

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
der Universität zu Köln  
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

# **Risikofaktoren und Management post-operativer Infektionen nach spinalen chirurgischen Eingriffen – eine systematische Literaturrecherche**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
Stoyko Nikolaev Stoev  
aus Sofia, Bulgarien

promoviert am 19. Mai 2025

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

2025

Dekan: Universitätsprofessor Dr.med. G.R. Fink

1. Gutachter: Universitätsprofessor Dr.med. P.H. Eysel
2. Gutachter: Privadozent Dr.med. S. Fürderer

## Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.<sup>1</sup>

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

***An dieser Stelle beschreiben Sie Ihren eigenen Anteil und den Anteil anderer an der vorliegenden Arbeit. Es sollte insbesondere genau dargestellt werden, woher die verwendeten Datensätze stammen, wer diese erhoben hat, welche Methoden/Untersuchungen von wem verwendet/durchgeführt wurden und wer die Daten mit welcher Software ausgewertet hat. Untenstehend finden Sie einige beispielhafte Formulierungen zur Orientierung.***

Die verwendeten Fallberichte wurden von mir selbst ausgewertet. Die Nachuntersuchungen der Patientinnen und Patienten wurden gemeinsam mit Herrn Priv.-Doz.Dr. Oikonomidis durchgeführt.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 10.01.2025

Unterschrift:

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt meinen Betreuern und Kollegen für ihre Unterstützung und wertvollen Anregungen während der Arbeit an dieser Dissertation. Ebenso möchte ich meiner Frau danken, die mich mit Geduld und Ermutigung auf diesem Weg begleitet hat. Ohne ihre Hilfe und Motivation wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Diese Arbeit widme ich meiner Frau, deren Unterstützung, Liebe und Geduld mich durch alle Herausforderungen begleitet haben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
2.1.	Ausgangslage und Problembeschreibung	9
2.2.	Anatomie der Wirbelsäule	11
2.2.1.	Genereller Aufbau	11
2.2.2.	Halswirbelsäule	15
2.2.3.	Brustwirbelsäule	17
2.2.4.	Lendenwirbelsäule	18
2.2.5.	Os sacrum (Kreuzbein)	20
2.2.6.	Os coccygis (Steißbein)	21
2.3.	Erkrankungen der Wirbelsäule	23
2.3.1.	Epidemiologie	23
2.3.2.	Bandscheibenprolaps und Bandscheibenprotrusion	24
2.3.3.	Spondylarthrose	26
2.3.4.	Spinalkanalstenose	28
2.3.5.	Spondylodiszitis	28
2.3.6.	Spondylose	30
2.3.7.	Spondylolisthese	31
2.3.8.	Osteoporose	33
2.4.	Forschungsfragen und Ziele der Arbeit	35
<b>3.</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>37</b>
3.1.	Methoden	37
3.1.1.	Datensammlung	37
3.1.2.	Ein- und Ausschlusskriterien	38
3.1.3.	Literaturselektion und -analyse	39
3.1.4.	PRISMA-Schema	39
3.2.	Material	43
<b>4.</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>52</b>

<b>4.1.</b>	<b>Operationstechnik</b>	<b>52</b>
<b>4.2.</b>	<b>Risikofaktoren</b>	<b>60</b>
<b>4.3.</b>	<b>Management und Prävention post-operativer Infektionen</b>	<b>65</b>
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>71</b>
<b>5.1.</b>	<b>Schlussfolgerung und Fazit</b>	<b>88</b>
<b>5.2.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>89</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>91</b>
<b>7.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>105</b>
<b>7.1.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>105</b>
<b>7.2.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>105</b>
<b>7.3.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>105</b>
<b>8.</b>	<b>VORABVERÖFFENTLICHUNGEN VON ERGEBNISSEN</b>	<b>107</b>

# 1. Zusammenfassung

Post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule sind nicht selten und führen nicht zur Verlängerung des Krankenhausaufenthaltes der Patientinnen und Patienten, sondern auch zu erhöhten Kosten für das Krankenhaus und die Allgemeinheit. Ferner können post-operative Wundinfektionen mit lebensbedrohlichen Komplikationen für die betroffenen Menschen verbunden sein (Pepke et al. 2020). Um solche Infektionen zu verhindern, ist es von maßgeblicher Relevanz, die Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule zu identifizieren sowie ein standardisiertes, evidenzbasiertes Verfahren zu deren Prophylaxe und Management zu entwickeln (Algarny et al. 2023; Farah et al. 2021; Tan et al. 2020; Xia et al. 2024).

Aus diesem Grund stellte sich die Frage nach der aktuellen Evidenz für potenzielle Risikofaktoren hinsichtlich Operationstechnik und patientenbezogenen Aspekten. Die vorliegende Arbeit hatte deshalb zum Ziel, die aktuelle Evidenzlage bezüglich Risikofaktoren, Prophylaxe und Management post-operativer Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule zu recherchieren, zusammenzufassen und kritisch zu diskutieren. Dies erfolgte im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche und -analyse. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen die aktuelle Evidenzlage zu möglichen Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen sowie deren Prophylaxe und Management. Es zeigte sich, dass zu diesem Thema noch deutlicher Forschungsbedarf besteht.

## Abstract

Post-operative wound infections after spinal surgery are not uncommon and lead to a prolongation of the patients' hospital stay and to increased costs for the hospital and the general public. Furthermore, post-operative wound infections can be associated with life-threatening complications (Pepke et al. 2020). To prevent such infections, it is crucial to identify the risk factors for post-operative wound infections after spinal surgery and to develop a standardized, evidence-based procedure for their prophylaxis and management (Algarny et al. 2023; Farah et al. 2021; Tan et al. 2020; Xia et al. 2024).

For this reason, the current work posed the question about the current evidence for potential risk factors regarding surgical technique and patient-related aspects. The aim of the current thesis was therefore to research, summarize and critically discuss the evidence regarding risk

factors, prophylaxis and management of post-operative wound infections after spinal surgery. This was done as part of a systematic literature search and analysis. The results of the present study show the current evidence on possible risk factors for post-operative wound infections as well as their prophylaxis and management. It became apparent that there is still a clear need for research on this topic.

## **2. Einleitung**

Die Hintergründe der Themenwahl der vorliegenden Arbeit und welcher Ausgangslage die vorliegenden Forschungsfragen zugrunde liegen soll in diesem Kapitel beschrieben werden. Das nachfolgende Kapitel leitet in das Kernthema und die Fragestellung ein und erklärt die Gründe und die Relevanz der vorliegenden Themenwahl.

### **2.1. Ausgangslage und Problembeschreibung**

Im Bereich der Wirbelsäulen Chirurgie sind postoperative Komplikationen und Infektionen nicht selten (Pepke et al. 2020). Bislang sind die Zeitpunkte und Risikofaktoren der post-operativen Infektionen und Komplikationen noch nicht im Detail erforscht (Papke et al. 2020). Die Erforschung und Beschreibung der Gründe und Zeitpunkte ist jedoch für die künftige Entwicklung entsprechender Präventionsmaßnahmen von entscheidender Relevanz (Farah et al. 2021).

Hierbei stellen nosokomiale Infektionen einen wesentlichen Anteil aller post-operativen Infektionen nach spinalen chirurgischen Eingriffen dar (Chen et al. 2018). Nosokomiale Infektionen sind dabei von ambulant erworbenen Infektionen zu unterscheiden (Takeshima & Nakase 2022). Nosokomiale Infektionen, die sich auf das Operationsgebiet beschränken, werden auch surgical site infections (SSI) genannt. Diese sind von den nosokomialen Infektionen, die nicht die Operationsstelle betreffen, abzugrenzen. Nosokomiale Infektionen, die nichts mit dem chirurgischen Eingriff zu tun haben und somit anderen Ursachen als dem chirurgischen Eingriff zugrunde liegen sind zum Beispiel Infektionen der Harnwege, Atemwegs-Infektionen oder systemische Septitiden (Chen et al. 2024).

Nosokomiale Infektionen treten in Deutschland mit einer Prävalenz von 3,3 % auf (Robert Koch Institut 2020). Somit gehören nosokomiale Infektionen zu den häufigsten Infektionskrankheiten und kosten jährlich 10.000 bis 15.000 deutsche Patientinnen und Patienten das Leben (Robert Koch Institut 2020). Postoperative Wundinfektionen machen fast ein Viertel, 24,7 %, der nosokomialen Infektionen aus (Robert Koch Insitut 2020).

Nach spinalen chirurgischen Eingriffen stellt die Weichteilinfektion die häufigste Komplikation in der post-operativen Phase dar (Horan et al. 1993; Tan et al. 2020). In der Literatur wird von Infektionsraten zwischen 0,7 % und 16 % berichtet (Tan et al. 2020; Algamy et al. 2023). Hierbei sind post-operative Infektionen nach einem spinalen chirurgischen Eingriff mit Einsatz eines Implantats nach offenen Operationstechniken häufiger als nach minimal-invasiven Operationen (Algamy et al. 2023; Divi et al. 2020; Tan et al. 2020). Weitere Faktoren, welche das Risiko für eine nosokomiale post-operative Infektion nach einem spinalen chirurgischen Eingriff beeinflussen ist zum Beispiel die Länge des Krankenhaus-Aufenthaltes, Nikotin-Abusus, Adipositas, Diabetes mellitus sowie ein ungünstiger allgemeiner gesundheitlicher Zustand mit einem ASA (American Society of Anesthesiologists) -Score von 3 oder höher (Zhang et al. 2022; Kong et al. 2017; Edmiston et al. 2023). Weitere Faktoren, die eine Operations-Dauer von mehr als drei Stunden, ein kürzlicher signifikanter Gewichtsverlust sowie metastasierte maligne Tumore, zum Beispiel ein metastasiertes malignes Melanom (Edmiston et al. 2023; Saruwatari et al. 2023).

