

publiziert bei:	 AWMF online Das Portal der wissenschaftlichen Medizin
-----------------	---

AWMF-Register Nr.	187-047	Klasse:	S2k
--------------------------	----------------	----------------	------------

Frakturassoziierte Infektion nach Osteosynthese

S2k-Leitlinie

der

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V.



und

AG Implantatsicherheit der DGO

Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen e.V.

Bundesverband deutscher Pathologen e.V.

Deutsche Diabetologische Gesellschaft e.V.

Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie e.V.

Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin e.V.

Deutsche Gesellschaft für Infektiologie e.V.

Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V.

Deutsche Gesellschaft für Muskuloskelettale Radiologie e.V.

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie e.V.

Deutsche Gesellschaft der Plastischen, Rekonstruktiven und Ästhetischen Chirurgen e.V.

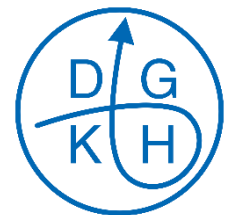
Deutsche Gesellschaft für Pharmakologie und Toxikologie e.V.

Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.

Deutsche Röntgengesellschaft e.V.

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.

Unfall-Opfer-Bayern e.V.



Version: 1.0

Herausgebende

Federführende Fachgesellschaft

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOU)

Straße des 17. Juni 106-108

10623 Berlin

Tel.: 030 – 340 60 36 15

leitlinien@dgou.de

www.dgou.de

Koordination:

Prof. Dr. med. Dr. biol. hom. Volker Alt

Prof. Dr. med. Markus Rupp

Federführender Autor:

Prof. Dr. med. Dr. biol. hom. Volker Alt

Prof. Dr. med. Markus Rupp

Weitere Autoren:

Dr. med. Christof Alefelder

Prof. Dr. med. Thomas Bürger

Claudia Fischer

Prof. Dr. med. Yves Gramlich

Prof. Dr. med. Sascha Gravius

Prof. Dr. med. Christoph Hirche

Prof. Dr. med. Rafael Gregor Jakubietz

PD Dr. med. Nathalie Jazmati

Prof. Dr. med. Sonja Kirchhoff

Prof. Dr. med. Karl-Friedrich Kreitner

Prof. Dr. med. Veit Krenn

Prof. Dr. med. Dr. phil. Jörg Kriegsmann

Prof. Dr. med. Constantin Lapa

Prof. Dr. med. Knut Liepe

PD Dr. med. Jan Neumann

Prof. Dr. med. Holger Rohde

Prof. Dr. med. Steffen Rosslenbroich

Dr. med. Bastian Schirmer

Prof. Dr. med. Nikolai Spranger

Dr. med. Florian Thienel

Dr. med. Peter Walger

Maria Luise Wallner

Bitte wie folgt zitieren:

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V., Frakturassoziierte Infektionen
nach Osteosynthese, Version 1.0 vom 02.02.2026,
<https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/187-047>, Zugriff am:

Was gibt es Neues?

Frakturassoziierte Infektionen (engl. *Fracture-related infections* - FRI) sind eine ernste Komplikation nach Frakturversorgung, die erhebliche Herausforderungen für Patienten, Behandler und das Gesundheitssystem mit sich bringen. Sie entstehen durch bakterielle Kontamination des Frakturgebietes. Die Keime können dann sowohl den Knochen selbst als auch die benachbarten Weichteile, aber vor allem die bei der Operation eingebrachten Implantate besiedeln und infizieren. Nach einer gewissen Zeit folgt eine Biofilmbildung der Bakterien auf der Oberfläche der Implantate. Der Biofilm stellt eine spezielle Form einer extrazellulären Matrix dar, die neben Polysacchariden auch Proteine und bakterielle DNA enthält. Dieser bildet eine schützende Barriere gegen eine Antibiotikatherapie und das Immunsystem, was oftmals bei einer Chronifizierung des Biofilms eine Entfernung des Implantates notwendig macht. Während das Risiko für eine frakturassoziierte Infektion bei der Versorgung von geschlossenen Frakturen bei ca. 1-2 % liegt, kann dies bei offenen Frakturen mit schwerem Weichteilschaden (Gustilo-Anderson Typ III-Frakturen) bei bis zu 35 % liegen.

Die vorliegende Leitlinie ist die erste Leitlinie in Deutschland, die sich speziell frakturassoziierten Infektionen widmet. Sie schließt Empfehlungen aus Prävention, Diagnostik, Therapie und Nachbehandlung mit ein. Sie ist im Sinne einer S2k-Leitlinie konzipiert unter Beteiligung von 17 Fachgesellschaften und Begleitung durch die AWMF erstellt worden.

Frakturassoziierte Infektionen zeigen eine erhebliche Variabilität in ihrem klinischen Erscheinungsbild, von sehr milder Ausprägung einer diskreten Rötung bei bereits abgeschlossener Frakturheilung bis hin zu septischen Krankheitsverläufen oder Situationen mit erheblichem Knochen- bzw. Weichteildefekten. Trotz dieser individuellen Ausprägung frakturassoziierter Infektionen existieren in der Literatur klare Therapieprinzipien, die für jede einzelne Situation berücksichtigt werden sollten. Die vorliegende Leitlinie hat zum Ziel, diese Prinzipien auf Basis der aktuell zur Verfügung stehenden Literatur als Grundlage und Handlungsempfehlungen für eine stringente und konsensusbasierte Vorgehensweise bei frakturassoziierten Infektionen in übersichtlicher Form darzustellen. Eine Übersicht über die wichtigsten Empfehlungen ist direkt im Anschluss unter der Überschrift „Die wichtigsten Empfehlungen auf einen Blick“ zu finden.

Wir hoffen, Kolleginnen und Kollegen hierdurch eine praxisrelevante Vorgehensweise an die Hand zu geben, die für ein besseres Behandlungsergebnis bei Patientinnen und Patienten mit frakturassoziierten Infektionen sorgt.

Generelle Aspekte bei frakturassoziierten Infektionen und die wichtigsten Empfehlungen dieser Leitlinie im Überblick

1. Prophylaxe

Zur Vermeidung von frakturassoziierten Infektionen gelten die generellen Prinzipien der Hygienemaßnahmen bei der operativen Versorgung von Frakturen. Insbesondere bei offenen Frakturen kommt dem Debridement und vor allem dem frühzeitigen Weichteilverschluss sowie der adäquaten Antibiotikaprophylaxe bzw. einer präemptiven Therapie eine besondere Bedeutung zu (siehe 1.2.2 und 1.3.2).

Empfehlung 5	Neu - Stand (2025)
Bei der operativen Versorgung geschlossener Frakturen soll eine perioperative Antibiotikaprophylaxe mit einem Cephalosporin der Gruppe 1 (z. B. Cefazolin) erfolgen. Die Gabe soll 15–60 Minuten präoperativ verabreicht werden. Eine Wiederholung nach 3 Stunden oder bei hohem Blutverlust (>1,5 l) wird empfohlen. Bei adipösen Patienten (≥ 100 –120 kg Körpergewicht) ist eine Dosisanpassung auf 3 g indiziert.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Empfehlung 10	Neu - Stand (2026)
Generell sollte eine frühzeitige Weichteildeckung nach offener Fraktur angestrebt werden, auch wenn hierzu eine freie Lappenplastik notwendig ist. Diese sollte idealerweise innerhalb von 72 h erfolgen, kann jedoch auch innerhalb von 7–10 Tagen mit vergleichbaren Ergebnissen unter Verwendung von zwischenzeitlicher temporärer Weichteildeckung erfolgen. Zahlreiche Etappeneingriffe und eine Verzögerung des Weichteilverschlusses über 7–10 Tage hinaus sollte vermieden werden und bei Nichtverfügbarkeit plastisch-chirurgischer Möglichkeiten eine frühzeitige Verlegung des Patienten in ein entsprechendes Zentrum erfolgen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Für die Antibiotikaprophylaxe bzw. präemptive Antibiotikatherapie bei offenen Frakturen wird auf die kürzlich veröffentlichte S3-Leitlinie Perioperative und Periinterventionelle Antibiotikaprophylaxe (AWMF Registernummer 067 – 009) verwiesen.

2. Diagnostik

Auch bei der Diagnostik von Patienten mit frakturassoziierten Infektionen bestehen einige Herausforderungen.

Zunächst einmal ist es bei der Vorstellung eines Patienten mit frakturassoziierter Infektion wichtig, einen möglichen septischen Krankheitsverlauf zu erkennen. Dieser ist zwar selten, sollte jedoch immer berücksichtigt werden (siehe 2.1.2).

Empfehlung 12	Neu - Stand (2026)
a) Obwohl spezifische Daten für frakturassoziierte Infektionen (FRI) fehlen, zeigt die allgemeine Sepsis-Evidenz, dass ein verzögertes Vorgehen mit erhöhter Mortalität verbunden ist. Bei Patienten mit frakturassoziierter Infektion soll bei Zeichen einer systemischen Infektion (z. B. Fieber) oder Organfunktionsstörung stets auch das Vorliegen einer Sepsis berücksichtigt werden. b) Entsprechend der aktuellen Sepsis-3-Definition soll bei klinischem Verdacht eine rasche Evaluation mit geeignetem Screeningverfahren erfolgen. c) Bei Vorliegen einer Sepsis soll eine notfallmäßige chirurgische Intervention zur Keimlastreduktion im Sinne eines initial begrenzten Debridements in Kombination mit einer frühzeitigen empirischen kalkulierten Antibiotikatherapie erfolgen. Primäres Ziel ist hierbei nicht die chirurgische Intervention, sondern die rasche Kontrolle der Infektionsquelle und die Verbesserung des Überlebens.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Bei nicht-septischem Krankheitsverlauf, der mit Abstand am häufigsten ist, sollte jeder klinische Verdacht auf eine frakturassoziierte Infektion zu einer weiteren Diagnostik führen. Liegen sog. konfirmatorische Kriterien vor, d.h. freiliegendes Implantat, Fistel oder Eiteraustritt, so kann die Diagnose einer frakturassoziierten Infektion mit Sicherheit gestellt werden. Sind nur sog. suggestive Kriterien (z. B. lokale Infektionszeichen, prolongierte Wundsekretion etc.) vorhanden, so sollen weitere diagnostische Maßnahmen durchgeführt werden. Dies schließt auch Fälle mit ausbleibender Frakturheilung mit ein. Die fachgerechte intraoperative Gewebeprobenentnahme spielt für die Diagnose einer frakturassoziierten Infektion die wichtigste Rolle (siehe 2.1.5).

Empfehlung 15	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit Osteosynthese nach Fraktur und suggestiven klinischen Kriterien einer frakturassoziierten Infektion (FRI), wie lokale oder systemische Infektionszeichen, neu aufgetretener Gelenkerguss oder anhaltende/zunehmende Wundsekretion, soll eine weiterführende Diagnostik erfolgen. Diese soll Laboruntersuchungen zur Erfassung von Entzündungsparametern sowie radiologische und/oder nuklearmedizinische Untersuchungen beinhalten, um die Diagnosesicherheit zu erhöhen. Eine diagnostische Biopsie der Frakturregion im Vorfeld der eigentlichen Revisionsoperation ist allerdings zur Diagnose nicht notwendig, da die operative Therapie in den allermeisten Fällen nicht vom nachgewiesenen Keim abhängig ist. Im Rahmen der intraoperativen Diagnostik hat die mikrobiologische und histopathologische Untersuchung einen hohen Stellenwert. Es sollen hierbei 3 - 5 Gewebeproben entnommen werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

3. Therapie

Die Therapie einer frakturassoziierten Infektion stützt sich auf die chirurgische und die Antibiotikabehandlung. Hierzu ist oftmals neben unfallchirurgischer Kompetenz Expertise aus der Plastischen Chirurgie, Gefäßchirurgie, Inneren Medizin etc. sinnvoll und notwendig. Daher sollte das therapeutische Management einer frakturassoziierten Infektion im Sinne einer multidisziplinären Behandlung erfolgen (siehe 3.1.1).

Empfehlung 28	Neu - Stand (2026)
Die Behandlung von Patienten mit FRI sollte im Rahmen eines strukturierten multidisziplinären Ansatzes mit regelmäßigen Fallbesprechungen erfolgen. Beobachtungsstudien zeigen, dass ein solches Vorgehen im Vergleich zu einer rein monodisziplinären Behandlung mit signifikant niedrigeren Amputationsraten, einer geringeren Zahl an Revisionseingriffen, reduzierter Mortalität sowie einem insgesamt geringeren Behandlungsaufwand assoziiert ist. Daher wird die multidisziplinäre Behandlung auch in großen Übersichtsarbeiten empfohlen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die Antibiotikatherapie stellt einen wichtigen Bestandteil der Therapie dar. Diese sollte in Fällen, bei denen interne Osteosynthesematerialien (Platten, Nägel) für die Ausheilung des Knochens verwendet werden, insgesamt 12 Wochen umfassen (siehe 3.4.7).

Empfehlung 44	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten, bei denen eine endgültige Entfernung des Osteosynthesematerials nicht möglich ist, (jedoch entweder ein ein- oder ein mehrzeitiger Wechsel des implantierten Fremdmaterials erfolgen kann) soll eine Dauer der Antibiotikatherapie von insgesamt 12 Wochen erfolgen. Eine Verlängerung über 12 Wochen hinaus wird nicht empfohlen , da sie mit einer erhöhten Rate an Nebenwirkungen einhergeht, ohne dass ein zusätzlicher Nutzen für das Behandlungsergebnis nachgewiesen wäre.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

In einigen Fällen kann bei frakturassoziierter Infektion das einliegende Implantat erhalten werden. Dies ist jedoch nur unter gewissen Voraussetzungen, wie z. B. stabilem Implantat, guter Weichteildeckung und guter Debridementmöglichkeit generell möglich. Hohe Erfolgsraten bestehen vor allem bei früher Intervention innerhalb von 10 Wochen nach Indexoperation, danach sinkt die Erfolgsaussicht deutlich (siehe 3.2.3).

Empfehlung 32	Neu - Stand (2026)
Ein implantaterhaltendes Vorgehen (DAIR) sollte bei FRI mit stabilen, nicht gelockerten Implantaten, suffizienter Weichteildeckung und technisch möglichem, gründlichem Debridement in frühen Verläufen (≤ 3 Wochen) erfolgen, da hierdurch hohe Erfolgsraten erzielt werden können. Mit zunehmender Dauer (> 10 Wochen) sinkt die Erfolgswahrscheinlichkeit deutlich; dann sollte ein Implantatwechsel oder -entfernung erfolgen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Als generelles chirurgisches Behandlungsprinzip sollte eine ein- bzw. zweizeitige Behandlungsstrategie für eine frakturassoziierte Infektion angestrebt und umgesetzt werden. Hierfür gibt es durch die Literatur belegte gute Erfolgsraten. Geplante multiple Revisionsoperationen im Sinne einer sog. Etappen-Lavage sind nur in Ausnahmefällen, z. B. bei nicht beherrschbarer Infektionssituation, indiziert und ansonsten als obsolet zu betrachten (siehe 3.2.1).

Empfehlung 30	Neu - Stand (2026)
Wenn immer möglich, so sollte auf ein mehrzeitiges Vorgehen mit der Durchführung von sog. Etappenlavagen verzichtet und der Patient einem einzeitigen bzw. zweizeitigen Behandlungsregime unterzogen werden, da hierdurch gute Behandlungsergebnisse zu erzielen sind. Mehrfache Revisionen sind lediglich bei nicht beherrschbarer Infektions- bzw. Wundheilungssituation mit rezidivierender Nekrosen- bzw. Eiterbildung indiziert. Dies sollte jedoch durch ein adäquates chirurgisches Debridement der Wunde bereits bei der ersten Revision und fachgerechte Antibiotikatherapie verhindert werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Bei Patienten mit frakturassoziierter Infektion und begleitendem Weichteildefekt sollte ein frühzeitiger Weichteilverschluss angestrebt werden. Auch hier sollte ein ein- bzw. zweizeitiges Vorgehen zur Anwendung kommen, dies schließt die Verwendung von freien Lappenplastiken mit ein (siehe 3.3.1).

Empfehlung 36	Neu - Stand (2026)
Der Weichteilverschluss bei FRI sollte relativ zeitnah entweder ein- oder zweizeitig in einem entsprechenden interdisziplinären Setting zwischen Unfallchirurgie und Plastischer Chirurgie (im Sinne einer sog. „orthoplastischen Chirurgie“) geplant und durchgeführt werden. Die Applikation einer Vakuum-assistierten Wundtherapie vor Durchführung der Lappenplastik sollte so kurz wie möglich gehalten werden. Multiple Revisionen sind nur bei offensichtlichen unkontrolliertem Infektionsgeschehen mit rezidivierenden Weichteil- oder gar Knochennekrosen (Sequester) zu erwägen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

4. Nachbehandlung

Die Nachbehandlung einer frakturassozierten Infektion ist von immenser Wichtigkeit, da es vor allem im ersten Jahr, aber auch danach, immer wieder zu Rezidiven der Infektion kommen kann. Daher sollte

eine fachärztliche Betreuung der Patienten idealerweise an einem spezialisierten Zentrum erfolgen (siehe 4.2.1).

Empfehlung 47		Neu - Stand (2026)
	Die fachärztliche Nachsorge von Patienten mit FRI ist grundsätzlich ein essenzieller Bestandteil der häufig komplexen Behandlungskonzepte. Die strukturierte fachärztliche Weiterbehandlung an einem spezialisierten Zentrum sollte somit erst mit dokumentierter knöcherner Konsolidierung sowie stabilem infektionsfreiem Verlauf für mindestens ein Jahr nach Beendigung der antibiotischen Therapie verlassen werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)	

Inhaltsverzeichnis

HERAUSGEBENDE	3
WAS GIBT ES NEUES?	4
GENERELLE ASPEKTE BEI FRAKTURASSOZIIERTEN INFEKTIONEN UND DIE WICHTIGSTEN EMPFEHLUNGEN DIESER LEITLINIE IM ÜBERBLICK	5
INHALTSVERZEICHNIS	11
1 PRÄVENTION	14
1.1 PRÄOPERATIVE PRÄVENTION	14
1.1.1 Interdisziplinäre Mitbehandlung relevanter Begleiterkrankungen	14
1.1.2 Frühzeitige Antibiotikagabe bei offenen Frakturen	16
1.1.3 Präoperative Bestimmung des Vit.-D-Spiegels	17
1.2 PERIOPERATIVE PRÄVENTION	19
1.2.1 Hautdesinfektion bei Osteosynthesen	19
1.2.2 Antibiotikaprophylaxe bei geschlossenen Frakturen	21
1.2.3 Chirurgisches Debridement bei offenen Frakturen	23
1.2.4 Lokale Applikation von Antibiotika bei offenen Frakturen	24
1.2.5 Einsatz von antimikrobiell beschichteten Implantaten	25
1.3 POSTOPERATIVE PRÄVENTION	26
1.3.1 Erster Verbandswechsel nach Osteosynthese	26
1.3.2 Frühzeitige plastische Deckung bei schwerem Weichteilschaden bei offenen Frakturen	28
2 DIAGNOSTIK	29
2.1 ALLGEMEIN	29
2.1.1 Gezielte Schulung von Patienten nach Osteosynthese	29
2.1.2 Beachtung einer möglichen Sepsis	30
2.1.3 Gezielte Anamneseerhebung bei V. a. frakturassoziierte Infektion	31
2.1.4 Diagnose anhand konfirmatorischer Kriterien	32
2.1.5 Diagnose anhand suggestiver Kriterien	33
2.1.6 Berücksichtigung einer frakturassoziierten Infektion im Falle einer verzögerten Frakturheilung	35
2.1.7 Verzicht auf Abstrich von Wunden bzw. Fisteln zur Infektdiagnostik	36
2.1.8 Erhebung des Gefäßstatus	38
2.1.9 Klassifikation der Frakturassoziierten Infektion	40
2.2 LABORPARAMETER	42
2.2.1 Abnahme von Blutkulturen bei Fieber	42
2.2.2 Bedeutung laborchemischer Infektionsparameter	43
2.3 RADIOLOGISCHE UND NUKLEARMEDIZINISCHE METHODEN	44
2.3.1 Radiologie	44
2.3.1.1 Einsatz von bildgebenden Methoden bei V. a. frakturassoziierte Infektion	44
2.3.1.2 Verwendung der konventionellen Bildgebung bei Implantatlockerung	45

2.3.2	Nuklearmedizin	47
2.3.2.1	Einsatz von nuklearmedizinischen Methoden bei V. a. frakturassoziierte Infektion	47
2.4	MIKROBIOLOGISCHE UND PATHOHISTOLOGISCHE METHODEN	48
2.4.1	Intraoperative Entnahme von Gewebeproben und mikrobiologische Diagnostik	48
2.4.2	Sonikation	50
2.4.3	Pathohistologische Diagnostik	52
3	THERAPIE	53
3.1	ALLGEMEINE THERAPIEASPEKTE	53
3.1.1	Multidisziplinäre Behandlung von Patienten mit frakturassoziierte Infektion	53
3.1.2	Anwendung konfirmatorischer mikrobiologischer Kriterien zur Therapientscheidung	55
3.2	UNFALLCHIRURGISCHE ASPEKTE	56
3.2.1	Verzicht auf programmierte Revisionsoperationen	56
3.2.2	Therapie bei frakturassoziierte Infektion und verheilte Fraktur	57
3.2.3	Implanterhaltendes Vorgehen bei noch nicht verheilte Fraktur	58
3.2.4	Frakturassoziierte Infektion bei einliegendem Marknagel	59
3.2.5	Frakturassoziierte Infektion und begleitendem Knochendefekt	60
3.2.6	Einsatz von lokalen Antibiotika-Trägern bei Knochendefekten	63
3.3	PLASTISCH-CHIRURGISCHE ASPEKTE	65
3.3.1	Frakturassoziierte Infektion und begleitender Weichteilschaden	65
3.3.2	Zeitpunkt der plastisch-chirurgischen Weichteildeckung	66
3.4	ASPEKTE DER ANTIBIOTIKATHERAPIE	67
3.4.1	Perioperative Antibiotikaphylaxe bei Eingriffen zu frakturassoziierten Infektionen	67
3.4.2	Wahl der Antibiotika-Phylaxe bei Eingriffen zu frakturassoziierten Infektionen	69
3.4.3	Zeitpunkt des Beginns der kalkulierten Antibiotikatherapie	70
3.4.4	Substanzen für die kalkulierte Antibiotikatherapie	72
3.4.5	Umstellung der kalkulierten auf eine gezielte Antibiotikatherapie	74
3.4.6	Einsatz von Rifampicin bei implantaterhaltendem Vorgehen	76
3.4.7	Dauer der Antibiotikatherapie	78
3.4.8	Antibiotische Suppressionstherapie	80
4	NACH-/ WEITERBEHANDLUNG	82
4.1	REHABILITATION	82
4.1.1	Rehabilitation nach frakturassoziierte Infektion	82
4.2	KONTROLLEN	83
4.2.1	Notwendigkeit zur fachärztlichen Nach- und Weiterbehandlung	83
4.2.2	Erfassung funktioneller Behandlungsergebnisse	84
4.3	IMPLANTATENTFERNUNG	86
4.3.1	Implantatentfernung nach abgeschlossener Heilung	86
4.4	SPÄTKOMPLIKATIONEN	87
4.4.1	Patienten mit Gelenkverschleiß nach frakturassoziierte Infektion	87
4.4.2	Berücksichtigung maligner und anderer Knochenerkrankungen bei chronischer Infektion	88
4.4.3	Dauerfolgen bei frakturassoziierte Infektion	89
5	SCHLÜSSELWÖRTER UND KEY WORDS	90

1 Prävention

1.1 Präoperative Prävention

1.1.1 Interdisziplinäre Mitbehandlung relevanter Begleiterkrankungen

Empfehlung 1	Neu - Stand (2026)
Patienten mit Begleiterkrankungen wie Diabetes mellitus, peripherer arterieller Verschlusskrankheit, Herzinsuffizienz oder Anämie sollten im Rahmen der operativen Frakturversorgung frühzeitig interdisziplinär mitbehandelt werden. Eine gezielte Optimierung von modifizierbaren Risikofaktoren, darunter eine strikte Blutzuckereinstellung bei Diabetes, Rauchstopp, Verbesserung der peripheren Durchblutung (bei pAVK), Ausgleich von Mangelernährung und Anämie sowie Anpassung immunsuppressiver Therapien sollte prä- bzw. perioperativ angestrebt werden. Präoperative Verbesserungsmaßnahmen sollen einem frühzeitigen Operationszeitpunkt bei Notfallindikationen nicht entgegenstehen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Verschiedene Komorbiditäten sind mit einer erhöhten postoperativen Infektionsrate assoziiert, weshalb präventive Maßnahmen empfohlen werden:

Ungenügend eingestellter Diabetes mellitus erhöht das surgical site infections (SSI)/FRI-Risiko signifikant (Akiboye & Rayman, 2017). Ein präoperatives HbA_{1c} >7 % ist mit deutlich höherer Wundinfektionsrate verbunden (35,3 % vs. 0 % in der Vergleichsgruppe) (Akiboye & Rayman, 2017). Auch Stress-Hyperglykämien >200 mg/dl perioperativ sind ein unabhängiger Risikofaktor für SSI (OR ~3,2) (Richards et al., 2012). Perioperative Hyperglykämie ist ein unabhängiger Risikofaktor für chirurgische Wundinfektionen innerhalb von 30 Tagen bei unfallchirurgischen Patienten ohne bekannten Diabetes mellitus, mit einem bis zu fünffach erhöhten Infektionsrisiko bei persistierend erhöhten Blutzuckerwerten (Richards et al., 2012). Eine gute Blutzuckerkontrolle wird daher dringend empfohlen. Eine Beobachtungsstudie zeigte beispielsweise, dass die Implementierung eines perioperativen Glukose-Management-Protokolls bei Hüft-/Knie-TEP-Patienten die Infektionsrate reduzieren konnte (Agos et al., 2014).

Aktives Rauchen verschlechtert die Gewebedurchblutung und Immunabwehr, was zu deutlich höheren Wundinfektions- und Komplikationsraten führt (Kainiemi et al., 2022). Ein perioperativer Rauchstopp senkt dieses Risiko erheblich: In einer randomisierten Studie an Frakturpatienten traten in der Inter-

ventionsgruppe (mit Rauchstopp-Programm) nur bei 20 % postoperative Komplikationen auf, verglichen mit 38 % in der weiterrrauchenden Kontrollgruppe (Nåsell et al., 2010). Ähnlich zeigte eine weitere Untersuchung (4 Wochen Rauchkarenz vor und nach elektiven orthopädischen Eingriffen) eine Halbierung der Komplikationsrate (21 % vs. 41 %) (Lindström et al., 2008). Präoperative Tabakabstinenz ist somit eine effektive und auch kosteneffektive Maßnahme zur FRI-Prävention.

Periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK): Eine eingeschränkte Extremitäten-Durchblutung begünstigt Wundheilungsstörungen und Infektionen. So wurde in einer Kohortenstudie pAVK als starker Risikofaktor für FRI nach Sprunggelenksfrakturen identifiziert (ca. vierfach erhöhtes Risiko; OR ~4,2) (Pilskog et al., 2023). Daher sollte bei pAVK-Patienten frühzeitig ein Gefäßchirurg hinzugezogen werden, um die Perfusion zu verbessern (z. B. durch Revaskularisation), was die Heilung fördert und Infektionen vorbeugt.

Ein schlechter Ernährungszustand (z. B. Hypoalbuminämie) ist mit verzögerter Wundheilung und höherer Infektionsanfälligkeit assoziiert. Bei geriatrischen Schenkelhalsfraktur-Patienten mit niedrigem Albumin zeigte die ernährungstherapeutische Unterstützung einen deutlichen Benefit: Die Rate oberflächlicher SSIs sank von 13,0 % auf 5,5 %, und tiefe Infektionen (PJI) von 9,9 % auf 2,8 % (He et al., 2019). Entsprechende nutritionale Interventionen (hochkalorische Proteinsupplementation, Ausgleich von Vitamin-/Spurenelement-Defiziten) sollten daher Teil des perioperativen Managements sein.

Eine Anämie vermindert die Gewebeoxygenierung und schwächt die Infektabwehr. Eine prospektive Studie von Walana et al. identifizierte einen niedrigen präoperativen Hämoglobinwert als signifikanten Prädiktor für postoperative Wundinfektionen unter 210 Patienten nach unfallchirurgischen Operationen. Die Autoren empfehlen, präoperativ eine Optimierung des Hb-Werts anzustreben, um das Infektionsrisiko zu senken (Walana et al., 2025). Unter einem Hb-Wert von unter 7g/dl sollte eine Bluttransfusion erwogen werden (Shander et al., 2023).

Auch andere chronische Erkrankungen erhöhen das Infektionsrisiko, u.a. Herzinsuffizienz, Nierenfunktionsstörungen, Adipositas sowie immunsupprimierende Erkrankungen (z. B. rheumatoide Arthritis) (Antonelli & Chen, 2019). Bestehende Erkrankungen sollten perioperativ optimal eingestellt werden (z. B. engmaschiges kardiales Monitoring bei Herzkranken, nephrologische Mitbehandlung bei Dialysepatienten). Bei Patienten mit rheumatoider Arthritis (RA) existiert ein etwa 1,7-fach erhöhtes Risiko für periprothetische Gelenkinfektionen (PJI) im Vergleich zu Patienten ohne RA, das mit zunehmender Krankheitsdauer und Einnahme von Biologika oder hochdosierten Glukokortikoiden weiter ansteigt, weshalb vor orthopädischen Eingriffen eine gezielte Anpassung der antirheumatischen Therapie, insbesondere das Absetzen von Biologika vor der Operation sowie Dosisminderung von Steroiden, empfohlen wird (Kunutsor et al., 2016). Die infektiöse Gefahr steigt dosisabhängig mit Glukokortikoiden;

empfohlen wird eine Dosisreduktion auf < 5 mg/Tag vor Operation, ansonsten mindestens Vermeidung supraphysiologischer „Stressdosen“, insbesondere wenn die Dauer <15 mg/Tag beträgt (Goodman & George, 2020).

Die präoperativen Maßnahmen sind allerdings nur bei elektiven Eingriffen umsetzbar. Präoperative Verbesserungsmaßnahmen sollen einem frühzeitigen Operationszeitpunkt bei Notfallindikationen nicht entgegenstehen.

1.1.2 Frühzeitige Antibiotikagabe bei offenen Frakturen

Empfehlung 2	Neu - Stand (2026)
Die Antibiotikatherapie sollte bei offenen Frakturen zum frühestmöglichen Zeitpunkt eingeleitet werden, idealerweise innerhalb von 1–3 Stunden nach Trauma, spätestens jedoch innerhalb von 6 Stunden. Eine frühzeitige systemische Antibiotikagabe senkt nachweislich das Risiko für Knochen- und Weichteilinfektionen. Ein späterer Beginn der Therapie ist hingegen mit einem signifikant erhöhten Risiko für postoperative Infektionen assoziiert, insbesondere bei höhergradigen offenen Frakturen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die Evidenzlage zeigt, dass eine frühe Antibiotikatherapie innerhalb der ersten Stunden nach Trauma signifikant mit einer niedrigeren Infektionsrate assoziiert ist. Dies spiegelt sich auch in den Empfehlungen internationaler Fachgesellschaften, wie z. B. der *British Orthopaedic Association* (BOA) und der *Infectious Diseases Society of America* (IDSA), wider, die eine frühestmögliche Antibiotikatherapie empfehlen, bestenfalls bereits präklinisch oder unmittelbar nach Eintreffen in der Notaufnahme.

In einer retrospektiven Studie von Patzakis et al. (1974), die als Grundlage vieler aktueller Empfehlungen gilt, zeigte sich, dass Infektionen fast ausschließlich bei Patienten mit verzögerter Antibiotikagabe (>3 h) auftraten (Patzakis et al., 1974). Diese Beobachtung wurde in einer Vielzahl nachfolgender Studien bestätigt.

Eine Cochrane-Analyse von Gosselin et al., die sieben randomisierte oder quasi-randomisierte Studien mit insgesamt 913 Patienten einschloss, belegt den protektiven Effekt der systemischen Antibiotikaprophylaxe gegen frühe Infektionen (Risk Ratio 0,43; 95 %-Konfidenzintervall 0,29–0,65), mit einer Number Needed to Treat von 13 (Gosselin et al., 2005).

Auch zum optimalen Zeitpunkt der Antibiotikaprophylaxe bei offenen Frakturen liegt eine konsistente Datenlage vor. In einer prospektiven Studie von Dellinger et al. (1988) war eine Antibiotikagabe innerhalb von drei Stunden mit einer signifikant niedrigeren Infektionsrate (7,4 %) assoziiert als eine spätere Gabe (20,6 %; $p = 0,04$) (Dellinger et al., 1988). Eine systematische Übersichtsarbeit von Chang et al. (2015) untersuchte randomisierte kontrollierte Studien zur Antibiotikagabe bei offenen Frakturen und zeigte, dass eine Verabreichung innerhalb von drei Stunden nach Trauma das Risiko für Infektionen signifikant senkt (Chang et al., 2015). In einer retrospektiven Analyse von Lack et al. stieg das Risiko für eine Infektion mit jeder Stunde Verzögerung der Antibiotikagabe um etwa 5-10 % (Lack et al., 2015).

Zusammenfassend zeigen die verfügbaren Daten, dass die frühzeitige systemische Antibiotikagabe ein einfacher, aber hochwirksamer Bestandteil der Infektionsprophylaxe bei offenen Frakturen ist. Diese sollte schnellstmöglich erfolgen, idealerweise bereits präklinisch, spätestens jedoch in der Notaufnahme, unabhängig vom Operationszeitpunkt.

1.1.3 Präoperative Bestimmung des Vit.-D-Spiegels

Empfehlung 3	Neu - Stand (2026)
a) Eine routinemäßige präoperative Bestimmung von 25(OH)D und gezielte Substitution bei Mangel kann im Rahmen der perioperativen Host-Optimierung erwogen werden (v. a. zur Knochengesundheit/Heilung). Ein Nutzen zur spezifischen Prävention frakturassoziierter Infektionen ist bislang nicht belegt. b) Bei nachgewiesenem Mangel sollte entsprechend gängiger Grenzwerte (Zielbereich typischerweise $\geq 20\text{--}30\text{ ng/ml}$ ($50\text{--}75\text{ nmol/l}$)) substituiert werden; unspezifische Hochdosis-Gaben ohne vorherige Bestimmung der 25(OH)D-Serumkonzentration sollen nicht erfolgen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Vitamin D spielt eine wichtige Rolle im Knochenstoffwechsel und im Immunsystem. Ein ausreichender Vitamin-D-Spiegel unterstützt die Knochenheilung und die Infektabwehr, während ein Mangel mit Komplikationen assoziiert sein kann (Slobogean et al., 2023). Insbesondere bei orthopädisch-traumatologischen Patienten ist ein Vitamin-D-Defizit häufig: Nahezu die Hälfte aller erwachsenen Frakturpatienten weist einen Vitamin-D-Mangel ($25(\text{OH})\text{D} < 20\text{ ng/ml}$) auf (Bee et al., 2013). Dieser hohe Anteil an Patienten mit Vitamin-D-Defizienz macht eine präoperative Bestimmung des Vitamin-D-Spiegels

und gegebenenfalls Substitution zu einer potenziell wichtigen Maßnahme zur Optimierung des Behandlungsergebnisses.

Derzeit existieren keine prospektiven oder randomisierten Studien, die die präoperative oder perioperative Vitamin-D-Substitution bei Patienten mit frakturassoziierter Infektion (FRI) systematisch untersucht haben. Im Folgenden wird daher auf die verfügbare Evidenz aus der Endoprothetik und allgemeinen orthopädischen Infektforschung zurückgegriffen, da diese Rückschlüsse auf die Relevanz des Vitamin-D-Status in vergleichbaren infektiologischen Kontexten zulassen.

