

S2K-Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“

AWMF-Reg.-Nr. 006-120

Herausgeber:

Federführender Autor: Prof. Dr. P.P. Schmittenbecher (Karlsruhe)

als Leitlinie folgender Fachgesellschaften (in alphabetischer Folge):

Deutsche Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin (DGAI) mit dem wissenschaftlichen Arbeitskreis Kinderanästhesie (WAKKA)
(Becke, Nürnberg; Eich, Hannover; Landsleitner, Nürnberg)
[Beschlussfassung 17.11.20]

Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie
(Schmittenbecher, Karlsruhe; Szavay, Luzern; Wessel, Mannheim; Lehner, Luzern)
[Beschlussfassung 01.12.20]

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie, Sektion pädiatrische Neurochirurgie
(Ludwig, Göttingen; Schuhmann, Tübingen)
[Beschlussfassung 08.10.20]

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, Sektion Kindertraumatologie
(Marzi, Frankfurt; Schmittenbecher, Karlsruhe; Schneidmüller, Murnau; Strohm, Bamberg)
[Beschlussfassung 21.11.20]

Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI), Sektion Pädiatrische Intensiv- und Notfallmedizin
(Hoffmann, München; Szavay, Luzern)
[Beschlussfassung 13.10.20]

Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrische Intensivmedizin (GNPI)
(Dohna-Schwake, Essen; Jung, Lübeck)
[Beschlussfassung 26.10.20]

Gesellschaft für pädiatrische Radiologie (GPR)
(Mentzel, Jena; Schäfer, Tübingen)
[Beschlussfassung 01.12.20]

Gesellschaft für Thrombose- und Hämostaseforschung e.v. (GTH), Ständige Kommission Pädiatrie (Olivieri, München; Kurnik, München)
[Beschlussfassung 02.10.20]

unter Mitarbeit von

Arbeitsgemeinschaft der Feuerwehren im Rettungsdienst (AG FReDi)
(Storz, München)

Berufsverband Kinderkrankenpflege Deutschland e.V. (BeKD)
(Chudzinski, Solingen)

Deutscher Berufsverband Rettungsdienst e.V. (DBRD)
(Flake, Oldenburg)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
2. Präklinik	6
2.1 Einleitung	6
2.2 Management von Atemweg und Atmung	8
2.3 Volumentherapie	20
2.4 SHT im Rahmen des Polytraumas	26
2.5 Skelettverletzungen	35
2.6 Logistik	43
3. Klinik	51
3.1 Schockraum	51
3.2 Kardiopulmonale Reanimation	58
3.3 Bildgebende Diagnostik in der Schockraumphase	61
3.4 Soforttherapie Schädel/Gehirn	69
3.5 Soforttherapie Thorax und Abdomen	78
3.6 Soforttherapie Skelett	86
3.7 Gerinnungstherapie	90

1 Einleitung (Schmittenebecher)

Das „Polytrauma“ ist allgemein definiert als Verletzung von zwei oder mehr Körperregionen oder Organsystemen, von denen eine oder die Kombination der Verletzungen lebensbedrohlich ist.

Da der Fortschritt in der Qualität der Erstversorgung auf Basis dieser Definition keine Differenzierung des Mortalitätsrisikos mehr erlaubt hat [5], wurde die sog. Berliner Definition [8] neu konzipiert. Allerdings gibt es bisher keine Evaluation für das Kindesalter.

Die Inzidenz der Polytraumata liegt nach Berechnungen von Debus et al. aus dem Traumaregister bei 18200 bis 18400 Fällen/Jahr, somit bei 0,02% [2] aller erfassten Traumata. Das statistische Bundesamt hat 2014 für 12590 Patienten die Diagnosekategorie (MDC) Polytrauma registriert, davon 381x (3%) im Alter < 15 Jahre [10]. Bezogen auf die Berechnungen von Debus et al. wären 549 Fälle für diese Altersgruppe zu erwarten. Lebensbedrohliche Notfälle incl. Polytraumata sind folglich im Kindesalter selten. Zwar erleiden 15% aller Kinder jährlich ein Trauma und das Trauma ist die häufigste Todesursache jenseits des 1. Lebensjahres, aber Lutz et al. fanden in ihrer Notfallambulanz nur 0,5% lebensbedrohliche Fälle, dabei bestand in 19,5% hämodynamische Instabilität, die Mortalität lag bei 7,2% [6].

Die schwerverletzten Patienten dieser Altersgruppe werden laut Traumaregister – nicht zuletzt durch eine adäquate Selektion durch den Rettungsdienst [11] - zu 72% primär in einem überregionalen Traumazentrum behandelt. Laut Strohm et al. sind Mortalität und Glasgow Outcome Scale (GOS) in den verschiedenen Versorgungsstrukturen vergleichbar, der operative Aufwand aber geringer und die Zahl der Splenektomien niedriger, wenn Kinderchirurgen an der Versorgung beteiligt sind [11]. Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass nicht alle bundesdeutschen Kliniken am Register teilnehmen. 585 Kliniken wurden ausgewertet, dabei war in überregionalen Traumazentren zu 67% eine kinderchirurgische Abteilung vorhanden. Im 10 Jahres-Zeitraum 2002 bis 2012 sind 268 Kinder dokumentiert.

In der internationalen Literatur wird spezialisierten Kinder-Traumazentren eine geringere Mortalität beim Polytrauma, ein besseres Überleben bei schwerem SHT und weniger Organverlust beim stumpfen Bauchtrauma zugeschrieben [4, 7, 9].

Die Behandlung sollte deshalb in einem Traumazentrum erfolgen, das über Expertise im Kindesalter verfügt [1].

Kinder können – das ist für die Behandlungsintention sehr wichtig - schwerste Hirn-, Organ- und Weichteiltraumen überleben. Die Erstbehandlung aller Verletzungen muss deshalb auf die Rehabilitation ausgerichtet sein. Dabei erleiden 67 bis 78% der polytraumatisierten Kinder (bezogen auf die Altersgruppe) ein schweres Schädel-Hirn-Trauma mit einem AIS \geq 3 (Abbreviated Injury Scale, Grad 3 entspricht Verletzungsgrad „serious/schwer“). Bei den Erwachsenen ist dieser Anteil deutlich geringer (58%). Thorax- und Extremitätenverletzungen, Abdominalverletzungen sowie relevante Becken- und Wirbelsäulenverletzungen sind dahingegen bei Kindern seltener als bei Erwachsenen. Mit zunehmendem Alter gleichen sich die Verletzungsursachen und -muster an.

Die Versorgung des schwerverletzten Kindes ist interdisziplinäre Aufgabe. Es existiert eine S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie zur Polytraumaversorgung von Erwachsenen. Die erste Auflage enthielt nur vereinzelte Hinweise zu Kindern [3]. Das Stichwort „Kind“ fand sich insgesamt nur 48mal, vor allem im Zusammenhang mit dem Atemwegsmanagement und punktuell bei seltenen Verletzungen. Die zweite Auflage hat besonderen Erfordernissen des Kindesalters bei einzelnen Themen breiteren Raum eingeräumt, aber noch keine systematische Abhandlung für diese Altersgruppe integriert. Da sich die Behandlungsgrundsätze mit sinkendem Alter immer mehr von denen der Erwachsenen unterscheiden, sollen diese explizit dargelegt werden; dies war die Rationale zur Erstellung dieser Handlungsempfehlung auf S2k-Niveau. Ziel soll sein, eine Konsens-basierte Optimierung der Struktur- und Prozessqualität in Präklinik und klinischer Erstversorgung bis zum Verlassen des Schockraums bei der Versorgung schwerstverletzter Kinder zu erreichen und Hilfen zur Entscheidungsfindung auf der Basis von aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen oder - wo solche Daten fehlen – auf der Basis von Erfahrungs- und

Expertenwissen zu geben. Überall dort, wo Übereinstimmungen mit der S3-LL bestehen, wird das zur besseren Orientierung in dieser Leitlinie kenntlich gemacht und zitiert. Manche Kernaussagen sind durchaus identisch, die Hintergrund-Literatur aber im Einzelfall spezifisch. Dabei sollen entscheidende Aussagen durch aktuelle Literaturzitate belegt und ggf. durch eine fokussierte Literaturrecherche untermauert werden. Die Empfehlungsgrade {A=soll/starke Empfehlung}, {B=sollte/Empfehlung} und {0=kann/offene Empfehlung} sind der AWMF-Nomenklatur entnommen. Eine Zusammenführung der Erwachsenen- und Kinder-Inhalte ist für die 3. Auflage der S3-LL Polytrauma angedacht.

1 Auner B, Marzi I. Polytrauma des Kindes. Chirurg 2014; 85:451-463

2 Debus F, Lefering R, Frink M et al. Anzahl der Schwerverletzten in Deutschland—Eine retrospektive Analyse aus dem TraumaRegister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU). Dtsch Arztebl Int 2015; 112: 823–829

3 Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung. AWMF Register-Nr. 012/019. DGU-Mitteilungen 33 (2011) Suppl 1

4 Hall JR, Reyes HM, Meller JL et al. The outcome for children with blunt trauma is best at a pediatric trauma center. J Pediatr Surg 1996; 31:72-76

5 Lefering R, Huber-Wagner S, Nienaber U et al. Update of the trauma risk adjustment model of the TraumaRegister DGU™: the Revised Injury Severity Classification, version II. Crit Care. 2014; 18:476

6 Lutz N, Vandermensbrughe NG, Dolci M et al. Pediatric emergencies admitted in the resuscitation room of a swiss university hospital. Ped Emerg Care 2014; 30:699-704

7 Osler TM, Vane DW, Tepas JJ et al. Do pediatric trauma centers have better survival rates than adult trauma centers? An examination of the National Pediatric Trauma Registry. J Trauma 2001; 50:96-101

8 Pape HC, Lefering R, Butcher N et al. The definition of polytrauma revisited: An international consensus process and proposal of the new „Berlin definition“. J Trauma 2014; 77:780-786

9 Potoka DA, Schall LC, Gardner MJ et al. Impact of pediatric trauma centers on mortality in a statewide system. J Trauma 2000; 49:237-245

10 Statistisches Bundesamt: Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik). Diagnosen, Prozeduren, Fallpauschalen und Case Mix der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern 2014. Wiesbaden 2015

11 Strohm PC, Zwingmann J, Bayer J et al. Unterschiede im Outcome schwerverletzter Kinder in der Abhängigkeit von der Versorgungsstufe. Unfallchirurg 2018; 121:306-312

2 Präklinik

2.1 Einleitung (Szavay)

Eine professionelle, patientenzentrierte Versorgung des polytraumatisierten Kindes beginnt bereits am Unfallort. Sie dient in erster Linie einer schnellen und strukturierten Erfassung der Verletzungen sowie der Abwendung lebensbedrohlicher Zustände.

Hierzu wird analog zum Polytrauma des Erwachsenen z. B. nach dem sogenannten PHTLS®-Schema (Pre-Hospital-Trauma-Life-Support) im Sinne eines ABCDE-Algorithmus vorgegangen. An erster Stelle steht dabei eine frühe erste Beurteilung (sog. "Primary Survey").

Diese erfolgt zur Triagierung der unmittelbar lebensbedrohten Patienten von nicht-lebensbedrohten Verletzten. Erstere werden nach dem "Primary Survey" und sich daraus ergebenden, eventuell notwendigen unmittelbar lebenserhaltenden Maßnahmen (z. B. Atemwegssicherung, Stillen einer lebensbedrohlichen Blutung, Punktion eines Spannungspneumothorax) möglichst unverzüglich in eine geeignete Klinik transportiert. Dringend notwendige weitere Untersuchungen und/oder Maßnahmen erfolgen dann auf dem Transport. Hierbei gilt wie beim innerklinisch meist verbreiteten Kurskonzept ATLS® (advanced trauma life support) der Grundsatz "Treat first, what kills first". Bei nicht-lebensbedrohlich Verletzten erfolgt der "Secondary Survey" mit eingehender körperlicher Untersuchung unter besonderer Beachtung der Wirbelsäule. Ziel aller prähospitalen Maßnahmen ist der Lebenserhalt sowie die Reduktion des sogenannten Sekundärschadens, der wiederum das Outcome des Patienten beeinflusst. Zu den Sekundärschäden zählen insbesondere die Hypoxie und die Hypovolämie, welche als sogenannte "Secondary Hits" insbesondere beim Schädel-Hirn-Trauma (SHT) das Outcome nachhaltig negativ beeinflussen können.

Prähospital (wie auch innerklinisch) geschieht die Patientenversorgung immer unter der Prämisse des Zeitmanagements. Eine prolongierte prähospitalen Rettungsphase ist mit einem schlechteren Überleben assoziiert. Die Zeitspanne zwischen Trauma und dem Beginn der klinischen Versorgung muss so kurz als möglich gehalten werden.

Es gilt, das polytraumatisierte Kind nach primärer Stabilisierung so zügig wie möglich mit dem geeigneten Rettungsmittel in die geeignete Klinik zu verbringen. Es sollte primär in ein Traumazentrum eingeliefert werden, das über entsprechende kindertraumatologische Kompetenz verfügt. Die erforderliche Transportzeit ist in die Abwägung einzubeziehen.

Hierbei gilt der Grundsatz, dass je kleiner bzw. jünger das Kind, umso dringlicher ist eine kindermedizinische Kompetenz bei der Erstversorgung im Traumazentrum zu fordern. Spezialfälle stellen Wirbelsäulenverletzungen und thermische Verletzungen dar, die primär in jeweilige Spezialkliniken transportiert werden sollen.

1 Maegele M, Bouillon B: Präklinische Polytraumaversorgung. DIVI 2014; 5:86-100

2 Schoeneberg C, Schilling M, Keitel J et al.: Mortality in severely injured children: experiences of a German level 1 trauma center (2002-2011). BMC Pediatrics 2014; 14:194

3 Wyen H, Jakob H, Wutzler S et al.: Prehospital and early clinical care of infants, children and teenagers, compared to an adult cohort. Eur J Trauma Emerg Surg 2010; 4:300-307

2.2 Management von Atemweg und Atmung incl. Thoraxtrauma – AB-Management (Becke, Eich, Hoffmann, Landsleitner)

Das prähospitaler Atemwegsmanagement stellt auch bei Kindern eine zentrale therapeutische Maßnahme in der Primärversorgung polytraumatisierter Patienten dar.

„A“ (Atemweg) und „B“ (Breathing, Beatmung) nehmen in allen etablierten Empfehlungen zur Traumaversorgung einen besonderen Stellenwert ein. Die Sicherstellung einer bestmöglichen Oxygenierung und Ventilation ist unmittelbar mit dem Überleben assoziiert [6]. Die tracheale Intubation als Standardverfahren zur Atemwegssicherung [4] muss im prähospitalen Kontext kritisch reflektiert werden. Physiologische und anatomische Besonderheiten bei Kindern sowie die naturgemäßen Rahmenbedingungen der Präklinik erschweren das Atemwegsmanagement. Ein wesentlicher Faktor für Indikationsstellung und Planung der Atemwegssicherung sind die Kompetenz und Routine des medizinischen Teams und im Speziellen die des Notarztes. Darüber hinaus muss auch der Zeitverlust durch eine komplexe Atemwegssicherung v.a. bei möglicher unkontrollierbarer innerer Blutung gegenüber dem potenziellen Nutzen der Maßnahme abgewogen werden. Weitere Einflussfaktoren sind Einsatz- und Transportumstände, Komorbidität sowie (abschätzbare) Intubationshindernisse.

Bei polytraumatisierten Kindern mit Apnoe oder Schnappatmung ($f < 6$) sollen prähospital eine Notfallnarkose, eine Atemwegssicherung mittels Tubus oder Larynxmaske und eine Beatmung durchgeführt werden. Zusätzlich sollte dies bei Hypoxie nach Ausschöpfung aller anderen Therapiemaßnahmen und bei $SpO_2 < 90\%$ trotz effektiver Sauerstoffgabe, bei schwerem Schädel-Hirn-Trauma, traumaassoziierter hämodynamischer Instabilität sowie schwerem Thoraxtrauma mit respiratorischer Instabilität und Hypoventilation nach sorgfältiger Nutzen-Risiko-Analyse erfolgen.

*Anmerkung: Es handelt sich sämtlich um relative Indikationen, die stets unter Beachtung aller individuellen patienten-, team-, und einsatzspezifischen Faktoren zu

stellen sind (z.B. Patientenalter, Vorerkrankungen, Erkrankungsschwere/-dynamik, Transportzeit/ -art, Teamqualifikation).

Der Ablauf der Maßnahmen des AB-Managements erfolgt auch beim Polytrauma nach dem in der Leitlinie zum prähospitalen Airwaymanagement vorgestellten Algorithmus [13].

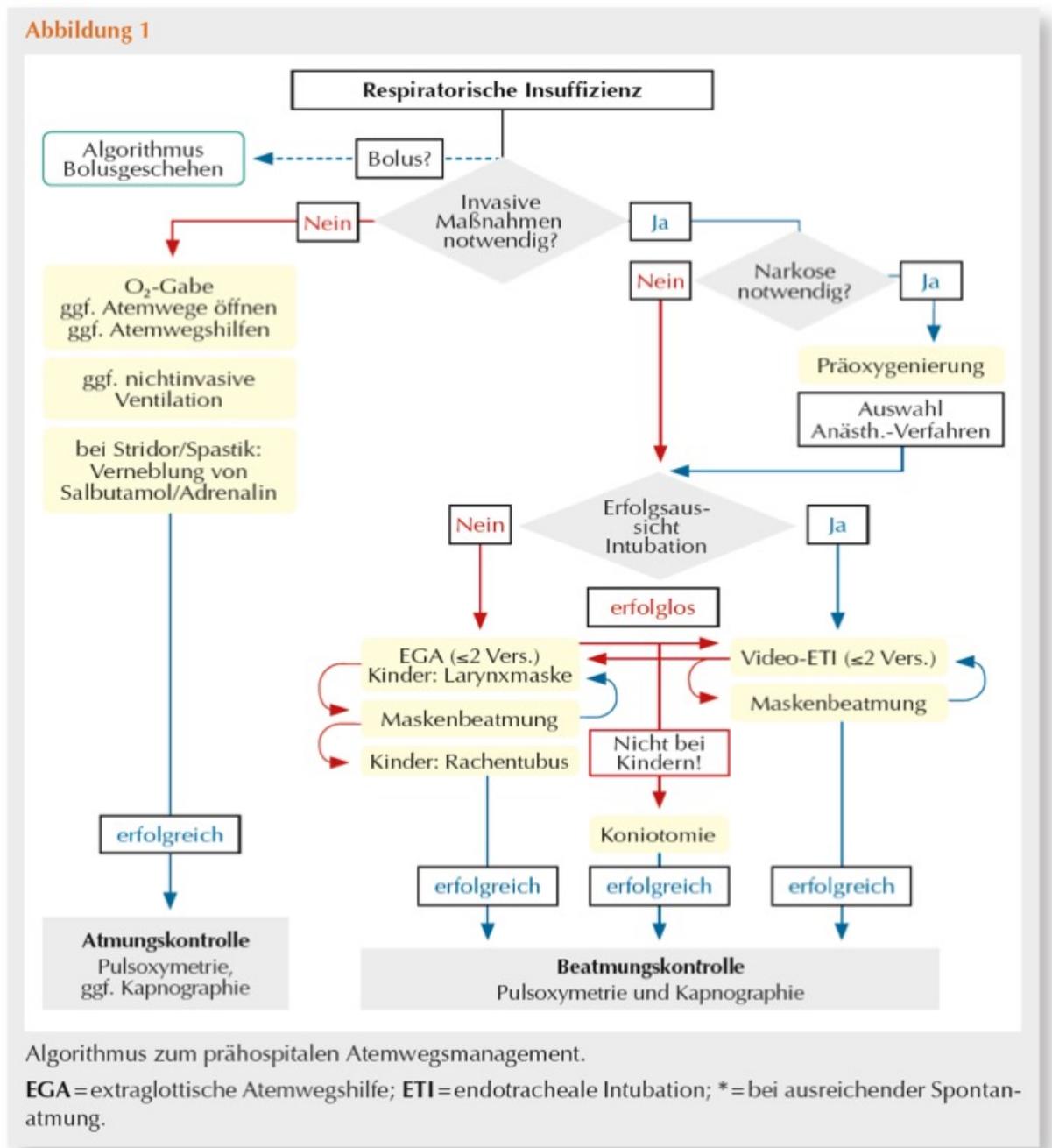


Abb. 1 Algorithmus zum prähospitalen Atemwegsmanagement [13]

Hämodynamik, Oxygenierung und Ventilation

Hypotension, Hyperkapnie und Hypoxie gelten als Prädiktoren für eine Outcome-Verschlechterung [6, 17], insbesondere bei Vorliegen eines SHT. Polytraumatisierte Kinder sollen daher kontinuierlich überwacht werden, um diese Gefahren rasch erkennen und therapieren zu können. Für die klinische und apparative Überwachung und Einschätzung des verletzten Kindes gibt es nur wenig Evidenz. Da sich Angaben zu Normalwerten in der Literatur nicht auf Notfallsituationen beziehen, können hier nur die Unterlagen der zertifizierten Reanimationskurse Orientierung bieten (Tab. 1).

Tabelle 1: Normwerte nach EPALS-Course-Manual [16]

Alter	Atemfrequenz (Obergrenze) [1/min]	Herzfrequenz (Obergrenze) [1/min]	SAP (Untergrenze) [mmHg]	MAP (Untergrenze) [mmHg]
1 Monat	35 (55)	120 (175)	60 (50)	45 (35)
1 Jahr	30 (40)	110 (170)	80 (70)	55 (40)
2 Jahre	25 (30)	100 (160)	90 (70) +	55 (40) +
6 Jahre	20 (25)	90 (130)	2xAlter	1,5xAlter
12 Jahre	15 (20)	80 (100)	12 (90)	80 (65)

Die Pulsoxymetrie (SpO₂) ist schnell und einfach anzubringen. Die Messung soll mit altersadäquaten Sensoren erfolgen. Sie liefert Informationen über Oxygenierung und Pulsfrequenz, jedoch nicht über die Ventilation. Die Kapnografie (etCO₂) soll bei jeder Form der Beatmung eingesetzt werden, um Ventilation, Lage des künstlichen Atemwegs und indirekt die Perfusion zu beurteilen; auch eine Überwachung der Spontanatmung ist hiermit möglich. Daneben sollten Atmung und Beatmung klinisch beurteilt werden (Tab. 2).

Tabelle 2: Klinische Beurteilung von Atmung und Beatmung

<ul style="list-style-type: none"> • Zeichen erhöhter Atemarbeit: Nasenflügeln, Einziehungen (thorakal, jugulär epigastrisch), schnelle, flache Atmung • Zeichen eines extrathorakalen Atemwegsproblems: inspiratorisches pathologisches Atemgeräusch • Zeichen eines intrathorakalen Atemwegsproblems: expiratorisches pathologisches Atemgeräusch • Zeichen seitendifferenzierter Atmung/Beatmung: einseitig fehlende Thoraxexkursion/fehlendes Atemgeräusch • Zeichen ineffektiver Atmung/Beatmung: fehlende Thoraxexkursionen
--

Für die nichtinvasive Blutdruckmessung (NIBP-Messung) sollen altersentsprechende Manschetten-Größen vorhanden sein. Allerdings ist der relevante Blutdruckabfall ein Spätsymptom bei Blut- oder Volumenmangel und die NIBP-Messung unterliegt patientenspezifischen und technischen Limitationen, deshalb sollen indirekte Kreislaufzeichen mit herangezogen werden [Tabelle 3].

Tabelle 3: Hinweise auf hämodynamische Instabilität/Perfusionsstörung

- Rekapillarierungszeit ≥ 3 Sek. [2, 9] als Zeichen einer
- Mikrozirkulationsstörung
- Tachykardie (Spätzeichen: Bradykardie)
- Arterielle Hypotonie
- Zentralisierung, Marmorierung, periphere Zyanose
- Bewusstseinsstörung
- Tachy-/Bradypnoe

Thoraxtrauma

Ein Thoraxtrauma korreliert mit hoher Verletzungsschwere, hat eine hohe Mortalität insbesondere in Kombination mit einem SHT und wird meist unterschätzt [3, 11, 14].

Die klinische Untersuchung des Thorax soll mindestens Inspektion, Palpation, Bestimmung der Atemfrequenz und Auskultation der Lunge umfassen.

Klinische Symptome eines Thoraxtraumas können u.a. ein einseitig abgeschwächtes oder fehlendes Atemgeräusch, Dyspnoe oder Tachypnoe, ein Sättigungsabfall, thorakaler Schmerz, Hautemphysem, obere Einflusstauung, aber auch kleinere äußere Verletzungen und Prellmarken sein.

Bei einseitig abgeschwächtem/fehlendem Atemgeräusch soll nach Kontrolle und ggf. Korrektur der Tubuslage die Verdachtsdiagnose Pneumothorax und/oder Hämatothorax gestellt werden. Bei Kindern kommt die akzidentell einseitige Intubation häufiger vor als bei Erwachsenen.

Bei der Indikationsstellung zu Notfallnarkose, Atemwegssicherung und Beatmung soll die Gefahr eines Spannungspneumothorax bei bestehendem Pneumothorax miteinbezogen werden. Im Falle einer raschen Verschlechterung der Kreislaufsituation nach Intubation soll zeitnah auch ein Spannungspneumothorax ausgeschlossen bzw. durch die sofortige Dekompression (Nadeldekompression als passagere Notfallmaßnahme, Thoraxdrainage als definitive Versorgung) behandelt werden [5] (Tab. 4). Im Kindesalter erfolgt die Dekompression bevorzugt in Bülow-Position im 4./5. ICR in der vorderen Axillarlinie. Hier zeigt die Thoraxwand die geringste Dicke und die Verletzungsgefahr intrathorakaler Organe ist geringer als im 2. ICR medioklavikulär (Monaldi-Position) [12]. Es gibt keine sichere Evidenz, welches Equipment überlegen ist. In Anbetracht der raschen und potentiell deletären hämodynamischen Auswirkungen eines Spannungspneumothorax sollte das Equipment verwendet werden, welches schnell zur Verfügung steht und dessen Anwendung dem Notfallteam vertraut ist. Innerklinisch haben sich Pigtail-Drainagen etabliert, die in Seldinger-Technik eingelegt werden. Diese können auch im Rahmen der prähospitalen Versorgung Anwendung finden. Die Minithorakotomie mit stumpfer Präparation des Stichkanals ist vor allem bei Kindern in den ersten Lebensjahren häufig nicht möglich bzw. technisch schwieriger als bei Erwachsenen, deshalb sind grundsätzlich Nadeldekompression oder Seldingertechnik zu bevorzugen. Wegen des schmalen Interkostalraumes und des konsekutiven Verletzungsrisikos der Interkostalgefäße sollte ein der kindlichen Anatomie angepasster Nadeldurchmesser gewählt werden (Tab. 4). Die Punktion sollte möglichst unter Ultraschallkontrolle und immer nur so tief erfolgen, bis mit der aufgesetzten, flüssigkeitsgefüllten Spritze Luft aspiriert werden kann [12].

Tabelle 4: Beispiele für altersangepasste Thoraxpunktions- und -drainagegrößen

	Säugling	Kleinkind, 5 Jahre	Schulkind, 10 Jahre
Weite des Inter-costalraumes [12]	0,4-0,6 cm	0,7-1,4 cm	1,1-1,7 cm
Venenverweilkanüle	18 G	16 G	14 G
Thoraxdrainage	12 Ch	14 Ch	16 Ch

Prähospitale Notfallnarkose

Die prähospitale Notfallnarkose, Atemwegssicherung und Beatmung bei Kindern unterscheiden sich in einigen Punkten relevant vom Vorgehen bei Erwachsenen.

Für Früh-, Neugeborene, Säuglinge, Kleinkinder und kritisch kranke oder verletzte, hypoxiegefährdete Kinder aller Altersklassen wird die pädiatrisch modifizierte kontrollierte Rapid Sequence Induction (RSI) empfohlen.

Insbesondere Säuglinge und Kleinkinder haben einen deutlich höheren Sauerstoffverbrauch als Erwachsene und einen relativ kleineren Sauerstoffspeicher. Während apnoeischer Phasen entsteht relevant schnell eine Hypoxämie. Es kommt deshalb die *kontrollierte* RSI mit drucklimitierter, sanfter Zwischenbeatmung bis zur Anschlagszeit des Muskelrelaxans zum Einsatz [10, 15] (siehe Tabelle 5). Sie verhindert zuverlässig die Hypoxie und es gibt eine gewisse Evidenz bei innerklinischen Studien, dass das Aspirationsrisiko nicht erhöht ist [10]. Die einzig verbleibenden Indikationen, bei denen bei Kindern eine *klassische* RSI erwogen werden sollte, sind massive Atemwegs- oder obere GI-Blutungen und ein hoher Dünndarmileus.

