen BL. Vascular injuries associated with dislocation of the knee. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1977;59(2):236-9.
132. Huang FS, Simonian PT, Chansky HA. Irreducible posterolateral dislocation of the knee. *Arthroscopy.* 2000;16(3):323-7.
133. Krettek C, Schandelmaier P, Lobenhoffer P, Tschernke H. [Complex trauma of the knee joint. Diagnosis--management--therapeutic principles]. *Der Unfallchirurg.* 1996;99(9):616-27.
134. Montgomery TJ, Savoie FH, White JL, Roberts TS, Hughes JL. Orthopedic management of knee dislocations. Comparison of surgical reconstruction and immobilization. *Am J Knee Surg.* 1995;8(3):97-103.
135. Richter M, Bosch U, Wippermann B, Hofmann A, Krettek C. Comparison of surgical repair or reconstruction of the cruciate ligaments versus nonsurgical treatment in patients with traumatic knee dislocations. *Am J Sports Med.* 2002;30(5):718-27.
136. Mariani PP, Santoriello P, Iannone S, Condello V, Adriani E. Comparison of surgical treatments for knee dislocation. *Am J Knee Surg.* 1999;12(4):214-21.
137. Foulk DM, Mullis BH. Hip dislocation: evaluation and management. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons.* 2010;18(4):199-209.
138. Garrett JC, Epstein H, Harris W, Harvey Jr J, Nickel V. Treatment of unreduced traumatic posterior dislocations of the hip. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1979;61(1):2-6.
139. Pietrafesa CA, Hoffman JR. Traumatic dislocation of the hip. *Jama.* 1983;249(24):3342-6.
140. Gillespie W, Walenkamp G. Antibiotic prophylaxis for surgery for proximal femoral and other closed long bone fractures. *Cochrane Database Syst Rev* 2003;(Issue 1).
141. Slobogean GP, Kennedy SA, Davidson D, O'Brien PJ. Single- versus multiple-dose antibiotic prophylaxis in the surgical treatment of closed fractures: a meta-analysis. *J Orthop Trauma.* 2008;22(4):264-9.
142. Dellinger EP, Caplan ES, Weaver LD, Wertz MJ, Droppert BM, Hoyt N, et al. Duration of preventive antibiotic administration for open extremity fractures. *Arch Surg.* 1988;123(3):333-9.
143. Hunfeld K-P, Wichelhaus T, Schäfer V, Rittmeister M. Perioperative Antibiotikaprophylaxe bei aseptischen Eingriffen in der Orthopädie. *Der Orthopäde.* 2003;32(12):1070-7.
144. Henry SL, Ostermann PA, Seligson D. The prophylactic use of antibiotic impregnated beads in open fractures. *J Trauma.* 1990;30(10):1231-8.

145. Luchette FA, Bone LB, Born CT, DeLong Jr WG, Mullins D. East Practice Management Guidelines Work Group: practice management guidelines for prophylactic antibiotic use in open fractures. Eastern Association for the Surgery of Trauma. 2000.
146. Pharmacists ASoH-S. ASHP therapeutic guidelines on antimicrobial prophylaxis in surgery. *Am J Health Syst Pharm.* 1999;56(18):1839-88.
147. Boyd RJ, Burke JF, Colton T. A double-blind clinical trial of prophylactic antibiotics in hip fractures. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1973;55(6):1251-8.
148. Buckley R, Hughes GN, Snodgrass T, Huchcroft SA. Perioperative cefazolin prophylaxis in hip fracture surgery. *Can J Surg.* 1990;33(2):122-7.
149. Buckley S, Smith G, Sponseller P, Thompson J, Griffin P. Open fractures of the tibia in children. *The Journal of bone and joint surgery American volume.* 1990;72(10):1462-9.
150. Grote S, Polzer H, Prall WC, Gill S, Shafizadeh S, Banerjee M, et al. [Prevention of infection in the current treatment of open fractures: an evidence-based systematic analysis]. *Orthopade.* 2012;41(1):32-42.
151. Hoff WS, Bonadies JA, Cachecho R, Dorlac WC. East Practice Management Guidelines Work Group: update to practice management guidelines for prophylactic antibiotic use in open fractures. *J Trauma.* 2011;70(3):751-4.
152. Hauser CJ, Adams CA, Jr., Eachempati SR, Council of the Surgical Infection S. Surgical Infection Society guideline: prophylactic antibiotic use in open fractures: an evidence-based guideline. *Surg Infect (Larchmt).* 2006;7(4):379-405.
153. Isaac SM, Woods A, Danial IN, Mourkus H. Antibiotic Prophylaxis in Adults With Open Tibial Fractures: What Is the Evidence for Duration of Administration? A Systematic Review. *J Foot Ankle Surg.* 2015.
154. Uçkay I, Hoffmeyer P, Lew D, Pittet D. Prevention of surgical site infections in orthopaedic surgery and bone trauma: state-of-the-art update. *Journal of Hospital Infection.* 2013;84(1):5-12.
155. Cancienne JM, Tyrrell Burrus M, Weiss DB, Yarboro SR. Applications of Local Antibiotics in Orthopedic Trauma. *Orthop Clin North Am.* 2015;46(4):495-510.
156. Hake ME, Young H, Hak DJ, Stahel PF, Hammerberg EM, Mauffrey C. Local antibiotic therapy strategies in orthopaedic trauma: Practical tips and tricks and review of the literature. *Injury.* 2015;46(8):1447-56.
157. Ostermann PA, Henry SL, Seligson D. The role of local antibiotic therapy in the management of compound fractures. *Clinical orthopaedics and related research.* 1993;295:102-11.
158. Seligson D, Ostermann PA, Henry SL, Wolley T. The management of open fractures associated with arterial injury requiring vascular repair. *J Trauma.* 1994;37(6):938-40.
159. Piatek S, Burger T, Halloul Z, Westphal T, Holmenschlager F, Winckler S. [Arterial vascular injuries in fractures and dislocations]. *Zentralbl Chir.* 2001;126(5):379-84.
160. Sriussadaporn S. Arterial injuries of the lower extremity from blunt trauma. *J Med Assoc Thai.* 1997;80(2):121-9.
161. Sultanov DD, Usmanov NU, Kurbanov UA, Baratov AK, Kurbanov NR. Surgical management of traumatic injuries to the tibial arteries. *Angiol Sosud Khir.* 2003;9(2):111-7.
162. Usmanov NU, Sultanov DD, Baratov AK, Kurbanov NR. [Surgical strategy in traumatic lesions of the popliteal artery]. *Vestn Khir Im I I Grek.* 2003;162(3):64-8.
163. Velinovic MM, Davidovic BL, Lotina IS, Vranes RM, Djukic LP, Arsov JV, et al. Complications of operative treatment of injuries of peripheral arteries. *Cardiovasc Surg.* 2000;8(4):256-64.
164. Vollmar J. Verletzungen der Arterien. In: Vollmer J, editor. *Rekonstruktive Chirurgie der Arterien.* Stuttgart: Thieme; 1995. p. 70-95.
165. Waikukul S, Sakkarnkosol S, Vanadurongwan V. Vascular injuries in compound fractures of the leg with initially adequate circulation. *J Bone Joint Surg Br.* 1998;80(2):254-8.
166. Jagers RC, Feliciano DV, Mattox KL, Graham JM, DeBakey ME. Injury to popliteal vessels. *Arch Surg.* 1982;117(5):657-61.
167. McHenry TP, Holcomb JB, Aoki N, Lindsey RW. Fractures with major vascular injuries from gunshot wounds: implications of surgical sequence. *J Trauma.* 2002;53(4):717-21.

168. Nanobashvili J, Kopadze T, Tvaladze M, Buachidze T, Nazvlishvili G. War injuries of major extremity arteries. *World J Surg.* 2003;27(2):134-9.
169. Niedermeier H. Gefäßverletzungen an den Extremitäten. *Gefäßchirurgie.* 2002;7(4):229-32.
170. Orcutt MB, Levine BA, Root HD, Sirinek KR. The continuing challenge of popliteal vascular injuries. *Am J Surg.* 1983;146(6):758-61.
171. Padberg FT, Jr., Rubelowsky JJ, Hernandez-Maldonado JJ, Milazzo V, Swan KG, Lee BC, et al. Infrapopliteal arterial injury: prompt revascularization affords optimal limb salvage. *J Vasc Surg.* 1992;16(6):877-85; discussion 85-6.
172. Peck JJ, Eastman AB, Bergan JJ, Sedwitz MM, Hoyt DB, McReynolds DG. Popliteal vascular trauma. A community experience. *Arch Surg.* 1990;125(10):1339-43; discussion 43-4.
173. Subramanian A, Vercruyse G, Dente C, Wyrzykowski A, King E, Feliciano DV. A decade's experience with temporary intravascular shunts at a civilian level I trauma center. *J Trauma.* 2008;65(2):316-24; discussion 24-6.
174. Faris IB, Raptis S, Fitridge R. Arterial injury in the lower limb from blunt trauma. *The Australian and New Zealand journal of surgery.* 1997;67(1):25-30.
175. Dorweiler B, Neufang A, Schmiedt W, Hessmann MH, Rudig L, Rommens PM, et al. Limb trauma with arterial injury: long-term performance of venous interposition grafts. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;51(2):67-72.
176. Aitken RJ, Matley PJ, Immelman EJ. Lower limb vein trauma: a long-term clinical and physiological assessment. *The British journal of surgery.* 1989;76(6):585-8.
177. Miranda JF, Francisco JJ, Burihan E. The management of venous trauma: early and late results. *International angiology: a journal of the International Union of Angiology.* 1990;10(3):146-51.
178. Pappas PJ, Haser PB, Teehan EP, Noel AA, Silva MB, Jr., Jamil Z, et al. Outcome of complex venous reconstructions in patients with trauma. *J Vasc Surg.* 1997;25(2):398-404.
179. Parry NG, Feliciano DV, Burke RM, Cava RA, Nicholas JM, Dente CJ, et al. Management and short-term patency of lower extremity venous injuries with various repairs. *Am J Surg.* 2003;186(6):631-5.
180. Pasch AR, Bishara RA, Schuler JJ, Lim LT, Meyer JP, Merlotti G, et al. Results of venous reconstruction after civilian vascular trauma. *Arch Surg.* 1986;121(5):607-11.
181. Rich NM. Principles and indications for primary venous repair. *Surgery.* 1982;91(5):492-6.
182. Timberlake GA, Kerstein MD. Venous injury: to repair or ligate, the dilemma revisited. *Am Surg.* 1995;61(2):139-45.
183. Fainzilber G, Roy-Shapira A, Wall MJ, Jr., Mattox KL. Predictors of amputation for popliteal artery injuries. *Am J Surg.* 1995;170(6):568-70; discussion 70-1.
184. Marin ML, Veith FJ, Cynamon J, Sanchez LA, Lyon RT, Levine BA, et al. Initial experience with transluminally placed endovascular grafts for the treatment of complex vascular lesions. *Ann Surg.* 1995;222(4):449-65; discussion 65-9.
185. Naidoo NM, Corr PD, Robbs JV, Maharaj J, Nair R. Angiographic embolisation in arterial trauma. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery.* 2000;19(1):77-81.
186. Pretre R, Bruschiweiler I, Rossier J, Chilcott M, Bednarkiewicz M, Kursteiner K, et al. Lower limb trauma with injury to the popliteal vessels. *J Trauma.* 1996;40(4):595-601.
187. Scheinert D, Schroder M, Steinkamp H, Balzer JO, Frei U, Biamino G. [Percutaneous therapy of catheter-induced traumatic vascular lesions with Dacron coated nitinol stents]. *Zentralbl Chir.* 2000;125(1):27-33.
188. Bhandari M, Guyatt GH, Tong D, Adili A, Shaughnessy SG. Reamed versus nonreamed intramedullary nailing of lower extremity long bone fractures: a systematic overview and meta-analysis. *J Orthop Trauma.* 2000;14(1):2-9.
189. McQueen M, Court-Brown C. Compartment monitoring in tibial fractures: the pressure threshold for decompression. *The Journal of bone and joint surgery British volume.* 1996;78(1):99-104.
190. Holden C. Compartmental syndromes following trauma. *Clinical Orthopaedics and Related Research.* 1975;(113):95-102.

191. Mubarak SJ, Hargens AR. Acute compartment syndromes. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 1983;3(5):636-8.
192. Brand JGH, Sosef NL, Verleisdonk EJMM, Werken C. Acute Compartment Syndrome after Lower Leg Fracture. *European Journal of Trauma*. 30(2):93-7.
193. Whitesides TE, Heckman MM. Acute compartment syndrome: update on diagnosis and treatment. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 1996;4(4):209-18.
194. Hargens AR, Akeson WH, Mubarak SJ, Owen CA, Gershuni DH, Garfin SR, et al. Tissue fluid pressures: from basic research tools to clinical applications. *Journal of orthopaedic research*. 1989;7(6):902-9.
195. Rowland SA. Fasciotomy: The treatment of compartment syndrome. In: Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC, editors. *Operative Hand Surgery*. New York, Edinburgh, London, Melbourne, Tokyo: Churchill Livingstone; 1999. p. 689-710.
196. Kostler W, Strohm PC, Sudkamp NP. Acute compartment syndrome of the limb. *Injury*. 2004;35(12):1221-7.
197. Echtermeyer V. [Compartment syndrome. Principles of therapy]. *Der Unfallchirurg*. 1991;94(5):225-30.
198. van Essen GJ, McQueen MM. Compartment syndrome in the lower limb. *Hospital medicine*. 1998;59(4):294-7.
199. Alexander JJ, Piotrowski JJ, Graham D, Franceschi D, King T. Outcome of complex vascular and orthopedic injuries of the lower extremity. *Am J Surg*. 1991;162(2):111-6.
200. Bondurant FJ, Cotler HB, Buckle R, Miller-Crotchett P, Browner BD. The medical and economic impact of severely injured lower extremities. *J Trauma*. 1988;28(8):1270-3.
201. McNamara MG, Heckman JD, Corley FG. Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the Mangled Extremity Severity Score (MESS). *J Orthop Trauma*. 1994;8(2):81-7.
202. Russell WL, Sailors DM, Whittle TB, Fisher DF, Jr., Burns RP. Limb salvage versus traumatic amputation. A decision based on a seven-part predictive index. *Ann Surg*. 1991;213(5):473-80; discussion 80-1.
203. Starr AJ, Hunt JL, Reinert CM. Treatment of femur fracture with associated vascular injury. *J Trauma*. 1996;40(1):17-21.
204. Gregory RT, Gould RJ, Pecllet M, Wagner JS, Gilbert DA, Wheeler JR, et al. The mangled extremity syndrome (M.E.S.): a severity grading system for multisystem injury of the extremity. *J Trauma*. 1985;25(12):1147-50.
205. Howe HR, Jr., Poole GV, Jr., Hansen KJ, Clark T, Plonk GW, Koman LA, et al. Salvage of lower extremities following combined orthopedic and vascular trauma. A predictive salvage index. *Am Surg*. 1987;53(4):205-8.
206. Johansen K, Daines M, Howey T, Helfet D, Hansen ST, Jr. Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. *J Trauma*. 1990;30(5):568-72; discussion 72-3.
207. Bonanni F, Rhodes M, Lucke JF. The futility of predictive scoring of mangled lower extremities. *J Trauma*. 1993;34(1):99-104.
208. Roessler MS, Wisner DH, Holcroft JW. The mangled extremity. When to amputate? *Arch Surg*. 1991;126(10):1243-8; discussion 8-9.
209. Lazarides MK, Arvanitis DP, Kopadis GC, Tsoupanos SS, Dayantas JN. Popliteal artery and trifurcation injuries: is it possible to predict the outcome? *European journal of vascular surgery*. 1994;8(2):226-30.
210. Lin C-H, Wei F-C, Levin LS, Su J-I, Yeh W-L. The functional outcome of lower-extremity fractures with vascular injury. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1997;43(3):480-5.
211. Doukas WC, Hayda RA, Frisch HM, Andersen RC, Mazurek MT, Ficke JR, et al. The Military Extremity Trauma Amputation/Limb Salvage (METALS) study: outcomes of amputation versus limb salvage following major lower-extremity trauma. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2013;95(2):138-45.
212. Ballard JL, Bunt TJ, Malone JM. Management of small artery vascular trauma. *Am J Surg*. 1992;164(4):316-9.