Eine retrospektive Analyse von über 6.500 Knieprothesen-Patienten zeigte, dass Vitamin-D-defiziente Patienten signifikant häufiger Wundinfektionen aufwiesen, die einen chirurgischen Eingriff (Irrigation und Débridement) erforderten (Odds Ratio $\sim 1,76$; $p = 0,001$) (Hegde et al., 2018). Auch die Prothesenlockerungs- und Explantationsrate war in dieser Gruppe erhöht. Studien in der Endoprothetik finden durchweg einen hohen Anteil an Vitamin-D-Mangelpatienten unter Infektfällen. Beispielsweise hatten Patienten mit periprotetischer Gelenkinfektion (PJI) deutlich niedrigere Vitamin-D-Spiegel als Vergleichsgruppen: In einer deutschen Studie war der Vitamin-D-Mangel bei PJI-Patienten besonders ausgeprägt und signifikant schwerer als bei Patienten mit primären Endoprothesen oder aseptischer Lockerung (Maier et al., 2014). Insbesondere akute Infektionen scheinen mit sehr niedrigen Werten einherzugehen – bei akuten periprotetischen Infektionen wurden durchschnittlich 8,3 ng/ml gemessen gegenüber $\sim 21,6$ ng/ml bei chronischen Infektionen ($p = 0,002$) (Zajonz et al.). Diese Beobachtungen unterstreichen, dass Vitamin D eine modifizierbare Wirtsfaktor-Größe darstellt, die mit dem Infektionsgeschehen assoziiert ist. In einer prospektiven, placebokontrollierten Phase-II-Studie (VitaShock-Trial) an erwachsenen Patienten mit Femur- oder Tibiafrakturen führte eine hochdosierte Vitamin-D₃-Gabe zu einem tendenziell besseren klinischen Heilungsverlauf nach 3 Monaten, jedoch waren die Unterschiede statistisch nicht signifikant (Slobogean et al., 2023). Größere randomisierte Studien fehlen bislang, um eindeutig zu belegen, dass die präoperative oder postoperative Vitamin-D-Substitution die Frakturheilung beschleunigt oder das Infektionsrisiko senkt. Eine systematische Übersichtsarbeit aus 2021 betont zwar den Zusammenhang zwischen niedrigen 25(OH)D-Spiegeln und einer erhöhten orthopädischen Infektionsrate, konstatiert aber auch, dass belastbare prospektive Studien zur prophylaktischen Vitamin-D-Gabe fehlen (Zargaran et al., 2021). Insgesamt berichten 84 % der publizierten Studien in einem systematischen Review aus 2015 zu verschiedenen Operationen ein schlechteres postoperative Outcome (inklusive Infektionen) bei Patienten mit Vitamin-D-Mangel (Iglar & Hogan, 2015), während nur wenige Untersuchungen keinen Zusammenhang fanden.

1.2 Perioperative Prävention

1.2.1 Hautdesinfektion bei Osteosynthesen

Empfehlung 4	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit operativer Versorgung einer geschlossenen Fraktur soll zur präoperativen Hautdesinfektion eine antiseptische Lösung auf Alkoholbasis eingesetzt werden (z. B. Chlorhexidin in Alkohol oder PVP-Iod in Alkohol), sofern keine Kontraindikationen, wie z. B. Allergien, bestehen.	
Konsensstärke	93 % (starker Konsens)

Mehrere randomisierte Studien, systematische Übersichten und eine Meta-Analyse der WHO aus dem Jahr 2018 zeigen, dass alkoholbasierte Hautantiseptika im Vergleich zu wässrigen/nicht-alkoholischen Alternativen die SSI-Rate signifikant senken. Wässrige Povidon-Iod-Lösungen sind weniger effektiv und bergen Risiken wie resorptive Schilddrüsennebenwirkungen.

Die aktuelle Evidenz und Leitlinien unterstützen den Einsatz alkoholbasierter Lösungen zur Minimierung von SSI und Keimbesiedelung (Mielke & Hansis, 2018). Die KRINKO-Empfehlungen (2018) und ein Kommentar der KRINKO von 2024 betonen, dass alkoholbasierte Antiseptika aufgrund ihrer schnellen und hohen Wirksamkeit die Mittel der Wahl sind.

Ergänzend ist in einer großen RCT mit 849 Patienten (Darouiche et al., 2010) die Kombination von Chlorhexidin-Alkohol gegenüber wässrigem Povidon-Iod mit einem geringeren SSI-Risiko assoziiert (9,5 % vs. 16,1 %; RR 0,59; 95 % KI 0,41–0,85). Der Zusatz von Chlorhexidin erhöht die prolongierte Reduktion der Hautflora signifikant (Remanezeffekt).

Neuere Literatur vergleicht die Wirksamkeit von Chlorhexidin Gluconat in Alkohol, welches in Deutschland aktuell (2025) nur mittels Applikatoren angewendet werden kann, mit Povidone Jod in Alkohol. In der randomisierten Multicenter Studie (Widmer et al., 2024) mit 3360 eingeschlossenen Patienten (Allgemein- und Herzchirurgische Patienten) konnte eine Nichtunterlegenheit von Povidone Jod in Alkohol mit dem Endpunkt postoperative Wundinfektionen festgestellt werden.

Eine Cluster randomisierte Cross- over Studie in 25 Krankenhäusern in den USA und Kanada (PREP-IT Investigators, 2024) verglichen 0,7% Iodine povacrylex in 74% Isopropyl Alkohol mit 2% Chlorhexidin Gluconate in 70% Isopropyl Alkohol bei insgesamt 6785 Patienten mit geschlossenen Frakturen und 1700 Patienten mit offenen Frakturen. Endpunkt waren oberflächliche Wundinfektionen innerhalb von 30 Tagen und tiefe Wundinfektionen innerhalb von 90 Tagen. Bei geschlossenen Frakturen wurden in der Iodine- Alkohol Gruppe signifikant weniger Wundinfektionen festgestellt, als in der Chlorhexidin- Alkohol Gruppe (OR 0,74; 95% KI 0,55-1,0; $p=0,049$). Bei den offenen Frakturen bestand kein Unterschied hinsichtlich postoperativen Wundinfektionen zwischen beiden Hautdesinfektionsmitteln.

Randomisierte Studien zu der Wirksamkeit von Octenidin als remanenter Wirkstoff in Alkohol (farblos) zur Prävention postoperativer Wundinfektionen fehlen.

Grundsätzlich sind Kontraindikationen, wie z.B. Allergien sowohl bei Chlorhexidin, als auch bei Iodverbindung zu beachten. Auf jeden Fall ist auf eine ausreichende Einwirk- und Trocknungszeit zu achten.

1.2.2 Antibiotikaprophylaxe bei geschlossenen Frakturen

Empfehlung 5	Neu - Stand (2026)
Bei der operativen Versorgung geschlossener Frakturen soll eine perioperative Antibiotikaprophylaxe mit einem Cephalosporin der Gruppe 1 (z. B. Cefazolin) erfolgen. Die Gabe soll 15–60 Minuten präoperativ verabreicht werden. Eine Wiederholung nach 3 Stunden oder bei hohem Blutverlust (>1,5 l) wird empfohlen. Bei adipösen Patienten (≥ 100 -120 kg Körpergewicht) ist eine Dosisanpassung auf 3 g indiziert.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die aktuelle S3-Leitlinie zur perioperativen Antibiotikaprophylaxe (AWMF-Registernr. 067-009), Version 2024) empfiehlt den Einsatz eines Cephalosporins der Gruppe 1, insbesondere Cefazolin bei der operativen Versorgung geschlossener Frakturen (Abele-Horn et al., 2024). Cephalosporine wie Cefazolin weisen eine exzellente Wirksamkeit gegenüber grampositiven Hautkeimen, einschließlich *Staphylococcus aureus* (MSSA), Methicillin-sensible koagulase-negative Staphylokokken (z. B. *Staphylococcus epidermidis*) und Streptokokken, auf und werden somit als Standard in der Traumatologie und Orthopädie empfohlen (Abele-Horn et al., 2024).

Die Effektivität der perioperativen Antibiotikaprophylaxe (PAP) bei der operativen Versorgung von geschlossenen Frakturen ist durch mehrere randomisierte Studien und systematische Reviews belegt. Eine randomisierte klinische Studie von Boxma et al. mit über 2.000 Patientinnen und Patienten zeigte eine signifikante Senkung der Infektionsrate von 8,3 Prozent in der Placebogruppe auf 3,6 Prozent in der Gruppe, die eine Antibiotikaprophylaxe mit Ceftriaxon erhielt ($p < 0,001$). Auch die Inzidenz nosokomialer Infektionen konnte durch die antibiotische Prophylaxe signifikant reduziert werden (10,2 Prozent vs. 2,3 Prozent) (Boxma et al., 1996). Ein systematischer Cochrane-Review von Gillespie und Kollegen aus dem Jahr 2010, der Daten von 8.447 Patientinnen und Patienten aus insgesamt 23 Studien einschloss, zeigte eine signifikante Reduktion des Risikos sowohl für tiefe (relatives Risiko 0,40; 95 %-Konfidenzintervall 0,24–0,67) als auch für oberflächliche Wundinfektionen (relatives Risiko 0,69; 95 %-Konfidenzintervall 0,50–0,95) bei Gabe eines Antibiotikums vor Operationen geschlossener Frakturen (Gillespie & Walenkamp, 2010)

Die Standarddosis beträgt 2 g Cefazolin i.v., verabreicht 15–60 Minuten vor Hautschnitt. Bei adipösen Patienten (>100 -120 kg Körpergewicht) ist trotz schwacher Evidenzlage eine Dosisanpassung auf 3 g

empfohlen, um ausreichende Gewebespiegel zu gewährleisten. Aufgrund der kurzen Eliminationshalbwertszeit von ca. 1,8 Stunden ist eine intraoperative Wiederholung nach 3 – 3,5 Stunden erforderlich, insbesondere bei langer OP-Dauer oder Blutverlusten über 1,5 l (Abele-Horn et al., 2024).

Zusammenfassend ist die einmalige präoperative Gabe von Cefazolin ein effektives und sicheres Verfahren zur Senkung der postoperativen Infektionsrate bei operativer Versorgung geschlossener Frakturen. Ein Vorteil mehrfacher Gaben gegenüber einer Einzeldosis konnte für geschlossene Frakturen nicht gezeigt werden und sollte somit den o.g. Subgruppen (langer OP-Dauer oder hoher intraoperativer Blutverlust) vorbehalten bleiben (Abele-Horn et al., 2024; Slobogean et al., 2008).

1.2.3 Chirurgisches Debridement bei offenen Frakturen

Empfehlung 6	Neu - Stand (2026)
Ein fachgerechtes und zeitnahes gründliches chirurgisches Debridement soll zur Verhinderung einer frakturassoziierten Infektion nach offener Fraktur durchgeführt werden. a) Sofortige OP-Indikation zum chirurgischen Debridement und temporärer Stabilisation besteht bei offenen Frakturen mit stark verschmutzten Wunden, z. B. aus der Landwirtschaft oder aus dem Wassermilieu. b) Für höhergradig offene Frakturen, vor allem für offene Frakturen vom Gustilo-Anderson-Typ III, ohne starke Verschmutzung soll das initiale chirurgische Debridement innerhalb von 12 Stunden erfolgen. c) Bei low-energy Frakturen mit minimaler Kontamination sollte eine planmäßige Erstoperation innerhalb von 24h erfolgen. Bei der Lavage sollten keine Seifenspüllösungen, sondern Kochsalzlösungen verwendet werden. Der Einsatz von Hochdruck-Jet-Lavage ist nicht erforderlich.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Ein gründliches chirurgisches Debridement mit Entfernung von nekrotischem und infiziertem Gewebe inklusive ausgiebiger, intensivierter Spülung zeitnah zur Diagnosestellung im Vergleich zu einem späteren oder weniger gründlichen Vorgehen hat einen bedeutsamen Einfluss darauf, die Kontamination und damit das Infektionsrisiko bei offenen Frakturen zu senken (Powell-Bowns & Keating, 2024).

Hinsichtlich des Zeitpunktes des Debridements wurde in einem aktuellen Review die Literatur aufgearbeitet, die sich jedoch aufgrund des Fehlens von randomisiert-kontrollierten Studien zu dieser Thematik auf retrospektive Arbeiten und Expertenempfehlungen beschränken muss (Powell-Bowns & Keating, 2024; NICE guidance, 2018; BOAST 2017). Sofortige OP-Indikation zum Debridement und temporärer Stabilisation besteht bei offenen Frakturen mit stark verschmutzten Wunden aus der Landwirtschaft oder aus dem Wasser- oder gar Abwassermilieu. Für höhergradig offene Frakturen, vor allem für offene Frakturen vom Gustilo-Anderson-Typ III, ohne starke Verschmutzung sollte das initiale Debridement innerhalb von 12 Stunden erfolgen. Bei low-energy Frakturen mit minimaler Kontamination erscheint eine planmäßige Erstoperation innerhalb von 24h ausreichend. Die Qualität des Debridements ist dabei von entscheidender Bedeutung und sollte von einem erfahrenen Operateur mindestens mit Facharztstatus durchgeführt werden (Powell-Bowns & Keating et al., 2024).

Hinsichtlich der Art von Spüllösungen und der Verwendung von Jet-Lavage zeigte eine randomisiert-kontrollierte Studie mit 2551 Patienten mit offenen Frakturen eine signifikant höhere Reoperationsrate von 14,8 % für die Verwendung von Seifenspüllösungen gegenüber 11,8 % bei Kochsalz-Spüllösung ($p=0.01$). Keine signifikanten Unterschiede ergaben sich für die Höhe des Drucks bei der Lavage. Hierbei beliefen sich die Komplikationsraten auf 13,2 % in der Hoch-Energie-Lavage-Gruppe (>20 psi), auf 12,7 % in der Niedrig- (5-10 psi) und auf (13.7 %) der Gruppe mit sehr niedrigem Lavage-Druck (1-2 psi) ($p=0.53$). Die Lavage mit Kochsalzlösung erzielt somit bessere Ergebnisse und lässt den Einsatz von Hoch-Energie-Jelavage nicht notwendig erscheinen.

Nach initialem Debridement ist ein zeitnaher Wundverschluss idealerweise innerhalb von 72h bevorzugt/zielführend, spätestens aber nach 10 Tagen (siehe 1.3.2).

1.2.4 Lokale Applikation von Antibiotika bei offenen Frakturen

Empfehlung 7	Neu - Stand (2026)
a) Bei offenen Frakturen sollte zusätzlich zur systemischen Antibiotikatherapie und consequentem chirurgischem Debridement die Verwendung von lokalen Antibiotikaträgern mit prolongierter Freisetzung des Antibiotikums erwogen werden, vor allem bei drittgradig offenen Frakturen. b) Die generelle Applikation von Vancomycin-Pulver in der Wunde vor Wundverschluss kann auf Basis der aktuellen Literatur nicht empfohlen werden. (siehe S3-PAP-Leitlinie, AWMF-Reg.:067-009)	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Aus der Literatur gibt es Hinweise, dass die Einbringung eines lokalen Antibiotikums mit prolongierter Antibiotika-Freisetzung zusätzlich zur systemischen Antibiotikaprophylaxe zu einer Verringerung des Infektionsrisikos bei offenen Frakturen führt. Die kürzlich veröffentlichte S3-Leitlinie „Perioperative und Periinterventionelle Antibiotikaprophylaxe“ führt diesen Punkt ebenfalls auf.

Die zugrundeliegende Literatur von Morgenstern et al. (2018) zeigt in einem systematischen Review und einer Metaanalyse an 2.738 offenen Frakturen eine signifikante Reduktion der Infektionsraten von 16,6 % auf 4,6 % (OR 0.30; 95 % CI: 0.22-0.40, $p < 0.001$) durch den Einsatz von lokalen Antibiotika.

Gerade bei drittgradig offenen Frakturen war eine deutliche und signifikante Verringerung der Infektionsrate von 26,5 % auf 7,4 % (OR 0.22; 95 % CI: 0.14-0.33, $p < 0.001$) zu beobachten. Allerdings bezieht sich diese Studie wiederum auf Arbeiten, in denen zumeist Gentamicin-beladene Polymethylmetacrylat (PMMA)-Kugeln mit prolongierter Antibiotikafreisetzung verwendet wurden, die heute nicht mehr erhältlich sind. Zusätzlich bemängelten die Autoren die oftmals niedrige Qualität der zugrundeliegenden Studien aufgrund großer Heterogenität sowie eines hohen Biasrisikos und raten zu einer vorsichtigen Interpretation dieser Ergebnisse.

In Nordamerika wurde in den letzten Jahren ausgiebig das direkte Einbringen von Vancomycin-Pulver bei Osteosynthesen zum Zeitpunkt der definitiven Plattenosteosynthese untersucht, wobei bei offenen Frakturen (Vancomycin-Gruppe: 12.7 %; Kontrollgruppe: 19.3 %, $p = 0.23$) (O'Toole et al., 2021) keine signifikante Reduktion der Infektionsraten gefunden wurde. Es wurde dennoch eine signifikante Reduktion der postoperativen Infektionen mit gram-positiven Bakterien, die den größten Anteil der FRI's ausmachen, beschrieben. Dies entspricht dem Wirkspektrum des Vancomycin. In der Zusammenfassung ist ein Vorteil des Einsatzes von Vancomycin Pulver bei Hochrisiko Tibiaplateau- und Pilon-Frakturen beschrieben, bei gleichzeitig keinen beschriebenen Nebenwirkungen und im Vergleich zur systemischen Therapie minimaler systemischer Toxizität.

In einer randomisiert kontrollierten indischen Arbeit zu der Applikation von Vancomycin Pulver bei insgesamt 88 Patienten mit isolierten geschlossenen Frakturen und offener Reposition und interner Fixation bestätigt wurde innerhalb von 6 Wochen nach Operation kein signifikanter Unterschied hinsichtlich FRI's beschrieben. Fazit ist, dass bei erwartbarer niedriger Infektionsrate, die regelhafte Applikation von Vancomycin Pulver nicht indiziert ist.

In einem Review von Mills H et al. wird auf die Evidenz von lokalen Antibiotika bei der Prävention und Therapie von FRI gerade bei Hochrisiko Frakturen eingegangen. Die Art der Applikation wird diskutiert und weitere prospektive randomisierte Studien gefordert, um das Verständnis um die Sicherheit, Effizienz bei verschiedenen Frakturtypen zu evaluieren.

1.2.5 Einsatz von antimikrobiell beschichteten Implantaten

Empfehlung 8	Neu - Stand (2026)
Auf Basis der aktuellen Datenlage kann keine generelle Empfehlung zur Verwendung von antimikrobiell beschichteten Implantaten für Osteosynthesen ausgesprochen werden. Dennoch kann aufgrund der beschriebenen Sicherheit der zugelassenen Implantate und der in	

der Literatur berichteten niedrigen Infektionsraten der Einsatz selektiv bei hohem Infektionsrisiko (z. B. offene Frakturen mit massiver Kontamination, Revision nach Infekt/Pseudarthrose, relevante Risikofaktoren) erwogen werden.

Konsensstärke	93 % (Konsens)
---------------	----------------

Im Moment gibt es in Europa zwei zugelassene Beschichtungen für intramedulläre Nägel und keine zugelassenen Beschichtungen für Osteosynthese-Platten. Ein Hersteller bietet eine Gentamicin-Beschichtung für Tibia-Nägel (Fuchs et al., 2011; Schmidmaier et al., 2017; Patel et al., 2023) und ein anderer Hersteller eine Beschichtungstechnologie basierend auf den Edelmetallen Palladium, Gold und Silber an (Karupiah et al., 2022; Kotsarinis et al., 2023). Für keine der beiden antimikrobiellen Beschichtungen gibt es momentan randomisiert-kontrollierten Studien, sondern lediglich prospektive bzw. retrospektive Fallserien, für die relativ niedrige Infektionsraten, nach primären und Revisions-Osteosynthesen zwischen 0 % (Fuchs et al., 2011), 1,8 % (Patel et al., 2023), 3,2 % (Kotsarinis et al., 2023), 5 % (Schmidmaier et al., 2017) und 8,6 % (Karupiah et al., 2022) beschrieben sind. Oftmals wurden die beschichteten Implantate bei offenen Frakturen oder Infekt- bzw. Pseudarthrosen-Revisionen eingesetzt, für die die o.g. Infektionsraten als relativ niedrig angesehen werden können. In keiner der Studien hat sich eine implantat- oder beschichtungsspezifische Komplikation gezeigt.

Für Plattenosteosynthesen befindet sich momentan eine randomisierte klinische Studie zu einer Silberbeschichtung für winkelstabile distale Fibula-Platten in Auswertung (Schoder et al., 2023), deren Ergebnisse jedoch erst noch abgewartet werden müssen, bevor eine entsprechende Empfehlung eventuell ausgesprochen werden kann.

1.3 Postoperative Prävention

1.3.1 Erster Verbandswechsel nach Osteosynthese

Empfehlung 9	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten nach operativer Frakturversorgung soll in den ersten 24–48 Stunden kein Verbandswechsel stattfinden, sofern der Verband trocken ist und korrekt anliegt. Ein früher Wechsel des Verbandes soll vermieden werden, da er die Barrierefunktion des Wundverbandes beeinträchtigen und das Risiko einer nosokomialen Infektion erhöhen kann.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Der Verzicht auf einen Verbandswechsel innerhalb der ersten 24 Stunden nach einer operativen Frakturversorgung – vorausgesetzt, der Verband ist trocken und liegt regelrecht an – vermeidet ein unnötiges Risiko. Die Evidenzlage aus verschiedenen chirurgischen Disziplinen, einschließlich orthopädischer und allgemeinchirurgischer Eingriffe, unterstützt diese Empfehlung. Die Leitlinie der World Health Organization (WHO) zur Prävention postoperativer Wundinfektionen empfiehlt explizit, einen primär angelegten Wundverband für mindestens 48 Stunden unangetastet zu lassen, solange keine Anzeichen einer Kontamination oder Durchfeuchtung vorliegen. Dies basiert auf der Beobachtung, dass ein früher Verbandwechsel die Wunde erneut potenziell kontaminieren kann und somit das Risiko für Wundinfektionen steigert (World Health Organization, 2018). Auch die NICE-Guideline (National Institute for Health and Care Excellence, UK) zum Thema „Surgical site infections“ sowie die CDC Empfehlungen (Keely et al. 2018) betonen, dass ein Verband, der sauber, trocken und intakt ist, nicht routinemäßig gewechselt werden sollte, da jeder Wechsel das Risiko der Keimübertragung und der Manipulation der Wunde erhöht (*Surgical site infections: prevention and treatment | Guidance | NICE*, 2025). Ein Cochrane Review mit 280 Patienten nach elektiven Operationen verglich eine frühe (innerhalb von 48 Stunden) mit einer verzögerten Verbandentfernung. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied bei Wundinfektionen, Wunddehiszenz oder schweren Nebenwirkungen (Toon et al., 2015).

Eine aktuelle Meta-Analyse (Hwang et al. 2025) verglich die postoperativen Wundinfektionsraten bei 878 Patienten (385 davon mit Notfalloperationen) bei einem Verbandwechsel nach 48 Stunden mit Verbandwechseln zwischen 48 und 96 Stunden, 96 Stunden und mehr als 107 Stunden. Die beste Option ist ein Verbandswechsel innerhalb von 48 Stunden postoperativ im Vergleich zu einem verzögerten Verbandwechsel. Gründe hierfür sind verzögerte Wundreinigung, höhere Bakterienbelastung zwischen Wunde und Verband.

Moderne Verbandsmaterialien mit Exudatmanagement sind im Rahmen einer Qualitätsverbesserungsstudie (Pickel et al. 2022) getestet worden und können analog den Herstellerangaben bis zu 7 Tage belassen werden. Eine Reduktion von postoperativen Wundinfektionen bei elektiven orthopädischen Operationen (Hüft- und Knie TEP, n= 165 Patienten) und bei der Versorgung von Hüftfrakturen (n=142 Patienten) wurde beschrieben, randomisiert-kontrollierte Studien mit signifikanten Unterschieden zu einem Standard-Verband fehlen jedoch.

1.3.2 Frühzeitige plastische Deckung bei schwerem Weichteilschaden bei offenen Frakturen

Empfehlung 10	Neu - Stand (2026)
Generell sollte eine frühzeitige Weichteildeckung nach offener Fraktur angestrebt werden, auch wenn hierzu eine freie Lappenplastik notwendig ist. Diese sollte idealerweise innerhalb von 72 h erfolgen, kann jedoch auch innerhalb von 7-10 Tagen mit vergleichbaren Ergebnissen unter Verwendung von zwischenzeitlicher temporärer Weichteildeckung erfolgen. Zahlreiche Etappeneingriffe und eine Verzögerung des Weichteilverschlusses über 7-10 Tage hinaus sollten vermieden werden und bei Nichtverfügbarkeit plastisch-chirurgischer Möglichkeiten eine frühzeitige Verlegung des Patienten in ein entsprechendes Zentrum erfolgen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Durch Godina et al. wurde bereits 1986 nachgewiesen, dass durch eine Deckung offener Frakturen innerhalb von 72 Stunden die Verlustrate der freien Lappenplastiken, die postoperative Infektionsrate und die Zeit zur Knochenheilung sowie Hospitalisierungsdauer und Zahl an Revisionsoperationen signifikant reduziert war gegenüber späteren Rekonstruktionen (Godina, 1986). Neuere Arbeiten konnten die Abhängigkeit des Behandlungserfolges vom Zeitpunkt der Weichteildeckung bestätigen und gute Behandlungsergebnisse nach freier Lappendeckung bei offenen Frakturen mit schwerem Weichteilschaden innerhalb von 7-10 Tagen nachweisen (Yim et al., 2024; Le et al., 2024) (Kuripla et al., 2021; Pincus et al., 2019).

Für die temporäre Weichteildeckung mit negative pressure wound therapy (NPWT) bis zum definitiven Wundverschluss und innerhalb von 10 Tagen wurden bessere Ergebnisse erzielt (Cao et al., 2022). Die aktive Wirkung der NPWT kann Folgeoperationen durch die Demarkierung von Weichteilgewebe reduzieren und steht damit im Gegensatz zu einer „zu frühen“ Deckung ohne ausreichende Demarkierungsphase. Bei fehlender Verführbarkeit ist nach initialem Wunddebridement die frühzeitige Verlegung in ein orthoplastisches Zentrum zielführend (Cao et al., 2022).

Zahlreiche Etappeneingriffe und eine Verzögerung des Weichteilverschlusses über 7-10 Tage hinaus sollten vermieden werden und bei Nichtverfügbarkeit plastisch-chirurgischer Möglichkeiten eine frühzeitige Verlegung des Patienten in ein entsprechendes Zentrum erfolgen. (siehe Empfehlung)

2 Diagnostik

2.1 Allgemein

2.1.1 Gezielte Schulung von Patienten nach Osteosynthese

Empfehlung 11	Neu - Stand (2026)
Patienten sollten nach operativer Frakturversorgung aktiv über mögliche klinische Symptome einer FRI informiert, gezielt geschult und im Entlassbrief auf eine zeitnahe Wiedervorstellung bei entsprechenden Symptomen hingewiesen werden. Dies kann die Früherkennung und Behandlungsmöglichkeiten im Falle einer FRI verbessern.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

In der Literatur gibt es keine Evidenz, die bei Betrachtung der Entität FRI einen positiven Effekt einer Patientenschulung zur Früherkennung einer postoperativen Infektion belegt. Für andere chirurgische Fachgebiete liegt jedoch eine gewisse Evidenz vor. So konnte für kolorektale postoperative Wundinfektionen (SSI, surgical site infections) eine Reduktion der Infektionsrate von 3,2 % auf 2,7 % nachgewiesen werden. Zudem konnte in der plastischen Chirurgie eine Reduktion von 1,2 % auf 0,5 % gezeigt werden (Cox et al., 2023). Eine 2024 veröffentlichte systematische Übersichtsarbeit konnte 8 Publikationen einschließen, bei denen eine Patientenedukation zur Reduktion von SSI gegenüber keiner besonderen Schulung der Patienten verglichen wird. Bei insgesamt 9236 Patienten in verschiedenen chirurgischen Fachgebieten konnte in jeder Studie eine Reduktion der SSI-Rate dokumentiert werden, wobei die Patientenschulung zumeist Teil eines Maßnahmenbündels zur Vermeidung von SSI war (Michail et al., 2024). Darüber hinaus halten auch Patienten und Behandler die Patientenedukation für die Prävention in 78,9 % resp. 79,4 % für wichtig, um geringer SSI-Raten zu erzielen (de Oliveira Campos et al., 2024).

Die Evidenz aus diesen Bereichen mit einer nachvollziehbaren klinischen Plausibilität führen zur o.g. Empfehlung. Dennoch sind Studien, die den Nutzen einer strukturierten Patientenschulung zur Früherkennung einer FRI untersuchen, nötig, um in Zukunft die Evidenz in diesem Bereich zu schaffen resp. zu erhöhen.

2.1.2 Beachtung einer möglichen Sepsis

Empfehlung 12	Neu - Stand (2026)
d) Obwohl spezifische Daten für frakturassoziierte Infektionen (FRI) fehlen, zeigt die allgemeine Sepsis-Evidenz, dass ein verzögertes Vorgehen mit erhöhter Mortalität verbunden ist. Bei Patienten mit frakturassoziiierter Infektion soll bei Zeichen einer systemischen Infektion (z. B. Fieber) oder Organfunktionsstörung stets auch das Vorliegen einer Sepsis berücksichtigt werden. e) Entsprechend der aktuellen Sepsis-3-Definition soll bei klinischem Verdacht eine rasche Evaluation mit geeignetem Screeningverfahren erfolgen. f) Bei Vorliegen einer Sepsis soll eine notfallmäßige chirurgische Intervention zur Keimlastreduktion im Sinne eines initial begrenzten Debridements in Kombination mit einer frühzeitigen empirischen kalkulierten Antibiotikatherapie erfolgen. Primäres Ziel ist hierbei nicht die chirurgische Intervention, sondern die rasche Kontrolle der Infektionsquelle und die Verbesserung des Überlebens.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Sepsis stellt eine lebensbedrohliche Komplikation infektionsbedingter Krankheitsverläufe dar und kann im Rahmen frakturassoziiierter Infektionen auftreten, wenngleich sie in diesem Patientenkollektiv seltener beobachtet wird als bei periprothetischen Infektionen.

Die aktuelle Sepsis-3-Definition beschreibt Sepsis als eine Infektion mit dysregulierter Wirtsantwort, die zu einer akuten Organdysfunktion führt, messbar als Anstieg des SOFA-Scores um ≥ 2 Punkte gegenüber dem Ausgangswert (DSG (Deutsche Sepsis-Gesellschaft), DGAI (Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin), DIVI (Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin et al., 2025; Singer et al., 2016). In der ersten klinischen Einschätzung stellen sowohl der qSOFA-Score als auch die SIRS-Kriterien hilfreiche Werkzeuge zur Identifikation einer potenziellen Sepsis dar. Der qSOFA-Score (bestehend aus systolischem Blutdruck ≤ 100 mmHg, Atemfrequenz ≥ 22 /min und einer veränderten mentalen Orientierung) eignet sich insbesondere für die Anwendung außerhalb der Intensivstation und ist mit einer erhöhten Mortalität assoziiert (Raith et al., 2017).

Daten zu Sepsis bei frakturassoziierten Infektionen sind limitiert. In der Registeranalyse von Baertl et al. (2025) zu Patienten mit periprothetischer Gelenkinfektion wurde jedoch gezeigt, dass eine beglei-

tende Sepsis mit einer deutlich erhöhten Mortalität (17,1 % vs. 2,3 %) und einem schlechteren Outcome assoziiert war (Baertl et al., 2025). Auch Ludwick et al. (2022) identifizierten systemische Sepsis als einen der stärksten Prädiktoren für Reinfektion und Letalität bei Patienten mit akuter periprotektischer Gelenkinfektion, die mittels DAIR behandelt wurden (Ludwick et al., 2022).

Diese Ergebnisse sind auf Grund ähnlicher pathophysiologischer Mechanismen auch für die Behandlung der frakturassoziierten Infektion richtungsweisend. Frühzeitige Maßnahmen mit zügiger Diagnostik, Asservierung von Blutkulturen, Beginn einer kalkulierten intravenösen Antibiotikatherapie und zeitnaher chirurgischer Therapie gelten als entscheidend für das Überleben (Rhodes et al., 2017). Gerade bei septischen Patienten mit frakturassoziierte Infektion kann die chirurgische Intervention initial begrenzt erfolgen, um Zeit für hämodynamische Stabilisierung und gezieltere Planung zu gewinnen. Ziel ist hierbei nicht die chirurgische Sanierung, sondern die rasche Kontrolle der Infektionsquelle und die Verbesserung des Überlebens (Rupp et al., 2024).

2.1.3 Gezielte Anamneseerhebung bei V. a. frakturassoziierte Infektion

Empfehlung 13	Neu - Stand (2026)
Aus der klinischen Erfahrung heraus soll eine gründliche Anamneseerhebung auf jeden Fall erfolgen, da hierdurch einige Risikofaktoren für FRI zu erheben sind. Dies betrifft vor allem den Zustand nach offener Fraktur, bereits vorangegangene FRI oder Komorbiditätsfaktoren, wie z. B. ASA-Score, Diabetes mellitus, Drogenkonsum oder pAVK etc..	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Einige Arbeiten zeigen, dass Risikofaktoren, die eine FRI begünstigen, durch Anamnese zu erheben sind. Dies schließt vor allem die komplette Krankheitsgeschichte seit Frakturereignis, z. B. Vorliegen einer geschlossenen bzw. offenen Fraktur, Polytrauma, alle operativen Eingriffe, Wundheilungsstörungen bzw. Infektionseingriffe, Antibiotikatherapien und natürlich auch Komorbiditäten etc. mit ein.

Bei geschlossenen Tibiaschaftfrakturen kann mit 1–2 % Infektionen ausgegangen werden, während diese bei offenen Frakturen mit ausgedehnter Weichteilverletzung (Gustilo-Anderson Typ III) bis zu 42,9 % betragen. Des Weiteren konnte bei 193 Patienten mit FRI ein höherer BMI, die Zugehörigkeit zur schwarzen oder hispanischen Bevölkerungsgruppe, eine höhere Klassifikation nach der American Society of Anesthesiologists (ASA Score), sowie eine Vorgeschichte mit Tabak-, Alkohol- und Drogenkonsum als Risikofaktor ausgemacht werden, außerdem Frakturen der unteren Extremität (Fuß, Tibia

und Femur/Becken). Zudem konnte gezeigt werden, dass eine Behandlung in einem städtischen Traumazentrum der Stufe I und Drogenkonsum positiv mit der Entwicklung einer FRI korrelierten (Solasz et al., 2023). Die hämatogene Infektion – das Absiedeln von Erregern, deren Ursprung Haut, Mundhöhle, Respirations- oder Harntrakt sind, über das Blut in die Frakturregion – ist weniger häufig (Rupp et al., 2024). Die genannten Risikofaktoren lassen sich leicht erheben und sind daher einfach in die Anamnese aufzunehmen.

2.1.4 Diagnose anhand konfirmatorischer Kriterien

Empfehlung 14	Neu - Stand (2026)
Das Vorliegen mindestens eines konfirmatorischen klinischen Kriteriums – wie einer Fistel, einer Wunddehiszenz mit sichtbarem Kontakt zum Implantat und/oder dem makroskopischen Nachweis von Eiter – soll als ausreichend angesehen werden, um eine FRI sicher zu diagnostizieren.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Nach Einführung der Definition FRI im Rahmen eines Konsensusprozesses mit Festlegung der konfirmatorischen Kriterien im Jahr 2018 (Metsemakers et al., 2018) wurde eine Validierung der diagnostischen Kriterien 2022 veröffentlicht. In dieser Arbeit wurden insgesamt 637 Patienten untersucht, bei denen ein Verdacht einer FRI bestand und eine OP erfolgte. Das Vorhandensein zumindest eines konfirmatorischen Kriteriums (wie eine Fistel, Wunddehiszenz mit Kontakt zum Implantat und/oder makroskopischer Nachweis von Eiter) war mit einer Sensitivität von 97,5 % und einer Spezifität von 100 % und einem Trennwert (AUROC 0,99, $p < 0,001$) assoziiert (Onsea et al., 2022).

2.1.5 Diagnose anhand suggestiver Kriterien

Empfehlung 15	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit Osteosynthese nach Fraktur und suggestiven klinischen Kriterien einer frakturassoziierten Infektion (FRI), wie lokale oder systemische Infektionszeichen, neu aufgetretener Gelenkerguss oder anhaltende/zunehmende Wundsekretion, soll eine weiterführende Diagnostik erfolgen. Diese soll Laboruntersuchungen zur Erfassung von Entzündungsparametern sowie radiologische und/oder nuklearmedizinische Untersuchungen beinhalten, um die Diagnosesicherheit zu erhöhen. Eine diagnostische Biopsie der Frakturregion im Vorfeld der eigentlichen Revisionsoperation ist allerdings zur Diagnose nicht notwendig, da die operative Therapie in den allermeisten Fällen nicht vom nachgewiesenen Keim abhängig ist. Im Rahmen der intraoperativen Diagnostik hat die mikrobiologische und histopathologische Untersuchung einen hohen Stellenwert. Es sollen hierbei 3–5 Gewebeproben entnommen werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Eine weiterführende Diagnostik erhöht die Diagnosesicherheit bei Verdacht auf eine frakturassoziierte Infektion (FRI) bei Patienten mit Osteosynthese nach Fraktur und suggestiven klinischen Kriterien deutlich. Klinische Zeichen wie lokale Rötung, Schwellung, Wärme, systemische Symptome (z. B. Fieber) oder Wundsekretion sind häufig unspezifisch und können auch durch nicht-infektiöse Ursachen (z. B. mechanische Irritation oder aseptische Lockerung) bedingt sein. Daher ist eine gezielte Diagnostik essenziell, um die Verdachtsdiagnose zu erhärten oder zu widerlegen.