Tabelle 5: Durchführung der modifizierten RSI bei hypoxiegefährdeten Kindern

- Präoxygenierung (so gut wie möglich)
- Injektion von Hypnotikum, nicht-depolarisierendem Muskelrelaxans und Analgetikum*
- Sanfte Zwischenbeatmung mit dem Beatmungsbeutel, strenge Beachtung einer Druckbegrenzung von max. 15 mbar; alternativ druckkontrollierter Ventilationsmodus (PCV) eines geeigneten Beatmungsgeräts
- kein Krikoiddruck
- Laryngoskopie und tracheale Intubation (oder alternativ Platzierung einer Larynxmaske) erst bei vollständiger Narkosetiefe und Muskelrelaxierung
- Sofortige Tubuslagekontrolle mittels Kapnografie und Cuffdruckkontrolle

*Die Auswahl der Medikamente orientiert sich an Situation, Ausstattung und Teamkompetenz. Aus pathophysiologischen, pharmakologischen und

einsatztaktischen Gründen erscheint beim Polytrauma im Kindesalter die Kombination von Esketamin und Rocuronium vorteilhaft (z.B. 2 mg/kg KG Esketamin und 1 mg/kg KG Rocuronium).

Zur trachealen Intubation sollte eine manuelle In-Line-Stabilisation unter temporärer Aufhebung der HWS-Immobilisation durchgeführt werden.

Überstreckung, Anteflexion und Rotation sollen v.a. bei Kindern im ersten Lebensjahr vermieden werden, da sie zur Atemwegsobstruktion und schlechteren Intubationsbedingungen führen können. Um optimale Beatmungs- und Intubationsbedingungen zu schaffen, ist bei Kindern in den ersten Lebensjahren eine Rolle unter Nacken/Schulter hilfreich, die den Kopf in Neutralposition bringt und den relativ ausladenden Hinterkopf ausgleicht.

Bei der trachealen Intubation des pädiatrischen Traumapatienten sollte ein schwieriger Atemweg antizipiert werden.

Eine „cannot ventilate“-Situation tritt bei Kindern häufiger als bei Erwachsenen auf. Gründe sind häufig funktionelle (Laryngo-/Bronchospasmus, Thoraxrigidität nach Opioidgabe) und seltener anatomische Atemwegsobstruktionen (Adenoid-/Tonsillenhyperplasie, große Zunge) sowie die Magenüberblähung nach Maskenbeatmung. Lösungsstrategien sind Optimierung der Lagerung mittels Schulterrolle, Esmarch-Handgriff kombiniert mit 2-Personen-Maskenbeatmung, ggf. Einsatz eines oropharyngealen Atemwegs (Guedel-Tubus), ggf. Vertiefung von Anästhesie und Relaxierung sowie Absaugen des Magens (Abb. 2, [18]).

Bei der Narkoseeinleitung und trachealen Intubation des polytraumatisierten Kindes sollen als alternative Hilfsmittel zur Atemwegssicherung Larynxmasken vorgehalten werden.

Durch prolongierte Intubationsversuche kann es zu Apnoephasen mit der Gefahr der Hypoxie und Hyperkapnie kommen. Daneben neigt der kindliche Atemweg im Rahmen der Manipulationen zu Schwellung, Ödem und Kontaktblutung, die wiederum per se die Laryngoskopie und Intubation erschweren können. Im Falle des Misslingens der

trachealen Atemwegssicherung oder fehlender Expertise soll nach einem geeigneten Algorithmus vorgegangen und auf die Maskenbeatmung und/oder alternative supraglottische Methoden zur Atemwegssicherung zurückgegriffen werden.

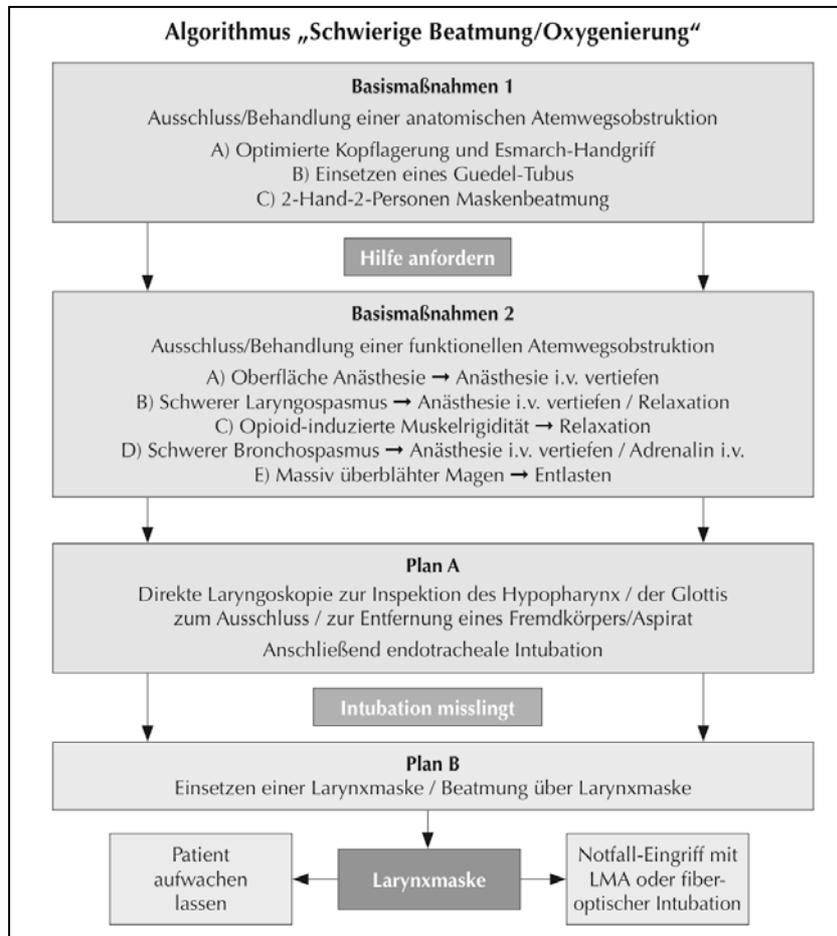


Abb.2: Cannot-Ventilate-Situation bei Kindern [18]

Für Kinder ist die Larynxmaske (2. Generation mit Ösophagus-Drainagekanal) das Mittel der Wahl. Dies wird ausführlich in einer interdisziplinären Stellungnahme dargelegt [7]. Videolaryngoskope finden derzeit auch prähospital eine wachsende Verbreitung und werden von vielen Anwendern als hilfreich eingestuft. Eine weitergehende Bewertung für die prähospital Anwendung kann derzeit noch nicht abgegeben werden. Die fiberoptisch assistierte Intubation über eine Larynxmaske gilt nur *innerklinisch* als etabliertes Verfahren (Abb. 3).

Notärztliches Personal soll regelmäßig in Techniken der Notfallversorgung von Kindern trainiert werden. Dazu zählen u.a. die intraossäre Punktion, die Beutel-Maske-Beatmung und das Einlegen einer Larynxmaske.

Für Kinder existiert keine Evidenz für ein geeignetes Ultima-Ratio-Verfahren im Falle einer Cannot-Ventilate-Cannot-Intubate-(CVCI-)Situation. Die Vorhaltung spezieller pädiatrischer Notkoniotomiesets wird nicht empfohlen, da – wenn überhaupt – am ehesten ein chirurgischer sog. „Front-of-the-neck-Zugang“ (FONA) mittels Skalpell erfolversprechend erscheint. Für weitere Details verweisen wir auf die AWMF-S1-Leitlinie „Prähospitales Atemwegsmanagement“ (AWMF-Register-Nr. 001-040).

Während AB-Management und Notfallnarkose soll der Patient mittels EKG, Blutdruckmessung, Pulsoxymetrie und Kapnografie überwacht sowie die atem-/beatmungssynchrone Thoraxexkursion engmaschig klinisch geprüft werden. Das technische Monitoring soll mindestens Beatmungs- und Cuff-Druck erfassen.

Mittels klinischer und apparativer Überwachung der wichtigsten Kreislauf- und Beatmungsparameter können Störungen der Homöostase und Komplikationen schneller detektiert und behandelt werden, u.a. Diskonnektion des Trachealtubus, Auftreten eines Spannungspneus, Perfusionsstörungen durch Blutverlust.

Die Kapnografie soll prä- und innerklinisch zur Lagekontrolle eines trachealen Tubus, zur Dislokationserkennung sowie zur Überwachung jeder Form der Beatmung angewendet werden.

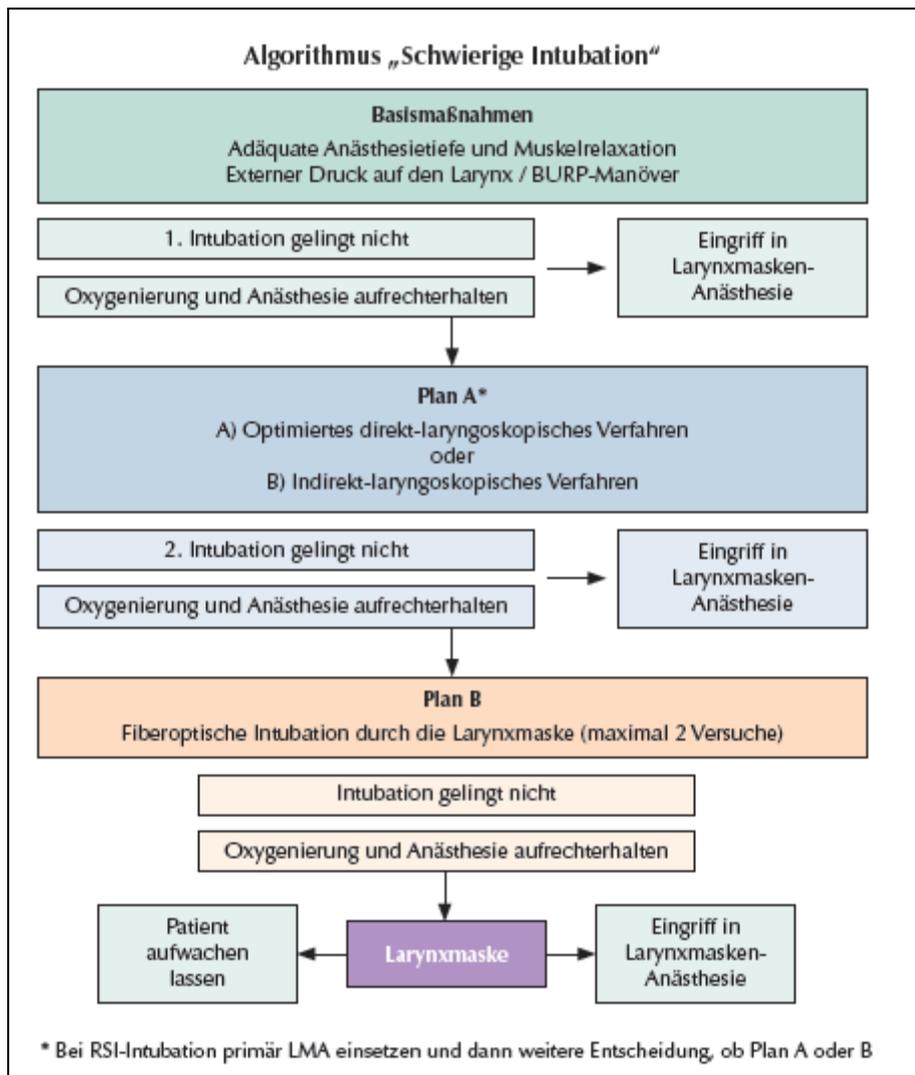


Abb. 3: Algorithmus „Schwierige Intubation“[18]

Beim beatmeten Traumapatienten und insbesondere beim Schädel-Hirn-Trauma soll eine Normoventilation durchgeführt werden.

Die endtidale CO₂-Konzentration ist in der Regel etwas niedriger als die arterielle, Ziel ist ein Wert von 35-40 mmHg etCO₂.

- 1 Czorlich P, Pedram E, Fritzsche FS et al.: The impact of prehospital intubation on the outcome of severe traumatic brain injury in children and adults with a Glasgow Coma Scale of 8 or less. 67. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC), Frankfurt am Main, 12.-15.06.2016. doi: 10.3205/16dgnc271
- 2 Fleming S, Gill P, Jones C et al. Validity and reliability of measurement of capillary refill time in children: a systematic review. Arch Dis Child. 2015 Mar; 100:239-49.
- 3 Goedeke J, Boehm R, Dietz HG. Multiple trauma in children: pulmonary contusion does not necessarily lead to a worsening of the treatment success. Eur J Pediatr Surg 2014; 24:508-513
- 4 Hansen M, Meckler G, O'Brien K et al. Pediatric Airway Management and Prehospital Patient Safety: Results of a National Delphi Survey by the Children's Safety Initiative-Emergency Medical Services for Children. Pediatr Emerg Care 2016; 32:603-607
- 5 Hecker M, Hegenscheid K, Völzke H et al. Needle decompression of tension pneumothorax. J Trauma Acute Care Surg 2016; 80:272-277
- 6 Kannan N, Wang J, Mink RB et al. PEGASUS (Pediatric Guideline Adherence Outcomes) Study. Timely Hemodynamic Resuscitation and Outcomes in Severe Pediatric Traumatic Brain Injury: Preliminary Findings. Pediatr Emerg Care 2016; 34:325-329
- 7 Keil J, Jung P, Schiele A et al. Interdisziplinär konsentierete Stellungnahme zum Atemwegsmanagement mit supraglottischen Atemwegshilfen in der Kindernotfallmedizin. Anästhesist 2016; 65:57-66
- 8 Kochanek PM, Tasker RC, Carney N et al. Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition: Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines. Pediatr Crit Care Med 2019; 20:S1-S82
- 9 Raimer PL, Han YY, Weber MS et al. A normal capillary refill time of ≤ 2 seconds is associated with superior vena cava oxygen saturations of $\geq 70\%$. J Pediatr. 2011; 158:968-972
- 10 Schmidt J, Strauss JM, Becke K et al. Handlungsempfehlungen zur Rapid-Sequence-Induction im Kindesalter. Anästh Intensivmed 2007; 48:S88-S93
- 11 Störmann P, Weber JN, Jakob H et al. Thoracic injuries in severely injured children; Association with increased injury severity and a higher number of complications. Unfallchirurg 2018; 121:223-229
- 12 Terboven T, Leonhard G, Wessel L et al. Chest wall thickness and depth to vital structures in paediatric patients – implications for prehospital needle decompression of tension pneumothorax. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 2019; 27:45
- 13 Timmermann A, Böttiger BW, Byhahn C et al. S1-Leitlinie Prähospitales Atemwegsmanagement. Anästh Intensivmed 2019; 60:316-336
- 14 Tovar JA. The lung and pediatric trauma. Semin Pediatr Surg 2008; 17:53-59
- 15 Trappe U, Reifferscheid F, Thiele J et al. Aktionsplan Sichere Notfallnarkose bei Kindern. Notarzt 2016; 32: 244-253
- 16 Voorde vdP (Ed.) European Paediatric Advanced Life Support – Course Manual (German Translation). European Resuscitation Council, Niel, Belgium. ISBN 9789492543394

17 Vavilala MS, Bowen A, Lam AM et al. Blood pressure and outcome after severe pediatric traumatic brain injury. *J Trauma*. 2003; 55:1039-44

18 Weiss M, Schmidt J, Eich C et al. Handlungsempfehlungen zur Prävention und Behandlung des unerwartet schwierigen Atemweges in der Kinderanästhesie. *Anästh Intensivmed* 2011; 52: S54-S63

19 Youngquist S, Gausche-Hill M, Burbulys D. Alternative airway devices for use in children requiring prehospital airway management: update and case discussion. *Pediatr Emerg Care* 2007; 23:250-258

2.3 Volumentherapie (Becke, Eich, Hoffmann, Landsleitner, Jung)

Ein relevanter Volumenmangel kann konsekutiv zu Schock mit Minderperfusion, Störungen der Mikrozirkulation und Sekundärschäden führen. Eine Volumentherapie soll daher prähospital bei entsprechenden Hinweisen sofort eingeleitet werden. Grundvoraussetzung hierfür ist die Anlage eines oder mehrerer Gefäßzugänge. Im Kindesalter kann die periphervenöse Gefäßpunktion erschwert oder gar unmöglich sein, als Alternative steht der intraossäre Gefäßzugang zur Verfügung [8]. Dabei entsprechen die mittels Druckinfusion maximal erreichbaren Flussraten (40-150 ml/min) denen großlumiger intravenöser Venenverweilkanülen [12].

Bei polytraumatisierten Kindern soll mindestens ein (möglichst großlumiger) Gefäßzugang angelegt werden (periphervenös, alternativ intraossär).

Klinische Zeichen einer Kreislaufstörung sind vor allem eine verlängerte Rekapillarierungszeit ≥ 3 sec. (mit Zentralisierung, Marmorierung, peripherer Zyanose) und bei dekompensiertem Schock eine arterielle Hypotonie. Arterielle Hypotonie kann bei Kindern als systolischer Blutdruck bzw. mittlerer arterieller Blutdruck unterhalb der altersabhängigen 5. Perzentile definiert werden (Tab. 1; vgl. auch Kap. 2.2, Tab. 1).

Tabelle 1: Normwerte nach EPALS-Course-Manual [14].

Alter	SAP (Untergrenze) [mmHg]	MAP (Untergrenze) [mmHg]
1 Monat	60 (50)	45 (35)
1 Jahr	80 (70)	55 (40)
2 Jahre	90 (70) +	55 (40) +
6 Jahre	2x Alter	1,5xAlter
12 Jahre	12 (90)	80 (65)

Bei polytraumatisierten Kindern mit Hinweisen auf einen Volumenmangel sollte so bald als möglich eine Volumentherapie eingeleitet werden. Ohne klinische Hinweise kann darauf primär verzichtet werden. Bei SHT ist zur Aufrechterhaltung des zerebralen Perfusionsdrucks der Normwert anzustreben.

Isotonische, balancierte Vollelektrolytlösungen zeigen in ihrer Zusammensetzung Vorteile gegenüber Kochsalzlösung (NaCl 0,9%) und sind daher Mittel der Wahl [3, 11, 28]. Die Addition von Bikarbonatvorstufen (Acetat, Malat, Laktat) verhindert hyperchlorämische Dilutionsazidosen, wie sie unter NaCl 0,9%-Gabe entstehen (25). Ringeracetat oder -malat werden schneller metabolisiert als Ringerlaktat, beeinträchtigen nicht die Laktatdiagnostik und haben eine höhere Osmolarität, sie sollten bevorzugt eingesetzt werden.

Zur Volumentherapie bei pädiatrischen Traumapatienten sollen primär isotonische, balancierte Kristalloidlösungen eingesetzt werden.

Die Basisinfusionsrate beträgt 10-20 ml/kg/h einer balancierten VEL und sollte bei Säuglingen mittel Infusionsspritzenpumpe, bei älteren Kindern mittels Infusionssystem mit Schlitzklemmenregler (Tropfenzähler) appliziert werden, um eine akzidentelle Überinfusion zu vermeiden. Bei den rein mechanischen Tropfenzähler-Systemen wird naturgemäß das eingestellte Infusionsvolumen in Abhängigkeit von Tropfhöhe und Hersteller nie exakt erreicht [7]. Da jedoch den meisten Rettungsdiensten keine elektronischen Infusionspumpen zur Verfügung stehen, kann mit diesem Hilfsmittel zumindest eine unkontrollierte Volumenzufuhr verhindert werden. Bei Zeichen eines ausgeprägten Volumenmangels sollte der initiale Flüssigkeitsbolus 20 ml / kg einer isotonischen Vollelektrolytlösung (VEL) betragen und kann ggf. zwei- bis dreimal wiederholt werden [13, 18, 19]. Kristalloide führen allerdings meist nur zu einer temporären Stabilisierung der Hämodynamik. Die Zufuhr großer Mengen an Kristalloiden kann zu einer Verschlechterung der Situation führen, u. a. zu Verstärkung einer Blutung, Gerinnungsstörung und Hypothermie.

Für das bei Erwachsenen empfohlene Konzept der permissiven Hypotension (reduzierte Volumengabe bei unkontrollierbaren Blutungen mit niedrig-stabilem Kreislaufniveau) [4, 27] liegen keine Daten aus dem Bereich der pädiatrischen Notfallmedizin vor. Daher kann dazu keine Empfehlung abgegeben werden.

Die Volumentherapie bei polytraumatisierten Kindern soll gewichtsadaptiert (Einzelgaben von 20 ml/kg) verabreicht werden. Bolusgaben können z.B. über

50ml-Spritzen manuell intravenös/intraossär appliziert werden. Die Mengen sollten exakt dokumentiert und zügig appliziert werden.

Besteht anhaltend hoher Volumenbedarf bei hämorrhagischem Schock, können künstliche Kolloidlösungen in Betracht gezogen werden, da sie eine längere Verweildauer im Gefäßsystem und einen potentiell größeren Volumeneffekt aufzeigen (9). Es besteht keine Evidenz für eine Überlegenheit einer bestimmten Substanz (Hydroxyethylstärke, Gelatine). Kommt Hydroxyethylstärke zum Einsatz, sollte ein Präparat der dritten Generation (HES 6% 130/0,4) mit balancierter Trägerlösung verwendet und die maximale Tagesdosis von 30 ml/kg KG beachtet werden. Bei Anwendung von HES müssen die Limitationen des seit 17.04.19 geltenden „Programms für den kontrollierten Zugang“ des BfArM berücksichtigt werden (13). Humanalbumin ist bei Erwachsenen mit einer erhöhten Mortalität assoziiert. Es besteht aber auch keine Evidenz für eine Positiv-Empfehlung bei Kindern.

Werden bei anhaltend hypovolämen und/oder hypotensiven Traumapatienten kolloidale Lösungen eingesetzt, können HAES 130/0,4 oder Gelatine in Erwägung gezogen werden.

Kindliche Polytraumata sind häufig mit einem Schädel-Hirn-Trauma (SHT) vergesellschaftet. Ein wesentliches Behandlungsziel beim (schweren) SHT ist die Aufrechterhaltung der zerebralen Perfusion (CPP, CBF) und eines dafür notwendigen adäquaten Blutdrucks [2, 18, 21, 22, 24]. Es existiert keine eindeutige Definition für korrelierende Blutdruck-Grenzwerte, da diese individuell unterschiedlich und abhängig u.a. von Autoregulationsbreite, SHT-Schwere und Alter des Kindes sein können. Bei schwerem SHT kann eine begleitende Hypotonie auftreten, die nicht alleine mit Volumentherapie zu beheben ist. Hier sollte eine Vasopressor-/ Katecholamintherapie initiiert werden. Es gibt keine Evidenz, ob eine bestimmte Medikation (z.B. Noradrenalin, Epinephrin) zur Blutdrucktherapie Vorteile hat [10, 15]. Es wird auf die ausführliche AWMF-Leitlinie „Das Schädel-Hirn-Trauma im Kindesalter“ 024/018 verwiesen, die sich aktuell in Überarbeitung befindet.

Bei hypotensiven Kindern mit einem Schädel-Hirn-Trauma sollte eine Kreislauftherapie mit dem Ziel der Normotension durchgeführt werden. Reicht

die Volumentherapie zur Hypotoniebehandlung nicht aus, sollten Vasopressoren und/oder Katecholamine gegeben werden. Die Orientierung erfolgt am Blutdruck.

Die frühzeitige Gabe von Tranexamsäure (TXA) innerhalb der ersten drei Stunden nach Trauma führt bei erwachsenen Trauma-Patienten mit akuter Blutung zu einer signifikanten Verringerung der Mortalität und des Komplikationsrisikos und wird grundsätzlich empfohlen [16]. Die Übertragung dieser Ergebnisse auf Kinder erscheint theoretisch plausibel, es ist aber noch keine Evidenz für ein bestimmtes Dosisregime für Kinder vorhanden [26]. Angesichts der klinischen Evidenz und des klaren Nutzens des Einsatzes von TXA in der innerklinischen, perioperativen Kindermedizin bei gleichzeitig vernachlässigbaren Nebenwirkungen sollte die prähospital Anwendung erfolgen [6, 23] (siehe Kapitel Gerinnungstherapie). Die Dosierung kann anhand pragmatischer Expertenempfehlungen erfolgen: 10-20 mg/kg KG (max. 1g) über 10 min, ggf. gefolgt von einer kontinuierlichen Infusion mit 5 mg/kg/h über weitere 8h oder weiterer Bolusgaben bis zu 3x täglich.

1 Adams HA, Baumann G, Cascorbi I et al. Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie der Schockformen der IAG Schock der DIVI, 2004.

2 Adelson PD, Bratton SL, Carney NA et al. Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents. Chapter 4. Resuscitation of blood pressure and oxygenation and prehospital brainspecific therapies for the severe pediatric traumatic brain injury patient. *Pediatr Crit Care Med* 2003; 4(Suppl3):S12-8

3 AWMF-Leitlinie 001/032. Perioperative Infusionstherapie bei Kindern. 2016

4 AWMF-Leitlinie 001/020. Intravasale Volumentherapie beim Erwachsenen. 2014.

5 Bankole S, Asuncion A, Ross S et al. First responder performance in pediatric trauma: A comparison with an adult cohort. *Pediatr Crit Care Med* 2011; 12:e166-e170

6 Beno S, Ackery AD, Callum J, Rizoli S. Tranexamic acid in pediatric trauma: why not? *Crit Care* 2014; 18:313.

7 Bollinger M, Keller C, Theis C et al. Perioperative Infusionstherapie im Kindesalter. Eignen sich Infusionssysteme mit Laufratenbeschränkung für die Kinderanästhesie? *Anaesthesist* 2019; 68:384-388

8 Helm M, Gräsner JT, Gries A et al. Die intraossäre Infusion in der Notfallmedizin. *Anästh Intensivmed* 2018; 59:667-677

9 Boluyt N, Bollen CW, Bos AP et al. Fluid resuscitation in neonatal and pediatric hypovolemic shock: A Dutch Pediatric Society evidence-based clinical practice guideline. *Intensive Care Med* 2006; 32:995-1003

- 10 Di Gennaro JL, Mack CD, Malakouti A et al. Use and effect of vasopressors after pediatric traumatic brain injury. *Dev Neurosci* 2010; 32:420-30.
- 11 Disma N, Mameli L, Pistorio A et al. A novel balanced isotonic sodium solution vs normal saline during major surgery in children up to 36 months: a multicenter RCT. *Paediatr Anaesth* 2014; 24:980-986.
- 12 Eich C, Weiss M, Neuhaus D et al. Handlungsempfehlung zur intraossären Infusion in der Kinderanästhesie. *Anästh Intensivmed* 2011; 52: S46-S52
- 13 Rote-Hand-Brief, 13. August 2018: Hydroxyethylstärke(HES)-haltige Arzneimittel zur Infusion ☒: Neue Maßnahmen zur Verstärkung der bestehenden Beschränkungen aufgrund eines erhöhten Risikos von Nierenfunktionsstörungen und tödlichen Verläufen bei kritisch kranken oder septischen Patienten. (www.bfarm.de)
- 14 Voorde vdP (Ed.) European Paediatric Advanced Life Support – Course Manual (German Translation). 4th edition, Feb 2016. European Resuscitation Council, Niel, Belgium. ISBN 9789492543394
- 15 Friess SH, Bruins B, Kilbaugh TJ et al. Differing effects when using phenylephrine and norepinephrine to augment cerebral blood flow after traumatic brain injury in the immature brain. *J Neurotrauma*. 2015; 32:237-43.
- 16 Ker K, Roberts I, Shakur H, Coats TJ. Antifibrinolytic drugs for acute traumatic injury. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015; 9:CD004896.
- 17 Kliegman RM (ed). 19th ed. Elsevier Health Sciences; 2011. Nelson Textbook of Pediatrics.
- 18 Kochanek PM, Carney N, Adelson PD et al. Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents--second edition. *Pediatr Crit Care Med* 2012; 13 (Suppl 1):S1-82.
- 19 Maconochie IK, Bingham R, Eich C et al. Paediatric life support section Collaborators. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 6. Paediatric life support.
- 20 Maconochie IK, de Caen AR, Aickin R et al. Pediatric Basic Life Support and Pediatric Advanced Life Support Chapter Collaborators. Part 6: Pediatric basic life support and pediatric advanced life support: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation* 2015; 95:e147-168.
- 21 Mehta A, Kochanek PM, Tyler-Kabara E et al. Relationship of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure with outcome in young children after severe traumatic brain injury. *Dev Neurosci*. 2010; 32:413-419
- 22 Morrissey K, Fairbrother H. Severe Traumatic Brain Injury In Children: An Evidence-Based Review Of Emergency Department Management. *Pediatr Emerg Med Pract*. 2016; 13:1-28.
- 23 Royal College of Paediatrics and Child Health. Evidence statement. Major trauma and the use of tranexamic acid in children. November 2012
http://www.rcpch.ac.uk/system/files/protected/page/121112_TXA%20evidence%20statement_final%20v2.pdf.

24 Spaite DW, Hu C, Bobrow BJ et al. Mortality and Prehospital Blood Pressure in Patients With Major Traumatic Brain Injury: Implications for the Hypotension Threshold. *JAMA Surg* 2017; 152:360-368.