Der häufigste Krankheitserreger von post-operativen, lokalen Infektionen nach einem spinalen chirurgischen Eingriff ist *Staphylokokkus aureus* (Zhou et al. 2020). Weitere detektierbare Keime im Rahmen einer post-operativen nosokomialen Infektion nach einem spinalen chirurgischen Eingriff sind koagulasenegative Staphylokokken, zum Beispiel *Staphylokokkus epidermidis*, Streptokokken und Enterokokken (Omeis et al. 2011; Zhou et al. 2020). Gelegentlich können Enterobacteriaceae, anaerobe Bakterien wie Propionibakterien oder Peptostreptokokken und Pseudomonaden nachgewiesen werden. In seltenen Fällen können auch Mykobakterien oder unterschiedliche Arten von Pilz-Infektionen festgestellt werden (Meng et al. 2015; Zhou et al. 2020; Omeis et al. 2011)

Eine häufige post-operative Infektion nach einem spinalen chirurgischen Eingriff ist die Spondylodiszitis (Gentile et al. 2019; Zhou et al. 2020; Nasto et al. 2012). Post-operative und vor allem Implantat-assoziierte Infektionen können dabei zu verschiedenen Zeitpunkten nach einem spinalen chirurgischen Eingriff auftreten. Dies stellt einen maßgeblichen Einflussfaktor für die Planung und Konzeption der Infektions-Therapie dar (Tan et al. 2020; Zhou et al. 2020; Joaquim et al. 2019; Blood et al. 2017). Frühe post-operative Infekte können bis zu drei Monate nach dem chirurgischen Eingriff auftreten. Hierbei handelt es sich um Operations-bedingte und Operations-assoziierte Wundinfekte. Auch verzögerte post-operative Wundinfektionen sind möglich. Diese können zwischen vier und 24 Monaten nach dem chirurgischen Eingriff auftreten. Nach einem Zeitraum von 24 Monaten post-operativ wird von späten post-

operativen Infektionen gesprochen. Letztere sind dabei häufig von hämatogener Genese (Nasto et al. 2012; Fiani et al. 2020). Für das Auftreten von Komplikationen und post-operativen Infektionen sowie für den Verlauf und das Outcome Letzterer sind in der Regel die gesundheitliche Konstitution der jeweiligen Patientinnen und Patienten von entscheidender Bedeutung. Hierzu gehören die physiologischen- und pathophysiologischen Faktoren des jeweiligen Patienten oder der jeweiligen Patientin (Tan et al. 2020; Zhou et al. 2020; Joaquim et al. 2019; Blood et al. 2017; Edmiston et al. 2023; Saruwatari et al. 2023).

## **2.2. Anatomie der Wirbelsäule**

Um in das Kernthema einzusteigen, soll in diesem Kapitel erklärt werden, wie die menschliche Wirbelsäule aufgebaut ist, was deren wichtigsten Funktionen sind.

### **2.2.1. Genereller Aufbau**

In der medizinischen Fachsprache wird die Wirbelsäule *Columna vertebralis*, genannt. Die *Columna vertebralis* ist die zentrale Achse des menschlichen Skelettes und zahlreicher tierischer Skelette. Sie erstreckt sich vom Kopf bis hin zum Beckenbereich. Sie ist aus 32 bis 34 Wirbeln aufgebaut. Zwischen den Wirbeln liegen die Bandscheiben (Henle 2023; Möller & Müller 2020).

Die Aufgabe der Wirbelsäule ist die Stützung des Rumpfes. Ohne die Wirbelsäule wären Menschen nicht in der Lage, aufrecht zu stehen und zu gehen. Eine weitere entscheidende Funktion der *Columna vertebralis* ist die Dämpfung von Bewegungen und Kräften, die auf den Körper einwirken sowie der Schutz des Rückenmarks. Die *Columna vertebralis* ist zudem auch die Ansatzfläche für die Bänder und Muskeln zur Bewegung des Rückens (De Magalhaes 2023; Henle 2023).

Die *Columna vertebralis* wird in unterschiedliche Abschnitte eingeteilt: die *Vertebrae cervicales*, *Vertebrae thoracicae*, *Vertebrae lumbales*, *Vertebrae sacrales* und die *Vertebrae coccygeae*. Diese Abschnitte werden im Volksmund auch Halswirbelsäule, Brustwirbelsäule, Lendenwirbelsäule, Kreuzbein und Steißbein genannt. Sie bestehen aus unterschiedlichen

Anzahlen an Wirbeln, auch ihre Formen unterscheiden sich voneinander. Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Hals-Wirbeln, die Brustwirbelsäule aus zwölf Wirbeln, daran schließen sich fünf Lendenwirbel an sowie fünf Kreuzbeinwirbel und vier bis fünf Steißbeinwirbel (De Magalhaes 2023; Henle 2023; Möller & Müller 2020).

Die Columnis vertebrae verfügt von lateral über eine doppelte S-Form. Im zervikalen- und lumbalen Teil verläuft sie ventral konvex, während sie in den thorakalen- und sakralen Abschnitten nach ventral konkav gebogen ist (Henle 2023; Möller & Müller 2020).

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch die Form und den Aufbau der menschlichen Wirbelsäule und, in verschiedenen Farben markiert, deren Abschnitte. Im obigen Bild ist der cervikale Abschnitt der Columna vertebralis in violetter Farbe gezeigt, der thorakale Teil ist in orange gefärbt, der lumbale Teil in Grün, in blau ist der sakrale Anteil zu sehen und in Gelb der coccygeale. Hierbei sind die einzelnen Wirbel entsprechend bezeichnet und nummeriert: C für Vertebrae cervicales, T für Vertebrae thoracicae, L für Vertebrae lumbales, S für Vertebrae sacrales und C für Vertebrae coccygeae (Henle 2023; Möller & Müller 2020).

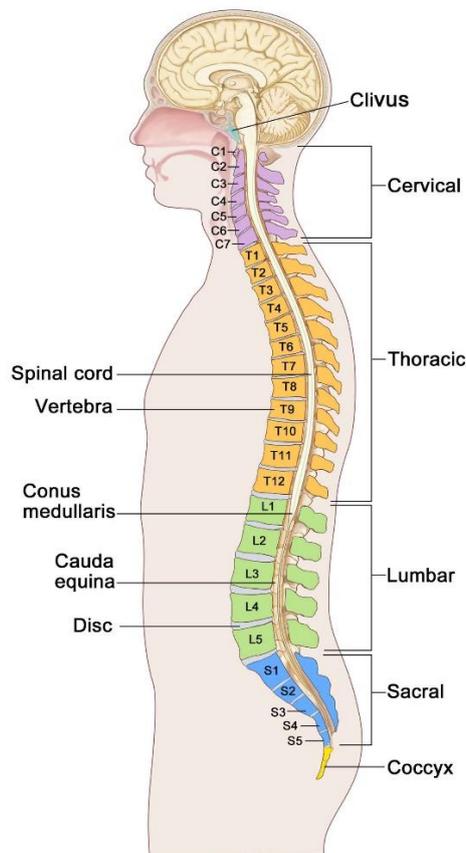


Abbildung 1: Aufbau, Lage und Form der Columna vertebralis

Quelle: Health Jade (15.05.2024): <https://healthjade.net/spinal-infection/>

Von der dorsalen- oder ventralen Perspektive betrachtet, erscheint die Columna vertebralis annähernd als eine Gerade. Die physiologische Form wird durch Fixierung der Wirbel mithilfe von Bändern und die aktive Spannung der Rückenmuskulatur erreicht. Durch die Statik der Columna vertebralis wird erst das aufrechte Stehen und Gehen ermöglicht. Die Stöße, welche beim Gehen, Laufen, Springen oder beim Sport auf den Körper entstehen werden von der Columna vertebralis abgefedert, um das Gehirn vor Kraftereinwirkungen und Schädigungen dadurch zu schützen (De Magalhaes 2023; Henle 2023; Möller & Müller 2020).

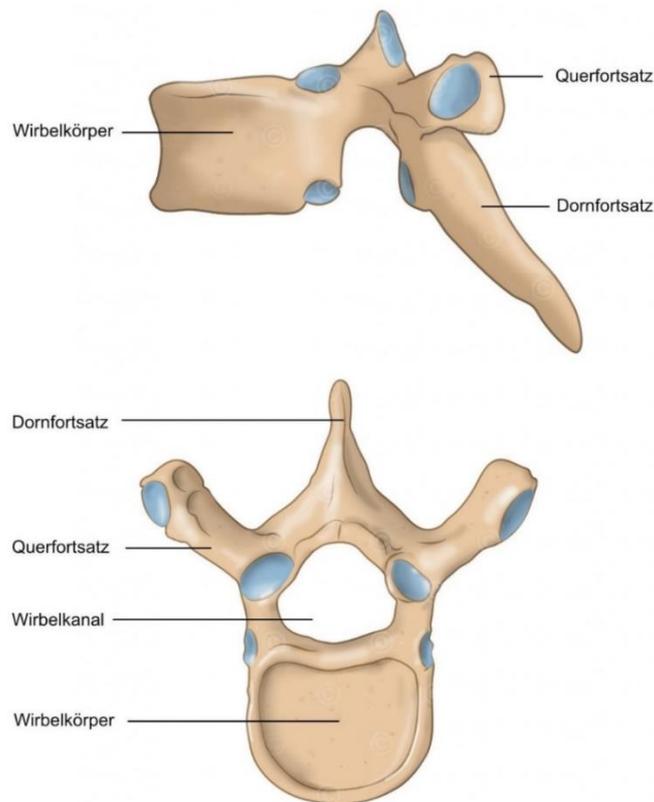
Die einzelnen knöchernen Strukturen der Columna vertebralis sind die Wirbel. Zwar besitzen sie eine einheitliche Grundform, unterscheiden sich jedoch in den jeweiligen Abschnitten der Wirbelsäule in ihrem Aufbau aufgrund der jeweiligen statischen- und dynamischen Anforderungen (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023).

Zwischen den oberen 24 Wirbeln befinden sich Bandscheiben. Dies ermöglicht einerseits die Beweglichkeit der Columna vertebralis und andererseits die Dämpfung von durch Bewegung des Körpers entstehenden Kräfte. Im Gegensatz dazu verfügen die unteren Wirbel (sakral und coxal, im obigen Bild in blauer- und gelber Farbe dargestellt) über keine Bandscheiben. Die sakralen Wirbel sind zum Os sacrum- und die coxalen Wirbel zum Os coccygis fusioniert. Diese Strukturen sind nicht beweglich und dienen der Stabilität. Die einzelnen Wirbel der Columna vertebralis sind untereinander nicht identisch. Sie unterscheiden sich in ihrer Größe und ihren Attributen (Sammer et al. 2023).

Jedoch verfügen alle von ihnen, mit Ausnahme des ersten Halswirbels (Atlas) über die gleichen Grundstrukturen, die in der nachfolgenden Abbildung 2 gezeigt werden.

Mit Ausnahme des Atlas verfügt jeder Wirbel über einen ventral gelegenen Corpus vertebrae (Wirbelkörper) und einem dorsal liegenden Arcus vertebrae (Wirbelbogen), einem Processus spinosus (Dornfortsatz) sowie über zwei Processus transversi (Querfortsätze) sowie vier Processus articulares (Gelenkfortsätze), die in Abbildung 2 gezeigt werden. Corpus vertebrae (Wirbelkörper): Beim Corpus vertebrae handelt es sich um eine anterior liegende, zylinderförmige Struktur (siehe Abbildung 2). Der Arcus vertebrae befindet sich hinter dem Corpus vertebrae. Er besitzt zwei Pediculi arcus vertebrae („Wirbelfüßchen“) und setzt dort am

Corpus vertebrae an. Die Pediculi arcus vertebrae enthalten die Incisura vertebralis superior und die Incisura vertebralis inferior (Wirbelkerben), die das Foramen intervertebralis bilden. Durch Letzteres verlaufen die Spinalnerven aus der Medulla spinalis (Rückenmark). Die Pediculi arcus vertebrae, die Laminae und der Corpus vertebrae jedes Wirbels bilden zusammen das Foramen vertebrale (Wirbelloch). Diese Foramina vertebrales bilden zusammen den Canalis vertebralis, durch den das Medulla spinalis verläuft (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023).