213. Jarde O, Abet D, Pietri J. [Bone and vascular injuries of the popliteal fossa. Apropos of 21 cases]. *Phlebologie*. 1985;38(2):347-52.
214. Katzman SS, Dickson K. Determining the prognosis for limb salvage in major vascular injuries with associated open tibial fractures. *Orthopaedic review*. 1992;21(2):195-9.
215. Martin LC, McKenney MG, Sosa JL, Ginzburg E, Puente I, Sleeman D, et al. Management of lower extremity arterial trauma. *J Trauma*. 1994;37(4):591-8; discussion 8-9.
216. Moniz MP, Ombrellaro MP, Stevens SL, Freeman MB, Diamond DL, Goldman MH. Concomitant orthopedic and vascular injuries as predictors for limb loss in blunt lower extremity trauma. *Am Surg*. 1997;63(1):24-8.
217. Radonic V, Baric D, Petricevic A, Andric D, Radonic S. Military injuries to the popliteal vessels in Croatia. *The Journal of cardiovascular surgery*. 1994;35(1):27-32.
218. Sfeir RE, Khoury GS, Haddad FF, Fakh RR, Khalifeh MJ. Injury to the popliteal vessels: the Lebanese war experience. *World J Surg*. 1992;16(6):1156-9.
219. Shah PM, Wapnir I, Babu S, Stahl WM, Clauss RH. Compartment syndrome in combined arterial and venous injuries of the lower extremity. *The American journal of surgery*. 1989;158(2):136-41.
220. Snyder WH, 3rd. Popliteal and shank arterial injury. *Surg Clin North Am*. 1988;68(4):787-807.

3.11 Fuß

S. Rammelt*, S. Ochmann

Häufig verbleiben nach mit hohem personellem und materiellem Aufwand betriebener Polytraumaversorgung bei den betroffenen Patienten Beschwerden und Funktionseinschränkungen am Fuß. Gründe für das Übersehen oder Unterschätzen von Fußverletzungen beim Polytrauma sind augenfälliger sowie lebensbedrohliche Verletzungen, eine mangelhafte Röntgentechnik in der Notfallsituation, eine äußerst variable Klinik beim analgosedierten Patienten, die mangelnde Erfahrung des Untersuchers bei selteneren Fußverletzungen sowie Kommunikationsdefizite in der Behandlung Polytraumatisierter durch das Zusammenwirken mehrerer Teams [1-3].

Die Anzahl von Studien mit höhergradiger Evidenz zum Thema Versorgung von Fußverletzungen beim polytraumatisierten Patienten ist bemerkenswert gering. Dies ist umso bedenklicher, als das Vorhandensein von Fußverletzungen die Prognose von mehrfach verletzten Patienten signifikant negativ beeinflusst [4]. Aus den genannten Gründen ist wiederholt versucht worden, erfahrungsbasierte Behandlungsrichtlinien für diese Patientengruppen aufzustellen [3, 5-10], welche in Ermangelung kontrollierter Studien die Grundlage des folgenden Entwurfes bilden. Ziel dieses Leitlinienabschnittes ist daher eine auf der vorliegenden Studienlage basierende Hilfestellung für die rechtzeitige und adäquate Therapie von Fußverletzungen, welche auf das Verletzungsausmaß beim Polytraumatisierten abgestimmt ist.

Notfallindikationen

Die Notwendigkeit der notfallmäßigen Versorgung von offenen Frakturen, Gefäß- und Nervenverletzungen, des Kompartmentsyndroms und einer extremen Weichteilgefährdung unterscheidet sich nicht von der Notfallindikation an den übrigen Skelettabschnitten [7, 8, 11]. Diesbezüglich wird auf die entsprechenden Leitlinienabschnitte verwiesen.

Topografische Besonderheiten am Fuß ergeben sich aus der Gefahr der avaskulären Nekrose auch bei geschlossenen Luxationsfrakturen des Talus [8, 12-14], geringergradig auch des Os naviculare [15] sowie bei Lisfranc-Luxationsfrakturen und Kalkaneusfrakturen, welche eine erhöhte Gefahr des Kompartmentsyndromes in sich bergen [10, 16-19]. Zudem ist die geschlossene Reposition von Luxationsfrakturen des Talus sowie des Chopart- und Lisfranc-Gelenkes nur in Ausnahmefällen möglich. Die genannten Verletzungen sollten unmittelbar im Anschluss an die initiale Stabilisierung des polytraumatisierten Patienten versorgt werden.

Kompartmentsyndrom des Fußes

3.11.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad A ↑↑	Beim Vorliegen eines manifesten Kompartmentsyndroms des Fußes soll die Fasziotomie umgehend erfolgen.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.11.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Bei klinischem Verdacht auf ein Kompartmentsyndrom des Fußes kann eine apparative Druckmessung vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 95%	

Besonders gefährdet für ein Kompartmentsyndrom des Fußes sind Kalkaneusfrakturen, Lisfranc-Luxationsfrakturen und im Allgemeinen schwere Quetschverletzungen [7, 16-18, 20, 21]. Die Fasziotomie wird von den meisten Autoren ab 30 mmHg empfohlen [17, 22-25]. Andere Autoren empfehlen abweichend vom Unterschenkel die Kompartmentspaltung bereits ab 25 mmHg, da es am Fuß rascher zur Blasenbildung komme und die Toleranz der kleinen Fußmuskeln sowie der Endaufzweigungen der Nerven und Gefäße im Vergleich zum Unterschenkel gegenüber vergleichbaren Drücken geringer sei [10, 26].

Beim Kompartmentsyndrom des Unterschenkels ist auf ein begleitendes Fußkompartmentsyndrom zu achten, wie Manoli et al. [27] in einer Serie von acht Fällen feststellten. In 7 von 8 Fällen lagen Mehrfachverletzungen vor. Sowohl die dorsomediane als auch die mediale Fasziotomie (modifizierter Henry-Zugang) erlaubt in experimentellen und klinischen Studien die suffiziente Entlastung aller Fußkompartimente [24, 27]. Weiterhin sind zwei parallele dorsale Inzisionen sowie eine „Drei-Inzisionen-Entlastung“ mit zusätzlicher medialer oder plantarer Fasziotomie beschrieben, welche jedoch keinen offensichtlichen Vorteil bieten. [21].

Offene Verletzungen

Der Weichteilschaden hat am Fuß einen entscheidenden Einfluss auf das funktionelle Ergebnis [28-31]. Ein aggressives Débridement von kontaminiertem und minderdurchblutetem Gewebe sowie die frühe Weichteildeckung sind essentiell in der Behandlung offener Frakturen am Fuß, um prolongierte Infektverläufe zu verhindern [11, 29, 32-36].

Knochen, Gelenkknorpel und Sehnen sind selbst bei primärer Vitalität gefährdet, wenn sie nicht ausreichend von Gewebe gedeckt sind. Ist ein sekundärer Hautverschluss nach Anschwellen und Konsolidierung der Weichteile zu erwarten oder ein zusätzlicher *Second Look* aufgrund schwerer Kontamination (landwirtschaftliche Verletzungen) erforderlich, können Kunsthautprodukte einen temporären Verschluss gewährleisten [37]. Für oberflächliche Defekte der nicht lasttragenden Bezirke sind sekundäre Spalthauttransplantationen geeignet. Diese erfordern einen sauberen (nicht sterilen) Wundgrund ohne freiliegende Knochen, Gelenkknorpel oder Sehnen. Bei Kindern sind die Ansprüche an den Wundgrund ungleich geringer [38]. Ungelöst sind noch die Probleme der marginalen Hyperkeratose an der Grenzregion zwischen Transplantat und ortsständiger Fußhaut [39]. Bei „*Degloving*“-Verletzungen kann die obere Schicht (ca. 0,3 mm) der unterversorgten und potentiell avitalen abradierten Haut mit dem Dermatom abgelöst und für die Deckung benachbarter Abschnitte mit vitalem Wundgrund verwandt werden (*Split-thickness Skin Excision* [40]). Zudem erlaubt das Ausmaß der Blutung nach Transplantathebung eine sichere Aussage über die Vitalitätsgrenzen.

Mehrschichtige Defekte erfordern einen ortsständigen oder freien Lappentransfer [33, 41, 42]. Die Lappenauswahl folgt hierbei der Defektgröße und dem Durchblutungsmuster und berücksichtigt die funktionell-anatomische Fußzoneneinteilung sowie das „*Like with like*“-Prinzip [38, 41, 43]. Ortsständige gestielte Lappen sind aufgrund ihres eingeschränkten Aktionsradius für die Deckung kleinerer lateraler, medialer oder plantarer Defekte geeignet [44]. Freie Lappen mit mikrovaskulärer

Anastomose erfordern eine intakte Anschlussstelle und neben der technischen Durchführbarkeit die Beachtung des Schuhwerks und kosmetischer Aspekte [45]. Eine präoperative Angiografie (gegebenenfalls auch Phlebografie) sollte generell durchgeführt werden [33]. Ausgedehntere Defekte am flachen Dorsum pedis profitieren von freien fasziokutanen Lappen, während tiefe, kontaminierte Defekthöhlen mit spalthautgedeckten Muskellappen (z.B. Latissimus dorsi) plombiert werden müssen. Dabei sind Letztere weniger auftragend als myokutane Lappen [46]. Bei unzureichenden Hauptgefäßen bietet sich der stielgedrehte Suralislappen als „Salvage Procedure“ an [32, 47, 48].

Auch bei erfolgreichem Extremitätenerhalt verbleiben insbesondere nach offenen Pilon-, Talus- und Kalkaneusfrakturen oft erhebliche funktionelle Defizite [29, 42, 49]. Dies erklärt sich zum Teil durch arthrogene und tendogene Fibrosierungen mit entsprechendem Bewegungsdefizit nach erforderlicher längerer Ruhigstellung. Bei offenen Grad-II und Grad-III-Unterschenkelfrakturen hat sich die frühe Defektdeckung mit freier Lappenplastik gegenüber einer verspäteten Deckung bewährt [50-52].

Die Erfahrungen am Fuß sind aufgrund kleinerer Patientenzahlen geringer. In ersten Serien erreichten Patienten mit größeren, kontaminierten Defekten bei offenen Fußtraumata durch eine frühe Lappendeckung innerhalb von 24–120 Stunden mit primär stabiler Osteosynthese gute funktionelle Ergebnisse [32, 53-56]. Dieses Vorgehen ist jedoch nur bei einem stabilen Allgemeinzustand des Patienten möglich; dann sollten im Sinne eines optimalen funktionellen Ergebnisses auch beim Polytraumatisierten möglichst alle rekonstruktiven Optionen ausgeschöpft werden [57].

In Analogie zu offenen Frakturen an anderen Extremitätenabschnitten wird in Ergänzung zum chirurgischen Débridement eine einmalige Antibiotikaphylaxe bei offenen Frakturen auch am Fuß empfohlen, wobei entsprechend dem erwarteten, überwiegend grampositiven Keimspektrum Zephalosporine der ersten oder zweiten Generation oder ein Antibiotikum mit vergleichbarem Wirkspektrum im Sinne der kalkulierten Antibiose eingesetzt wird [6, 29, 58-62].

Komplextrauma des Fußes

3.11.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die Entscheidung zur Amputation am Fuß sollte als Individualentscheidung vorgenommen werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Definition des komplexen Fußtraumas ergibt sich sowohl aus der regionalen Ausdehnung der Verletzung über die fünf anatomisch-funktionellen Etagen des Fußes als auch aus dem Ausmaß des Weichteilschadens [9]. Dabei wird für jede verletzte Fußregion und die Graduierung des Weichteilschadens nach Tscherne und Oestern [63] jeweils 1 Punkt vergeben; definitionsgemäß ist ein komplexes Fußtrauma bei 5 oder mehr Punkten gegeben. Der absolute Score-Wert erlaubt zugleich eine prognostische Aussage [9].

Die Kriterien der Amputation bei Vorliegen eines komplexen Fußtraumas in Abhängigkeit von der Gesamtverletzungsschwere beim Polytrauma sind nicht genau definiert. Tscherne [63] empfiehlt die primäre Amputation bei einem PTS-Wert (Hannoveraner Polytraumaschlüssel [64]) von 3–4, den individuellen Entscheid bei einem PTS von 2. Validierte Scores wie die Hannoveraner Frakturskala (HFS [65]), der MESS (Mangled Extremity Severity Score [66]) und der NISSA-Score (Nerve Injury, Ischemia, Soft Tissue Injury, Skeletal Injury, Shock-and-Age-of Patient Score [67]), der Predictive Salvage Index

(PSI) [68] und der Limb Salvage Index (LSI) [69] geben hierbei eine gewisse Entscheidungshilfe. Im Rahmen einer prospektiven Multicenterstudie an 601 Patienten mit Komplexverletzungen der unteren Extremität (Lower Extremity Assessment Project [LEAP]) wurde eine hohe Spezifität aller Scores (HFS, MESS, NISSA, PSI, LSI) bei jedoch geringer bis mäßiger Sensitivität gefunden [70]. Dies bedeutet, dass ein niedriger Score-Wert zwar zuverlässig den Gliedmaßenerhalt vorhersagen kann, ein hoher Score-Wert jedoch nicht prädiktiv für eine Amputation ist. Die Autoren warnen daher vor einer unkritischen Anwendung der Scores für die Entscheidungsfindung zugunsten der Amputation [70]. Zudem können solche Scores gerade die individuelle Betrachtung des Gesamtverlaufs beim Polytrauma sowie des speziellen lokalen Verletzungsmusters am Fuß nicht ersetzen [26, 71].