25 Strauß JM, Sümpelmann R. Kinderanästhesie – Infusionstherapie bei Säuglingen und Kleinkindern. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2013; 48: 264–271

26 Urban D, Dehaeck R, Lorenzetti D et al. Safety and efficacy of tranexamic acid in bleeding paediatric trauma patients: a systematic review protocol. *BMJ Open* 2016; 6:e012947

27 Wang, C.H. 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; 42:954-961.

28 Zander R. Anforderungen an einen optimalen Volumenersatz. *Anästhesi Intensivmed* 2009; 50:348-57

2.4 SHT im Rahmen des Polytraumas (Ludwig, Schuhmann)

Ein schweres SHT liegt bei etwa 70-80% der polytraumatisierten Kinder vor. Als wichtigster Mortalitätsfaktor beim Polytrauma im Kindesalter gilt das Ausmaß der Schädel-Hirn-Verletzung [1]. Dies ist auf die Biomechanik im Kindesalter, die Schädelanatomie und die pathophysiologischen Besonderheiten zurückzuführen [2]. Der kleinkindliche große Kopf ohne ausgebildete Nackenmuskulatur wirkt als Vektor. Bei Säuglingen sind die Schädelnähte noch offen, Gewalteinwirkung wird deshalb unmittelbar auf das Hirnparenchym übertragen, die Gefäße sind noch unreif und ohne Strukturproteine, die Autoregulation [3, 4] wird früher versagen. Polytraumata mit schwerem SHT treten auch im Rahmen von Kindesmisshandlungen mit Schütteltraumen auf [5].

Prähospitales GCS und Beeinträchtigung der Atmung haben den größten prädiktiven Wert für die Identifizierung der Hoch-Risiko-Kinder [6].

Die Unfall-Anamnese, insbesondere die Fremdanamnese von Unfallzeugen, ist essentiell für die korrekte Einschätzung von Unfallhergang und Stärke der möglichen Gewalteinwirkung auf den Kopf. Da die Sturzhöhe mit der Verletzungsschwere korreliert [7], soll sie erfragt werden.

Management prähospital

Eine erste Beurteilung und Dokumentation des SHT durch eine objektive Skala (fGCS, AVPU o.ä.) in Verbindung mit der Beurteilung und Dokumentation von Bewußtsein, motorischen Seitendifferenzen (differenziert nach oberer und unterer Extremität) sowie des Pupillenstatus (Pupillomotorik und Isokorie) soll am Unfallort, bei Übergabezeitpunkten und im Verlauf erfolgen.

Die Bestimmung des GCS (Abb. 1) erfolgt altersabhängig zur Feststellung der Disability (D) im Rahmen des ABCDE-Algorithmus. Da die ursprüngliche Glasgow-Koma-Skala für Erwachsene intendiert war, wird der zu beurteilende Bewusstseins- und Funktionsgrad insbesondere bei Säuglingen und Kleinkindern abweichend bestimmt und dokumentiert. Hier eignet sich die Modifikation durch die pädiatrische GCS-Skala (Tab.

1) oder besser und unter Einbeziehung des Pupillenstatus die Frankfurter Modifikation fGCS (Tab. 2) [8, 9-11] oder der pädiatrische GCS unter Berücksichtigung des Alters < 5. oder > 5. Lebensjahr (Tab. 3).

GCS im Kindesalter

Tab.1: Pädiatrischer GCS

Punkte	Augen öffnen	Beste verbale Kommunikation	Beste motorische Kommunikation
6	—	—	Spontane Bewegungen
5	—	Plappern, Brabbeln	auf Schmerzreiz, gezielt
4	Spontan	Schreien, aber tröstbar	auf Schmerzreiz, normale Beugeabwehr
3	auf Schreien	Schreien, untröstbar	auf Schmerzreiz, abnorme Abwehr
2	auf Schmerzreiz	Stöhnen oder unverständliche Laute	auf Schmerzreiz, Streckesynergismen
1	keine Reaktion	keine verbale Reaktion	keine Reaktion auf Schmerzreiz

Tab. 2 Frankfurter Modifikation der GCS (fGCS) [9]

Qualität	Punkte	
I. Verbale Antwort	5	fixiert verfolgt, erkennt, lacht
(V="Verbal")	4	fixiert, verfolgt inkonstant, erkennt nicht sicher, lacht nicht situationsbedingt
1 – 24 Monate	3	nur zeitweise erweckbar, trinkt und isst nicht,
	2	Bedrohreflex (ab 4/12) nicht sicher auslösbar ist motorisch unruhig, jedoch nicht erweckbar
	1	tief komatös, kein Kontakt zur Umwelt, keine visuell, akustisch oder sensorisch ausgelöste motorische Reizbeantwortung

I. Verbale Antwort	5	spricht verständlich, ist orientiert
(V="Verbal")	4	ist verwirrt, spricht unzusammenhängend, desorientiert
> 24 Monate	3	antwortet inadäquat, Wortsalat 2 unverständliche Laute
	2	unverständliche Laute
	1	keine verbalen Äußerungen
II. Motorische Antwort	6	greift gezielt auf Aufforderung prompt
(M="Motor")	5	gezielte Abwehr eines Schmerzreizes möglich
	4	ungezielte Beugebewegung auf Schmerzreiz
	3	ungezielte Beugebewegungen an den Armen, Streckbewegungen an den Beinen (Dekortikationshaltung)
	2	Extension aller 4 Extremitäten auf SR
	1	keine motorische Antwort auf SR
III. Augen öffnen	4	Spontanes Augenöffnen
(E="Eye")	3	Augenöffnen auf Anruf
	2	Augenöffnen auf Schmerzreize
	1	kein Augenöffnen
IV. Augensymptome	4	konjugierte Augenbewegungen möglich, Lichtreaktion der Pupillen auslösbar
(OV="Oculovestibular")	3	Puppenaugenphänomen auslösbar, dabei konjugierte Bulbusbewegungen
	2	Divergenzstellung der Bulbi, besonders bei Auslösen des Puppenaugenphänomens oder Kaltspülung des äußeren Gehörgangs; Ausbleiben der Augenbewegungen hierbei
	2	keine spontane Augenbewegungen; weite, lichtstarre Pupillen.

Tab. 3: Pädiatrischer GCS-Score für Kinder über und unter 5. Lebensjahr

	< 5 Jahre	>5 Jahre
Augen öffnen		
4	spontan	spontan
3	auf Ansprache	auf Ansprache
2	auf Schmerz	auf Schmerz
1	geschlossen	geschlossen
C	Verband/Schwellung	Verband/Schwellung
Verbal		
5	wach, brabbelt	orientiert, Gespräch
4	retardiert, ungewohnt, irritables Schreien	Verwirrt
3	schreit auf Schmerzreiz	Unverständliche Worte
2	stöhnt auf Schmerz	Unverständliche Geräusche
1	keine Reaktion auf Schmerz	keine Reaktion auf Schmerz
T	intubiert	intubiert
Motorisch		
6	folgt Aufforderung	regelrechte Spontanbewegungen
5	Lokalisiert supraorbitalen Schmerz	zieht weg
4	Zieht weg bei Nagelbettreiz	
3	Flexion auf supraorbitalen Schmerz	
2	Extension auf supraorbitalen Schmerz	
1	Keine Reaktion auf supraorbitalen Schmerz	

In der klinischen Praxis zeigt sich eine anwenderabhängige Interpretation der Antworten für die einzelnen Werte. Daher sollten statt der Punktsomme getrennte Werte für die 3 Funktionsbereiche angegeben werden, um die relativ mäßige Zuverlässigkeit zu kompensieren. Bei intubierten Patienten sollte vor allem die motorische Subskala verwendet werden, da bei einem schweren Schädel-Hirn-Trauma die motorische Antwort auf Reize ähnlich gut mit der Prognose korreliert wie die komplette GCS [8].

Die GCS berücksichtigt die Pupillo- und Okulomotorik (einseitig/beidseitig erweiterte Pupille) nicht und erfasst zudem keine motorischen Seitendifferenzen (Halbseitensymptomatik). Beide klinischen Symptom-Komplexe sind jedoch sowohl für

die weitere Einschätzung und die Bewertung der später erhobenen Bildgebung, als auch für die Therapieentscheidung von hoher Bedeutung. Aus diesem Grund sollte die Bestimmung des GCS immer durch die Beurteilung und Dokumentation von motorischen Seitendifferenzen und des Pupillenstatus - Pupillomotorik und Isokorie - am Unfallort, im Schockraum und im Verlauf ergänzt werden.

AVPU-Score

Wegen seiner Einfachheit kann als eine Alternative zur GCS auch der AVPU-Score (Abb. 2) verwendet werden. „AVPU“ ist ein Akronym für „Alert“, „Vocal“, „Pain“ und „Unresponsive“ [2]. In der Praxis wird ein „A“ vergeben, wenn ein Kind die Augen spontan öffnet, spontan adäquat interagiert, verständlich spricht und Gegenstände verfolgt. Wenn das Kind nur auf Ansprache reagiert, spontan jedoch nicht, wird ein „V“ vergeben. Muss ein Schmerzreiz gesetzt werden, um eine adäquate motorische, verbale oder sonstige Reaktion zu erzielen, so wird ein „P“ vergeben, bei „Unresponsive“ fehlt jegliche Reaktion.

AVPU	Klinischer Status	Korrelation zur GCS
A: „alert“	Pat ist spontan wach	13-15 P
V: „vocal stimuli“	Reaktion auf Ansprache	10-13 P
P: „painful stimuli“	Reaktion auf Schmerzreiz	4-9 P
U: „unresponsive“	keine Reaktion auf Reize	3 P

Abb. 2: Der AVPU-Score korreliert mit der GCS-Skala [12]

Primäre und sekundäre Schädigung

Die primäre Gehirnschädigung (primary injury) entsteht im Moment des Unfalls und ist therapeutisch nicht beeinflussbar. Die Vermeidung der unmittelbar darauf beginnenden sekundären Gehirnschädigung auf zellulärer Ebene, die aus mannigfach ausgelösten biochemischen Kaskaden resultiert, ist dagegen das Ziel der Therapie [13].

Daher gilt es, sekundäre, therapeutische beeinflussbare Ereignisse (secondary insults) durch z.B. einen erhöhten intrakraniellen Druck, arterielle Hypotonie und/oder Hypoxie

[12, 14, 15] abzuwenden

Schädigende Sekundärereignisse (secondary insults) sollen unbedingt vermieden werden.

Da der ICP prähospital nicht bestimmbar ist, sind von den secondary insults nur Hypoxämie und arterielle Hypotonie relevant und in einem signifikanten Ausmaß mit einer schlechteren klinischen Erholung verbunden [6, 12, 16].

Die in Kapitel 2.3, Tab. 1 genannten Grenzwerte der Hypotonie sollten keinesfalls unter-, sondern überschritten werden, da sie der 5. Altersperzentile entsprechen. Der Medianwert liegt ca. 20 mmHg höher. Da Kinder im Vergleich mit Erwachsenen eine deutlich höhere Inzidenz gestörter Autoregulation aufweisen, sind sie abhängiger von einem ausreichenden CPP. Ein systolischer Blutdruckwert unter der 75. Altersperzentile und damit ein ungenügender CPP sind mit schlechterem Outcome und höherer Mortalität vergesellschaftet [3, 4].

Um das Behandlungsziel Normoxie und Normokapnie zu erreichen, ist ein lückenloses Monitoring von Sauerstoffsättigung ($SpO_2 > 90\%$) und endtidalem Kohlendioxid ($etCO_2$ 35-40 mmHg) erforderlich. Sind die Ziele unter Spontanatmung nicht zu erreichen, sollte bei bewusstlosen Patienten (GCS <9) ein erweitertes Atemwegsmanagement mit Maskenbeatmung, Beatmung über Larynxmaske oder trachealen Tubus erwogen werden. Nach dem AVPU-Score ist dies bei allen Kindern mit „P“ und „U“ der Fall. Es wird häufig diskutiert, ob bei einem GCS <9 der schnelle Transport in ein Zentrum oder die Intubation vor Ort vorzuziehen ist. Die Literatur zeigt dabei Ergebnisse, die in Abhängigkeit der verfügbaren Ausbildungslevel (Paramedics vs. Anästhesist vs. Notarzt) länderspezifisch und systemspezifisch zu werten sind. Dies wird auch in der S3 LL AWMF 012/019 umfangreich diskutiert. Da es Hinweise gibt, dass eine Intubation vor Ort bei schwerem SHT Überlebensvorteile bietet [17], sollte eine solche bei entsprechender Erfahrung des Notarztes immer ernsthaft erwogen werden. Zur prähospitalen Intubation siehe zudem Kap. 2.2

Prähospitale Therapie eines vermuteten erhöhten intrakraniellen Druckes

Von den üblichen konservativen Maßnahmen zur Senkung eines erhöhten intrakraniellen Druckes ist neben der Lagerung (siehe unten) vor allem das Anstreben einer Normokapnie (endtidales CO₂ 35-40 mmHg) prähospital machbar und empfehlenswert, zumal alle Rettungsmittel nach DIN mit etCO₂ ausgestattet sind.

Eine unkontrollierte Hypokapnie (<30mmHg endtidales CO₂, bewusste Hyperventilation) sollte vermieden werden, da sie über eine massive Vasokonstriktion zu einer zerebralen Ischämie führen kann.

Eine prophylaktische Osmotherapie mit Mannitol oder hyperosmolarer NaCl-Lösung zur Senkung eines möglicherweise erhöhten ICP ist ohne Messung und ohne Bildgebung nicht sinnvoll. Eine einseitig erweiterte Pupille als alarmierender Befund für eine intrakranielle Drucksteigerung mit „Einklemmung“ kann auch auf andere Ursachen wie z.B. auf ein primäres Orbitatrauma zurückzuführen sein. Dennoch kann bei klinischen Einklemmungszeichen nach adäquatem Trauma (Anisokorie, Hypertension/Bradykardie oder Strecksynergismen) die Gabe von Mannitol (0.5–1g/kg über 10 Minuten) oder hypertones Kochsalz (3%ig 1–3ml/kg, max. 250 ml oder 23.4%ig 0.5 ml/kg, maximal 30ml über 10 min.) erwogen werden (siehe Punkt 3.4) [18].

Lagerung

Rettung und Intubation sollen unter Immobilisation der Halswirbelsäule (HWS) erfolgen.

Im Rahmen des Intubationsvorganges kann die HWS- Immobilisationsschiene geöffnet und die HWS durch einen zweiten Helfer mittels manueller In-Line Stabilisation (MILS) gesichert werden.

Die komplette Immobilisation der Wirbelsäule mittels starrer Zervikalstütze, HWS-Krawatte, Vakuummatratze und Schaufeltrage wird bei entsprechender Traumakonstellation empfohlen. Bei kreislaufstabilen Patienten und fehlender

Wirbelsäulenverletzung soll eine 30°-Oberkörperhochlagerung mit dem Kopf in Mittelposition erfolgen. Patienten im Schock werden flach gelagert. Der initiale GCS oder AVPU wird im Verlauf der Prähospitalphase insbesondere bei nicht intubierten und beatmeten Kinder reevaluiert, zudem ist wiederholt auf Halbseiten- und Querschnittszeichen zu achten.

Eine geeignete Zielklinik mit sofort verfügbarer kranialer CT, Neurochirurgie (bzw. Kinder-Neurotraumatologie) und Kinder-Intensivmedizin soll angesteuert werden. Nur im absoluten Notfall erfolgt eine „Blutstillung“ oder ein Bohrloch vorher.

- 1 Huh JW, Raghupathi R. New concepts in treatment of pediatric traumatic brain injury. *Anesthesiol Clin* 2009; 27: 213–40.
- 2 Giza CC, Mink R, Madikians A. Pediatric traumatic brain injury: not just little adults. *Curr Opin Crit Care* 2007; 13: 143–52.
- 3 Vavilala M, Muangman S, Suz P, Kincaid M, Lam A. Relationship Between Cerebral Autoregulation and Outcome in Children With Severe Traumatic Brain Injury. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology* 2005; 17: 220.
- 4 Vavilala MS, Muangman S, Tontisirin N, et al. Impaired cerebral autoregulation and 6-month outcome in children with severe traumatic brain injury: preliminary findings. *Dev Neurosci* 2006; 28: 348–53.
- 5 Auner B, Marzi I. Pediatric multiple trauma. *Chirurg* 2014; 85: 451–64.
- 6 Davis DP, Koprowicz KM, Newgard CD, et al. The Relationship Between Out-of-Hospital Airway Management and Outcome Among Trauma Patients with Glasgow Coma Scale Scores of 8 or Less. *Prehospital Emergency Care* 2011; 15: 184–92.
- 7 Hughes J, Maguire S, Jones M, Theobald P, Kemp A. Biomechanical characteristics of head injuries from falls in children younger than 48 months. *Arch Dis Child* 2015; 101: 310–5.
- 8 Vernet O, Lutz N, Rilliet B. Betreuung des kindlichen Schädelhirntraumas. *Acta Paediatrica* 2004; 15: 43–7.
- 9 Petri B. Arbeitshilfe für die Rehabilitation und Teilhabe Schädel-Hirn-verletzter Kinder und Jugendlicher. *Schriftenreihe der Bundesarbeitsgemeinschaft für Rehabilitation* 2007; 1–80.
- 10 Merckenschlager A, Haertel C, Preuss M. Consciousness disturbances in children. An interdisciplinary challenge. *Monatsschr Kinderheilkd* 2013; 161: 740–8.
- 11 Baenziger O, Bär W, Berger TM, et al. Empfehlungen zur Behandlung des akuten schweren Schädelhirntraumas bei Kindern und Jugendlichen. *Forum Med Suisse* 2006; 6: 393–7.
- 12 Hoffmann F, Schmalhofer M, Lehner M, Zimatschek S, Grote V, Reiter K. Comparison of the AVPU Scale and the Pediatric GCS in Prehospital Setting. *Prehosp Emerg Care* 2016; 20: 493–8.

- 13 Kochanek PM, Clark RSB, Ruppel RA, et al. Biochemical, cellular, and molecular mechanisms in the evolution of secondary damage after severe traumatic brain injury in infants and children: Lessons learned from the bedside. *Pediatric Critical Care Medicine* 2000; 1: 4–19.
- 14 Emami P, Czorlich P, Fritzsche FS, et al. Impact of Glasgow Coma Scale score and pupil parameters on mortality rate and outcome in pediatric and adult severe traumatic brain injury: a retrospective, multicenter cohort study. *J Neurosurg* 2017; 126: 760–7.
- 15 Kipfmueller F, Wyen H, Borgman MA, Spinella PC, Wirth S, Maegele M. [Epidemiology, risk stratification and outcome of severe pediatric trauma]. *Klin Padiatr* 2013; 225: 34–40.
- 16 Samant UB, Mack CD, Koepsell T, Rivara FP, Vavilala MS. Time of hypotension and discharge outcome in children with severe traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 2008; 25: 495–502.
- 17 Suominen P, Baillie C, Kivioja A, Ohman J, Olkkola KT. Intubation and survival in severe paediatric blunt head injury. *European Journal of Emergency Medicine* 2000; 7: 3–7.
- 18 Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, et al. Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition. *Pediatric Critical Care Medicine* 2019; 20: S1–S82.

2.5 Skelettverletzungen (Schneidmüller)

Extremitäten

Stark blutende Verletzungen der Extremitäten, welche die Vitalfunktion beeinträchtigen können, sollen mit Priorität versorgt werden. Die Versorgung von Verletzungen der Extremitäten soll weitere Schäden vermeiden, aber die Gesamtrettungszeit beim Vorliegen weiterer bedrohlicher Verletzungen nicht verzögern.

Die Erfassung des Unfallherganges und der Energie des Traumas lässt auf mögliche Verletzungsmuster schließen. Wache Patienten in entsprechendem Alter sollen zunächst nach Beschwerden und deren Lokalisation befragt werden. Bei Kleinkindern und Säuglingen, bei denen die Möglichkeit der verbalen Kommunikation fehlt, muss auf typische altersentsprechende Verhaltensmuster, welche mit Schmerz in Verbindung gebracht werden, geachtet werden. Bei Schmerzen muss eine frühzeitige und ausreichende Analgetikagabe erfolgen [19, 22, 30]. Die orientierende klinische Untersuchung des gesamten Körpers inkl. aller Extremitäten ist immer erforderlich. Die klinische Untersuchung umfasst die Inspektion (Fehlstellung/ offene Wunden/ Schwellung/ Weichteilverletzungen), Durchblutung sowie den neurologischen Status (Sensibilität, Motorik) [DGU Leitlinie Polytrauma 2007; 19, 31]. Auf ausgedehnte Funktionsprüfungen sollte in der Präklinik verzichtet werden.

Eine auch nur vermutlich verletzte Extremität soll vor grober Bewegung und für den Transport des Patienten ruhiggestellt werden.

Es soll eine Immobilisation der verletzten Extremität zur Analgesie sowie zum Schutz vor weiteren Weichteilschädigungen oder Blutungen erfolgen [5, 19, 31]. Die verletzte Extremität soll flach gelagert werden. Je nach Größe der Kinder können variable formbare Schienen (z.B. Sam®Splint) verwendet werden. Der Zeitpunkt der Schienenanlage sollte dokumentiert, beispielsweise auf der Schiene selbst notiert werden. Bei Säuglingen und Kleinkindern ist häufig eine Immobilisation nur durch eine Schienung am eigenen Körper (z.B. Arm an Oberkörper) durch eine Binde möglich. Spezielle Kinderschienen sind zwar erhältlich, werden häufig jedoch aufgrund von Platzmangel und seltener Anwendung nicht mitgeführt [13]. Hilfreich kann v.a. bei

stammnahen Verletzungen eine Lagerung und Immobilisation des ganzen Kindes auf einer Vakuummatratze sein. Hierbei darf die Thoraxexkursion nicht durch eine zu eng angelegte Vakuummatratze behindert werden. Schwere und Ausmaß der Verletzungen sind auf dem Notarztprotokoll zu dokumentieren (ggf. inkl. Fotodokumentation) und der Lokalbefund dem weiterbehandelnden Chirurgen nach Möglichkeit persönlich zu schildern.

Insbesondere bei jungen Kindern sind Gelenkluxationen selten. Häufig liegt eine gelenknahe Fraktur vor, welche klinisch leicht mit einer Gelenkluxation verwechselt werden kann (z.B. suprakondyläre Humerusfraktur DD Ellenbogenluxation).

Es soll nur bei groben Fehlstellungen bzw. Kompromittierung der Gefäße und Weichteile nach Analgosedierung eine achsgerechte Reposition durch Zug und Gegenzug zur Entlastung der Weichteile und ohne das Ziel einer anatomischen Reposition erfolgen [13, 16].

Offene Frakturen

Jede offene Fraktur soll von groben Verschmutzungen gereinigt und steril verbunden werden [19]. Aktive Blutungen sollen mittels manueller Kompression/ Druckverband und Hochlagerung behandelt werden, das Tourniquet ist Ultima ratio zum Schutz vor Verbluten.

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 systematische Literatursauswertung bei Erwachsenen ergab, dass eine Single-Shot-Gabe eines Erstgenerations-Cephalosporins, so früh wie möglich nach dem Unfall gegeben, das Infektionsrisiko signifikant senkt, wenn sie mit einem baldigen modernen chirurgischen Fraktur- und Weichteilmanagement verbunden wird [12]. Zu einer zeitlichen Verzögerung darf es hierdurch nicht kommen. Die präklinische Antibiose sollte gewichtsadaptiert erfolgen, wenn die Rettungszeit verlängert ist.

Kritische, lebensbedrohliche Blutungen sollen durch Kompression oder Druckverbände mit besonders saugfähigen Kompressen behandelt werden. Die Blutstillungsmaßnahmen sollen die prähospitalen Phase nicht verlängern [17]. Daten zum Tourniquet-Gebrauch im Kindesalter existieren nicht. Vorhandene Informationen beruhen i.d.R. auf Untersuchungen von Erwachsenen aus Kriegsregionen, in denen die prähospitalen Phase oft deutlich verlängert ist [2, 27]. Die Anlage eines Tourniquets wird nur empfohlen, wenn eine lebensbedrohliche Blutung nicht durch Kompression oder Druckverband beherrschbar ist. Es handelt sich um eine temporäre Maßnahme und es sollte eine regelmäßige Re-Evaluation erfolgen. Die Verwendung eines Tourniquets muss direkt dem weiterbehandelnden Chirurgen übergeben werden.

Daten zur Anwendung von Hämostyptika stammen ebenfalls im Wesentlichen aus der Kriegsmedizin. Daten zur Anwendung im Kindesalter existieren nicht. Hämostyptika werden als Granulat, Pulver oder Komresse direkt in die Wunde eingebracht und führen je nach Wirkstoff durch unterschiedliche Mechanismen zu einer Blutstillung. Sie sind teilweise in den Rettungsmitteln vorrätig, jedoch aufgrund der Nebenwirkungen nur im Ausnahmefall indiziert, wenn eine lebensbedrohliche Blutung durch andere Maßnahmen (Kompression, Tourniquet) nicht beherrscht werden kann (z.B. stammnahe Blutungen) [7, 17, 18].

Ein Amputat soll grob gereinigt und in sterile, feuchte Kompressen gewickelt werden. Es soll - indirekt gekühlt - transportiert werden. Analog der Erwachsenenleitlinie beeinflussen Amputationen die Auswahl der Zielklinik und sind entsprechend anzukündigen.

Wirbelsäulenverletzung

Die Inzidenz an Wirbelsäulenverletzungen ist mit 1-5% im Vergleich zum Erwachsenen geringer [14, 21, 28]. Insbesondere bei kleinen Kindern ist die obere HWS gefährdet mit einer höheren Letalität im Vergleich zum Erwachsenen [10, 11, 26]. Ebenso haben Kinder ein hohes Risiko für neurologische Komplikationen (20-30%) [1]. Ab einem Alter von ca. 12 Jahren ist die Reifung der Wirbelsäule so weit abgeschlossen, dass gegenüber der erwachsenen Wirbelsäule keine relevanten Unterschiede mehr bestehen und Verletzungsmuster und Gefahren denen der Erwachsenentraumatologie entsprechen.

Die Bewertung des Unfallmechanismus kann Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit einer Wirbelsäulenverletzung geben.

Insbesondere das Hochrasanztrauma stellt einen prädisponierenden Faktor für das Vorliegen einer Wirbelsäulenverletzung dar. Beim polytraumatisierten Patienten soll bis zum Beweis des Gegenteils vom Vorliegen einer Wirbelsäulenverletzung ausgegangen werden.

Beim wachen Patienten gibt die Schmerzlokalisierung Hinweise. Fehlende Rückenschmerzen sind noch kein sicheres Zeichen dafür, dass keine relevante Verletzung der Brust- oder Lendenwirbelsäule vorliegen kann [8]. Es erfolgt eine Inspektion des Rückens (Verletzungszeichen, Verformung) und eine Palpation (Druckschmerz, Stufenbildung, tastbare Lücken zwischen den Dornfortsätzen). Der neurologische Status (Motorik und Sensibilität) wird orientierend erfasst und dokumentiert.

In einer der größten multizentrischen Untersuchungen konnten 8 Risikofaktoren für eine **zervikale** Verletzungen im Kindesalter identifiziert werden:

- eingeschränkte Bewusstseinslage,
- fokale neurologische Defizite,
- Schmerzen im Bereich der Halswirbelsäule,
- Tortikollis,
- relevante Begleitverletzungen am Körperstamm,
- prädisponierende Faktoren,
- Motoradunfall,
- Sprung ins Wasser [20].

Bei Nutzung eines Beckengurtes muss immer an einen „Seatbelt-Komplex“ gedacht und Verletzungen der Wirbelsäule, Pankreas und Duodenum ausgeschlossen werden [9].

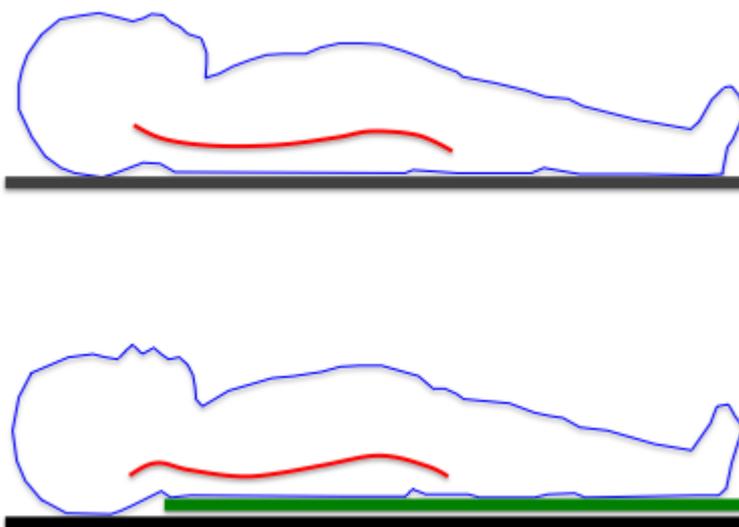
Die technische Rettung erfolgt, wenn es die Zeit erlaubt, Wirbelsäulen-gerecht mit Immobilisation der Halswirbelsäule und einem Hilfsmittel wie z.B. dem spine-board oder Schaufeltrage, die anschließende Lagerung erfolgt auf einer Vakuummatratze.