*Aufbau eines Wirbelkörpers - Gelenkflächen in blau*

Abbildung 2: Aufbau eines Wirbelkörpers

Quelle: Medical Graphics (15.05.2024): <https://www.medicalgraphics.de/projekte/anatomische-zeichnung-wirbel/>

Die sieben Processus vertebrae (die Wirbelfortsätze) ragen aus den Arcus vertebrae heraus. Der Processus transversus ist jeweils in laterale Richtung gerichtet, die Richtung des Processus spinosus ragt nach dorsal. Ebenso nach dorsal gerichtet sind Processus articularis superior und

inferior. Die Processi articulares enthalten Gelenkfacetten. Die Wirbelfortsätze dienen als Ansatzpunkte für Bänder und Rückenmuskulatur (Henle 2023; Möller & Müller 2020).

## 2.2.2. Halswirbelsäule

Die Halswirbelsäule besteht aus den Vertebrae cervicales (Halswirbeln), die als C1-C7 bezeichnet werden (siehe Abbildung 1). Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Wirbeln. Die wichtigste Funktion der Halswirbelsäule besteht im Schutz der Medulla spinalis und der Beweglichkeit und Stabilisierung des Schädels (Henle 2023).

Im cervikalen Abschnitt beginnt die Wirbelsäule mit dem Atlas (C1), welcher den ersten cervikalen Wirbel bildet (Henle 2023; Möller & Müller 2020). Eine Schematische Abbildung des Atlaswirbels zeigt die nachfolgende Abbildung:

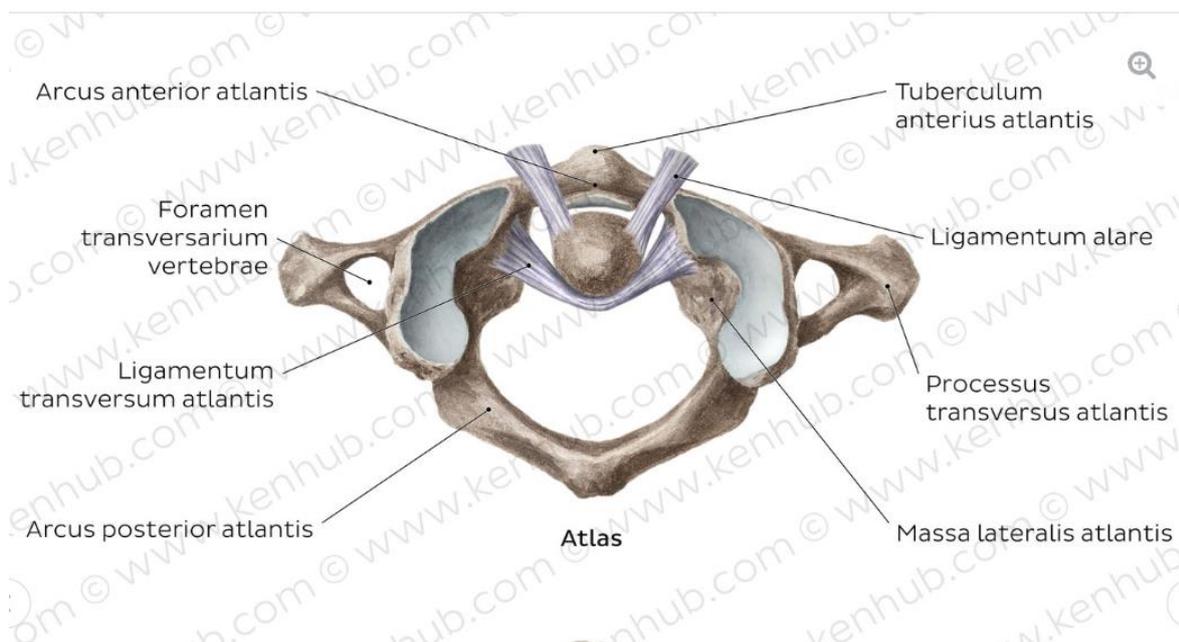


Abbildung 3: Aufbau des Atlaswirbels

Quelle: KenHub (15.05.2024): <https://www.kenhub.com/de/library/anatomie/halswirbelsaule-hws>

Der Atlaswirbel ist ein ringförmiger Wirbel, der über keinen Corpus vertebrae und auch keinen Processus spinosus verfügt. Der Atlas besteht aus dem Arcus anterior atlantis (vorderer Atlasbogen), mit der Fovea dentis (Grube) an der Innenseite und dem Tuberculum anterius atlantis (Knochenhöcker) an der Außenseite, dem Arcus posterior atlantis (hinterer Atlasbogen) mit dem Tuberculum posteriorus atlantis (Dornfortsatz) sowie dem Massae laterales atlantis (knöcherne Verdichtungen) zwischen dem vorderen und hinteren Atlasbogen. Der Atlas verfügt über mehrere unterschiedliche Gelenkflächen (Henle 2023):

- Facies articulares superiores
- Facies articulares inferiores
- Fovea dentis

Die Facies articulares superiores sind mit dem Os occipitale zum Atlantookzipitalgelenk verbunden (Henle 2023).

Der zweite Halswirbel ist die Axis (C2). Diese stellt den Wirbel mit der höchsten Knochenmasse dar. Die untenstehende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des Axiswirbels (Henle 2023):

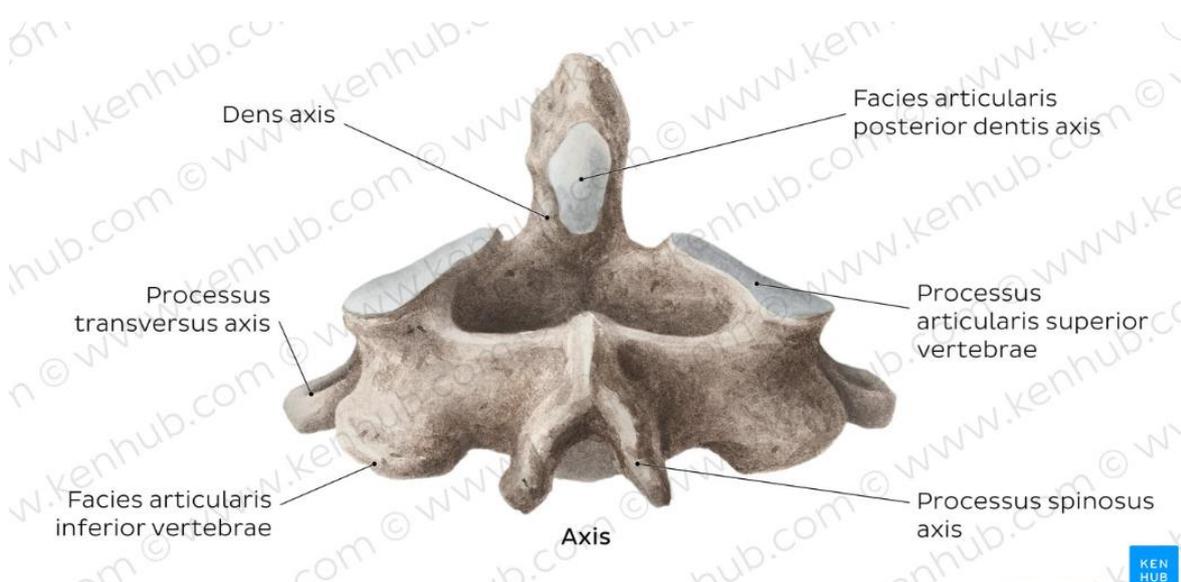


Abbildung 4: Aufbau des Axiswirbels

Quelle: KenHub (15.05.2024): <https://www.kenhub.com/de/library/anatomie/halswirbelsaule-hws>

Das Hauptmerkmal des Axiswirbels ist der Dens axis (Abbildung 4). Dieser ist mit dem Atlas zum Atlantoaxialgelenk verbunden. Wie der Atlaswirbel besitzt auch der Axiswirbel mehrere unterschiedliche Gelenkflächen (Henle 2023):

- Facies articularis anterior
- Facies articularis posterior
- Facies articulares superiores
- Processus articulares inferiores

Die Facies articulares anterior und -posterior befinden sich am Dens, während sich die Facies articulares superiores und -inferiores am Arcus vertebrae befinden (Henle 2023).

Die nächsten fünf Vertebrae cervicales tragen die Nummerierung C3-C7. Der zylinderförmige Corpus vertebrae liegt anterior. An seinen Rändern besitzt er Processus uncinati (Erhebungen), wie in Abbildung 2 dargestellt. Dorsal befindet sich der Arcus vertebrae und die Lamina arcus vertebrae. Corpus vertebrae und Arcus vertebrae bilden gemeinsam das dreieckige Foramen vertebrale. Dorsal des Arcus vertebrae befindet sich der Processus spinosus, der nach dorsal ragt (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023), wie in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

### **2.2.3. Brustwirbelsäule**

Die Brustwirbelsäule besteht aus zwölf Wirbeln, den Vertebrae thoracicae, die als Th1-Th12 nummeriert werden (Abbildung 1). Die Brustwirbelsäule stellt den mittleren Teil der Wirbelsäule dar. Die zwölf Brustwirbel sind mittels Bandscheiben miteinander verbunden und krümmen sich sagittal nach hinten (Brustkyphose). Die Brustwirbelsäule gehört gemeinsam mit den Costae (Rippen) und dem Sternum (Brustbein) den Thorax (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023).

Eine schematische Darstellung eines Brustwirbels zeigt die nachfolgende Grafik:

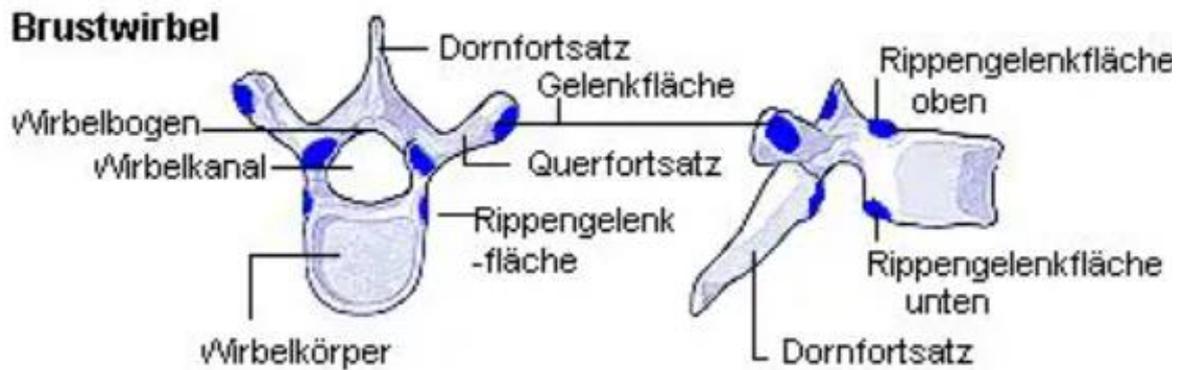


Abbildung 5: Aufbau eines Brustwirbels

Quelle: MedizInfo (15.05.2024): <https://www.medizinfo.de/ruecken/anatomie/wirbelsaeule.shtml>

Die Gelenkflächen der Vertebrae thoracicae artikulieren mit den Rippen. Hierzu dienen mehrere unterschiedliche Gelenkflächen (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023):

- Processus articulares superiores
- Processus articulares inferiores
- Foveae costales superiores
- Foveae costales inferiores am Corpus vertebralis
- Foveae costales processus transversi am Processus transversi

#### 2.2.4. Lendenwirbelsäule

Die Wirbelsäule verfügt über fünf Vertebrae lumbales, die mit L1-L5 nummeriert sind (siehe Abbildung 1). Diese bilden die Lendenwirbelsäule. Auch die Vertebrae lumbales verfügen wie die Vertebrae thoracicae, über einen „klassischen“ Aufbau (Henle 2023). Der Unterschied zwischen den Vertebrae thoracicae und den Vertebrae lumbalis besteht darin, dass die Vertebrae lumbalis sowohl sagittal als auch transversal jeweils über einen geringen Durchmesser verfügen. Statt Processus transversi befinden sich Processus costali auf den Lendenwirbeln. Statt Processus transversi finden sich Processus accessorii auf den Lendenwirbeln. An der

Rückseite der Processus articulares superiores befinden sich Processus mamillares (Henle 2023; Möller & Müller 2020).