Mikrobiologische Kulturen gelten als Goldstandard zur Diagnostik der FRI, obwohl die Sensitivität relativ niedrig ist (Sensitivität 68 %, Spezifität 87 % bei einem Schwellenwert von mindestens 2 von 5 Proben mit identischen Erregern) (Dudareva et al., 2021). In etwa 10 % der Fälle bleiben Kulturen negativ, ohne dass ein Erreger identifiziert werden kann (Gitajn et al., 2016). Für optimale Kulturbedingungen sollten drei bis fünf Proben entnommen werden (Dudareva et al., 2021; Renz et al., 2015), wobei eine standardisierte Probengewinnung entscheidend ist. Die mikrobiologische Untersuchung erzielt bessere Ergebnisse an tiefen Gewebeproben (Biopsien) – Abstriche von der Oberfläche oder aus Fistelgängen sind ungeeignet. Die Probenentnahme unter „No-Touch“-Technik und, wenn klinisch vertretbar, mit pausierter Antibiotikatherapie idealerweise zwei Wochen vor der Entnahme reduziert falsch-positive, bzw. falsch-negative Ergebnisse/rduiziert die Beeinflussung der diagnostischen Tests

(Atkins et al., 1998; Yano et al., 2014). Laut Studien wird die Zwei-Wochen-Frist nicht negativ beeinflusst, so dass eine standardmäßige perioperative Antibiotikaphylaxe keinen negativen Einfluss hat. (Wouthuyzen-Bakker et al., 2017). Wichtig zu beachten ist, dass diese Daten eine intraoperative Diagnostik darstellen und nicht auf präoperative Biopsien übertragbar sind. Eine rein diagnostische Biopsie im Vorfeld der eigentlichen Revisionsoperation erscheint aufgrund mangelnder Therapiekonsequenz nicht notwendig.

Entzündungsparameter wie C-reaktives Protein (CRP) und Leukozytenzahl sind sensitiv, aber wenig spezifisch, da sie auch durch andere entzündliche Prozesse erhöht sein können. Dennoch sind sie ein wichtiger Bestandteil der Diagnostik, insbesondere in der Verlaufskontrolle. Sigmund et al. haben bei 46 Patienten verschiedene Serummarker untersucht und Sensitivität, Spezifität und AUC-Werte ermittelt. Sensitivität, Spezifität und AUC von CRP lagen bei 67 % (95 %-Konfidenzintervall (KI) 52 % bis 80 %), 61 % (95 %-KI 47 % bis 74 %) und 0,64 (95 %-KI 0,54 bis 0,74); für die Leukozytenzahl bei 17 % (95 %-KI 9 % bis 31 %), 95 % (95 %-KI 86 % bis 99 %) und 0,57 (95 %-KI 0,50 bis 0,62); für %N bei 13 % (95 %-KI 6 % bis 26 %), 87 % (95 %-KI 76 % bis 93 %) und 0,50 (95 %-KI 0,43 bis 0,56); und für das Neutrophile/Leukozyten-Verhältnis bei 28 % (95 %-KI 17 % bis 43 %), 80 % (95 %-KI 68 % bis 88 %) und 0,54 (95 %-KI 0,46 bis 0,63). Eine bessere Leistung des Serum-CRP wurde im Vergleich zur Leukozytenzahl ($p = 0,006$), zu %N ($p < 0,001$) und zum NLR ($p = 0,001$) gezeigt (Sigmund et al., 2020).

Röntgenaufnahmen sind die primäre Bildgebung zur Diagnose der FRI. Sie ermöglichen die Beurteilung der Frakturheilung, Implantatlage und Knochenausrichtung. In den ersten 2–3 Wochen (akute Phase) zeigen sich meist keine radiologischen Infektzeichen. Bei verzögerten oder chronischen Infektionen können typische Merkmale der chronischen Osteomyelitis sichtbar werden, wie periostale Reaktionen, kortikale Erosionen, osteolytische Veränderungen, fokale Osteopenie und endostale Einschmelzungen. In fortgeschrittenen Stadien kann eine Osteolyse auftreten, die auf Röntgenbildern erkennbar wird, wenn über 50 % der Knochenmatrix zerstört sind. Weichteilzeichen wie Schwellung oder radioluzente Streifen sind ebenfalls Hinweise auf frakturbedingte Infektionen (Butt et al., 1973).

Wenn Röntgenbilder nicht ausreichen, sind Schnittbildverfahren wie CT oder MRT notwendig. Die CT liefert detaillierte Informationen zu Knochenstruktur, Weichteilinfiltration, Abszessen, periostalen Reaktionen und Gasbildung und unterstützt die präzise OP-Planung. Allerdings kann die CT nicht zwischen vitalem und nekrotischem Knochen unterscheiden, und Metallimplantate können Artefakte verursachen. Eine MRT bietet gegenüber röntgenbasierten Verfahren Vorteile in der Weichteil- und Knochenmarkbeurteilung sowie beim frühzeitigen Nachweis akuter Entzündungen. Akute Infektionen zeigen sich mit niedrigem Signal in T1- und hohem Signal in T2-gewichteten Sequenzen. STIR-Sequenzen hel-

fen bei der Darstellung von Flüssigkeitsansammlungen. Gadolinium-Kontrastmittel verbessern die Signalabgrenzung, doch bleibt die Unterscheidung zwischen Ödem und echter Entzündung schwierig, was zu Überschätzungen führen kann (Rupp, et al., 2024).

Die ¹⁸F-FDG-PET/CT zeigt eine hohe diagnostische Genauigkeit (0,83) und insbesondere einen exzellenten negativen Vorhersagewert (NPV 0,91) bei der Diagnostik der FRI. Die Kombination aus qualitativer Bildbeurteilung und quantitativen SUV-Werten verbessert die Aussagekraft zusätzlich (AUC 0,89 vs. 0,84). Wichtig ist der zeitliche Abstand zur Operation: Untersuchungen innerhalb eines Monats nach OP sind mit einer deutlich erhöhten Rate falsch-positiver Ergebnisse (Risiko 46 %) verbunden. Eine Durchführung der Untersuchung frühestens 1 Monat postoperativ erzielt spezifischere/vertrauenswürdigere Ergebnisse (Lemans et al., 2019).

2.1.6 Berücksichtigung einer frakturassoziierten Infektion im Falle einer verzögerten Frakturheilung

Empfehlung 16	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit verzögerter oder ausbleibender Knochenheilung nach einer Fraktur soll die Möglichkeit einer frakturassoziierten Infektion (FRI) systematisch in die differentialdiagnostische Abklärung einbezogen werden. Die frühzeitige Berücksichtigung einer FRI führt zu einer verbesserten Früherkennung und ermöglicht eine rechtzeitige, zielgerichtete Behandlung, wodurch die Heilungschancen optimiert und Komplikationen minimiert werden können.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Bei ausbleibender Knochenheilung sind bis zu 30 % der Pseudarthrosen infektionsbedingt, so dass eine Abklärung notwendig ist, ob eine Infektion als Ursache der ausbleibenden Knochenheilung vorliegt (Rupp et al., 2021; Tsang et al., 2015). In einer kürzlich publizierten Studie bei Patienten mit 81 Tibiapseudarthrosen ohne klinischen Anhalt auf eine Infektion waren nach entsprechender stringenter Diagnostik sogar 37 (42,0 %) davon infiziert (Hack et al., 2021).

Eine verzögerte Diagnose führt zu prolongierter Entzündung, Gewebeschäden und erhöhter Morbidität, was die Heilungschancen verschlechtern kann und Kosten im Gesundheitssystem steigert (Flores et al., 2024). Ohne Berücksichtigung einer FRI werden Symptome oft anderen Ursachen zugeschrieben, was die Diagnose verzögert und die Prognose verschlechtert. Die systematische Einbindung der FRI-

Diagnostik in die klinische Praxis ist daher essenziell. Zukünftige Studien sind notwendig, um standardisierte Protokolle zu entwickeln und zu validieren, die als Grundlage zur Formulierung von ersten Handlungsempfehlungen mit starkem Empfehlungsgrad verwendet werden können (Hackl et al., 2024). Die frühzeitige Abklärung optimiert die Patientenversorgung und minimiert langfristige Komplikationen.

2.1.7 Verzicht auf Abstrich von Wunden bzw. Fisteln zur Infektdiagnostik

Empfehlung 17	Neu - Stand (2026)
Präoperativer Abstriche aus Wunden oder Fisteln zur Diagnose des infektiöserregenden Keims bei Verdacht auf FRI sollen nicht erfolgen, da die Aussagekraft hinsichtlich des tatsächlichen Infektionserregers limitiert ist. Stattdessen soll der mikrobiologische Nachweis standardisiert intraoperativ anhand von drei bis fünf tiefen Gewebeproben durchführen. Das Abstreichen von Wunden bzw. Fisteln ist nur im Kontext einer generellen Besiedelung/Kontamination des Patienten mit einem multiresistenten Keim für allgemeine Screening/Hygiene-Maßnahmen (z. B.: MRSA/MRGN) sinnvoll.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

FRI werden unter anderem durch Erreger hervorgerufen, die auch zur kommensalen Hautflora des Patienten gehören. Eine signifikante Herausforderung besteht im Rahmen des diagnostischen Prozesses daher in der Unterscheidung zwischen klinisch signifikanten und irrelevanten Isolaten. Dies ist insbesondere dann problematisch, wenn Abstrichmaterialien zur Untersuchung eingesandt werden, die aus Regionen mit einer direkten Verbindung mit der Hautoberfläche gewonnen wurden. Die inkorrekte Klassifikation eines aus solchen Materialien isolierten Erregers birgt das Risiko nicht indizierter Antibiotikatherapien. Eine weitere Folge kann gegebenenfalls die Gabe einer unwirksamen anti-infektiven Therapie sein. Aus dem Kontext der Diagnose von PJI weiß man, dass es eine nicht ausreichende Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen oberflächlicher Abstrichmaterialien und Gewebekulturen gibt (Trebse et al., 2021; Zulaga et al., 2002). Aus diesem Grund wird die Gewinnung solcher Proben von internationalen Expertenteams nicht empfohlen (McNally et al., 2023; Trampuz et al., 2008). Diese Empfehlung wird auch in einem Konsensus Statement einer Expertengruppe zur Diagnose einer FRI vertreten (McNally et al., 2020).

Mehrere Studien zeigen eine teils geringe, teils moderate Übereinstimmung zwischen Abstrichen aus dem Fistelgang und intraoperativen Kulturen. Eine frühe Studie mit 40 Patienten zeigte, dass nur 44 % der präoperativen Fistelabstriche mit dem intraoperativ identifizierten Erreger übereinstimmten, obwohl in 87,5 % der Fälle ein klarer Einzelkeim intraoperativ nachgewiesen wurde. Zwar korrelierte der Nachweis von *Staphylococcus aureus* im Fistelabstrich häufiger mit dem intraoperativen Befund, jedoch wurde auch bei nachgewiesener *S.-aureus*-Osteomyelitis dieser Erreger in weniger als der Hälfte der Fistelabstriche gefunden. Der Nachweis anderer Erreger (z. B. Koagulase-negative Staphylokokken oder gramnegative Keime) in den Fistelgängen hatte dagegen nur eine sehr geringe Vorhersagekraft für die tatsächlichen Infektionserreger im Knochen (Mackowiak et al., 1978).

Ein weiteres Manuskript mit 50 Fällen chronischer Osteomyelitis bestätigte diese Daten: Die Übereinstimmung zwischen Proben aus den überflächlichen Weichteilen und intraoperativ entnommenen Knochenproben lag bei insgesamt nur 28 %, für *S. aureus* bei 38 %, für andere Erreger sogar nur bei 19 %. Zusätzlich wurden hohe Raten an falsch-negativen (52 %) und falsch-positiven (36 %) Ergebnissen beobachtet, was eine erhebliche diagnostische Unsicherheit mit sich bringt (Zuluaga et al., 2002).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass präoperative Abstriche aus Fisteln zwar gelegentlich den relevanten Erreger nachweisen, aber eine relevante Rate an falsch-positiven Ergebnissen aufweisen. Die alleinige Orientierung an solchen Ergebnissen birgt die Gefahr einer inadäquaten oder zu breiten Antibiotikatherapie. Eine hohe diagnostische Sicherheit wird durch intraoperative Gewinnung von Gewebe- oder Knochenproben erzielt, nicht durch Fistelabstriche.

Das Abstreichen von Wunden bzw. Fisteln ist nur im Kontext einer generellen Besiedelung/Kontamination des Patienten mit einem multiresistenten Keim für allgemeine Screening/Hygiene-Maßnahmen sinnvoll.

2.1.8 Erhebung des Gefäßstatus

Empfehlung 18	Neu - Stand (2026)
Das Erheben des Gefäßstatus ist vor operativen Eingriffen bei Patienten mit FRI unerlässlich. Daher soll die betroffene Extremität im Seitenvergleich sowohl in akuten Situationen (Embolie, akute arterielle und venöse Thrombose, traumatische Verletzungen) als auch bei chronischen Verschlussprozessen (pAVK) gezielt auf hämorrhagische oder ischämische Anzeichen untersucht werden. Neben Inspektion, Palpation und Auskultation gehören bei klinischem Verdacht auf Störungen der Perfusion vor allem die dopplersonographische Messung der arteriellen Verschlussdrücke der Unterschenkelgefäße zur orientierenden Basisuntersuchung des Gefäßstatus. Aus den Untersuchungsergebnissen sollen natürlich potentielle therapeutische Konsequenzen zur Verbesserung des Gefäßstatus und der Vaskularisation abgeleitet werden.	
Konsensstärke	93 % (Konsens)

Die Vaskularisation von Gewebe ist von essenzieller Bedeutung für alle Heilungsprozesse. FRI betreffen mit dem distalen Unterschenkel oftmals eine anatomische Lokalisation, die von Durchblutungsstörungen betroffen sein kann. Daher ist das Erheben des Gefäßstatus vor operativen Eingriffen unerlässlich.

Die betroffene Extremität ist dabei im Seitenvergleich sowohl bei akuten Situationen (Embolie, akute arterielle und venöse Thrombose, traumatische Verletzungen) als auch bei chronischen Verschlussprozessen (pAVK) gezielt auf hämorrhagische oder ischämische Anzeichen zu untersuchen (Khan et al., 2006). Die Sicherung des Verdachts auf das Bestehen einer Gefäßläsion kann allein durch eine klinische Untersuchung meist nicht gestellt werden. Tastbare Fußpulse sind ein hilfreicher klinischer Hinweis darauf, dass die arterielle Durchblutung intakt sein könnte. Jedoch schließen fühlbare Fußpulse einen Arterienverschluss nicht immer vollständig aus. In manchen Fällen, wie bei einem partiellen Verschluss oder Kollateralbildung können die Pulse immer noch spürbar sein, obwohl es irgendwo im arteriellen System eine Engstelle oder einen Verschluss gibt (Barnes et al., 2002; Howells et al., 2011; Romagnoli et al., 2021).

Speziell bei bekannten oder vermuteten chronischen arteriellen Verschlussprozessen gehören neben der klinischen Basisuntersuchung mit Inspektion, Palpation und Auskultation obligat die dopplersonographische Messung der systolischen Verschlussdrücke der A. dorsalis pedis und der A. tibialis poste-

rior sowie – bei fehlender oder nicht verwertbarer Messung – gegebenenfalls der A. fibularis. Die Messungen erfolgen bei der liegenden Patientin bzw. dem liegenden Patienten. Aus den erhobenen Werten wird der Knöchel-Arm-Index (Ankle-Brachial-Index, ABI) als orientierende Basisuntersuchung des arteriellen Gefäßstatus berechnet (Aboyans et al., 2012; Aboyans et al., 2018).

Bei nicht verwertbarem ABI, insbesondere bei Mediasklerose (z. B. bei Diabetes mellitus oder chronischer Niereninsuffizienz), sind ergänzend die Messung des Zehendrucks bzw. des Zehendruckindex sowie eine farbkodierte Duplexsonographie (FKDS) der Extremitätenarterien indiziert. Generell wird ein ABI von $< 0,90$ als beweisend für das Vorliegen einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (pAVK) gewertet. Ein ABI zwischen 0,90 und 1,00 in Ruhe schließt eine pAVK jedoch nicht sicher aus, insbesondere bei Patientinnen und Patienten mit Mediasklerose. Die diagnostische Sensitivität des ABI zur Erkennung einer pAVK liegt zwischen 61 % und 73 %, die Spezifität zwischen 83 % und 96 % (Lijmer et al., 1996; Herraiz-Adillo et al., 2020).

Bei Anzeichen oder Symptomen einer venösen Thromboembolie oder bei einer schweren chronischen venösen Insuffizienz sollte eine venöse Duplexsonographie erfolgen.

Der Stellenwert der Messung des Knöchelarm Index, bei traumatischen Gefäßverletzungen wird in der Literatur kontrovers diskutiert und spielt im klinischen Alltag eher eine untergeordnete Rolle. Mehrere Studien zeigen, dass der ABI allein keine ausreichende Sensitivität besitzt, um relevante arterielle Gefäßverletzungen sicher auszuschließen, insbesondere bei penetrierenden oder stumpfen Traumata mit begleitenden Weichteilverletzungen (Hemingway et al., 2020; Inaba et al., 2011; Kurtolu et al., 2009; Le Roux et al., 2021; Tung et al., 2023). Weitere Limitation des ABI sind die eingeschränkte Aussagekraft bei Schockzuständen oder auch einer bereits vorbestehenden pAVK.

Zur sicheren Diagnosestellung sind daher weiterführende, bildgebende Verfahren erforderlich. Hierzu zählen der Doppler-Ultraschall, die FKDS sowie invasive und nicht invasive bildgebende Verfahren wie die digitale Subtraktions-Angiographie (DSA), die CT-Angiographie (CTA) oder die MR-Angiographie (MRA). Diese Verfahren ermöglichen eine zuverlässige Beurteilung einer möglichen Gefäßläsion, von Thrombosen oder Gefäßverschlüssen oder vorhandener Intimaverletzungen (Boström et al., 2001; Collins et al., 2007; Joseph et al., 2021; Schlager et al., 2007).

Zur Diagnostik von venösen Verletzungen, Thrombosen, Kompressionen, Ruptur oder anderen post-traumatischen Verschlussprozessen eignet sich in der Diagnostik die farbcodierte Duplexsonographie gegebenenfalls auch eine Phlebographie oder CTA/MRA mit venöser Phase.

Speziell bei bekannten chronischen arteriellen Verschlussprozessen gehören neben Inspektion, Palpation und Auskultation die dopplersonographische Messung der arteriellen Verschlussdrücke der A.

dorsalis pedis und der A. tibialis posterior und ggf. der A. fibularis an der liegenden Patientin bzw. an dem liegenden Patienten und die Bildung des Knöchel-Arm-Index (Ankle-Brachial-Index, ABI) zur orientierenden Basisuntersuchung des Gefäßstatus (Aboyans et al., 2012; Aboyans et al., 2018).

Generell wird ein ABI von weniger als 0,9 als beweisend für eine pAVK definiert. Ein ABI zwischen 0,9 und 1,0 in Ruhe kann eine pAVK (cave bei diabetischer Mediasklerose) jedoch nicht ausschließen. Die Sensitivität des ABI zur Diagnose einer pAVK liegt zwischen 61 % und 73 %, die Spezifität liegt zwischen 83 % und 96 % (Herraiz-Adillo et al., 2020; Lijmer et al., 1996).

Weitere hilfreiche Untersuchungen können die Messung der akralen Perfusion mittels arterieller optischer Pulsoszillographie (OPO) und zur Abschätzung des Amputationsrisikos bei kritischer Ischämie auch zusätzlich die Bestimmung des transkutanen Sauerstoffpartialdrucks (tcPO₂) sein (Schaper et al., 2024; Vega et al., 2011; Zwicky et al., 2002).

Der Stellenwert einer Messung des Knöchel-Arm-Index bei Gefäßverletzungen wird kontrovers beurteilt und steht allgemein eher im Hintergrund (Hemingway et al., 2020; Inaba et al., 2011; Kurtolu et al., 2009; Le Roux et al., 2021; Tung et al., 2023). Zur exakten Diagnose sind ist eine weitere Diagnostik, wie Doppler-Ultraschall, farbcodierte Duplexsonographie (FKDS), Angiographie oder andere bildgebende Verfahren (CTA/MRA) notwendig (Boström et al., 2001; Collins et al., 2007; Joseph et al., 2021; Schlager et al., 2007).

2.1.9 Klassifikation der Frakturassoziierten Infektion

Empfehlung 19	Neu - Stand (2026)
Die vor kurzem publizierte FRI-Klassifikation kann als strukturierendes Instrument zur Beschreibung von frakturassoziierten Infektionen herangezogen werden. Sie ermöglicht eine standardisierte Einschätzung der Fraktursituation, patientenbezogener Risikofaktoren und Weichteilbeteiligung. Ein direkter Einfluss der FRI-Klassifikation auf das klinische Outcome ist bislang jedoch nicht belegt, da eine prospektive Validierung fehlt. Daher sollte ihr Einsatz aktuell vor allem als ergänzendes Hilfsmittel – analog zu etablierten Klassifikationen bei anderen muskuloskelettalen Infektionen – verstanden werden, nicht als alleinige Grundlage für therapeutische Entscheidungen.	
Konsensstärke	93 % (Konsens)

Klassifikation von Krankheiten ist generell ein sehr hilfreiches Prinzip zur Entscheidungsfindung und Prognose. Für FRI gibt es bislang nur eine spezifische Klassifikation, die sog. FRI-Classification (Alt et al., 2024). Diese wurde entwickelt, um frakturassoziierte Infektionen anhand dreier Dimensionen zu klassifizieren: Fraktur (F): z. B. verheilt (F1) bis nicht rekonstruierbar (F5), Risikofaktoren (R): von gesund (R1) bis systemisch kompromittiert (R5), Weichteilstatus (I): von unkompliziert (I1) bis schwerer Weichteilschaden (I5). Das System wurde im Rahmen eines internationalen Expertenkonsenses entwickelt. Es soll klinische Entscheidungen strukturieren, die Kommunikation im Behandlungsteam fördern und eine bessere Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Daten ermöglichen. Vergleichbare Systeme existieren im Bereich anderer muskuloskelettaler Infektionen wie die Cierny-Mader-Klassifikation (chronische Osteomyelitis), McPherson-Score (periprotetische Infektionen, PJI), BACH-Klassifikation (chronische Osteomyelitis), die u. a. bakterielle Erreger, den Wirtsstatus und Defektkomplexität berücksichtigen (Alt et al., 2020; Cierny et al., 2003; Coughlan & Taylor, 2020; Hotchen et al., 2019). Diese Systeme werden zur Risikostratifizierung und Ableitung differenzierter Therapiestrategien herangezogen. Beispielsweise konnte für die BACH Klassifikation zeigen, dass ein Jahr postoperativ die Lebensqualität in weniger komplizierten Fällen signifikant besser als in komplexen Osteomyelitis Fällen ist (mittlerer EQ-5D-3L 0,900 vs 0,685; $p = 0,020$; mittlerer EQ-VAS 87,1 vs 73,6; $p = 0,043$) (Hotchen et al., 2020).

Die FRI Classification ist auf die besonderen Herausforderungen nach Frakturversorgung zugeschnitten, insbesondere die gleichzeitige Bewertung von Infektion, Frakturheilung und Weichteilsituation. Eine prospektive klinische Validierung fehlt bislang, sodass die Anwendung aktuell vor allem als orientierende Unterstützung und nicht als therapeutisch determinierende Grundlage verstanden wird.

2.2 Laborparameter

2.2.1 Abnahme von Blutkulturen bei Fieber

Empfehlung 20	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit Verdacht auf FRI und Fieber ($\geq 38,3$ °C) bzw. bei V. a. systemische Infektion sollen vor Beginn einer antibiotischen Therapie zwei Blutkultur-Sets aus separaten peripheren Venen entnommen werden, insbesondere, wenn zusätzliche systemische Infektzeichen (z. B. Sepsis, hämodynamische Instabilität) vorliegen. Auch bei Zeichen einer systemischen Infektion ohne Fieber ist die Abnahme von Blutkulturen indiziert. Diese Maßnahme ermöglicht die Identifikation systemischer Erreger, unterstützt die Diagnosesicherung (z. B. Sepsis, Endokarditis) und erlaubt eine gezielte Therapieanpassung. Bei isoliertem Fieber ohne weitere systemische Infektzeichen ist die diagnostische Ausbeute der Blutkultur jedoch gering; die Maßnahme sollte hier individuell abgewogen werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Internationale Konsensdokumente und nationale Empfehlungen betonen die Wichtigkeit der Blutkultur bei systemischen Infektzeichen. Die internationale FRI-Konsensusgruppe empfiehlt die Abnahme von Blutkulturen bei Fieber ($\geq 38,3$ °C), da sie in akuten oder früh postoperativen FRI-Fällen eine relevante diagnostische Ausbeute bieten (G. A. M. Govaert et al., 2020). Auch bei Zeichen einer systemischen Infektion ohne Fieber ist die Abnahme von Blutkulturen indiziert. Diese Maßnahme ermöglicht die Identifikation systemischer Erreger, unterstützt die Diagnosesicherung (z. B. Sepsis, Endokarditis) und erlaubt eine gezielte Therapieanpassung. Dies spiegelt auch die BOAST-Leitlinie (British Orthopaedic Association) wider, die sich für eine sofortige Blutkulturentnahme bei septischen Patienten mit FRI-Verdacht aus spricht (Boa, 2025). Eine prospektive Studie von Sivakumar et al. (2012) zeigte jedoch, dass Blutkulturen bei isoliertem Fieber ohne weitere Infektzeichen selten positiv ausfielen und kaum das klinische Management veränderten (Sivakumar et al., 2012). Die Sensitivität ist bei chronisch-latenten FRI gering, bei akuten FRI oder Sepsis jedoch hoch. Die Kultivierung von Sonikationsflüssigkeit in Blutkulturflaschen ist eine ergänzende Methode mit hoher Sensitivität (>78 %), ersetzt jedoch nicht die klassische Blutkultur bei Fieber (Henssler et al., 2024).

2.2.2 Bedeutung laborchemischer Infektionsparameter

Empfehlung 21	Neu - Stand (2026)
Bei Verdacht auf eine frakturassoziierte Infektion (FRI) sollen die laborchemische Entzündungsparameter C-reaktives Protein (CRP) und Leukozytenzahl immer bestimmt werden, da erhöhte Werte einen Infektionsverdacht unterstützen können. Normale Entzündungswerte schließen eine FRI jedoch nicht sicher aus, und die Interpretation muss im Gesamtkontext erfolgen. Zusätzliche Marker wie Interleukin-6 (IL-6), Blutsenkungsgeschwindigkeit (BSG) oder Procalcitonin (PCT) können als Adjunct zur frühzeitigen Infektionsdiagnostik erwogen werden, wobei kombinierte Biomarker-Bestimmungen die diagnostische Genauigkeit erhöhen können.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Entzündungsparameter (v. a. CRP) sollten bei Verdacht auf FRI immer mitbestimmt werden, da erhöhte Werte (oder ein sekundärer Anstieg nach initialem Abfall) den Infektionsverdacht erhärten können. Einzelne Laborparameter allein erkennen eine FRI aber nur begrenzt zuverlässig. Eine Metaanalyse ergab für CRP eine Sensitivität von ~77 % und Spezifität von ~68 %, während die Leukozytenzahl (LC) mit ~52 % Sens. und ~67 % Spez. sowie die BSG mit ~45 % Sens. und ~79 % Spez. deutlich unzuverlässiger waren (van den Kieboom et al., 2018). CRP, BSG und Leukozyten sind somit nicht ausreichend akkurat, um eine FRI sicher zu diagnostizieren, werden aber als suggestive Kriterien zur Erhärtung des Verdachts herangezogen (van den Kieboom et al., 2018). Insbesondere bei low-grade-Infektionen können diese Werte normal bleiben, während sie nach Trauma/Operation auch ohne Infekt erhöht sein können (Rupp et al., 2023). Neuere Untersuchungen beleuchten zusätzliche Marker: In einer großen retrospektiven Kohorte (407 FRI vs. 195 verheilte Frakturen) zeigte IL-6 eine ähnliche diagnostische Güte wie CRP und BSG (AUC ~72 % vs ~76 %) (Zhao et al., 2021). IL-6 war etwas spezifischer (83,6 % vs. CRP 75,4 %) bei jedoch geringerer Sensitivität (57,5 % vs. CRP 65,6 %) (Zhao et al., 2021). Insgesamt erbrachte IL-6 keinen deutlichen Vorteil gegenüber den etablierten Markern, bietet aber den Vorteil eines raschen Anstiegs und Abfalls, was bei Verlaufsbeurteilungen nützlich sein kann. Renz et al. (2016) bewerten die laborchemische Diagnostik implantatassoziierten Infektionen kritisch (Renz et al., 2016). CRP eignet sich als Screening, ist jedoch unspezifisch; relevant ist v. a. ein persistierender oder sekundär ansteigender Verlauf. BSG ist weniger sensitiv und wird vom CRP abgelöst. PCT wird wegen geringer Aussagekraft nicht routinemäßig eingesetzt (Renz et al., 2016). Normale Werte schließen eine FRI jedoch nicht aus – insbesondere nicht bei low-grade-Infektionen (Rupp et al., 2023).

Trenkwalder et al. (2024) zeigen, dass Routinemarker wie CRP (Sensitivität 35–83 %, Spezifität 34–92 %), BSG (Sensitivität 45–73 %, Spezifität 76–92 %) und Leukozyten (Sensitivität 5–52 %, Spezifität 67–97 %) nur eingeschränkte Aussagekraft bei der FRI-Diagnostik haben (Trenkwalder et al., 2024). Ihre Verwendung bleibt suggestiv und ist v. a. bei Low-grade-Infektionen limitiert. Neue Marker wie D-Dimer, Fibrinogen, IL-6 oder CD64 zeigen teils vielversprechende Werte, sind aber bislang nicht ausreichend validiert. Der diagnostische Nutzen steigt nur im Zusammenspiel mit Histologie und Mikrobiologie. Vielversprechend ist der kombinierte Einsatz mehrerer Marker. Eine retrospektive Studie mit 252 Patienten zeigte, dass die Kombinationsmessung von CRP und PCT eine deutlich höhere diagnostische Treffsicherheit erreicht (Sensitivität ~90 %, Spezifität ~97 %) als einzelne Marker (Liu et al., 2025).

2.3 Radiologische und nuklearmedizinische Methoden

2.3.1 Radiologie

2.3.1.1 Einsatz von bildgebenden Methoden bei V. a. frakturassoziierte Infektion

Empfehlung 22	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit Verdacht auf frakturassoziierte Infektionen nach Osteosynthese, bei denen bereits eine Röntgendiagnostik vorliegt, sollte der ergänzende Einsatz von CT bzw. MRT erfolgen. Dies führt zumeist im Vergleich zum Verzicht auf eine weiterführende Schnittbildgebung zu einer verbesserten diagnostischen Genauigkeit.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Bei Patienten mit Verdacht auf frakturassoziierte Infektionen nach Osteosynthese, bei denen bereits eine Röntgendiagnostik vorliegt, führt der ergänzende Einsatz von CT und MRT im Vergleich zum Verzicht auf eine weiterführende Schnittbildgebung zu einer deutlich verbesserten diagnostischen Genauigkeit (Govaert et al., 2017).

Die CT stellt in der Akutsituation die dreidimensionale Bildgebung der Wahl dar, da sie rasch verfügbar ist und eine erste schnelle Evaluation ermöglicht. Zudem ist sie weniger anfällig für metallbedingte Suszeptibilitätsartefakte, welche die Bildqualität der MRT bei einliegendem Osteosynthesematerial beeinträchtigen können. Während die Computertomografie in der Literatur im Vergleich zur MRT eine

Sensitivität von ca. 47 % und eine Spezifität von ca. 60 % für osteomyelitische Veränderungen zeigt, besticht sie insbesondere durch die präzise Darstellung intraossären Gases, von Sequestern und Osteolysen, die als Schlüsselzeichen chronischer Infektionen gelten (Goebel et al. 2007). Mit dem Einsatz der Dual-Energy-CT (DECT) hingegen steigen die Sensitivität auf 81–91 % und die Spezifität auf 73–95 %, was zu einer erhöhten diagnostischen Genauigkeit führt – vorrangig durch die verbesserte Darstellung infektassoziierter Knochenmarködeme mit einer AUC von 0,85 (Foti et al. 2023) beziehungsweise bis zu 0,97 bei der allgemeinen Detektion von Knochenmarködemen (Zhizhuo et al. 2023).

Insbesondere durch den Einsatz flüssigkeitssensitiver Sequenzen (STIR, SPAIR, T2 TSE FS) ermöglicht die MRT eine frühe Darstellung infektassoziierter Knochenmarködeme bereits nach 1–2 Tagen (Sambri et al. 2021; Dushyant et al. 2023) und ist damit in der akuten Infektionsphase der CT deutlich überlegen – und in noch höherem Masse der konventionellen Röntgenbildgebung, welche bekanntermaßen erst in der späten bis chronischen Infektphase verlässlichere Anzeichen liefert (Li et al. 2021). Die MRT weist eine Sensitivität von 82–100 % und eine Spezifität von 43–60 % bei der Detektion frakturassoziierter Infektionen auf, was auf die hohe Empfindlichkeit zur Erkennung von Knochenmarködemen, Weichteilabszessen und Fistelgängen zurückzuführen ist (Goebel et al. 2007; Kaim et al. 2000). In einer weiteren Studie zur chronischen Osteomyelitis wurden Sensitivitäts- und Spezifitätswerte der MRT von bis zu 89,1 % bzw. 87,5 % beschrieben (Foti et al. 2023).

Diese Artefakte lassen sich jedoch durch moderne, optimierte MARS-Techniken und verbesserte Parametrierung (hohe Bandbreiten, kurze Echozeiten) deutlich reduzieren, sodass einliegendes Metallmaterial keine Kontraindikation für die Infektdarstellung in der MRT darstellt (Wenmiao et al. 2009; Lee et al. 2021).

2.3.1.2 Verwendung der konventionellen Bildgebung bei Implantatlockerung

Empfehlung 23	Neu - Stand (2026)
Der Einsatz der konventionellen Röntgendiagnostik gilt als das obligate Erstverfahren bei Patienten nach Frakturversorgung, auch im Falle eines Infektionsverdachts, und es sollen immer aktuelle konventionelle Röntgenbilder vorliegen bzw. gemacht werden. Die Modalität ist üblicherweise unmittelbar verfügbar, kostengünstig und mit einer vergleichsweise geringen Strahlenbelastung verbunden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Zu beachten ist der eingeschränkte Nutzen der Modalität in der frühen Infektphase sowie die allgemein geringe Sensitivität trotz ansonsten adäquater Informationen bezüglich der Frakturposition, der Integrität und Stabilität eines unfallchirurgisch-orthopädischen Implantats sowie mitunter spezifischen Zeichen zur Erkennung eines Implantatversagens oder einer fraktur- beziehungsweise implantatassoziierten Infektion.

In einem Studienkollektiv von 380 Patienten (Li et al. 2021) nach Osteosynthese mit 116 bestätigten Infektionen erwiesen sich die mittels konventioneller Röntgendiagnostik nachweisbaren periimplantären Lysezonen als spezifischer diagnostischer Marker (90,5 %; OR 1,9), wenngleich bei sehr geringer Sensitivität (16,4 %). Ebenfalls mit niedriger Sensitivität (12,1 %), jedoch im Vergleich zu den vorgenannten Lysezonen mit leicht erhöhter Spezifität, zeigten sich Periostreaktionen als weiterer relevanter Marker für ein periimplantäres Infektgeschehen (94,8 %; OR 2,48). Für beide Marker zeigte sich bei bereits chronischen Infektionen eine signifikante Steigerung der Sensitivität (20,9 % bzw. 15,1 % für periimplantäre Lysezonen bzw. Periostreaktionen).

Im Falle einer frakturassoziierten Infektion mit Non-Union des Frakturspalts lassen sich röntgenmorphologisch Veränderungen wie Implantatbrüche, -verschiebungen sowie periimplantäre Osteolysen und Periostreaktionen darstellen. Allerdings konnten nur die beiden letztgenannten Veränderungen statistisch signifikant mit einer Infektion assoziiert werden, mit einer Sensitivität von 41,2 % bzw. 35,3 %, die damit über den zuvor berichteten Fallkonstellationen lag (Li et al. 2021).

Weitere kommentierende Übersichtsarbeiten unterstreichen ebenfalls die Rolle der Röntgenaufnahme als obligates Erstverfahren, weisen jedoch aufgrund der limitierten Sensitivität auf deren Funktion primär als Selektionsinstrument für weiterführende Bildgebung (CT/MRT) und invasive Diagnostik hin (McNally et al. 2020).

Die oben genannten Ergebnisse decken sich mit früheren Arbeiten, die – unabhängig von implantat- oder frakturassoziierten Infektionen – zeigen konnten, dass insbesondere in der akuten Infektionsphase die Sensitivität der Röntgendiagnostik mit <10 % sehr gering ist und erst in späteren Stadien deutlich ansteigt (ca. 30 % in der ersten Woche nach Infektionsbeginn, bis zu 90 % nach 3–4 Wochen) (Desimpel et al. 2017), sodass insbesondere in der Frühphase eines Infektgeschehens eine unauffällige Röntgenaufnahme eine Infektion keinesfalls ausschließt (Pineda 2009).

Internationale Konsensusdefinitionen stufen diese radiografischen Befunde insgesamt als suggestive Kriterien ein, empfehlen jedoch deren Ergänzung durch klinische, laborchemische und mikrobiologische Parameter, um die Gesamtsensitivität zu erhöhen und diagnostische Verzögerungen zu vermeiden (Metsemakers et al. 2018).