Säuglinge und Kleinkinder können häufig direkt im Kindersitz belassen und darin gerettet werden.

Präklinisch soll die Immobilisierung der HWS mit einer passenden Zervikalstütze erfolgen. Dabei erfolgt die Rücknahme der HWS in die Neutralposition.

Kommt es dabei zu Schmerzen oder zur Zunahme eines neurologischen Defizits, ist eine Reposition in die Neutralstellung **nicht** durchzuführen [Leitlinie Polytraumaversorgung der DGU]. Die Anlage sollte in Neutralposition des Kopfes erfolgen (Gesichtsebene parallel zur Auflagefläche), eine Flexion der Halswirbelsäule ist zu vermeiden.

Insbesondere bei Kleinkindern und Säuglingen ist auf eine passgerechte Immobilisation zu achten [15, 23, 25]. Mehrere Studien haben gezeigt, dass v.a. in dieser Patientengruppe oft keine adäquate Ruhigstellung erfolgt [25]. Konfektionierte Zervikalstützen können möglicherweise nicht passgerecht sein, hier sollte als Alternative auf eine Vakuummatratze oder gar Immobilisation mittels Sandsäcken oder Tapes zurückgegriffen werden [13, 15, 25]. Aufgrund des relativ großen Hinterkopfes des Kindes muss ggf. der Oberkörper des Kindes etwas erhöht (z.B. auf einem Tuch) gelagert werden, damit die Halswirbelsäule in einer neutralen Position zu liegen kommt [13].



Wehrt sich das Kind gegen eine Immobilisation, sollte diese nicht mit Gewalt durchgesetzt werden. Hier empfiehlt sich eine Längsstabilisierung durch seitliche Tücher [13].

Nach der Lagerung und sicheren Fixation 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 Zentrum [Leitlinie Polytraumaversorgung der DGU].

Die hochdosierte Kortisontherapie bei Wirbelsäulenverletzungen (NASCIS Schema) mit neurologischem Defizit ist umstritten [3]. Ein Nutzen konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden, so dass im Kindesalter keine Indikation für eine prähospital Gabe existiert.

Becken

Beckenverletzungen im Kindesalter sind selten. Literatur zur prähospitalen Versorgung von Beckenverletzungen im Kindesalter gibt es nicht. Die gegebenen Behandlungsrichtlinien an kleineren Fallzahlen unterscheiden sich nicht von denen der Erwachsenen [24, 29]. Aufgrund der hohen Elastizität können relevante intrapelvine Verletzungen ohne knöcherne Beckenverletzungen auftreten. Hochrasanz- oder Überrolltraumata sind hierfür meist die Ursache. Durch Organverletzungen oder Blutungen v.a. aus den venösen Plexus können sie schnell eine lebensbedrohliche Situation verursachen, da die kindliche Physiologie kaum Kompensationsmöglichkeiten bietet.

Bei V.a. Beckenfraktur sollte eine mechanische Stabilisierung durch eine Beckenkompression durchgeführt werden. Hierzu eignen sich kommerzielle pädiatrische Notfallbeckengürtel oder eine Kompression durch das Umschlingen des Beckens mit einem Tuch.

Gerade bei kleinen Kindern können alternativ beide Beine mittels eines Tuches / Binde inkl. des Beckens zusammengewickelt werden, um eine entsprechende Kompression erreichen zu können [4, 6].

- 1 Akbarnia BA. Pediatric spine fractures. *Orthop Clin North Am* 1999; 30:521-536
- 2 Callaway DW, Puciaty A, Robertson J et al. Case Report: Life Saving Application of Commercial Tourniquet in Pediatric Extremity Hemorrhage. *Prehosp Emerg Care* 2017; 21:786-788
- 3 Coleman WP, Benzel D, Cahill DW et al. A critical appraisal of the reporting of the National Acute Spinal Cord Injury Studies (II and III) of methylprednisolone in acute spinal cord injury. *J Spinal Disord* 2000; 13:185-199
- 4 Croce MA, Magnotti LJ, Savage SA et al. Emergent pelvic fixation in patients with exsanguinating pelvic fractures. *J Am Coll Surg* 2007; 204:935-939
- 5 Cuske J. The lost art of splinting. How to properly immobilize extremities & manage pain. *JEMS* 2008; 33:50-64
- 6 DeAngelis NA, Wixted JJ, Drew J et al. Use of the trauma pelvic orthotic device (T-POD) for provisional stabilisation of anterior-posterior compression type pelvic fractures: a cadaveric study. *Injury* 2008; 39:903-906
- 7 Fischer C, Josse F, Lampl L et al. „Stop the bleeding“! Neue Aspekte der Blutstillung aus dem zivilen und militärischen Bereich. *Notfall Rettungsmed* 2010; 13: 384-392
- 8 Frankel HL1, Rozycki GS, Ochsner MG et al. Indications for obtaining surveillance thoracic and lumbar spine radiographs. *J Trauma* 1994; 37:673-676
- 9 Garrett JW, Braunstein PW. The seatbelt syndrome. *J Trauma* 1962; 2:220-238
- 10 Gopinathan NR, Viswanathan VK, Crawford AH. Cervical Spine Evaluation in Pediatric Trauma: A Review and an Update of Current Concepts. *Indian J Orthop* 2018; 52:489-500
- 11 Hamilton MG1, Myles ST. Pediatric spinal injury: review of 61 deaths. *J Neurosurg* 1992; 77:705-708
- 12 Hauser CJ, Adams CA Jr., Eachempati SR. Surgical Infection Society guideline: prophylactic antibiotic use in open fractures: an evidence-based guideline. *Surg Infect* 2006; 7: 379-405
- 13 Jewkes F, Woollard M. Assessment and management of paediatric primary survey negative patients. *Emerg Med J* 2004; 21:595-605
- 14 Kasperk R, Paar O. The polytraumatized child. Pattern of injuries, characteristics of therapeutic management and prognosis. *Aktuelle Traumatol* 1991; 21:1-4
- 15 Kim EG, Brown KM, Leonard JC et al. C-Spine Study Group of the Pediatric Emergency Care Applied Research Network (PECARN). Variability of prehospital spinal immobilization in children at risk for cervical spine injury. *Pediatr Emerg Care* 2013; 29:413-418.
- 16 Kim J, Sponseller PD. Pediatric supracondylar humerus fractures. *J Hand Surg Am* 2014; 39:2308-2311

- 17 Kulla M, Bernhard M, Hinck D et al. Die kritischen Blutungen nach Trauma im Notarzdienst. *Notarzt* 2015; 31: 47-53
- 18 Kulla M, Hinck D, Bernhard M et al. Prähospitale Therapiestrategien für traumaassoziierte, kritische Blutungen- Notfall Rettungsmed 2014; 17: 575-583
- 19 Lee C, Porter KM. Prehospital management of lower limb fractures. *Emerg Med J* 2005; 22:660-663
- 20 Leonard JC, Kuppermann N, Olsen C et al. Pediatric Emergency Care Applied Research Network. Factors associated with cervical spine injury in children after blunt trauma. *Ann Emerg Med* 2011; 58:145-155
- 21 Reichmann I, Aufmkolk M, Neudeck F et al. Comparison of severe multiple injuries in childhood and adulthood. *Unfallchirurg* 1998; 101:919-927
- 22 Schauer SG, Arana AA, Naylor JF et al. Prehospital Analgesia for Pediatric Trauma Patients in Iraq and Afghanistan. *Prehosp Emerg Care* 2018; 22:608-613
- 23 Shah K, Tikoo A1, Kothari MK, Nene A. Current Concepts in Pediatric Cervical Spine Trauma. *Open Orthop J* 2017; 11:346-352
- 24 Silber JS, Flynn JM, Koffler KM et al. Analysis of the cause, classification, and associated injuries of 166 consecutive pediatric pelvic fractures. *J Pediatr Orthop* 2001; 21:446-50
- 25 Skellett S, Tibby SM, Durward A, Murdoch IA. Lesson of the week: Immobilisation of the cervical spine in children. *BMJ* 2002; 324:591-593
- 26 Snyder CL, Jain VN, Saltzman DA et al. Blunt trauma in adults and children: a comparative analysis. *J Trauma* 1990; 30:1239-1245
- 27 Sokol KK1, Black GE, Azarow KS Prehospital interventions in severely injured pediatric patients: Rethinking the ABCs. *J Trauma Acute Care Surg* 2015; 79:983-989
- 28 Tilt L, Babineau J, Fenster D et al. Blunt cervical spine injury in children. *Curr Opin Pediatr* 2012; 24:301-306
- 29 Torode I, Zieg D. Pelvic fractures in children. *J Pediatr Orthop* 1985; 5:76-84
- 30 Woollard M, Jewkes F. Assessment and identification of paediatric primary survey positive patients. *Emerg Med J* 2004; 21:511-517
- 31 Worsing RA Jr. Principles of prehospital care of musculoskeletal injuries. *Emerg Med Clin North Am* 1984; 2:205-217

2.6 Logistik (Jung, Storz, Flake)

Es gibt für Deutschland keine ausreichenden Vergleichsdaten, es ist aber davon auszugehen, dass ähnlich wie bei den Erwachsenen der zügige Transport in ein qualifiziertes Traumazentrum mit spezieller kindertraumatologischer Kompetenz das Outcome deutlich verbessert und die Letalität senkt.

Die korrekte Auswahl der Zielklinik ist entscheidend für die schnelle und definitive Versorgung von schwer verletzten Kindern. Entsprechend dem Weißbuch der DGU sollte ein schwer verletztes Kind in einer Transportzeit von 30 Minuten in das kindertraumatologische Referenzzentrum (KiTRefZ) des regionalen Traumanetzwerks transportiert werden. Die Anwesenheit einer kinderchirurgischen und einer pädiatrischen Abteilung mit einer Kinder-Intensivstation sowie Kinderradiologie ist damit gewährleistet.

Ist dies nicht möglich, soll der zügige Transport in das nächstgelegene regionale oder überregionale Traumazentrum erfolgen. Nach Erstversorgung und Stabilisierung ist die Verlegung in das KiTRefZ anzustreben. Die Verlegungskriterien sind im Weißbuch ausgeführt und umfassen den GCS <13 , das Thorax- oder Bauchtrauma AIS >2 , die Beckenfraktur, 2 Frakturen langer Röhrenknochen, die Intensivbehandlung $> 24h$ und ein ISS >15 [2]. Die Entscheidung, ob und wie schwer verletzt ein Kind ist und ob es somit einer Behandlung im Schockraum eines regionalen oder überregionalen Traumazentrums bedarf, kann prähospital häufig nur sehr schwer beurteilt werden. Vielen Rettungsteams fehlt die Erfahrung in der Beurteilung von schwer verletzten Kindern. Kinder sind in der Lage, auch bei schwersten inneren Verletzungen den Kreislauf über einen gewissen Zeitraum zu kompensieren und wirken dadurch zunächst „klinisch stabil“. Im Zweifel ist deshalb immer eine höhere Verletzungsschwere anzunehmen und lieber einmal mehr die Entscheidung für die Versorgung im Schockraum zu fällen. Dies führt zwar einerseits zum bekannten Problem der Übertriagierung von Kindern, gewährleistet andererseits aber eine hohe Versorgungssicherheit. Die Entscheidung über die Zielklinik und den ausgewählten Schockraum ist prähospital vom Notarzt bzw. dem Rettungsteam zu treffen.

Bewertungs- und Scoringsysteme haben sich zur Entscheidungsfindung und Anwendung am Notfallort insbesondere bei Kindern bisher nicht bewährt.

Transport und Logistik

Der Einsatz der Luftrettung für die primäre Versorgung bzw. den Transport in die Klinik scheint bei Kindern vorteilhaft zu sein [1]. Um ein schwer verletztes Kind innerhalb von 30 Minuten Transportzeit im Schockraum zu übergeben, wird man in bestimmten Fällen aufgrund der Distanz vom Einsatzort zum Traumazentrum auf die Luftrettung zurückgreifen. Dies setzt häufig voraus, dass ein Rettungshubschrauber (RTH) bereits primär alarmiert wird, denn im Falle einer Nachforderung verliert sich häufig der Zeitvorteil eines RTH. Als Faustformel im Rettungswesen gilt: bei Nachalarmierung RTH ist ein bodengebundener Transport bis zu 30 km Fahrstrecke bis zum Zielkrankenhaus schneller! Disponenten in Rettungsleitstellen sollten deshalb bereits beim Verdacht auf ein schwer verletztes Kind die Primäralarmierung eines RTH in Erwägung ziehen!

In einigen Regionen in Deutschland wird neben dem Regel-Notarzt auch ein Kindernotarztendienst vorgehalten. Trotz fehlender Studien ist davon auszugehen, dass insbesondere schwer verletzte Kinder von der zusätzlichen pädiatrischen Expertise und Kompetenz bei der Versorgung profitieren. Ist ein Kindernotarzt verfügbar, sollte dieser bei Verdacht auf ein schwer verletztes Kind von der Rettungsleitstelle zeitgleich mit anderen Rettungskräften alarmiert werden.

MANV – Massenanfall von Verletzten

Bei einem Massenanfall von Verletzten (MANV) als unmittelbare Folge von größeren Unfällen oder terroristischen Anschlägen können auch Kinder unter den Betroffenen sein. Sichtet man Kinder unter 10 Jahren mit den für Erwachsene konzipierten Algorithmen, kommt es unweigerlich zu einer massiven Übertriage aufgrund der unterschiedlichen Normwerte der Vitalparameter. Aus diesem Grund sind die meisten der derzeitigen Systeme zur Anwendung bei Kindern nicht geeignet. Zudem besteht bei den Ersthelfern häufig der emotionale Wunsch, besonders jungen Kindern eine hohe Behandlungspriorität zu geben. In jüngster Vergangenheit wurde ein pädiatrisch modifizierter mSTaRT-Algorithmus (vor allem mit Anpassung der Kriterien an physiologische Normen von Kindern) entworfen und in einem Delphi-Verfahren mit

Kinderintensiv – und Notfallmediziner sowie Kindertraumatologen abgestimmt (noch unveröffentlicht).

Bei einem MANV sollen Kinder mit einem auf die kindlichen Normwerte angepassten Sichtungsalgorithmus triagiert werden.

Abhängig von Gehfähigkeit, Atmung, zentraler kapillärer Füllungszeit und Bewusstseinslage erfolgt in einem ersten Schritt eine Einteilung in die Kategorien rot (akut, vital bedroht, bzw. kritisch verletzt), gelb (schwerverletzt) und grün (leicht verletzt). Alle gehfähigen Patienten werden als grün bewertet und somit Sichtungskategorie III zugeordnet, anschließend gesammelt und dann nochmals auf kritische Befunde untersucht und registriert. Dies führt bei Kindern bewusst dazu, dass alle nicht gehfähigen Kinder automatisch in Sichtungskategorie „gelb“ fallen.

Patienten mit fehlender Spontanatmung, Atemfrequenzen $> 40/\text{min.}$ und $< 10/\text{min.}$, zentraler kapillärer Füllungszeit > 3 Sek. und der Unfähigkeit, einfache Befehle zu befolgen, sowie bei inadäquaten Reaktionen werden als rot kategorisiert und erhalten somit eine Sofortbehandlung. Bei Kindern ist anders als bei Erwachsenen das sichere Tasten eines Pulses und die Messung des Blutdruckes als sehr unzuverlässig für die Beurteilung der Kreislaufsituation einzustufen. Deshalb wurde im vorliegenden Algorithmus bewusst die am Sternum oder über der Stirn gemessene zentrale kapilläre Füllungszeit als Kreislaufparameter gewählt.

Nach einer Erstversorgung erfolgt eine Hochstufung bei folgenden kritischen Befunden:

- Sauerstoffsättigung $< 92\%$ oder Rauchgasinhalation
- starke Blutung oder penetrierende Verletzung (Körperstamm, Schädel)
- Teilamputationen von Hand, Arm, Fuß oder Bein
- Patient reagiert nur auf Schmerzreize oder ist nicht ansprechbar (AVPU-Score schlechter als „P“)
- andere schwere Verletzungen oder Erkrankungen, die eine dringende Versorgung oder einen schnellen Transport erfordern.

Anwendbarkeit von Scores zur Einschätzung der Bewusstseinslage

Es existieren pädiatrisch modifizierte Versionen des GCS, welche ebenfalls aufgrund ihrer Komplexität für den prähospitalen Einsatz wenig praktikabel sind. Eine sehr leicht anwendbare Skala zur Beurteilung des Allgemeinzustandes und der neurologischen Situation stellt der AVPU-Score dar (beide Scores siehe Kap. 2.4).

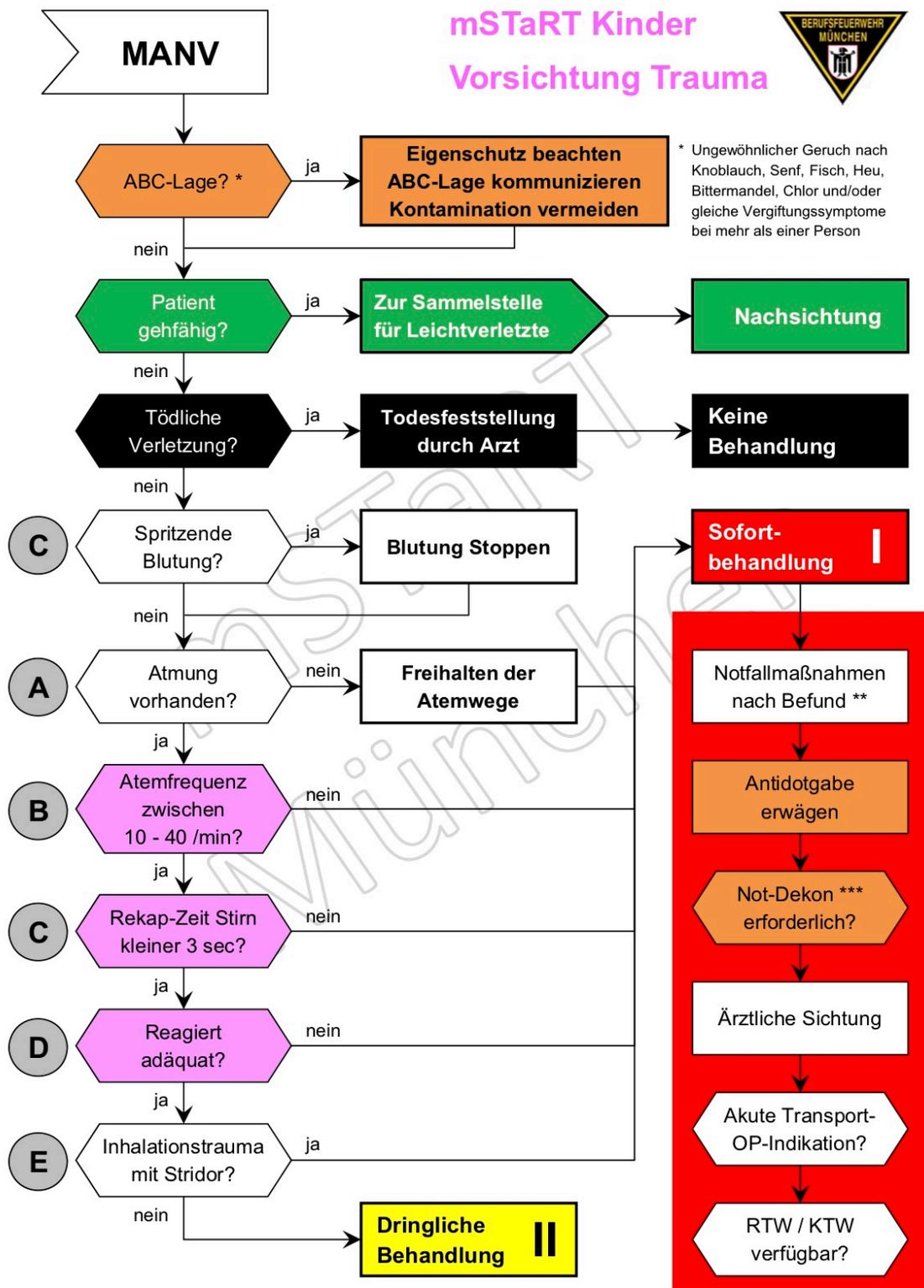


Abb. 1: pmSTaRT-Algorithmus zur Sichtung, Behandlung und Transport bei einem Massenanfall von verletzten Kindern (unveröffentlicht)

mSTaRT Kinder Vorsichtung Trauma



Altersgrenze Kind - Anwendung des Algorithmus „mSTaRT Kinder“:

Abhängig von der individuellen körperlichen Entwicklung des Kindes
(bis zum Beginn der Pubertät; 10-12 Jahre)

Öffnet Augen spontan Interagiert adäquat Spricht verständlich Verfolgt Gegenstände	A lert
Motorische, verbale oder sonstige Reaktion auf verbalen Stimulus (laut ansprechen oder berühren)	V erbal
Motorische, verbale oder sonstige Reaktion auf Schmerzreiz (z.B. Zwicken)	P ain
Keine motorische, verbale oder sonstige Reaktion	U nresponsive

** Notfallmaßnahmen bei SK I (rot)

Nicht Aufgabe des Sichtungsteams während der Vorsichtung !

Durchführung durch den Notarzt bzw. in Notkompetenz durch Rettungsfachpersonal.

- Atemwegssicherung (**Larynxmaske**, ggfs. Notfallintubation)
- Dringliche Intubation bei GCS kleiner 10 bzw. **AVPU „P“ oder „U“**,
Blutung im Mund-Rachen-Raum oder Aspiration
- Beatmung über Maske oder Tubus
- Thoraxdekompression bei Spannungspneumothorax
- Blutstillung

*** Notdekontamination bei SK I und notwendigem Notfalltransport

- Entfernen der Kleidung
- ggfs. Abwaschen / Abtupfen mit Wasser oder Wasser-Seife-Gemisch

Abb.2: AVPU-Score zur raschen neurologischen Beurteilung eines Kindes

mSTaRT Trauma & Intox - Nachsichtung Checkliste "Kritische Befunde KINDER"

Altersgrenze Kind

ist abhängig von der individuellen körperlichen Entwicklung; bis Beginn der Pubertät (ca. 10-12 Jahre)

B - Atmung	Atemfrequenz größer 40 pro min ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Anhängekarte Nr.
	Atemfrequenz kleiner 10 pro min ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	O ₂ -Sättigung kleiner 90% ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Patientenname
	Inhalationstrauma ? Patient war Feuer, Rauch oder Explosion ausgesetzt und hat Rußablagerungen im Mund-/Rachenraum, Auswurf mit Rußanteilen, schweren Husten, Heiserkeit, Verbrennungen des Gesichtes / Halses, versengte Augenbrauen oder Nasenhaare Inhalationstrauma mit Stridor An frühe Intubation denken !	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
C - Kreislauf	Zentrale Rekap-Zeit größer 3 Sekunden? an Stirn oder Sternum	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Bemerkungen
	Puls größer 140 pro min ? bzw. altersgerechter Puls deutlich überschritten ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Puls kleiner 80 pro min ? bzw. altersgerechter Puls deutlich unterschritten ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Starke Blutung ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Verletzungen	Penetrierende Verletzung Schädel, Körperstamm ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Amputation (Hand, Arm, Fuß, Bein) ? Auch subtotale Amputation	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Verbrennung größer 10% KOF ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
D - Bewußtsein	AVPU schlechter als "A" ? (siehe Rückseite)	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Krampfanfall ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Neurologische Defizite ? Sofern der Befund aufgrund des Alters erheben werden kann: Motorisches Defizit, sensorisches Defizit, Erinnerungslücken, eingeschränkte Orientierung (Person, Zeit, Raum, Situation), Verwirrtheit, Seh-/Hörstörungen, Erbrechen ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
D - Verdacht SHT	Tastbare Schädelfraktur ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Ergebnis der Nachsichtung:
	Monokel-/Brillenhämatom ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Liquor aus Nase / Ohr ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	Schädelverletzung und ...		
	... Pupillendifferenz?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
	... Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerz?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
E - Verdacht Intox	... Gerinnungshemmung / -störung ?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Ein- oder mehrmals "rotes ja": <input type="checkbox"/> I
	Organophosphate / Nervenkampfstoffe ? Hipersalivation, Miosis, Atemlähmung, Bradykardie	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Ein- oder mehrmals "gelbes ja": <input type="checkbox"/> II
	Kohlenmonoxid CO ? Kopfschmerz, gastrointestinale Beschwerden COHb größer 5 % (Nichtraucher), COHb größer 10 % (Raucher)	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Immer "nein": <input type="checkbox"/> III
	Blausäure HCN ? Kratzen im Hals, Krampfanfall, Hypotonie	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Anhängekarte ausfüllen (lassen), Checkliste zur Anhängekarte, Patient der notwendigen Behandlung zuführen.
	Reizgase ? Starker Tränenfluss, Bindehautreizung, intensiver Hustenreiz	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Erkrankung, die eine sofortige Versorgung erfordert ? z.B. Asthma	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		



Abb.3: pmSTaRT-Algorithmus zur Nachsichtung, Behandlung und Transport bei einem Massenanfall von verletzten Kindern (unveröffentlicht)

1 Brown J, Leeper C, Sperry J et al. Helicopters and injured Kids: improved survival with scene air medical transport in the pediatric trauma population. J Trauma Acute Care Surg 2016; 80:702-710

2 DGU Weißbuch Schwerverletztenversorgung. 3., erweiterte Auflage 2019, S. 22-23

3 Klinik

3.1 Schockraum (Lehner, Eich)

In jedem Schockraum, insbesondere in überregionalen Traumazentren soll ein an das Standardprotokoll adaptiertes, lokales, klinikeigenes Schockraumprotokoll für Kinder etabliert sein. Ein Vorschlag hierzu bieten Lehner M et al. 2017 [2]. Hierin soll neben den individuellen Abläufen auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit geregelt sein.

Das Basis-Schockraumteam soll im überregionalen Traumazentrum mit der Funktion des KiTRefZ aus mindestens 3 Ärzten bestehen: Chirurg (Kinderchirurg oder Traumatologe mit kindertraumatologischer Expertise), Anästhesist und pädiatrischer Intensivmediziner. Ein Kinderradiologe oder Radiologe mit kinderradiologischer Expertise und ein pädiatrisch erfahrener Neurochirurg/neurochirurgisch erfahrener Kinderchirurg sollten verfügbar sein.

Speziell geschulte / weitergebildete Mitarbeitende der Pflege aus den Bereichen Notaufnahme, (Kinder-)Anästhesie und Kinderintensivpflege sollen das Schockraumteam ergänzen. Die Zusammenstellung der Schockraumteams ist nicht validiert, sodass es sich hier um international anerkannte Empfehlungen handelt. Die Verteilung der Zuständigkeiten im Schockraum und die Aufteilung der Disziplinen sind häufig von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Studien zeigen, dass selbst mit nur zwei Ärzten im Schockraum ein Großteil der schwerverletzten Patienten effektiv versorgt werden kann [3, 4]. Eine uneingeschränkte Übertragung auf die Kindermedizin erscheint in diesem Zusammenhang problematisch.

Sämtliche an der Schockraumversorgung beteiligte Disziplinen sollen eine spezielle Expertise in der Routineversorgung von Kindern aufweisen. Handelt es sich nicht um eine Kinderklinik, so sollten die Mitarbeitenden aus der Pflege in den Bereichen der Notfallambulanz, der Anästhesie und der Intensivstation eine spezielle Fortbildung in der Versorgung von Kindern nachweisen [7].

Der überwiegende Anteil der an der Schockraumversorgung beteiligten Ärzte und Pflegekräfte soll ein spezielles Schockraumtraining absolviert haben.

Zusätzlich sollten spezielle Handlungsanweisungen vorgehalten werden, um die Schockraumversorgung möglichst standardisiert ablaufen zu lassen (5, 6). Die Vorhaltung spezieller Behandlungsalgorithmen für den Trauma-Schockraum im Kindesalter kann die Frühbehandlung dieser Patienten verbessern.

Um ein koordiniertes und abgestimmtes Zusammenarbeiten verschiedener Fachdisziplinen in der Polytrauma-Versorgung 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™]) oder ein in Inhalt und Training analoges Ausbildungskonzept absolviert haben. Ebenso sollten insbesondere kinderspezifische Ausbildungskonzepte, wie z.B. EPALS-Kurs (ERC), PALS (AHA) und PHTLS-Kurs berücksichtigt werden [8, 9]. Zur Verbesserung von Versorgungsqualität und interdisziplinärer Zusammenarbeit sollte entsprechend in regelmäßigen Team-Trainings, an der auch die für den Schockraum zuständigen Pflegekräfte teilnehmen, vor Ort die Schockraumversorgung von Kinderszenarien geprobt werden (s. Weißbuch Schwerverletztenversorgung) [11]. Die Schulungsrate der an der Schockraumversorgung beteiligten Ärzte sämtlicher Disziplinen und der Pflegekräfte sollte über 50% liegen.