Neben allgemeinen Kriterien wie Alter, Nebenerkrankungen und Begleitverletzungen sind am Fuß die folgenden Punkte von Bedeutung für den Entscheid zur Amputation: Der Verlust großer Anteile der belasteten Planta pedis mit ihrem unnachahmlichen gekammerten Profil ist durch gleichwertiges Gewebe nicht ersetzbar und potentiell schwerwiegender als Defekte am Dorsum pedis. Gefäßverletzungen gefährden die Vitalität distaler Fußabschnitte und erschweren die Wiederherstellbarkeit der Fußfunktion erheblich [26, 72-74]. Der Verlust der protektiven Fußsohlensensibilität aufgrund einer traumatischen Nervus-tibialis-Läsion birgt ein erhöhtes Potenzial weichteilbedingter Spätkomplikationen, wenngleich bei stumpfer Verletzung des Nervus tibialis in etwa der Hälfte der Fälle mit einer Wiedererlangung der Sensibilität innerhalb von zwei Jahren gerechnet werden kann [75].

Schwere Zertrümmerungen des knöchernen Fußgerüsts und Gelenkzerstörungen, die eine primäre Arthrodesis zugunsten einer Osteosynthese notwendig machen, führen potentiell zu einem rigideren Fuß mit einer unphysiologischen Druckverteilung auf der ohnehin oft durch das Trauma kompromittierten Fußsohle. Der traumatische Verlust des Talus oder seiner Gelenkflächen mit der notwendigen tibiotalaren, tibiotalkalkanearen oder pantalaren Arthrodesis führt selbst bei problemloser Knochen- und Wundheilung zu einem rigiden Fuß mit erheblichen Funktionsbeeinträchtigungen [15, 42, 76]. In allen genannten Fällen ist selbst beim Fehlen lebensbedrohlicher Begleitverletzungen die Indikation zur Amputation frühzeitig zu überprüfen [6, 42, 73, 77]. Die Pirogoff-Amputation erlaubt in diesen Fällen zumindest noch die Belastung der originären Fußsohle, sie eignet sich auch bei kritischen Durchblutungsverhältnissen [9].

Im Rahmen der LEAP-Studie an acht nordamerikanischen Level-I-Traumazentren wurden als wichtigste Amputationskriterien bei schweren Hochrasanzverletzungen des Unterschenkels und Fußes die schwere Muskelverletzung (OR 8,74), die schwere Venenverletzung (OR 5,72), die fehlende plantare Sensibilität (OR 5,26), die offene Fußfraktur (OR 3,12) und fehlende Fußpulse (OR 2,02) ermittelt. An patientenbezogenen Faktoren beeinflussten der hämorrhagische Schock und Begleiterkrankungen den Entscheid zugunsten der Amputation, während die allgemeine Verletzungsschwere (ISS) in dieser Serie keinen signifikanten Einfluss aufwies [8]. Bei der Subgruppen-Analyse der LEAP-Studie von 174 schweren, offenen Fußverletzungen fanden sich signifikant schlechtere SIP-Werte nach Extremitätenerhalt gegenüber der Unterschenkelamputation, wenn eine Lappenplastik und/oder Arthrodesis des oberen Sprunggelenks notwendig wurde [78]. In einer Analyse von 50 komplexen Fußtraumata sahen Kinner et al. (2011) einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Amputation und einem ISS >16 sowie dem primären Weichteilschaden [30].

Im Gegensatz zu den gefäßchirurgischen Prinzipien des Zuwartens bis zur Demarkation minderversorgter Extremitätenabschnitte ist beim frischen Trauma eine frühe Entscheidung über die endgültige Amputationshöhe empfehlenswert für einen frühzeitigen definitiven Weichteilverschluss [9, 10]. Prinzipiell sollte zur korrekten Einschätzung der Vitalität von Knochen und Muskulatur ohne Blutsperr gearbeitet werden [6, 79].

Die Erfahrungen mit der Replantation sind am Fuß ungleich geringer als an der Hand und auf Fallberichte und kleine Fallserien beschränkt [80-85]. Die Aussichten auf erfolgreiche Replantationen sind bei Kindern deutlich höher als bei Erwachsenen [86, 87]. Grundsätzlich sollte nur dann der Versuch unternommen werden, wenn ohne Gefährdung des Patienten ein plantigrader, stabiler Fuß mit einer protektiven Sensibilität der Fußsohle als realistischer Endpunkt der Behandlung angesehen werden kann. Wichtige Kriterien für eine erfolgreiche Replantation sind eine Anoxiezeit von weniger als 6 Stunden und eine hohe Patientencompliance vor dem Hintergrund der langwierigen und anspruchsvollen Rehabilitation [82]. Diese Kriterien sind beim polytraumatisierten Patienten kaum abzuschätzen und eine mehrstündige Replantation innerhalb der kritischen Ischämiezeit aufgrund des Allgemeinzustandes des Patienten generell nicht indiziert [74].

Spezielle Verletzungen

3.11.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Luxationen und Luxationsfrakturen der Fußwurzeln und des Mittelfußes sollten so früh wie möglich reponiert und stabilisiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Zentrale Luxationsfrakturen des Talus („Aviator’s Astragalus“) sind überdurchschnittlich häufig mit einem Polytrauma assoziiert (nach der Sammelstudie der AO in 52% der Fälle [14]). Die Abhängigkeit des Auftretens einer avaskulären Talusnekrose vom initialen Dislokationsausmaß wurde in mehreren großen klinischen Serien nachgewiesen [12-14, 88]. Die geschlossene Reposition ist bei Talusluxationsfrakturen nur selten möglich, wiederholte Versuche schädigen die ohnehin kompromittierten Weichteile. Daher ist bei Luxationsfrakturen des Talus (wenn es der Allgemeinzustand erlaubt auch beim Polytraumatisierten) die sofortige offene Reposition und (meist minimalinvasive) Stabilisierung anzustreben, um die Vitalität der Haut und des Talus selbst nicht weiter zu gefährden [12, 13, 89, 90], Die definitive Versorgung sowie die Osteosynthese gering dislozierter Talusfrakturen können bei stabilem Allgemeinzustand des Patienten im Intervall durchgeführt werden, ohne dass ein erhöhtes Risiko der Entwicklung einer avaskulären Talusnekrose besteht [31, 91-93].

Kalkaneusfrakturen mit offener Wunde, manifestem Kompartmentsyndrom und inkarzerierten Weichteilen sollten notfallmäßig operativ versorgt werden. Bei offenen Verletzungen erfolgt nach der Diagnostik ein initiales Wunddebridement, gegebenenfalls die Kunsthautdeckung, eine temporäre perkutane Kirschner-Draht-Osteosynthese oder die mediale Transfixation (mit je einer Schanz-Schraube in der distalen Tibia, im Tuber calcanei und Metatarsale I), um eine Weichteilretraktion zu verhindern [29, 71, 79]. Bei ausgedehnten knöchernen Defekten ist eine PMMA(Polymethylmethacrylat)-Ketteneinlage empfehlenswert. Eine Second-Look-Operation muss regelhaft innerhalb von 48–72 Stunden erfolgen. Die Indikation zur frühen Lappendeckung sollte großzügig gestellt werden [32, 54].

Bei geschlossenen Grad-III-Frakturen mit manifestem Kompartmentsyndrom erfolgt beim Polytrauma die notfallmäßige Dermatofasziotomie über einen ausgedehnten dorsomedianen Zugang, mit Anlage eines triangulären medialen Fixateur externe [71, 79]. Die klinische Relevanz des plantaren Kalkaneuskompartmentes, welches in Injektionsstudien dargestellt wurde und in welchem es einen isolierten Druckanstieg geben kann, ist nicht endgültig geklärt, das Auftreten von Krallenzehenfehlstellungen nach isolierten Kalkaneusfrakturen weist jedoch auf dieses Problem hin [18, 20, 36].

Bei der überwiegenden Mehrzahl der Frakturen (geschlossener Weichteilschaden Grad I und II) ist nach Abschwellen der Weichteile die Osteosynthese im Intervall von 6–10 Tagen empfohlen [42, 71, 94, 95]. Die Elevation der Extremität von mehr als 10 cm über Herzniveau wird nicht empfohlen, um eine Ischämie zu vermeiden [11]. Ein guter Indikator für den OP-Zeitpunkt ist die beginnende Hautfältelung aufgrund der nachlassenden ödematösen Schwellung [42]. Ein OP-Zeitpunkt jenseits des 14. Tages ist mit einem erhöhten Komplikationsrisiko verbunden, wenn initial keine Reposition und Transfixation erfolgten [96, 97]. Lokale Kontraindikationen zur Osteosynthese bestehen bei kritischen Weichteilverhältnissen mit hohem Infektionsrisiko wie Spannungsblasen und Hautnekrosen sowie bei fortgeschrittenen arteriellen bzw. venösen Durchblutungsstörungen; allgemeine Kontraindikationen sind die mangelnde Compliance sowie eine manifeste Immunschwäche [9, 71, 96]. In diesen Fällen ist aufgrund der drohenden Wundheilungsstörungen bzw. tiefen Infekte die konservative Therapie indiziert.

Verletzungen auf Höhe des Chopart- und Lisfranc-Gelenkes sind überdurchschnittlich häufig (50-80%) mit Mehrfachverletzungen assoziiert [79, 98, 99]. Sie gehören zu den am häufigsten übersehenen Verletzungen überhaupt, insbesondere beim Polytrauma [9, 98, 100-102].

Die geschlossene Reposition von Chopart- und Lisfranc-Luxationsfrakturen ist in der Regel nicht möglich, sodass in den meisten Fällen die Notfallindikation zur Operation besteht [101, 103]. Lisfranc-Luxationsfrakturen gehen zudem mit einer erhöhten Gefahr eines Kompartmentsyndromes des Fußes einher [17, 19, 21]. Erlaubt der Allgemeinzustand des Patienten keine definitive Osteosynthese, ist die Kirschner-Draht-Transfixation und/oder die Anlage eines tibiometatarsalen Fixateur externe anzustreben; die definitive Versorgung sollte im Intervall erfolgen [10, 79, 102, 104, 105].

Frakturen der Mittelfußknochen und -zehen können beim Polytraumatisierten nach Stabilisierung des Allgemeinzustandes im Intervall nach den allgemeinen Behandlungsprinzipien osteosynthetisch werden, bei offenen Verletzungen des Vorfußes gelten die oben genannten allgemeinen Prinzipien [106].

Literatur

1. Ahrberg AB, Leimcke B, Tiemann AH, Josten C, Fakler JK. Missed foot fractures in polytrauma patients: a retrospective cohort study. *Patient safety in surgery*. 2014;8(1):10.
2. Metak G, Scherer MA, Dannohl C. [Missed injuries of the musculoskeletal system in multiple trauma--a retrospective study]. *Zentralbl Chir*. 1994;119(2):88-94.
3. Rammelt S, Biewener A, Grass R, Zwipp H. [Foot injuries in the polytraumatized patient]. *Der Unfallchirurg*. 2005;108(10):858-65.
4. Turchin DC, Schemitsch EH, McKee MD, Waddell JP. Do foot injuries significantly affect the functional outcome of multiply injured patients? *J Orthop Trauma*. 1999;13(1):1-4.
5. Eberl R, Ruttenstock EM, Singer G, Brader P, Hoellwarth ME. Treatment algorithm for complex injuries of the foot in paediatric patients. *Injury*. 2011;42(10):1171-8.
6. Myerson M. Soft tissue trauma: acute and chronic management. *Surgery of the foot and ankle*. 1999;2:1330-72.
7. Stiegelmar R, McKee MD, Waddell JP, Schemitsch EH. Outcome of foot injuries in multiply injured patients. *Orthop Clin North Am*. 2001;32(1):193-204, x.
8. Swiontkowski MF. The multiply-injured patient with musculoskeletal injuries. In: Rockwood CA, Green, D.P., Bucholz, R.W., editor. *Fractures in adults*. J B Lippincott, Philadelphia 1996. p. 130-57.
9. Zwipp H. *Chirurgie des Fußes*. Springer-Verlag, Wien - New York 1994.
10. Zwipp H, Rammelt, S. Frakturen und Luxationen. In: Wirth CJ Z, L, editor. *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie* Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 2002. p. 531-618
11. Chapman MW, Olson, S.A. . The treatment of open fractures. In: Rockwood CA, Green, D.P., Bucholz, R.W., editor. *Fractures in adults*. J B Lippincott, Philadelphia, 1996. p. 347 ff
12. Canale ST, Kelly FB, Jr. Fractures of the neck of the talus. Long-term evaluation of seventy-one cases. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1978;60(2):143-56.
13. Hawkins LG. Fractures of the neck of the talus. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1970;52(5):991-1002.
14. Kuner EH, Lindenmaier HL. [Treatment of talus fractures. Control study of 262 treated cases]. *Unfallchirurgie*. 1983;9(1):35-40.
15. Sangeorzan BJ, Benirschke SK, Mosca V, Mayo KA, Hansen ST, Jr. Displaced intra-articular fractures of the tarsal navicular. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1989;71(10):1504-10.
16. Mittlmeier T, Machler G, Lob G, Mutschler W, Bauer G, Vogl T. Compartment syndrome of the foot after intraarticular calcaneal fracture. *Clin Orthop Relat Res*. 1991;(269):241-8.
17. Myerson MS. Management of compartment syndromes of the foot. *Clin Orthop Relat Res*. 1991;(271):239-48.
18. Pisan M, Klaue K. Compartment syndrome of the foot. *Foot and Ankle Surgery*. 1994;1(1):29-36.
19. Randt T, Zwipp, H. Polytrauma: Indikation und Technik der Osteosynthese am Fuß. *OP-Journal*. 1997;13:192-8
20. Manoli A, 2nd, Weber TG. Fasciotomy of the foot: an anatomical study with special reference to release of the calcaneal compartment. *Foot & ankle*. 1990;10(5):267-75.
21. Sands AK, Rammelt S, Manoli A. Foot compartment syndrome – a clinical review. *Fuß Sprungg* 2015;13:11-21.
22. Frink M, Hildebrand F, Krettek C, Brand J, Hankemeier S. Compartment syndrome of the lower leg and foot. *Clin Orthop Relat Res*. 2010;468(4):940-50.
23. Mubarak S, Owen CA. Compartmental syndrome and its relation to the crush syndrome: A spectrum of disease. A review of 11 cases of prolonged limb compression. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;(113):81-9.
24. Myerson MS. Experimental decompression of the fascial compartments of the foot--the basis for fasciotomy in acute compartment syndromes. *Foot & ankle*. 1988;8(6):308-14.
25. Whitesides TE, Haney TC, Morimoto K, Harada H. Tissue pressure measurements as a determinant for the need of fasciotomy. *Clin Orthop Relat Res*. 1975;(113):43-51.