2.3.2 Nuklearmedizin

2.3.2.1 Einsatz von nuklearmedizinischen Methoden bei V. a. frakturassoziierte Infektion

Empfehlung 24	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit Verdacht auf frakturassoziierte Infektionen nach Osteosynthese, bei denen bereits eine Röntgendiagnostik vorliegt, kann der ergänzende Einsatz von nuklearmedizinischen Untersuchungen erfolgen. Nuklearmedizinische Verfahren, wie Leukozyten-, Granulozytenszintigraphie und Darstellung des Glukosemetabolismus aus Kombination einer Positronen-Emissions-Tomographie (PET) mit einer Computertomographie (PET/CT) können zur Diagnose einer FRI hilfreich sein.	
Konsensstärke	93 % (Konsens)

Bezüglich der nuklearmedizinischen Verfahren wurden für die Leukozytenszintigraphie mit ^{99m}Tc -markierten Leukozyten eine hohe Genauigkeit für chronische Knocheninfektionen und FI eine Sensitivität von 78 % bis 100 % und eine Spezifität von 89 % bis 97 % beschrieben (Bosch et al., 2021; Glaudemans et al., 2013; Horger et al., 2003). Grundsätzlich erhöht die zweizeitige Szintigraphie mit Aufnahmen nach 4 sowie 20-24 Stunden, sowie die visuelle und Semi-Quantifizierung, die diagnostische Sicherheit. Besonders die Aufnahme nach 20 bis 24 Stunden kann die Rate falsch-positiver Befunde reduzieren (Glaudemans et al., 2013). Eine weitere diagnostische Option ist die Darstellung des Glukosemetabolismus mit dem ^{18}F -FDG-PET/CT. Diese zeigt ebenfalls eine hohe Sensitivität von 86 % bis 100 %, hat aber eine geringere Spezifität, die in den einzelnen Publikation aufgrund geringer Patientenzahlen stark variiert: 69 % bis 100 % (Goebel et al., 2007; Hartmann et al., 2007; Meller et al., 2002; Schiesser et al., 2003). Die Kombination beider Verfahren kann vor allem die Spezifität erhöhen.

Die Granulozytenszintigraphie zeigt vor allem eine geringe Sensitivität, da die Granulozyten eine geringere Anreicherung in chronischen Entzündungsherden haben als Leukozyten, Sensitivität von 78 % und Spezifität von 94 % bei geringer Patientenzahl (Plate, 2020).

Für die Differenzierung von Entzündungen im Weichteilgewebe oder Knochen ist die 3-Phasen-Knochenszintigraphie mit Darstellung des Knochenstoffwechsels geeignet, diese zeigt eine hohe Sensitivität von 89 % bis 100 %, aber nur eine geringe Spezifität von etwa 10 % (Ballani et al., 2007; Kaim et al., 2000; Meller et al., 2002).

Bei Verdacht auf Frakturassoziierte Infektion nach Osteosynthese **stellt** die dual-zeitliche Leukozytenszintigraphie mit SPECCT/CT und Semi-Quantifizierung, sowie bei unklaren Befunden die zusätzliche Untersuchung mit ^{18}F -FDG-PET/CT eine aussagesichere Diagnostikmethode dar. Kann nicht sicher zwischen Weichteilbefunden und Knochen unterschieden werden, **unterstützt** die 3-Phasen-Knochenszintigraphie mit SPECT/CT.

2.4 Mikrobiologische und pathohistologische Methoden

2.4.1 Intraoperative Entnahme von Gewebeproben und mikrobiologische Diagnostik

Empfehlung 25	Neu - Stand (2026)
Der Nachweis eines identischen Erregers aus zwei unabhängigen Materialien ist ein konfirmatorisches Diagnosekriterium für eine FRI. Um dieses Kriterium zu erfüllen, sollen drei, besser fünf tiefe Gewebeproben gesammelt werden. Die Untersuchung von Abstrichmaterialien ist nicht ausreichend sensitiv und sollte nicht zur Diagnose einer FRI eingesetzt werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die aktuelle Konsensus-Definition zur Diagnose einer frakturassoziierten Infektion (FRI) nennt den Nachweis identischer Mikroorganismen in mindestens zwei tiefen chirurgischen Gewebeproben als bestätigendes Diagnosekriterium. Dazu sollen tiefe Gewebematerialien zur mikrobiologischen Untersuchung eingesandt werden. Wissenschaftliche Evidenz aus dem Kontext der PJI- sowie Osteomyelitis-Diagnostik zeigt, dass die Untersuchung von Gewebeproben im Vergleich zur Untersuchung von Abstrichmaterialien eine deutlich bessere diagnostische Aussagekraft hat. Aggarwal et al. (2013) führten eine prospektive Untersuchung an 117 Revisionseingriffen (74 Hüft-, 43 Knieendoprothesen) durch, bei denen jeweils drei Gewebebiopsien und drei Abstrichproben intraoperativ entnommen wurden. Von den untersuchten Fällen erfüllten 30 die Kriterien einer PJI, während 87 als aseptisch klassifiziert wurden. Die Analyse ergab, dass Gewebekulturen eine signifikant höhere diagnostische Leistung aufwiesen als Abstriche. Die Sensitivität, Spezifität, der positive prädiktive Wert (PPV) und der negative prädiktive Wert (NPV) der Gewebekulturen betrugen 93 %, 98 %, 93 % bzw. 98 %, während die ent-

sprechenden Werte für Abstrichkulturen bei 70 %, 89 %, 68 % bzw. 90 % lagen. Gewebekulturen lieferten somit verlässlichere Ergebnisse und produzierten weniger falsch-positive sowie falsch-negative Resultate (Aggarwal et al., 2013).

Zuluaga et al. (2002) untersuchten retrospektiv 50 Patienten mit chronischer bakterieller Osteomyelitis und verglichen die mikrobiologische Übereinstimmung zwischen Knochenproben und Nicht-Knochenmaterialien (z. B. Abszesssekret, Fistelausfluss). Die Ergebnisse zeigten eine insgesamt geringe Übereinstimmung: Nur in 28 % der Fälle wurde der gleiche Erreger in beiden Probenarten nachgewiesen. Für *Staphylococcus aureus* lag die Übereinstimmung bei 38 %, für andere Erreger sogar nur bei 19 %. Nicht-Knochenproben führten zu einer hohen Rate falsch-negativer (52 %) und falsch-positiver (36 %) Befunde, wenn man die Knochenkultur als diagnostischen Goldstandard zugrunde legte (Zuluaga et al., 2002).

Eine zentrale Frage ist, wie viele Gewebeproben gewonnen werden müssen, um eine optimale Sensitivität und Spezifität zu erreichen. Aktuelle Empfehlungen internationaler Gruppen sehen die Gewinnung von drei bis fünf Gewebeproben aus infektionsverdächtigen Bereichen vor. Die wissenschaftliche Evidenz für diese Empfehlung ergibt sich aus der Literatur zur Diagnose einer periprothetischen Infektion. In einer Studie mit 513 chirurgischen Eingriffen von 385 Patienten mit klinischem Verdacht auf FRI wurde die diagnostische Aussagekraft unterschiedlicher Probenanzahlen und Cut-off-Werte untersucht (Dudareva et al., 2021).

In 345 Fällen (67 %) wurden mindestens fünf Gewebeproben zur mikrobiologischen Analyse eingeschickt. Die FRI-Diagnose wurde auf Basis anderer bestätigender Kriterien (ohne mikrobiologische Daten) gestellt. Ein Cut-off-Wert von mindestens zwei positiven Kulturen aus fünf eingesandten Proben zeigte eine Sensitivität von 68 % und eine Spezifität von 87 %. Bei nur drei eingesandten Proben mit einem Cut-off von zwei positiven Proben lag die Sensitivität bei 60 % und die Spezifität bei 92 %. Zudem zeigte sich, dass bei Einsendung von lediglich drei Proben in mindestens zehn Prozent der Fälle klinisch relevante Erreger übersehen wurden. Diese Ergebnisse stützen die bestehende Empfehlung, bei Verdacht auf FRI mindestens fünf tiefen Gewebeproben zu entnehmen. Ein Cut-off von ≥ 2 positiven Kulturen aus diesen Proben scheint ein sinnvoller Kompromiss zwischen Sensitivität und Spezifität zu sein. Die Einsendung von weniger als fünf Proben erhöht hingegen das Risiko einer Fehldiagnose bzw. eines unvollständigen mikrobiologischen Erregernachweises signifikant.

2.4.2 Sonikation

Empfehlung 26	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit FRI sollte bei zu erwartendem Zusatznutzen und struktureller Voraussetzung die Sonikation explantierter Implantate ergänzend zur routinemäßigen Gewebekultur eingesetzt werden, da sie in mehreren Studien eine höhere Erregernachweisrate gezeigt hat – insbesondere bei low-grade-Infektionen oder nach vorangegangener Antibiotikatherapie. Gleichzeitig ist zu beachten, dass durch die Sonikation auch ein erhöhtes Risiko für den Nachweis von Kontaminationskeimen besteht, was die Interpretation der Ergebnisse erschweren kann. Daher sollte die Sonikation differenziert eingesetzt und ihre Befunde stets im klinischen Kontext sowie in Kombination mit den Ergebnissen der Gewebekulturen bewertet werden.	
Konsensstärke	93 % (Konsens)

Die Sonikation-Behandlung explantierter Fremdmaterialien kann eingesetzt werden, um adhärenzte Erreger von der Materialoberfläche zu mobilisieren und der kulturellen und molekularen Diagnostik zugänglich gemacht werden. Dieses Konzept der Sonikationsflüssigkeitskultur (SFC) findet in der Analytik periprothetischer Gelenkinfektionen bereits breite Anwendung, wobei ein semiquantitativer CFU Grenzwert helfen soll, klinisch signifikante von irrelevanten Erregernachweisen zu unterscheiden (Trampuz et al., 2007).

Randomisiert-kontrollierte Studien für den Einsatz der Sonikation bei FRI fehlen. Mehrere retrospektive Studien zeigen, dass die ergänzende Anwendung der Sonikation zur routinemäßigen Gewebekultur die Sensitivität der Erregerdiagnostik bei FRI steigern kann. In einer retrospektiven Kohorte (n = 67) lag die Sensitivität der Sonikation bei 80 %, verglichen mit 56 % bei der alleinigen Gewebekultur. Eine weitere Untersuchung an 230 Fällen berichtete sogar eine Sensitivität von 90,7 % für die Sonikation gegenüber 84,1 % bei Gewebekultur, wobei der Unterschied statistisch knapp nicht signifikant war (p = 0,065). In der Subgruppe der möglichen FRI (PFRI) zeigte sich jedoch ein signifikant höherer Erregernachweis durch Sonikation (p = 0,003), was insbesondere bei unklaren oder „low-grade“-Infektionen klinisch relevant sein kann (Fritsche et al., 2023). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Inokulation des Sonikats in Blutkulturflaschen (SFBCB), die die Sensitivität der Methode weiter verbessert. In einer Studie mit 74 Patienten erreichte SFBCB eine Sensitivität von 96,5 %, deutlich höher als die konventionelle Sonikatkultur (78,9 %) und die Gewebekultur (57,9 %, p < 0,001), bei vergleichbarer Spezifität (Bellova et al., 2021). Demgegenüber steht eine Studie mit gemischtem Patientenkollektiv, in der die

Sonikation keinen zusätzlichen diagnostischen Nutzen gegenüber der konventionellen Gewebekultur zeigte. In 83,9 % der Fälle waren die Ergebnisse beider Methoden identisch, und in den verbleibenden Fällen hatte die Sonikation keine therapeutischen Konsequenzen. Allerdings war der Anteil an FRI in dieser Studie sehr gering (nur 4 Fälle), sodass die Aussagekraft für diese Indikation eingeschränkt ist (Fritsche et al., 2023). Zudem muss beachtet werden, dass die Spezifität der Sonikation in einigen Studien geringfügig niedriger ausfiel (z. B. 73,2 % vs. 88,6 %), was auf ein potenziell erhöhtes Risiko für die Detektion von Kontaminanten hindeuten könnte. Dennoch blieb die Rate falsch-positiver Ergebnisse insgesamt niedrig und die Sonikation wurde meist als klinisch hilfreich eingeschätzt, insbesondere bei Patienten mit negativen Gewebekulturen und Verdacht auf Infektion. Insgesamt zeigen die Studien, dass die ergänzende Sonikation bei FRI in der Mehrzahl der Fälle eine relevante Erhöhung der Erregernachweisrate ermöglicht. Bei gleichzeitig moderaten Zusatzkosten (z. B. \$229 vs. \$122 in einer US-amerikanischen Studie) und potenziell entscheidendem Einfluss auf die Therapieentscheidung wird die Sonikation als sinnvolle Ergänzung zur standardmäßigen Gewebekultur bewertet (Liu et al., 2025). Kein Unterschied hinsichtlich der Sensitivität von Gewebekultur und SFC konnte bei der Untersuchung von Patienten mit Pseudathrosen gefunden werden, während die Spezifität für die Gewebekultur (96 %) höher als die der Sonikation (62 %) war (Trenkwalder et al., 2023).

Finelli et al. (2023) berichteten über eine sehr hohe Sensitivität sowohl der Gewebe- als auch der Sonikationskultur (89,4 % vs. 97,6 %) bei intramedullären Nagelinfektionen, allerdings bei kleiner Fallzahl und vergleichbarer Spezifität.

Ein grundlegendes Problem ist, dass die eingesetzten Protokolle für die Ultraschallbehandlung zum Teil gravierende Unterschiede aufweisen. Dies hat wesentlichen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse unabhängiger Untersuchungen. Auch wurden in den Studien sehr unterschiedliche Patientenkollektive eingeschlossen, und die Analysen unterscheiden sich hinsichtlich des als Referenz eingesetzten Goldstandards. Vor diesem Hintergrund kann derzeit festgestellt werden, dass ein klarer Zusatznutzen einer routinemäßigen Ultraschallbehandlung explantierter Osteosynthesematerialien nicht zweifelsfrei dokumentiert ist. Die Sonikation ist daher vor allem dann hilfreich, wenn eine Antibiotikatherapie nicht mindestens 14 Tage vor dem Eingriff abgesetzt wurde. Allerdings muss auch dieser mögliche Zusatznutzen in spezifischen klinischen Konstellationen wie zum Beispiel bei mit Antiinfektiva vorbehandelten Patienten in zukünftigen Untersuchungen geklärt werden.

2.4.3 Pathohistologische Diagnostik

Empfehlung 27	Neu - Stand (2026)
Es soll bei der Operation von Patienten mit V. a. auf FRI eine pathohistologische Untersuchung intraoperativ entnommener Gewebeproben erfolgen. Dies liegt darin begründet, dass es klare Kriterien für die pathohistologische Beurteilung der Gewebeproben gibt, die die Diagnosesicherheit für FRI erhöhen. Hierzu gehören vor allem der direkte mikroskopische Nachweis von Mikroorganismen und der Nachweis von ≥ 5 polymorphkernigen Neutrophilen in der pathohistologischen Untersuchung der intraoperativ gewonnenen Proben, die beide als konfirmatorische Kriterien einer FRI gelten.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die Pathohistologie gehört seit Jahren zu einer entscheidenden Modalität zur Diagnostik der periprotetischen Infektion in der Endoprothetik (Krenn et al., 2025). Auch für FRI hat sich die pathohistologische Auswertung von intraoperativ gewonnenen Proben neben der mikrobiologischen Diagnostik zur Standarddiagnostik bei FRI in der internationalen Literatur etabliert, da der direkte Nachweis von Mikroorganismen, z. B. durch Gram-Färbung, zu den konfirmatorischen Kriterien zur Diagnose einer FRI gehört (McNally et al., 2020).

Auch die Analyse von polymorphkernigen Neutrophilen (PMN) kann die Diagnose bei FRI verbessern (Morgensterin et al., 2018). Morgenstern et al. zeigten, dass die Abwesenheit von PMNs mit einer Spezifität von 98 % und einem positiven Vorhersagewert von 98 % mit einer aseptischen Situation verbunden war. Umgekehrt korreliert der Nachweis von mehr als 5 PMNs mit einer Spezifität von 100 % und einem positiven Vorhersagewert von 98 % mit einer FRI. Daher wurde der Nachweis von ≥ 5 PMNs bei V. a. auf FRI mit mindestens 8 Wochen Abstand nach Fraktur ebenfalls als konfirmatorisches Kriterium für die Diagnose einer FRI aufgenommen. Daher ist die Analyse von PMNs in der pathohistologischen Untersuchung der intraoperativ gewonnenen Proben ein zentraler Bestandteil der Diagnostik.

3 Therapie

3.1 Allgemeine Therapieaspekte

3.1.1 Multidisziplinäre Behandlung von Patienten mit frakturassoziierter Infektion

Empfehlung 28	Neu - Stand (2026)
Die Behandlung von Patienten mit FRI sollte im Rahmen eines strukturierten multidisziplinären Ansatzes mit regelmäßigen Fallbesprechungen erfolgen. Beobachtungsstudien zeigen, dass ein solches Vorgehen im Vergleich zu einer rein monodisziplinären Behandlung mit signifikant niedrigeren Amputationsraten, einer geringeren Zahl an Revisionseingriffen, reduzierter Mortalität sowie einem insgesamt geringeren Behandlungsaufwand assoziiert ist. Daher wird die multidisziplinäre Behandlung auch in großen Übersichtsarbeiten empfohlen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Patienten mit FRI und anderen komplexen Knochen- und Gelenkinfektionen profitieren von einer strukturierten multidisziplinären Behandlung im Sinne der Beteiligung der wichtigsten klinischen Fachdisziplinen, wie z. B. Mikrobiologie, Infektiologie, Plastische Chirurgie, Gefäßchirurgie, Radiologie etc.,. Dazu zählen z. B. regelmäßige interdisziplinäre Visiten oder Fallkonferenzen. Es fehlen momentan zwar Ergebnisse von randomisiert-kontrollierten Studien zu diesem Thema, allerdings läuft im Moment in Deutschland eine solche Studie (Rosslenbroich et al., 2024). Erste retrospektive Studien bei Knochen- und Gelenkinfektionen liefern deutliche Hinweise darauf, dass ein solcher Ansatz mit einer Verbesserung klinischer Ergebnisse assoziiert ist.

In einer retrospektiven Vergleichsstudie zu FRI (n = 117 Patienten) zeigte sich in der Gruppe mit multidisziplinärer wöchentlicher Falldiskussion niedrigere Amputationsraten (3,4 % vs. 6,8 %; p = 0,014) sowie eine geringere durchschnittliche Anzahl an Revisionseingriffen ($1,5 \pm 1,2$ vs. $2,2 \pm 1,2$; p = 0,048). Auch wenn einige weitere Vorteile wie niedrigere Rezidivraten nicht statistisch signifikant waren, deuten die Daten insgesamt auf eine verbesserte Versorgung hin (Rupp et al., 2023).

Für chronische Osteomyelitiden wurde in einer retrospektiven Studie ebenfalls die Überlegenheit des multidisziplinären Behandlungsansatzes mit einer signifikant verringerten Amputationsrate (6,47 % vs.

16,0 %; $p < 0.001$) und einer signifikant verringerten Mortalitätsrate (4,71 % vs. 20,0 %; $p < 0.001$) im Vergleich zu Patienten ohne multidisziplinären Behandlungsansatz beschrieben. Auch war der gesamte Behandlungsaufwand, die Länge des stationären Aufenthaltes und auch Notfall-Wiedervorstellung der Patienten mit interdisziplinärem Behandlungsansatz niedriger. Ergänzend wurde in einer groß angelegten Beobachtungsstudie zu 509 Patienten mit Protheseninfektionen und anderen Knochen- und Gelenkinfektionen (1321 Multidisciplinary Treatment(MDT)-Entscheidungen) eine sehr hohe Umsetzungsrate multidisziplinärer Therapieentscheidungen (92 %) festgestellt. Wurde die vom MDT empfohlene chirurgische Strategie nicht umgesetzt, so war die Heilungsrate deutlich niedriger (33 %). Besonders ausgeprägt war dieser negative Effekt, wenn die Abweichung auf Patientenwunsch beruhte (Heilungsrate 46 %); Abweichungen durch behandelnde Ärzte führten zu einer Heilungsrate von 77 %. Diese Ergebnisse unterstreichen die Relevanz einer konsequenten Umsetzung gemeinsamer interdisziplinärer Entscheidungen für den Therapieerfolg (Hanssen et al., 2025).

Ein weiterer zentraler Aspekt multidisziplinärer Teams im Management von FRI ist die Implementierung von Antibiotic-Stewardship-Strategien (ABS). ABS wird im multidisziplinären Kontext gelebt und stellt ein wesentliches Instrument zur rationalen Antibiotikatherapie dar. Gerade bei Knocheninfektionen, die im Gegensatz zu allgemeinen infektiologischen Trends oft über lange Zeiträume antibiotisch behandelt werden, ist ABS von hoher Bedeutung. ABS trägt zur Reduktion des unnötigen Einsatzes von Antiinfektiva, zur frühzeitigen Oralisierung, zur Verkürzung von Liegezeiten und zur Steigerung der Leitlinienadhärenz bei. Damit ergänzt es die chirurgische Perspektive des MDT um einen entscheidenden infektiologischen Beitrag (AWMF S3-Leitlinie, 2019; Barlam et al., 2016; Davey et al., 2013).

Auf Basis dieser Daten wird generell in großen Übersichtsarbeiten ein multidisziplinärer Behandlungsansatz bei FRI in der Literatur empfohlen (Depeyre et al., 2020; Li et al., 2024; Rupp et al., 2024; Steinmetz et al., 2019).

3.1.2 Anwendung konfirmatorischer mikrobiologischer Kriterien zur Therapientscheidung

Empfehlung 29	Neu - Stand (2026)
Eine gezielte antiinfektive Therapie bei FRI sollte dann erfolgen, wenn die klinische Bedeutung des nachgewiesenen Erregers auf Basis geltender Kriterien zweifelsfrei belegt ist. Dieser Beleg wird durch den Nachweis von phänotypisch nicht unterscheidbaren Isolaten einer Spezies in mindestens zwei unabhängigen Materialien erbracht. Bei Nachweis eines pathogenen Erregers (z. B. <i>S. aureus</i>, Enterobacterales) in nur einer intraoperativen Probe in einem überzeugenden klinischen Kontext sollte eine gezielte antiinfektive Therapie erfolgen. Ansonsten sollte ohne gesicherten Keimnachweis die kalkulierte Antibiotikatherapie fortgesetzt und nicht auf eine mögliche Kontaminante fokussiert werden. Ob dieses Vorgehen das Outcome und die Infektionskontrolle bei FRI beeinflusst, kann aktuell wissenschaftlich nicht beantwortet werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Aktuell steht keine belastbare wissenschaftliche Evidenz zur Verfügung, die diese Frage auf Basis qualitativ hochwertiger klinischer Untersuchungen präzise beantworten kann. Aus diesem Grund müssen theoretische Erwägungen herangezogen werden.

Um die Zahl unerwünschter Nebenwirkungen sowie das Risiko einer Resistenzentwicklung zu minimieren, sollte eine Fokussierung der antiinfektiven Therapie bei FRI grundsätzlich angestrebt werden. Dies setzt die Identifikation des kausal verantwortlichen Pathogens voraus. Entscheidend für die Unterscheidung invasiver (klinisch signifikanter) Erreger von kontaminierenden Mikroorganismen ist der Nachweis von phänotypisch nicht unterscheidbaren Isolaten einer Spezies in mindestens zwei unabhängigen Materialien (Dudareva et al., 2021; Metsemakers et al., 2018). Wird dieses Kriterium nicht erfüllt, so wird die FRI als kausal ungeklärt betrachtet, was ein empirisches Therapieregime zur Folge hat (Depypere et al., 2020).

Das Risiko einer Probenkontamination mit klinisch irrelevanten Mikroorganismen zum Beispiel der Hautflora ist relevant (Govaert et al., 2020). Die Fokussierung auf ein kontaminierendes, klinisch nicht signifikantes Isolat, birgt das Risiko eines Therapieversagens aufgrund der Nichterfassung des kausalen Pathogens (Dudareva et al., 2019). Aus diesen theoretischen Überlegungen heraus ist eine antiinfektive Therapie entlang streng ausgelegter mikrobiologischer Kriterien zur klinischen Bewertung von Isolaten erforderlich. Zu den suggestiven Kriterien für die Diagnose einer FRI gilt auch der Nachweis eines

pathogenen Erregers in einem einzelnen Material. Unter pathogenen Erregern werden im Kontext von Fremdmaterial-assoziierten Knocheninfektionen *S. aureus*, *S. lugdunensis*, *Enterococcus spp.*, *Candida spp.*, *Streptococcus spp.*, *Enterobacterales* und *P. aeruginosa* verstanden (Rondaan et al., 2023). Es ist bekannt, dass der Nachweis dieser Spezies selbst bei nur einem positiven Untersuchungsergebnis als klinisch bedeutsam betrachtet wird (Onsea et al., 2022; Trenkwalder et al., 2024). In diesem Fall ist eine Sicherstellung des empirischen Therapieregimes notwendig. In Einzelfällen ist eine fokussierte Therapie auf den jeweils nachgewiesenen Erreger möglich. Dies ist vor allem dann gerechtfertigt, wenn die Aussagekraft der mikrobiologischen Diagnostik hoch ist (z. B. keine Antibiotikaexposition, ausreichende Zahl von untersuchten Gewebematerialien) und das Risiko einer polymikrobiellen Infektion niedrig ist. Ob dieses Vorgehen das Outcome und die Infektionskontrolle bei FRI beeinflussen kann aktuell wissenschaftlich nicht beantwortet werden.

3.2 Unfallchirurgische Aspekte

3.2.1 Verzicht auf programmierte Revisionsoperationen

Empfehlung 30	Neu - Stand (2026)
Wenn immer möglich, so sollte auf ein mehrzeitiges Vorgehen mit der Durchführung von sog. Etappenlavagen verzichtet und der Patient einem einzeitigen bzw. zweizeitigen Behandlungsregime unterzogen werden, da hierdurch gute Behandlungsergebnisse zu erzielen sind. Mehrfache Revisionen sind lediglich bei nicht beherrschbarer Infektions- bzw. Wundheilungssituation mit rezidivierender Nekrosen- bzw. Eiterbildung indiziert. Dies sollte jedoch durch ein adäquates chirurgisches Debridement der Wunde bereits bei der ersten Revision und fachgerechte Antibiotikatherapie verhindert werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Für periprotetische Infektionen ist aufgrund der guten Behandlungsergebnisse das einzeitige bzw. zweizeitige chirurgische Vorgehen bereits seit mehreren Jahrzehnten Standard (Palmer et al. 2020). Auch für FRI konnte in den letzten Jahren für ein einzeitiges bzw. zweizeitiges Behandlungsregime ein guter Outcome sowohl hinsichtlich Infektionskontrolle als auch knöcherne Konsolidation gezeigt werden (Bezstarosti et al, 2019). Dies gilt auch für Fälle mit größeren Weichteildefekten, die eine freie Lappenplastik erfordern, auch hierfür ist keine Etappenlavage notwendig (Mifsud et al., 2020; Marais

et al, 2024). Daher **wird** auch für FRI ein einzeitiges bzw. zweizeitiges - und nicht ein mehrzeitiges Vorgehen - als Standard angesehen (Depypere et al., 2020; Rupp et al., 2024).

Ein mehrzeitiges Vorgehen bei FRI mit sog. Etappenlavagen mit der Zielvorstellung, durch geplante Revisionen mit Lavage und Debridement in einem definierten zeitlichen Abstand, z. B. alle 3–5 Tagen, die Bakterienlast im Wundgebiet zu reduzieren und dadurch das Risiko für eine Rezidivinfektion zu senken, ist nicht anzuraten. Zum einen ist dieses Vorgehen mit einem erheblichen Therapieaufwand, z. B. mit mehrfachen Narkosen und Operationen, langen stationären Aufenthalten etc. als auch mit einem relativ schlechten Behandlungsergebnis für den Patienten verbunden. In einer retrospektiven Arbeit mit mehrzeitigem Vorgehen mit Etappenlavage bei infizierten Pseudarthrosen konnte gezeigt werden, dass es hierbei in 14 % der Fälle zu schwerwiegenden Komplikationen, wie z. B. Majoramputationen und intrahospitaler Letalität kam (Rupp et al., 2022). Auch zeigten sich sekundäre Kontaminationen mit einem Keimwechsel im Wundgebiet bei einer durchschnittlichen Anzahl von mehr als 5 Eingriffen.

Multiple Debridement im Sinne einer Etappenlavage sind lediglich bei nicht beherrschbarer Infektions- bzw. Wundheilungssituationen mit rezidivierender Nekrosen- bzw. Eiterbildung indiziert des Wundgebietes. Dies sollte jedoch durch ein adäquates Debridement der Wunde durch einen erfahrenen Operateur bereits bei der ersten Revision und fachgerechte Antibiotikatherapie verhindert werden.

3.2.2 Therapie bei frakturassoziierte Infektion und verheilte Fraktur

Empfehlung 31	Neu - Stand (2026)
Für Patienten mit FRI und konsolidierter Fraktur ohne vorherige Suppressionstherapie ist eine antibiotische Therapie von 2 Wochen nach Implantatentfernung und knöchernem Debridement nach heutigem Wissensstand nicht ausreichend, um das Risiko einer chronischen Osteomyelitis sicher zu vermeiden. Es soll daher eine Therapiedauer von 6 Wochen nach Implantatentfernung erfolgen, orientiert an internationalen Konsensuspapieren. Bei geeigneten Wirkstoffen kann frühzeitig von intravenöser auf orale Therapie gewechselt werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Im Moment gibt es keine randomisiert-kontrollierte Studie zu diesem Thema und Empfehlungen hierzu beruhen lediglich auf Expertenempfehlungen. Generell werden FRIs nach konsolidierter Fraktur eher als wenig komplexe Situationen angesehen (F1-Fälle in der neuen FRI-Classification, Alt et al., 2024),

die mit Implantatentfernung und einem knöchernen Debridement des Implantatlagers chirurgisch behandelt werden. Die anschließende antibiotische Therapie wird im Sinne einer Behandlung einer Osteomyelitis ohne das Vorhandensein eines internen Implantats angelehnt und von Expertenmeinungen mit 6 Wochen angesetzt (Depypere et al., 2020). Eine kürzere Therapie wird mit einer erhöhten Reinfektionsgefahr bzw. der Ausbildung einer chronischen Osteomyelitis in Verbindung gebracht. Aufgrund der Ergebnisse des OVIVA-RCTs ist nach einer initialen i.v. Antibiotika-Therapie bei Optionen mit guter Bioverfügbarkeit des Antibiotikums eine orale Therapie möglich. Eine Antibiotikatherapie über 6 Wochen i.v. ist nicht notwendig (Li et al., 2019). Die OVIVA-Studie konnte eine Nichtunterlegenheit der oralen Therapie mit initialer i.v. Therapie gegenüber einer i.v. Langzeittherapie nachweisen.

3.2.3 Implanterhaltendes Vorgehen bei noch nicht verheilter Fraktur

Empfehlung 32	Neu - Stand (2026)
Ein implantaterhaltendes Vorgehen (DAIR) sollte bei FRI mit stabilen, nicht gelockerten Implantaten, suffizienter Weichteildeckung und technisch möglichem, gründlichem Debridement in frühen Verläufen (≤ 3 Wochen) erfolgen, da hierdurch hohe Erfolgsraten erzielt werden können. Mit zunehmender Dauer (> 10 Wochen) sinkt die Erfolgswahrscheinlichkeit deutlich; dann sollte ein Implantatwechsel oder -entfernung erfolgen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Das Prinzip des Implantaterhaltes wird vor allem bei akuten Gelenkprotheseninfektionen in der Endoprothetik verwendet und wird oftmals als “Debridement, Antibiotikatherapie und Implantat-Erhalt” (DAIR) bezeichnet. Beim DAIR wird ein ausgiebiges Debridement der Weichteile und des Knochens durchgeführt, sowie die Implantatoberflächen gereinigt. Auch der Einsatz von Antibiotika – sowohl lokal als systemisch – spielt eine wichtige Rolle.

Das implantaterhaltendes Vorgehen im Sinne des Belassens der Implantate mit einem Debridement der Implantatoberflächen und des nekrotischen Gewebes stellt auch bei frakturassoziierten Infektionen ein aussichtsreiches Vorgehen unter bestimmten Voraussetzungen dar. Voraussetzungen hierfür sind: Das Implantat darf nicht gelockert sein und die Osteosynthese muss stabile Verhältnisse mit gutem Knochenheilungspotential aufweisen. Des Weiteren gehören gute Repositionsverhältnisse und vitaler Knochenstatus, sowie ein adäquate Weichteildeckung dazu (Baertl et al., 2024; Depypere et al., 2020; Marais et al., 2023; McNally et al., 2022; Neyt et al., 2024; Tsang et al., 2023). Im Zuge der neuen

FRI-Klassifikation wird die DAIR-Prozedur somit vor allem für F2I1 bzw. F2I2-Situationen empfohlen (Alt et al., 2024).

Im Moment gibt es keine randomisiert-kontrollierte Studien, die ein implantaterhaltendes Vorgehen versus ein Vorgehen mit Implantatwechsel bei FRI direkt vergleicht. Daher beruht die Evidenz auch hier zumeist auf retrospektiven Fallserien. McNally et al. zeigte im Vergleich unterschiedlicher Therapieoptionen bei FRI eine Erfolgsrate 78,6 % von DAIR im Vergleich zu 87,5 % bei Implantatwechsel und 89,7 % bei Konversion zu externer Fixation. Trotz der etwas niedrigeren Erfolgsrate argumentierten die Autoren, dass die DAIR-Therapie bzw. ihr Therapieerfolg zum einen von mehreren Faktoren abhängt ist und zum anderen als patientenfreundlich aufgrund der geringen Invasivität des Eingriffs gilt. Eine Systematic-Review-Arbeit aus dem Jahre 2021 von Morgenstern et al. mit 276 Patienten zeigt eine hohe Erfolgsrate von 86-100 % hinsichtlich Infekteradikation und Frakturheilung, wenn die Revisionen innerhalb der ersten 3 Wochen nach Indexoperationen erfolgen. Diese Erfolgsraten sinken auf 82 %-89 % bei Revision zwischen 3 und 10 Wochen und auf 67 % bei Revisionen nach 10 Wochen. Eine Multicenter-Studie aus den Niederlanden mit Einschluss von FRI-Patienten innerhalb von 6 Wochen nach Indexoperationen an 141 Patienten mit einer Infektionskontrolle von 94 %. 52 % der Patienten benötigten jedoch mindestens zwei Revisionsoperationen. Risikofaktoren für ein erneutes Auftreten einer FRI waren u.a. das Vorliegen einer Nagelosteosynthese (odds ratio (OR) 4.0 (95 % confidence interval (CI) 1.1–13.8)) und Notwendigkeit mehrerer Revisionsoperationen bei der ersten FRI-Behandlung (OR 1.9 (95 % CI 1.1–3.5)).

3.2.4 Frakturassoziierte Infektion bei einliegendem Marknagel

Empfehlung 33	Neu - Stand (2026)
Bei vielen FRI-Revisionen nach Marknagelosteosynthese, auch bei akuten Infektionen, ist ein Nagelwechsel bei einer FRI-Revision mit überschaubarem Aufwand zu machen und sollte daher durchgeführt werden. Eine reine DAIR-Prozedur mit Nagelerhalt kann zu erhöhten Komplikationsraten führen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Das Prinzip des Implantaterhaltes wird vor allem bei akuten Gelenkprotheseninfektionen in der Endoprothetik verwendet und wird oftmals als " (DAIR) bezeichnet. Das implantaterhaltendes Vorgehen

im Sinne des Belassens der Implantate mit einem Debridement der Implantatoberflächen und des nekrotischen Gewebes stellt auch bei frakturassoziierten Infektionen ein aussichtsreiches Vorgehen unter bestimmten Voraussetzungen dar. Voraussetzungen hierfür sind: Das Implantat darf nicht gelockert sein und die Osteosynthese muss stabile Verhältnisse mit gutem Knochenheilungspotential aufweisen. Des Weiteren gehören gute Repositionsverhältnisse und vitaler Knochenstatus, sowie ein adäquate Weichteildeckung dazu (Baertl et al. 2024; McNally et al. 2022; Neyt et al. 2024). Im Zuge der neuen FRI-Klassifikation wird die DAIR-Prozedur somit vor allem für F2I1 bzw. F2I2-Situationen empfohlen (Alt et al., 2024).

Für die FRI-Behandlung nach Marknagelosteosynthese ist die Datenlage in der Literatur sehr dünn. Eine Multicenter-Studie aus den Niederlanden mit Einschluss von FRI-Patienten innerhalb von 6 Wochen nach Indexoperationen an 141 Patienten zeigte eine Infektionskontrolle von 94 %. Risikofaktoren für ein erneutes Auftreten einer FRI waren u.a. das Vorliegen einer Nagelosteosynthese (odds ratio (OR) 4.0 (95 % confidence interval (CI) 1.1–13.8)) und Notwendigkeit mehrerer Revisionsoperationen bei der ersten FRI-Behandlung (OR 1.9 (95 % CI 1.1–3.5)). Auch eine Studie von Berkes et al. aus dem Jahre 2010 wies bereits auf ein signifikantes Rezidivrisiko bei implantaterhaltendem Vorgehen bei Nagelosteosynthese hin. Die höhere Rezidivrate bei Nagelosteosynthesen möglicherweise auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass die Implantatoberfläche aufgrund der intramedullären Lage für das Debridement schlechter zugänglich ist (Alt et al., 2022, Bärthel et al., 2024). Allerdings veröffentlichten Jones et al. (2023) relativ vergleichbare und keine signifikanten Unterschiede bei Behandlungsergebnisse zwischen DAIR gegenüber Nagelwechsel bei FRI nach intramedullärer Nagelosteosynthese innerhalb der ersten 90 Tage, wobei die Versagensrate beider Therapiestrategien mit persistierender Pseudarthrose bzw. Amputation bei einer relativ hohen Rate von insgesamt 24,2 % lag.