Die Schockraumversorgung von Kindern ist personalintensiv. Der Raumbedarf ist im Vergleich der Erwachsenenversorgung erhöht. Der Schockraum sollte in einem überregionalen Traumazentrum für Kinder mindestens eine Grundfläche von 25m² (für neu zu planende Einrichtungen: 40m²) umfassen. Die Möglichkeit zur getrennten Beheizung des Schockraumes soll gegeben sein. Der Schockraum soll sich zudem in räumlicher Nähe zur Krankenanhfahrt, dem Hubschrauberlandeplatz, der radiologischen Abteilung und der Operationsabteilung mit pädiatrischem Narkosegerät und altersentsprechenden OP-Sieben für unfall-, viszeral-, neuro- und thoraxchirurgische Notfalleingriffe befinden. Für eine adäquate Bildgebung sollte im Schockraum Ultraschall, Röntgen und ein Multislice-Spiral-CT verfügbar sein.

Im Schockraum sollen alle für die Notfallversorgung erforderlichen Materialien/Instrumente in allen kinderspezifischen Größen vorgehalten werden.

Hierzu gehört insbesondere die Vorhaltung sämtlicher für die Sicherung des Atemweges erforderlichen Instrumente bis hin zur möglichen Etablierung eines chirurgischen Atemweges. Darüber hinaus sollten für Altersklassen adaptierte "Versorgungspakete" vorhanden sein, in welchen die verschiedenen Größen der Blasenkatheter, Thoraxdrainagen, Verbandsmaterialien, Blutentnahmesets und Anmeldeunterlagen sowie ggf. Notfallaufkleber für das Blutlabor und die Blutbank zusammengestellt sind.

Es konnte gezeigt werden, dass über 50% der Kinder im Alter von 0-9 Jahren nach der Schockraumversorgung direkt auf die Kinderintensivstation zur weiteren Therapie verlegt werden [10]. Es erscheint daher sinnvoll, dass in diesen Fällen die Kinderintensivmedizin bereits in der Schockraumversorgung involviert ist und somit Informationsverlusten vorgebeugt und therapeutische Strategien gemeinsam festgelegt werden können. Es sollte die Möglichkeit zur dauerhaften pädiatrisch-intensivmedizinischen Behandlung eines schwerverletzten Kindes einschließlich der Möglichkeiten des Neuromonitorings (EEG, NIRS, ICP-Sonde) bestehen. Diese personellen, strukturellen und organisatorischen Voraussetzungen für die Intensivstation werden für regionale und überregionale TZ beschrieben [1].

In einem überregionalen Traumazentrum für Kinder sollten die pädiatrischen Intensivmediziner und Kinderradiologen mit in die Schockraumversorgung eingebunden werden.

Vor jeder Patientenversorgung sollte der Arbeitsplatz Schockraum durch vorher festgelegtes Personal vorbereitet werden, möglichst individuell angepasst an das Alter des angemeldeten Patienten.



		Vorbereitung	
	Max. 5 Min	Übergabe durch NA / Umlagerung	
	0-5 Min	PHASE 1 Lebensrettende Sofortmaßnahmen Vorgehen nach A,B,C,D,E	Entscheidung: ▪ Röntgen Thorax? ▪ Notfall CT? ▪ Not OP?
	6 – 15 Min	PHASE 2 Stabilisierung	
	16 – 30 Min	PHASE 3 Dringliche Diagnostik / Therapie	
	31 – 60 Min	PHASE 4 Komplettierung Diagnostik / Therapie	
		OP / Intensivstation	

Abb. 1: Vorschlag für einen strukturierten Ablauf [2]

Prinzipiell sollte die Schockraumversorgung **nach** der Übergabe durch den Notarzt mit der Umlagerung des Patienten, dem Anschluss des Monitorings sowie der ersten Phase der Patientenevaluation ablaufen (siehe Abbildung 1).

Die nachfolgende Tabelle weist den unterschiedlichen Bedarf an medizinischen Fachdisziplinen einschließlich des erweiterten Schockraum-Teams eines überregionalen Traumazentrums (ÜTZ) für Kinder aus:

	ÜTZ für Kinder	Regionales TZ	Lokale Versorgung
	Kinderchirurgische/ Traumatologische Klinik		
Kinderchirurg	X / (x)	(X)	(X)
Unfallchirurg	(x) / X	X	X
Viszeralchirurg	(x) / X	X	X
Anästhesist		X	X
FA Anaesthesie mit profunder Erfahrung in Kinderanaesthesie	X	(x)	
Radiologe (#mit kinderradiologischer Erfahrung)	X[#]	X	X
Kinder-Radiologe	X[*]	(X[*])	
Neurochirurg. Versorgung: (Kinderchirurg/Traumatologe mit Neurotraumatologischer Erfahrung)	X	X[*]	(x)

Neurochirurgie mit Kinderneurochirurgie			
MKG-Chirurgie	X	X*	
Kinderintensivmediziner	X		
HNO-Medizin	X	(x)*	
Gefäßchirurgie	X	(x)*	
Thoraxchirurgie	(X) / X	X*	
Augenarzt	X	X*	
Gynäkologe	X	X*	
Urologe	(x) / X	X*	

Abb. 2: Jeweils für das überregionale (ÜTZ), regionale (RTZ) und lokale Trauma-Zentrum werden die empfohlenen Disziplinen, die zur Versorgung von schwerverletzten Kindern erforderlich sind, dargestellt.

Die in Klammern gesetzten Disziplinen sind fakultativ; die mit * markierten Disziplinen können sich in einem Rufbereitschaftsdienst befinden.

Hier ist es vor allem die Kinderanästhesie, die unmittelbar an der Schockraumversorgung beteiligt ist, aber auch die Kinderradiologie. Für die vollumfassende Versorgung sollte ein Netzwerk z.B. im Klinikverbund vorgehalten werden, welches Neurochirurgie, Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, HNO, Gefäßchirurgie, Augenheilkunde und Gynäkologie einschließt. Die Mitglieder des erweiterten Schockraumteams sollten in Form von Rufbereitschaften oder Konsiliartätigkeiten im Verlauf der Gesamtversorgung hinzugezogen werden.

Ein Neurochirurg oder neurochirurgisch erfahrener Kinderchirurg sollte aufgrund der hohen Prävalenz eines SHT bei Kindern mit besonders hoher Priorität und Zuverlässigkeit rufbereit sein. Für polytraumatisierte Kinder sollte zudem ein kindererfahrener HNO- und/oder MKG-Chirurg in Rufbereitschaft sein.

Die Leitung des Schockraumteams soll sich an den strukturellen Gegebenheiten vor Ort orientieren und kann sowohl als interdisziplinäre Führungsgruppe als auch in Person eines Trauma-Leaders erfolgen.

Insbesondere ist es gerade unter dem Aspekt der interdisziplinären Versorgung sinnvoll, eine Führungsgruppe zu bilden. Diese kann aus dem verantwortlichen Chirurgen (Kinderchirurgie oder Unfallchirurg; Traumaleader), dem verantwortlichen Anästhesisten mit Kindererfahrung (Survivalleader) und - wenn verfügbar - dem Kinderintensivmediziner bestehen [2]. Die Entscheidungen für Bildgebung,

Notfallmaßnahmen und Überwachung auf Intensivstation werden zwischen diesen Personen abgesprochen, die rechtfertigende Indikation zur Bildgebung ist nach interdisziplinärer Absprache durch den fachkundigen (Kinder-) Radiologen zu stellen.

In Abhängigkeit von der klinischen Organisationsstruktur kann die Leitung des Schockraums durch den Traumaleader erfolgen. Die Versorgungsstruktur kann bei entsprechenden Ressourcen derart gestaltet sein, dass weder der Trauma-Leader noch der Survival-Leader aktiv in die Versorgung eingreifen. Diese sollten den Überblick über sämtliche diagnostische und therapeutische Maßnahmen behalten und die erforderlichen, weiteren Maßnahmen koordinieren. Auch sollten sie ein besonderes Augenmerk auf das Zeitmanagement im Schockraum haben.

Vor jeder Schockraumversorgung sollte ein kurzes Briefing aller beteiligten Mitarbeiter (in der Regel durch den Traumaleader oder durch ein Mitglied der Führungsgruppe) erfolgen. Die Führungsgruppe trägt die medizinische Verantwortung für den Schockraumeinsatz. Der Einsatz von Signalwesten und/oder Namensschildern zur eindeutigen Identifizierung der Beteiligten ist nicht zuletzt für den einweisenden Notarzt von Vorteil.

Nach Übergabe durch den Notarzt und Umlagerung auf die Schockraumliege beginnt „Phase 1“ des ATLS-basierten Algorithmus sowie die Durchführung der lebensrettenden Sofortmaßnahmen. Als Zeitrichtlinie sind hierfür 5 Minuten vorgesehen.

Phase 2 – Stabilisierung

Phase 3 – dringliche Diagnostik

Phase 4 – Überwachung/operative Versorgung

Durch die strukturierte Schockraumversorgung kann die Versorgungszeit signifikant reduziert und damit der Patient rascher seiner definitiven Versorgung zugeführt werden (5).

- 1 Debus F, Lefering R, Frink M et al. Das Polytrauma von Kindern und Jugendlichen: Auswahl der primärversorgenden Klinik und Bedeutung von kindertraumatologischen Kompetenzzentren Unfallchirurg 2015; 118:432-438
- 2 Lehner M, Hoffmann F, Heinrich M et al. iTRAPS: interdisziplinärer Algorithmus zur Schockraumversorgung im Kindesalter. Notfall- und Rettungsmedizin 2018; 21:90-99
- 3 Allen DM, Hicks G, Bota GW. Outcomes after severe trauma at a northern Canadian regional trauma center. Can J Surg 1998; 41:53-58
- 4 Deo SD, Knottenbelt JD, Peden MM. Evaluation of a small trauma team for major resuscitation. Injury 1997; 28:633-637
- 5 Lehner M, Hoffmann F, Kammer B et al. Reduction of treatment time for children in the trauma room care: Impact of implementation of an interdisciplinary trauma room concept (iTRAP(S)). Anaesthesist 2018; 67:914-921
- 6 Metal B. Introduction of a treatment algorithm can improve the early management of emergency patients in the resuscitation room. Resuscitation 2007; 73:362-373
- 7 Keil J, Sandmeyer B, Urban B et al. Testlauf nach Umbau einer Kinderintensivstation. Monatsschr Kinderheilkd 2015; 163:575-582
- 8 Johansson J, Blomberg H, Svennblad B et al. Prehospital Trauma Life Support (PHTLS) training of ambulance caregivers and impact on survival of trauma victims. Resuscitation 2012; 83:1259-1264
- 9 ATLS Subcommittee, American College of Surgeons' Committee on Trauma, International ATLS working group. Advanced trauma life support (ATLS(R)): the ninth edition. J Trauma Acute Care Surg 2013; 74:1363-1366
- 10 Jakob H, Wyen H, Marzi I. Polytrauma im Kindesalter. Trauma Berufskrankh 2013; 15 (Suppl 1):67-74
- 11 DGU Weißbuch Schwerverletztenversorgung. 3., erweiterte Auflage 2019, S. 22-23

3.2 Kardiopulmonale Reanimation (Hoffmann)

Sowohl die aktuellen Leitlinien des ERC [1] als auch die interdisziplinäre S3-Leitlinie Polytrauma beim Erwachsenen sind sich einig, dass

bei definitiv vorliegendem Kreislaufstillstand mit Pulslosigkeit, bei Unsicherheiten im Nachweis eines Pulses oder bei anderen klinischen Zeichen, die einen Herzkreislaufstillstand wahrscheinlich machen, unverzüglich mit der Reanimation begonnen werden soll.

Ausnahmen sind das Vorliegen von sicheren Todeszeichen oder von mit dem Leben nicht zu vereinbarende Verletzungen. In diesen Fällen soll die kardiopulmonale Reanimation nicht begonnen werden.

Die Reanimation soll mit den Basismaßnahmen entsprechend der aktuellen Leitlinien des ERC [1] beginnen. Im Vordergrund stehen nach 5 initialen Beatmungen die tiefe Thoraxkompression und die Beatmung des Patienten im Verhältnis 15:2. Parallel soll ein EKG-Monitoring durchgeführt und der EKG-Rhythmus beurteilt werden.

Nach dem ABCDE-Schema sollen dann die weiteren Maßnahmen durchgeführt werden. Im Vordergrund steht hierbei, dass die reversiblen traumaspezifischen Ursachen für einen Herzkreislaufstillstand rasch erkannt und therapiert werden.

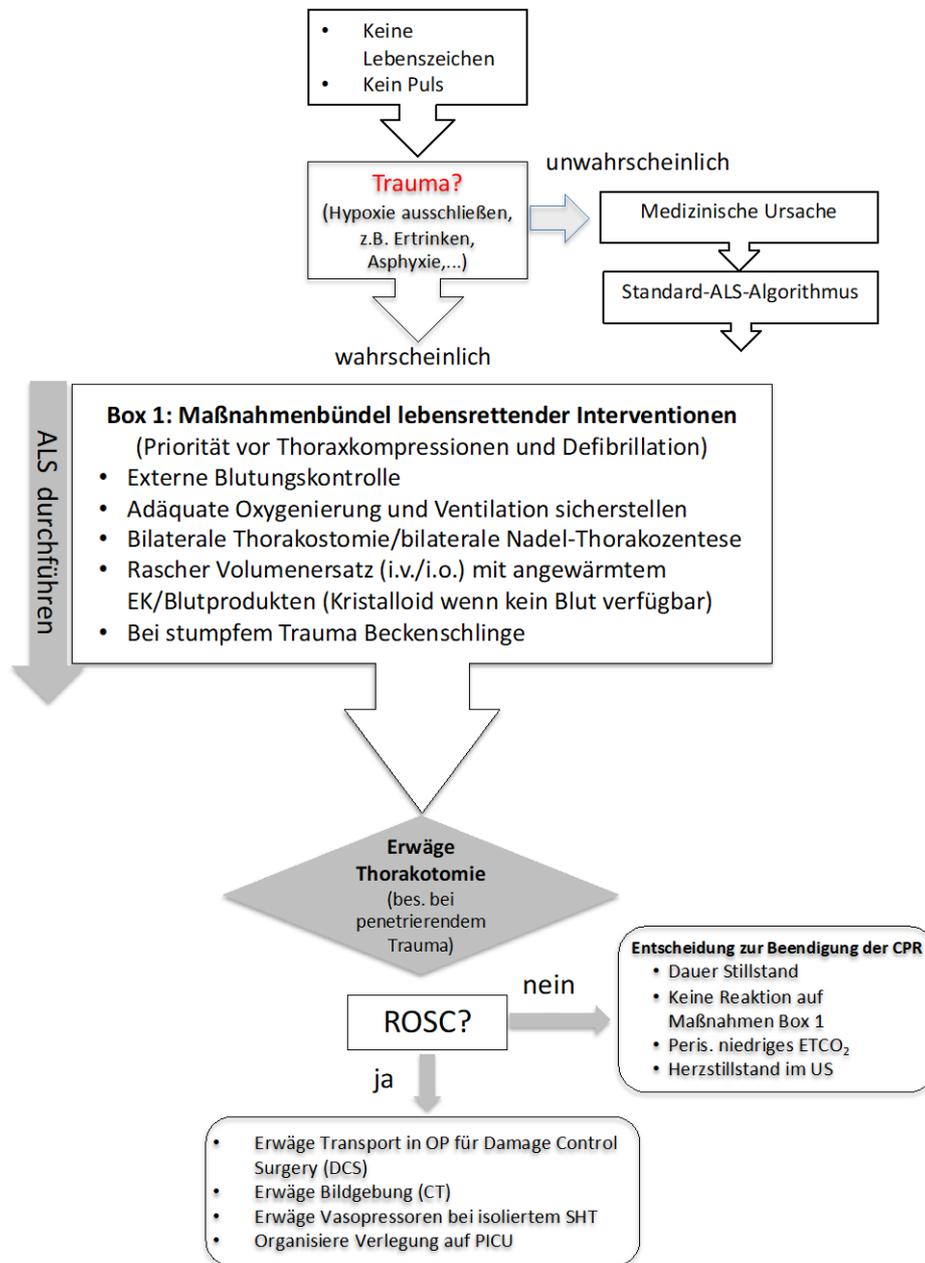
A-Problem: verlegter Atemweg (Atemweg sichern, Esmarch-Handgriff, Guedel-Tubus, Larynxmaske, Intubation)

B-Problem: Hypoxie (Spannungspneumothorax, Hämatothorax: Drainage)

C-Problem: Hypovolämie/nicht-komprimierbare Blutungen (i.o.-Zugang, Volumenapplikation 20 ml/kg aus der Hand), komprimierbare Blutungen (Druckverband, Tourniquet), Perikardtamponade (Thorakotomie in der Klinik)

Bei Erwachsenen konnte gezeigt werden, dass einer der wichtigsten Faktoren, der mit einem Überleben nach Reanimation korrelierte, die Anlage einer Thoraxdrainage bei Vorliegen eines Spannungspneumothorax war. Bei jeder Unsicherheit, ob ein Spannungspneumothorax vorliegt oder nicht, muss im Zweifel immer eine beidseitige Anlage einer Thoraxdrainage in Reanimationssituationen erfolgen. Ein Algorithmus zum

Vorgehen bei traumatisch bedingtem Herz-Kreislaufstillstand wurde vor kurzem publiziert [2].



Nach Vasallo et al., ResuscitaZon 2018

Bei frustraner Reanimation nach Beseitigung möglicher reversibler traumaspezifischer Ursachen des Herz-Kreislaufstillstands soll die kardiopulmonale Reanimation beendet werden.

1 Maconochie IK, Bingham R, Eich C et al. Paediatric life support section Collaborators. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 6. Paediatric life support. Resuscitation 2015; 95:223-248

2 Vassallo J, Nutbeam T, Rickard AC, et al. Paediatric traumatic cardiac arrest: the development of an algorithm to guide recognition, management and decisions to terminate resuscitation. Emerg Med J 2018; 35:669-674.

3.3 Bildgebende Diagnostik in der Schockraumphase (Schäfer, Mentzel, Szavay)

Sonografie im Rahmen des Primary Survey

Im Rahmen des Primary Survey soll ein FAST* und sollte ein eFAST* zur Diagnostik von freier abdominaler Flüssigkeit, von Perikard- und Pleura-Erguss oder Pneumothorax durchgeführt werden. Ein primär negativer sonografischer Befund schließt jedoch keine abdominale oder thorakale Verletzung aus.

**(eFAST: extended Focused Assessment with Sonography in Trauma)*

FAST ist definiert als Methode zur sonografischen Blutungsdetektion in folgenden Regionen: Perikard, Morison pouch (zwischen Leber und Niere), Koller pouch (zwischen Milz und Niere) und Douglas pouch (Excavatio rectouterina bzw. retrovesicalis). FAST ist in das ATLS integriert [9, 20]. Die alleinige Anwendung von FAST zum Ausschluss einer intraabdominalen Verletzung im Kindesalter ist unsicher. Die Sensitivität beträgt 50 – 56,5%, während die Spezifität erheblich höher liegt (ca. 95%) [11, 19]. Einzelne Studien konnten zeigen, dass die Sensitivität von FAST durch die Kombination mit klinischen [24] oder laborchemischen Parametern gesteigert werden kann [21]. Für polytraumatisierte Kinder gibt es keine ausreichenden Daten zu FAST. eFAST erweitert die zu untersuchenden Regionen um die lateralen und anterioren Pleuraräume zum Nachweis eines Pneumo- und/oder Hämatothorax [15]. Im Vergleich zur CT wurde eine Sensitivität von 47% bei einer Spezifität von 99% publiziert [4]. eFAST zeigt eine vergleichbare oder sogar leicht höhere Sensitivität als die Röntgenaufnahme [17].

Bei Säuglingen < 1 Jahr mit Schädelhirntrauma kann eine transfontanelläre und transtemporale Schädelsonografie durchgeführt werden, wenn dadurch der weitere diagnostische Ablauf nicht verzögert wird.

Der transfontanelläre und transkranielle/bitemporale Ultraschall sollte entsprechend den Empfehlungen der Fachgesellschaften (z.B. DEGUM) durchgeführt und dokumentiert werden. Für die Altersgruppe bis 1 Jahr mit Schädelfraktur nach Minor-Trauma ließ sich in einer monozentrischen Beobachtungsstudie mit dem transfontanellären und transkraniellen Ultraschall eine hohe Treffsicherheit für epidurale Hämatome erreichen [23]. Dennoch gilt, dass ein negativer Befund im

Ultraschall keine intrakranielle Blutung ausschließt, insbesondere nicht im Bereich der hinteren Schädelgrube.

Abhängig vom primären Befund und im Konsens des Schockraumteams soll nach Ausschluss lebensbedrohlicher Verletzungen eine ausführliche sonografische Wiederholungsuntersuchung aller Regionen oder eine CT-Untersuchung durchgeführt werden.

CT Diagnostik nach dem Primary Survey

Voraussetzung für die nachfolgend aufgeführten Empfehlungen zur bildgebenden Diagnostik mittels CT ist die Verdachtsdiagnose Polytrauma, die auch nach dem primary survey weiterhin aufrechterhalten wird. Bei isoliertem Trauma wird auf die jeweiligen speziellen Leitlinien verwiesen.

Die Durchführung der Computertomografie bei polytraumatisierten Kindern soll im Team indiziert und zeitnah und mit altersspezifischem Untersuchungsprotokoll erfolgen, sodass diagnostische Referenzwerte* nicht überschritten werden.

*(Diagnostische Referenzwerte des Bundesamtes für Strahlenschutz, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/fachinfo/ion/drw-roentgen.pdf>)

Daten bei polytraumatisierten Erwachsenen mit reduzierter Mortalität nach Ganzkörper-CT [6, 12-14] legen nahe, vergleichbare Zusammenhänge zum Outcome auch bei polytraumatisierten Kindern zu vermuten, da eine schnelle und vollständige Detektion aller relevanten Verletzungen die Versorgung verbessern müsste. Es ist jedoch eine Reihe von Einschränkungen oder Besonderheiten bei der Übertragung der Ergebnisse zu beachten. Die Indikation zur Ganzkörper-Computertomografie soll beim polytraumatisierten Kind nach definierten Kriterien und im Konsens des Traumateams gestellt werden. Bei der Risiko-/Nutzen-Abwägung ist die alters- und geschlechtsbezogene potentielle Erhöhung des Krebsrisikos durch Überdiagnostik mittels CT zu bewerten. Die Überdiagnostik ist u.a. abhängig vom Kenntnisstand der Ärzte im Traumateam. So war die Wahrscheinlichkeit für eine Ganzkörper-CT bei

traumatisierten Kindern in Traumazentren (Level I und II) in den USA um 1,8 höher, wenn die Behandlung in keinem designierten Kinderzentrum erfolgte (ca. 62%) [18]. Bereits 2004 wurde gezeigt, dass aus den CT-Befunden bei verunfallten Kindern nur selten eine OP-Indikation gestellt wird. In einer jüngeren Studie war bei der isolierten Betrachtung von intestinalen Verletzungen nicht die CT-Diagnostik, sondern die klinische Symptomatik wegweisend für die OP-Indikation [7]. Auch bei strengerer Indikationsstellung ergab sich retrospektiv immer noch ein hoher Anteil an negativen selektiven CT- oder Ganzkörper-CT-Untersuchungen (2/3 der Patienten), und dies, obwohl die Kinder in einem Level I Zentrum über den Schockraum und nach definierten Kriterien zugewiesen wurden [16]. Andererseits wurden alle relevanten Verletzungen durch die CT-Diagnostik zu 100% detektiert. Entsprechend sollten die altersspezifischen Vitalparameter sowie das Verletzungsmuster mehr, der Unfallmechanismus weniger für eine Ganzkörper-CT-Indikation herangezogen werden. Grundsätzlich ist die rechtfertigende Indikation nach Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) durch den CT-Fachkundigen (Radiologe/Kinderradiologe) zu stellen bzw. zu bestätigen.

Die Durchführung der Ganzkörper-CT soll auf jeden Fall zeitnah erfolgen, wenn nach dem primary survey die Kriterien für einen polytraumatisierten Patienten erfüllt sind. Auch bei hämodynamischer Instabilität kann unter bestimmten Voraussetzungen und bei entsprechender Schulung des Schockraumteams die Ganzkörper-CT unmittelbar nach Eintreffen des Patienten erwogen werden. Mit einem solchen Vorgehen konnte die Zeit vom Eintreffen im Schockraum bis zum Ende der CT - Diagnostik auf im Mittel 13 min (+/- 5,8 min) reduziert werden [10]. Dies ist jedoch nur zu empfehlen, wenn optimale örtliche Bedingungen vorliegen und die Ganzkörper-Spiral-CT unmittelbar im Schockraum verfügbar ist.

Tab. 1 Definierte Kriterien für die Indikation zu einem Ganzkörper-CT bei Kindern [16]

Veränderungen der Vitalparameter:	Verletzungsmuster:
Bewusstlosigkeit, Intubation infolge des Trauma	Polytraumatisierte Kinder
GCS \leq 13 durch Trauma	Verdacht auf stumpfes Thorax-oder Bauchtrauma

Sauerstoffsättigung <90%	Lähmung oder Verdacht auf schwere spinale Verletzung
Veränderte Atemfrequenz	instabiles Becken
Schockzeichen (Referenzwerte siehe Tab. 1 in Kap. 2.2)	mindestens 2 Frakturen der langen Röhrenknochen
	schwere Verletzungszeichen (z.B. Fraktur mit schwerer Weichteilverletzung, Amputation)

Auch bei gegebener Indikation zur Ganzkörper-CT ist das ALARA-Prinzip („as low as reasonably achievable“) anzuwenden. Moderne Multidetector-CT-Scanner haben grundsätzlich ein hohes Potential zur Dosisreduktion (automatische Dosisregulation, Spektralfilter sowie iterative Rekonstruktionsalgorithmen). Hierdurch sind Strahlenexpositionen zu erreichen, die deutlich unter den veröffentlichten Referenzwerten des BFS liegen. Ein Überschreiten dieser Werte ist nicht tolerabel und soll vermieden werden.

Nach dem nativen Scan des Schädels schließt sich die Traumspirale mit intravenöser Kontrastmittelapplikation (ab Schädelbasis) an, bei erheblichen intrakraniellen Verletzungen im nativen cCT kann zur Gefäßbeurteilung die Indikation auch auf den gesamten Schädel (z.B. bei Clivusfrakturen) ausgedehnt werden. Das kaudale Ende der Scanabdeckung richtet sich nach dem Verletzungsmuster und kann auch die untere Extremität miteinschließen, wenn es hierfür eine Indikation gibt. Mittels eines gewichtsadaptierten Kontrastmittel-Protokolls, welches eine komplette Traumspirale mit einer singulären Applikation und einem Scan in einer (venösen) Phase ermöglicht, wurden alle relevanten Verletzungen detektiert [8]. Alternativ kann auch mittels Split-Bolus-Kontrastmittelgabe sowohl ein hoher Parenchymkontrast als auch ein hoher (arterieller) Gefäßkontrast erzielt werden [22].

Bei gegebener Indikation für eine Kontrastmittel-CT sollte eine monophasische Bildakquisition ggf. mit Split-Bolus-Kontrastmittel-Applikation erfolgen.

Bei signifikanten Schädelfrakturen, die über die venösen Sinus hinwegziehen, sollte im Rahmen einer zusätzlichen KM-Gabe eine CT-Phlebographie des Schädels akquiriert werden, um eine Sinusverletzung oder Sinusthrombose nachzuweisen. Alternativ kann dies auch bereits in der Traumaspirale ausreichend erfasst sein. Das Wissen um das Vorliegen einer Sinusbeteiligung hat für die unmittelbare operative Versorgung eines sinusnahen Hämatoms oder für die konservative Therapie (Steigerung des intrakraniellen Druckes durch venöse Abflussstörung, Frage der Heparinisierung bei Sinusverletzung) eine große Bedeutung.

Gegen den Einsatz der MRT einschließlich der Ganzkörper-MRT in der Schockraumphase sprechen in erster Linie die Verfügbarkeit und die u.U. erhebliche Verzögerung der Therapie durch zu lange Untersuchungszeiten. Die MRT besitzt aufgrund der vergleichbaren oder höheren Sensitivität bei intrakraniellen oder spinalen Verletzungen einen hohen Stellenwert nach dem secondary survey oder in der Verlaufskontrolle (s. 3.2.3).

Bildgebung nach dem Primary und Secondary Survey

Falls unklar bleibt, ob eine relevante Verletzung am Stammskelett oder am Thorax besteht und keine unmittelbare CT-Diagnostik dieser Region durchgeführt wird, sollte die Diagnostik mittels konventioneller Röntgenaufnahmen durchgeführt werden. Bei Frakturverdacht an einer oder mehreren Extremitäten, die primär nicht durch eine CT erfasst wurden, sollte dies zeitnah mittels Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen abgeklärt werden. Bei offensichtlichen Frakturzeichen und gegebener OP-Indikation ist eine Ebene meist ausreichend.