Den schematischen Aufbau eines Lendenwirbels zeigt die untenstehende Abbildung:

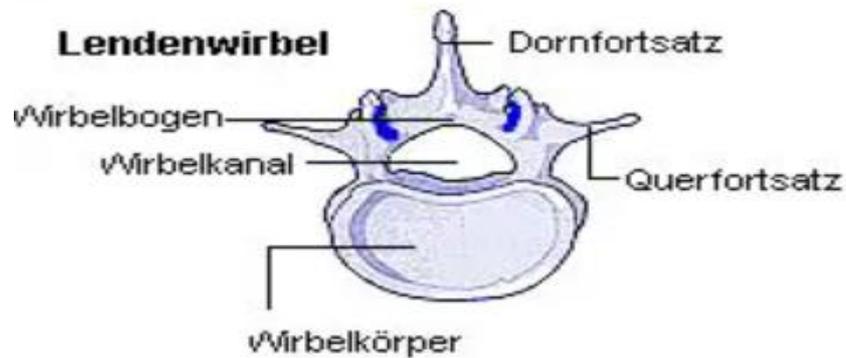


Abbildung 6: Aufbau eines Lendenwirbels

Quelle: MedizInfo (15.05.2024): <https://www.medizinfo.de/ruecken/anatomie/wirbelsaeule.shtml>

Die Lendenwirbel bestehen aus den folgenden Elementen (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023):

- Corpus vertebrae
- Arcus vertebrae
- zwei Processus costales
- Jeweils zwei Processus articulares superior und inferior
- Processus spinosus

### 2.2.5. Os sacrum (Kreuzbein)

Das Os sacrum setzt sich aus den fünf Vertebrae sacrales (S1-S5) zusammen, die in Form eines Dreiecks zum Os sacrum fusioniert sind. Das Os sacrum gehört zum unbeweglichen Teil der Columna vertebralis. Das untenstehende Schaubild zeigt eine schematische Darstellung des Os sacrum und veranschaulicht zugleich seine dreieckige Form:

Das Kreuzbein stellt die Verbindungsstelle zwischen dem Becken und der Wirbelsäule dar (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023). Das obige Bild zeigt die verschmolzenen fünf Vertebrae sacrales zu einem knöchernen Dreieck. Das Kreuzbein besitzt keine Bandscheiben. Wie in der obigen Abbildung gezeigt, besteht das Os sacrum aus den folgenden Elementen (Sammer et al. 2023):

- Basis ossis sacri
- Apex ossis sacri
- Facies pelvica:
- Facies dorsalis
- Pars lateralis

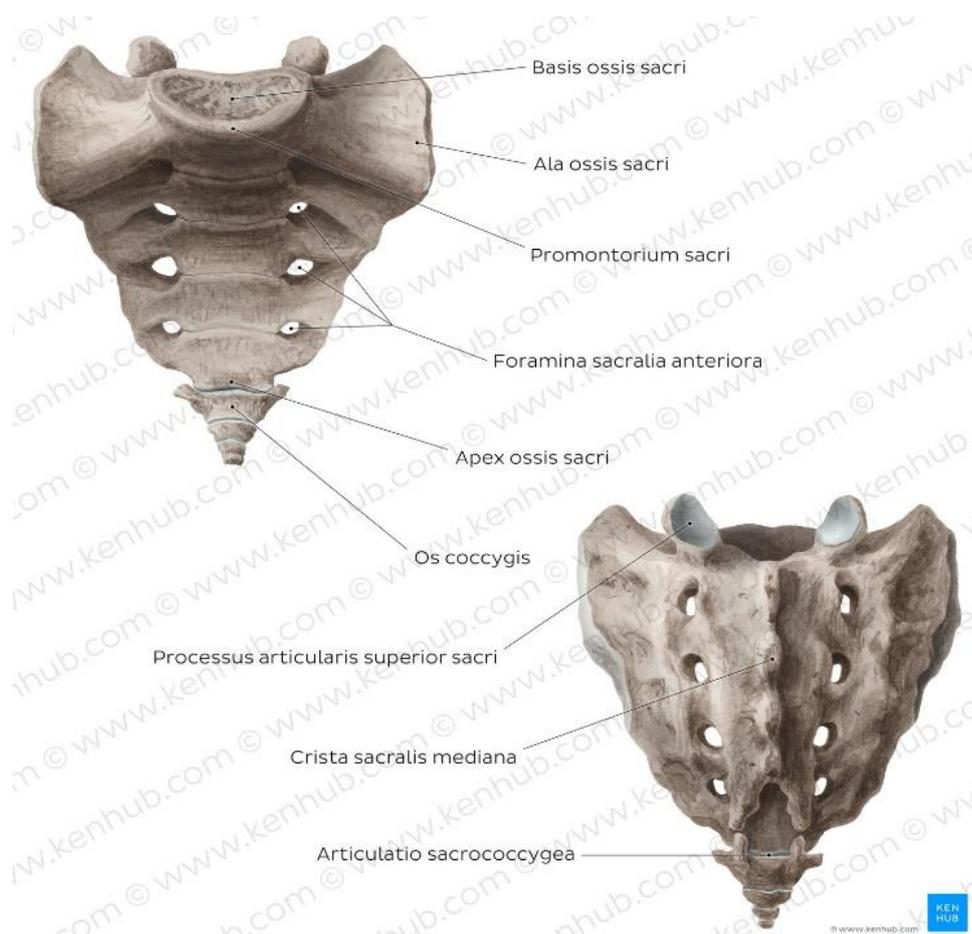


Abbildung 7: Aufbau des Os sacrum

Quelle: KenHub (15.05.2024). <https://www.kenhub.com/de/library/anatomie/kreuzbein-os-sacrum>

Das obige Schaubild zeigt das Kreuzbein mit seinen unterschiedlichen Komponenten.

### 2.2.6. Os coccygis (Steißbein)

Das Os coccygis ist der unterste Teil der Wirbelsäule (in Abbildung 1 in gelber Farbe dargestellt). Es setzt sich aus vier bis fünf Vertebrae coccygeae zusammen, die mittels Synchronosen verbunden und synostosiert sind. (Henle 2023; Möller & Müller 2020; Sammer et al. 2023). Wie das Os sacralis ist auch das Os coccygis ein dreiecksförmiger Knochen aus Wirbeln, zwischen denen keine Bandscheiben liegen. Das Os coccygis befindet sich am

kaudalen Ende der Columna vertebralis. Das Steißbein liegt ungefähr auf der Höhe der Spina ischiadica (Henle 2023; Sammer et al. 2023).

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des Os coccygis (in grüner Farbe hervorgehoben):



Abbildung 8: Schematische Abbildung des Os coccygis

Quelle: KenHub (15.05.2024). <https://www.kenhub.com/de/library/anatomie/steissbein-os-coccygis>

Nachdem der Aufbau und die Anatomie der Wirbelsäule in diesem Kapitel 2 nun ausführlich erläutert wurde, wird im nachfolgenden Kapitel auf die unterschiedlichen Erkrankungen der Wirbelsäule eingegangen. Dieses Kapitel 2 dient als Grundlagenwissen für das kommende Kapitel, in der auf die Problematiken und Erkrankungen eingegangen wird.

## **2.3. Erkrankungen der Wirbelsäule**

Das nachfolgende Kapitel soll die unterschiedlichen Erkrankungen der Wirbelsäule definieren und erklären. Das nachfolgende Kapitel erklärt die Indikationen für Wirbelsäulen-Operationen und beleuchtet die Hintergründe des Kernthemas.

### **2.3.1. Epidemiologie**

Das folgende Kapitel soll nun die häufigsten Erkrankungen der Columna vertebralis aufzeigen und erläutern. Die häufigsten Beschwerden in Deutschland sind Rückenschmerzen sind die häufigsten Beschwerden in Deutschland (von der Lippe et al. 2021). Schmerzen im Rücken und im Nacken sind unter der deutschen Bevölkerung weit verbreitet und ein wesentlicher Faktor, der die Lebensqualität der Betroffenen signifikant eingeschränkt. Die Studie von von der Lippe et al. (2021) ermittelte die Prävalenz von Rücken- und Nackenschmerzen innerhalb der deutschen Bevölkerung anhand einer repräsentativen Stichprobe von mehr als 5.000 Befragten. Dabei gaben 61,3 % der Befragten an, während den letzten zwölf Monaten mindestens einmal unter Rückenschmerzen gelitten zu haben. 45,7 % der Umfrageteilnehmenden hatten während den letzten zwölf Monaten Schmerzen im Nacken. Von der Lippe et al. (2021) kamen außerdem zum Ergebnis, dass Frauen deutlich häufiger betroffen waren als Männer. Bei Frauen fanden von der Lippe et al. (2021) eine Prävalenz von Rückenschmerzen von 66 %. Die Prävalenz von Nackenschmerzen belief sich bei Frauen auf 54,9 %. Bei Männern waren es 56,4 % bei Rückenschmerzen und 36,2 % bei Nackenschmerzen. Eine Gruppierung nach Alter ergab, dass der Altersgipfel bei Rückenschmerzen unter den weiblichen Befragten bei 40-49 Jahren lag, bei Männern belief sich der Altersgipfel für Rückenschmerzen auf 50-59 Jahre. Bei Nackenschmerzen lag der Altersgipfel unter den Frauen ebenfalls bei 40-49 Jahren und unter den Männern bei 40-49 Jahren. Die Prävalenz von Rücken- und Nackenschmerzen unter den Befragten nach Geschlecht und Alter zeigt die nachfolgende Abbildung:

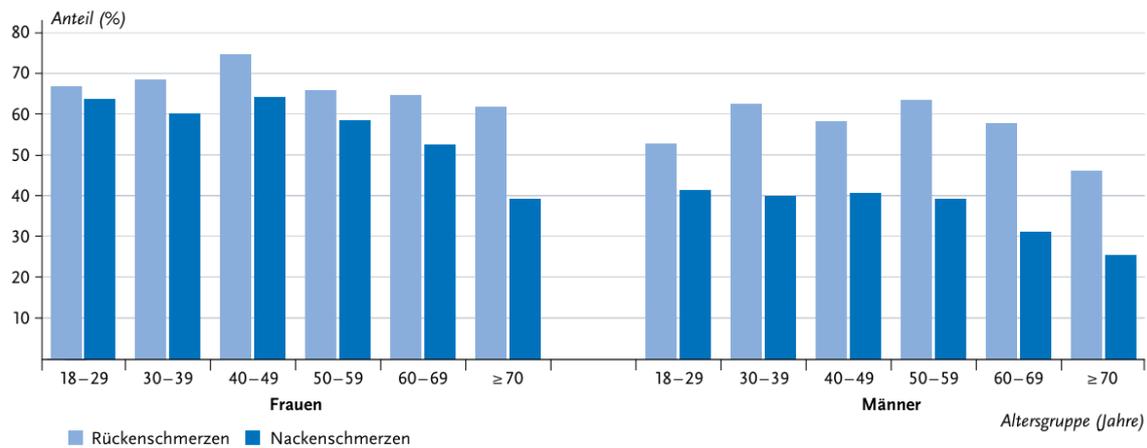


Abbildung 9: Prävalenz von Rücken- und Nackenschmerzen in einer repräsentativen Stichprobe

Quelle: von der Lippe et al. 2021, S. 6

Hiermit stellt sich die Frage, welchen Erkrankungen die Rücken- und Nackenschmerzen zugrunde liegen. Die möglichen Ursachen von Rücken- und Nackenschmerzen sind vielfältig. Ihnen kann eine Vielzahl unterschiedlicher Erkrankungen der Wirbelsäule zugrunde liegen (von der Lippe et al. 2021).

### 2.3.2. Bandscheibenprolaps und Bandscheibenprotrusion

Eines der häufigsten Gründe für Beschwerden an der Columna vertebralis ist der Bandscheibenprolaps (Clarencon et al. 2016; Rashed et al. 2023). Bei einem solchen tritt das gallertartige Gewebe der Bandscheibe durch einen Riss im Faserring eines Wirbels aus. Dies wird in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt:

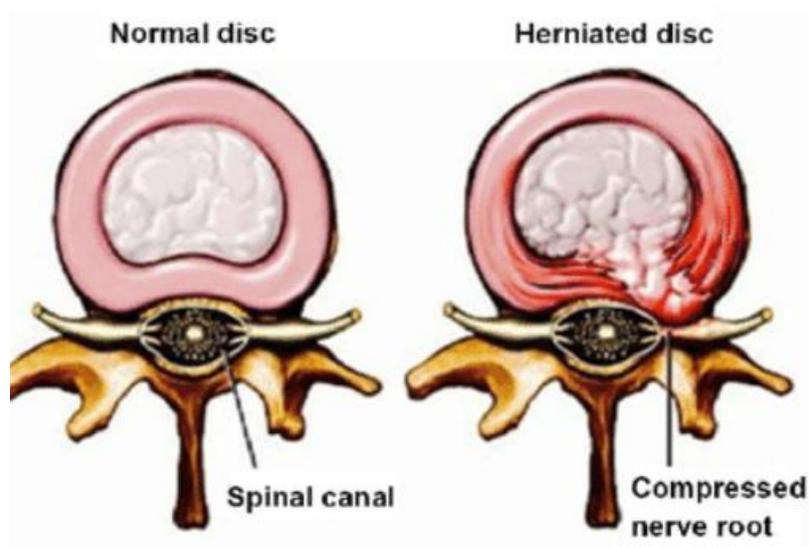


Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Bandscheibenprolapses

Quelle: Singh et al. 2018, o.S.

Beim Bandscheibenprolaps tritt ein Teil des Bandscheibenkerns aus seinem Faserring aus, wie rechts im Bild zu sehen ist. Links im Bild ist ein gesunder Wirbel im Vergleich dazu zu sehen (Singh et al. 2018).

Ursächlich für einen Bandscheibenprolaps sind degenerative Veränderungen an der Columna vertebralis, bzw. am betroffenen Wirbel. Mit zunehmendem Lebensalter nimmt die Elastizität des Bandscheibenringes ab. Dies kann dazu führen, dass der Bandscheibenring aufgrund Belastungen einreißt.

Es kann Bandscheibengewebe aus diesem Riss austreten (wie rechts in der obigen Abbildung zu sehen ist). Infolgedessen kommt es zur Verdrängung des umliegenden Gewebes und zu Reizungen der umliegenden Nervenwurzeln. Betroffene Patientinnen und Patienten können dabei starke Schmerzen empfinden und über Bewegungseinschränkungen klagen (Mayer & Heider 2016).

Neben einem Bandscheibenprolaps kann auch eine Bandscheibenprotrusion ähnliche Symptome auslösen. Dabei kommt es zu einer Komprimierung der Zwischenwirbelscheiben. Im Gegensatz zur Bandscheibenprolaps ist aber die Bandscheibenprotrusion reversibel. Sowohl bei einem Bandscheibenprolaps als auch bei einer Bandscheibenprotrusion leiden die

Patientinnen und Patienten unter Schmerzen, in manchen Fällen unter Sensibilitätsstörungen oder Plegien (Mayer & Heide 2016).

Die Schmerzen jedoch unterscheiden sich allerdings bei Bandscheibenprolaps und Bandscheibenprotrusion. In letzterem Fall strahlen die Schmerzen nicht in die Extremitäten aus, im Gegensatz zu Ersterem. Die Bandscheibenprotrusion führt zu Schmerzen an der betroffenen Stelle, jedoch strahlen diese nicht aus (Mayer & Heider 2016).

Ein Bandscheibenprolaps wird in erster Linie konservativ behandelt. Infrage kommen Bewegungstherapie, medikamentöse Therapie, Wärmeapplikation oder spezielle Entspannungsübungen für die Rückenmuskulatur. Übt der Bandscheibenprolaps allerdings Druck auf die Medulla spinalis aus, ist eine operative Therapie indiziert (Kreiner et al. 2014).

### **2.3.3. Spondylarthrose**

Die Spondylarthrose bezeichnet das Aneinanderreiben der Facettengelenke zwischen den einzelnen Wirbeln. Dies geschieht aufgrund Verschleißes der jeweiligen Wirbel aufgrund hohen Lebensalters und den Belastungen auf die Columna vertebralis im Verlauf des Lebens. Dadurch kommt es zu einem Verschleiß der dämpfenden Knorpelschicht zwischen den Facettengelenken den Wirbeln (Radl et al. 2013).

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Computertomografie (CT)-Aufnahme einer Spondylarthrose:

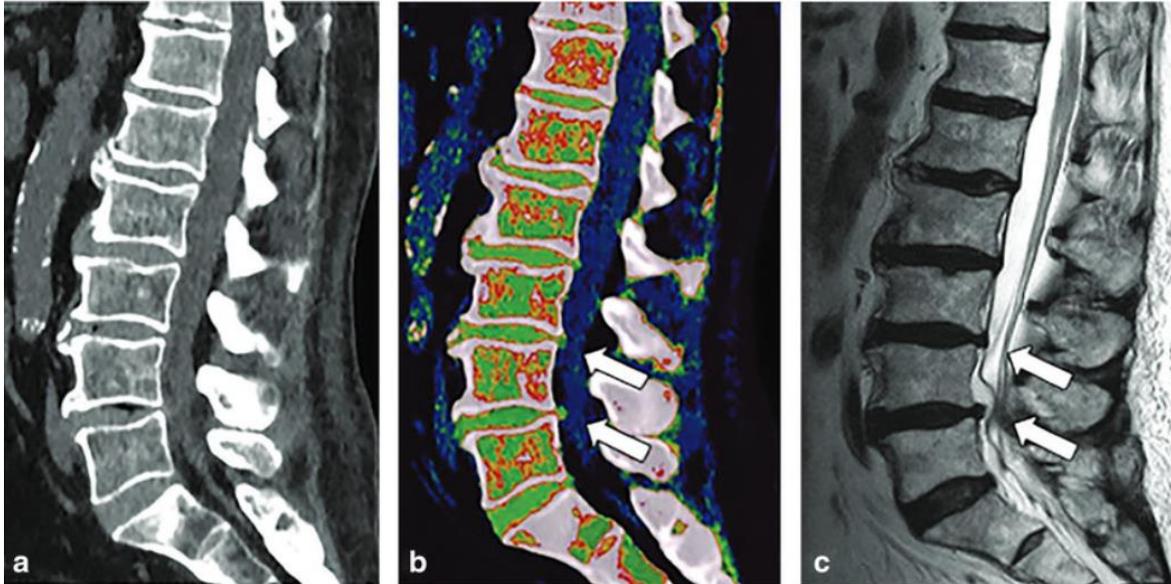


Abbildung 11: CT Bildgebung einer Spondylarthrose

Quelle: D'Angelo et al. 2021, S. 38

Im obigen Bild von D'Angelo et al. (2021, S.38) ist eine dual-Energie CT-Aufnahme einer Spondylarthrose abgebildet. Bild a zeigt die typischen Befunde bei Spondylarthrose mit Vakuum-Phänomen bei Lendenwirbeln 3 und 4 sowie 4 und 5. Bild b zeigt mittels weißen Pfeilen die Stellen mit Spondylarthrose. Die Reduktion der Knorpelschicht ist dabei eindeutig erkennbar. Auch auf Bild c ist die Spondylarthrose mit weißen Pfeilen gekennzeichnet. Der Verlust der Knorpelschicht ist an diesen Stellen (L3/4, L4/5) deutlich zu sehen (D'Angelo et al. 2021).

Personen mit Spondylarthrose leiden besonders morgens nach dem Aufstehen oder in Bewegung unter Rückenschmerzen. Jegliche Belastungen der Wirbelsäule verursacht den Betroffenen Schmerzen. Deshalb erleben die Patientinnen und Patienten auch deutliche Bewegungseinschränkungen (D'Angelo et al. 2021; Radl et al. 2013).

Die Spondylarthrose kann mittels medikamentöser- und Physiotherapie konservativ behandelt werden. Die Indikation für eine chirurgische Therapie wird gestellt, wenn es zu einer Ruptur von Wirbelkörpern gekommen ist oder der betroffene Mensch aufgrund der Spondylarthrose unter Palsien leidet. Ebenso ist eine Operation indiziert, wenn konservative Behandlungsmethoden keinen Erfolg gebracht haben (Ward et al. 2019).