Bei vielen FRI-Revisionen nach Marknagelosteosynthese, auch bei akuten Infektionen, ist ein Nagelwechsel bei einer FRI-Revision mit überschaubarem Aufwand vorteilhaft.

3.2.5 Frakturassoziierte Infektion und begleitendem Knochendefekt

Empfehlung 34	Neu - Stand (2026)
---------------	--------------------

Für die Rekonstruktion von Knochendefekten **können** entweder ein- oder zwei-/mehrzeitiges Verfahren zur Anwendung kommen. Hierzu zählen vornehmlich das sog. Kallusdistraktionsverfahren nach Ilizarov, das oftmals einzeitig im Sinne eines Debridements des Knochendefektes und gleichzeitiger Kortikotomie und Applikation des Ringfixateurs zum Knochentransport zur eingesetzt werden. Als gebräuchliches zweizeitiges Verfahren hat sich die sog. Masquelet-Technik etabliert, bei der über insgesamt 2 Eingriffe zunächst in einem ersten Eingriff der Defekt debridiert und mit einem Polymethylmetacrylat (PMMA)-Spacers ausgefüllt wird und in einem zweiten der Defekt unter Beibehaltung der induzierenden Membran mit einer autologen Knochentransplantation ausgefüllt. Als weitere Technik stehen verschiedene vaskularisierte Knochentransplantate zur Verfügung (z. B. freie Fibula), die mit mikrochirurgischem Gefäßanschluß gerade bei langen Defekten oder gering durchblutetem Knochengewebe zum Einsatz kommen **können**.

Konsensstärke	93 % (Konsens)
---------------	----------------

Bei der Behandlung von FRI liegen oftmals relevante Knochendefekte vor, die rekonstruiert werden müssen. Nach der neuen FRI-Klassifikation handelt es sich hierbei um Fälle der F4-Kategorie (Alt et al., 2024).

Für die Rekonstruktion von Knochendefekten stehen mehrere chirurgische Techniken zur Verfügung, die entweder einzeitig, zweizeitig oder auch mehrzeitig zur Anwendung gebracht werden. Hierzu zählen vornehmlich das sog. Kallusdistraktionsverfahren nach Ilizarov, das oftmals einzeitig im Sinne eines Debridements des Knochendefektes und gleichzeitiger Kortikotomie und Applikation des Ringfixateurs zum Knochentransport zur Anwendung kommt (Ilizarov et al, 1992). Als gebräuchliches zweizeitiges Verfahren hat sich die sog. Masquelet-Technik etabliert, bei der über insgesamt 2 Eingriffe zunächst in einem ersten Eingriff der Defekt debridiert und mit einem Polymethylmetacrylat (PMMA)-Spacers ausgefüllt wird (Mauffrey et al., 2016). Hierbei bildet sich auf der PMMA-Oberfläche in den darauffolgenden Wochen eine sog. induzierende Membran. Im zweiten Eingriff nach Entfernung des PMMA-Spacers wird der Defekt unter Beibehaltung der induzierenden Membran mit einer autologen Knochentransplantation ausgefüllt, die dann zu einer knöchernen Konsolidierung führen soll.

Als weiteres Verfahren ist das sog. Freie-Fibula-Transplantat, das vornehmlich vaskularisiert verwendet wird, vor allem für Knochendefekte an der oberen Extremität von Interesse (Liaw et al, 2023). Diese Technik bedarf einer mikrochirurgischen Anastomosentechnik und bleibt daher speziellen Indikationen bzw. speziellen Zentren vorbehalten.

In einem kürzlich von Wakefield et al. publizierten systematischen Review wurden 32 Studien mit 1136 Patienten für den Vergleich der Knochenrekonstruktionsergebnisse zwischen Masquelet- und Ilizarov-Technik eingeschlossen. Hierbei wurden als Outcome-Parameter die knöcherne Konsolidierung und Infektionskontrolle sowie Komplikationsraten und funktionelle Scores analysiert. Hierbei zeigten beide Techniken eine hohe Rate an knöcherner Konsolidierung (Ilizarov: 94,6 %; Masquelet: 88,0 % ohne statistische signifikante Differenz zwischen den beiden Gruppen ($p = 0.45$)). Bei der Infektionskontrolle zeigte die Ilizarov-Technik eine höhere Erfolgsrate (93,0 %) gegenüber der Masquelet-Technik (80,4 %), die mit einem p-Wert von $p=0,06$ nur leicht das Signifikanzniveau verfehlte. Auch für die sekundären Bewertungsparameter (ungeplante Revisionen, Refrakturen, Amputationen) ergaben sich keine signifikanten Differenzen zwischen den beiden Gruppen.

Bei dem Review wurden insgesamt nur zwei Studien identifiziert, die die beiden Techniken direkt miteinander verglichen haben. Dabei zeigten sich bei Tong et al. (2017) tendentiell bessere Ergebnisse für die Masquelet- und bei der Studie von Rohilla et al. (2022) bessere Ergebnisse für die Ilizarov-Technik. Einschränkend muss für beide Studien für die Masquelet-Gruppe gesagt werden, dass auch für die Osteosynthese beim zweiten Eingriff („Stage 2“) ein externes und nicht, wie ansonsten oftmals üblich, ein internes Fixationsverfahren verwendet wurde.

In der Studie von Tong et al. (2017) wurden 39 Patienten mit femoralen oder tibialen Knochendefekten mit einer durchschnittlichen Defektstrecke von 6,76 cm verglichen, davon wurden 20 Patienten wurden mit der Masquelet- und 19 Patienten mit der Ilizarov-Technik behandelt. Hierbei zeigte sich eine Fixateurapplikationsdauer von 10,2 Monaten für die Masquelet-Technik und 17,2 Monaten für die Ilizarov-Gruppe. Es zeigten sich ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der Knochenheilungsraten, jedoch funktionell bessere Ergebnisse für die Masquelet-Technik, was Gelenkkontrakturen, Weichteildystrophie, Hinken, Schmerz und Inaktivität anbelangt. Die Autoren empfahlen, die Masquelet-Technik eher bei periartikulären Defekten und die Ilizarov-Technik eher bei Defekten mit zusätzlicher Deformität anzuwenden.

Rohilla et al. (2022) publizierten Daten von insgesamt 25 Patienten mit tibialen Knochendefekten bis zu 6 cm, bei den 13 Patienten mit der Masquelet- und 12 Patienten mit der Ilizarov-Technik behandelt wurden. Einschränkend muss auch hier für die Masquelet-Gruppe gesagt werden, dass auch für die Osteosynthese beim zweiten Eingriff („Stage 2“) ein externes und nicht, wie ansonsten oftmals üblich, ein internes Fixationsverfahren verwendet wurde. Die durchschnittliche Fixateur-Applikationsdauer lag bei 9,42 (Ilizarov) versus 16,3 Monaten (Masquelet) ($p < 0.001$). Die knöcherne Konsolidierung lag bei 92 % in der Ilizarov gegenüber von nur 50 % in der Masquelet-Gruppe. Es gab keine statistisch signifikanten Differenzen zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der funktionellen Ergebnisse.

Durch die Einführung sog. „Hybridverfahren“, wie z. B. Bone-Transport-over-Nail (BTON), Bone-Transport-over-Plate (BTOP), kann durch die zusätzliche Verwendung eines internen Osteosynthese-Verfahrens eine Verkürzung der Fixateur-externe-Therapiezeit herbeigeführt werden (Seng et al., 2024). Alternative ist der Segmenttransport zum Ausgleich des Defekts über den Wechsel vom Fixateur-externe zu einem internen Fixationsverfahren zur finalen Ausreifung des Distraktionskallus durchgeführt werden, wie z. B. das „Nailing after Bone Transport“ (NABT) (Corona et al., 2025).

Für die Masquelet-Technik scheint ein externes Osteosyntheseverfahren gegenüber einem internen Fixationsverfahren zur Stabilisation des Knochens nach Debridement und Einbringung des PMMA-Spacer-Zements beim ersten Eingriff („Stage 1“) keine Vorteile zu bringen. Eine retrospektive kontrollierte Kohortenstudie an 63 Patienten (40 Patienten mit initialer interner und 23 Patienten mit initialer externer Fixation) zeigte eine Infektionskontrolle von 85,0 % bzw. 82,6 % ($p=0.803$) bei interner bzw. externer Fixation bei Tibiadeфекten von mehr als 4 cm. Beide Techniken führten nach Entfernung des PMMA-Spacers und Auffüllung des Defektes mit autologem Knochen („Stage 2“) zu einer Infektionskontrolle von 92,5 % (interne Fixation) und 95,7 % (externe Fixation ($p=0.621$). Es kam zu keinen statistisch signifikanten Differenzen im self-rating anxiety scale ($p=0.278$), in der Zeit bis zur knöchernen Konsolidierung ($p=0.795$) oder in Zeit bis zur Vollbelastung ($p=0.725$) bzw.in der Komplikationsrate ($p=0.593$).

3.2.6 Einsatz von lokalen Antibiotika-Trägern bei Knochendefekten

Empfehlung 35	Neu - Stand (2026)
Generell sollten lokale Antibiotikaträgern bei FRI mit knöchernen Defekten eingesetzt werden. Dennoch soll für den individuellen Einsatz das jeweils geeignete Biomaterial individuell ausgewählt werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die Hypothese zur Verwendung von resorbierbaren lokalen Antibiotikaträgern beruht auf der Tatsache, dass diese Materialien zum einen als Medikamententräger zur lokalen Freisetzung und somit zur antibiotischen Therapie der infektionsauslösenden Bakterien und zum anderen aufgrund ihrer osteokonduktiven Eigenschaften zur Stimulation von Knochenneubildung benutzt werden können (Metsemakers et al., 2020; Mills et al., 2025). Die Kombination aus lokaler Antibiotikatherapie und Stimulation von Knochenneubildung ist vor allem bei FRI mit Knochendefekten von Interesse, die nach der neuen

FRI-Klassifikation als F4-Situationen beschrieben werden (Alt et al., 2024). Sie können aber auch in F1- (verheilte Fraktur), F2- (gutes Knochenheilungspotential) oder F3- (schlechtes Knochenheilungspotential, jedoch ohne größeren Knochendefekt) Situationen eingesetzt werden, bei denen hauptsächlich die lokale Freisetzung des Antibiotikums eine Rolle spielt. Diese lokale Freisetzung hat zum einen den Vorteil, dass relativ hohe lokale Konzentrationen erreicht werden können, die die bei systemischer Gabe deutlich überschreiten und zum anderen potentielle systemische Effekte aufgrund der relativ niedrigen Blutkonzentrationen vermieden werden können.

Es gibt eine Vielzahl von lokalen Antibiotikaträger für den Einsatz bei Knocheninfektionen, die zumeist auf Biokeramik-Basis beruhen (Metsemakers et al., 2020; Mills et al., 2025). Alternativ kommen antibiotikabeladene Auto- oder Allografts, Hydrogele oder auch Bioglass zur Anwendung. Die antimikrobiellen Eigenschaften von Bioglass entstehen dabei nicht durch klassische antibiotische Zelleffekte, sondern durch pH-Wert-Veränderungen, Erhöhung des osmotischen Drucks und Freisetzung von Ionen (Fernandes et al., 2017; Lindfors et al., 2017).

Leider existieren im Moment keine randomisiert-kontrollierte Studien, die die Bedeutung des Einsatzes von lokalen Antibiotikaträgern bei FRI mit knöchernen Defekten evaluieren. Jedoch können Studien für den lokalen Einsatz eines Tobramycin-beladenen Calcium-Sulphat-Trägers bei chronischer Osteomyelitis als vergleichbare Indikation herangezogen werden. Hierbei zeigte sich bei einer randomisiert-kontrollierten Studie mit 65 Patienten, dass der Einsatz des Tobramycin-beladenen Biomaterials eine bessere Erfolgsrate hinsichtlich Infektionseradikation (80 % vs. 60 %) gegenüber einem alleinigen Debridement zeigte, die jedoch nicht statistisch signifikant war. In einer retrospektiven Studie mit 195 Patienten mit Infektionen des langen Röhrenknochens, davon 110 Patienten mit FRI, zeigte der Einsatz des Tobramycin-beladenen Calcium-Sulphats eine 91 % Infektionseradikationsrate (Ferguson et al., 2014). Ein Biomaterial mit Kombination aus Calcium-Sulphat und Hydroxylapatit (40 %), das mit Gentamicin oder Vancomycin beladen werden kann und kommerziell erhältlich ist, zeigte bei 100 Patienten mit chronischen Knocheninfektionen, davon 71 FRIs, eine Infektionseradikationsrate von 96 % bei einzeitigem Vorgehen. In einer anderen retrospektiven Arbeit mit 433 FRIs wurden 251 (58,0 %) der Patienten mit einem Calciumsulphat-Hydroxylapatit-Biomaterial behandelt, wobei zumeist Gentamicin als Antibiotikumzusatz verwendet wurde. Bei den restlichen 172 Patienten (42,0 %) erfolgte keine lokale Antibiotikatherapie. Dabei zeigte sich ein nur 10 %iges Reinfektionsrisiko bei den Patienten mit lokaler Antibiotikatherapie, wobei es bei 18,7 % in der Patientengruppe ohne lokale Antibiotikatherapie zu einem Infektionsrezidiv kam, was einem unadjusted hazard ratio (uHR) von 0,48 mit einem 95 % Konfidenzintervall von 0,29–0,81. Durch Verwendung der lokalen Antibiotikatherapie kam es zu keinem vermehrten Auftreten von multiresistenten Keimen.

Zur Prävention von FRI bei offenen Frakturen existiert ein systematisches Review zum Einsatz von lokalen Antibiotikaträgern, die die Überlegenheit gegenüber der Therapie ohne lokale Antibiotikaträger zeigen konnte (Morgenstern et al., 2018). Allerdings wiesen die Autoren auf die relativ schlechte Datenqualität der zugrundeliegenden Originalarbeiten hin.

3.3 Plastisch-chirurgische Aspekte

3.3.1 Frakturassoziierte Infektion und begleitender Weichteilschaden

Empfehlung 36	Neu - Stand (2026)
Der Weichteilverschluss bei FRI sollte relativ zeitnah entweder ein- oder zweizeitig in einem entsprechenden interdisziplinären Setting zwischen Unfallchirurgie und Plastischer Chirurgie (im Sinne einer sog. „orthoplastischen Chirurgie“) geplant und durchgeführt werden. Die Applikation einer Vakuum-assistierten Wundtherapie vor Durchführung der Lappenplastik sollte so kurz wie möglich gehalten werden. Multiple Revisionen sind nur bei offensichtlichen unkontrollierten Infektionsgeschehen mit rezidivierenden Weichteil- oder gar Knochennekrosen (Sequester) zu erwägen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Weichteildefekte, vor allem an der unteren Extremität, sind für die Behandlung und das Behandlungsergebnis bei FRI von erheblicher Bedeutung. So konnten Müller et al. im Jahre 2021 beschreiben, dass von 145 Patienten mit FRI an der unteren Extremität, 58 Patienten (40 %) mit einer plastisch-chirurgischen Weichteildeckung versorgt werden mussten. Daher **ist** im Sinne eines interdisziplinären Ansatzes unter gemeinsamer Beteiligung unfallchirurgischer und plastisch-chirurgischer Expertise die Adressierung sowohl der FRI selbst als auch des Weichteildefektes wichtig. Im Rahmen der neuen FRI-Klassifikation werden diese Patienten in die I-Kategorien I3 und I4 eingeordnet (Alt et al., 2024).

Für den Verschluss von Weichteildefekten stehen sowohl lokale als auch freie Lappen heutzutage zur Verfügung (Alt et al., 2023). Es stellt sich hierbei die Frage, ob ein einzeitiges („fix and flap“) bzw. zwei- oder gar mehrzeitiges Vorgehen zu bevorzugen ist. Sowohl für das einzeitige als auch für das zweizeitige Vorgehen sind in der Literatur sehr gute Ergebnisse beschrieben. Bereits 1995 konnte Patzakakis et al. exzellente Behandlungserfolge für das zweizeitige Vorgehen bei 32 Patienten mit infizierten Tibia-Pseudarthrosen bereits 1995 berichten. Eine vor kurzem veröffentlichte Studie von Nasser et al., die

das einzeitige mit dem zweizeitigen Vorgehen bei zugrundeliegender Knocheninfektion mit begleitendem Weichteildefekt verglichen, zeigte keine statistischen Unterschiede hinsichtlich der Infektionskontrolle (94,4 % vs. 92 %), der Amputationsrate (8,5 % vs. 12 %) oder der Zeit für die knöcherne Konsolidierung (15,3 Monate vs. 12,4 Monate). Generell besteht keine Notwendigkeit von seriellen bzw. geplanten multiplen Debridement bis zum evtl. Vorliegen eines negativen Keimnachweises vor Durchführung der Lappenplastik. Multiple Revisionen sind nur bei offensichtlichen unkontrolliertem Infektionsgeschehen mit rezidivierenden Weichteil- oder gar Knochennekrosen notwendig. Indes sollte der Weichteilverschluss bei Frakturassoziierter Infektion relativ zeitnah entweder ein- oder zweizeitig in einem entsprechenden interdisziplinären Setting zwischen Unfallchirurgie und Plastischer Chirurgie geplant und durchgeführt werden. Die zunehmende Dauer der Vakuum-assistierten Wundtherapie ist mit einer erhöhten Rezidivinfektionsrate assoziiert, wie sowohl Sweere et al. (2022) als auch Hellebrekers et al. (2017) zeigten. Daher ist die kürzestmögliche Applikation einer Vakuum-assistierten Wundtherapie vor Durchführung der Lappenplastik zielführender. Multiple Revisionen erfolgen nur bei offensichtlichen unkontrolliertem Infektionsgeschehen mit rezidivierenden Weichteil- oder gar Knochennekrosen (Sequester).

3.3.2 Zeitpunkt der plastisch-chirurgischen Weichteildeckung

Empfehlung 37	Neu - Stand (2026)
Bei einem mehrstufigen Verfahren zur Weichteildeckung bei FRI mit großen Weichteildefekten sollte der Zeitraum zwischen dem ersten Debridement mit temporärem Weichteilverschluss und dem definitiven Wundverschluss durch Lappenplastik relativ kurzgehalten werden, da mit steigender Zeitdauer höhere FRI-Reinfektionsraten zu beobachten sind. Daten aus der Versorgung offener Frakturen mit großem Weichteilschaden deuten darauf hin, dass der definitive Weichteildeckung idealerweise innerhalb der ersten 7-10 Tagen erfolgen sollte .	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Ein mehrstufiges Verfahren zur Weichteildeckung bei FRI mit initialem Debridement und temporärer Weichteildeckung wirft die Frage nach dem idealen Zeitpunkt des definitiven Wundschlusses auf, vor allem, wenn bei den sog. I3- bzw. I4-Situationen nach der neuen FRI-Classification eine lokale bzw. eine freie Lappenplastik notwendig ist (Alt et al., 2024).

Wie bereits in Empfehlung 36 ausgeführt, ist die kürzestmögliche Zeit eines temporären Weichteilverchlusses nach initialem Debridement, z. B. mit Hilfe einer Vakuum-assistierten Wundtherapie vor Durchführung der Lappenplastik, mit weniger Komplikationen verbunden (Alt et al., 2023; Marais et al., 2023). Dies liegt darin begründet, dass die zunehmende Dauer der Vakuum-assistierten Wundtherapie mit einer erhöhten Rezidivinfektionsrate assoziiert ist, wie sowohl Sweere et al. (2022) als auch Hellebrekers et al. (2017) zeigen konnten. Allerdings gibt es aus der Literatur keine prospektiven Studien, die den idealen Zeitpunkt des definitiven Weichteilverchlusses bei FRI mit größeren Weichteildefekten untersucht haben. Somit müssen Daten aus Arbeiten zu offenen Frakturen mit schwerem Weichteilschaden behelfsweise herangezogen werden. Diese wurden bereits bei Empfehlung 6 ausführlich analysiert und deuten darauf hin, dass der Weichteilverchluss idealerweise innerhalb der ersten 7-10 Tagen mit dem besten Behandlungsergebnis verbunden ist (Le et al., 2024; Yim et al., 2024).

Sollte dies aus logistischen oder sonstigen Gründen nicht möglich sein, so sollte eine weitere Verzögerung so gering wie möglich gehalten werden. In diesem Zusammenhang ist wichtig zu erwähnen, dass bei Nichtverfügbarkeit von plastisch-chirurgischer Kompetenz am eigenen Hause eine frühzeitige Planung der Verlegung des Patienten in ein entsprechendes Zentrum erfolgt.

3.4 Aspekte der Antibiotikatherapie

3.4.1 Perioperative Antibiotikaprophylaxe bei Eingriffen zu frakturassoziierten Infektionen

Empfehlung 38	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit klinischem Verdacht auf FRI soll eine perioperative Antibiotikaprophylaxe, sofern die mikrobiologischen Gewebeproben zügig nach Hautschnitt, unter sterilen Bedingungen und gemäß etablierten Protokollen (3–5 tiefe Gewebeproben, separate Behältnisse und Instrumente) entnommen werden, erfolgen. Die diagnostische Sensitivität wird unter diesen Voraussetzungen nicht signifikant beeinträchtigt. Bei präoperativer Antibiotikagabe und negativem Kulturergebnis sollte ergänzend eine erweiterte Diagnostik um kulturell unabhängige Nachweisverfahren (z. B. eubakterielle PCR) erfolgen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Generell kann sowohl eine präoperative Antibiotikatherapie in den Tagen vor der Operation als auch eine präoperativ applizierte perioperative Antibiotikaphylaxe (PAP) im Sinne einer Einzelgabe Einfluss auf den Nachweis der intraoperativen Gewebeproben nehmen.

Hinsichtlich einer präoperativ bestehenden Antibiotikatherapie wird sowohl für FRI (*British Orthopaedic Association*) als auch bei der Entität der periprotetischen Infektion (*American Academy of Orthopaedic Surgeons*) eine Karenz von 14 Tagen zur Erhöhung der Detektionswahrscheinlichkeit der infektiösausschüttenden Mikroorganismen empfohlen. Zwei Studien moderater Qualität belegen die Einschätzung, dass antibakterielle Therapien in einen Zeitraum bis 14 Tagen die mikrobiologischen Ergebnisse der intraoperativ entnommenen Gewebeproben negativ beeinflussen können (Al-Mayahi et al., 2015; Trampuz et al., 2007). Es ist beschrieben, dass insbesondere vorherige Antibiotikatherapie überlebens- aber nicht kulturfähige (*viable but non culturable*, VBNC) Bakterien induzieren können (Pasquaroli et al., 2013).

Für das Themengebiet der perioperativen Antibiotikaphylaxe (PAP) empfiehlt eine internationale Expertengruppe, dass bei FRI in Abwesenheit einer Sepsis die Gabe breitwirksamer antibakterieller Arzneistoffe erst nach der Probennahme erfolgen sollte (Depypere et al., 2020), um dadurch die Wahrscheinlichkeit zur Keimidentifikation zu erhöhen. In einigen Studien wurde gezeigt, dass eine verspätete Administration der PAP zu einer Erhöhung des postoperativen Infektionsrisikos führt und die vor kurzem veröffentlichte AWMF-S3-Leitlinie zur perioperativen und periinterventionellen Antibiotikaphylaxe (AWMF-S3-Leitlinie) generell eine zeitgerechte Gabe vor Hautschnitt fordert. Eine retrospektive Analyse mit 425 Patienten mit aseptischen Knie-TEP-Revision, bei denen in 284 Fällen die PAP erst nach Probenentnahme und in 141 Fällen die PAP bereits während der Narkoseeinleitung erfolgte, zeigte, dass eine nicht-signifikante Erhöhung der postoperativen Infektionsraten innerhalb von 6,4 % für die späte gegenüber 1,6 % für die frühe Administration der PAP ($p=0,10$). Gleichzeitig kam es zu keiner signifikanten Differenz für positive mikrobiologische Ergebnisse aus den intraoperativen Gewebeproben zwischen den beiden Gruppen (6,7 % in der Spätgruppe vs. 7,0 % in der Frühgruppe) (Wouthuyzen-Bakker, Benito et al., 2017). Ein systematisches Review (7 untersuchte Studien, davon 2 RCT) aus 2017 kommt zu dem Schluss, dass die Erregerkultur bei Patienten mit periprotetischen Infektionen mit präoperativer Einmalgabe der PAP vor Probennahme um nur 7 % weniger wahrscheinlich erfolgreich (88 %) ist als bei verspäteter Gabe nach Probenentnahme (95 %) (Wouthuyzen-Bakker et al., 2017). Allerdings können auch inadäquates Probenmaterial (Art und Anzahl) und die in den Studien z.T. auch vor der Prophylaxe erfolgte, therapeutische Gabe antibakterieller Arzneistoffe mögliche Quellen dieser niedrigeren Kultursensitivität sein. Ferner ist die Größe des beobachteten Effekts mäßig

und der Effekt verschwindet bei Auslassen einer Studie, die auch Patienten mit antibakterieller Therapie in den Wochen vor der Probennahme enthielt, gänzlich. Beide letztgenannten Studien raten von einer verspäteten Gabe der PAP ab.

In Abwägung dieser Erkenntnisse ist die perioperative Antibiotikaprophylaxe präoperativ wie bei Standard-Elektiveingriffen notwendig, um das postoperative (Re-)Infektionsrisiko nicht zu erhöhen. Eine signifikante negative Beeinflussung der Detektionswahrscheinlichkeit der mikrobiologischen Diagnostik nicht zu erwarten. Bei präoperativer Antibiotikagabe kann bei Kultur-negativen Proben die Diagnostik um nicht kulturelle Verfahren (eubakterielle PCR) ausgeweitet werden.

3.4.2 Wahl der Antibiotika-Prophylaxe bei Eingriffen zu frakturassoziierten Infektionen

Empfehlung 39	Neu - Stand (2026)
Wenn die präoperativ etablierte Therapie die für den Eingriff erwarteten Keime ausreichend abdeckt und zum Hautschnitt wirksame Spiegel erreicht sind, soll keine zusätzliche PAP gegeben werden. Nur wenn das bestehende Regime nicht geeignet ist oder keine gesicherte Wirksamkeit zum Hautschnitt besteht, soll eine Standard-PAP ergänzt werden. Auf jeden Fall soll die Applikation des Antibiotikums zeitgerecht direkt vor Hautschnitt erfolgen, um ausreichend hohe Antibiotikaspiegel während des Eingriffs zu gewährleisten.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Eine bereits präoperativ begonnene antibiotische Therapie ist in der Regel auf einen spezifischen Erreger oder Erregerkreis ausgerichtet. Dieses Spektrum umfasst jedoch nicht zwingend die bei der Operation zu erwartenden Bakterien, die typischerweise aus der Hautflora stammen und vor allem grampositive Bakterien einschließen. Die schweizerische Leitlinie von 2015 und die aktuellere deutsche Leitlinie zur perioperativen antibakteriellen Prophylaxe empfehlen, das präoperativ indizierte Antibiotikum bei entsprechender Eignung aber als zusätzliche Dosis auch zur PAP zu verwenden. Nur bei fehlender Eignung soll eine zusätzliche PAP erfolgen, die das erwartete Keimspektrum abdeckt (Abele-Horn et al. 2018, Senn et al. 2015). Dies gilt insbesondere dann, wenn die laufende gezielte Antibiotikatherapie das typische perioperative Hautkeimspektrum (v. a. grampositive Erreger) nicht ausreichend abdeckt. In solchen Fällen soll eine zusätzliche perioperative Prophylaxe erfolgen. Eine retrospektive Studie an 92 chirurgischen Patienten mit präoperativ etablierter antibakterieller Therapie

zeigte, dass in 41,3 % der Fälle inadäquat zusätzliche antibakterielle Arzneistoffe als PAP eingesetzt worden sind, die zu keiner Erweiterung des Wirkspektrums führten. Es waren hier jedoch mehr chirurgische Disziplinen vertreten, die sich nicht explizit mit FRI beschäftigten (Fiallo et al., 2024).

Eine weitere retrospektive Studie an 499 chirurgischen Patienten, die bereits antibakterielle Therapie erhielten, zeigte in ähnlicher Weise, dass 35 % eine unangemessene PAP erhielten. Als unangemessen gewertet wurde hier auch das Nichtansetzen eines zusätzlichen, an das erwartete Keimspektrum angepassten antibakteriellen Arzneistoffs, was in 13 % der unangemessenen PAPs zutraf. Leider ist die Studie zu klein gewesen, um Aussagen darüber zu treffen, ob dies die Rezidiv-Wahrscheinlichkeit beeinflusst. Es konnte lediglich konstatiert werden, dass im untersuchten Patientenkollektiv kein Unterschied zwischen angemessener und unangemessener PAP in Bezug auf eine stationäre Wiederaufnahme innerhalb von 30 Tagen bestand (Nguyen et al., 2019).

Nur als Preprint verfügbar ist eine retrospektive Studie an 158 chirurgischen Patienten, bei denen der Effekt einer „duplikativen antibiotischen Therapie“ (DAT) untersucht wurde, definiert als zusätzliche antibakterielle Arzneistoffgabe mit ähnlichem oder engeren Wirkspektrum. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass in der DAT- und in der Kontrollgruppe, die außer der etablierten antibakteriellen Therapie keine PAP erhielten, die Rate an Infektionen nach 30 Tagen im OP-Gebiet gleich war (Yin et al., 2021).

Zusammenfassend gibt es keine Daten, die geeignet sind, die Frage spezifisch für FRI zu beantworten, da die ohnehin wenigen, verfügbaren Studien ein zunächst nicht weiter differenziertes chirurgisches Patientenkollektiv betrachten.

3.4.3 Zeitpunkt des Beginns der kalkulierten Antibiotikatherapie

Empfehlung 40	Neu - Stand (2026)
Bei hoher klinischer Wahrscheinlichkeit einer FRI sollte unmittelbar nach intraoperativer Probenentnahme eine kalkulierte, antibiotische Therapie begonnen und nach Vorliegen der mikrobiologischen Ergebnisse zeitnah gezielt angepasst werden. Beobachtungsstudien zeigen im Vergleich zu einem verzögerten, ausschließlich antibiogrammgerechten Beginn höhere Erfolgsraten der Behandlung.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Eine internationale Konsensusgruppe zu FRI formulierte die Empfehlung, bei hoher klinischer Wahrscheinlichkeit eines FRI direkt nach Probenahme eine kalkulierte antibakterielle Therapie zu beginnen (Depypere et al., 2020). Für diese Empfehlung, die sich zum Großteil an der Datenlage zu periprothetischen Infektionen orientiert, gibt es neben Expertenkonsens bisher jedoch wenig verfügbare Evidenz.

Eine nicht von den Expertinnen berücksichtigte retrospektive Studie an zwei niederländischen Zentren verglich im Rahmen einer Versorgung nach dem DAIR-Prinzip die unmittelbar nach Probennahme begonnene, kalkulierte antibiotische Therapie mit Vancomycin/Rifampicin (39 Patienten, Protokoll A) mit einer um 1-5 Tage verzögerten, antibiogrammgerechten Therapie (32 Patienten, Protokoll B) (Hellebrekers et al., 2020). Beide Behandlungsgruppen erhielten eine einmalige, perioperative antibakterielle Prophylaxe. Nach Adjustierung für die Faktoren Alter und Gustilo-Grad resultierte eine signifikant höhere Erfolgsrate (radiologische Frakturkonsolidierung und Abwesenheit von Infektionszeichen nach Durchlaufen des Protokolls) bei Protokoll A (72 %) im Vergleich zu Protokoll B (47 %).

Eine kleine retrospektive Studie an 33 Patienten mit FRI nach intramedullärer Nagelung einer Femurfraktur reportierte ein polymikrobielles Keimspektrum und die Anwesenheit multiresistenter Keime als unabhängige Risikofaktoren für ein Therapieversagen nach FRI und empfahl daher die empirische Therapie mit breit wirksamen antibakteriellen Arzneistoffen (Pfang et al., 2024).

Eine retrospektive Studie an 134 FRI-Patienten an drei Behandlungszentren fand keine Assoziation zwischen polymikrobiellem Keimspektrum und Re-Infektion, eruierte aber Kultur-negative Infektionen als Risikofaktor für ein Therapieversagen (Yong et al., 2023). Daraus leiteten die Autoren der Studie ebenfalls die Wichtigkeit einer breit wirksamen empirischen antibakteriellen Therapie ab.

Zusammenfassend legen die vorliegenden Daten nahe, dass eine sofortige empirische Therapie nach Probenentnahme den Therapieerfolg im Vergleich zu einem verzögerten, ausschließlich antibiogrammbasierten Beginn verbessern kann. Der isolierte Effekt auf die Rezidivrate ist jedoch bislang nicht eindeutig belegt. Unter Antibiotic-Stewardship-Prinzipien (rasche De-Eskalation nach Befund, Oralisierung, angemessene Dauer) lässt sich das Risiko für Nebenwirkungen und Resistenzentwicklung reduzieren und gleichzeitig die Chance auf eine erfolgreiche Behandlung erhöhen.

3.4.4 Substanzen für die kalkulierte Antibiotikatherapie

Empfehlung 41	Neu - Stand (2026)
Bei FRI sollte die Auswahl der initialen kalkulierten Therapie auf dem erwarteten Erregerspektrum basieren. In Analogie zu Haut- und Weichteilinfektionen, deren Erregerzusammensetzung vergleichbar ist, sollte bei FRI eine kalkulierte Monotherapie mit einem Aminopenicillin/Beta-Laktamase-Inhibitor (z. B. Amoxicillin/ Clavulansäure) oder einem Cephalosporin (2./3. Generation) empfohlen werden. Eine zusätzliche Abdeckung gegen MRSA durch Vancomycin ist nur in Risikosituationen (z. B. bekannte MRSA-Kolonisation, schwere Sepsis) erforderlich. Breite Kombinationstherapien, wie z. B. Vancomycin + Meropenem sollten ausschließlich bei klinischem Verdacht auf multiresistente Erreger oder kritisch kranken Patienten eingesetzt werden. Die empirische Therapie sollte nach Vorliegen mikrobiologischer Befunde rasch auf ein gezieltes, möglichst enges Regime angepasst werden.	
Konsensstärke	93 % (Konsens)

In Ermangelung klinischer Studien, die die Wirksamkeit verschiedener antibakterieller Therapieregime bei FRI miteinander vergleichen, kam ein internationales Konsensuspapier zur allgemeinen Empfehlung, für die kalkulierte antibakterielle Therapie ein breitwirksames Lipopeptid bzw. Glykopeptid mit einem weiteren antibakteriellen Arzneistoff zu kombinieren, der eher das gram-negative Spektrum abdeckt (Depypere et al., 2020).

Für Deutschland ist dieser Ansatz jedoch nur eingeschränkt übertragbar, da die Prävalenz methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus* (MRSA) im Vergleich zu anderen Ländern deutlich geringer ist. Mikrobiologische Analysen frakturassoziierter Infektionen zeigen, dass MRSA in Deutschland nur selten isoliert wird. In einer deutschen Kohorte mit über 100 FRI-Fällen wurde MRSA in weniger als 1 % der Isolate nachgewiesen (Bärthel et al., 2023). Eine routinemäßige empirische MRSA-Abdeckung erscheint daher nicht erforderlich und bleibt beschränkt auf Risikokonstellationen wie bekannte MRSA-Anamnese, vorangegangene Hospitalisierung oder Sepsis.

Die fehlende Evidenz zur „besten“ Arzneistoffkombination führt in der Praxis zu einer Vielfalt lokal/regional präferierter Therapieregime. Eine Umfrage in 44 deutschen Kliniken ergab, dass etwa ein Drittel eine Monotherapie mit Aminopenicillin/BLI und ein weiteres Drittel eine Cephalosporin-Monotherapie

(Gruppe 1/2-Cephalosporine) anwendet. Die restlichen Kliniken verwendeten Kombinationstherapien, wobei Vancomycin + Aminopenicillin/BLI mit ca. 9 % am häufigsten angegeben wurde. Es wurden hier zudem basierend auf Resistenzdaten aus dem FRI-Patientengut der Klinik Regensburg hypothetische Sensitivitäten gegenüber den zurückgemeldeten Therapieregimes errechnet: Während für die Monotherapie mit Aminopenicillen/BLI bzw. Cephalosporinen Sensitivitäten von 74,4 % bzw. 65,1 % resultierten, wurde für die Kombinationstherapie aus Aminopenicillin/BLI und Vancomycin eine hypothetische Sensitivität von 91,9 % errechnet, die Kombination aus Cephalosporin und Vancomycin wurde nicht betrachtet. Eine höhere Wirksamkeit wurde nur für die Kombination aus Vancomycin und Meropenem kalkuliert (96,5 %) (Bärtl et al., 2023).