26. Zwipp H, Rammelt S, Barthel S. [Fracture of the calcaneus]. *Der Unfallchirurg*. 2005;108(9):737-47; quiz 48.
27. Manoli A, 2nd, Fakhouri AJ, Weber TG. Concurrent compartment syndromes of the foot and leg. *Foot & ankle*. 1993;14(6):339.
28. Heckman JD, Champine MJ. New techniques in the management of foot trauma. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(240):105-14.
29. Heier KA, Infante AF, Walling AK, Sanders RW. Open fractures of the calcaneus: soft-tissue injury determines outcome. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2003;85-A(12):2276-82.
30. Kinner B, Tietz S, Muller F, Prantl L, Nerlich M, Roll C. Outcome after complex trauma of the foot. *J Trauma*. 2011;70(1):159-68; discussion 68.
31. Vallier HA, Nork SE, Barei DP, Benirschke SK, Sangeorzan BJ. Talar neck fractures: results and outcomes. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2004;86-A(8):1616-24.
32. Brenner P, Rammelt S, Gavlik JM, Zwipp H. Early soft tissue coverage after complex foot trauma. *World J Surg*. 2001;25(5):603-9.
33. Levin LS, Nunley JA. The management of soft-tissue problems associated with calcaneal fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(290):151-6.
34. Simpson AH, Deakin M, Latham JM. Chronic osteomyelitis. The effect of the extent of surgical resection on infection-free survival. *J Bone Joint Surg Br*. 2001;83(3):403-7.
35. Sirkin M, Sanders R, DiPasquale T, Herscovici D, Jr. A staged protocol for soft tissue management in the treatment of complex pilon fractures. *J Orthop Trauma*. 1999;13(2):78-84.
36. Zwipp H, Sabauri G, Amlang M. [Surgical management of talipes equinovarus as sequelae of a compartment and/or postischemic syndrome of the deep flexor compartment of the lower leg]. *Der Unfallchirurg*. 2008;111(10):785-95.
37. Horowitz JH, Nichter LS, Kenney JG, Morgan RF. Lawnmower injuries in children: lower extremity reconstruction. *J Trauma*. 1985;25(12):1138-46.
38. Attinger CE, Evans KK, Bulan E, Blume P, Cooper P. Angiosomes of the foot and ankle and clinical implications for limb salvage: reconstruction, incisions, and revascularization. *Plastic and reconstructive surgery*. 2006;117(7 Suppl):261S-93S.
39. Brenner P, Rammelt S. Abdominal wall and foot reconstruction after extensive desmoid tumor resection with free tissue transfer. *Langenbeck's archives of surgery / Deutsche Gesellschaft fur Chirurgie*. 2002;386(8):592-7.
40. Zeligowski AA, Ziv I. How to harvest skin graft from the avulsed flap in degloving injuries. *Ann Plast Surg*. 1987;19(1):89-90.
41. Menke H, Baumeister S, Erdmann D, Sauerbier M, Germann G. [Therapeutic options in treatment of heel defects. Presentation of an algorithm for therapeutic strategy]. *Chirurg*. 2000;71(3):311-8.
42. Sanders R, Pappas J, Mast J, Helfet D. The salvage of open grade IIIB ankle and talus fractures. *J Orthop Trauma*. 1992;6(2):201-8.
43. Hidalgo DA, Shaw WW. Anatomic basis of plantar flap design. *Plastic and reconstructive surgery*. 1986;78(5):627-36.
44. Gould JS. Reconstruction of soft tissue injuries of the foot and ankle with microsurgical techniques. *Orthopedics*. 1987;10(1):151-7.
45. Reigstad A, Hetland KR, Bye K, Waage S, Rokkum M, Husby T. Free flaps in the reconstruction of foot injury. 4 (1-7) year follow-up of 24 cases. *Acta Orthop Scand*. 1994;65(1):103-6.
46. May JW, Jr., Rohrich RJ. Foot reconstruction using free microvascular muscle flaps with skin grafts. *Clinics in plastic surgery*. 1986;13(4):681-9.
47. Boack DH, Bogutsch G., Mittlmeier T., Haas N.P. Der modifizierte erweiterte distal gestielte sapheno-fasziokutane Suralislappen. *Fuß Sprungg*. 2005;3:9-18
48. Mainard D, Wépierre G, Cronier B, Delagoutte J. [Double use of sural fascio-cutaneous flap with distal pedicle to cover loss of substance of ankle or heel]. *Revue de chirurgie orthopedique et reparatrice de l'appareil moteur*. 1994;80(1):73-7.
49. Siebert CH, Hansen M, Wolter D. Follow-up evaluation of open intra-articular fractures of the calcaneus. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1998;117(8):442-7.

50. Bray TJ, Endicott M, Capra S. Treatment of open ankle fractures. Immediate internal fixation versus closed immobilization and delayed fixation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 1989;(240):47-52.
51. Cierny G, 3rd, Byrd HS, Jones RE. Primary versus delayed soft tissue coverage for severe open tibial fractures. A comparison of results. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;(178):54-63.
52. Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plastic and reconstructive surgery*. 1986;78(3):285-92.
53. Moucharafieh R, Wehbe J, Maalouf G, Atiyeh B. Long-term follow-up on microsurgical free-tissue transfer in foot and ankle reconstruction. *Foot and ankle surgery : official journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons*. 2008;14(2):82-8.
54. Musharrafieh R, Osmani O, Saghieh S, Elhassan B, Atiyeh B. Microvascular composite tissue transfer for the management of type IIIB and IIIC fractures of the distal leg and compound foot fractures. *Journal of reconstructive microsurgery*. 1999;15(7):501-7.
55. Orr J, Kirk KL, Antunez V, Ficke J. Reverse sural artery flap for reconstruction of blast injuries of the foot and ankle. *Foot Ankle Int*. 2010;31(1):59-64.
56. Tu YK, Yen CY, Ma CH, Yu SW, Chou YC, Lee MS, et al. Soft-tissue injury management and flap reconstruction for mangled lower extremities. *Injury*. 2008;39 Suppl 4:75-95.
57. Rammelt S, Grass R, Brenner P, Zwipp H. Septische Talusnekrose nach drittgradig offener Talusfraktur im Rahmen eines komplexen Fußtraumas (floating talus). *Trauma und Berufskrankheit*. 2001;3(2):S230-S5.
58. Braun R, Enzler MA, Rittmann WW. A double-blind clinical trial of prophylactic cloxacillin in open fractures. *J Orthop Trauma*. 1987;1(1):12-7.
59. Brown PW. The prevention of infection in open wounds. *Clin Orthop Relat Res*. 1973;(96):42-50.
60. Hauser CJ, Adams CA, Jr., Eachempati SR. Surgical Infection Society guideline: prophylactic antibiotic use in open fractures: an evidence-based guideline. *Surg Infect (Larchmt)*. 2006;7(4):379-405.
61. Manway J, Highlander P. Open fractures of the foot and ankle: an evidence-based review. *Foot & ankle specialist*. 2015;8(1):59-64.
62. Patzakis MJ, Harvey JP, Jr., Ivler D. The role of antibiotics in the management of open fractures. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1974;56(3):532-41.
63. Tscherne H, Oestern HJ. [A new classification of soft-tissue damage in open and closed fractures (author's transl)]. *Unfallheilkunde*. 1982;85(3):111-5.
64. Regel G, Lobenhoffer P, Lehmann U, Pape HC, Pohlemann T, Tscherne H. [Results of treatment of polytraumatized patients. A comparative analysis of 3,406 cases between 1972 and 1991]. *Der Unfallchirurg*. 1993;96(7):350-62.
65. Tscherne H, Regel G, Sturm JA, Friedl HP. [Degree of severity and priorities in multiple injuries]. *Chirurg*. 1987;58(10):631-40.
66. Johansen K, Daines M, Howey T, Helfet D, Hansen ST, Jr. Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. *J Trauma*. 1990;30(5):568-72; discussion 72-3.
67. McNamara MG, Heckman JD, Corley FG. Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the Mangled Extremity Severity Score (MESS). *Journal of orthopaedic trauma*. 1994;8(2):81-7.
68. Howe Jr H, Poole Jr G, Hansen K, Clark T, Plonk G, Koman L, et al. Salvage of lower extremities following combined orthopedic and vascular trauma. A predictive salvage index. *The American Surgeon*. 1987;53(4):205-8.
69. Russell WL, Sailors DM, Whittle TB, Fisher Jr DF, Burns RP. Limb salvage versus traumatic amputation. A decision based on a seven-part predictive index. *Annals of surgery*. 1991;213(5):473.
70. Bosse MJ, MacKenzie EJ, Kellam JF, Burgess AR, Webb LX, Swiontkowski MF, et al. A prospective evaluation of the clinical utility of the lower-extremity injury-severity scores. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2001;83-A(1):3-14.
71. Zwipp H, Dahlen C, Randt T, Gavlik JM. [Complex trauma of the foot]. *Orthopade*. 1997;26(12):1046-56.

72. Bosse MJ, MacKenzie EJ, Kellam JF, Burgess AR, Webb LX, Swiontkowski MF, et al. An analysis of outcomes of reconstruction or amputation after leg-threatening injuries. *The New England journal of medicine*. 2002;347(24):1924-31.
73. Hansen ST, Jr. Salvage or amputation after complex foot and ankle trauma. *Orthop Clin North Am*. 2001;32(1):181-6.
74. Seiler H, Braun C, op den Winkel R, Zwank L. [Macro- and microreplantations of the lower leg and foot]. *Langenbecks Arch Chir*. 1986;369:625-7.
75. Bosse MJ, McCarthy ML, Jones AL, Webb LX, Sims SH, Sanders RW, et al. The insensate foot following severe lower extremity trauma: an indication for amputation? *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2005;87(12):2601-8.
76. Grob D, Simpson LA, Weber BG, Bray T. Operative treatment of displaced talus fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(199):88-96.
77. Shawen SB, Keeling JJ, Branstetter J, Kirk KL, Ficke JR. The mangled foot and leg: salvage versus amputation. *Foot and ankle clinics*. 2010;15(1):63-75.
78. Ellington JK, Bosse MJ, Castillo RC, MacKenzie EJ, Group LS. The mangled foot and ankle: results from a 2-year prospective study. *J Orthop Trauma*. 2013;27(1):43-8.
79. Randt T, Dahlen C, Schikore H, Zwipp H. [Dislocation fractures in the area of the middle foot--injuries of the Chopart and Lisfranc joint]. *Zentralbl Chir*. 1998;123(11):1257-66.
80. Berger A, Hierner R, Becker MH, Rieck B, Lassner F. [Surgical replantation]. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(9):694-704.
81. Betz AM, Stock W, Hierner R, Schweiberer L. Cross-over replantation after bilateral traumatic lower-leg amputation: a case report with a six-year follow-up. *Journal of reconstructive microsurgery*. 1996;12(4):247-55.
82. Daigeler A, Fansa H, Schneider W. Orthotopic and heterotopic lower leg reimplantation. Evaluation of seven patients. *J Bone Joint Surg Br*. 2003;85(4):554-8.
83. Kanaya K, Wada T, Murata K, Yamashita T. Replantation of severed foot at the metatarsophalangeal joint: a case report. *Microsurgery*. 2012;32(5):415-7.
84. Nagamatsu S, Sakayama K, Kamogawa J, Nakaoka H, Hashimoto K, Yamamoto H. Replantation of severed foot at the chopart joint: a case report. *Foot Ankle Int*. 2009;30(12):1229-32.
85. Yuksel F, Karacaoglu E, Ulkur E, Guler MM. Replantation of an avulsive amputation of a foot after recovering the foot from the sea. *Plastic and reconstructive surgery*. 2000;105(4):1435-7.
86. Beris AE, Soucacos PN, Malizos KN, Mitsionis GJ, Soucacos PK. Major limb replantation in children. *Microsurgery*. 1994;15(7):474-8.
87. Hsiao CW, Lin CH, Wei FC. Midfoot replantation: case report. *J Trauma*. 1994;36(2):280-1.
88. Vallier HA, Reichard SG, Boyd AJ, Moore TA. A new look at the Hawkins classification for talar neck fractures: which features of injury and treatment are predictive of osteonecrosis? *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2014;96(3):192-7.
89. Rammelt S, Zwipp H. Talar neck and body fractures. *Injury*. 2009;40(2):120-35.
90. Szyzkowitz R, Reschauer R, Seggl W. Eighty-five talus fractures treated by ORIF with five to eight years of follow-up study of 69 patients. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(199):97-107.
91. Lindvall E, Haidukewych G, DiPasquale T, Herscovici D, Jr., Sanders R. Open reduction and stable fixation of isolated, displaced talar neck and body fractures. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2004;86-A(10):2229-34.
92. Patel R, Van Bergeyck A, Pinney S. Are displaced talar neck fractures surgical emergencies? A survey of orthopaedic trauma experts. *Foot Ankle Int*. 2005;26(5):378-81.
93. Vallier HA, Nork SE, Benirschke SK, Sangeozan BJ. Surgical treatment of talar body fractures. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2003;85-A(9):1716-24.
94. Sangeozan BJ, Benirschke SK, Carr JB. Surgical management of fractures of the os calcis. *Instructional course lectures*. 1995;44:359-70.
95. Zwipp H, Tscherne H, Thermann H, Weber T. Osteosynthesis of displaced intraarticular fractures of the calcaneus. Results in 123 cases. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(290):76-86.
96. Rammelt S., BARTHEL, BIEWENER, A., GAVLIK, et al. Kalkaneusfrakturen - offene Reposition und interne Stabilisierung. Stuttgart, ALLEMAGNE: Thieme; 2003. 12 p.