Die kraniale oder spinale MRT ist in der Verlaufskontrolle oder bei speziellen Fragestellungen (diffuse axiale Injury oder diskoligamentäre Verletzung) in der post-Schockraumphase indiziert. Sie kann auch aufgrund höherer Sensitivität sowie Spezifität als Untersuchungsverfahren für Parenchymläsionen eingesetzt werden [2]. Dies gilt auch bei fehlender Erholung des Kindes bzw. bewusstlosen Patienten im Verlauf. Auch bei nicht sedierten Kindern zeigt die MRT eine zuverlässige Detektion von

intrakraniellen Hämatomen und Parenchymverletzungen [25]. Die Bedeutung der MRT zeigt einer Metaanalyse von 2015, hier konnte bei pädiatrischen Patienten mit Wirbelsäulentrauma ohne Fraktur oder Dislokationsnachweis, aber akut posttraumatischem neurologischem Defizit in 57% der Fälle ein pathologischer Befund in der MRT nachgewiesen werden. Die Mehrzahl betraf intraspinale Pathologien, weniger häufig fanden sich extraspinale oder kombinierte Verletzungen [3].

Verletzungen von Harnblase und Urethra sollten mittels Kontrastmittelfüllung der Blase beurteilt werden. Dies erfolgt meist im Rahmen der CT-Untersuchung nach intravenöser Gabe von Kontrastmittel in der Ausscheidungsphase, alternativ durch spezielle uroradiologische Techniken wie MCU oder die retrograde Beurteilung der Urethra bei der UCG. Verletzungen von Weichteilen und parenchymatösen Organen – insbesondere Abdomen und Retroperitoneum – können bei entsprechender Expertise sonografisch (ggf. mit Anwendung von Ultraschallkontrastmittel im off label use; „Contrast enhanced ultrasound“ [CEUS]) verlaufskontrolliert und somit aufwändige gezielte MRT- bzw. strahlenintensive CT-Untersuchungen mit KM-Gabe eingespart werden.

1 Antevil JL, Sise MJ, Sack DI et al. Spiral computed tomography for the initial evaluation of spine trauma: A new standard of care? *J Trauma* 2006; 61:382-387

2 Ashwal S, Holshouser BA, Tong KA. Use of advanced neuroimaging techniques in the evaluation of pediatric traumatic brain injury. *Developmental neuroscience*. 2006; 28:309-326

3 Boese CK, Oppermann J, Siewe J et al. Spinal cord injury without radiologic abnormality in children: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2015; 78:874-882

4 Brook OR, Beck-Razi N, Abadi S et al. Sonographic detection of pneumothorax by radiology residents as part of extended focused assessment with sonography for trauma. *J Ultrasound Med* 2009; 28:749-755

5 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; 58:890-895

6 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. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; 77:534-539

- 7 Chatoorgoon K, Brown RL, Garcia VF, Falcone RA, Jr. Role of computed tomography and clinical findings in pediatric blunt intestinal injury: a multicenter study. *Pediatr Emerg Care* 2012; 28:1338-1342
- 8 Eichler K, Marzi I, Wyen H et al. Multidetector computed tomography (MDCT): simple CT protocol for trauma patient. *Clin Imaging* 2015; 39:110-115
- 9 Han DC, Rozycki GS, Schmidt JA, Feliciano DV. Ultrasound training during ATLS: an early start for surgical interns. *J Trauma* 1996; 41:208-213
- 10 Hilbert P, zur Nieden K, Hofmann GO et al. New aspects in the emergency room management of critically injured patients: a multi-slice CT-oriented care algorithm. *Injury* 2007; 38:552-558
- 11 Holmes JF, Gladman A, Chang CH. Performance of abdominal ultrasonography in pediatric blunt trauma patients: a meta-analysis. *J Pediatr Surg* 2007; 42:1588-1594
- 12 Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *Lancet* 2009; 373:1455-1461
- 13 Huber-Wagner S, Biberthaler P, Haberle S et al. Whole-body CT in haemodynamically unstable severely injured patients--a retrospective, multicenter study. *PloS one* 2013; 8:e68880
- 14 Huber-Wagner S, Mand C, Ruchholtz S. Effect of the localisation of the CT scanner during trauma resuscitation on survival -- a retrospective, multicentre study. *Injury* 2014; 45 Suppl 3:S76-82
- 15 Kirkpatrick AW, Ng AK, Dulchavsky SA et al. Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: confirmation by computed tomography. *J Trauma* 2001; 50:750-752
- 16 Muhm M, Danko T, Henzler T et al. Pediatric trauma care with computed tomography - criteria for CT scanning. *Emerg Radiol* 2015; 22:613-21
- 17 Nandipati KC, Allamaneni S, Kakarla R et al. Extended focussed assessment with sonography for trauma (EFAST) in the diagnosis of pneumothorax: experience at a community based level I trauma center. *Injury* 2011; 42:511-514
- 18 Pandit V, Michailidou M, Rhee P et al. The use of whole body computed tomography scans in pediatric trauma patients: Are there differences among adults and pediatric centers? *J Pediatr Surg* 2016; 51:649-653
- 19 Schöneberg C, Tampier S, Hussmann B et al. [Diagnostic management in paediatric blunt abdominal trauma - a systematic review with metaanalysis]. *Zentralbl Chir* 2014; 139:584-591
- 20 Shackford SR. Focussed ultrasound examinations by surgeons: the time is now. *J Trauma* 1993; 35:181-182
- 21 Sola JE, Cheung MC, Yang R et al. Pediatric FAST and elevated liver transaminases: an effective screening tool in blunt abdominal trauma. *J Surg Res* 2009; 157:103-107
- 22 Thomas KE, Mann EH, Padfield N et al. Dual bolus intravenous contrast injection technique for multiregion paediatric body CT. *Eur Radiol* 2015; 25:1014-1022

23 Trenchs V, Curcoy AI, Castillo M et al. Minor head trauma and linear skull fracture in infants: cranial ultrasound or computed tomography? *Eur J Emerg Med* 2009; 16:150-152

24 Tummers W, van Schuppen J, Langeveld H et al. Role of focussed assessment with sonography for trauma as a screening tool for blunt abdominal trauma in young children after high energy trauma. *South Afr J Surg* 2016; 54:28-34

25 Young JY, Duhaime AC, Caruso PA, Rincon SP. Comparison of non-sedated brain MRI and CT for the detection of acute traumatic injury in children 6 years of age or less. *Emerg Radiol* 2016; 23:325-331

26 Tsiflikas I, Thomas C, Ketelsen D, et al. High pitch computed tomography of the lung in pediatric patients: an intraindividual comparison of image quality and radiation dose to conventional 64 MDCT. *RöFo* 2015; 186:585 – 590

3.4 Soforttherapie Schädel/Gehirn (Schuhmann, Ludwig, Lehner)

Die Fokussierung auf ein Schädel-Hirn-Trauma im Rahmen der Schockraumdiagnostik und -therapie hängt im Wesentlichen ab von

- dem initialen Bewusstseinszustand des Kindes am Unfallort,
- der Tatsache, ob das Kind aufgrund eines primär eingeschränkten Bewusstseinszustandes (GCS \leq 9) intubiert oder
- bei guter Vigilanz aufgrund von Begleitverletzungen intubiert wurde,
- äußeren Zeichen der Gewalteinwirkung im Schädel-Gesichtsbereich
- einer Abnahme des Bewusstseinszustandes im Verlauf (bei Kindern, die noch wach im Schockraum ankommen) durch die Gabe von Analgetika/Sedativa [1].

Bei Säuglingen ergibt sich durch die offenen Schädelnähte und den Mechanismus des Traumas häufig ein Missverhältnis von geringen äußeren Verletzungszeichen und massivem intrakraniell Trauma, so dass eine Fehleinschätzung nicht selten ist. Umso wichtiger ist die Einbeziehung von Unfallmechanismus, neurologischem Befund und seinem zeitlichen Verlauf [2]. Ein besonderes Augenmerk verlangen Kinder mit vorbestehenden neurologischen Erkrankungen, Spina bifida, Hydrozephalus und Frühgeburtlichkeit.

Insgesamt zeigen Kinder eine deutlich bessere Regenerationsfähigkeit, sodass auch bei initial infaust erscheinenden Befunden eine gezielte und rasche Therapie zu einem akzeptablen neurologischen Outcome führen kann [3-5].

Beim nicht intubierten Kind erfolgt während des primary survey die sofortige Überprüfung des Neurostatus. Dies beinhaltet neben GCS oder AVPU die Fokussierung auf Seitengleichheit der Bewegungen und die Pupillomotorik (Anisokorie, Lichtreaktion). Beim intubierten/sedierten Kind muss man sich auf die Pupillomotorik beschränken, die durch eine Untersuchung des Cornealreflexes ergänzt wird, falls das Kind nicht relaxiert ist. In diesem Fall kann auch nochmals ein Seitenunterschied in der Bewegung auf Schmerzreize bei flacher Sedierung untersucht und das Babinsky-Zeichen zumindest bei älteren Kindern als Hinweis auf eine zentrale Schädigung überprüft werden.

Im Rahmen der Sicherung der Vitalfunktionen ist eine Normoxie, Normokapnie (etCO₂ 35-40 mmHg) und Normotension im oberen Bereich der Altersperzentilen anzustreben (Tab. 1).

Tabelle 1: Normwerte nach EPALS-Course-Manual ⁶

Alter	Atemfrequenz (Obergrenze) [1/min]	Herzfrequenz (Obergrenze) [1/min]	SAP (Untergrenze) [mmHg]	MAP (Untergrenze) [mmHg]
1 Monat	35 (55)	120 (175)	60 (50)	45 (35)
1 Jahr	30 (40)	110 (170)	80 (70)	55 (40)
2 Jahre	25 (30)	100 (160)	90 (70) + 2x Alter	55 (40) +
6 Jahre	20 (25)	90 (130)		1,5xAlter
12 Jahre	15 (20)	80 (100)	12 (90)	80 (65)

Tab. 2: Vergleichende Übersicht der klinischen Zeichen und Kriterien für eine CT-Untersuchung [7, 8]

	CATCH	CHALICE	PECARN <2 Jahre	PECARN ≥2 Jahre
Unfallmechanismus	Autounfall, Sturz aus ≥0,91m oder 5 Stufen, Fahrradsturz ohne Helm	Verkehrsunfall >64km/h, Sturz aus >3m, Hochrasanz-Anprall durch Objekt	Schwerer Autounfall, Autounfall mit Radfahrer oder Fußgänger ohne Helm, Sturz >0,9m, Anprall durch Objekt	s. <2 Jahre ausser Sturz aus >1,5m
Anamnese	Zunehmende Kopfschmerzen	Bewusstlosigkeit >5min Erbrechen > 3mal Amnesie >5min Verdacht auf Kindsmisshandlung Krampfanfall	Bewusstlosigkeit ≥5s Auffälliges Verhalten nach Angabe der Eltern	Bewusstlosigkeit, Vermutete Bewusstlosigkeit Erbrechen
Untersuchung	GCS<15, 2h nach Unfall, Irritabilität Kalottenfraktur, großes Hämatom Kalotte	GCS<14 oder <15 bei <1Jahr, Schwindel, Fokal neurologisches Defizit, Zeichen für Schädelbasisfraktur, Kalottenfraktur, gespannte Fontanelle, Verletzung <5cm bei <1Jahr	GCS<15, veränderte Bewusstseinslage (Agitiertheit, Somnolenz, repetitives Fragen, Verlangsamung), Verdacht auf Kalottenfraktur, Hämatom occipital, parietal, temporal	s. <2Jahre und Klinische Zeichen für Schädelbasisfraktur statt Kalottenfraktur

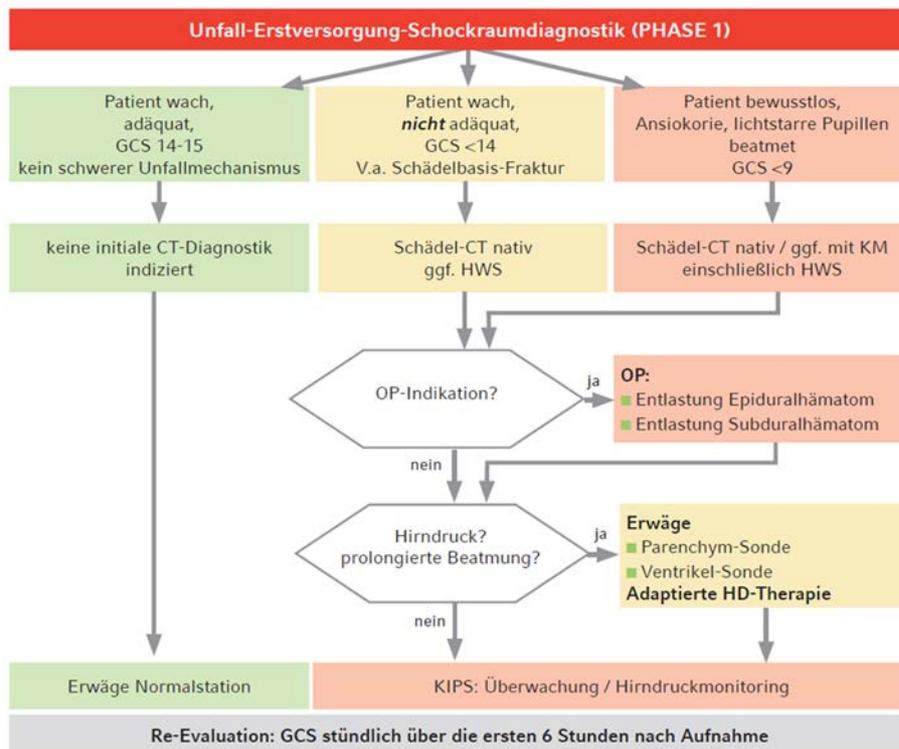


Abb. 1: Algorithmus zur Schockraumversorgung beim Schädel-Hirn-Trauma im Kindesalter (9)

Neurochirurgische Sofortmaßnahmen im Schockraum

Zeigt die initiale kraniale Computertomographie (cCT) [1, 8] eine raumfordernde intrakranielle Blutung (akutes epidurales oder subdurales Hämatom, große Kontusionsblutung) oder eine raumfordernde Impressionsfraktur, ergibt sich eine absolute und dringliche Operationsindikation. Die Definition von „raumfordernd“ ergibt sich dabei durch eine signifikante Verlagerung zerebraler Strukturen, insbesondere des normalerweise in der Mittellinie gelegenen 3. Ventrikels bzw. des Septum pellucidum zwischen den Seitenventrikeln. Neben dem Befund in der Computertomographie (Dicke, Volumen und Lokalisation des Hämatoms bzw. des imprimierten Knochens, Ausmaß der Mittellinienverlagerung, Abb. 2) 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.

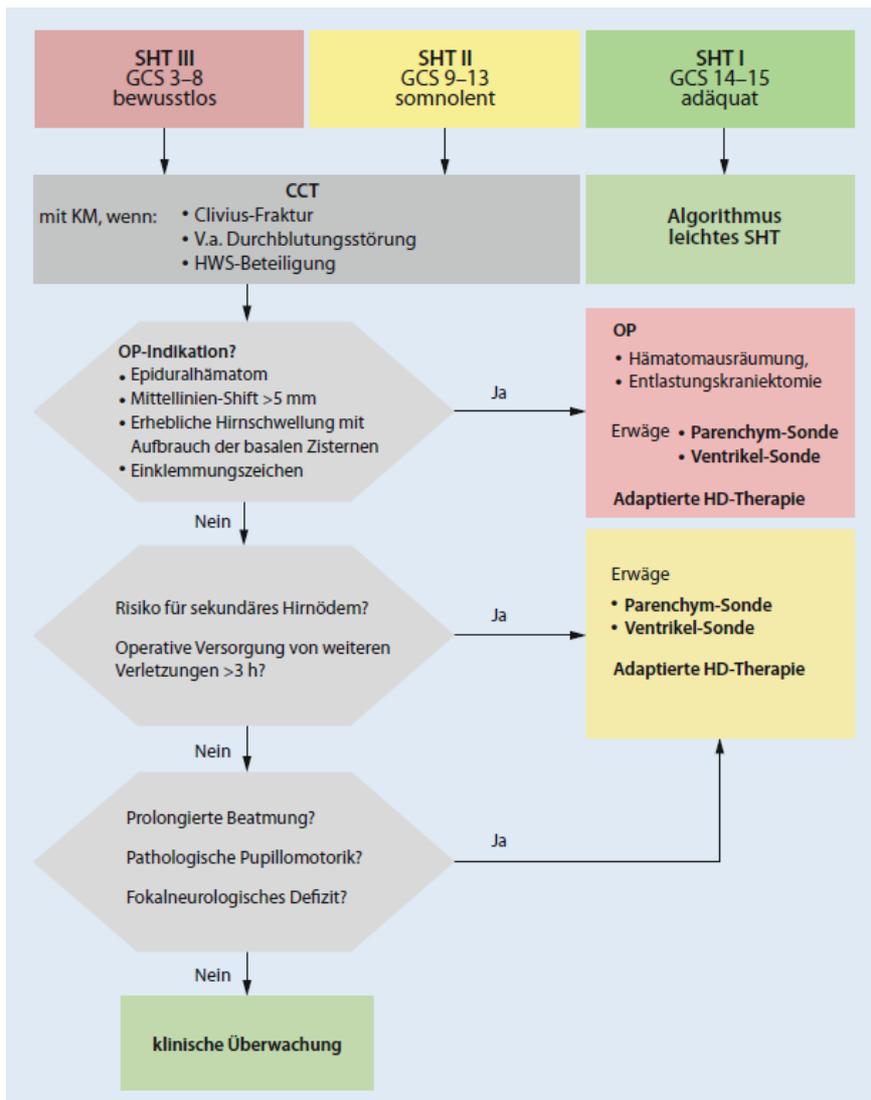


Abb. 2: Algorithmus von Diagnostik und Therapieoptionen beim schweren Schädel-Hirn-Trauma im Kindesalter, nach [9]

Diese sofortigen operativen Maßnahmen sollten in der Regel nicht im Schockraum durchgeführt werden, da hierfür eine suffiziente Kreislaufstabilität des Kindes notwendig ist. Ist diese gegeben, erlaubt sie auch den Transport in den Operationsaal. Nur dort bestehen optimale Voraussetzungen für eine schnelle, effektive und sichere neurochirurgische Operation. Der Transfer in den OP-Saal sollte dabei so schnell wie möglich erfolgen, die OP soll ggf. mit der operativen Versorgung anderer Verletzungen kombiniert werden. Operative Maßnahmen zur Sicherung bzw. Wiederherstellung eines suffizienten Kreislaufes bzw. Oxygenierung haben Vorrang. Eine funktionierende Blutgerinnung muss vor Beginn einer Schädeltrepanation hergestellt werden. Eine Schädeltrepanation sollte nur begonnen werden, wenn ausreichend Blutprodukte zur

Substitution vorhanden sind und die bestmögliche anästhesiologische Präsenz im OP besteht. Nach Schädelöffnung bestehen die signifikante Gefahr von relevantem Blutverlust, Gerinnungsentgleisung und ein Einbrechen des Kreislaufs/Schock, was insbesondere für ein kleineres Kind schnell vital bedrohlich werden kann. Trotzdem gilt auch hier das Prinzip „time is brain“, das heißt, dass bei einer sich unmittelbar entwickelnden Einklemmungssymptomatik erst eine Reduktion der Raumforderung erfolgen muss, auch wenn sich den Kreislauf stabilisierende Maßnahmen dadurch um Minuten verzögern können. Anderenfalls kommt es durch die Einklemmung zu einer nicht mehr kontrollierbaren und therapierbaren Situation mit massiver Bradykardie, Cushingreflex und Blutdruckanstieg. Es ist deshalb bereits im Schockraum dafür zu sorgen, dass diese Voraussetzungen nach der Entscheidung zum Transfer in den OP unmittelbar geschaffen werden (Anforderung von Blutprodukten und ggf. (Kinder-) anästhesiologischer/(Kinder-) neurochirurgischer Hintergrunddienst), um den Zeitverlust im OP bis zum Beginn der Trepanation zu minimieren.

Bei nachgewiesener Mittellinienverlagerung mit radiologisch nachgewiesener transtentorieller Herniation (mit oder ohne Anisokorie mit Erweiterung der Pupille der betroffenen Seite) kann zur Überbrückung bis zur Trepanation der Versuch einer ICP-Senkung mit der Gabe von Mannitol 20% (0.5–1g/kg über 10 Minuten) oder hypertonem Kochsalz (3%ig 1–3ml/kg, max. 250 ml oder 23,4%ig 0.5 ml/kg, maximal 30ml über 10 Minuten) erwogen werden [5, 11], dies sollte aber nicht zu einer Zeitverzögerung bei der Verbringung in den OP führen.

Bei einem ausgedehnten Epiduralhämatom und bereits erfolgter transtentorieller Einklemmung mit Pupillenerweiterung ist die Anlage eines entlastenden Bohrloches bereits im Schockraum indiziert, um Zeit bis zur Kreislaufstabilisierung zu gewinnen (z.B. durch ein mobiles, manuelles Trepanationsset im Rucksacksystem zur Absaugung von epiduralem Blut). Dies ist abhängig von der unmittelbaren Verfügbarkeit eines Trepanationssiebes inklusive Trepansystem im Schockraum, von der individuellen Erfahrung des Neurochirurgen/Traumatologen, der spezifischen Gesamtsituation (z.B. Gerinnung) und der Lokalisation des Hämatoms und sollte absoluten Ausnahmesituationen vorbehalten sein. Unter keinen Umständen darf durch den Versuch einer Not-Trepanation im Schockraum eine Zeitverzögerung bei

kreislaufstabilisierenden Maßnahmen oder bei der generellen Verbringung des Patienten in den OP eintreten.

Anlage eine ICP-Sonde

Die Anlage eine ICP-Sonde im Schockraum ist nur in sehr seltenen Fällen indiziert, wenn

- keine raumfordernde Blutung vorhanden ist, die eine Sofort-Operation erfordert, aber
- das cCT aber den hochgradigen Verdacht auf eine schwerwiegende intrakranielle Drucksteigerung nahelegt (ggf. Notwendigkeit des direkten Transports in den OP zur Dekompressionskraniektomie, ICP-Sonde im Schockraum legen),
- das CT keinen Hinweis auf erhöhten intrakraniellen Druck ergibt, aber der Patient auch im Verlauf mit einem GCS <9 eingeschätzt wird (meist Verlegung auf die Intensivstation mit dort schnellstmöglicher Entscheidung über die Notwendigkeit der Anlage einer intrakraniellen Druckmessung).

Da CT-Bilder keine valide Abschätzung des intrakraniellen Druckes erlauben, sollte dieser invasiv gemessen werden, wenn bei einem Kind mit GCS < 9 der hochgradige Verdacht im CT auf eine schwerwiegende intrakranielle Drucksteigerung besteht, um eine fundierte Entscheidung über das unmittelbare Procedere zu treffen.

Eine CPP-gesteuerte Therapie des erhöhten Hirndruckes ist abhängig von einer direkten Messung des intrakraniellen Druckes [12, 13]. Dieser soll mittels parenchymatöser Hirndrucksonde gemessen werden. Eine solche Situation kann im Schockraum in seltenen Fällen im Rahmen eines schweren diffusen axonalen Schädel-Hirn-Traumas ohne raumfordernde Blutung, aber mit früher Hirnschwellung (Zunahme des intrakraniellen Blutvolumens) entstehen. Je jünger das Kind, je unreifer die Hirnentwicklung, desto schneller und massiver kann sich eine Hirnschwellung entwickeln. Erwartete Konsequenz einer ICP-Messung im Schockraum muss die Entscheidung zur initialen Dekompressionkraniektomie ohne konservative Therapieversuche zur Senkung des intrakraniellen Druckes unter intensivmedizinischen Bedingungen sein [11]. Aufgrund der assoziierten kurzfristigen wie langfristigen

Morbidität einer Dekompressionskraniektomie im Kindesalter sollte eine solche Entscheidung vermieden werden, wenn Hinweise auf eine zusätzliche hypoxisch-ischämische Schädigung im Rahmen der Erstversorgung und Stabilisierung am Unfallort bestehen.

Im Regelfall erfolgt die Anlage der ICP-Sonde bettseitig auf der Intensivstation mit dem unmittelbaren Beginn aller konservativen Maßnahmen zur ICP-Senkung, die im Schockraum noch nicht begonnen wurden (z.B. Optimierung der Sedierung, ggf. Relaxierung, Optimierung des PaCO₂, Blutdruckoptimierung, Osmotherapie [14]). Die Indikation einer ICP Sonde ergibt sich auch, wenn Begleitverletzungen eine längere bis mehrstündige Operation erfordern und während dieser Zeit kein Monitoring der intrakraniellen Verhältnisse möglich ist. Diese erfolgt dann zweckmäßig zu Beginn der operativen Versorgung im Saal der anderen Disziplin, um Zeitverzögerungen auszuschließen.

Der Standard zur Messung des intrakraniellen Druckes sollte die intraparenchymatöse Hirndrucksonde mittels Kalottenschraube sein, welche ca. 2cm subdural mit ihrem Druckaufnehmer platziert wird. Alternativ kann bei ausreichend weitem Ventrikelsystem (was bei zuvor hirngesunden Kindern mit schwerem SHT in der Regel nicht gegeben ist) eine externe Ventrikeldrainage (EVD) zur ICP Messung und therapeutischen Liquordrainage angelegt werden. Eine EVD-Anlage sollte eher im OP unter sonografischer Kontrolle oder im CT unter Schnittbildkontrolle als im Schockraum erfolgen, es sei denn, es liegen stark erweiterte Ventrikel z.B. bei vorbestehendem Hydrocephalus vor. Im Allgemeinen sollte eine ICP-Messung in der schwerer betroffenen Hemisphäre installiert werden, auch wenn es Situationen (z.B. kongenitale Fehlbildung, liegender VP-Shunt) gibt, in denen man die bildmorphologisch weniger betroffene Seite monitoren sollte.

Entlastungskraniektomie

Die Möglichkeit der Entlastungskraniektomie kann im Kindesalter bereits in der Frühphase erwogen werden, wenn sich diese Patienten entweder akut neurologisch verschlechtern oder immer neurologisch schlecht waren und sich ein massiv erhöhter Druck durch alle konservativen Maßnahmen nicht senken lässt [11, 14].

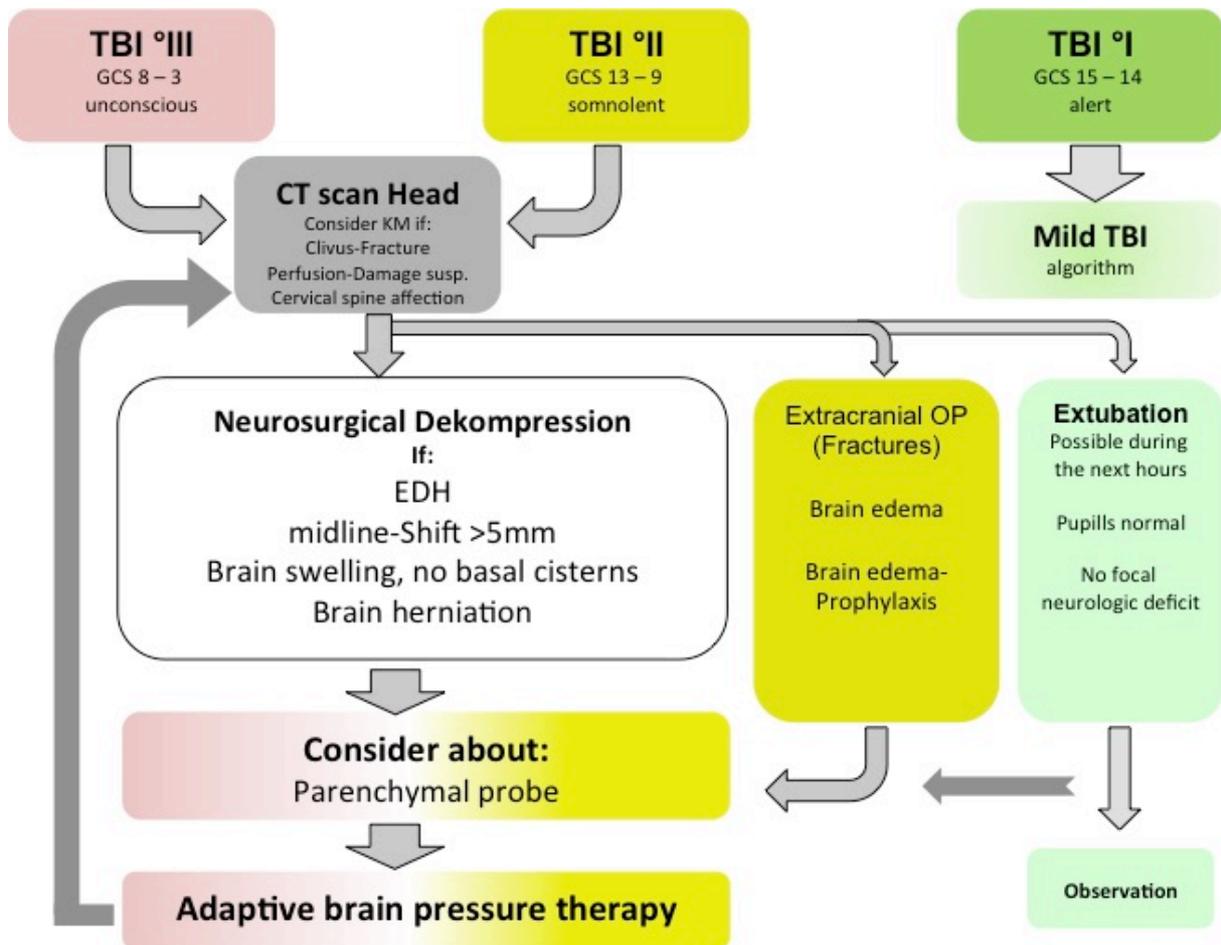


Abb. 3: Behandlungsalgorithmus für Bildgebung, ICP-Monitoring und Hirndrucktherapie in typischer Abfolge

Was sollte vermieden werden

Beim schweren Schädel-Hirn-Trauma sollten Hirndruck-steigernde Medikamente (z.B. Glyceroltrinitrat, Enfluran, Lachgas oder Neostigmin) und/oder eine Antikoagulation mit niedermolekularem Heparin vermieden werden. Das Weitropfen der Pupillen für eine augenärztliche Beurteilung des Augenhintergrundes sollte kritisch diskutiert und ggf. zeitversetzt und einseitig erfolgen. Für Ketamin besteht keine Kontraindikation. Die Anlage eines ZVK in einer Jugularvene kann aufgrund einer möglichen Behinderung des zentralvenösen Abflusses vermieden werden, wenn keine Kontraindikation für Alternativen (z.B. V. subklavia, V. femoralis) bestehen und diese ebenso schnell wie sicher angelegt werden können.