Erläuterung 1. Generation vs. 2/3. Generation

Die rationale Auswahl von Aminopenicillin/BLI oder Cephalosporinen der 1./2. Generation als empirische Basistherapie wird auch in der S2k Leitlinie „Kalkulierte parenterale Initialtherapie bakterieller Erkrankungen bei Erwachsenen – Update 2018“ im Unterkapitel Haut-Weichteilinfektionen empfohlen (aktuell in Überarbeitung). Beide Optionen haben ein geeignetes Wirkspektrum gegen die typischen Erreger der Haut- und Weichteilflora (*S. aureus*, *S. epidermidis*, Streptokokken), die auch bei FRI häufige Pathogene darstellen. (Bärtl et al., 2023). Da bei FRI auch gram-negative Erreger eine Rolle spielen (16 % in der Studie Bärtl et al., 2023) wird ein Cephalosporin der 2. oder 3. Generation bevorzugt, um ein breiteres antibakterielles Spektrum sicherzustellen.

Eine weitere Studie der Universitätsklinik Regensburg an 117 FRI-Patienten kam, erneut unter Verwendung hypothetischer Sensitivitäten, ebenfalls zu dem Schluss, dass die empirische antibakterielle Behandlung mit Vancomycin und Meropenem die höchste Wirksamkeit aufweist, unabhängig davon, ob es sich um früh, verzögert oder spät diagnostizierte FRI handelt (Baertl et al., 2022). Für die Kombinationstherapien Amoxicillin/Clavulansäure + Glykopeptid sowie Ceftriaxon + Glykopeptid wurden nur etwas geringere Abdeckungen des Keimspektrums errechnet (abs. Differenz ca. 3-10 %). Auch hier zeigten sich höhere Resistenzraten bei Anwendung von Monotherapien. Zwischen früh, verzögert und spät diagnostizierten FRI konnte kein Unterschied in der Suszeptibilität gegen Vancomycin und Ceftriaxon oder Amoxicillin/Clavulansäure festgestellt werden.

Auch eine retrospektive Kohortenstudie aus Belgien kommt zu dem Schluss, dass die mikrobielle Ätiologie bei früh, verzögert oder spät diagnostizierter FRI ähnlich ist - mit Ausnahme eines höheren Anteils von *Enterobacterales* und Enterokokken bei früh diagnostizierter FRI (Depypere et al., 2022).

Eine niederländische retrospektive Kohortenstudie berichtet, dass in ihrer Kohorte die Kombination aus Vancomycin und Ceftazidim nur in 8 % der Fälle (vgl. 15 % Vancomycin/Ciprofloxacin, 16 % Vancomycin/Gentamicin) gegen die der FRI zugrundeliegenden Bakterien unwirksam gewesen wäre. Allerdings weisen die Autoren darauf hin, dass es sich in Bezug auf Ceftazidim um extrapolierte Daten handelt (Jacobs et al., 2024).

Aus Sicht des Antibiotic Stewardship (ABS) ist es essenziell, kalkulierte Regime so schmal wie möglich und so breit wie nötig zu wählen. Ziel ist es, Resistenzentwicklung zu vermeiden, Oralisierungsoptionen zu nutzen und eine zeitnahe gezielte Therapie auf Basis der Kultur- und Resistenzbefunde sicherzustellen.

3.4.5 Umstellung der kalkulierten auf eine gezielte Antibiotikatherapie

Empfehlung 42	Neu - Stand (2026)
Bei FRI nach geschlossenen Frakturen und geringem Risiko für Polymikrobialität kann bereits nach konsistentem Erregernachweis aus mehreren Proben eine Fokussierung erfolgen, ohne das Ende der vollen Bebrütungszeit abzuwarten. Bei FRI nach offenen Frakturen, chronischen Infektionen oder nekrotischem Weichteilgewebe besteht ein höheres Risiko für eine polymikrobielle Infektion, weshalb in diesen Fällen eine vollständige mikrobiologische Diagnostik und eine interdisziplinäre Bewertung abgewartet werden sollte.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Es gibt keine klinischen Studien, die den Zeitpunkt der Umstellung von kalkulierter auf gezielte Therapie bei FRI direkt untersuchen. Prinzipiell gilt, dass eine frühzeitige Anpassung auf den nachgewiesenen Erreger Vorteile hinsichtlich Wirksamkeit, Nebenwirkungen und Resistenzvermeidung bietet.

Neben der chirurgischen Sanierung ist die adäquate antimikrobielle Therapie ein zentraler Bestandteil des Behandlungskonzepts jeder FRI. Eine gezielte, auf den nachgewiesenen Erreger fokussierte antibiotische Therapie trägt hierbei wesentlich zum Behandlungserfolg bei. Gleichzeitig werden unerwünschte Arzneimittelwirkungen reduziert und das Risiko für bakterielle Selektion und Resistenzent-

wicklung minimiert. Die Fokussierung der antibiotischen Behandlung auf einen erreger- und resistenzangepassten Wirkstoff nach mikrobiologischem Nachweis ist ein wesentliches Element der rationalen Antiinfektivtherapie („Antibiotic Stewardship“).

In der klinischen Praxis der FRI Versorgung besteht jedoch häufig Unsicherheit darüber, zu welchem Zeitpunkt eine Umstellung von der kalkulierten auf eine gezielte Therapie erfolgen sollte – insbesondere, wenn zunächst nur ein einzelner Erreger nachgewiesen wurde, aber noch nicht alle mikrobiologischen Ergebnisse vorliegen. Eine abschließende Beantwortung dieser Frage auf Basis wissenschaftlicher Evidenz aus klinischen Studien zur Versorgung von FRI ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich.

Vor dem Hintergrund, dass bei FRI – insbesondere bei geschlossenen Frakturen, kurzem Infektionsverlauf und fehlenden Risikofaktoren – die Wahrscheinlichkeit einer polymikrobiellen Infektion gering ist, erscheint es vertretbar, die kalkulierte Therapie frühzeitig anzupassen, sobald ein Erreger in mehreren Proben konsistent nachgewiesen wurde (Metsemakers et al., 2020). Ein Abwarten auf den vollständigen Abschluss aller Kulturen (z. B. 10–14 Tage) ist in diesen Fällen nicht zwingend erforderlich.

Bei 20 - 30 % aller FRI handelt es sich jedoch um polymikrobielle Infektionen mit Nachweis von zwei oder mehr Erregern. Polymikrobielle Infektionen haben ein erhöhtes Risiko für ein Therapieversagen, insbesondere wenn gramnegative Erreger beteiligt sind (Benson et al., 2025; Horton et al., 2021). In Fällen mit bekannter oder vermuteter polymikrobieller Ätiologie (z. B. offene Frakturen, chronische Infektionen, vorbestehende Revisionseingriffe, nekrotisches Weichteilgewebe) ist daher eine differenzierte Bewertung notwendig (Depypere et al., 2022; Thompson & Qureshi, 2024). Aufgrund von den Limitierungen im Hinblick auf die sichere Identifikation aller in einer Probe enthaltenen Erreger ist hier generell und auch unabhängig von tatsächlichen Erregernachweisen der Einsatz einer kalkulierten Therapie, welche neben aeroben auch anaerobe Erreger erfassen sollte, zielführend. In diesen Fällen sichern interdisziplinäre Fallkonferenzen die Festlegung der optimalen Therapie. Der tatsächliche klinische Nutzen breiter antiinfektiver Therapien im Hinblick auf das Patientenoutcome sind jedoch bisher nicht wissenschaftlich untersucht worden.

3.4.6 Einsatz von Rifampicin bei implantaterhaltendem Vorgehen

Empfehlung 43	Neu - Stand (2026)
Bei staphylokokkenbedingter FRI mit belassenem, stabilem Implantat nach adäquatem chirurgischem Debridement (DAIR) kann eine Kombinationstherapie mit Rifampicin in Erwägung gezogen werden, sofern der Erreger Rifampicin-sensibel ist, ausreichende Weichteildeckung besteht und keine relevante Wundsekretion vorliegt. Eine Kombination mit Rifampicin sollte nicht als Standard eingesetzt werden. Nicht empfohlen ist Rifampicin bei nicht-staphylokokkenbedingten Infektionen, bei Rifampicin-Resistenz, ausgeprägten Arzneimittelinteraktionen oder Kontraindikationen (z. B. relevante Lebererkrankung).	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die vorliegende Evidenz zur Kombinationstherapie von Rifampicin basiert auf systematischen Übersichtsarbeiten, Metaanalysen und einzelnen randomisierten kontrollierten Studien (RCTs) zu periprotetischen Gelenkinfektionen mit belassenen Implantaten nach chirurgischem Debridement (DAIR). Es liegen keine Studien vor, die den Sachverhalt direkt bei frakturassoziierten Infektionen nach Osteosynthese untersuchen. Die Übertragbarkeit auf frakturassoziierte Infektionen ist zum Teil indirekt, da ein signifikanter Anteil der Daten aus Studien zu periprotetischen Gelenkinfektionen stammt.

Die biofilmbildenden Eigenschaften von Staphylokokken stellen eine therapeutische Herausforderung bei frakturassoziierten Infektionen dar. Rifampicin weist eine hohe Effektivität gegen sessile (biofilmbundene) Staphylokokken auf und zeigt in Kombination mit anderen Antibiotika synergistische Effekte. Die Kombinationstherapie mit Rifampicin wird bei belassenem Implantat bei periprotetischen Infektionen (PJI) oft empfohlen, insbesondere wenn eine Infektion durch *Staphylococcus aureus* oder koagulasenegative Staphylokokken gesichert wurde (IDSA-Leitlinie/A WikiGuidelines Group Consensus Statement (Spellberg et al., 2022)).

Eine häufig angeführte Begründung für die Zugabe von Rifampicin ist eine prospektive randomisierte Studie zu frühzeitiger MSSA-PJI, die von Zimmerli durchgeführt und 1998 veröffentlicht wurde. Hierbei handelte es sich um eine prospektive, randomisierte Doppelblindstudie mit vergleichsweise kleiner Fallzahl (n=24). Insgesamt wurden 18 Patienten der Gruppe, die mit Ciprofloxacin und Rifampicin behandelt wurden, und 15 Patienten der Placebo-Gruppe zugewiesen. Es schlossen 24 Patienten die Studie mit einer Nachbeobachtungszeit von 35 und 33 Monaten vollständig ab. Die Heilungsrate in der

Gruppe, die mit Ciprofloxacin und Rifampicin behandelt wurde, lag bei 12 von 12 Patienten, während sie in der Placebo-Gruppe mit 7 von 12 Patienten geringer war ($P = 0,02$). Neun von 33 Patienten brachen die Studie aufgrund von unerwünschten Ereignissen ($n = 6$), Nichtbefolgung der Therapie ($n = 1$) oder Protokollverletzungen ($n = 2$) ab.

Eine neuere randomisierte kontrollierte Studie mit 99 Patienten, die sich einer Hüft- oder Kniearthroplastik unterzogen haben, wurde von Karlsen et al. (2020) publiziert. Die Patienten wurden randomisiert und erhielten zusätzlich zur Standard-Antibiotikatherapie mit Cloxacillin oder Vancomycin (Methicillin-Resistenz) entweder Rifampicin oder kein Rifampicin. Der primäre Endpunkt der Studie wurde definiert als das Ausbleiben von Infektionszeichen nach einer zweijährigen Nachbeobachtungsphase. Es wurde festgestellt, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Remissionsrate zwischen der Rifampicin-Kombinationsgruppe (17 von 23 (74 %)) und der Monotherapiegruppe (18 von 25 (72 %)), relatives Risiko 1,03, 95 %-Konfidenzintervall 0,73 bis 1,45, $p = 0,88$) gab.

In einer neueren Metaanalyse von Scheper et al. (2021) zu staphylokokkenbedingten Hüft- und/oder Knie-PJI nach DAIR mit Schwerpunkt auf der Rolle von Rifampicin wurden Studien berücksichtigt, die bis zum 2. September 2020 publiziert wurden. Das gepoolte Risikoverhältnis für die Wirksamkeit von Rifampicin betrug 1,10 (95-prozentiges Konfidenzintervall: 1,00–1,22). Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass das Ergebnis einer staphylokokkalen PJI nach DAIR maßgeblich von der Art des Gelenks sowie der Art des verursachenden Mikroorganismus abhängt. Die Verwendung von Rifampicin war mit einer 10-prozentigen Erhöhung der Erfolgsrate assoziiert, jedoch wiesen die Studien laut den Autoren Störfaktoren, Publikationsbias und Selektionsbias auf, die die Ergebnisse beeinträchtigten. Die Evidenz für eine Kombinationstherapie mit Rifampicin sei begrenzt und möglicherweise auf Knie-PJI beschränkt. Die Metaanalyse ließe den Schluss zu, dass Rifampicin möglicherweise nur einen geringen Beitrag zur Verhinderung von Behandlungsversagen leistet.

Demgegenüber steht eine weitere Metaanalyse aus dem Jahr 2020 von Aydin et al. (2021). Die Autoren führten eine Meta-Analyse mit Zufallseffekten unter Verwendung frequenztheoretischer und bayesischer Ansätze durch. Insgesamt wurden 13 Studien, allesamt Beobachtungsstudien, in die endgültige Analyse einbezogen. Die Anwendung bayesianischer Random-Effects-Modelle resultierte in der Ermittlung einer a-posteriori-Wahrscheinlichkeitsdichte, die eine Rifampicin-Supplementierung bei Staphylococcus-Infektionen in zukünftigen Studien als nicht indiziert erscheinen lässt (μ , 0,074; τ , 0,570; 89 % HPD, $[-0,48; 0,54]$). Die verfügbaren Erkenntnisse ließen keine Empfehlung für eine Rifampicin-begleitete Therapie bei Staphylokokkeninfektionen zu.

In einer weiteren Metaanalyse von Cortés-Penfield aus dem Jahr 2022 wurde bei der Untersuchung von acht Studien festgestellt, dass eine klinische Heilung bei Patienten, die mit einer Fluorchinolon(FQ)-Rifampicin(Rif)-Therapie behandelt wurden, wahrscheinlicher war als bei allen anderen Therapien (Odds Ratio [OR], 2,68; 95 % KI, 1,43–5,02; P = 0,002; I2 = 62 %). Die Wahrscheinlichkeit einer Heilung war signifikant höher, wenn Patienten, die mit FQ-Rif behandelt wurden, mit Patienten verglichen wurden, die nicht-Fluorchinolon-haltige Rifampicin-Therapien erhielten (OR, 2,99; 95 % KI, 1,29–6,96; P = 0,01; I2 = 71 %). Ebenso zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei der Behandlung mit FQ-Rif im Vergleich zu Therapien ohne Rifampicin (OR, 3,04; 95 % KI, 1,99–3,04; P < 0,001; I2 = 6 %). Bei Patienten, die kein Fluorchinolon erhielten, war die Verwendung von Rifampicin nicht mit einer Heilung assoziiert (OR, 1,22; 95 % KI, 0,79–1,88).

In der jüngsten Metaanalyse aus dem Jahr 2023 von Yusuf et al. wurden 14 Studien bis Juni 2022 berücksichtigt, um die klinischen Resultate einer Rifampicin-Kombinationstherapie im Vergleich zur Monotherapie bei der Behandlung von durch Staphylokokken und Streptokokken verursachten PJI (oder PVE) zu evaluieren. Es konnte mit moderater Qualität der Evidenz ein Effekt zugunsten von Rifampicin bei Patienten mit einer staphylokokkenbedingten PJI nach DAIR festgestellt werden [Odds Ratio = 2,49, 95 %-Konfidenzintervall (KI) 1,93–3,23]. Wurden nur die beiden inkludierten RCTs untersucht, zeigte die Zugabe von Rifampicin keinen statistisch signifikanten Einfluss (Risikoquotient = 1,27, 95 % KI 0,79–2,04; n = 126).

3.4.7 Dauer der Antibiotikatherapie

Empfehlung 44	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten, bei denen eine endgültige Entfernung des Osteosynthesematerials nicht möglich ist, (jedoch entweder ein ein- oder ein mehrzeitiger Wechsel des implantierten Fremdmaterials erfolgen kann) soll eine Dauer der Antibiotikatherapie von insgesamt 12 Wochen erfolgen. Eine Verlängerung über 12 Wochen hinaus wird nicht empfohlen , da sie mit einer erhöhten Rate an Nebenwirkungen einhergeht, ohne dass ein zusätzlicher Nutzen für das Behandlungsergebnis nachgewiesen wäre.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Bei der Behandlung frakturassoziierter Infektionen (FRI) mit verbliebenem oder zu wechselndem Osteosynthesematerial wird die Dauer der antibiotischen Therapie abhängig von der Frakturstabilität,

des nachgewiesenen Erregers, des chirurgischen Vorgehens sowie unter Berücksichtigung einer möglichen bakteriellen Biofilmbildung festgelegt (Depypere et al., 2020). Mikrobielle Biofilmbildung ist deshalb bedeutsam, da sich durch Ausprägung dieses spezifischen Phänotyps die Empfindlichkeit von Erregern erheblich ändern kann. Dies macht eine deutliche Verlängerung der Therapiedauer notwendig (Ciofu et al., 2022). Biofilm-assoziierte Veränderungen der Empfindlichkeit können derzeit nicht durch standardisierte Laborverfahren im Rahmen diagnostischer Untersuchungen klinisch nutzbar dargestellt werden. Dementsprechend ist eine auf einer mikrobiologischen Charakterisierung eines Infektionserregers basierende, individualisierte Planung der Therapiedauer nicht möglich. Die Festlegung der Therapiedauer erfolgt daher in der Regel auf Grundlage empirischer Daten.

Ist eine Fraktur zum Zeitpunkt der Infektion konsolidiert, wird die Entfernung des Osteosynthesematerials empfohlen (Rupp et al., 2024). Die anschließende antibiotische Therapie orientiert sich in diesem Fall an der Behandlung der chronischen Osteomyelitis (siehe Empfehlung 31). Wenn die Fraktur zum Zeitpunkt der Infektion nicht verheilt ist, erfolgt ein einzeitiger Wechsel des Osteosynthesematerials. Als Alternative gilt ein zweizeitiges Vorgehen (Entfernung des Implantats, temporäre Stabilisierung, spätere Re-Osteosynthese). Diese chirurgischen Vorgehensweisen sind in mikrobiologischer und chirurgischer Hinsicht mit der einzeitigen und zweizeitigen Wechselstrategie bei periprotetischen Gelenkinfektionen (PJI) vergleichbar. Aus diesem Grund und aufgrund fehlender solider wissenschaftlicher Daten aus dem Umfeld der FRI werden die Empfehlungen zur Therapiedauer bei FRI aus den Erkenntnissen der PJI-Therapie abgeleitet.

Eine kürzlich publizierte systematische Meta-Analyse der Therapiedauer bei PJI (Olearo et al., 2023) zeigte, dass auf Basis der verfügbaren Literatur keine abschließende Bewertung darüber möglich ist, ob kürzere Therapiedauern klinisch ähnlich effektiv sind wie eine Therapie über 12 Wochen. Eine viel beachtete, randomisiert-kontrollierte Studie bei PJI ermittelte eine Infektionsrate von 18,1 % (35 von 193 Patienten) in der 6-Wochen-Gruppe gegenüber 9,4 % (18 von 191 Patienten) in der 12-Wochen-Gruppe (Risikodifferenz: 8,7 Prozentpunkte; 95 % Konfidenz- Intervall: 1.8-15.6), die somit eine Nicht-Unterlegenheit der 6-Wochen-Therapie nicht zeigen konnte (Bernard et al., 2021).

Hieraus und unter Berücksichtigung internationaler Empfehlungen (Depypere et al., 2020; Metsemakers et al., 2020; Rupp et al., 2024) ergibt sich, dass nach derzeitigem Stand FRI nach Wechsel einliegender Fremdmaterials über 12 Wochen anti-infektiv behandelt wird. In einer monozentrischen, vergleichenden Studie konnte kürzlich festgestellt werden, dass bei FRI eine Verlängerung der Therapiedauer über sechs Wochen hinaus zu keiner Reduktion des Rezidivrisikos beiträgt (de Oliveira Campos et al., 2024). Diese Daten deuten darauf hin, dass in Einzelfällen verkürzte Therapiedauern (z. B. 6 Wochen) ausreichend sein könnten (in Abhängigkeit vom nachgewiesenen Erreger, dem klinischen

Verlauf und der Art des Osteosynthesematerials). Eine Verlängerung über zwölf Wochen hinaus ist aufgrund der erhöhten Rate an therapieassoziierten Nebenwirkungen ohne nachgewiesenen Nutzen im klinischen Outcome nicht erforderlich (Asim et al., 2024; de Oliveira Campos et al., 2024).

3.4.8 Antibiotische Suppressionstherapie

Empfehlung 45	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten mit FRI, bei denen das Osteosynthesematerial nicht entfernt werden kann gilt: Solange eine Entfernung des Osteosynthesematerials nicht möglich ist, sollte die SAT fortgeführt werden. Sobald die Frakturheilung erreicht ist und das Implantat entfernt werden kann, sollte die SAT dann noch 2 Wochen weitergeführt werden. Generell sollte , wenn möglich, ein chirurgisches Debridement vor Einleitung der SAT erfolgen, um hierdurch die Keimzahl zu reduzieren und die SAT dadurch eventuell effizienter zu gestalten	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Aufgrund limitierter Verfügbarkeit klarer wissenschaftlicher Evidenz ist eine abschließende Beantwortung dieser Frage nicht möglich. Nach derzeitigem Stand des Wissens, welcher sich vor allem auf die Situation bei der Behandlung einer PJI bezieht, ist eine antibiotische Suppressionstherapie (SAT) bei FRI in der Lage, die klinischen Symptome einer FRI zu behandeln und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens Infektionsbedingter Komplikationen zu verzögern. Die Auswahl des Antibiotikums richtet sich nach dem kausalen Pathogen und in Anlehnung an internationale Empfehlungen geeigneter oral bioverfügbarer Substanzen.

Die Auswahl des Antibiotikums richtet sich nach dem kausalen Pathogen und in Anlehnung an internationale Empfehlungen geeigneter oral bioverfügbarer Substanzen (Depypere et al., 2020). Generell ist, wenn möglich, ein chirurgisches Debridement vor Einleitung der SAT vorteilhaft, da hierdurch die Keimanzahl reduziert und die SAT dadurch eventuell effektiver ist.

Die SAT zielt im Kontext von Fremdmaterial-assoziierten Infektionen darauf ab, bei Patienten, die primär keine kurativen Therapieoptionen erhalten können, das Auftreten infektionsbedingter schwerwiegender Komplikationen zu verhindern oder zu verzögern. Eine SAT kann genutzt werden, um Zeiträume bis zu einer möglichen kurativen Behandlung zu überbrücken. Andererseits ist es denkbar, dass

bei fehlenden kurativen Optionen eine zeitlich nicht begrenzte Gabe von Antiinfektiva erfolgt (Cobo & Escudero-Sanchez, 2021).

Das SAT Konzept ist in der Behandlung von periprothetischen Infektionen (PJI) etabliert und wird auch im Rahmen von FRI eingesetzt. Bei der Bewertung der nur begrenzt verfügbaren Literatur und wissenschaftlichen Evidenz ist darauf zu verweisen, dass es zum Teil erhebliche Unterschiede in der Definition einer SAT gibt (Cortes-Penfield et al., 2024; Escudero-Sanchez et al., 2020). Zum anderen basieren Untersuchungen zur klinischen Effektivität einer SAT häufig auf retrospektiven Untersuchungen kleinerer Fallserien, in welche vor allem Patienten mit periprothetischen Infektionen und nur in kleinerer Zahl Patienten mit FRI eingeschlossen wurden (Hanssen et al., 2024).

Verschiedene klinische Szenarien können es im Rahmen der Behandlung notwendig machen, eine SAT als antiinfektive Behandlungsstrategie einer FRI zu wählen (Depypere et al., 2020). Ein entscheidendes Kriterium hierfür ist, dass im Rahmen der Versorgung eine Entfernung des infizierten Materials nicht möglich ist und sich daraus ein hohes Rezidivrisiko ergibt (Buijs et al., 2022). Auch die Form der Infektion (Frühinfekt versus Spätinfektionen) sowie die Art des kausalen Pathogens können die Entscheidung für eine SAT beeinflussen (Depypere et al., 2020).

Erkenntnisse aus der Versorgung von PJI-Patienten deuten darauf hin, dass eine SAT klinisch wirksam sein kann. So zeigte eine Kohortenstudie an PJI Patienten, bei welchen das Implantat erhalten und eine SAT durchgeführt wurde, dass die Misserfolgsrate (Wiederauftreten der Infektion oder Notwendigkeit einer chirurgischen Revision) bei Patienten, die die Antibiotikabehandlung abbrachen, viermal höher war (Prendki et al., 2017). Bei Zugrundelegung unterschiedlicher Definitionen für klinische Effektivität liegt die Erfolgsrate für SAT bei PJI-Patienten zwischen 23 und 84 % (Cobo & Escudero-Sanchez, 2021). Die limitiert verfügbare Evidenz lässt es möglich erscheinen, dass die SAT bei FRI ähnliche klinische Erfolgsraten aufweist (Hanssen et al., 2024; Tsang et al., 2024). Die SAT wird mindestens bis zur Entfernung des Osteosynthesematerials oder 2 Wochen danach durchgeführt (Depypere et al., 2020; Metsemakers et al., 2020; Rupp et al., 2024). Ist dies nicht möglich, wird über die Dauer individuell entschieden.

4 Nach-/ Weiterbehandlung

4.1 Rehabilitation

4.1.1 Rehabilitation nach frakturassoziierter Infektion

Empfehlung 46	Neu - Stand (2026)
Generell zeigen individualisierte Rehabilitationsmaßnahmen ein besseres funktionelles und psychosoziales Outcome bei unfallchirurgischen Patienten. Hierdurch können eine schnellere Wiederherstellung, höhere Patientenzufriedenheit und eine höhere Rückkehrquote in den Beruf nachgewiesen werden und sollten daher auch bei Patienten nach FRI in das Gesamtkonzept der FRI-Behandlung aufgenommen werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Grundsätzlich besteht bei Patienten mit stattgehabten Frakturen im Bereich des Bewegungsapparates erhebliche individuelle Ausgangsbedingungen. Da ein standardisiertes Programm diesen Unterschieden nicht immer gerecht werden kann, ist die individuelle Therapie mit Fokus auf Schwächen, Defizite oder Ängste notwendig.

Die Evidenz zeigt konsistent, dass individualisierte Rehabilitationsmaßnahmen zu einem besseren funktionellen und psychosozialen Outcome führen (Bethge et al., 2014; Oestergaard et al., 2020; Rückert et al., 2020).

Insbesondere bei orthopädischen und arbeitsbezogenen Reha-Programmen konnten eine schnellere Wiederherstellung, höhere Patientenzufriedenheit und eine höhere Rückkehrquote in den Beruf nachgewiesen werden (Rückert et al., 2020).

Die Integration sozialer und beruflicher Kontextfaktoren reduziert zudem das Risiko von Rehabilitationsabbrüchen und erneuten Hospitalisierungen (Krauss et al., 2021).

Auch bei Infektionen in Bezug auf die Behandlung dieser Patienten konnte dies ebenfalls nachgewiesen werden. So zeigte Heimann et al., dass die Mobilität in dieser Gruppe signifikant besser als in der Standardgruppe war (Heimann et al., 2022).

Die Individualisierung von Rehabilitationsmaßnahmen ist medizinisch sinnvoll, wissenschaftlich belegt und wirtschaftlich langfristig vorteilhaft. Besonders bei komplizierten Verläufen wie Infektionen nach

operativer Frakturversorgung trägt die individuelle Anpassung wesentlich zu einem besseren funktionellen und psychosozialen Rehabilitationsverlauf bei.

4.2 Kontrollen

4.2.1 Notwendigkeit zur fachärztlichen Nach- und Weiterbehandlung

Empfehlung 47	Neu - Stand (2026)
Die fachärztliche Nachsorge von Patienten mit FRI ist grundsätzlich ein essenzieller Bestandteil der häufig komplexen Behandlungskonzepte. Die strukturierte fachärztliche Weiterbehandlung an einem spezialisierten Zentrum sollte somit erst mit dokumentierter knöcherner Konsolidierung sowie stabilem infektionsfreiem Verlauf für mindestens ein Jahr nach Beendigung der antibiotischen Therapie verlassen werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die regelmäßige fachärztliche Weiterbehandlung bis zur vollständigen knöchernen Konsolidierung stellt einen zentralen Bestandteil der Therapie bei FRI dar. Ziel der Nachsorge ist es, die knöcherne Heilung sicher zu dokumentieren, Infektionsrezidive frühzeitig zu erkennen und mögliche Komplikationen wie Pseudarthrosen, Implantatlockerungen oder systemische Nebenwirkungen der Antibiotikatherapie rechtzeitig zu behandeln.

Internationale Konsensusmeinungen empfehlen eine strukturierte, multidisziplinäre Nachsorge über mindestens zwölf Monate nach Abschluss der operativen und antibiotischen Therapie, idealerweise in einem spezialisierten Zentrum (Alt et al., 2024; Depypere et al., 2020; Metsemakers et al., 2018). Die Nachsorge wird bis zum Nachweis der vollständigen Frakturkonsolidierung fortgeführt.

Die Relevanz dieser Empfehlung wird durch aktuelle Studien untermauert. So zeigt eine multizentrische Kohortenstudie von Buijs et al. (2022), dass nach Behandlung früher FRI mittels DAIR-Verfahren die Rezidivrate nach einem Jahr bei 13 % lag – bei längerer Nachbeobachtung sogar bei 18 %. Besonders risikobehaftet waren Patienten mit Marknagelosteosynthese oder multiplen Revisionsoperationen während der Ersttherapie (Buijs et al., 2022). Zudem benötigte mehr als die Hälfte der Patienten zwei oder mehr Eingriffe zur Infektionskontrolle (Buijs et al., 2022). Diese Ergebnisse zeigen, dass auch nach vermeintlich erfolgreicher Erstbehandlung ein relevantes Risiko für späte Infektionsrezidive besteht – insbesondere bei komplexen Verläufen. Ohne strukturierte fachärztliche Nachsorge könnten

solche Rückfälle übersehen oder erst bei fortgeschrittener Symptomatik erkannt werden. Studien, welche die Nachsorge bei FRI hinsichtlich der fach- oder hausärztlichen Nachsorge vergleichend untersuchen, stehen gegenwärtig nicht zur Verfügung. In einer Arbeit konnte jedoch gezeigt werden, dass die Behandlung und Nachsorge von FRI-Patienten im Rahmen eines interdisziplinären Behandlungsteams zu signifikant weniger Revisionen und Amputationen führte (Rupp et al., 2023).

Eine regelmäßige fachärztliche Nachsorge in Zusammenarbeit mit der hausärztlichen Grundversorgung ermöglicht eine kontrollierte Surveillance der prolongierten antibiotischen Therapie sowie eine frühzeitige Intervention bei ausbleibender Konsolidierung oder Infektionsrezidiven. Die Entlassung aus der spezialärztlichen Betreuung erfolgt daher ausschließlich nach dokumentierter Frakturkonsolidierung und stabilem infektionsfreiem Verlauf.

4.2.2 Erfassung funktioneller Behandlungsergebnisse

Empfehlung 48	Neu - Stand (2026)
Die kombinierte Erhebung patientenbezogener Outcome-Maße (PROMs) und klinischer Parameter sollte erwogen werden, um eine umfassendere und patientenzentrierte Beurteilung des Therapieerfolgs nach Frakturversorgung zu ermöglichen.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Die Erhebung patientenbezogener Behandlungsparameter (PROMs) neben klinischen Parametern ermöglicht eine umfassende Beurteilung des Therapieerfolgs. Dabei sind PROMs deutlich mehr geeignet, die subjektiven Kriterien der Pateinten zu erfassen. Eine vergleichende Untersuchung zwischen der Überlegenheit von PROMs vs. klinische Verlaufsparemeter ist allerdings nicht verfügbar.

In der Literatur werden der Lower Extremity Functional Scale (LEFS), der 36-Item Short-Form Health Survey, sowie der für die untere Extremität spezifische Erhebungsbogen LIMB-Q verwendet und sind validiert (Egeler et al., 2018; Lava et al., 2024; Wang et al., 2021). Eine komparative Analyse von klinischen Parametern und PROMs existiert nicht für die untere Extremität, um Vorteile bzw. eine lineare Korrelation zu zeigen. Es wurde allerdings gezeigt, dass grundsätzlich die Ergebnisse zur mikrochirurgischen Rekonstruktion der unteren Extremität ein „underreporting“ wesentlicher klinischer als auch patientenbezogener Parameter haben, die die Vergleichbarkeit der Ergebnisse reduzieren (Xiong et al., 2016).

PROMs sind zunehmend in die Ergebnisauswertung der Extremitätenrekonstruktion integriert, aber die Vorteile gegenüber rein klinischen Parametern sind bisher nur anzunehmen, nicht bewiesen.

Es fehlen größere, prospektive Studien, die die Überlegenheit oder spezifische additive Wirkung von PROMs im Vergleich zu rein klinischen Parametern bei Extremitätenfrakturen systematisch und kausal belegen. Trotz dieser Evidenzlücke ergänzen PROMs die klinischen Parameter um eine wesentliche Dimension: Neben funktionellen Aspekten erfassen sie Faktoren wie Lebensqualität, psychische Belastung, soziale Integration und subjektives Wohlbefinden (Houwen et al., 2022). Die kombinierte Erhebung von PROMs und klinischen Parametern stellt nach aktuellem Kenntnisstand die bestmögliche Vorgehensweise zur umfassenden Beurteilung des Therapieerfolgs bei Patienten nach Frakturversorgung dar. Dies ermöglicht eine multidimensionale Sicht auf den Behandlungsverlauf und unterstützt eine patientenzentrierte Versorgung (Houwen et al., 2024; Schmidt et al., 2024; Warmerdam et al., 2025). Durch standardisierte Erhebungszeitpunkte und die Nutzung validierter Instrumente können PROMs nicht nur als Ergebnismaß, sondern auch als Frühindikator für postoperative Komplikationen, funktionelle Einschränkungen oder Rehabilitationsbedarf dienen. Insbesondere in der Nachsorge nach komplexen Frakturversorgungen oder rekonstruktiven Eingriffen können PROMs dabei helfen, funktionelle Defizite frühzeitig zu erkennen, den Rehabilitationsverlauf gezielter zu steuern und das subjektive Erleben der Patienten systematisch einzubeziehen. So können PROMs die klinische Entscheidungsfindung fördern und stärken ein patientenzentriertes Vorgehen im Sinne des *Shared Decision Making*. Voraussetzung dafür ist jedoch eine strukturierte Implementierung in bestehende Behandlungs- und Dokumentationspfade sowie eine enge Verzahnung mit klinischen Parametern, um PROMs nicht isoliert, sondern als ergänzende Datenquelle im Behandlungsteam zu nutzen. Mit der zunehmenden Digitalisierung und der Implementierung KI-gestützter PROM-Systeme wird zudem die standardisierte, häufige und niedrigschwellige Erhebung patientenbezogener Daten erleichtert, was die Versorgungsqualität perspektivisch weiter verbessern kann (Terheyden et al., 2025).

4.3 Implantatentfernung

4.3.1 Implantatentfernung nach abgeschlossener Heilung

Empfehlung 49	Neu - Stand (2026)
Bei Patienten nach ausgeheilter FRI und konsolidierter Fraktur kann ein Entfernen des Implantats aufgrund der derzeit begrenzten Evidenzlage nicht pauschal empfohlen werden. Die Entscheidung sollte unter Berücksichtigung des Weichteilstatus, des Infektionsverlaufs sowie möglicher Komplikationen der Entfernung individuell getroffen werden. Insbesondere bei stabiler Frakturheilung, günstigen Weichteilverhältnissen und jüngeren Patienten kann der Nutzen einer Materialentfernung überwiegen. In Einzelfällen, etwa bei kritisch voroperierten oder vorhandenen Lappenplastiken kann ein Implantatverbleib vorzugswürdig sein.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Nach erfolgreicher Therapie einer FRI und radiologisch gesicherter Frakturkonsolidierung stellt sich regelmäßig die Frage nach der Entfernung des verbliebenen Osteosynthesematerials. Auch in Abwesenheit klinischer Infektionszeichen bleibt das Risiko für späte Infektionsrezidive bestehen, da eine vollständige Elimination biofilmbesiedelter Implantate als wesentlicher Bestandteil der Infektionssanierung gilt. Mehrere retrospektive Arbeiten, darunter Berkes et al. (2010) und Rightmire et al. (2008), zeigen erhöhte Rezidivraten bei belassenem Material – insbesondere bei Marknagelosteosynthesen. Diese Daten beziehen sich allerdings auf den Implantatverbleib im Rahmen der Infektionssanierung (Berkes et al., 2010; Rightmire et al., 2008).