97. Tennent TD, Calder PR, Salisbury RD, Allen PW, Eastwood DM. The operative management of displaced intra-articular fractures of the calcaneum: a two-centre study using a defined protocol. *Injury*. 2001;32(6):491-6.
98. Kotter A, Wieberneit J, Braun W, Ruter A. [The Chopart dislocation. A frequently underestimated injury and its sequelae. A clinical study]. *Der Unfallchirurg*. 1997;100(9):737-41.
99. Zwipp H, Scola E, Schlein U, Riechers D. Verrenkungen der Sprunggelenke und der Fußwurzel. *Hefte Unfallheilkd*. 1991;220:81-2.
100. Haapamaki V, Kiuru M, Koskinen S. Lisfranc fracture-dislocation in patients with multiple trauma: diagnosis with multidetector computed tomography. *Foot Ankle Int*. 2004;25(9):614-9.
101. Main BJ, Jowett RL. Injuries of the midtarsal joint. *J Bone Joint Surg Br*. 1975;57(1):89-97.
102. Rammelt S, Grass R, Schikore H, Zwipp H. [Injuries of the Chopart joint]. *Der Unfallchirurg*. 2002;105(4):371-83; quiz 84-5.
103. Myerson MS, Fisher RT, Burgess AR, Kenzora JE. Fracture dislocations of the tarsometatarsal joints: end results correlated with pathology and treatment. *Foot & ankle*. 1986;6(5):225-42.
104. Kadow TR, Siska PA, Evans AR, Sands SS, Tarkin IS. Staged treatment of high energy midfoot fracture dislocations. *Foot Ankle Int*. 2014;35(12):1287-91.
105. Rammelt S, Schneiders W, Schikore H, Holch M, Heineck J, Zwipp H. Primary open reduction and fixation compared with delayed corrective arthrodesis in the treatment of tarsometatarsal (Lisfranc) fracture dislocation. *J Bone Joint Surg Br*. 2008;90(11):1499-506.
106. Rammelt S, Heineck J, Zwipp H. Metatarsal fractures. *Injury*. 2004;35 Suppl 2:SB77-86.

3.12 Urogenitaltrakt

C. Ruf*, L. A. Kluth, J. Breuing#, S. Wahlen#, T. Nestler

3.12.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Schwerste Nierenverletzungen (Grad V nach AAST-Klassifikation) sollten operativ exploriert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.12.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Bei Nierenverletzungen <Grad V sollte bei stabilen Kreislaufverhältnissen ein primär konservatives Vorgehen eingeleitet werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.12.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Sofern andere Verletzungen eine Laparotomie erforderlich machen, können mittelschwere Nierenverletzungen des Grades III oder IV operativ exploriert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Die Notwendigkeit einer chirurgischen Exploration des Nierentraumas wird durch eine hämodynamische Instabilität, Blutverlust mit Transfusionspflichtigkeit des Patienten, das Serumkreatinin und den Schweregrad der Verletzung determiniert [1]. Zudem wird die Entscheidung zur chirurgischen Exploration durch die Entscheidung weitere abdominelle Verletzungen zu überwachen oder zu explorieren beeinflusst [2].

Die hämodynamische Instabilität des Patienten stellt eine absolute Indikation zur Exploration dar [3, 4]. Weitere Indikationen sind sich vergrößernde oder pulsatile perirenale Hämatome von >3,5 cm, ein Kontrastmittelextravasat und Grad IV-V Nierentraumata [3, 4]. Ziel der operativen Freilegung eines Nierentraumas ist zunächst die Blutungskontrolle, falls möglich die Übernähung des Defektes (Rhenorrhaphie) und eine perirenale Drainage des Hämatoms oder ggf. des Urinoms.

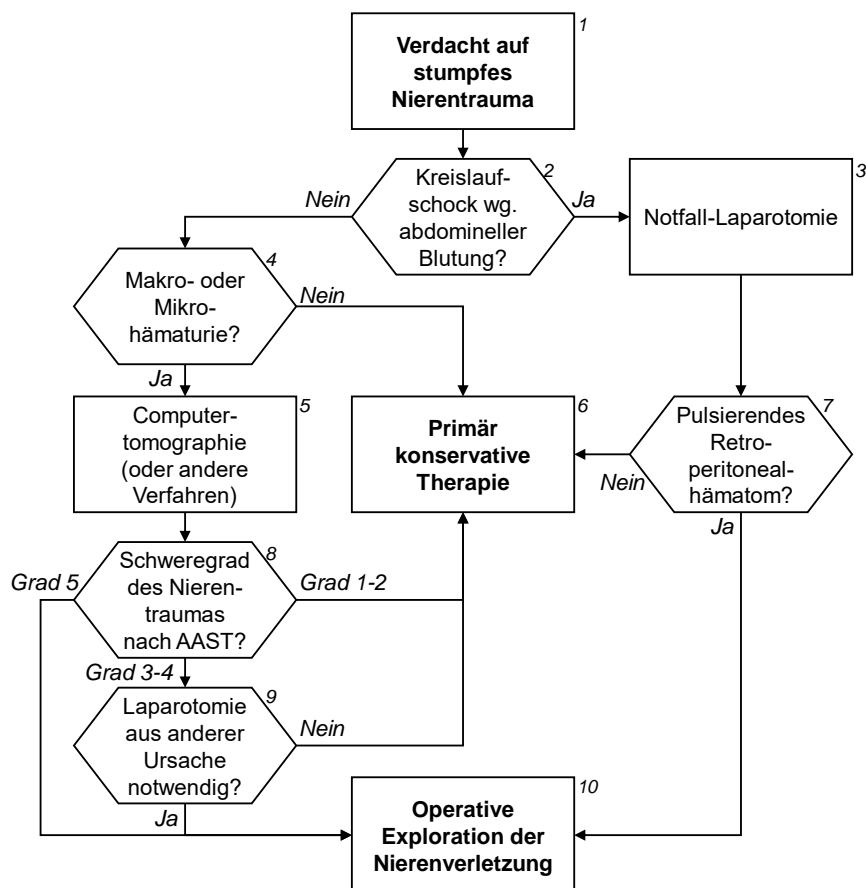
Die Indikation richtet sich entsprechend unter anderem auch nach der revidierten Einteilung der Nierentraumata nach Moore et al. und Buckley et al. (Tabelle 3.12.1) [5, 6].

Abbildung 3.12.1 beschreibt den Algorithmus in der Diagnostik und Therapie der Nierenverletzung.

Tabelle 3.12.1. Gradeinteilungen des Nierentraumas nach Moore, Buckley und Kozar [5-7].

Grad	Pathologisch-anatomischer, radiologischer Befund
I	Nierenkontusion oder subkapsuläres Hämatom, das sich nicht ausdehnt, keine Parenchymläsion
II	sich nicht ausdehnendes perirenales Hämatom, kortikaler Parenchymeinriss <1 cm tief, keine Extravasationen, ohne Beteiligung des Hohlsystems
III	kortikaler Parenchymeinriss >1 cm tief, keine Extravasationen, ohne Beteiligung des Hohlsystems, keine Urinextravasation
IV	Parenchymverletzung über die kortikomedulläre Grenze in das Hohlsystem, Zertrümmerung des Parenchyms oder arterielle oder venöse Gefäßverletzung eines Segmentes mit Hämatom, Infarzierung eines Nierensegmentes durch eine Thrombose ohne aktive Blutung
V	Gefäßverletzung des Nierenstiels, völlig zerstörte Niere, Devascularisierte Niere mit Blutung

Abbildung 3.12.1. Algorithmus zum diagnostischen und therapeutischen Vorgehen bei Verdacht auf



Die American Association for the Surgery of Trauma hat im Jahr 2018 eine Novelle der Klassifikation von 1989 bzw. 2011 vorgenommen [7]. Die meisten Studien zur Therapie und dem Outcome orientieren sich aber noch an den vorherigen Klassifikationen.

Intraoperativ kann eine Single-Shot Pyelografie durchgeführt werden, um die Funktion der kontralateralen Niere zu dokumentieren [3]. Der Nutzen einer vorherigen chirurgischen Kontrolle der Nierenstielgefäße (mittels Gefäßklemme oder Vessel-Loop) wird kontrovers diskutiert [9]. Erfolgt bei hämodynamisch instabilen Patienten die Exploration, so resultiert daraus zumeist die Nephrektomie [10, 11].

Die Explorationsrate liegt aktuell bei circa 10–15% und sollte weiter fallen, wenn mehr Zentren konservative Therapiemaßnahmen von Nierentraumata forcieren würden [12, 13]. Die meisten Arbeiten bevorzugen zur operativen Exploration einen transperitonealen Zugangsweg [14, 15]. Der Nierenpedikel wird dann durch das posteriore Peritoneum parietale erreicht, das medial der Vena mesenterica inferior inzidiert wird [15].

Die temporäre Klemmung des Nierenpedikels vor Eröffnung der Gerota'schen Faszie und konsekutiver Exploration und Rekonstruktion ist sicher und effektiv [16, 17]. Ein temporäres Abklemmen sorgt für einen geringeren intraoperativen Blutverlust und weist eine geringere Nephrektomierate auf [15].

3.12.4	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Eine arterielle Nierengefäßverletzung kann durch eine endovaskuläre Therapie versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Fortschritte der interventionellen Blutungskontrolle haben das Management von Nierentraumata in der vergangenen Dekade entscheidend beeinflusst. Mittlerweile ist die Angiografie mit selektiver Embolisation die wichtigste Alternative zur chirurgischen Exploration, vorausgesetzt, dass keine andere Indikation zur Laparotomie besteht [4]. In der letzten Leitlinienempfehlung der European Association of Urology (EAU) wird die Angiografie und selektive Embolisation als Erstlinientherapie beschrieben [4]. Bis dato war die Anwendbarkeit der Angiografie lediglich durch einige dokumentierte Fallserien und Fallberichte und durch Beschränkungen auf Sekundär- oder Monotraumasituationen eingeschränkt [18, 19]. Es ist unbestritten, dass die Auswahl der Patienten, die technische Ausstattung und die individuelle ärztliche Erfahrung die Erfolgsrate entscheidend mitbestimmen.

Grundlage für die endovaskuläre Therapie ist die Klassifikation der Nierenverletzung gemäß AAST durch eine Computertomografie, die beim polytraumatisierten Patienten als Ganzkörper-Spiral-CT erfolgt (siehe auch Kapitel 2.5 „Bildgebung“ und 2.6 „Endovaskuläre Therapie von Blutungen und Gefäßläsionen“) (Tabelle 1 [7]). Auch die Leitlinie der EAU beschreibt die CT als präferierte diagnostische Modalität beim Nierentrauma [4].

Technische Verbesserungen von Angiografieeinheiten, Katheter- und Embolisationsmaterial führten zu besseren Ergebnissen und einer zunehmenden Anwendung der endovaskulären Therapie auch bei Grad IV und V – Verletzungen bei stumpfen Nierentrauma [20]. In einem aktuellen systematischen Review, der gemäß PRISMA Guidelines 16 retrospektive Studien mit 412 Patienten zusammenfasste (2% Grad II, 23% Grad III, 55% Grad IV und 20% Grad V-Nierenverletzungen gemäß AAST) fand sich ein Erfolg der endovaskulären Therapie (Angioembolisation) bei 92% aller Grad III/IV- Verletzungen und bei 76% aller Grad V-Verletzungen [21]. Bezüglich des hämodynamischen Erfolgs fand sich eine Quote

von 90% bei hämodynamisch stabilen Patienten, aber nur bei 63% der instabilen Patienten. Die Autoren empfehlen deshalb, wie auch andere, hämodynamisch stabile Patienten mit dritt- oder höhergradigen Nierentraumata einer endovaskulären Therapie (Angiografie und selektive Embolisation) zuzuführen [18, 19, 21, 22].

Während der Stellenwert der endovaskulären Therapie stumpfer Nierenverletzungen kontinuierlich in den letzten Dekaden zugenommen hat, gilt dies für penetrierende Nierenverletzungen nicht. Bei penetrierenden Nierenverletzungen ist der Einsatz der endovaskulären Therapie in den meisten Traumazentren auch in den letzten Jahren unverändert zurückhaltend. In einer retrospektiven Datenbankanalyse der Jahre 2000-2007 der amerikanischen Traumadatenbank (ACS-QTIP) fand sich bei 1.842 Patienten mit penetrierendem Nierentrauma (84% Schussverletzungen, 16% Stichverletzungen) ein sofortiges operatives Vorgehen bei 1.512 und ein nicht-operatives Vorgehen bei 330 Patienten. Nur bei 6 Patienten (1,8%) der nicht-operativen Gruppe erfolgte eine Embolisation [23].

Folgende Befunde der obligat zuvor durchgeführten Computertomografie stellen für die meisten Arbeitsgruppen Indikationen zur Angiografie mit selektivem Blutungsnachweis und zur nachfolgenden selektiven Embolisation dar [4, 21, 22, 24]:

- aktives Kontrastmittelextrasat aus der Nierenarterie, einer segmentalen oder subsegmentalen Nierenarterie,
- große perirenale Hämatome,
- Grad III, IV und V-Nierentrauma nach AAST,
- Unterbrechung der Gerota-Faszie
- arterio-venöse Fisteln oder Aneurysmata

Auch perirenale Hämatome, die die Niere komprimieren und die Perfusion einschränken, sind eine Indikation zur Angiografie [25]. Die Angiografie mit Embolisation hat auch einen Stellenwert im Verlauf nach initial chirurgischer Laparotomie, beispielsweise bei persistierender Hämaturie aufgrund nicht versorgter renaler Verletzungen, die dann sekundär endovaskulär mit vergleichbaren Erfolgsraten zur initialen Intervention nierenerhaltend versorgt werden können [26].

Eine weitere traumatische Verletzung der Nierenarterie stellt die Dissektion mit konsekutiver Stenose bis hin zur vollständigen Okklusion des Lumens dar [3]. Durch die obligate Verwendung des CT in der Traumadiagnostik kommt diese immer häufiger zur Darstellung. Bei relevanter Ischämie der Niere oder bei Dissektionen, die durch eine zusätzliche Gefäßperforation zu einer retroperitonealen Blutung führen, sollte eine endovaskuläre Therapie erfolgen (siehe auch Kapitel 2.6 „Endovaskuläre Therapie von Blutungen und Gefäßläsionen“). Therapie der Wahl ist die Sondierung des wahren Lumens und die Insertion eines Stents zur Wiedereröffnung des wahren Lumens und Okklusion des falschen Lumens [27, 28]. Die Intervention kann auch in einer retroperitonealen Blutung bei fragiler Gefäßwand resultieren, so dass dann der Hauptstamm der Nierenarterie zur Blutungskontrolle (Damage control) embolisiert werden sollte [27].

Obwohl Verletzungen des Nierenpedikels häufig einer chirurgischen Intervention bedürfen, haben endovaskuläre Therapieoptionen auch hier an Bedeutung gewonnen. So kann beispielsweise bei schweren Polytraumen oder einem erhöhten intraoperativen Mortalitätsrisiko eine proximale Okklusion der Arteria renalis durch Embolisation erfolgen, die als definitive Therapieoption im Sinne einer damage control, aber auch gefolgt von einer Nephrektomie im Intervall nach Stabilisierung des Patienten erfolgen kann [4].