- 1 Dunning J, Daly JP, Lomas J-P, et al. Derivation of the children's head injury algorithm for the prediction of important clinical events decision rule for head injury in children. *Arch Dis Child* 2006; 91: 885–91.
- 2 Kuppermann N, Holmes JF, Dayan PS, et al. Identification of children at very low risk of clinically-important brain injuries after head trauma: a prospective cohort study. *Lancet* 2009; 374: 1160–70.
- 3 Emami P, Czorlich P, Fritzsche FS, et al. Impact of Glasgow Coma Scale score and pupil parameters on mortality rate and outcome in pediatric and adult severe traumatic brain injury: a retrospective, multicenter cohort study. *J Neurosurg* 2017; 126: 760–7.
- 4 Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, et al. Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition. *Pediatric Critical Care Medicine* 2019; 20: S1–S82.
- 5 Bell MJ, Adelson PD, Wisniewski SR, Investigators of the ADAPT Study,. Challenges and opportunities for pediatric severe TBI-review of the evidence and exploring a way forward. *Childs Nerv Syst* 2017; 33: 1663–7.
- 6 Vavilala MS, Bowen A, Lam AM, et al. Blood pressure and outcome after severe pediatric traumatic brain injury. *J Trauma* 2003; 55: 1039–44.
- 7 Lyttle MD, Crowe L, Oakley E, Dunning J, Babl FE. Comparing CATCH, CHALICE and PECARN clinical decision rules for paediatric head injuries. *Emerg Med J* 2012; 29: 785–94.
- 8 Osmond MH, Klassen TP, Wells GA, et al. Validation and refinement of a clinical decision rule for the use of computed tomography in children with minor head injury in the emergency department. *CMAJ* 2018; 190: E816–22.
- 9 Lehner M, Hoffmann F, Kammer B, et al. [Reduction of treatment time for children in the trauma room care : Impact of implementation of an interdisciplinary trauma room concept (iTRAPS)]. *Anaesthetist* 2018; 67: 914–21.
- 10 Giza CC, Mink R, Madikians A. Pediatric traumatic brain injury: not just little adults. *Curr Opin Crit Care* 2007; 13: 143–52.
- 11 Young AMH, Koliass AG, Hutchinson PJ. Decompressive craniectomy for traumatic intracranial hypertension: application in children. *Childs Nerv Syst* 2017; 33: 1745–50.
- 12 Pedersen SH, Lilja-Cyron A, Astrand R, Juhler M. Monitoring and Measurement of Intracranial Pressure in Pediatric Head Trauma. *Front Neur* 2019; 10: 1376.
- 13 Mouchtouris N, Turpin J, Chalouhi N, et al. Statewide Trends in Intracranial Pressure Monitor Use in 36,915 Patients with Severe Traumatic Brain Injury in a Mature Trauma System over the Past 18 Years. *World Neurosurg* 2019; 130: e166–71.
- 14 Hutchinson PJ, Koliass AG, Tajsic T, et al. Consensus statement from the International Consensus Meeting on the Role of Decompressive Craniectomy in the Management of Traumatic Brain Injury: Consensus statement. *Acta Neurochir (Wien)* 2019; 161: 1261–74.

3.5 Soforttherapie Thorax und Abdomen (Wessel)

Obwohl Thorax- und Abdominalverletzungen bei Kindern und Jugendlichen deutlich seltener als bei Erwachsenen vorkommen, können diese erheblich zur Morbidität und Mortalität beitragen. Deshalb ist es wichtig, lebensbedrohliche Verletzungen zu antizipieren und diese frühzeitig zu behandeln. Aufgrund der hohen Elastizität des kindlichen Thorax, insbesondere der Rippen können Abdominal- und Thoraxverletzungen ohne sichtbare oder eindeutige äußere Verletzungszeichen einhergehen und müssen aktiv nachgewiesen oder ausgeschlossen werden. Allerdings sollte man stets erwägen, welche Konsequenz aus der Diagnostik erwächst und ob diese therapeutisch bedeutsam ist. Im Gegensatz zu adulten Verletzungen treten im Kindesalter erhebliche Lungenkontusionen ohne Fraktur der Rippen auf.

Thorax

Nach dem deutlich führenden Schädelhirntrauma ist ein schweres Thoraxtrauma die zweithäufigste Todesursache bei polytraumatisierten Kindern [23]. Auch Tovar et al. wiesen einen 20-fachen Anstieg der Mortalität beim schweren Thoraxtrauma nach [33]. Blutung oder Pneumothorax können die obere Hohlvene durch Druck von außen verlegen. Ernste Bronchialverletzungen sind selten (unter 5%). Gerade bei Klein- und Schulkindern sind Dezelerationsverletzungen der großen Gefäße eine absolute Rarität, müssen aber immer mit bedacht werden.

Für eine Thoraxverletzung wurden in einer prospektiven Studie folgende Prädiktoren identifiziert:

- pathologischer klinischer und Auskultationsbefund,
- reduzierter systolischer Blutdruck,
- erhöhte altersjustierte Atemfrequenz,
- Femurfraktur und
- ein GCS < 15.

Diese benötigen eine weiterführende Untersuchung [9]. Gerade bei Kindern kommt der Auskultation eine besondere Bedeutung zu, da sie erste Hinweise auf ernste Thoraxverletzungen gibt [24].

Neben einer Röntgen-Thorax-Aufnahme kann eine thorakale Sonographie erwogen werden, die pleurale Flüssigkeitsansammlungen, ein Pneumothorax, Lungenkontusionen und eine Perikardtamponade nachweisen kann. Bei Erwachsenen ließ sich die Lungenkontusion sensitiver als in der Röntgen-Thorax-Aufnahme nachweisen [28]. Zur Wertigkeit des Röntgen-Thorax oder der thorakalen Sonografie bei polytraumatisierten Kindern liegt keine Literatur vor.

Eine notwendige Thoraxdrainage sollte bei Kindern bis zum Alter von 14 Jahren

- **nicht über Mini-Thorakotomie, sondern in Seldinger-Technik oder mit der Trokarteknik und**
- **im 4. ICR in der vorderen Axillarlinie (nicht 2. ICR medioklavikulär) gelegt werden.**

Der Spannungspneumothorax ist die häufigste reversible Ursache des traumatischen Herzkreislaufstillstandes. Im Schockraum wird die Vermutung nochmals mithilfe der klinischen Untersuchung untermauert und die Entlastung erfolgt zunächst mittels Nadeldekompression. Gerade bei kleinen Kindern ist die Punktion in Seldinger-Technik mit Pigtail-Kathetern vorteilhaft, da eine Luftleckage am Katheter vermieden wird. Ist diese Maßnahme nicht erfolgreich und persistiert der Pneumothorax, so sollte v.a. bei Jugendlichen eine Drainage über Minithorakotomie gelegt werden. Wird ein relevanter Hämatothorax bei größeren Kindern und Adoleszenten festgestellt, ist die Entlastung mittels großlumiger Drainage über eine Minithorakotomie indiziert. In den meisten Fällen genügt die Anlage einer Drainage, wobei auf die Menge des Blutverlustes geachtet werden muss. Eine unstillbare Blutung (anhaltend über 40ml/kgKG/Tag, mit konservativen Maßnahmen nicht beherrschbar) bzw. eine mit konservativen Maßnahmen nicht beherrschbare Luftfistel ist eine Indikation für eine Thorakotomie, um die Blutungsursache aufspüren und beseitigen zu können und Lungenlazerationen zu übernähen bzw. zu resezieren. Es sollte stets eine Parenchym-sparende Operation gewählt werden.

Besteht der klinische Verdacht auf eine tracheobronchiale Verletzung (Weichteilemphysem, Mediastinalemphysem), so sollte die Indikation zur Tracheobronchoskopie gestellt werden. Die meisten Bronchial- oder gar

Trachealverletzungen lassen sich konservativ mit gezielter Drainage und kontrollierter Beatmung ausheilen [24]. Als ultima ratio muss eine ECMO-Therapie (Extrakorporale Membranoxygenierung) erwogen werden. Unter ECMO kann die Beatmung deutlich reduziert werden, so dass bronchiale Verletzungen abheilen können. Bei größeren Verletzungen mit persistierender Luftleckage wird die operative Therapie unumgänglich sein. Insbesondere bei beidseitigen Verletzungen bietet sich als ultima ratio im Schockraum oder dem OP die Clamshell-Thorakotomie an. Durch diesen Zugang mit querer beidseitiger Thorakotomie incl. querer Sternotomie werden Herz, große Gefäße und Lungen komplett exponiert. Man erzielt Zugang zu nahezu allen Strukturen und kann bei unklaren Verletzungslokalisationen zur digitalen Kompression oder zum Packing greifen [36].

Für den seltenen Fall einer Aortenverletzung bestehen keine Daten zur optimalen Behandlung. Analog zu den adulten Verletzungen sollte stets die Möglichkeit einer interventionellen Therapie im Traumateam erörtert werden. In wie fern eine hypotensive Behandlung auch im Kindesalter vorteilhaft ist, bleibt unklar, erscheint aber logisch. Dies wird jedoch durch fehlende Daten zum niedrigsten tolerablen Blutdruck erschwert.

Penetrierende Verletzungen im Kindesalter sind eine Rarität. Fremdkörper sollen belassen und erst unter kontrollierten Bedingungen im Operationssaal nach Thorakotomie unter Sicht entfernt werden. Kommt es nach penetrierenden Verletzungen zu hämodynamisch relevanter Blutung, so soll die sofortige Exploration erfolgen.

Bei Verdacht auf Contusio cordis nach direkter Traumatisierung der Brustwand oder Quetschverletzungen erfolgen laborchemische (Herzenzyme), elektrophysiologische (12-Kanal-EKG) und echokardiographische Untersuchungen [13]. Die Myokardschädigung kann zu Rhythmusstörungen führen. Ein Perikarderguss muss sofort ausgeschlossen werden.

Abdomen

Man spricht von einem Abdominaltrauma, wenn stumpfe Gewalteinwirkung durch Hochgeschwindigkeitstrauma oder lokalisierte Traumatisierung wie beim Sturz auf

einen Gegenstand zu einer Schädigung der intraabdominellen Organe führt. Zu der Genauigkeit der Anamnese und klinischen Untersuchung im Kindesalter liegen keine verlässlichen Daten vor.

Bei Kindern geht man in ca. 20% von einer intraabdominellen Organverletzung nach Polytrauma mit abdomineller Beteiligung aus, die in 10% davon tödlich verlaufen [27]. Für die Aussagekraft der abdominellen Schmerzhaftigkeit bezüglich einer intraabdominellen Verletzung liegen entsprechende Daten für Kinder nicht vor. Bei ansprechbaren und kooperativen Kindern sollte nach Prell- bzw. Gurt- oder sonstigen Marken in Verbindung mit Druckschmerz und Abwehrspannung gesucht werden. Weitere mögliche Risikofaktoren sind eine Hämaturie, Zeichen der Thoraxtraumatisierung sowie laborchemisch der Anstieg der Transaminasen, Abfall des Hämatokrits und ein niedriger Blutdruck (altersadaptiert!) [27].

Die Kapsel um einige Organe wie Milz und Leber ist bei Kindern im Vergleich zum Erwachsenenalter viel dicker und elastischer, so dass gerade intraparenchymatöse Blutungen bzw. subkapsuläre Hämatoome häufiger auftreten. Andererseits stellen Bauch- und Thoraxwand mit geringer ausgebildeter Muskel- und Fettschicht eine weniger schützende Barriere dar. Hinzu kommen die viel elastischeren Rippen, die beim Trauma regelrecht in die Organe hineingepresst werden. Die geringer ausgeprägte Fettschicht um die Organe und Gefäße schützt schlechter vor Dezelerationen und lokalisiertem Druck von außen, so dass bei entsprechendem Trauma insgesamt eine größere Gefahr der Organläsion besteht [12].

Die Einteilung und Klassifizierung der Verletzungen erfolgt nach der Organ Injury Scale nach Moore und Mitarbeitern [20]. Die Milz ist am häufigsten verletzt, gefolgt von Leber und Niere, die zusammen insgesamt ca. 90% der intraabdominellen Organverletzungen ausmachen. Pankreas- und Hohlorganverletzungen sind deutlich seltener [14, 16, 22, 29, 30, 31, 35]. Das Grading hat gerade im Erwachsenenalter eine hohe therapeutische Relevanz, wird jedoch im Kindesalter zunehmend von der Bedeutung einer hämodynamischen Instabilität für die Indikation eines operativen Eingriffs abgelöst [16, 29]. 2015 erschien hierzu eine Evaluation der Leitlinie der ATOMAC [19]. Allerdings besteht keine Einigkeit darüber, welcher Parameter am besten geeignet ist für die Überwachung des hämodynamischen Zustandes im Kindesalter. Blutdruck und

Schockindex eignen sich nicht, eine schwache Evidenz wurde für das Lactat (>4.0) ermittelt [1, 2, 20].

Die Indikation zur operativen Versorgung einer parenchymatösen Verletzung soll vom hämodynamischen Zustand und nicht von der Klassifizierung der Verletzung abhängig gemacht werden.

Bei einem Transfusionbedarf von 25ml EK/kgKG/2 Stunden oder 40ml EK/kgKG/24h soll die Laparotomie / Thorakotomie erwogen werden [32].

Akute, lebensbedrohliche Blutungen aus den großen Gefäßen müssen gestillt und die Gefäße rekonstruiert werden. Embolisierungen eignen sich nicht für die Behandlung von Verletzungen der Hohlvene, Aorta, Lebervenen oder Hauptästen der Leber [8]. Das abdominelle Packing wird im Erwachsenenalter mit guten Ergebnissen durchgeführt. Genaue Daten zum Kinderalter existieren dazu nicht [10]. Es empfiehlt sich, in erster Linie die Gefäße zu rekonstruieren. Die Indikation zur Organentfernung, vor allem der Milz bzw. der Nieren sollte sehr zurückhaltend gestellt werden. Bei nicht beherrschbarer Blutung und hämodynamisch instabilen Patienten kann die Organentfernung jedoch unumgänglich sein [10]. Embolisierungen für periphere Organverletzungen mit Gefäßläsionen und Blutungen sollten auch im Kindesalter erwogen werden, obwohl dazu keine kontrollierten, geschweige denn randomisierte Studien vorliegen. Es existieren nur Falldarstellungen von erfolgreich behandelten Einzelfällen im Adoleszentenalter [7, 26, 34].

In der Schockraumphase sollen weitere abdominelle Eingriffe an den parenchymatösen Organen unterbleiben und immer die Möglichkeit einer konservativen oder interventionellen Therapie abgeklärt werden. Überhastete Entscheidungen zur Organentfernung vor allem der Milz und Niere sollen unterbleiben. Milzläsionen lassen sich zu 98% der Fälle konservativ behandeln [10, 32]. Nierenrupturen lassen sich auch interventionell behandeln. Nur bei Avulsion der Hilusgefäße muss sofort geklärt werden, ob die Rekonstruktion möglich oder eine Exstirpation unumgänglich ist [35].

- 1 Acker SN, Ross JT, Partrick DA et al. Pediatric specific shock index accurately identifies severely injured children. *J Pediatr Surg* 2015; 50:331-334
- 2 Azarakhsh N, Grimes S, Notrica DM et al. Blunt cerebro-vascular injury in children: underreported or underrecognized?: a multicenter ATOMAC study. *J Trauma Acute Care Surg* 2013; 75:1006-1011
- 3 Brun PM, Bessereau J, Chenaitia H, et al. Stay and play eFAST or scoop and run eFAST? That is the question! *Am J Emerg Med* 2014; 32:166-170
- 4 Cloutier DR, Baird TB, Gormley P et al. Pediatric splenic injuries with a contrast blush: successful nonoperative management without angiography and embolization. *J Pediatr Surg* 2004; 39:969-971.
- 5 Davies DA, Ein SH, Pearl R et al. What is the significance of contrast “blush” in pediatric blunt splenic trauma? *J Pediatr Surg* 2010; 45:916-920
- 6 Ferrera PC, Verdile PC, Bartfield JM et al. Injuries distracting from intraabdominal injuries after blunt trauma. *Am J Emerg Med* 1998; 16:145-149
- 7 Gross JL, Woll NL, Hanson CA et al. Embolization for pediatric blunt splenic injury is an alternative to splenectomy when observation fails. *J Trauma Acute Care Surg* 2013; 75:421-425
- 8 Holmes JF, Sokolove PE, Brant WE et al. Identification of children with intra-abdominal injuries after blunt trauma. *Ann Emerg Med* 2002; 39:500-509
- 9 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; 39:492-499
- 10 Ingram MCE, Siddarthan RV, Morris AD et al. Hepatic and splenic blush on computed tomography in children following blunt abdominal trauma: Is intervention necessary? *J Trauma Acute Care Surg* 2016; 81:266-270
- 11 Livingston DH, Lavery RF, Passamante MR et al. Free fluid on abdominal computed tomography with solid organ injury after blunt abdominal injury does not mandate celiotomy. *Am J Surg* 2003; 182:6-9
- 12 Lynn KN, Werder GM, Callaghan RM et al. Pediatric blunt splenic trauma: a comprehensive review. *Pediatr Radiol* 2009; 39:904-916
- 13 Marcolini EG, Keegan J. Blunt cardiac injury. *Emerg Med Clin North Am* 2015; 33:519-27.
- 14 Mayglothling JA, Haan JM, Scalea TM. Blunt splenic injuries in the adolescent trauma population: the role of angiography and embolization. *J Emerg Med* 2011; 41:21-28
- 15 McVay MR, Kokoska ER, Jackson RJ, Smith SD. Throwing out the “grade” book: management of isolated spleen and liver injury based on hemodynamic status. *J Pediatr Surg* 2008; 43:1072-1076
- 16 Mehall JR, Ennis JS, Saltzman DA et al. Prospective results of a standardized algorithm based on hemodynamic status for managing pediatric solid organ injury. *J Am Coll Surg* 2001; 193:347-353

- 17 Miglioretti DL, Johnson E, Williams A, et al. The use of computed tomography in pediatrics and the associated radiation exposure and estimated cancer risk. *JAMA pediatrics* 2013; 167:700-707
- 18 Miller MT, Pasquale MD, Bromberg WJ et al. Not so FAST. *J Trauma* 2003; 54:52-59
- 19 Notrica DM, Eubanks III JW, Tuggle DW et al. Nonoperative management of blunt liver and spleen injury in children: Evaluation of the ATOMAC guideline using GRADE. *J Trauma Acute Care Surg* 2015; 79:683-693
- 20 Moore MA, Wallace EC, Westra SJ. The imaging of paediatric thoracic trauma. *Pediatr Radiol* 2009; 39:485-496
- 21 Partrick DA, Bensard DD, Janik JS, Karrer FM. Is hypotension a reliable indicator of blood loss from traumatic injury in children? *Am J Surg* 2002; 184:555-559
- 22 Rodrigues CJ, Sacchetti JC, Rodrigues AJ Jr. Age-related changes in the elastic fiber network of the human splenic capsule. *Lymphology* 1998; 32:64-69
- 23 Sartorelli KH, Vane DW. The diagnosis and management of children with blunt injury of the chest. *Semin Pediatr Surg* 2004; 13:98-105.
- 24 Schöneberg C, Schweiger B, Metzelder M et al. [The injured child--diagnostic work-up in the emergency room]. *Unfallchirurg* 2014; 117:829-841
- 25 Schöneberg C, Tampier S, Hussmann B et al. [Diagnostic management in paediatric blunt abdominal trauma - a systematic review with metaanalysis]. *Zentralbl Chir* 2014; 139:584-591
- 26 Skattum J, Gaarder C, Naess PA. Splenic artery embolisation in children and adolescents-an 8 year experience. *Injury* 2014; 45:160-163
- 27 Sola JE, Cheung MC, Yang R et al. Pediatric FAST and elevated liver transaminases: An effective screening tool in blunt abdominal trauma. *J Surg Res* 2009; 157:103-107
- 28 Soldati G, Testa A, Silva FR et al. Chest ultrasonography in lung contusion. *Chest* 2006; 130: 533-538
- 29 St Peter SD, Sharp SW, Snyder CL et al. Prospective validation of an abbreviated bedrest protocol in the management of blunt spleen and liver injury in children. *J Pediatr Surg* 2011; 46: 173-177
- 30 Staib L, Henne-Bruns D. Neues zum stumpfen Bauchtrauma. *Chirurg* 2005; 76:927-934
- 31 Stengel D, Bauwens K, Sehouli J et al. Systematic review and meta-analysis of emergency ultrasonography for blunt abdominal trauma. *Br J Surg* 2001; 88:901-902
- 32 Stylianos S. Outcomes from pediatric solid organ injury: role of standardized care guidelines. *Curr Opin Pediatr* 2005; 17:402-406
- 33 Tovar JA. The lung and pediatric trauma. *Semin Pediatr Surg* 2008; 17:53-59
- 34 van der Vlies CH, Saltzherr TP, Wilde JC et al. The failure rate of nonoperative management in children with splenic or liver injury with contrast blush on computed tomography: a systematic review. *J Pediatr Surg* 2010; 45:1044-1049

35 Wessel LM, Scholz S, Jester I et al. Management of kidney injuries in blunt abdominal trauma in children. *J Pediatr Surg* 2000; 35:1326-1330

36 Wise D, Davies G, Coats T et al. Emergency thoracotomy: "how to do it". *Emerg Med J* 2005; 22: 22-24

3.6 Soforttherapie Skelettverletzungen (Strohm)

HWS-Immobilisierung

Die noch nicht immobilisierte Halswirbelsäule soll im Schockraum gemäß ATLS® durch eine Zervikalstütze oder eine adäquate Alternative immobilisiert werden, auch wenn dieses Vorgehen zur Vermeidung eines Sekundärschadens durch die Literatur bisher nicht belegt ist. Es verbleibt immer eine gewisse Restbeweglichkeit [4]. In biomechanischen Studien waren die Kunststoff-Orthesen geschäumten Modellen überlegen.

Extremitäten

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 orientierende Reflexstatus überprüft werden. Die nochmalige Abgrenzung von neurologischen Störungen in zentralnervöse gegenüber peripheren Ursachen ist für die Behandlung von Extremitätenverletzungen essentiell.

Bei einem instabilen Patienten wird bisweilen die Untersuchung der Extremitäten vernachlässigt und es werden Verletzungen übersehen. Übersehene Verletzungen der Extremitäten sind jedoch selten lebensbedrohend und lassen sich nach Stabilisierung des mehrfach Verletzten häufig sekundär diagnostizieren und operativ versorgen, müssen jedoch bedacht und gezielt re-evaluiert werden.

Fehlstellungen und Luxationen der Extremitäten sollen reponiert und retiniert werden.

Bei ausreichend sicherer Information durch den Rettungsdienst soll ein steriler Notfallverband bei offener Fraktur vor Erreichen des Operationsbereiches nicht geöffnet werden.

Bei nach Reposition fehlendem Puls, aber klinisch guter Durchblutung (Rekapillarisation) kann unter regelmäßiger Kontrolle zugewartet werden, bei blasser Extremität ist eine Gefäßdarstellung durchzuführen.

Das Kompartmentsyndrom muss bedacht werden und ist relativ häufig.

Die meisten Frakturen bedürfen keiner Notfallversorgung. Notfallversorgungen sind relevant für offene Frakturen, Gefäßverletzungen, Kompartmentsyndrom, Amputationsverletzungen, instabile Beckenfrakturen oder Wirbelsäulenverletzungen. Die „limitation of disability“, zu der die Behandlung der Extremitätenfrakturen in der Summe zu rechnen ist, muss jedoch ggf. zurückstehen. Da aber im Kindesalter auch schwere SHTs oder thorako-abdominale Verletzungen mit Restitutio ad integrum überlebt werden, muss die Behandlung der Extremitätenverletzungen immer in der Erwartung der Wiederherstellung des Patienten erfolgen [6, 10]. Hierzu zählt auch eine rasche antibiotische Therapie bei offenen Frakturen, da mit fortschreitender Zeit nach Trauma die Infektionsgefahr deutlich zunimmt [3].

Nach primärer Stabilisierung des Patienten fällt die Versorgung der Extremitäten aber in die „primäre Phase der definitiven Chirurgie“ am 2./3. Tag. Dabei sprechen auch die Schmerzreduktion und die Vermeidung sekundärer Effekte auf den intrakraniellen Druck für eine zügige Stabilisation [7]. Frakturversorgung reduziert systemische Effekte wie SIRS (systemic inflammatory response syndrome), Sepsis, MOF (multiple organ failure), ARDS (adult respiratory distress syndrome) [5]. Dagegen ist der pulmonale Benefit der Frakturstabilisation nicht so eindeutig wie im Erwachsenenalter [1]. Versorgungen in der hyperinflammatorischen Phase (Tage 3-5) sind zu vermeiden [5].

Becken

Bei Eintreffen des Patienten in der Klinik soll eine akut lebensbedrohliche Beckenverletzung ausgeschlossen werden. Große Serien über Beckenfrakturen im Kindesalter finden sich in der Literatur nicht. Die meisten Arbeiten berichten, dass sich

die Behandlungsrichtlinien im Wesentlichen nicht von denen bei Erwachsenen unterscheiden [9, 12].

Die klinische Untersuchung des Beckens, Suche nach äußeren Verletzungszeichen sowie die Inspektion des Abdomens durch eine Sonografie sind ebenso wie die Berücksichtigung der Unfallkinematik (Überrolltrauma) essentielle Voraussetzungen für die Diagnosestellung [8]. Als äußere klinische Zeichen können oberflächliche inguinale oder skrotale Hämatome (Destot's sign), ein veränderter Abstand Trochanter Major – Spina iliaca (Roux' sign) und ein rektal tastbares Hämatom oder Knochenkante (Earle sign) auftreten. Ggf. ist die Inspektion der Körperöffnungen mit rektaler Untersuchung erforderlich [8]. In einer Analyse des Traumaregisters DGU zeigte sich, dass schwere Beckenverletzungen im Kindesalter häufig mit Verletzungen des Abdomens oder des Thorax verbunden sind [13]. Die Diagnostik ist häufig erschwert, da viele Frakturen im Röntgen nicht erkannt werden. 20% der komplexen Beckenverletzungen im Kindesalter werden im Nativröntgen und in der CT nicht erkannt, sodass diese Untersuchungen in der Primärdiagnostik nicht empfohlen sind. Die höchste Aussagekraft hat die Kernspintomografie.