Gleichzeitig liegen bislang keine randomisiert-kontrollierten Studien oder Kohortenanalysen vor, die einen direkten Vergleich zwischen elektiver Entfernung und Materialverbleib nach ausgeheilter FRI anstellen. Die derzeitige Evidenzlage stützt sich auf indirekte Daten, pathophysiologische Prinzipien (Biofilmpersistenz) und Expertenkonsensus, weshalb keine generelle Empfehlung zur routinemäßigen Implantatentfernung ausgesprochen werden kann (Metsemakers et al., 2020). Bei der Entscheidungsfindung ist unter anderem das Komplikationsrisiko bei elektiver Implantatentfernung zu berücksichtigen. In der prospektiven Studie von Sanders et al. (2019) wurden bei 17 % der Patienten postoperative Wundkomplikationen (v. a. oberflächliche Infektionen) dokumentiert (Metsemakers et al., 2020). In einer weiteren Arbeit von Gupta et al. (2024) lagen die Raten für Komplikationen bei ca. 6 % (Gupta et al., 2024). Beide Arbeiten zeigten jedoch, dass schwerwiegende Komplikationen wie Refrakturen, tiefe

Infektionen oder persistierende Schmerzen selten (< 1 %) auftraten (Gupta et al., 2024; Sanders et al., 2019).

Auch der Weichteilstatus ist Teil der Indikationsstellung. Bei kritisch voroperierten oder mit Lappenplastik versorgten Weichteilverhältnissen, erscheint ein Belassen des Implantats vorteilhaft. Insbesondere bei jungen, gesunden Patienten mit guter Knochen- und Weichteilsituation – überwiegt in der Regel der langfristige Nutzen einer Materialentfernung.

4.4 Spätkomplikationen

4.4.1 Patienten mit Gelenkverschleiss nach frakturassoziierter Infektion

Empfehlung 50	Neu - Stand (2026)
Patienten mit posttraumatischem bzw. postinfektiösem Gelenkverschleiß nach FRI sollen unbedingt spezifisch über ihr erhöhtes Risiko für periprotektische Infektionen aufgeklärt werden. Die Aufklärung sollte multimodal erfolgen (u.a. schriftlich, Video, persönliche Beratung), um Patientenwissen, Prävention und Risikomanagement zu verbessern. Besonders für diese Hochrisikogruppe ist eine strukturierte Information medizinisch sinnvoll, wissenschaftlich belegt und klinisch relevant für den Behandlungserfolg.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Eine gezielte Patientenaufklärung verbessert nachweislich das Wissen, die Risikowahrnehmung und das präventive Verhalten. In einer systematischen Übersichtsarbeit konnten Hammoud et al. zeigen, dass lediglich 5–35 % der Patienten überhaupt Informationen zu Infektionsrisiken erhalten – ein klares Defizit, das die Notwendigkeit einer strukturierten Aufklärung unterstreicht (Hammoud et al., 2020).

Randomisierte Studien zeigen, dass bereits kurze Video-Interventionen das Patientenwissen und die Zufriedenheit signifikant steigern können. So berichteten Wasim et al., dass Patienten nach TKA durch den Einsatz eines zusätzlichen edukativen Videos signifikant bessere Wissensscores (8,7 vs. 7,7 Punkte) und eine höhere Zufriedenheit (9,0 vs. 8,4/10) erreichten (Wasim et al., 2024).

Auch Studien zur Qualität der Einwilligungsaufklärung verdeutlichen die Relevanz ergänzender Materialien: Johnson et al. (2011) fanden zwar keinen signifikanten Wissensunterschied zwischen standardisierter Aufklärung, Video- und zusätzlicher Pflegekraftberatung, jedoch war die Zufriedenheit in allen

Gruppen hoch (Johnson et al., 2011). Khattak et al. (2014) zeigten in der Handchirurgie, dass schriftliches Informationsmaterial das Erinnern an Operationsrisiken zwar nicht messbar verbesserte, aber von den Patienten klar bevorzugt wurde (Khan et al., 2014).

Besonders relevant für die untersuchte Patientengruppe sind Daten von Chalmers et al. (2019). In dieser retrospektiven matched cohort study (Mayo Clinic, 95 Patienten mit 102 TKAs vs. 306 gematchte Kontrollen) zeigte sich, dass Patienten mit vorangegangener PJI ein dreifach erhöhtes Risiko für eine erneute PJI nach primärem Kniegelenkersatz haben (10-Jahres-Inzidenz 6,1 % vs. 2,6 %; HR 3,3; $p=0.02$). Besonders hoch war das Risiko bei Patienten unter chronischer Antibiotikatherapie (HR 15; $p=0.002$). Die Infektionen waren meist durch neue Erreger verursacht.

4.4.2 Berücksichtigung maligner und anderer Knochenerkrankungen bei chronischer Infektion

Empfehlung 51	Neu - Stand (2026)
Es sollen routinemässig, insbesondere bei klinisch und radiologisch unklaren Befunden, auch anderweitige knöcherne Läsionen (inkl. potentiell maligner) mittels intraoperativ aus dem Zentrum der Läsion – einschließlich der Fistelgänge – entnommenen Gewebeproben histopathologisch aufgearbeitet werden.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Bereits vor mehr als 20 Jahren konnte das Auftreten von Sarkomen in der Umgebung von metallischen Knochenimplantaten generell gezeigt werden (Keel et al., 2001).

Die Kernaufgabe der Histopathologie besteht neben der eigentlichen Infektionsdiagnostik auch im Malignitäts-Ausschluss, sowie in der histopathologischen Typisierung von sogenannten primären ossären Erkrankungen, die ebenfalls als Differentialdiagnose in Betracht kommen können. Diese beinhalten: Primär metabolische, immunologische und auch seltene infektiöse Erkrankungen (Tiemann et al., 2011; Blümke et al., 2024).

Gerade beim Vorliegen von chronischen Fistelgängen und insbesondere dann, wenn diese mehr als 3 Jahre bestehen, ist der Ausschluss eines Plattenepithelkarzinoms und eine komplette histopathologische Untersuchung des Fistelgang notwendig (Corrigan et al., 2022).

Aus chirurgischer Sicht liegt daher die Untersuchungsanforderung an die Pathologie der intraoperativ entnommenen Gewebeproben und eines eventuellen Fistelgangs nicht nur auf der Infektionsdiagnostik, sondern auch auf dem Ausschluss maligner Zellveränderungen.

4.4.3 Dauerfolgen bei frakturassoziierter Infektion

Empfehlung 52	Neu - Stand (2026)
Mögliche Dauer- bzw. Langzeitfolgen sollen auf jeden Fall im Rahmen einer gutachterlichen Bewertung bei Patienten nach Fraktur mit FRI berücksichtigt werden. Dies schließt vor allem Bewegungseinschränkungen, chronische Schmerzzustände oder psychische Belastungen mit ein. Aber auch mögliche Dauerfolgen von Antibiotikatherapien und das Auftreten eines Infektrezidivs sollten genauso berücksichtigt werden wie sozialmedizinische Aspekte.	
Konsensstärke	100 % (starker Konsens)

Nach wie vor stellen FRI eine schwerwiegende Komplikation in der Frakturversorgung dar. Auch wenn es im Rahmen einer adäquaten Therapie gelingt, das Infektgeschehen zu beherrschen, können nach erfolgreicher Frakturkonsolidierung Langzeitfolgen bestehen bleiben. Hierbei stehen insbesondere Bewegungseinschränkungen, chronische Schmerzzustände oder psychische Belastungen im Fokus (Metsemakers et al., 2018).

Bei einer entsprechenden Begutachtung ist die Frage zentral, ob es über die Konsolidierung der Fraktur oder durch das Infektionsgeschehen, wie auch der reinen Funktion, weitere dauerhafte Gesundheitsschäden eingetreten sind.

Neben Mobilitätsverlust und Funktionseinschränkungen aufgrund wiederholter Operationen und prolongierter Ruhigstellung kann auch die Langzeit-Antibiotikatherapie zu Langzeitfolgen führen (z. B. Nephro-/Ototoxizität). Auch kosmetische Folgen wie Lappenplastiken oder Narben nach multiplen Operationen gehören zu den Langzeitfolgen (Giannoudis et al., 2016), sowie das Risiko eines Rezidivs, auch nach jahrelanger Abwesenheit manifester klinischer Parameter.

Sozialmedizinische Aspekte sind maßgebliche Parameter bei der Begutachtung. Hier zeigen Folgezustände nach Infektion im Behandlungsgeschehen besondere Risikofaktoren, wie Einschränkung an der sozialen Teilhabe und sozialer Abstieg durch Langzeitbehandlungen oder Beschäftigungsverlust.

5 Schlüsselwörter und Key words

Schlüsselwörter:

Fraktur, Infektion, Fraktur-assoziierte Infektion, fracture-related infection, FRI, Implantat

Key words:

fracture, infection, fracture-related infection, FRI, implant

6 Literaturverzeichnis

- Aboyans V, Criqui MH, Abraham P, Allison MA, Creager MA, Diehm C, et al. Measurement and interpretation of the ankle-brachial index: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2012;126(24):2890-909.
- Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, Björck M, Brodmann M, Cohnert T, et al. 2017 ESC guidelines on the diagnosis and treatment of peripheral arterial diseases in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J*. 2018;39(9):763-816.
- Aggarwal VK, Higuera C, Deirmengian G, Parvizi J, Austin MS. Swab cultures are not as effective as tissue cultures for diagnosis of periprosthetic joint infection. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(10):3196-203.
- Agos F, Shoda C, Bransford D. Managing perioperative hyperglycemia in total hip and knee replacement surgeries. *Nurs Clin North Am*. 2014;49(3):299-308.
- Akiboye F, Rayman G. Management of hyperglycemia and diabetes in orthopedic surgery. *Curr Diab Rep*. 2017;17(2):13.
- Al-Mayahi M, Cian A, Lipsky BA, Suvà D, Müller C, Landelle C, et al. Administration of antibiotic agents before intraoperative sampling in orthopedic infections alters culture results. *J Infect*. 2015;71(5):518-25. doi:10.1016/j.jinf.2015.08.002
- Alt V, McNally M, Wouthuyzen-Bakker M, Metsemakers WJ, Marais L, Zalavras C & Morgenstern M. The FRI classification: a new classification of fracture-related infections. *Injury*. 2024;55(11):111831. doi: 10.1016/j.injury.2024.111831.
- Alt V, Rupp M, Kerschbaum M, Prantl L, Geis S. Therapiestrategien bei frakturassoziierten Infektionen mit begleitendem Weichteilschaden. *Unfallchirurgie*. 2024;127(2):103-9. doi: 10.1007/s00113-023-01403-z.
- Alt V, Rupp M, Langer M, Baumann F, Trampuz A. Can the oncology classification system be used for prosthetic joint infection? The PJI-TNM system. *Bone Joint Res*. 2020;9:79-81. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.92.BJR-2019-0134.R1>
- Antonelli B, Chen AF. Reducing the risk of infection after total joint arthroplasty: preoperative optimization. *Arthroplasty*. 2019;1(1):4.
- Asim R, Fuchs CJ, Summers NA. Evaluating the duration of antimicrobial therapy for orthopedic hardware infections. *Microbiol Spectr*. 2024;12(11):e0126924.
- Atkins BL, Athanasou N, Deeks JJ, Crook DWM, Simpson H, Peto TEA, et al. Prospective evaluation of criteria for microbiological diagnosis of prosthetic-joint infection. *J Clin Microbiol*. 1998;36:2932-9. <https://doi.org/10.1128/jcm.36.10.2932-2939.1998>
- Aydin O, Ergen P, Ozturan B, Ozkan K, Arslan F, Vahaboglu H. Rifampin-accompanied antibiotic regimens in the treatment of prosthetic joint infections: a frequentist and Bayesian meta-analysis of current evidence. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2021;40:665-71.
- Baertl S, Walter N, Engelstaedter U, Ehrenschrwender M, Hitzenbichler F, Alt V & Rupp M. et al. What Is the Most Effective Empirical Antibiotic Treatment for Early, Delayed, and Late Fracture-Related Infections? *Antibiotics*. 2022;11(3):287. doi:10.3390/ANTIBIOTICS11030287
- Baertl S, Walter N, Lang S, Hitzenbichler F, Rupp M, Alt V. et al. Antibiotic use for prophylaxis and empirical therapy of fracture-related infections in Germany: A survey of 44 hospitals. *Unfallchirurgie*. 2023;126(9):707-14. doi:10.1007/s00113-022-01200-0

- Baertl S, Rupp M, Alt V. The DAIR procedure in fracture-related infection. *Injury*. 2024;55(Suppl 6):111977. doi: 10.1016/j.injury.2024.111977.
- Baertl S, Lovasz D, Kees MG, Walter N, Schindler M, Li J, et al. Periprosthetic Joint Infection and Concomitant Sepsis: Unveiling Clinical Manifestations, Risk Factors, and Patient Outcomes. *J Arthroplasty*. 2025;40(7):1827-35. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2024.11.062>
- Ballani NS, Al-Huda FA, Khan HA, Al-Mohannadi S, Mahmood H & Al-Enezi F. The value of quantitative uptake of (99m)Tc-MDP and (99m)Tc-HMPAO white blood cells in detecting osteomyelitis in violated peripheral bones. *J nucl med technology*, 2007;35(2), 91–95. <https://doi.org/10.2967/jnmt.106.035402>
- Barlam TF, Cosgrove SE, Abbo LM, MacDougall C, Schütz AN, Septimus EJ, et al. Implementing an antibiotic stewardship program: guidelines by the Infectious Diseases Society of America and the Society for Healthcare Epidemiology of America. *Clin Infect Dis*. 2016;62(10):e51-77.
- Barnes CJ, Pietrobon R, Higgins LD. Does the pulse examination in patients with traumatic knee dislocation predict a surgical arterial injury? A meta-analysis. *J Trauma*. 2002;53(6):1109-14.
- Bee CR, Sheerin DV, Wuest TK, Fitzpatrick DC. Serum vitamin D levels in orthopaedic trauma patients living in the northwestern United States. *J Orthop Trauma*. 2013;27(5):e103-6.
- Bellova P, Knop-Hammad V, Königshausen M, Schildhauer TA, Gessman J, Bäcker H. Sonication in the diagnosis of fracture-related infections (FRI)-a retrospective study on 230 retrieved implants. *J Orthop Surg Res*. 2021;16:310. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02460-z>
- Benson EM, Rutz RW, Atkins AC, Carter KJ, Gross EG, Yeager M, et al. Risk Factors and Infection Presentation of Gram-Negative Fracture Related Infections. *J Orthop Trauma*. 2025.
- Berkes M, Obrebsky WT, Scannell B, Ellington JK, Hymes RA, Bosse Michael. Maintenance of hardware after early postoperative infection following fracture internal fixation. The Journal of Bone and Joint Surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92:823-8. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.00470>
- Bernard L, Arvieux C, Brunschweiler B, Touchais S, Ansart S, Bru JP, et al. Antibiotic Therapy for 6 or 12 Weeks for Prosthetic Joint Infection. *N Engl J Med*. 2021;384:1991-2001. doi: 10.1056/NEJMoa2020198.
- Bethge M, et al. (2014). Effects of individualized return-to-work interventions: a systematic review. *BMC Public Health*, 14(1), 1-12.
- Bezstarosti H, van Lieshout EMM, Voskamp LW, Kortram K, Obrebsky W, McNally MA, et al. Insights into treatment and outcome of fracture-related infection: a systematic literature review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2019;139(1):61-72. doi: 10.1007/s00402-018-3048-0.
- Blümke L, Renz N, Krenn V. Histopathologische Infektionsdiagnostik in der Rheumatologie. *Z Rheumatol*. 2024. doi: 10.1007/s00393-024-01592-x.
- BOAST – Fracture Related Infection Standards. British Orthopaedic Association. <https://www.boa.ac.uk/static/dee7cba7-5919-4f26-a286033fcf46a458/boast-fracture-related-infections.pdf> 2020
- Bosch P, FFA IJpma, Govaert GAM, Reininga IHF, de Vries JP, Glaudemans AWJM. White Blood Cell Scintigraphy for Fracture-Related Infection: Is Semiquantitative Analysis of Equivocal Scans Accurate? *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(12).
- Boström A, Karacagil S, Löfberg AM, Ljungman C, Nyman R, Logason K, et al. Selection of patients with lower limb arterial occlusive disease for endovascular treatment of the iliac arteries with duplex scanning. *Vasc Surg*. 2001;35(6):437-42.

- Boxma H, Broekhuizen T, Patka P, Oosting H. Randomised controlled trial of single-dose antibiotic prophylaxis in surgical treatment of closed fractures: The Dutch Trauma Trial. *Lancet*. 1996;347:1133-7.
- Buijs MAS, van den Kieboom J, Sliepen J, Wever KLH, van Breugel JM, Hietbrink F, et al. Outcome and risk factors for recurrence of early onset fracture-related infections treated with debridement, antibiotics and implant retention: Results of a large retrospective multicentre cohort study. *Injury*. 2022;53:3930-7.
- Butt WP (1973) The radiology of infection. *Clin Orthop Relat Res*:20–30
- Cao Z, Li C, He J, Qing L, Yu F, Wu P, & Tang J. Early reconstruction delivered better outcomes for severe open fracture of lower extremities: a 15-year retrospective study. *Journal of Clinical Medicine*, 2022;11(23), 7174.
- Chalmers BP, Weston JT, Osmon DR, Hanssen AD, Berry DJ, Abdel MP. Prior hip or knee prosthetic joint infection in another joint increases risk three-fold of prosthetic joint infection after primary total knee arthroplasty: a matched control study. *Bone Joint J*. 2019; 01-B:91-97. doi: 10.1302/0301-620X.101B7.BJJ-2018-1189.R1.
- Chang Y, Kennedy SA, Bhandari M, Lopes LC, Bergamaschi C de C, de Cássia C, et al. Effects of Antibiotic Prophylaxis in Patients with Open Fracture of the Extremities: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *JBJS Reviews*, 2015;3(6). <https://doi.org/10.2106/JBJS.RVW.N.00088>
- Cierny G, Mader JT, Penninck JJ. A clinical staging system for adult osteomyelitis. *Clin Orthop Relat Res*. 2003;7-24. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000088564.81746.62>
- Ciofu O, Moser C, Jensen PO, Høiby N. Tolerance and resistance of microbial biofilms. *Nat Rev Microbiol*. 2022;20(10):621-35.
- Collins R, Burch J, Cranny G, Aguiar-Ibáñez R, Craig D, Wright K, et al. Duplex ultrasonography, magnetic resonance angiography, and computed tomography angiography for diagnosis and assessment of symptomatic, lower limb peripheral arterial disease: systematic review. *BMJ*. 2007;334:1257.
- Corona PS, Pujol O, Valcárcel J, Vicente M, Lakhani K, Amat C. Preliminary outcomes of a novel metal-coated antibacterial nail in Bone Transport Over Nail (BTON) and Nail After Bone Transport (NABT) procedures in cases of segmental infected tibial bone defects. *Injury*. 2025;56(8):112520. doi: 10.1016/j.injury.2025.112520.
- Corrigan RA, Barlow G, Hartley C, McNally M. Squamous cell carcinoma complicating chronic osteomyelitis: A systematic review and case series. *Surgeon*. 2022;20(6):e322-e337. doi: 10.1016/j.surge.2021.12.003.
- Cortes-Penfield N, Krsak M, Damioli L, Henry M, Seidelman J, Hewlett A, et al. How We Approach Suppressive Antibiotic Therapy Following Debridement, Antibiotics, and Implant Retention for Prosthetic Joint Infection. *Clin Infect Dis*. 2024;78(1):188-98.
- Coughlan A, Taylor F. Classifications in Brief: The McPherson Classification of Periprosthetic Infection. *Clin Orthop Relat Res* 2020;478:903–908. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000001133>
- Cox J, Douglas L, Wemmer V, Kaminsky K. The Role of Patient Engagement in Surgical Site Infection Reduction: A Process Improvement Project. *Adv Skin Wound Care* 2023;36:599–603. <https://doi.org/10.1097/ASW.0000000000000055>
- Darouiche RO, Wall MJ, Itani KMF, Otterson MF, Webb AL, Carrick MM, et al. Chlorhexidine-Alcohol versus Povidone-Iodine for Surgical-Site Antisepsis. *N Engl J Med*. 2010;362(1):18-26.

- Davey P, Brown E, Charani E, Fenelon L, Cloud IM, Holmes A, et al. Interventions to improve antibiotic prescribing practices for hospital inpatients. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;2:CD003543. doi: 10.1002/14651858.CD003543.
- de Oliveira Campos TV, de Andrade MAP, de Oliveira EBPM, Santos FM, de Pinho Teixeira Mourao RL, Pires RE, et al. The duration of antibiotic therapy for fracture related infection does not affect recurrence but leads to increased adverse effects: a comparison among 6, 12 and 24 weeks of treatment. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2024;34(8):3995-4000.
- Dellinger E P, Miller S D, Wertz M J, Grypma M, Droppert B, & Anderson PA. Risk of infection after open fracture of the arm or leg. *Archives of Surgery* (Chicago, Ill.: 1960), 1988;123(11), 1320–1327. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1988.01400350034004>
- Depypere M, Kuehl R, Metsemakers WJ, Senneville E, McNally MA, Obremskey WT, et al. Recommendations for Systemic Antimicrobial Therapy in Fracture-Related Infection: A Consensus From an International Expert Group. *J Orthop Trauma*. 2020;34(1):30. doi:10.1097/BOT.0000000000001626
- Depypere M, Morgenstern M, Kuehl R, Senneville E, Moriarty TF, Obremskey WT, et al. Pathogenesis and management of fracture-related infection. *Clin Microbiol Infect*. 2020;26(5):572-8. doi: 10.1016/j.cmi.2019.08.006.
- Desimpel J, Posadzy M, Vanhoenacker F. The Many Faces of Osteomyelitis: A Pictorial Review. *J Belg Soc Radiol*. 2017;101(1):24.
- Deutsche Rentenversicherung. Empfehlungen zur sozialmedizinischen Begutachtung bei orthopädischen Erkrankungen. 2021
- Diagnosis and Prevention of Periprosthetic Joint Infections Evidence-Based Clinical Practice Guideline. Published online 2019. Accessed May 10, 2025. www.orthoguidelines.org
- Die British Orthopaedic Association (<https://www.boa.ac.uk/resource/boast-fracture-related-infections.html>)
- Dobaria DG, Cohen HL. Osteomyelitis Imaging. 2023 Aug 6. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–.
- DSG (Deutsche Sepsis-Gesellschaft), DGAI (Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin), DIVI (Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin et al. (2025). S3-Leitlinie: Sepsis – Prävention, Diagnose, Therapie und Nachsorge – Update 2025. Langfassung. Version: 4.0.
- Dudareva M, Barrett LK, Morgenstern M, Atkins BL, Brent AJ, McNally MA. Providing an Evidence Base for Tissue Sampling and Culture Interpretation in Suspected Fracture-Related Infection. *J Bone Joint Surg Am*. 2021;103:977-83.
- Dudareva M, Hotchen AJ, Ferguson J, Hodgson S, Scarborough M, Atkins BL, et al. The microbiology of chronic osteomyelitis: Changes over ten years. *J Infect*. 2019;79:189-98.
- Egeler SA, de Jong T, Luijsterburg AJM, Mureau MAM. Long-Term Patient-Reported Outcomes following Free Flap Lower Extremity Reconstruction for Traumatic Injuries. *Plast Reconstr Surg*. 2018;141(3):773-783. doi: 10.1097/PRS.0000000000004124.
- Escudero-Sanchez R, Senneville E, Digumber M, Soriano A, Del Toro MD, Bahamonde A, et al. Suppressive antibiotic therapy in prosthetic joint infections: a multicentre cohort study. *Clin Microbiol Infect*. 2020;26(4):499-505.
- Ferguson J, Alexander M, Bruce S, O’Connell M, Beecroft S, McNally MA. A retrospective cohort study comparing clinical outcomes and healthcare resource utilisation in patients undergoing surgery for

- osteomyelitis in England: a case for reorganising orthopaedic infection services. *J Bone Jt Infect.* 2021;6:151-63. doi: 10.5194/jbji-6-151-2021.
- Ferguson JY, Dudareva M, Riley ND, Stubby D, Atkins BL, McNally MA. The use of a biodegradable antibiotic-loaded calcium sulphate carrier containing tobramycin for the treatment of chronic osteomyelitis: a series of 195 cases. *Bone Joint J.* 2014;96-B:829-36. doi: 10.1302/0301-620X.96B6.32756.
- Fernandes JS, Gentile P, Pires RA, Reis RL, Hatton PV. Multifunctional bioactive glass and glass-ceramic biomaterials with antibacterial properties for repair and regeneration of bone tissue. *Acta Biomater.* 2017;59:2-11.
- Fiallo P, Williams T, Bush LM. When Antimicrobial Treatment and Surgical Prophylaxis Collide: A Stewardship Opportunity. *Hosp Pharm.* 2024;59(4):460-464. doi:10.1177/00185787241230079.
- Finelli CA, da Silva CB, Murca MA, dos Reis FB, Miki N, Fernandes HA, et al. Microbiological diagnosis of intramedullary nailing infection: comparison of bacterial growth between tissue sampling and sonication fluid cultures. *Int Orthop.* 2021;45(3):565-73.
- FLOW Investigators. Bhandari M, Jeray K J, Petrisor B A, Devereaux P J, Heels-Ansdell D, Schemitsch E H, A Trial of Wound Irrigation in the Initial Management of Open Fracture Wounds. *N Engl J Med.* 2015;373:2629-41. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1508502>
- Foti G, Longo C, Sorgato C, Oliboni ES, Mazzi C, Motta L, et al. Osteomyelitis of the Lower Limb: Diagnostic Accuracy of Dual-Energy CT versus MRI. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(4):703.
- Fritsche T, Schnetz M, Klug A, Fischer S, Ruckes C, Hunfeld KP, et al. Tissue sampling is non-inferior in comparison to sonication in orthopedic revision surgery. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143:2901-11. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04469-3>
- Fuchs T, Stange R, Schmidmaier G, Raschke MJ. The use of gentamicin-coated nails in the tibia: preliminary results of a prospective study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(10):1419-25. doi: 10.1007/s00402-011-1321-6.
- Gandhi M, Balaji G, Menon J, Thomas RR. Does topical vancomycin prevent fracture-related infections in closed fractures undergoing open reduction and internal fixation? A randomised controlled trial. *Chin J Traumatol.* 2024 Mar;27(2):71-76. doi: 10.1016/j.
- Giannoudis PV, et al. Infection after fracture fixation: current surgical and microbiological concepts. *Injury.* 2016;47(3):S3-S7.
- Gillespie WJ, Walenkamp G. Antibiotic prophylaxis for surgery for proximal femoral and other closed long bone fractures. *Cochrane Database Syst Rev.* 2010;(3):CD000244. doi:10.1002/14651858.CD000244.pub2
- Gitajn IL, Heng M, Weaver MJ, Ehrlichmann LK, Mitchel H. Culture-negative infection after operative fixation of fractures. *J Orthop Trauma.* 2016;30(10):538-543. doi:10.1097/BOT.0000000000000618
- Glaudemans AWJM, de Vries EFJ, Vermeulen LE, Slart RHJA, Dierckx RAJO, Signore A. A large retrospective single-centre study to define the best image acquisition protocols and interpretation criteria for white blood cell scintigraphy with 99mTc-HMPAO-labelled leucocytes in musculoskeletal infections. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2013;40(11):1760-1769.
- Global Guidelines for the Prevention of Surgical Site Infection. Geneva: World Health Organization; 2018. Web Appendix 8, Summary of a systematic literature review on surgical site preparation. Global Guidelines for the Prevention of Surgical Site Infection.
- Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plast Reconstr Surg.* 1986;78(3):285-292.

- Goebel M, Rosa F, Tatsch K, Grillhoesl A, Hofmann GO, Kirscher MH. Diagnosis of chronic osteitis of the bones in the extremities: relative value of F-18 FDG-PET. *Unfallchirurg*. 2007;110(10):859–866.
- Goodman SM, George MD. Should we stop or continue conventional synthetic and targeted DMARDs before surgery in patients with inflammatory rheumatic diseases? *RMD Open*. 2020;6(2):e001214.
- Gosselin RA, Roberts I, Gillespie WJ. Antibiotics for preventing infection in open limb fractures. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005;(1):CD003764.
- Govaert GAM, IJpma FFA, McNally M, McNally E, Reinings IH, Glaudemans AW. Accuracy of diagnostic imaging modalities for peripheral post-traumatic osteomyelitis: a systematic review. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44(8):1393–1407.
- Govaert GAM, Kuehl R, Atkins BL, Trampuz A, Morgenstern M, Obrebsky W, et al. Diagnosing fracture-related infection: current concepts and recommendations. *J Orthop Trauma*. 2020;34(1):8–17.
- Gupta J, Joshi G, Mirchandani N. Indications, outcomes, and complications of orthopaedic implant removal: a prospective observational study. *Int J Res Orthop*. 2024;10(6):1312–1318.
- Hackl S, Eijkenboom A, Militz M, von Rüden C. Diagnostik und Therapie der infizierten Tibia-Pseudarthrose. *Unfallchirurgie*. 2024;127(2):96–102.
- Hackl S, Keppler L, von Rüden C, Friederichs J, Perl M, Hierholzer C. The role of low-grade infection in the pathogenesis of apparently aseptic tibial shaft nonunion. *Injury*. 2021;52(11):3498–3504. doi: 10.1016/j.injury.2021.08.014.
- Hammoud S, Amer F, Lohner S, Kocsis B. Patient education on infection control: a systematic review. *Am J Infect Control*. 2020;48(12):1506–1515. doi: 10.1016/j.ajic.2020.05.039.
- Hanssen J, van den Linden HMJ, Beek M, van der Wal RJP, Termaat MF, de Boer MGJ & Scheper H. Implementation of multidisciplinary team decisions on the management of complex bone and joint infections. *BMC Musculoskelet Disord*. 2025;26 doi:10.1186/s12891-025-08329-0
- Hanssen JLJ, van der Wal RJP, van der Linden HMJ, van Prehn J, Scheper H, de Boer MGJ. Dosing and treatment duration of suppressive antimicrobial therapy in orthopedic implant infections. *J Bone Jt Infect*. 2024;9(3):149–159.
- Hartmann A, Eid K, Dora C, Trentz O, von Schulthess GK, Stumpe KDM. Diagnostic value of 18F-FDG PET/CT in trauma patients with suspected chronic osteomyelitis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2007;34(5):704–714.
- He Y, Xiao J, Shi Z, et al. Supplementation of enteral nutritional powder decreases surgical site infection, prosthetic joint infection, and readmission after hip arthroplasty in geriatric femoral neck fracture with hypoalbuminemia. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):1–8.
- Hegde V, Arshi A, Wang C, Buser Z, Wang JC, Jensen AR, et al. Preoperative vitamin D deficiency is associated with higher postoperative complication rates in total knee arthroplasty. *Orthopedics*. 2018;41(4):e489–e495.
- Heimann P, et al. Customized rehabilitation in patients after infected fracture fixation improves long-term mobility. *Clin Rehabil*. 2022;36
- Hellebrekers P, Leenen LPH, Hoekstra M, Hietbrink F. Effect of a standardized treatment regime for infection after osteosynthesis. *J Orthop Surg Res*. 2017;12:41. doi: 10.1186/s13018-017-0535-x.
- Hellebrekers P, Verhofstad HJ, Leenen LPH, Varol H, van Lieshout EMM, Hietbrink F. The effect of early broad-spectrum versus delayed narrow-spectrum antibiotic therapy on the primary cure rate of acute infection after osteosynthesis. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2020;46(6):1341–1350. doi:10.1007/s00068-019-01182-6

- Hemingway J, Adjei E, Desikan S, Gross J, Tran N, Singh N, et al. Lowering the ankle–brachial index threshold in blunt lower extremity trauma may prevent unnecessary imaging. *Ann Vasc Surg.* 2020;62:106–113.
- Henssler L, Schellenberger L, Baertl S, Klute L, Heyd R, Kerschbaum M, et al. Time to positivity in blood culture bottles inoculated with sonication fluid from fracture-related infections. *Microorganisms.* 2024;12(5):862. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12050862>
- Herraiz-Adillo Á, Cavero-Redondo I, Álvarez-Bueno C, Pozuelo-Carrascosa DP, Solera-Martinez M. The accuracy of toe brachial index and ankle brachial index in the diagnosis of lower limb peripheral arterial disease. *Atherosclerosis.* 2020;315:81–92.
- Horger M, Eschmann SM, Pfannenberger C, Storek D, Dammann F, Vonthein R, et al. The value of SPECT/CT in chronic osteomyelitis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2003;30(12):1665–1673.
- Horton SA, Hoyt BW, Zaidi SMR, Schloss MG, Joshi M, Carlini AR, et al. Risk factors for treatment failure of fracture-related infections. *Injury.* 2021;52(6):1351–1355.
- Hotchen AJ, Dudareva M, Corrigan RA, Ferguson JY, McNally MA. Can we predict outcome after treatment of long bone osteomyelitis? *Bone Joint J.* 2020;102-B:1587–96. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.102B11.BJJ-2020-0284.R1>
- Hotchen AJ, Dudareva M, Ferguson JY, Sendi P, McNally MA. The BACH classification of long bone osteomyelitis. *Bone Joint Res.* 2019;8:459–68. doi:10.1302/2046-3758.810.BJR-2019-0050.R1.
- Houwen T, de Munter L, Lansink KWW, de Jongh MAC. There are more things in physical function and pain: a systematic review on physical, mental and social health within the orthopedic fracture population using PROMIS. *J Patient Rep Outcomes.* 2022;6(1):34. doi:10.1186/s41687-022-00440-3.
- Houwen T, Verhofstad MHJ, van Egmond PW, Enting M, Lansink KWW, de Jongh MAC. Using PROM(I)S to measure health-related quality of life in patients with a bone fracture: An observational cohort study. *Injury.* 2024;55(3):111278. doi:10.1016/j.injury.2023.111278.
- Howells NR, Brunton LR, Robinson J, Porteus AJ, Eldridge JD, Murray JR. Acute knee dislocation: an evidence based approach to the management of the multiligament injured knee. *Injury.* 2011;42(11):1198–204.
- Hwang R, Crook DL, Allan CS, Sarkar S. A network meta-analysis of the timing of wound dressing removal. *Ann R Coll Surg Engl.* 2025;107(4):235–41. doi:10.1308/rcsann.2023.0083.
- Iglar PJ, Hogan KJ. Vitamin D status and surgical outcomes: a systematic review. *Patient Safety in Surgery.* 2015;9(1):14.
- Ilizarov GA. Transosseous osteosynthesis: theoretical and clinical aspects of the regeneration and growth of tissue. In: Green SA, editor. Berlin: *Springer-Verlag*; 1992. p. 802.
- Inaba K, Branco BC, Reddy S, Park JJ, Green D, Plurad D, et al. Prospective evaluation of multidetector computed tomography for extremity vascular trauma. *J Trauma.* 2011;70:808–15.
- Jacobs MMJ, Holla M, Van Wageningen B, Hermans E, Veerman K. Mismatch rate of empirical antimicrobial treatment in fracture-related infections. *J Orthop Trauma.* 2024;38(5):240–6. doi:10.1097/BOT.0000000000002782.
- Johnson MR, Singh JA, Stewart T, Gioe TJ. Patient understanding and satisfaction in informed consent for total knee arthroplasty: a randomized study. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2011;63(7):1048–54. doi:10.1002/acr.20475.

- Jones JK, Ngo D, Cardon M, Mullis BH, Weaver BA, Slaven JE, et al. High nonunion and amputation rates with either early intramedullary nail removal or retention for tibial shaft fracture-related infections. *J Orthop Trauma*. 2023;37(11):574. doi:10.1097/BOT.0000000000002653.
- Joseph TI, Ratnakanthan PJ, Paul E, Clements W. Utility of computed tomography angiography in traumatic lower limb injury. *Injury*. 2021;52:3064–7.
- Kaim A, Ledermann HP, Bongartz G, Messmer P, Müller-Brand J, Steinbrich W. Chronic post-traumatic osteomyelitis of the lower extremity: comparison of magnetic resonance imaging and combined bone scintigraphy/immunosintigraphy with radiolabelled monoclonal antigranulocyte antibodies. *Skeletal Radiol*. 2000;29(7):378–86.
- Kainiemi K, Malmivaara A, Sillman-Tetri S, Lasander M, Heinonen M, Korhonen T, et al. Smoking cessation intervention prior to orthopedic surgery: a study protocol to determine patient outcomes and feasibility. *Tob Prev Cessat*. 2022;8:1–8.
- Karlsen E, Borgen P, Bragnes B, Figved W, Grøgaard B, Rydinge J, et al. Rifampin combination therapy in staphylococcal prosthetic joint infections: a randomized controlled trial. *J Orthop Surg Res*. 2020;15:365.
- Karupiah T, Yong AP, Ong ZW, Tan HK, Tang WC, Salam HB. Use of a Novel Anti-Infective Noble Metal Alloy-Coated Titanium Orthopedic Nail in Patients with Open Fractures: A Case Series from Malaysia. *Antibiotics* (Basel). 2022;11(12):1763. doi:10.3390/antibiotics11121763.
- Keel SB, Jaffe KA, Nielsen GP, Rosenberg AE. Orthopaedic implant-related sarcoma: a study of twelve cases. *Mod Pathol*. 2001;14(10):969–77. doi: 10.1038/modpathol.3880420.
- Keely Boyle K, Rachala S, Nodzo SR. Centers for Disease Control and Prevention 2017 Guidelines for Prevention of Surgical Site Infections: Review and Relevant Recommendations. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018;11(3):357–69. doi: 10.1007/s12178-018-9498-8
- Khan NA, Rahim SA, Anand SS, Simel DL, Panju A. Does the clinical examination predict lower extremity peripheral arterial disease? *JAMA*. 2006;295(5):536–46.
- Khan Z, Sayers AE, Khattak MU, Eastley NC, Shafqat SO. A Prospective Randomized Control Study on Patient's Recall of Consent after Hand Surgery: How Much They Want to Know? *Orthop Rev (Pavia)*. 2013;5(4):e32.
- Kieboom J, van den Bosch P, Plate JDJ, Ijpma FFA, Kuehl R, McNally MA, et al. Diagnostic accuracy of serum inflammatory markers in late fracture-related infection: a systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J*. 2018;100-B(12):1542–50.
- Kommentar der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO): Anforderungen an Hautantiseptika zur Prävention postoperativer Wundinfektionen. *Epid Bull* 2024; 6: 3-5 | DOI 10.25646/11910
- Kotsarinis G, Wakefield SM, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Stabilization of tibial fractures at risk of complications with the bactiguard intramedullary nail: early to medium results with a novel metal-coated device. *J Orthop Trauma*. 2023;37(11 Suppl):S12–7. doi: 10.1097/BOT.0000000000002688.
- Krauss G, et al. Personalized follow-up in rehabilitation medicine reduces rehospitalization rates. *Rehabil J*. 2021;45(3):233–41.
- Krenn V, Blümke L, Thomsen M, Klüß D. Pathologien von Gelenkendoprothesen : Histopathologische Diagnostik für Endoprothetikzentren. *Pathologe*. 2025;46(4):220–9. doi: 10.1007/s00292-024-01410-w.