### **2.3.4. Spinalkanalstenose**

Bei einer Spinalkanalstenose ist der Wirbelsäulenkanal verengt. Die Spinalkanalstenose stellt die häufigste Erkrankung der Wirbelsäule bei Menschen über 60 Jahren dar. Ursache dafür sind degenerative Veränderungen an der Columna vertebralis (Richter et al. 2016). Die degenerativen Veränderungen an der Columna vertebralis lösen einen Kompensationsmechanismus aus, nämlich die Verknöcherung der umliegenden Strukturen. Infolgedessen verdicken die Wirbelgelenke, was zur Veränderung der betroffenen Wirbelkörper führt. Dies kann das Risiko für Bandscheibenprotrusionen und Bandscheibenprolapse erhöhen. Durch die obig beschriebenen degenerativen Veränderungen erfolgt eine Verengung des Spinalkanals und dadurch eine Kompression der dort verlaufenden Nerven (Radl et al. 2013).

Die Stenose kommt dadurch zustande, dass verdickte Bänder und knöcherne Strukturen, die aufgrund von Kompensationsmechanismen degenerativer Prozesse in den Spinalkanal hineinragen und diesen verengen. Je nach Lokalisation der Stenose variiert die Symptomatik bei einer Spinalkanalstenose. Betroffene Personen können unter Schmerzen im Nacken oder im Rücken leiden, es kann zu Störungen der Feinmotorik und des Ganges kommen (Radl et al. 2013).

Die Spinalkanalstenose wird in erster Linie konservativ mittels Physiotherapie, Wärmeapplikation, Elektrotherapie, Rückenübungen und Anbringen eines Stützkorsettes behandelt. Auch eine medikamentöse Behandlung zur Schmerzlinderung kann indiziert sein. Bei starkem Druck auf die Nerven ist jedoch eine operative Behandlung indiziert (Zaina et al. 2016).

### **2.3.5. Spondylodiszitis**

Bei der Spondylodiszitis handelt es sich um eine schwere bakterielle Infektion der Wirbelsäule, die meist sehr schmerzhaft verläuft. Hierbei sind die Bandscheiben und die Wirbelkörper betroffen (Adelhofer et al. 2024). Die Spondylodiszitis ist eine besondere Form der

Osteomyelitis. Die Entzündung der Bandscheiben und der angrenzenden Wirbelkörper kommt durch eine Infektion durch Bakterien zustande. Es kommt somit gleichzeitig zu einer Spondylitis und einer Diszitis. Die Infektion äußert sich durch starke Schmerzen im Rücken, Fieber und Bewegungseinschränkung (Adelhofer et al. 2024).

In Deutschland erkranken pro Jahr circa 30 von 250.000 Personen an einer Spondylodiszitis. Die Erkrankung betrifft vor allem ältere Menschen ab 60 Jahren (Lang et al. 2023). Bei rund 60 % der Patientinnen und Patienten betrifft die Erkrankung die Lendenwirbelsäule, bei 30 % die Brustwirbelsäule und bei 10 % die Halswirbelsäule (Adelhofer et al. 2024). Die Infektion betrifft vorwiegend die vorderen Anteile der Wirbelkörper, die Querfortsätze und Wirbelbögen sind bei den meisten Betroffenen nicht entzündet. Ohne Therapie kann es zur Zerstörung der betroffenen Wirbelsäulensegmente mit bleibenden Schäden kommen. Dabei können sich Blockwirbel oder Keilwirbel bilden, was zu einer Deformation der Wirbelsäule führt (Adelhofer et al. 2024).

Behandelt wird die Spondylodiszitis meist konservativ mit Antibiotika. Dafür ist eine mehrwöchige Antibiotikabehandlung nötig. Ferner wird die Wirbelsäule während der Therapie ruhiggestellt. Allerdings ist eine operative Therapie indiziert, wenn die Nerven beteiligt sind und es zu einer Zerstörung der entzündeten Wirbelkörpern kommt. In diesem Fall ist es nötig, die entzündlichen Bereiche operativ zu entfernen und die Wirbelsäule mithilfe von Implantaten zu stabilisieren (Adelhofer et al. 2024).

Verläuft die Infektion schwer oder wird sie nicht behandelt, kann es zu systemischen Komplikationen und bleibenden Schäden an der Wirbelsäule kommen. Denn die Ausbildung von Keilwirbeln und Blockwirbeln führt zu starken Deformationen der Wirbelsäule. Eine Kyphosierung der Wirbelsäule ist die Folge und somit ein Gibbus. Eine systemische Komplikation kann dabei eine Sepsis sein (Adelhofer et al. 2023).

Die Spondylodiszitis kann konservativ behandelt werden, sofern die Symptome nur gering ausgeprägt sind, keine Lähmungen oder Missempfindungen und auch keine entzündlichen Schäden am Wirbelkörper vorliegen (Thavarajasingam et al. 2023; Giordan et al. 2019). Die chirurgische Therapie erfolgt in einer offenen Operation, wobei unterschiedliche Zugangswege zum erkrankten Teil der Wirbelsäule genutzt werden können: dorsal oder ventral, abhängig davon, welcher Teil der Wirbelsäule betroffen ist und wie stark (Giordan et al. 2019).

### 2.3.6. Spondylose

Die Spondylose beschreibt einen Sammelbegriff für Erkrankungen der Wirbelsäule, die verschleißbedingt sind. Im engeren Sinne definiert eine Spondylose die Degeneration der Zwischenwirbelgelenke oder Facettengelenke. Die Lokalisationen der Spondylose können unterschiedlich sein (Theorode 2020). Da Spondylose lediglich ein Sammelbegriff für eine Reihe an Degenerationen an den Zwischenwirbel- und Facettengelenken ist, existieren unterschiedliche Bezeichnungen je nach Lokalisation: zervikale Spondylose, lumbale Spondylose, thorakale Spondylose beispielsweise. Die Spondylose kann zudem sowohl ventral- als auch dorsal auftreten (Theodore 2020).

Ursache für die Spondylose sind Verschleißerscheinungen. In der Regel sind ein hohes Lebensalter und starke Beanspruchung der Wirbelsäule dafür verantwortlich. Doch auch Deformationen, Leistungssport, harte, belastende körperliche Arbeit oder Fehlhaltung können für eine Spondylose verantwortlich sein. Ebenso können Traumata durch äußere Gewalt oder Unfälle eine Spondylose begünstigen. Eine genetische Veranlagung für Spondylose ist bekannt (Mohile et al. 2022). Adipositas stellt ebenfalls einen bedeutenden Risikofaktor für Spondylose dar (Theodore 2020).

Bei einer Spondylose kommt meist zunächst zu Verschleiß- und Abnutzungserscheinungen in der Bandscheibe, was infolgedessen zu einer Chondrosis intervertebralis führt. Die betroffenen Bandscheiben schrumpfen und können deshalb die täglichen Belastungen auf die Wirbelsäule immer schlechter abfedern. Beim Fortschreiten dieses Prozesses greifen die Abnutzungs- und Verschleißerscheinungen auf die Endplatten der betroffenen Wirbelkörper über. Die Folge davon ist eine Osteochondrosis intervertebralis, welche die häufigste Form der Osteochondrose darstellt (Theodore 2020).

Infolgedessen wird die Wirbelsäule immer instabiler. Als Kompensationsmechanismus erfolgt an den betroffenen Stellen ein verstärktes Wachstum an Knochenmaterial. Es bilden sich Spondylophyten aus. Erfolgt dieser Prozess im ventralen Teil der Wirbelsäule, so wird von einer Retrospondylose gesprochen (Williams et al. 2022).

Spondylophyten und Retrospondylophyten können auf Nervenstränge, Blutgefäße und das Rückenmark drücken und infolgedessen Schmerzen und Nervenstörungen verursachen. Eine Folge der Spondylose kann eine Spinalkanalstenose (Kapitel 3.4.) sein (Theodore 2020). Spondylophyten können auch miteinander verwachsen, was zu knöchernen Verbindungen der Wirbelkörper und somit Bewegungseinschränkungen führt. Auch eine Facettengelenksarthrose, Spondylarthrose (Kapitel 3.3) kann als Konsequenz aus der Spondylose entstehen (Theodore 2020).

Die Therapie der Spondylose hängt von dessen Lokalisation ab, bzw. welche Wirbelkörper von der Spondylose betroffen sind. Ebenso erfolgt die Therapieentscheidung basierend auf der Stärke und Ausprägung des Verschleißes und der Symptomatik. Generell wird die Spondylose konservativ behandelt. Hat sich allerdings bereits eine ausgeprägte Spinalkanalstenose manifestiert, ist ein chirurgischer Eingriff indiziert (Lurie & Tomkins-Lane 2016).

### **2.3.7. Spondylolisthese**

Die Spondylolisthese beschreibt die Verschiebung eines Wirbelkörpers inklusive seiner Bogenwurzeln, der Querfortsätze und oberen Gelenkfortsätze (Chan et al. 2019). Umgangssprachlich wird die Spondylolisthese auch als „Wirbelgleiten“ bezeichnet (Schlenzka 2015). Je nach Richtung des Wirbelgleitens werden Anterolisthesis und Retrolisthesis unterschieden (Schlenzka 2015). Die Problematik der Spondylolisthese besteht darin, dass die verschobene Position des jeweiligen Wirbels das Rückenmark einengen- und somit zu einer Spinalkanalstenose (Kapitel 3.4.) führen kann (Chan et al. 2019; Schlenzka 2015).

Die Spinalkanalstenose wurde in Kapitel 3.4. ausführlich beschrieben. Eine solche kann Schmerzen, neurologische Ausfälle, Lähmungen und Einschränkungen der Bewegungsmöglichkeiten verursachen. In schweren Fällen können die betroffenen Menschen auch unter Inkontinenz leiden (Radl et al. 2013; Zaina et al. 2016).