3.12.5	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Je nach Art und Schwere der Verletzung und Begleitverletzungen sollte eine Nierenverletzung organerhaltend versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[23] El Hechi 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

3.12.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Die primäre Nephrektomie sollte den Grad V Verletzungen vorbehalten sein.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei hämodynamisch stabilen Patienten ist eine Rekonstruktion des Parenchyms zumeist möglich [29]. Die Nephrektomie wird hauptsächlich bei Patienten mit penetrierenden Verletzungen, einem erhöhten Transfusionsbedarf, hämodynamischer Instabilität und höhergradigen Injury Severity Scores (ISS) notwendig [30]. Die Mortalität ist zumeist eher mit der Schwere des Polytraumas assoziiert, als mit der Nierenverletzung [4].

Bei Verletzungen durch Hochgeschwindigkeitsgeschosse ist eine Rekonstruktion schwierig und in der Regel eine Nephrektomie die Folge [4].

Ist eine Rekonstruktion möglich, ist die Rhenorrhaphie die am häufigsten angewandte Rekonstruktionstechnik [15]. Bei avitalen Parenchymanteilen kann eine sekundäre Nierenteilresektion notwendig werden [4].

Eine Eröffnung des Nierenbeckenkelchsystems, sei sie traumatisch oder iatrogen, kann gegebenenfalls operativ verschlossen werden [31]. Alternativ kann eine Ableitung mittels Single-J- oder Double-J-Kathetern erfolgen. Ein Kapseldefekt kann mittels Omentumlappenplastik, perirenalem Fett oder einer hämostatischen Matrix gedeckt werden [15]. Stets sollte eine retroperitoneal platzierte Drainage eingelegt werden, um mögliche Urinleckagen zu drainieren [4].

Verletzungen des Nierenpedikels sind zumeist mit extensiven Traumata und erhöhten Morbiditäts- und Mortalitätsraten assoziiert [4]. Rekonstruktionen fünftgradiger Verletzungen des Pedikels sind äußerst selten technisch durchführbar, sollten jedoch bei Patienten mit Einzelniere oder bei bilateralen Verletzungen versucht werden [4]. Zumeist wird in diesen Fällen eine primäre Nephrektomie angestrebt [4].

In einer Auswertung des amerikanischen Traumaregisters (ACS-TQIP) zeigte 2020 signifikante Unterschiede einer Operation gegenüber dem nicht-operativen-management bezogen auf Sepsis, die Hospitalisierungsdauer, die Dauer des Aufenthalts auf einer Intensivstation, der Dauer der Beatmung, stationäre Morbidität, Dialysepflicht, akutem Nierenversagen sowie beatmungsassoziierte Pneumonie. Die organerhaltende Therapie zeigte sehr gute Ergebnisse und die sofortige Nephrektomie ist bei Grad IV-V Verletzungen überlegen. [23].

Harnleiterverletzungen

Harnleiterverletzungen werden, je nach Ausmaß, in fünf Grade eingeteilt (siehe Tabelle 3.12.2).

Tabelle 3.12.2. Einteilung der Ureterverletzung nach AAST, bei bilateralen Verletzungen wird der Schweregrad um ein Grad erhöht.

Grad I: Hämatom ohne Devaskularisation
Grad II: Laceration mit unter 50% Durchtrennung
Grad III: Laceration mit über 50% Durchtrennung
Grad IV: Laceration mit kompletter Durchtrennung und weniger als 2 cm Devaskularisation
Grad V: Laceration oder Avulsion mit mehr als 2 cm Devaskularisation

Partielle Ureterverletzungen können als erst- und zweitgradige Verletzungen definiert werden [32]. Nach der Erstdiagnose sollten niedriggradige Läsionen mit Harnleiterschienen oder Anlage von perkutanen Nephrostomiekathetern versorgt werden [33]. Harnleiterschienen, sowohl antegrad als auch retrograd platziert, stabilisieren dabei die Leckagestelle und verhindern die Ausbildung von Strikturen. Die Harnleiterschienung sollte für drei Wochen erfolgen [33, 34].

Die perkutane Nephrostomie-Einlage wird insbesondere bei verzögerter Diagnosestellung als Primärmaßnahme empfohlen, über sie ist gleichzeitig oder in zeitlichem Intervall (2–7 Tage) eine antegrade Stenteinlage möglich [34].

Retrospektiv vergleichende Untersuchungen bescheinigen der antegraden Versorgung eine höhere Erfolgchance und leichtere Durchführbarkeit [33]. Dies gilt in erster Linie bei höhergradigen Läsionen (Grad II–III) [33]. Eine offen operative Versorgung ist bei erfolgreicher Stenteinlage nur noch bei persistierender Paravasation oder Striktur notwendig [33].

Wird im Rahmen einer offenen Exploration eine Grad II bis Grad III-Verletzung festgestellt, kann nach Stenteinlage eine primäre Naht durchgeführt werden [33]. In keinem Fall sollten auch kleinste Läsion nach Schuss- oder Messerstichverletzungen durch primäre Naht versorgt werden, da ein sicheres Débridement für die strikturfreie Restitutio ad integrum unabdingbar ist [33].

Operative Therapie

Die Grundprinzipien der operativen Versorgung von Harnleiterverletzungen liegen im Débridement von nekrotischem Gewebe, Spatulation der Harnleiterenden, Mukosa-zu-Mukosa-Anastomose mit absorbierbarem Nahtmaterial, Harnleiterschienung mittels Stent und externer Drainage [35].

Harnleiterverletzungen treten oft gemeinsam mit anderen Verletzungen auf. Die primäre operative Versorgung besteht oft darin, den Urinfluss aus der Niere weiter zu gewährleisten. Dies kann durch eine innere Harnleiterschienung oder auch eine (temporäre) Harnleiter-Haut-Fistel erfolgen. Bei kreislaufstabilen Patienten bieten sich auch Rekonstruktionen des Harnleiters an.

Prinzipiell bestehen Unterschiede in der operativen Versorgung von höhergradigen Harnleiterverletzungen, je nachdem, wo die Leckage lokalisiert ist [3, 4, 15, 33, 35].

Im Bereich des oberen Harnleiterdrittels sind möglich [3, 4, 15]:

- Uretero-Ureterostomien,
- Transuretero-Ureterostomien,
- Nierenbeckenplastik,
- eine Transposition der Vena renalis,
- ein intestinaler Harnleiterersatz,
- Ureterokalikostomien und als
- Ultima ratio die Nephrektomie.

Defekte des mittleren und des unteren Harnleiterdrittels können wie folgt versorgt werden [4, 15, 36]:

- Bildung eines Blasenlappens nach Boari und Implantation des Harnleiters
- direkte Reimplantation des Harnleiters
- Harnleiterneuimplantation mit Psoas-Hitch
- Harnleiterneuimplantation mit Boari-Blasenlappen und ggf. mit Psoas-Hitch.

Komplette Harnleiterabriss bedürfen des Harnleiterersatzes, falls eine Reimplantation des Harnleiters nach den oben genannten Verfahren nicht möglich ist, da alloplastisches Material nicht verfügbar ist. Hier kann die Niere mittels Gefäßtransposition der Vena renalis nach distal mobilisiert werden oder die Niere in die Fossa iliaca des Patienten autotransplantiert werden [37-39].

Harnleiterersatzverfahren sind sowohl mit Ileum, als auch mit Kolon oder in Ausnahmefällen mit Meckel'schem Divertikel möglich [4, 40-43].

Harnblasenverletzungen

3.12.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Intraperitoneale Harnblasenrupturen sollten chirurgisch exploriert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.12.8	Empfehlung	Modifiziert 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Extraperitoneale Harnblasenrupturen ohne Beteiligung des Blasenhalses sollten konservativ durch Harnableitung therapiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	[44] Anderson 2020: LoE 2b	
	Konsensstärke: 100%	

In den meisten Fällen werden die oft zahlreichen Begleitverletzungen vorrangig vor einer Blasenverletzung zu versorgen sein. Zahlenmäßig sind extraperitoneale Verletzungen etwa doppelt so häufig anzutreffen wie intraperitoneale Blasenrupturen [45, 46]. Deutlich seltener treten kombinierte extra und intraperitoneale Rupturen auf [47]. Prinzipiell wird im Therapiemanagement zwischen stumpfen und penetrierenden sowie intra- und extraperitonealen Harnblasenrupturen differenziert.

Die Einteilung der Blasenverletzung nach AAST ist in Tabelle 3.12.3 dargestellt.

Tabelle 3.12.3. Einteilung der Harnblasenverletzung nach AAST.

Grad I:	Hämatom oder partielle Laceration der Harnblasenwand
Grad II:	extraperitonealer Einriss der Harnblasenwand unter 2 cm
Grad III:	extraperitonealer Einriss der Harnblasenwand über 2 cm oder intraperitonealer Einriss der Harnblasenwand unter 2 cm
Grad IV:	intraperitonealer Einriss der Harnblasenwand über 2 cm
Grad V:	Harnblasenverletzung mit Ausdehnung in das Harnblasentrigonum oder Harnblasenhals/Sphinkterregion

Stumpfes Trauma

Extraperitoneale Harnblasenverletzung

Unkomplizierte Harnblasenverletzungen (Grad I–III) können in der Regel mit einer transurethralen Kathetereinlage versorgt werden, unabhängig vom Vorhandensein eines großen perinealen oder skrotalen Extravasats [48, 49]. Ausnahmen stellen Verletzungen des Blasenhalses, Knochenfragmente in der Harnblasenwand, Einklemmung der Harnblasenwand oder Begleitverletzungen des Rektums dar (Grad V), die operativ versorgt werden sollten [48, 49]. Im Falle einer operativen Exploration aufgrund von anderen Verletzungen sollte zur Minimierung der Infektionsgefahr eine extraperitoneale Harnblasenruptur ebenfalls operativ versorgt werden [50, 51].

In einer prospektiven Kohortenstudie wurde 2020 die primär operative Versorgung sowie die Katheterableitung hinsichtlich des Aufenthaltes im Krankenhaus sowie auf Intensivstation sowie urologische und orthopädische Komplikationen untersucht. Der Einsatz von suprapubischer Harnableitung zeigt keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Operation [44].

Sollte eine suprapubische Harnableitung nicht möglich sein so ist auch eine transurethrale Harnableitung möglich.

Intraperitoneale Harnblasenverletzung

Intraperitoneale Harnblasenverletzungen (Grad III–V) sollten aufgrund der Gefahr einer Peritonitis oder Sepsis und der damit verbundenen hohen Mortalität stets primär operativ versorgt werden [48, 49, 51].

Penetrierendes Trauma

Bei penetrierenden Harnblasenverletzungen ist eine sofortige operative Exploration durchzuführen [49, 52]. Als Zugangsweg wird eine Zystostomie über die Mittellinie empfohlen, wobei die Harnblasenwand inspiziert und der Blasenhalss sowie die distalen Harnleiter auf Begleitverletzungen untersucht werden können [48, 52].

Großflächige Harnblasenverletzungen

Im Falle eines großflächigen Harnblasenwanddefektes, wie bei einer Beteiligung der Harnblase bei Ablederung der unteren Abdominalwand oder des Peritoneums, kann gegebenenfalls eine Harnblasenplastik, beispielsweise mit einem myokutanen Lappen o. ä., erfolgen [48, 53].

Generelles intra- und postoperatives Management

Zur operativen Versorgung wird, nach Möglichkeit, eine zweischichtige Mukosa-Detrusor-Naht mit resorbierbarem Nahtmaterial empfohlen [48, 54].

Eine postoperative Harnblasendrainage senkt den intravesikalen Druck und erleichtert die spannungsfreie Wundadaptation [54]. Je nach Verletzungsart und -umfang wird eine 7–14-tägige Verweildauer der Harnableitung empfohlen [48, 54].

Vor Entfernung des Harnblasenkatheters sollte, nach Möglichkeit, eine retrograde Zystografie durchgeführt werden [48, 54]. Bei Nachweis eines Kontrastmittelextrasates kann der Katheter für weiter sieben Tage belassen werden und eine Re-Zystografie erfolgen [48, 54].

Harnröhrenverletzungen

3.12.9	Empfehlung	Bestätigt 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Komplette Rupturen der Urethra sollten in der ersten OP-Phase durch suprapubische Harnableitung therapiert werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.12.10	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad 0 ↔	Die Harnableitung kann durch eine Harnröhrenschienung ergänzt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

3.12.11	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad B ↑	Sofern eine Beckenfraktur oder eine andere intraabdominelle Verletzung eine Operation ohnehin notwendig macht, sollten Urethrarupturen in derselben Sitzung versorgt werden.	
Literatur, Evidenzgrad	keine Änderung zu 2016	
	Konsensstärke: 100%	

Bei der Versorgung von Harnröhrenverletzungen ist besonders zu erwähnen, dass sich das hier dargestellte Vorgehen explizit nur auf die erste OP-Phase bezieht, da in der weiteren Versorgung teils andere Prinzipien gelten.

Es ist bisher nicht hinreichend belegt, ob bei kompletten Rupturen der hinteren Harnröhre eine primäre, eine verzögerte oder eine sekundäre Reanastomosierung vorzuziehen ist. Chapple et al. schlagen eine primäre und verzögerte Schienung der Urethra vor [55]. Hauptprobleme im posttraumatischen Verlauf sind Harnröhrenstrikturen, Inkontinenz und Impotenz, sodass deren Vermeidung das Ziel der Behandlung ist.

In einem Literaturüberblick mit der Zusammenfassung mehrerer Fallserien und Vergleichsstudien zur Therapie der Urethraruptur beschreibt Koraitim die folgenden Raten von Striktur, Inkontinenz und Impotenz: alleinige suprapubische Ableitung 97%, 4% und 19%; primäre Schienung 53%, 5% und 36%; primäre Naht 49%, 21% und 56% [56-63]. Dementsprechend wird im Falle einer kompletten Urethraruptur beim Manne die alleinige suprapubische Ableitung oder die Schienung bei großer

Distanz zwischen den Urethraenden empfohlen [61]. Auch in einer aktuelleren Studie von Ku et al. zeigten sich beide Therapiealternativen als gleichwertig [64]. Ebenso kommt die EAST-Leitlinie zu dem Schluss, dass sowohl die primäre Schienung als auch die suprapubische Ableitung mit sekundärer Operation gleichermaßen empfehlenswert seien [65].