Die Notfallstabilisierung des Beckens kann durch einfache, ggf. manuelle beidseitige laterale Kompression erfolgen. Alternativ kann eine frühzeitige Stabilisierung mittels Tuschlinge oder Beckengürtel (Pelvic-Binder) erfolgen. Auch im Bereich des Schockraumes hat die breite Anwendung des Beckengurtes die notfallmäßige Stabilisierung verändert. Der kommerzielle Pelvic-Binder scheint Vorteile gegenüber der Tuschlinge zu haben. Die Beckenzwinge kommt nur selten zum Einsatz, der Fixateur externe ist zu bevorzugen [2, 8, 12]. Bei persistierender Blutung sollten eine chirurgische Blutstillung (Packing) und eine selektive Angiografie mit der Möglichkeit einer anschließenden Angioembolisation erfolgen [11]. Obwohl hier vielversprechende Daten publiziert wurden, ist der Einsatz sicher speziellen Indikationen in Zentren vorbehalten. Verlässliche, spezifische Daten für die Notfallstabilisierung des Beckens bei Kindern sind in der Literatur nicht zu finden.

Wirbelsäule

Eine Wirbelsäulenverletzung sollte nach Kreislaufstabilisierung und vor Verlegung auf die Intensivstation durch bildgebende Diagnostik abgeklärt werden. Für eine

Methylprednisolon-Gabe („NASCIS-Schema“) ist auch im Schockraum keine Indikation mehr gegeben.

1 Balci A, Kazez A, Eren S et al. Blunt thoracic trauma in children: review of 137 cases. *Eur J Cardiothorac Surg* 2004; 26:387-392

2 Gänsslen A, Hildebrand F, Heidari N, Weinberg AM. Pelvic ring injuries in children. Part II: Treatment and results. A review of the literature. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2013; 80:241-9.

3 Godfrey J, Pace JL. Type I Open Fractures Benefit From Immediate Antibiotic Administration But Not Necessarily Immediate Surgery. *J Pediatr Orthop.* 2016; 36 (Suppl 1):S6-S10.

4 Huerta C, Griffith R, Joyce SM. Cervical spine stabilization in pediatric patients: evaluation of current techniques. *Ann Emerg Med* 1987; 16:1121-1126.

5 Jakob H, Lustenberger T, Schneidmuller D et al. Pediatric polytrauma management. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2010; 36:325-338

6 Kay R, Skaggs D. Pediatric polytrauma management. *J Pediatr Orthop* 2006; 26:268-277

7 Loder R, Gullahorn L, Yian E et al. Factors predictive of immobilization complications in pediatric polytrauma. *J Orthop Trauma* 2001; 15:338-341

8 Nowack K, Schlickewei W [Injuries of the pelvis and apophysis in childhood and adolescence]. *Unfallchirurg* 2013; 116:1069-1075

9 Rieger H, Brug E. Fractures of the pelvis in children. *Clin Orthop Relat Res.* 1997; 336:226-39.

10 Strohm PC, Schmittenebecher PP. [Fracture stabilization in polytraumatized children]. *Unfallchirurg* 2011; 114:323-32

11 Vo NJ, Althoen M, Hippe DS et al. Pediatric abdominal and pelvic trauma: safety and efficacy of arterial embolization. *J Vasc Interv Radiol* 2014; 25:215-220

12 Zwingmann J, Aghayev E, Südkamp NP et al. Pelvic Fractures in Children Results from the German Pelvic Trauma Registry: a cohort study. *Medicine (Baltimore)* 2015; 94:e2325

13 Zwingmann J, Lefering R, Maier D et al. Pelvic fractures in severely injured children: Results from the TraumaRegister DGU. *Medicine (Baltimore).* 2018;97:e11955

3.7 Gerinnungstherapie (Olivieri, Kurnik)

Gerinnungssystem und Therapie der Trauma-induzierten Koagulopathie

Neben dem Schädelhirntrauma stellen Blutungen die häufigste Todesursache bei polytraumatisierten Erwachsenen dar. Diese Blutungen werden durch das Vorliegen einer zusätzlich erworbenen Trauma-induzierten Koagulopathie (definiert als INR > 1,5 bei Aufnahme) deutlich verstärkt. Die Trauma-induzierte Koagulopathie stellt auch im Kindesalter ein eigenes Krankheitsbild mit Einflüssen auf das Überleben dar. Für das polytraumatisierte Kind existieren jedoch derzeit nur wenige Daten zu Inzidenz und Outcome der Trauma-induzierten Koagulopathie [11, 23, 30]. Verschiedene Studien zeigen eine Inzidenz von bis zu 28% [12]. Rückschlüsse aus diesen Daten sind allerdings nur eingeschränkt möglich, da es sich fast ausschließlich um Daten/Fallserien aus Krisengebieten handelt.

Somit liegen keine ausreichenden Daten zur evidenzbasierten Therapie der Trauma-induzierten Koagulopathie bei Kindern vor!

Analog zu den Erwachsenen sind jedoch die pathophysiologischen Zusammenhänge der gestörten Gerinnung und daraus resultierende Therapieoptionen schlüssig - es fehlt aber die Bestätigung durch randomisierte, kontrollierte Studien. In den meisten Fällen handelt es sich um Expertenempfehlungen. Entsprechend niedrig ist der Evidenzgrad. Viele der folgenden Empfehlungen orientieren sich an den Leitlinien für Erwachsene. Ein Vorteil für die Anwendung im Kindesalter kann derzeit nur postuliert werden. Die gewichtsabhängigen Dosierungen für Kinder werden im Folgenden angeführt.

Als Grundlage der Therapieempfehlungen gilt die aktuelle Querschnittsleitlinie zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten der Bundesärztekammer (BÄK) [1]. Die Indikation zur Substitution ist ausschließlich vital lebensbedrohlichen Blutungen vorbehalten, Laborauffälligkeiten ohne klinisches Korrelat bedürfen keiner Therapie. Wichtig sind die Kenntnis der altersabhängigen Normalwerte und der pathophysiologischen Besonderheiten im Kindesalter [14, 21].

Gerinnungsdiagnostik und Therapie sollen bei entsprechender Klinik so früh wie möglich begonnen werden.

Die altersabhängigen Normalwerte müssen dabei beachtet werden. Die Thrombelastometrie sollte unter Beachtung altersabhängiger Normalwerte zur Steuerung der Gerinnungsdiagnostik und Therapie durchgeführt werden. Die Auskühlung des Patienten soll mit geeigneten Maßnahmen vermieden werden. Eine Azidose ist zu vermeiden und durch adäquate Schocktherapie zu behandeln. Eine Hypokalzämie ($<0,9\text{mmol/l}$, ionisiert) sollte vermieden bzw. therapiert werden. Eine Dilution sollte vermieden und frühzeitig behandelt werden.

Pathophysiologisch führt die Blutung zu einem Verlust/Verbrauch an Gerinnungsfaktoren, eine Inflammation zu einer weiteren Endothel- und Gerinnungsaktivierung und eine verstärkte Fibrinolyse zur Gerinnselauflösung. Schock mit Hypoxie, Azidose, Hypothermie und Dilution durch infundiertes Volumen bedingen eine weitere Verschlechterung der Gerinnung.

Zu beachten ist, dass sich die Blutgerinnung des Kindes, insbesondere des Neugeborenen und des Säuglings wesentlich von der des Erwachsenen unterscheidet. Reaktionskaskaden laufen in gleicher Weise ab, allerdings sind einzelne prokoagulatorische und inhibitorische Gerinnungsfaktoren physiologisch erniedrigt bzw. erhöht. Zur Interpretation gemessener Laborwerte und zur zielgerichteten Therapie ist die Kenntnis der Altersabhängigkeit der einzelnen Faktoren und Inhibitoren erforderlich (siehe Anhang) [14, 21].

Die Aussagekraft der Gerinnungsglobalteste (Quick, PTT) ist eingeschränkt. Zudem werden sie bei 37°C , bei Kalziumüberschuss und im Serum bzw. Plasma gemessen und berücksichtigen somit nicht eine evtl. vorliegende Azidose, Hypothermie, Hypokalzämie und Anämie. Zudem sind die Tests häufig mit einem erheblichen Zeitverlust verbunden. Daher werden Messungen im Vollblut und Point-of-Care-Methoden auch im Kindesalter angewendet, obgleich größere Studien fehlen. Mittels thrombelastometrischen Verfahren (z.B. ROTEM®) kann neben der Gerinnungszeit auch die maximale Festigkeit eines Gerinnsels und die Gerinnselauflösung erfasst werden. Auch hier existieren altersabhängige Normalwerte (siehe Anhang) [26]. Da derzeit keine Algorithmen zum

Gerinnungsmanagement für die pädiatrische Traumaversorgung vorliegen, müssen sich diese an den Richtlinien für Erwachsene orientieren.

Eine Hypothermie ≤ 34 °C hat einen erheblichen Einfluss auf die Thrombozytenfunktion und die Aktivität der Gerinnungsfaktoren (verminderte Thrombinbildung und Fibrinogenbildung) [16, 17]. Geeignete Maßnahmen (Wärmeerhalt, gewärmte Infusionen usw.) sollen eine Auskühlung des Patienten verhindern. Da insbesondere Kinder durch ihre im Verhältnis zum Gewicht große Körperoberfläche schnell auskühlen, muss auf den Wärmeerhalt bereits prähospital ein besonderes Augenmerk gelegt werden. Im Schockraum sollten gewärmte Infusionslösungen vorgehalten werden.

Eine Azidose $\leq 7,2$ pH hat ebenfalls einen deutlich negativen Effekt auf die Gerinnung, und die Thrombinbildung ist deutlich vermindert. Da die Azidose hauptsächlich durch die verminderte Gewebepfusion und Hypoxie bedingt ist, gilt es diese zu beheben. Eine Pufferung als Einzelmaßnahme führt wie bei Erwachsenen nicht zu einer Verbesserung der Koagulopathie und sollte daher nicht durchgeführt werden [2].

Eine Hypokalzämie unter 0,9 mmol/l (ionisiert) führt ebenfalls zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Gerinnung, da Calcium ein wichtiger Cofaktor in der Aktivierung aller Gerinnungsfaktoren ist [1] (Normalwerte 1,2-1,3 mmol/l; Dosierung Calciumgluconat 10% 0,25-0,5 ml/kg KG). Die Hypokalzämie ist hauptsächlich durch das in den Konserven vorhandene Citrat zur Antikoagulation bedingt. Eine regelmäßige Messung des ionisierten Calciums und entsprechende Substitution sollte durchgeführt werden.

Konzepte der permissiven Hypotonie lassen sich im Kindesalter prähospital aufgrund der Schwierigkeiten und Probleme bei der nichtinvasiven Blutdruckmessung nur schwer umsetzen. Zudem wird im Kindesalter der Blutdruck durch Steigerung des Herzzeitvolumens über Steigerung der Herzfrequenz lange im Normbereich gehalten. Bei Vorliegen eines Schädelhirntraumas ist eine permissive Hypotension kontraindiziert!

Ein pädiatrisches Massivtransfusionsprotokoll sollte eingeführt werden. Bei aktiv blutenden Patienten sollte die Indikation zur Transfusion großzügig gestellt werden. Hämoglobinniedrigungen treten erst verspätet auf.

Wird die Gerinnungstherapie bei Massivtransfusionen durch die Gabe von Frischplasma durchgeführt, sollte aufgrund mangelnder kinderspezifischen Daten wie bei Erwachsenen ein Verhältnis von FFP:EK im Bereich von 1:2 bis 1:1 angestrebt werden. Bei lebensbedrohlichen, transfusionspflichtigen Blutungen sollten die Thrombozytenzahlen >100.000 gehalten werden. Eine Substitution von Fibrinogen sollte bei Werten von $< 1,5\text{g/l}$ (150mg/dl) (Fibrinogen nach Claus; 40 mg/kgKG) durchgeführt werden. Die Gabe von Tranexamsäure ($10\text{-}20\text{ mg/kgKG}$) sollte bei V.a. eine Hyperfibrinolyse frühzeitig (innerhalb der ersten 3 Stunden nach Trauma) erfolgen.

Die frühzeitige Gabe von Tranexamsäure sollte beim blutenden Patienten erwogen werden.

Eine zielgerichtete Gerinnungstherapie mit spezifischen Konzentraten (PPSB; $30\text{-}50\text{ IE/kgKG}$, Faktor VIII, Faktor XIII usw.) sollte ausschließlich bei entsprechender Anamnese bzw. nach Erhalt der Laborwerte durchgeführt werden. Bei massiver, lebensbedrohlicher Blutung ohne klare Ursache kann die Gabe von rekombinantem aktiviertem FVII im Einzelfall nach Optimierung der allgemeinen Bedingungen (pH, Temperatur, Ca, Thrombozyten, Fibrinogen) erwogen werden.

EK und TK:

Obwohl verschiedene Veröffentlichungen im Erwachsenenalter [18] und im Kindesalter [13] verdeutlichen, dass bei Intensivpatienten die Transfusion mit einer höheren Mortalität, längeren Beatmungszeiten und längeren Intensivaufenthalten assoziiert ist, ist die Beteiligung der Erythrozyten an der Blutgerinnung (Marginalisierung der Thrombozyten an die Gefäßwand, Freisetzung gerinnungsaktiver Substanzen) gesichert [9, 16] und Erwachsenenstudien zeigen zudem, dass ein restriktiver Transfusionstrigger bei der Trauma-induzierten Koagulopathie ungünstig sein kann [19], Bei blutenden Patienten mit schweren Verletzungen oder fehlendem Ansprechen auf einen Flüssigkeitsbolus sollte die Transfusion von Erythrozytenkonzentraten unabhängig vom Hb (fällt erst spät ab) durchgeführt werden. Im Kindesalter gibt es allerdings keine klaren Transfusionsgrenzen [6].

FFP:

Analog zur EK-Transfusion ist bei Erwachsenen auch die FFP Gabe mit einer erhöhten Mortalität und Komplikationen assoziiert [10]. Entsprechende Daten bei Kindern fehlen. Um einen ausreichenden Effekt auf die Einzelfaktoren zu erhalten (1ml/kg KG FFP führt zu 1-(2)% Anstieg der Einzelfaktoren) sind größere Volumina notwendig, allerdings mit dem Risiko der Volumenüberladung.

Die Mehrzahl der Studien im Erwachsenenalter zeigen, dass Patienten, die Massivtransfusionen benötigen oder einen lebensbedrohlichen Schock haben, von einem hohen FFP- EK Verhältnis (1:1,5 bis 1:1) profitieren [29]. Auch hier fehlen die Daten für das Kindesalter. Ein pädiatrisch adaptiertes Massivtransfusionsprotokoll, welches berücksichtigt, dass Kinder einen Blutverlust aufgrund ihrer physiologischen Reserven besser tolerieren als Erwachsene, sollte implementiert werden [3, 25, 29]. Die Gabe von gefriergetrocknetem/lyophilisiertem Plasma stellt insbesondere in der akuten Notfallsituation einen Zeitvorteil gegenüber aufzutauendem FFP dar.

Thrombozytenkonzentrate:

Bei blutenden Patienten sollten die Thrombozytenzahlen >80.000 liegen. Bei lebensbedrohlichen, transfusionspflichtigen Blutungen sollten die Thrombozytenzahlen >100.000 gehalten werden [1]. Die Substitution von FFP – EK – TK sollte im Verhältnis 1:1,5(1):1 erfolgen.

Fibrinogen:

Fibrinogen ist für die Bildung des Fibrinnetzes und die Aggregation der Thrombozyten über GPIIaIIIb essentiell. Bei schweren Blutungen und Dilution ist es einer der ersten Faktoren welcher die kritischen Grenzen erreicht. Zudem kann die Funktion durch die Gabe von Kolloiden beeinträchtigt sein.²¹

Die BÄK empfiehlt bei massiven Blutungen die Messung nach Clauss und die Gabe eines Fibrinogenkonzentrats um Werte > 150mg/dl zu erreichen. Eine Messung mittels Thrombelastometrie sollte in Erwägung gezogen werden. Bei Hinweise auf eine Hyperfibrinolyse sollte Tranexamsäure gegeben werden.

Die Startdosis für das Fibrinogenkonzentrat beträgt 40mg/kg KG.

Antifibrinolytika:

Eine Hyperfibrinolyse tritt beim Polytrauma des Erwachsenen in ca. 15% der Fälle auf und korreliert mit dem Schweregrad der Verletzungen [15]. Diagnose und Therapiemonitoring erfolgen mittels Thrombelastometrie. Der frühzeitige Einsatz von Antifibrinolytika war im CRASH 2 Trial [4, 5] mit reduzierter Gesamt- und blutungsbedingter Mortalität assoziiert. Die Gabe nach >3h wird mit einer höheren Mortalität aufgrund von Blutungen assoziiert [5, 27, 28]. Für das Kindesalter existiert derzeit nur eine Studie aus einem Kriegsgebiet, die einen Benefit durch den Einsatz von Antifibrinolytika nahelegt [7].

Tranexamsäure ist ein Lysinanalogon, das die Bindung von Plasminogen an Fibrinogen und damit die Fibrinolyse hemmt. Der frühe Einsatz von Tranexamsäure sollte prähospital bei V.a. auf Blutung und insbesondere nach Nachweis einer Hyperfibrinolyse trotz fehlender Evidenz erwogen werden. Die Startdosis beträgt 10-20mg/kg KG über 10 min. (max. 1g), ggf. gefolgt von einer kontinuierlichen Infusion mit 2 mg/kg KG für ca. 8 Stunden oder weitere Bolusgaben bis zu 3x täglich.

PPSB und weitere Faktorenkonzentrate:

Die Substitution von PPSB oder anderen Einzelfaktorenkonzentraten (z.B. Faktor XIII) sollte bei schweren Blutungen nach Erhalt der Gerinnungsparameter (Quick <50%, INR >1,5) oder entsprechender Befunde in der Thrombelastometrie (verlängerte Clotting Time im Extem) erwogen werden.

rFVIIa (Novoseven):

Die Gabe von rekombinantem aktivierten Faktor VII (rFVIIa) führt zu einer massiven Thrombinausschüttung und Gerinnungsaktivierung. Die Effektivität von rFVIIa ist an eine Reihe von Rahmenbedingungen (Temp. $\geq 34^{\circ}\text{C}$, pH $\geq 7,2$, ion. Calcium $\geq 0,9\text{mmol/l}$, Fibrinogen $\geq 100\text{mg/dl}$, Hb $\geq 7\text{g/dl}$, keine Hyperfibrinolyse) gebunden. Bei Erwachsenen zeigte sich nach Gabe keine Senkung der Mortalität, aber ein verminderter Transfusionsbedarf und ein erhöhtes Risiko für das Auftreten arterieller Thrombosen [29]. Daten im Kindesalter fehlen. Bei persistierender Blutung trotz Optimierung der Rahmenbedingungen kann die Gabe von rFVIIa erwogen werden. Dosis: 90-100 $\mu\text{/kg KG}$

Desmopressin - DDAVP (Minirin®):

DDAVP führt zu einer unspezifischen Thrombozytenaktivierung und Ausschüttung des von Willebrand Faktors und Faktor VIII mit Verbesserung der primären Hämostase [8]. Aus pathophysiologischen Überlegungen wird in der Erwachsenenleitlinie ein Therapieversuch bei diffus blutenden Patienten mit V.a. Vorliegen einer Thrombozytopathie (angeboren/erworben z.B. Aspirin) in Erwägung gezogen. Im Kindesalter stellt die Einnahme von Thrombozytenaggregationshemmern eine Seltenheit dar, sodass die Gabe von DDAVP nur Ausnahmesituationen (z.B. Hereditäre Thrombozytopathie oder anamnestische Einnahme von Thrombozytenaggregationshemmer) indiziert ist. Bei Kindern <3 Jahren ist die Gabe von DDAVP wegen der damit verbundenen Wasserretention nicht zu empfehlen. Dosis: 0,2-0,4µg/kg KG

Massivtransfusionsprotokoll:

Anders als im Erwachsenenalter existiert derzeit keine klare Definition einer Massenblutung im Kindesalter. Die Aktivierung eines Massentransfusionsprotokolls erfolgt in der Literatur entsprechend nach unterschiedlichen Kriterien wie Schocksymptomatik bei persistierender Blutung bzw. 80 (40) ml/kg Transfusion von Erythrozytenkonzentrat in 24 (12) Stunden bzw. Substitution von 37 ml/kg an Blutprodukten in 4 Stunden [22, 23]. Eine Massivblutung sollte entsprechend die Substitution von Blutprodukten nach einem Massivtransfusionsprotokoll triggern [22-24]. Das angefügte Massivtransfusionsprotokoll ist mit seinen Modifikationen - Implementierung von Tranexamsäure, keine Verwendung von Cryopräzipitat - lediglich ein mögliches Beispiel. Eine Evidenz liegt dafür nicht vor.

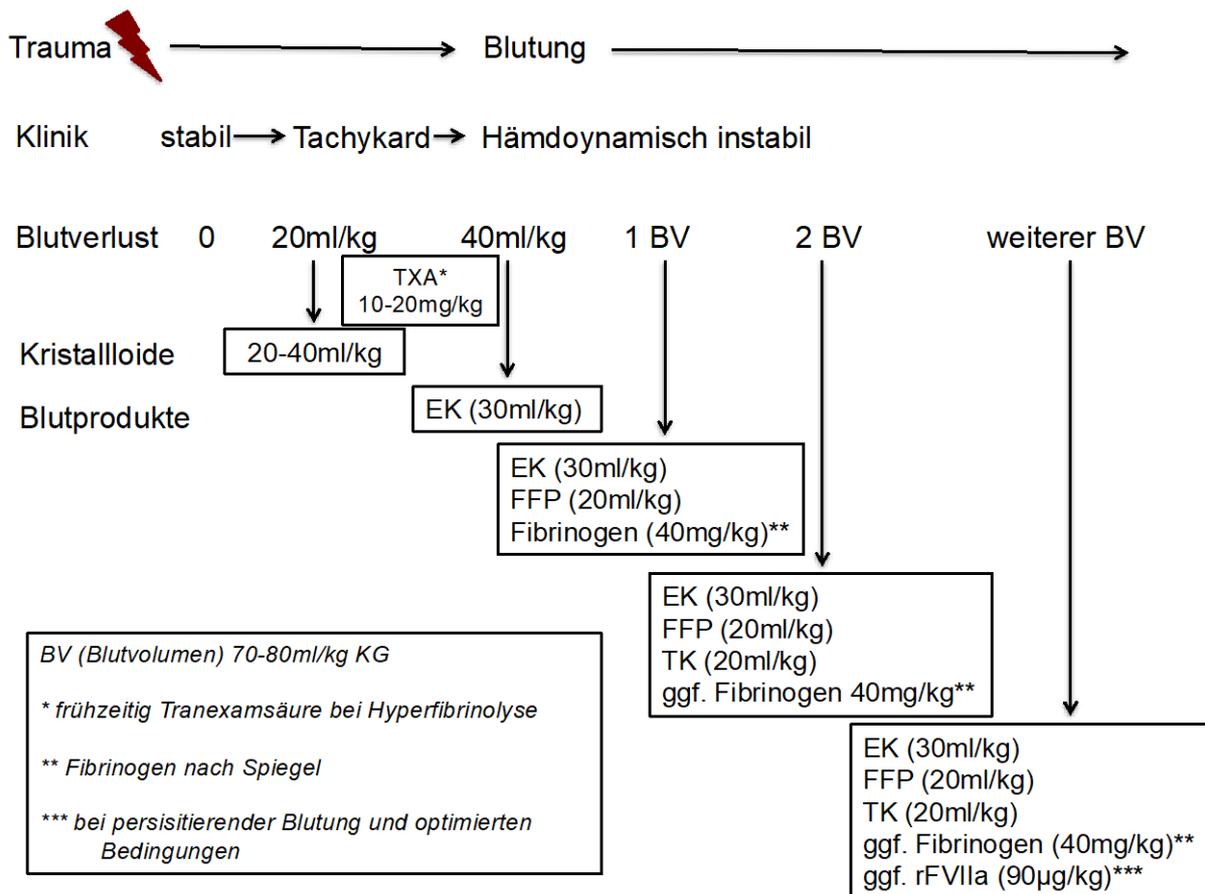


Abb. 1: Massentransfusionsprotokoll modifiziert nach Picket et al, Chidester et al, Dehmer et al [3, 6, 22-24]

1 BÄK. Querschnitts-Leitlinien zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten. 4. überarbeitete Auflage 2009. Deutscher Ärzte-Verlag 2014

2 Brohi K, Cohen MJ, Davenport RA. Acute coagulopathy of trauma: mechanism, identification and effect. *Curr Opin Crit Care* 2007; 13:680-685

3 Chidester SJ, Williams N, Wang W, Groner JI. A pediatric massive transfusion protocol. *J Trauma Acute Care Surg* 2012; 73:1273-1277

4 CRASH-2 trials collaborators, Shakur H, Roberts I 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; 376:23-32

5 CRASH-2trials collaborators, Roberts I, Shakur H 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; 377:1096-1101

- 6 Dehmer JJ, Adamson WT. Massive transfusion and blood product use in the pediatric trauma patient. *Semin Pediatr Surg* 2010; 19: 286-291
- 7 Eckert MJ, Wertin TM, Tyner SD et al. Tranexamic acid administration to pediatric trauma patients in a combat setting: the pediatric trauma and tranexamic acid study (PED-TRAX). *J Trauma Acute Care Surg* 2014; 77:852-858
- 8 Franchini M. The use of desmopressin as a hemostatic agent: a concise review. *Am J Hematol* 2007; 82:731-735
- 9 Hardy JF, de Moerloose P, Samama CM, Members of the Groupe d'Interet en Hemostase P. Massive transfusion and coagulopathy: pathophysiology and implications for clinical management. *Can J Anaesth* 2006; 53:S40-58.
- 10 Hedin A, Hahn RG. Volume expansion and plasma protein clearance during intravenous infusion of 5% albumin and autologous plasma. *Clin Sci (Lond)* 2005; 108:217-224
- 11 Hendrickson JE, Shaz BH, Pereira G et al. Coagulopathy is prevalent and associated with adverse outcomes in transfused pediatric trauma patients. *J Pediatr* 2012; 160:204-209
- 12 Holmes JF, Goodwin HC, Land C, Kuppermann N. Coagulation testing in pediatric blunt trauma patients. *Pediatr Emerg Care* 2001; 17:324-328
- 13 Kneyber MC. Red blood cell transfusion in paediatric critical care. *Clin Lab* 2011; 57:263-266
- 14 Kurnik K, Bidlingmaier C, Hutker S, Olivieri M. [Haemostatic disorders in children]. *Hamostaseologie* 2016; 36:109-125
- 15 Levrat A, Gros A, Rugeri L et al. Evaluation of rotation thrombelastography for the diagnosis of hyperfibrinolysis in trauma patients. *Br J Anaesth* 2008; 100:792-797
- 16 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. *J Trauma* 2008; 65:951-960
- 17 Lier H KH, Schöchel H. Gerinnungsmanagement bei der Polytraumaversorgung. *Anaesthesist* 2009; 58
- 18 Malone DL, Dunne J, Tracy JK et al. Blood transfusion, independent of shock severity, is associated with worse outcome in trauma. *J Trauma* 2003; 54:898-905
- 19 Mc Donald V, Ryland K. Coagulopathy in trauma: optimising haematological status. *Trauma* 2008; 10:109-123
- 20 Mittermayr M, Streif W, Haas T et al. Hemostatic changes after crystalloid or colloid fluid administration during major orthopedic surgery: the role of fibrinogen administration. *Anesth Analg* 2007; 105:905-917
- 21 Monagle P, Barnes C, Ignjatovic V et al. Developmental haemostasis. Impact for clinical haemostasis laboratories. *Thromb Haemost* 2006; 95:362-372

- 22 Kamyszek RW, Leraas HJ, Reed C et al. Massive transfusion in the pediatric population: a systemic review and summery of best-evidence practice strategies. J Trauma Acute Care Surg 2019; 86:744-754
- 23 Neff LP, Cannon JW, Morrison JJ et al. Clearly defining pediatric massive transfusion: cutting through the fog and friction with combat data. J Trauma Acute Care Surg 2015; 78:22-28
- 24 Patregnani JT, Borgman MA, Maegele M et al. Coagulopathy and shock on admission is associated with mortality for children with traumatic injuries at combat support hospitals. Pediatr Crit Care Med 2012; 13:273-277
- 25 Pickett PM, Tripi PA. Massive transfusion protocol in pediatric trauma. Int Anesthesiol Clin 2011; 49:62-67
- 26 Oswald E, Stalzer B, Heitz E et al. Thromboelastometry (ROTEM) in children: age-related reference ranges and correlations with standard coagulation tests. Br J Anaesth 2010; 105:827-835
- 27 Rossaint R, Bouillon B, Cerny V et al. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fourth edition. Crit Care 2016; 20:100
- 28 Spahn DR, Bouillon B, Cerny V et al. Management of bleeding and coagulopathy following major trauma: an updated European guideline. Crit Care 2013; 17:R76
- 29 Spinella PC, Holcomb JB. Resuscitation and transfusion principles for traumatic hemorrhagic shock. Blood Rev 2009; 23:231-240
- 30 Whittaker B, Christiaans SC, Altice JL et al. Early coagulopathy is an independent predictor of mortality in children after severe trauma. Shock 2013; 39:421-426

Versions-Nummer: 2.1

Erstveröffentlichung: 09/2002

Überarbeitung von: 10/2020

Nächste Überprüfung geplant: 10/2025

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