Die nachfolgende Abbildung zeigt ein MRT-Bild einer Spondylolisthese zwischen Lendenwirbel 4 und 5:

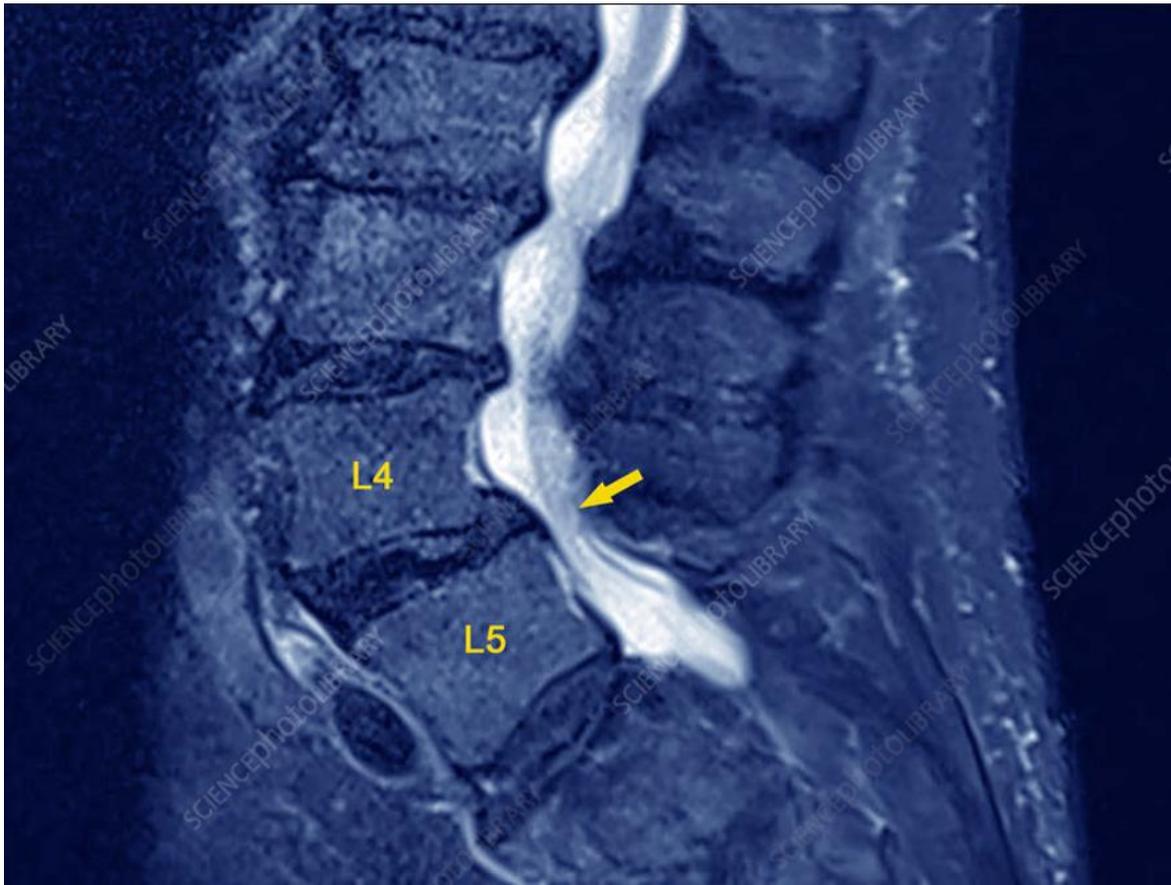


Abbildung 12: MRT-Aufnahme einer Spondylolisthese zwischen L4 und L5

Quelle: Science-Photo.com

Wie in der obigen MRT-Aufnahme gezeigt, werden durch die Hyperflexibilität der Wirbelkörper auch die Facettengelenke belastet, was schlussendlich die Entwicklung einer Spnodylarthrose begünstigen kann. Der fünfte Lendenwirbel (L5 in der obigen Abbildung) ist dabei am häufigsten von einer Spondylolisthese betroffen (Chan et al. 2019; Schlenzka 2015; Zaina et al. 2016). Die Spondylolisthese führt zu einem Verschleiß und Abnutzung der Bandscheiben und der Wirbelkörper. Auch das Risiko eines Bandscheibenvorfalles ist erhöht (Schlenzka 2015).

Die Spondylolisthese wird generell konservativ behandelt (Schlenzka 2015; Chan et al. 2019; Mohile et al. 2022; Schulte et al. 2016).

### 2.3.8. Osteoporose

Die Osteoporose beschreibt eine Abnahme der Knochendichte. Umgangssprachlich wird die Osteoporose deshalb „Knochenschwund“ genannt. Osteoporose manifestiert sich häufig an der Wirbelsäule. Infolge der osteoporotischen Veränderungen werden die betroffenen Knochen brüchig und spröde (Lane 2006), wie die nachfolgende Grafik schematisch zeigt:

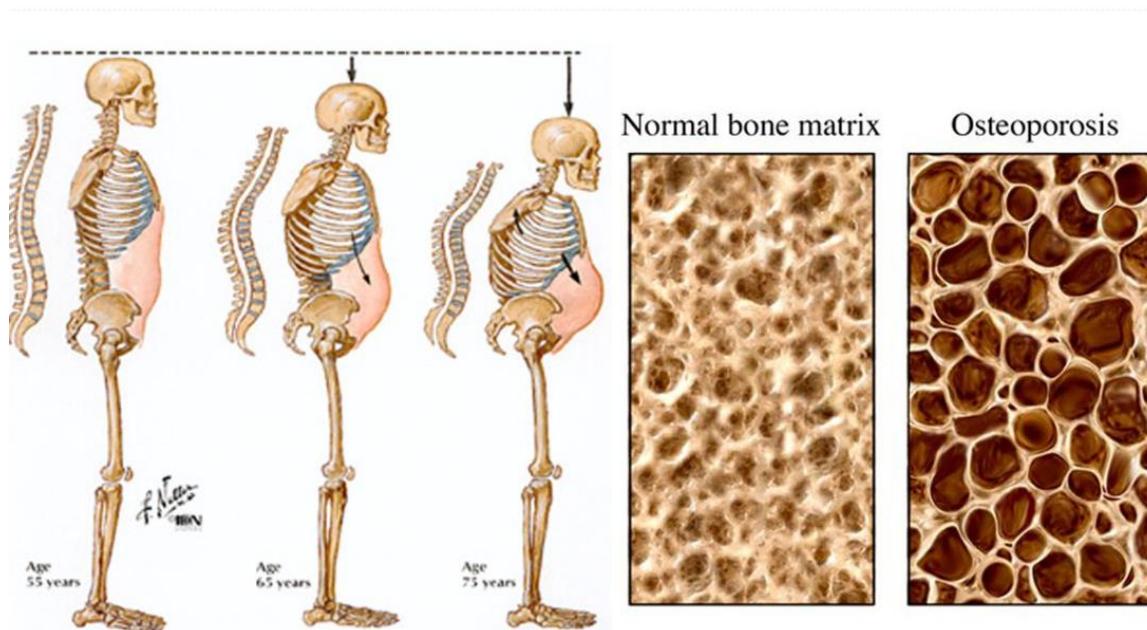


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Osteoporose an der Wirbelsäule

Quelle: Health Jade 2017

In der obigen Abbildung werden die Konsequenzen einer Osteoporose an der Wirbelsäule schematisch dargestellt. Links im Bild ist ein Modell zu sehen, welches die Entwicklung einer unbehandelten Osteoporose an der Wirbelsäule mit der Zeit zeigt. Durch den Abbau von Knochenmaterial, das rechts im Bild schematisch dargestellt wird, nimmt die Größe der Wirbelkörper ab. Dadurch schrumpft auch die Höhe der Wirbelsäule und somit die Körpergröße. Ferner verkrümmt sich die Wirbelsäule aufgrund der Abnahme von Knochenmaterial (rechts im Bild).

Die Wirbelsäule neigt in diesem Fall zu Wirbelkörperfrakturen. Ferner nimmt bei Osteoporose der Wirbelsäule die Körpergröße der betroffenen Menschen ab, denn die Wirbelkörper verlieren nicht nur an Stabilität, sondern auch an Höhe. Osteoporose an der Wirbelsäule kann auch Schmerzen verursachen. Sie tritt vor allem im höheren Lebensalter auf, selten betrifft sie auch junge Menschen (Lane 2006).

Bei der Osteoporose ist die Balance zwischen Knochenaufbau und Knochenabbau gestört. Es überwiegen die Knochenabbauprozesse, gleichzeitig kann nicht mehr neues Knochenmaterial gebildet werden. Infolgedessen nimmt die Knochendichte signifikant ab (siehe obige Abbildung rechts im Bild). Der Osteoporose können unterschiedliche Ursachen zugrunde liegen: Sie kann eine Folge anderer Erkrankungen oder der Einnahme bestimmter Medikamente sein, sie kann auch als Folge des Östrogenmangels bei Frauen in den Wechseljahren auftreten. Eine weitere Ursache der Osteoporose kann auch ein hohes Lebensalter und entsprechende Verlangsamung der Knochenaufbauprozesse sein (Lane 2006; Bartl & Bartl 2011).

Die Abnahme der Körpergröße, wie sie in der obigen Abbildung schematisch gezeigt wird, ist ein weiteres deutliches Zeichen. Der Rücken der Betroffenen verkrümmt sich, es manifestiert sich eine Kyphose, in der Lendenwirbelsäule kommt es zur Lordose (Armas & Recker 2012; Bartl & Bartl 2011; Lane 2006; Munoz et al. 2020).

Konservativ wird die Osteoporose an der Wirbelsäule mittels Bewegungstherapie behandelt. Häufig hilft den Betroffenen schon eine ausreichende körperliche Betätigung im Alltag, allerdings sollte dabei darauf geachtet werden, das Risiko für Wirbelkörperbrüche minimal zu halten (Bartl & Bartl 2011; Munoz et al. 2020).

Bringen konservative Methoden nicht oder nur unzureichend den gewünschten Therapieerfolg, ist eine Operation indiziert (Imamudeen et al. 2022; Munoz et al. 2020). Die chirurgische Therapie hat zum Ziel, Schmerzfreiheit zu erreichen sowie osteoporotische Wirbelkörperfrakturen zu stabilisieren (Bartl & Bartl 2011; Imamudeen et al. 2022; Munoz et al. 2020).

## 2.4. Forschungsfragen und Ziele der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit den Risikofaktoren und etwaigen Prädiktoren für post-operative Infektionen nach einem chirurgischen Eingriff an der Wirbelsäule. Im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen daher die Einflussfaktoren auf das Risiko, den Verlauf und der klinische Outcome nach einem spinalen chirurgischen Eingriff, jeglicher Operationstechnik. Es soll zudem die Operationstechnik mit dem höchsten Risiko für post-operative Infektionen herausgearbeitet werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden daher die folgenden Forschungsfragen gestellt:

- 1) Bei welcher spinalen Operationstechnik besteht die höchste Gefahr für post-operative Infektionen?
- 2) Welche Faktoren beeinflussen das Risiko, den Verlauf und der klinische Outcome post-operativer Infektionen nach einem spinalen chirurgischen Eingriff?
- 3) Gibt es prädiktive Faktoren für das Risiko post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen?
- 4) Gibt es ein standardisiertes Verfahren zum Management von post-operativen Wundinfektionen nach spinalen chirurgischen Eingriffen?

Bislang variieren die Infektionsraten nach spinalen chirurgischen Eingriffen in der Literatur stark (Tan et al 2020; Algamy et al. 2023; Kang et al. 2010; Lazennec et al. 2011; Kong et al. 2017). In der Literatur wird bei spinalen chirurgischen Eingriffen eine höhere Inzidenz von post-operativen nosomialen- und ambulanten Wundinfektionen beschrieben als bei allen anderen orthopädischen Eingriffen (Kang et al. 2010; Lazennec et al. 2011; Tan et al. 2020; Algamy et al. 2023). Hierbei stellt sich die Frage, weshalb dem so ist und welche Faktoren zu höheren Infektionsraten nach Operationen an der Wirbelsäule verglichen mit anderen orthopädischen Eingriffen führen.