- Kunutsor SK, Whitehouse MR, Blom AW, Beswick AD. Patient-Related Risk Factors for Periprosthetic Joint Infection after Total Joint Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2016;11(3):e0150866.
- Kuripla C, Tornetta 3rd P, Foote CJ, Koh J, Sems A, Shamaa T, et al. Timing of flap coverage with respect to definitive fixation in open tibia fractures. *J Orthop Trauma*. 2021;35:430–436.
- Kurtoğlu M, Dolay K, Karamustafaoğlu B, Yanar H, Kuzkaya M. The role of the ankle brachial pressure index in the diagnosis of peripheral arterial injury. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2009;15: 448e52.
- Lack WD, Karunakar MA, Angerame MR, Seymour RB, Sims S, Kellam JF, & Bosse MJ. Type III Open Tibia Fractures: Immediate Antibiotic Prophylaxis Minimizes Infection. *J Orthop Trauma*, 2015;29(1), 1–6. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000262>.
- Lava CX, Huffman SS, Li KR, DiBello JR, Ply CM, Rohrich RN, et al. A comparative analysis of patient-reported outcomes following free tissue transfer, partial foot amputation, and below-knee amputation in high-risk limb salvage patients. *Ann Plast Surg*. 2024;93(4):510-515. doi: 10.1097/SAP.0000000000004078.
- Le Roux J, Burger M, Du Preez G, Ferreira N. The reliability of physical examination in diagnosing arterial injury in penetrating trauma to extremities: a first look at different anatomical regions and injury mechanisms. *S Afr Med J* 2021;111:891e5.
- Le EL, McNamara CT, Constantine RS, Greyson MA & Lorio ML. The continued impact of Godina's principles: outcomes of flap coverage as a function of time after definitive fixation of open lower extremity fractures. *J reconstructive microsurgery*, 2024;40(08), 648-656.
- Lee EM, Ibrahim EH, Dudek N, Lu JC, Kalia V, Runge M et al. Improving MR image quality in patients with metallic implants. *Radiographics*. 2021;41(4):E126-E137.
- Lemans JVC, Hobbelink MGG, IJpma FFA, Plate JDJ, van den Kieboom J, Bosch P, et al. The diagnostic accuracy of 18F-FDG PET/CT in diagnosing fracture-related infections. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2019;46:999–1008. <https://doi.org/10.1007/s00259-018-4218-6>
- Li B, Liu C, Alt V, Rupp M, Zhang N, Cheung WH, Jantsch J, Wong RMY. Multidisciplinary approach and host optimization for fracture-related infection management. *Injury*. 2024;55 Suppl 6:111899. doi: 10.1016/j.injury.2024.111899.
- Li C, Renz N, Trampuz A, Ojeda-Thies C. The value of conventional radiographs for diagnosing internal fixation-associated infection. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):411.
- Li HK, Rombach I, Zambellas R, Walker AS, McNally MA, Atkins BL, et al. Oral versus Intravenous Antibiotics for Bone and Joint Infection. *N Engl J Med*. 2019;380(5):425-436. doi: 10.1056/NEJMoa1710926.
- Li Z, Chen X, Fang H, Li C, Shi L, Fan X, et al. Diagnostic accuracy of dual-energy CT for bone marrow edema in patients with acute knee injury: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2023;18(1):826.
- Liaw F, Teoh SH, Stevens-Harris I, Maamoun W. Outcomes of free vascularized fibular graft reconstruction in upper limb trauma—a systematic review. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2023;33:207–223. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-03185-9>
- Lijmer JG, Hunink MG, van den Dungen JJ, Loonstra J, Smit AJ. ROC analysis of noninvasive tests for peripheral arterial disease. *Ultrasound Med Biol*. 1996;22(4):391-8.
- Lindfors N, Geurts J, Drago L, Arts JJ, Juutilainen V, Hyvönen P, et al. Antibacterial bioactive glass, S53P4, for chronic bone infections—a multinational study. *Adv Exp Med Biol*. 2017;971:81–92

- Lindström D, Sadr Azodi O, Wladis A, Tønnesen H, Linder S, Nåsell H, et al. Effects of a perioperative smoking cessation intervention on postoperative complications: a randomized trial. *Ann Surg*. 2008;248(5):739–45.
- Liu C, Gregg AT, Moye SC, Fischer A, Akodu M, Appleton P, et al. Utility of Sonication for Fracture-Related Infection. *J Orthop Trauma*. 2025. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000003006>
- Liu X, Lian J, Liu F, Han D, Sang C. Clinical application of combined CRP and PCT detection in diagnosing and prognosing fracture-related infections. *Front Cell Infect Microbiol*. 2025;15.
- Lu W, Pauly KB, Gold GE, Pauly JM, Hargreaves BA. SEMAC: Slice encoding for metal artifact correction in MRI. *Magn Reson Med*. 2009;62(1):66–76.
- Ludwick L, Siqueira M, Shohat N, Sherman MB, Streicher S & Parvizi J. For patients with acute PJI treated with debridement, antibiotics, and implant retention, what factors are associated with systemic sepsis and recurrent or persistent infection in septic patients? *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 2022;480(8), 1491–1500. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000002192>
- Mackowiak PA, Jones SR, Smith JW. Diagnostic Value of Sinus-tract Cultures in Chronic Osteomyelitis. *JAMA* 1978;239:2772–2775. <https://doi.org/10.1001/jama.1978.03280530036018>
- Maier GS, Horas K, Seeger JB, Roth KE, Kurth AA, Maus U. Is there an association between periprosthetic joint infection and low vitamin D levels? *Int Orthop*. 2014;38(7):1499–504.
- Marais LC, Hungerer S, Eckardt H, Zalavras C, Obrebsky WT, Ramsden A, et al. Key aspects of soft tissue management in fracture-related infection: recommendations from an international expert group. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2024;144(1):259–268. doi: 10.1007/s00402-023-05073-9.
- Marais LC, Zalavras CG, Moriarty FT, Kühl R, Metsemakers WJ, Morgenstern M. The surgical management of fracture-related infection. Surgical strategy selection and the need for early surgical intervention. *J Orthop*. 2023;29;50:36–41. doi: 10.1016/j.jor.2023.11.033.
- Mauffrey C, Hake ME, Chadayammuri V, Masquelet AC. Reconstruction of Long Bone Infections Using the Induced Membrane Technique: Tips and Tricks. *J Orthop Trauma*. 2016;30(6):e188–93. doi: 10.1097/BOT.0000000000000500.
- McNally M, Corrigan R, Sliepen J, Dudareva M, Rentenaar R, Ijpma F, et al. What Factors Affect Outcome in the Treatment of Fracture-Related Infection? *Antibiotics* (Basel). 2022;14;11(7):946. doi: 10.3390/antibiotics11070946.
- McNally M, Govaert G, Dudareva M, Morgenstern M, Metsemakers WJ. Definition and diagnosis of fracture-related infection. *EFORT Open Rev*. 2020;26;5(10):614–619. doi: 10.1302/2058-5241.5.190072.
- McNally M, Sigmund I, Hotchen A, Sousa R. Making the diagnosis in prosthetic joint infection: a European view. *EFORT Open Rev*. 2023;8(5):253–63
- Meller J, Köster G, Liersch T, Siefker U, Lehmann K, Meyer I, et al. Chronic bacterial osteomyelitis: prospective comparison of (18)F-FDG imaging with a dual-head coincidence camera and (111)In-labelled autologous leucocyte scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2002;29(1):53–60.
- Metsemakers WJ, Fragomen AT, Moriarty TF, Morgenstern M, Egol KA, Zalavras C, et al. Evidence-based Recommendations for local antimicrobial strategies and dead space management in fracture-related infection. *J Orthop Trauma*. 2020;34(1):18–29. doi: 10.1097/BOT.0000000000001615.
- Metsemakers Wj, Morgenstern M, McNally MA, Moriarty TF, McFadyen I, Scarborough M et al. Fracture-related infection: A consensus on definition from an international expert group. *Injury* 2018;49:505–510. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.08.040>

- Metsemakers WJ, Morgenstern M, Senneville E, Borens O, Govaert GAM, Onsea J, et al. General treatment principles for fracture-related infection: recommendations from an international expert group. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2020;140(8):1013-27.
- Metsemakers WJ, Morgenstern M, McNally MA, Moriarty TF, McFadyen I, Scarborough M, et al. Fracture-related infection: A consensus on definition from an international expert group. *Injury.* 2018;49(3), 505–510. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.08.040>
- Michail KA, Tsitsi T, & Charalambous M. Effect of patient education on surgical site infections rates: a systematic review of the literature. *Intern J Healthcare Management.* 2024;1–10. <https://doi.org/10.1080/20479700.2024.2403893>
- Mielke M, Hansis M. „Prävention postoperativer Wundinfektionen“. *Bundesgesundheitsbl.* 2018;61(4):371–3.
- Mifsud M, Ferguson JY, Stubbs DA, Ramsden AJ, McNally MA: Simultaneous debridement, Ilizarov reconstruction and free muscle flaps in the management of complex tibial infection. *J Bone Jt Infect* 2020; 6: 63–72.
- Mills H, Donnelly L, Platt S. Locally Delivered Antibiotics in Fracture-Related Infection. *Cureus.* 2024;16(11):e73210. doi: 10.7759/cureus.73210.
- Morgenstern M, Athanasou NA, Ferguson JY, Metsemakers WJ, Atkins BL, McNally MA. The value of quantitative histology in the diagnosis of fracture-related infection. *Bone Joint J.* 2018;100-B(7):966-972. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2018-0052.R1.
- Morgenstern M, Kuehl R, Zalavras CG, McNally M, Zimmerli W, Burch MA, et al. The influence of duration of infection on outcome of debridement and implant retention in fracture-related infection. *Bone Joint J.* 2021;103-B(2):213-221. doi: 10.1302/0301-620X.103B2.BJJ-2020-1010.R1.
- Morgenstern M, Vallejo A, McNally MA, Moriarty TF, Ferguson JY, Nijs S, et al. The effect of local antibiotic prophylaxis when treating open limb fractures: A systematic review and meta-analysis. *Bone Joint Res.* 2018;7(7):447-456. doi: 10.1302/2046-3758.77.BJR-2018-0043.R1.
- Müller SLC, Morgenstern M, Kuehl R, Muri T, Kalbermatten DF, Clauss M, et al. Soft-tissue reconstruction in lower-leg fracture-related infections: An orthoplastic outcome and risk factor analysis. *Injury.* 2021;52(11):3489-3497. doi: 10.1016/j.injury.2021.07.022.
- Nåsell H, Adami J, Samnegård E, Tønnesen H, Ponzer S. Effect of smoking cessation intervention on results of acute fracture surgery: a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(6):1335–42.
- Nasser AAH, Fenton P, Bose D. Single stage versus two-stage orthoplastic management of bone infection. *Injury.* 2022;53(3):984-991. doi: 10.1016/j.injury.2022.01.020.
- National Institute for Health and Care Excellence, NICE guidance, Trauma, Open fractures March 2018. <https://www.nice.org.uk/guidance/qs166/chapter/quality-statement-3-open-fractures>.
- Neyt J, Victor J, Cornu O. Can we DAIR in FRI ? Debridement techniques in osteomyelitis. *Acta Orthop Belg.* 2024;90(4):691-697. doi: 10.52628/90.4.12423.
- Nguyen CT, Reuter CM, Hudson T, Li J. Evaluation of surgical site infection antibiotic prophylaxis among patients receiving antibiotics for active infection. *J Hosp Infect.* 2019;103(3):354-355. doi:10.1016/J.JHIN.2019.06.001
- NICE. Surgical site infections: prevention and treatment. NICE guideline NG125. 2019. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng125> (accessed 29 Aug 2025).

- Nicolás WCP, Angela LH, Andre CK. Adjunctive rifampin following debridement and implant retention for staphylococcal prosthetic joint infection: is it effective if not combined with a fluoroquinolone? *Open Forum Infect Dis*. 2022
- Oestergaard LB, et al. Individualized rehabilitation improves outcomes after total joint arthroplasty. *J Rehabilitation Medicine*, 2020;52(4).
- Oleairo F, Zanichelli V, Exarchakou A, Both A, Uvarsigmakay I, Aepfelbacher M, et al. The impact of antimicrobial therapy duration in the treatment of prosthetic joint infections depending on surgical strategies: a systematic review and meta-analysis. *Open Forum Infect Dis*. 2023;10(5):ofad246.
- Oliveira MC, Dalcól C, de Carvalho REFL, & Poveda VB. Patient participation in surgical site infection prevention: perceptions of nurses, physicians and patients. *Revista da Escola de Enfermagem da U S P*, 57, 2023;e20220459. <https://doi.org/10.1590/1980-220X-REEUSP-2022-0459en>
- Onsea J, Van Lieshout EMM, Zalavras C et al. Validation of the diagnostic criteria of the consensus definition of fracture-related infection. *Injury* 2022;53:1867–1879. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.03.024>
- Organization WH. Global guidelines for the prevention of surgical site infection. World Health Organization. 2018.
- Osmon DR, Berbari EF, Berendt AR, Lew D, Zimmerli W, Steckelberg JM, et al. Reply to Eisen and Denholm, Dauchy et al, Fierer, and Nguyen and Jones. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 2013;57(1), 162–164. <https://doi.org/10.1093/cid/cit189>
- O'Toole RV, Joshi M, Carlini AR, Murray CK, Allen LE et al. Effect of intrawound vancomycin powder in operatively treated high-risk tibia fractures: A randomized clinical trial. *JAMA Surg* 2021;156:e207259.
- Palmer JR, Pannu TS, Villa JM, Manrique J, Riesgo AM, Higuera CA. The treatment of periprosthetic joint infection: safety and efficacy of two stage versus one stage exchange arthroplasty. *Expert Rev Med Devices*. 2020;17(3):245-252. doi: 10.1080/17434440.2020.1733971.
- Pasquaroli S, Zandri G, Vignaroli C, Vuotto C, Donelli G, Biavasco F. Antibiotic pressure can induce the viable but non-culturable state in *Staphylococcus aureus* growing in biofilms. *J Antimicrob Chemother*. 2013;68(8):1812-1817. doi:10.1093/JAC/DKT086
- Patel KH, Galanis A, Balasubramanian P, Iliadis AD, Heidari N, Vris A. A major trauma centre experience with gentamicin-coated tibial intramedullary nails (ETN PROtect™) in acute primary open fracture fixation and complex revision surgery. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2023;33(5):1745-1750. doi: 10.1007/s00590-022-03338-4.
- Patzakis MJ, Scilaris TA, Chon J, Holtom P, Sherman R. Results of bone grafting for infected tibial non-union. *Clin Orthop Relat Res*. 1995;(315):192-8.
- Patzakis MJ, Harvey JP, & Ivler D. The role of antibiotics in the management of open fractures. *J Bone Jt Surg. American Volume*, 1974;56(3), 532–541.
- Pfang B, Villegas García MA, Blanco García A, Auñón Rubio Á, Esteban J, García Cañete J. Risk factors for therapeutic failure and one-year mortality in patients with intramedullary nail-associated infection after trochanteric and subtrochanteric hip fracture repair. *Antibiot* 2024;13(5):463. doi:10.3390/ANTIBIOTICS13050463
- Pickles S, McAllister E, McCullagh G, Nieroba TJ. Quality improvement evaluation of postoperative wound dressings in orthopaedic patients. *Int J Orthop Trauma Nurs*. 2022;45:100922. doi: 10.1016/j.ijotn.2022.100922.

- Pilskog K, Høvdning P, Fenstad AM, Inderhaug E, Fevang JM, Dale H. Risk factors for fracture-related infection after ankle fracture surgery. *Injury*. 2023;54(10):111011.
- Pincus D, Byrne JP, Nathens AB, et al. Delay in flap coverage past 7 Days increases complications for open tibia fractures: a cohort study of 140 north American trauma centers. *J Orthop Trauma*. 2019;33:161–168. <https://doi.org/10.1097>
- Pineda C, Espinosa R, Pena A. Radiographic imaging in osteomyelitis: the role of plain radiography, computed tomography, ultrasonography, magnetic resonance imaging, and scintigraphy. *Semin Plast Surg*. 2009;23(2):80-9.
- Popp W, Zastrow KD. Verbandwechsel und Wundversorgung: DGKH Hygiene-Tipp 25.03.2019 <https://www.krankenhausthygiene.de/informationen/hygiene-tipp/hygienetipp-archiv/715>
- Powell-Bowns MF, Keating JF. Timing of debridement: When to do it, and who should perform it? *Injury*. 2024;55 Suppl 6:111604. doi: 10.1016/j.injury.2024.111604.
- Prendki V, Sergeant P, Barrelet A, Oziol E, Beretti E, Berlioz-Thibal M, et al. Efficacy of indefinite chronic oral antimicrobial suppression for prosthetic joint infection in the elderly: a comparative study. *Int J Infect Dis*. 2017;60:57-60.
- PREP-IT Investigators; Sprague S, Slobogean G, Wells JL, O'Hara NN, Thabane L, et al.; The PREP-IT Investigators. Skin Antisepsis before Surgical Fixation of Extremity Fractures. *N Engl J Med*. 2024 Feb 1;390(5):409-420. doi: 10.1056/NEJMoa2307679.
- Raith EP, Udy AA, Bailey M, McGloughlin S, MacIsaac C, Bellomo R, et al. Prognostic accuracy of the SOFA score, SIRS criteria, and qSOFA score for in-hospital mortality among adults with suspected infection admitted to the intensive care unit. *JAMA*, 2017;317(3), 290–300. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.20328>
- Renz N, Cabric S, Janz V, Trampuz A. Sonication in the diagnosis of periprosthetic infections: Significance and practical implementation. *Orthopade* 2015;44:942–945. <https://doi.org/10.1007/s00132-015-3192-y>
- Renz N, Müller M, Perka C, Trampuz A. Implantatassoziierte Infektion – Diagnostik. *Chirurg*. 2016;87(10):813–21.
- Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, Levy MM, Antonelli M, Ferrer R, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock. *Intensive Care Medicine*, 2017;43(3), 304–377. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4683-6>
- Richards JE, Kauffmann RM, Zuckerman SL, Obremskey WT, May AK. Relationship of hyperglycemia and surgical-site infection in orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(13):1181–6.
- Rightmire E, Zurakowski D, & Vrahas M (2008). Acute infections after fracture repair: management with hardware in place. *Clinical Orthopaedics & Rel Research*, 2008;466(2), 466–472. <https://doi.org/10.1007/s11999-007-0053-y>
- Rohilla R, Sharma PK, Wadhwani J, Das J, Singh R, Beniwal D. Prospective randomized comparison of bone transport versus Masquelet technique in infected gap nonunion of tibia. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142:1923–1932. doi: 10.1007/s00402-021-03935-8.
- Romagnoli AN, DuBose J, Dua A, Betzold R, Bee T, AAST PROOVIT Study Group, et al. Hard signs gone soft: a critical evaluation of presenting signs of extremity vascular injury. *J Trauma Acute Care Surg* 2021;90:1e10.
- Rondaan C, Maso A, Birlutiu RM, Fernandez SM, Soriano A, Diaz de Brito V, et al. Is an isolated positive sonication fluid culture in revision arthroplasties clinically relevant? *Clin Microbiol Infect*. 2023;29(11):1431-6.

- Rosslenbroich S, Laumann M, Hasebrook J, Rodde S, Grosser J, Greiner W, et al. Improving the care of severe, open fractures and postoperative infections of the lower extremities: protocol for an interdisciplinary treatment approach. *JMIR Res Protoc*. 2024;13:e57820. doi: 10.2196/57820.
- Rückert M, et al. Effectiveness of individualized rehabilitation after orthopedic trauma. *Phys Ther Rev*. 2020
- Rupp M, Kern S, Walter N, Anastasopoulou L, Schnettler R, Heiss C, Alt V. Surgical treatment outcome after serial debridement of infected nonunion-A retrospective cohort study. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2022;32(1):183-189. doi: 10.1007/s00590-021-02930-4.
- Rupp M, Walter N, Baertl S et al. Terminology of bone and joint infection. *Bone Joint Res* 2021;10:742–743. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.1011.BJR-2021-0371>
- Rupp M, Walter N, Bärthel S, Heyd R, Hitzenbichler F, Alt V. Fracture-related infection-epidemiology, etiology, diagnosis, prevention, and treatment. *Dtsch Arztebl Int*. 2024;121(1):17-24. doi: 10.3238/arztebl.m2023.0233.
- Rupp M, Walter N, Brochhausen C, Alt V. Fracture related Infection - Challenges in definition and diagnosis. *J of Orthopaedics* 2024;49:38–41. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2023.11.050>
- Rupp M, Walter N, Popp D, Hitzenbichler F, Heyd R, Geis S, et al. Multidisciplinary treatment of fracture-related infection has a positive impact on clinical outcome—a retrospective case control study at a tertiary referral center. *Antibiotics*, 2023;12(2), 230. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020230>
- S3-Leitlinie Perioperative und Periinterventionelle Antibiotikaprophylaxe – Aktualisierung 2024. Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie e. V. (Hrsg.). Langversion, 5.0. AWMF Registernummer: 067/009, verfügbar unter <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/067-009>; Zugriff am: 30.09.2025
- S3-Leitlinie Strategien zur Sicherung rationaler Antibiotika-Anwendung im Krankenhaus. Deutsche Gesellschaft für Infektiologie e.V. (DGI). Gültig bis: 30.01.2024 (In Überarbeitung). Verfügbar unter: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/092-001>. Zugriff am 30.09.2025
- Sambri A, Spinnato P, Tedeschi S, Zamparini E, Fiore M, Zucchini R, et al. Bone and joint infections: the role of imaging in tailoring diagnosis to improve patients' care. *J Pers Med*. 2021;11(12):1317.
- Sanders FRK, Backes M, Dingemans SA, Hoogendoorn JM, Schep NWL, Vermeulen J, et al. Functional outcome of implant removal following fracture fixation below the level of the knee: A prospective cohort study. *The Bone & Joint Journal*, 2019;101-B(4), 447–453. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B4.BJJ-2018-0745.R1>
- Schaper NC, van Netten JJ, Apelqvist J, Bus SA, Fitridge R, Game F, et al. Practical guidelines on the prevention and management of diabetes-related foot disease (IWGDF 2023 update). *Diabetes Metab Res Rev*. 2024;40(3):e3657.
- Scheper H, Gerritsen LM, Pijls BG, Van Asten SA, Visser LG, De Boer MGJ. Outcome of debridement, antibiotics, and implant retention for staphylococcal hip and knee prosthetic joint infections, focused on rifampicin use: a systematic review and meta analysis. *Open Forum Infect Dis*. 2021, 8, ofab298.
- Schiesser M, Stumpe KD, Trentz O, Kossmann T, Von Schulthess GK. Detection of metallic implant-associated infections with FDG PET in patients with trauma: correlation with microbiologic results. *Radiology*. 2003;226(2):391-8.

- Schlager O, Francesconi M, Haumer M, Dick P, Sabeti S, Amighi J, et al. Duplex sonography versus angiography for assessment of femoropopliteal arterial disease in a "real-world" setting. *J Endovasc Ther.* 2007;14(4):452-9.
- Schmidmaier G, Kerstan M, Schwabe P, Südkamp N, Raschke M. Clinical experiences in the use of a gentamicin-coated titanium nail in tibia fractures. *Injury.* 2017;48(10):2235-2241. doi: 10.1016/j.injury.2017.07.008.
- Schmidt V, Tervaniemi C, Wadsten M. Long-term association between patient-reported outcomes and psychological factors in patients with a distal radius fracture. *J Hand Surg Glob Online.* 2024;6(5):650-653. doi: 10.1016/j.jhsg.2024.06.004.
- Schoder S, Lafuente M, Alt V. Silver-coated versus uncoated locking plates in subjects with fractures of the distal tibia: a randomized, subject and observer-blinded, multi-center non-inferiority study. *Trials.* 2022;23(1):968. doi: 10.1186/s13063-022-06919-0.
- Seng DW, Oh C-W. Critical size bone defects managed with modern techniques of bone transport: an update. *Injury* 2024;55:111341. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2024.111341>.
- Senn L, Vuichard D, Widmer A, Zanetti G, Kuster S. Aktualisierte Empfehlungen zur perioperativen Antibiotikaphylaxe in der Schweiz, 2015.
- Shander A, Corwin HL, Meier J, Auerbach M, Bisbe E, Blitz J, et al. Recommendations from the international consensus conference on anemia management in surgical patients (ICCAMS). *Annals of surgery*, 2023;277(4), 581-590.
- Sigmund IK, Dudareva M, Watts D et al. Limited diagnostic value of serum inflammatory biomarkers in the diagnosis of fracture-related infections. *Bone Joint J* 2020;102-B:904–911. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.102B7.BJJ-2019-1739.R1>
- Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, et al. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (Sepsis-3). *JAMA*, 2016;315(8), 801. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>
- Sivakumar BS, Vijaysegaran P, Ottley M, Crawford R, Coulter C. Evaluation of blood cultures in postoperative orthopedic patients with fever. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2012;20(3),302–305. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23255641/>
- Slobogean GP, Bzovsky S, O'Hara NN, Marchand LS, Hannan ZD, Demyanovich HK, et al. Effect of vitamin D3 supplementation on acute fracture healing: a phase II screening randomized double-blind controlled Trial. *JBMR Plus.* 2023;7(1):e10705.
- Slobogean GP, Kennedy SA, Davidson D, & O'Brien PJ. Single- versus multiple-dose antibiotic prophylaxis in the surgical treatment of closed fractures: A meta-analysis. *J Orthop Trauma*, 2008;22(4), 264–269. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31816b7880>
- Solasz S, Merrell L, Ganta A, Konda S, Egol K. (2023) Factors associated with the development of a confirmed fracture-related infection. *J Orthop Trauma* 2023;37:e361–e367. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000002615>
- Spellberg B, Aggrey G, Brennan MB, Footer B, Forrest G, Hamilton F, et al. Use of novel strategies to develop guidelines for management of pyogenic osteomyelitis in adults: a WikiGuidelines group consensus statement. *JAMA network open*, 2022;5(5), e2211321-e2211321.
- Steinmetz S, Wernly D, Moerenhout K, Trampuz A, Borens O. Infection after fracture fixation. *EFORT Open Rev.* 2019;4(7):468-475. doi: 10.1302/2058-5241.4.180093.

- Sweere V, Sliepen J, Haidari S, Depypere M, Mertens M, Ijpma F, et al. Use of negative pressure wound therapy in patients with fracture-related infection more than doubles the risk of recurrence. *Injury*. 2022;53(12):3938-3944. doi: 10.1016/j.injury.2022.10.014.
- Terheyden JH, Pielka M, Schneider T, Holz FG, Sifa R. A new generation of patient-reported outcome measures with large language models. *J Patient Rep Outcomes*. 2025;9(1):34. doi: 10.1186/s41687-025-00867-4.
- Thompson E, Qureshi A. Pathogens in FRI - Do bugs matter? - An analysis of FRI studies to assess your enemy. *J Orthop*. 2024;53:59-72.
- Tiemann AH, Krenn V, Krukemeyer MG, Seyfert C, Jakobs M, Baumhoer D, Hofmann GO. Infektiöse Knochenerkrankungen. *Pathologe*. 2011;32(3):200-9. German. doi: 10.1007/s00292-011-1417-3.
- Tong K, Zhong Z, Peng Y, Lin C, Cao S, Yang Y, Wang G. Masquelet technique versus Ilizarov bone transport for reconstruction of lower extremity bone defects following posttraumatic osteomyelitis. *Injury*. 2017;48:1616-1622. doi: 10.1016/j.injury.2017.03.042.
- Toon CD, Lusuku C, Ramamoorthy R, Davidson BR, Gurusamy KS. Early versus delayed dressing removal after primary closure of clean and clean-contaminated surgical wounds. *Cochrane Database Syst Rev* 2015:CD010259. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010259.pub3>
- Trampuz A, Piper KE, Jacobson MJ, Hanssen AD, Unni KK, Osmon DR, et al. Sonication of removed hip and knee prostheses for diagnosis of infection. *N Engl J Med*. 2007;357(7):654-63. doi: 10.1056/NEJMoa061588.
- Trampuz A, Zimmerli W. Diagnosis and treatment of implant-associated septic arthritis and osteomyelitis. *Curr Infect Dis Rep*. 2008;10(5):394-403.
- Trebse R, Roskar S. Evaluation and interpretation of prosthetic joint infection diagnostic investigations. *Int Orthop*. 2021;45(4):847-55.
- Trenkwalder K, Erichsen S, Weisemann F, Augat P, Militz M, von Ruden C, et al. The value of sonication in the differential diagnosis of septic and aseptic femoral and tibial shaft nonunion in comparison to conventional tissue culture and histopathology: a prospective multicenter clinical study. *J Orthop Traumatol*. 2023;24(1):25.
- Trenkwalder K, Hackl S, Weisemann F, Augat P. The value of current diagnostic techniques in the diagnosis of fracture-related infections: Serum markers, histology, and cultures. *Injury*. 2024;55 Suppl 6:111862.
- Tsang SJ, Ferreira N. The role of implant retention and conservative management in the management of fracture-related infection. *J Orthop*. 2023;48:47-51. doi: 10.1016/j.jor.2023.11.040.
- Tsang SJ, van Rensburg AJ, Ferreira N. Is there a role for suppression of infection in managing fracture-related infection following intra-medullary nailing? *Injury*. 2024;55(7):111602.
- Tsang STJ, Mills LA, Baren J, Frantzias j, Keating JF, Simpson AHRW. et al Exchange nailing for femoral diaphyseal fracture non-unions: Risk factors for failure. *Injury* 2015;46:2404-2409. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.09.027>
- Tung L, Seamon MJ, Dauer E, Alabi O, Benarroch-Gampel J, Passman J, et al. Using arterial pressure index to predict arterial injuries in penetrating trauma to the upper extremities. *Am Surg* 2023;89:108e12.
- Vega J, Romani S, Garciperez FJ, Vicente L, Pacheco N, Zamorano J, et al. Peripheral arterial disease: efficacy of the oscillometric method. *Rev Esp Cardiol*. 2011;64(7):619-21.

- Wakefield SM, Papakostidis C, Giannoudis VP, Mandía-Martínez A, Giannoudis PV. Distraction osteogenesis versus induced membrane technique for infected tibial non-unions with segmental bone loss: a systematic review of the literature and meta-analysis of available studies. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2024;50(3):705-721. doi: 10.1007/s00068-023-02375-w.
- Walana W, Gyllbagr F, Buunaaim ADB. Preoperative Hemoglobin Level Predicts Surgical Site Infections in Trauma Orthopedic Surgery: A Cohort Study. *J Trop Med*. 2025;2025:7737328.
- Wang SM, McKibben NS, Major M, Heron MJ, Njoroge MW, De Jong T, et al. Long-term LIMB-Q scores following severe lower extremity traumatic injuries. *Plastic and reconstr surgery*, 2021;10-1097.
- Warmerdam E, Huebner M, Stoll C, Lange AI, Ganse B. Recovery of patient-reported outcome measures vs gait parameters obtained by instrumented insoles after tibial and malleolar fractures: prospective longitudinal observational study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2025;13:e71022. doi: 10.2196/71022.
- Wasim AS, Choudhri MJ, Saidani Z, Khan AM, Siddiqui RS, Ridha A, et al. The effect of video-assisted learning on pre-operative knowledge and satisfaction for total knee arthroplasty surgery: a randomised-controlled study. *J Orthop Surg Res*. 2024;19(1):592. doi: 10.1186/s13018-024-04974-8.
- Widmer AF, Atkinson A, Kuster SP, Wolfensberger A, Klimke S, Sommerstein R, Eckstein F, et al. Povidone Iodine vs Chlorhexidine Gluconate in Alcohol for Preoperative Skin Antisepsis: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2024 Aug 20;332(7):541-549. doi: 10.1001/jama.2024.8531.
- Wouthuyzen-Bakker M, Benito N, Soriano A. The effect of preoperative antimicrobial prophylaxis on intraoperative culture results in patients with a suspected or confirmed prosthetic joint infection: A systematic review. *J Clin Microbiol*. 2017;55(9):2765-2774. doi:10.1128/JCM.00640-17
- Wouthuyzen-Bakker M, Tornero E, Claret G, Bosch J, Martinez-Pastor JC, Combalia A, Soriano A. Withholding preoperative antibiotic prophylaxis in knee prosthesis revision: a retrospective analysis on culture results and risk of infection. *J Arthroplasty*. 2017;32(9):2829-2833. doi: 10.1016/j.arth.2017.03.064.
- Xiong L, Gazyakan E, Kremer T, Hernekamp FJ, Harhaus L, Saint-Cyr M, et al. Free flaps for reconstruction of soft tissue defects in lower extremity: A meta-analysis on microsurgical outcome and safety. *Microsurgery*, 2016;36(6), 511-524.
- Yano MH, Klautau GB, da Silva CB, Nigro S, Avanzi O, Mercadante MT & Salles MJC. Improved diagnosis of infection associated with osteosynthesis by use of sonication of fracture fixation implants. *J Clin Microbiol* 2014;52:4176–4182. <https://doi.org/10.1128/JCM.02140-14>
- Yim GH, Pikturnaite J, Harry L, Clement R, Pope-Jones S, Emam A, & Marsden N. Enhanced recovery for acute open lower limb fracture ‘fix and flap’. *Injury*, 2024;55(2), 111234.
- Yin Y, Gross A, Mucksavage J, Tesoro E. Perioperative antimicrobial prophylaxis in patients receiving antibiotic therapy. 2021;6. doi:10.1101/2021.06.14.21255125
- Yong TM, Rackard FA, Dutton LK, Sparks MB, Harris MB, Gitajn IL. Analyzing risk factors for treatment failure in fracture-related infection. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(3):1387-1392. doi:10.1007/S00402-021-04277-1/METRICS
- Yusuf E, Bramer W, & Anas AA. Clinical outcomes of rifampicin combination therapy in implant-associated infections due to staphylococci and streptococci: A systematic review and meta-analysis. *Intern J Antimicrob Agents*, 2024;63(1), 107015.
- Zajonz D, Prager F, Edel M, Möbius R, Daikos A, Fakler JK, et al. The significance of the vitamin D metabolism in the development of periprosthetic infections after THA and TKA: a prospective matched-pair analysis of 240 patients. *Clin Interv Aging*. 2018;13:1429–35.

- Zargarán A, Zargarán D, Trompeter AJ. The role of Vitamin D in orthopaedic infection: a systematic literature review. *Bone Jt Open*. 2021 Sept;2(9):721–7.
- Zhao XQ, Wan HY, Qin HJ, Jiang N, Yu B. Interleukin-6 versus Common Inflammatory Biomarkers for Diagnosing Fracture-Related Infection: Utility and Potential Influencing Factors. *J Immunol Res*. 2021;2021:1461638.
- Zimmerli W, Widmer AF, Blatter M, Frei R, Ochsner PE. Role of rifampin for treatment of orthopedic implant-related staphylococcal infections: A randomized controlled trial. *JAMA* 1998;279:1537–1541.
- Zuluaga AF, Galvis W, Jaimes F, Vesga O. Lack of microbiological concordance between bone and non-bone specimens in chronic osteomyelitis: an observational study. *BMC Infect Dis* 2002;2:8. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-2-8>
- Zwicky S, Mahler F, Baumgartner I. Evaluation of clinical tests to assess perfusion in chronic critical limb ischemia. *Vasa*. 2002;31(3):173-8.

Versionsnummer:	1.0
Erstveröffentlichung:	2026/02/02
Nächste Überprüfung geplant:	2031/02/01

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