In den Fällen, in denen aufgrund benachbarter Läsionen eine Operation ohnehin erforderlich ist, kann es unter Umständen sinnvoll sein, die Urethrruptur direkt mitzuversorgen, um eine zweizeitige Versorgung zu vermeiden [66]. Insbesondere bei einer Kontamination der Bauchhöhle durch Verletzungen des Kolons erscheint die primäre Naht der Urethra über einem schienenden Katheter unter Umständen sinnvoll, um komplizierende Infekte zu vermeiden [67]. Auch wenn eigentlich ein konservatives Vorgehen möglich erscheint, können Urethraverletzungen dann primär operativ versorgt werden, wenn anderenfalls die definitive Osteosynthese des knöchernen Beckens nicht durchgeführt werden kann [68].

Rupturen der anterioren Urethra des Mannes sind etwas seltener als die der posterioren Urethra [67]. Eine primäre operative Rekonstruktion kann bei offenen Verletzungen notwendig sein. In den meisten Fällen ist jedoch auch hier die suprapubische Harnableitung, gefolgt von einer späteren Rekonstruktion, vorzuziehen, da die Rekonstruktion der anterioren Urethra und des oft mitverletzten äußeren männlichen Genitals meist diffizil und zeitaufwendig ist [55]. Es wird jedoch empfohlen, bei einer Penisfraktur mit Verletzung der Schwellkörper auch die Urethraverletzung primär operativ anzugehen [55, 69]. Entscheidend sind bei der Entscheidung zwischen der primär operativen und konservativen Therapie die Schwere der urologischen Verletzung und die Gesamtschwere aller Verletzungen [55, 70].

Bei der Frau treten Urethraverletzungen deutlich seltener auf als bei Männern. Wenn sie auftreten, sind sie jedoch meist sehr ausgeprägt und mit Harnblasenverletzungen assoziiert [55]. Aus diesem Grund besteht die primäre Therapie in der alleinigen suprapubischen Harnableitung, sofern die Patientin kreislaufinstabil ist und/oder andere Verletzungen einer dringenderen operativen Versorgung bedürfen [71]. Bei Frauen mit minderschwerem Polytrauma dagegen können Rupturen der proximalen Urethra über einen retropubischen Zugang primär rekonstruiert werden [72-74].

Diese Empfehlungen gelten in ähnlicher Weise auch für Kinder, wobei wiederum nach Geschlecht unterschieden werden sollte. In einer Serie von 35 Jungen mit posterioren Urethraerreißen verglichen Podestá et al. 1997 die suprapubische Ableitung (mit späterer Urethroplastik), die suprapubische Ableitung mit Katheterschienung der Urethra und die primäre Anastomose [75]. Da die Kontinenzrate nach primärer Anastomose nur 50% erreichte und in der Gruppe mit Katheterschienung alle zehn Patienten dennoch später eine Urethroplastik benötigten, empfehlen die Autoren die alleinige suprapubische Harnableitung gefolgt von der sekundären Urethroplastik [75]. Die gleichen Autoren haben in einer Studie zur Urethraverletzung bei Mädchen mit Beckenfraktur und anderen Begleitverletzungen die verzögerte Versorgung als vorteilhaft empfunden, da trotz vesikaler und vaginaler Begleitverletzungen gute Ergebnisse zu beobachten waren [76].

Literatur

1. Shariat SF, Roehrborn CG, Karakiewicz PI, Dhami G, Stage KH. Evidence-based validation of the predictive value of the American Association for the Surgery of Trauma kidney injury scale. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2007;62(4):933-9.
2. Husmann DA, Gilling PJ, Perry MO, Morris JS, Boone TB. Major renal lacerations with a devitalized fragment following blunt abdominal trauma: a comparison between nonoperative (expectant) versus surgical management. *J Urol*. 1993;150(6):1774-7.
3. Morey AF, Brandes SB, Dugili DD, Armstrong JH, Breyer BN, Broghammer JA, et al. American Urological Association (AUA) Guideline American Urological Association. *AUA Clinical Guidelines*. 2014;(April):1-57.
4. Serafetinides E, Kitrey ND, Djakovic N, Kuehhas FE, Lumen N, Sharma DM, et al. Review of the current management of upper urinary tract injuries by the EAU Trauma Guidelines Panel. *European Urology*. 2015;67(5):930-6.
5. Buckley JC, McAninch JW. Revision of current American Association for the Surgery of Trauma Renal Injury grading system. *Journal of Trauma*. 2011;70(35).
6. Moore EE, Shackford SR, Pachter HL, McAninch JW, Browner BD, Champion HR, et al. Organ injury scaling: spleen, liver, and kidney. *J Trauma*. 1989;29(12):1664-6.
7. Kozar RA, Crandall M, Shanmuganathan K, Zarzaur BL, Coburn M, Cribari C, et al. Organ injury scaling 2018 update: spleen, liver, and kidney. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 2018;85(6):1119-22.
8. DGUC. S3 Polytrauma/Schwerverletzten Behandlung. 2011;(012).
9. Atala A, Miller FB, Richardson JD, Bauer B, Harty J, Amin M. Preliminary vascular control for renal trauma. *Surgery, gynecology & obstetrics*. 1991;172(5):386-90.
10. Bjurlin MA, Goble SM, Fantus RJ, Hollowell CM. Outcomes in geriatric genitourinary trauma. *Journal of the American College of Surgeons*. 2011;213(3):415-21.
11. McGuire J, Bultitude MF, Davis P, Koukounaras J, Royce PL, Corcoran NM. Predictors of outcome for blunt high grade renal injury treated with conservative intent. *The Journal of urology*. 2011;185(1):187-91.
12. Hammer CC, Santucci RA. Effect of an institutional policy of nonoperative treatment of grades I to IV renal injuries. *J Urol*. 2003;169(5):1751-3.
13. McAninch JW, Carroll PR, Klosterman PW, Dixon CM, Greenblatt MN. Renal reconstruction after injury. *The Journal of urology*. 1991;145(5):932-7.
14. Robert M, Drianno N, Muir G, Delbos O, Guiter J. Management of major blunt renal lacerations: surgical or nonoperative approach? *Eur Urol*. 1996;30(3):335-9.
15. Santucci RA, Doumanian L. Upper Urinary Tract Trauma. In: Wein A, editor. *Campbell-walsh urology*. Philadelphia: Elsevier; 2012. p. 1169 pp.- pp.
16. Carroll PR, Klosterman PW, McAninch JW. Early vascular control for renal trauma: a critical review. *J Urol*. 1989;4(141):826-9.
17. McAninch JW, Carroll PR. Renal trauma: kidney preservation through improved vascular control-a refined approach. *The Journal of trauma*. 1982;22(4):285-90.
18. Dunfee BL, Lucey BC, Soto JA. Development of renal scars on CT after abdominal trauma: does grade of injury matter? *AJR American journal of roentgenology*. 2008;190(5):1174-9.
19. Matthews LA, Smith EM, Spirnak JP. Nonoperative treatment of major blunt renal lacerations with urinary extravasation. *The Journal of urology*. 1997;157(6):2056-8.
20. van der Wilden GM, Velmahos GC, Joseph DK, Jacobs L, Debusk MG, Adams CA, et al. Successful nonoperative management of the most severe blunt renal injuries: a multicenter study of the research consortium of New England Centers for Trauma. *JAMA Surgery*. 2013;148(10):924-31.
21. Liguori G, Rebez G, Larcher A, Rizzo M, Cai T, Trombetta C, et al. The role of angioembolization in the management of blunt renal injuries: a systematic review. *BMC urology*. 2021;21(1):1-8.
22. Hagiwara A, Sakaki S, Goto H, Takenega K, Fukushima H, Matuda H, et al. The role of interventional radiology in the management of blunt renal injury: a practical protocol. *J Trauma*. 2001;51(3):526-31.

23. El Hechi MW, Nederpelt C, Kongkaewpaisan N, Bonde A, Kokoroskos N, Breen K, et al. Contemporary management of penetrating renal trauma - A national analysis. *Injury*. 2020;51(1):32-8.
24. Padia SA, Ingraham CR, Moriarty JM, Wilkins LR, Bream Jr PR, Tam AL, et al. Society of Interventional Radiology Position Statement on endovascular intervention for trauma. *Journal of vascular and interventional radiology: JVIR*. 2020;31(3):363-9. e2.
25. Nuss GR, Morey AF, Jenkins AC, Pruitt JH, Dugi DD, Morse B, et al. Radiographic predictors of need for angiographic embolization after traumatic renal injury. *The Journal of trauma*. 2009;67(3):578-82; discussion 82.
26. Huber J, Pahernik S, Hallscheidt P, Sommer CM, Wagener N, Hatiboglu G, et al. Selective transarterial embolization for posttraumatic renal hemorrhage: a second try is worthwhile. *The Journal of Urology*. 2011;185(5):1751-5.
27. Lopera JE, Suri R, Kroma G, Gadani S, Dolmatch B. Traumatic occlusion and dissection of the main renal artery: endovascular treatment. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 2011;22(11):1570-4.
28. Rozzanigo U, Luppi G, Gatti F, Donner D, Centonze M, Luciani L. Traumatic renal artery dissection: from imaging to management. *Clinical Radiology*. 2021;76(2):153. e17-. e24.
29. Summerton DJ, Kitrey ND, Lumen N, Serafetinidis E, Djakovic N. EAU guidelines on iatrogenic trauma. *Eur Urol*. 2012;62(4):628-39.
30. Davis KA, Reed RL, Santaniello J, Abodeely A, Esposito TJ, Poulakidas SJ, et al. Predictors of the need for nephrectomy after renal trauma. *The Journal of trauma*. 2006;60(1):164-9; discussion 9-70.
31. Meng MV, Brandes SB, McAninch JW. Renal trauma: indications and techniques for surgical exploration. *World journal of urology*. 1999;17(2):71-7.
32. Moore EE, Cogbill TH, Jurkovich GJ, McAninch JW, Champion HR, Gennarelli TA, et al. Organ injury scaling. III: Chest wall, abdominal vascular, ureter, bladder, and urethra. *Journal of Trauma*. 1992;33(3):337-9.
33. Teber D, Egey A, Gözen AS, Rassweiler J. Harnleitertrauma. *Der Urologe*. 2005;44(8):870-7.
34. Toporoff B, Sclafani SJ, Scalea T, Vieux E, Atweh N, Duncan AO, et al. Percutaneous antegrade ureteral stenting as an adjunct for treatment of complicated ureteral injuries. *J Trauma*. 1992;4(32):534-8.
35. Lynch TH, Martinez-Pineiro L, Plas E, Serafetinides E, Turkeri L, Santucci RA, et al. EAU guidelines on urological trauma. *Eur Urol*. 2005;47(1):1-15.
36. Boari A. Contributo sperementale alla plastica delle uretere. *Atti Accad Med Ferrara*. 1894;14(444).
37. Ahlawat RK. Partial nephrectomy for posterior hilar tumors: Transperitoneal approach via gilvernet plane with renal flip on its superior-inferior axis. 2012. p. A478-A.
38. Bodie B, Novick AC, Rose M, Straffon RA. Long-term results with renal autotransplantation for ureteral replacement. *J Urol*. 1986;136(6):1187-9.
39. Burks FN, Santucci RA. Management of iatrogenic ureteral injury. *Therapeutic Advances in Urology*. 2014;6(3):115-24.
40. Adams J, Djakovic N, Gilfrich C, Pfitzenmaier J, Buse S, Haferkamp A, et al. Ureteric replacement with Meckel's diverticulum. *BJU international*. 2007;99(3):647-50.
41. Djakovic N, Wagener N, Adams J, Gilfrich C, Haferkamp A, Pfitzenmaier J, et al. Intestinal reconstruction of the lower urinary tract as a prerequisite for renal transplantation. *BJU International*. 2009;103(11):1555-60.
42. Pfitzenmaier J, Buse S, Haferkamp A, Pahernik S, Djakovic N, Hohenfellner M. [Kidney trauma]. *Urologe A*. 2008;47(6):759-67; quiz 68.
43. Steffens Ja, Anheuser P, Reisch B, Treiye aE. [Ureteric reconstruction with reconfigured ileal segments according to Yang-Monti. A 4-year prospective report]. *Der Urologe Ausg A*. 2010;49(2):262-7.

44. Anderson RE, Keihani S, Moses RA, Nocera AP, Selph JP, Castillejo Becerra CM, et al. Current Management of Extraperitoneal Bladder Injuries: Results from the Multi-Institutional Genito-Urinary Trauma Study (MiGUTS). *Journal of Urology*. 2020;204(3):538-44.
45. Corriere Jr JN, Sandler CM. Management of extraperitoneal bladder rupture. *Urol Clin North Am*. 1989;16(2):275-7.
46. Hochberg E, Stone NN. Bladder rupture associated with pelvic fracture due to blunt trauma. *Urology*. 1993;41(6):531-3.
47. Palmer JK, Benson GS, Corriere JN. Diagnosis and initial management of urological injuries associated with 200 consecutive pelvic fractures. *The Journal of urology*. 1983;130(4):712-4.
48. Gómez RG, Mundy T, Dubey D, El-Kassaby AW, Firdaoessaleh, Kodama R, et al. SIU/ICUD Consultation on Urethral Strictures: Pelvic fracture urethral injuries. *Urology*. 2014;83(3 Suppl):S48-58.
49. Tonkin JB, Tisdale BE, Jordan GH. Assessment and initial management of urologic trauma. *The Medical clinics of North America*. 2011;95(1):245-51.
50. Deibert CM, Spencer Ba. The association between operative repair of bladder injury and improved survival: results from the National Trauma Data Bank. *The Journal of urology*. 2011;186(1):151-5.
51. Wirth GJ, Peter R, Poletti P-A, Iselin CE. Advances in the management of blunt traumatic bladder rupture: experience with 36 cases. *BJU international*. 2010;106(9):1344-9.
52. Cinman NM, McAninch JW, Porten SP, Myers JB, Blaschko SD, Bagga HS, et al. Gunshot wounds to the lower urinary tract: a single-institution experience. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2013;74(3):725-30; discussion 30-1.
53. Wu C-W, Lin C-H, Lin C-H. One-stage posttraumatic bladder reconstruction and soft-tissue coverage of the lower abdomen or perineum. *Annals of plastic surgery*. 2010;64(1):65-8.
54. Wohlrab KJ, Sung VW, Rardin CR. Management of laparoscopic bladder injuries. *J Minim Invasive Gynecol*. 2011;1(18):4-8.
55. Chapple C, Barbagli G, Jordan G, Mundy AR, Rodrigues-Netto N, Pansadoro V, et al. Consensus statement on urethral trauma. *BJU International*. 2004;93(9):1195-202.
56. Culty T, Boccon-Gibod L. Anastomotic urethroplasty for posttraumatic urethral stricture: previous urethral manipulation has a negative impact on the final outcome. *J Urol*. 2007;177(4):1374-7.
57. Elliott DS, Barrett DM. Long-term Followup and Evaluation of Primary Realignment of Posterior Urethral Disruptions. *The Journal of Urology*. 1997;157(3):814-6.
58. Follis HW, Koch MO, McDougal WS. Immediate management of prostatomembranous urethral disruptions. *The Journal of urology*. 1992;147(5):1259-62.
59. Gheiler EL, Frontera JR. Immediate primary realignment of prostatomembranous urethral disruptions using endourologic techniques. *Urology*. 1997;49(4):596-9.
60. Husmann DA, Wilson WT, Boone TB, Allen TD. Prostatomembranous urethral disruptions: management by suprapubic cystostomy and delayed urethroplasty. *J Urol*. 1990;144(1):76-8.
61. Koraitim MM. Pelvic fracture urethral injuries: the unresolved controversy. *J Urol*. 1999;161(5):1433-41.
62. Kotkin L, Koch MO. Impotence and incontinence after immediate realignment of posterior urethral trauma: result of injury or management? *J Urol*. 1996;155(5):1600-3.
63. Mouraviev VB, Coburn M, Santucci RA. The treatment of posterior urethral disruption associated with pelvic fractures: comparative experience of early realignment versus delayed urethroplasty. *J Urol*. 2005;173(3):873-6.
64. Ku JH, Jeon YS, Kim ME, Lee NK, Park YH. Comparison of long-term results according to the primary mode of management and type of injury for posterior urethral injuries. *Urol Int*. 2002;69(3):227-32.
65. Hoff WS, Holevar M, Nagy KK, Patterson L, Young JS, Arrillaga A, et al. Practice management guidelines for the evaluation of blunt abdominal trauma: the East practice management guidelines work group. *The Journal of trauma*. 2002;53(3):602-15.
66. Brandes S, Borrelli Jr J. Pelvic fracture and associated urologic injuries. *World J Surg*. 2001;25(12):1578-87.

67. Brandes S, Coburn M, Armenakas N, McAninch J. Diagnosis and management of ureteric injury: an evidence-based analysis. *BJU international*. 2004;94(3):277-89.
68. Mayher BE, Guyton JL, Gingrich JR. Impact of urethral injury management on the treatment and outcome of concurrent pelvic fractures. *Urology*. 2001;57(3):439-42.
69. Nane I, Esen T, Tellaloglu S, Selhanoglu M, Akinci M. Penile fracture: emergency surgery for preservation of penile functions. *Andrologia*. 1991;23(4):309-11.
70. Mohr AM, Pham AM, Lavery RF, Sifri Z, Bargman V, Livingston DH. Management of trauma to the male external genitalia: the usefulness of American Association for the Surgery of Trauma organ injury scales. *J Urol*. 2003;170(6 Pt 1):2311-5.
71. Venn SN, Greenwell TJ, Mundy AR. Pelvic fracture injuries of the female urethra. *BJU Int*. 1999;83(6):626-30.
72. Black PC, Miller EA, Porter JR, Wessells H. Urethral and bladder neck injury associated with pelvic fracture in 25 female patients. *J Urol*. 2006;175(6):2140-4; discussion 4.
73. Netto Junior NR, Ikari O, Zuppo VP. Traumatic rupture of female urethra. *Urology*. 1983;22(6):601-3.
74. Thambi Dorai CR, Boucaut HA, Dewan PA. Urethral injuries in girls with pelvic trauma. *Eur Urol*. 1993;24(3):371-4.
75. Podesta ML, Medel R, Castera R, Ruarte A. Immediate management of posterior urethral disruptions due to pelvic fracture: therapeutic alternatives. *J Urol*. 1997;157(4):1444-8.
76. Podesta ML, Jordan GH. Pelvic fracture urethral injuries in girls. *J Urol*. 2001;165(5):1660-5.

3.13 Thermische Hautverletzung und Verbrennung

M. Lehnhardt*, C. Hirche, O. Rennekampff, U. Kneser

Epidemiologische Daten zeigen, dass bei ca. 1–2% aller Polytraumata zusätzlich Verbrennungsverletzungen vorliegen. Umgekehrt zeigen ca. 5% aller Schwerbrandverletzten begleitende Verletzungen von Schädel, Thorax, Abdomen oder des Skelettsystems. Neben Explosionsverletzungen sind hier als Unfallmechanismus vor allem die Einklemmung in einem verunfallten, brennenden Fahrzeug zu nennen.

Es existiert keine evidenzbasierte Literatur zur Kombinationsverletzung „Polytrauma + Brandverletzung“ und es gibt nur sehr wenige Daten zum gleichzeitigen Vorliegen einer Schwerbrandverletzung (>20% verbrannte Körperoberfläche) bei vielfach verletzten Patienten.

Die zusätzliche Verbrennungsverletzung erhöht die Mortalität des Polytraumas um ca. das Doppelte.

Die prähospitalen Versorgung bei zusätzlichem Vorhandensein einer Brandverletzung unterscheidet sich nicht von einer Polytraumaversorgung, da die Verbrennung selbst nur selten relevant die Vitalparameter des Patienten beeinträchtigt. Deshalb ergeben sich bezüglich der prähospitalen Versorgung keine signifikanten Abweichungen der Behandlungsprioritäten.

Brandverletzte Areale werden bei Schwerbrandverletzten nicht lokal gekühlt. Umgekehrt neigen Schwerbrandverletzte in besonderem Maße zur schnellen Auskühlung, die unbedingt vermieden werden sollte, da sie Auswirkungen auf die Prognose des Patienten hat. Die verbreitete Ansicht zur Kühlung mit Leitungswasser hat bei kleineren Verbrennungen Einfluss auf die Schmerzintensität. Das Eindringen der Hitze in das Gewebe verhindert sie nicht.

Der Schwerverletzte mit Brandverletzung sollte in das nächstgelegene Traumazentrum transportiert werden. Bei gleicher Erreichbarkeit ist ein Traumazentrum mit assoziiertem Brandverletzentrum vorzuziehen. Auch im Schockraum ergeben sich für die Behandlungsmodalitäten zunächst keine Abweichungen von der sonstigen Polytraumaversorgung. Bei Vorhandensein zirkulärer Verbrennungen im Bereich des Thorax muss die Atemmechanik geprüft und gegebenenfalls Entlastungsescharotomien durchgeführt werden. Analog muss bei zirkulären Verbrennungen im Bereich der Extremitäten das Erfordernis der sofortigen Escharotomie geprüft werden.

Nach Stabilisierung der Vitalfunktionen und notwendiger operativer Erstversorgung soll der schwer brandverletzte Patient in ein Brandverletzentrum mit einem assoziierten überregionalen Traumazentrum verlegt werden.

3.13.1	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Beim zusätzlichen Vorhandensein einer Brandverletzung beim Schwerverletzten gelten die gleichen prähospitalen Behandlungsprioritäten.	
	Konsensstärke: 100%	

Die prähospitalen Versorgung bei zusätzlichem Vorhandensein einer Brandverletzung unterscheidet sich nicht von einer Polytraumaversorgung, da die Verbrennung selbst nur selten relevant die Vitalparameter des Patienten beeinträchtigt. Deshalb ergeben sich bezüglich der prähospitalen Versorgung keine signifikanten Abweichungen der Behandlungsprioritäten [1, 2].

3.13.2	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Verbrennungsverletzungen beim Schwerverletzten sollten nicht gekühlt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Brandverletzte Areale werden bei Schwerbrandverletzten nicht lokal gekühlt. Umgekehrt neigen Schwerbrandverletzte in besonderem Maße zur schnellen Auskühlung, die unbedingt vermieden werden sollte, da sie Auswirkungen auf die Prognose des Patienten hat [3]. Die verbreitete Ansicht zur Kühlung mit Leitungswasser hat bei kleineren Verbrennungen Einfluss auf die Schmerzintensität. Das Eindringen der Hitze in das Gewebe verhindert sie wahrscheinlich nicht [4].

Der besondere Schutz vor Auskühlung sollte mit warmen Infusionen, Wärmedecken und Heizstrahlern durchgeführt werden [3].

3.13.3	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Der Schwerverletzte mit Brandverletzung sollte in das nächstgelegene Traumazentrum transportiert werden. Bei gleicher Erreichbarkeit ist ein Traumazentrum mit assoziiertem Brandverletztenzentrum vorzuziehen.	
	Konsensstärke: 100%	

Die maximale interdisziplinäre Kooperation zwischen Traumateam/Traumaleader und Verbrennungschirurg sollte schon im Schockraum beginnen. Der Verbrennungschirurg ist im Schockraum anwesend [5].

3.13.4	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Beim zusätzlichen Vorhandensein einer Brandverletzung beim Schwerverletzten sollen die gleichen Behandlungsprioritäten im Schockraum gelten.	
	Konsensstärke: 100%	

Der Verbrennungschirurg beteiligt sich am Sekundärcheck und stellt im Rahmen der Prioritätenabschätzung den Behandlungsplan/Therapiekonzept mit auf [6, 7].

3.13.5	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei Verbrennungen im Stammbereich, die die Atemmechanik beeinträchtigen, soll unverzüglich eine Escharotomie durchgeführt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Im Fall tiefgreifender und ausgedehnter Verbrennungen der thorakalen Haut muss eine notfallmäßige **Escharotomie** erwogen werden, um eine mechanische Beeinträchtigung der Atmung zu verhindern. Die Indikationsstellung ist durch einen erfahrenen Verbrennungschirurgen zu stellen. Anders als beim Kompartmentsyndrom befindet sich die Schwellung nicht in der Muskulatur, sondern subkutan. Daher sorgt bereits die Durchtrennung des Verbrennungsschorfs für eine Entlastung. Die Muskelfaszie muss bei der Escharotomie nicht zwingend eröffnet werden [8].

Ähnliches gilt für zirkuläre Verbrennungen der abdominellen Haut mit Steigerung des intraabdominalen Druckes.

3.13.6	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Bei Verbrennungen der Extremitäten, die die Perfusion beeinträchtigen, soll zeitnah eine Escharotomie durchgeführt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Im Fall tiefgreifender und ausgedehnter Verbrennungen an Extremitäten muss eine notfallmäßige Escharotomie erwogen werden, um die Zirkulation sicherzustellen. Die Indikationsstellung ist durch einen erfahrenen Verbrennungschirurgen zu stellen. Anders als beim Kompartmentsyndrom befindet sich die Schwellung nicht in der Muskulatur, sondern subkutan. Daher sorgt bereits die Durchtrennung des Verbrennungsschorfs für eine Entlastung. Die Muskelfaszie muss bei der Escharotomie nicht zwingend eröffnet werden.

Eine Besonderheit ist die Escharotomie im Bereich der Hände. Hier ist besonders darauf zu achten, dass funktionelle Strukturen nicht verletzt werden. So sollen Escharotomien am Daumen nicht ulnarseitig und am Zeigefinger nicht radialseitig erfolgen, und die Ulnarseite der Hand soll grundsätzlich geschont werden [8].

Prinzipiell soll das Aufnahmebad so ausgestattet sein, dass solche chirurgischen Eingriffe dort möglich sind.

3.13.7	Empfehlung	Geprüft 2022
Empfehlungsgrad GPP	Nach Stabilisierung der Vitalfunktionen und notwendiger operativer Erstversorgung soll der schwer brandverletzte Patient in ein Brandverletztzentrum mit assoziiertem überregionalem Traumazentrum verlegt werden.	
	Konsensstärke: 100%	

Eine bodengebundene Direkteinweisung vom Unfallort in ein Brandverletztzentrum ist in der Regel nur bei geringer räumlicher Distanz möglich. Meist erfolgt die Koordination über die *Zentrale Anlaufstelle für die Vermittlung von Krankenhausbetten für Schwerbrandverletzte* (ZA-Schwerbrandverletzte) in der Bundesrepublik Deutschland. Diese wird seit dem Jahr 1999 von der *Rettungsleitstelle Hamburg (7 Tage/24 Stunden)* durchgeführt. Alle am Vermittlungsverfahren beteiligten Zentren melden Veränderungen der Belegungssituation bzw. freie Bettenkapazitäten. Auf telefonische Anfrage kann die nächstgelegene geeignete freie Einrichtung benannt werden. Die Modalitäten der Verlegung werden dann eigenverantwortlich durch die beteiligten Ärzte oder Krankenhäuser geregelt.

Derzeit gibt es in Deutschland insgesamt 38 Zentren 120 ausgewiesene Brandverletztenbetten für Erwachsene und 45 Betten für Kinder. Lediglich in Berlin werden insgesamt 12 Betten sowohl für Erwachsene als auch für Kinder unter einem Dach vorgehalten

Kontakt:

Zentralen Anlaufstelle für die Vermittlung von Krankenhausbetten für Schwerbrandverletzte (Feuerwehr Hamburg): Tel. 040/42851-3998. www.verbrennungsmedizin.de

Literatur

1. Brandt CP, Yowler CJ, Fratianne RB. Burns with multiple trauma. Am Surg. 2002;68(3):240-3; discussion 3-4.
2. Sheridan RL, Schaefer PW, Whalen M, Fagan S, Stoddard FJ, Jr., Schneider JC, et al. Case records of the Massachusetts General Hospital. Case 36-2012. Recovery of a 16-year-old girl from trauma and burns after a car accident. The New England journal of medicine. 2012;367(21):2027-37.
3. Singer AJ, Taira BR, Thode HC, Jr., McCormack JE, Shapiro M, Aydin A, et al. The association between hypothermia, prehospital cooling, and mortality in burn victims. Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine. 2010;17(4):456-9.
4. Lonnecker S, Schoder V. [Hypothermia in patients with burn injuries: influence of prehospital treatment]. Chirurg. 2001;72(2):164-7.
5. Krämer PF, Grützner PA, Wöfl CG. Care of burn victims. Notfall + Rettungsmedizin. 2010;13(1):23-30.
6. Pruitt BA, Jr. Management of burns in the multiple injury patient. Surg Clin North Am. 1970;50(6):1283-300.
7. Rosenkranz KM, Sheridan R. Management of the burned trauma patient: balancing conflicting priorities. Burns : journal of the International Society for Burn Injuries. 2002;28(7):665-9.
8. Pallua N, Markowicz, M. . Primär plastisch-chirurgische Therapie. In: Wappler F, Spilker, G., editor. Verbrennungsmedizin Vom Unfallort Bis Zur Rehabilitation. Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York 2009. p. 41-51.

Versionsnummer: 4.1

Versionsnummer: 1.0 bis 3.0 publiziert unter: 012-019

Erstveröffentlichung: 01/2002

Überarbeitung von: 12/2022

Nächste Überprüfung geplant: 12/2027

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online