Infolgedessen sollen die folgenden Hypothesen aufgestellt werden:

1) Es existieren klare Risikofaktoren für post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-Operation

2) Das Risiko für postoperative Infektionen hängt von der Operationstechnik ab

3) Es existieren prädiktive Faktoren sowohl hinsichtlich Allgemeinzustand des Patienten oder der Patientin als auch bezüglich Operationstechnik

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die praxisrelevanten Risikofaktoren für post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-Operationen zu identifizieren und deren Evidenz darzustellen. Es soll aufgezeigt werden, auf welche Risikofaktoren Wirbelsäulenchirurginnen und -Chirurgen achten sollen, um künftig das Risiko für post-operative Infektionen so weit es geht, zu senken. Ebenso soll die aktuelle Evidenz im Umgang mit bereits eingetretenen Infektionen zusammengefasst und kritisch diskutiert werden.

## **3. Material und Methoden**

### **3.1. Methoden**

#### **3.1.1. Datensammlung**

Um die obige Fragestellung zu klären sowie die obig beschriebenen Forschungsfragen zu beantworten, wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Hierzu wurde aktuelle wissenschaftliche- und medizinische Literatur in den Datenbanken Pubmed, Medline, Cochrane, Science Direct und Embase gesucht. Ziel der Arbeit war eine retrospektive Analyse der Einflussfaktoren seitens der Patientinnen und Patienten sowie der Chirurgeninnen und Chirurgen auf das Infektionsrisiko nach spinalen chirurgischen Eingriffen. Anhand der in der vorliegenden Arbeit recherchierten und analysierten Faktoren soll der klinische Outcome und das Infektionsrisiko nach Wirbelsäulen-Operationen für bestimmte Patienten-Kohorten abgeschätzt werden können.

Infolgedessen wurde nach entsprechender wissenschaftlicher- und medizinischer Literatur in Deutscher- oder Englischer Sprache gesucht. Dies erfolgte mittels der folgenden Such-Wörter: „spinal surgery post-operative infections“, „post-operative spinal infections“, „spinal surgery risk of infections“, „spinal surgery wound infections“, „management of wound infections after spinal surgery“, „risk factors of wound infections after spinal surgery“, „spinal surgery infections“, „spinal surgery post operative outcomes“, „Wirbelsäulen-Chirurgie post-operative Infektionen“, „Management post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-OP“, „Post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-OP“, „Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen“.

Im Rahmen der vorliegenden Datensammlung wurde – um die Wissenschaftlichkeit der vorliegenden Arbeit zu wahren – ausschließlich nach peer-reviewed Artikeln in Deutscher- oder englischen Sprache gesucht. Fachbücher wurden lediglich für den Theorieteil der vorliegenden Arbeit verwendet. Um die Aktualität der Erkenntnisse und der Ergebnisse zu wahren, wurde ausschließlich nach Literatur ab dem Jahr 2015 gesucht. Artikel, die vor dem Jahr 2015 publiziert wurden, wurden lediglich für den Theorieteil oder aus historischen Gründen verwendet, um frühere Erkenntnisse darzustellen.

### 3.1.2. Ein- und Ausschlusskriterien

Als Ein- und Ausschlusskriterien w8rden die folgenden Faktoren definiert, die in der nachfolgenden Tabelle 8bersichtlich dargestellt sind:

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Randomisierte, Placebo-kontrollierte Studien</li> <li>• Randomisierte, kontrollierte Studien</li> <li>• Meta-Analysen</li> <li>• Kontrollierte Kohortenstudien</li> <li>• Systematische Literaturrecherchen</li> <li>• Prospektive Studien</li> <li>• Retrospektive Studien</li> <li>• Pilotstudien</li> <li>• Studien mit mehr als zehn Patientinnen und Patienten</li> <li>• Studien, die im Jahr 2015 oder zu einem sp8teren Zeitpunkt publiziert worden sind</li> <li>• Peer-reviewed Studien</li> <li>• Studien in Deutscher- oder Englischer Sprache</li> <li>• Medizinische Leitlinien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Narrative Literaturreviews</li> <li>• Fachb8cher oder Abschnitte aus Fachb8chern</li> <li>• Kohortenstudien mit weniger als zehn Patientinnen und Patienten</li> <li>• Editorials</li> <li>• Artikel, die keinen Peer-review-Prozess durchlaufen haben</li> <li>• Artikel in anderen Sprachen als Deutsch oder Englisch</li> <li>• Artikel f8r das Laienpublikum, zum Beispiel f8r Patientinnen und Patienten</li> <li>• Brosch8ren</li> <li>• Kongressberichte</li> <li>• B8cher f8r Patientinnen und Patienten</li> <li>• Einzelne Expertenmeinungen</li> <li>• Experteninterviews</li> </ul>

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien f8r die Literaturrecherche

Quelle: eigene Darstellung

Ziel der vorliegenden Datenrecherche und -analyse war es, die höchste Evidenz für die Beantwortung der Forschungsfragen zu finden. Daher wurden Studien mit dem höchsten Evidenzgraden bevorzugt mit in die vorliegenden Ergebnisse genommen. Studien und Artikel mit niedrigem Evidenzgrad (4-5) wurden aus der vorliegenden Literaturrecherche ausgeschlossen. Idealerweise wurden Artikel mit Evidenzgrad 1 und 2 in die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit integriert. Hierbei wurde nicht nur auf den Evidenzgrad, sondern auch auf die Aktualität geachtet. Die aktuellsten Studien wurden dabei bevorzugt in die vorliegende Arbeit eingeschlossen.

### **3.1.3. Literaturselektion und -analyse**

Die Selektion und Analyse der Literatur erfolgten nach dem PRISMA-Schema. Die Abkürzung PRISMA steht für Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses. Das PRISMA-Schema stellt dabei eines der bekanntesten Checklisten und Methoden zur Erstellung einer systematischen Literaturarbeit oder einer Meta-Analyse dar. Auf Deutsch bedeutet die obig genannte englische Definition von PRISMA: bevorzugte Berichtselemente für systematische Reviews und Meta-Analysen. Das PRISMA-Schema wurde im Jahr 2009 konzipiert und etabliert. Es umfasst ein evidenzbasiertes Mindestkontingent an wissenschaftlichen- und medizinischen Forschungs-Artikeln im Original für die Berichterstattung von systematischen Literaturreviews und Meta-Analysen (Cochrane Deutschland 2017). Das PRISMA-Schema wird in der Regel für die Einreichung wissenschaftlicher Review-Papers und Meta-Analysen verlangt. Es besteht sowohl aus einem klar definierten Flussdiagramm als auch aus einer Checkliste (Moher et al. 2009; Cochrane Deutschland 2017).

### **3.1.4. PRISMA-Schema**

Der PRISMA-Anforderungskatalog unterteilt die Inhalte der Arbeit sechs Abschnitte (Moher et al. 2009):

- 1) Titel
- 2) Zusammenfassung/Abstract
- 3) Einleitung

- 4) Methodik
- 5) Ergebnisse
- 6) Diskussion

Eine Checkliste mit mehreren Unterpunkten gibt die Struktur vor, welche das Systematisieren der eigenen Literatur-Recherche und -Analyse erleichtert und strukturiert. Dies ist die so genannte PRISMA-Checklist. Anhand der PRISMA-Checkliste sowie den vorliegenden Ein- und Ausschlusskriterien werden die durch die Recherche erhaltenen Daten selektiert und analysiert. Ziel der vorliegenden systematischen Literaturrecherche und -analyse ist es, 25-30 relevante Studien mit hoher Evidenz, welche die vorliegenden Forschungsfragen beantworten, zu finden und zu analysieren.

Hierbei wurde nach einem klaren Schema vorgegangen, welche in einem Flussdiagramm dargestellt werden kann und in der untenstehenden Abbildung gezeigt wird. Dabei erfolgten die unterschiedlichen Phasen der Literatur-Recherche, -Analyse und -Selektion in unterschiedlichen Phasen (Cochrane Deutschland 2017):

- 1) Identifikation
- 2) Vorauswahl, inklusive erste Einschlüsse und Ausschlüsse
- 3) Eignung: die in der Vorauswahl eingeschlossene Literatur wird erneut geprüft
- 4) Einschluss: endgültiger Einschluss

Im Rahmen des ersten Schrittes, 1) der Identifikation, erfolgte die Suche anhand der obig beschriebenen Suchwörter und die Vor-Selektion der Literatur nach Datum der Publikation sowie Titel. Als erster Schritt wurden die in den obig erwähnten Datenbanken gefundenen Treffer automatisch nach Erscheinungsdatum und Relevanz sortiert. Anhand des Erscheinungsdatums konnte schon eine erste Selektion anhand der vorliegenden Ein- und Ausschlusskriterien erfolgen. Im Verlauf dieses ersten Schrittes wurden die Titel der gefundenen Artikel gelesen und anhand der vorliegenden Forschungsfragen sowie den Ein- und Ausschlusskriterien kritisch beurteilt. Hierbei erfolgte nun die erste Selektion der Literatur.

Artikel, deren Titel für die vorliegende Arbeit, dessen Kernthema, den Ein- und Ausschlusskriterien sowie der Forschungsfragen relevant erschienen, wurden in die engere Auswahl genommen und wurden in das Abstract-Screening hineingenommen.

Damit folgte der zweite Schritt: 2) die Vorauswahl, was bedeutete: Das Screening der Abstracts der jeweiligen Studien. Von diesen Studien wurden die Abstracts, die Kurzzusammenfassungen, gelesen und wiederum kritisch hinsichtlich Kernthema, Forschungsfragen sowie Ein- und Ausschlusskriterien beurteilt. Ebenso wurden die Designs der jeweiligen Studien sowie deren Evidenzgrade mitberücksichtigt. Anhand der Forschungsfragen, der Designs, der Evidenzgrade sowie der Ein- und Ausschlusskriterien wurden diese Studien nun entweder verworfen (ausgeschlossen) oder in die nähere Auswahl, des Volltextscreenings, eingeschlossen.

Der dritte Schritt, 3) die Eignung, beinhaltete das Lesen der jeweiligen in der Vorauswahl selektierten Artikel, im Volltext. Auch in diesem dritten Schritt, der Prüfung der Eignung für die vorliegende Arbeit, wurden die Artikel hinsichtlich Forschungsfragen, Evidenz, Design, Evidenzgrad sowie Ein- und Ausschlusskriterien kritisch beurteilt. Anhand der geschilderten Kriterien wurde die jeweilige Literatur nun in Schritt 4), dem Einschluss, nun endgültig ein- oder ausgeschlossen.

Für die vorliegende Arbeit konnten 30 aktuelle, peer-reviewed Studien auf diese Art und Weise selektiert werden. Im Rahmen des PRISMA-Flowcharts, des Flussdiagrammes, wurden die Anzahl der Studien, welche in den jeweiligen Schritten ein- oder ausgeschlossen wird, dokumentiert.

Nachfolgend wird dargestellt, wie viele Studien aus den Datenbanken in den jeweiligen Schritten ein- oder ausgeschlossen wurden, ebenso erfolgt eine kurze Begründung, weshalb eine bestimmte Anzahl an Studien ein- oder ausgeschlossen wurde. Die PRISMA-Flowchart, anhand derer im Rahmen der vorliegenden Literatur-Arbeit vorgegangen wird, ist untenstehend dargestellt:

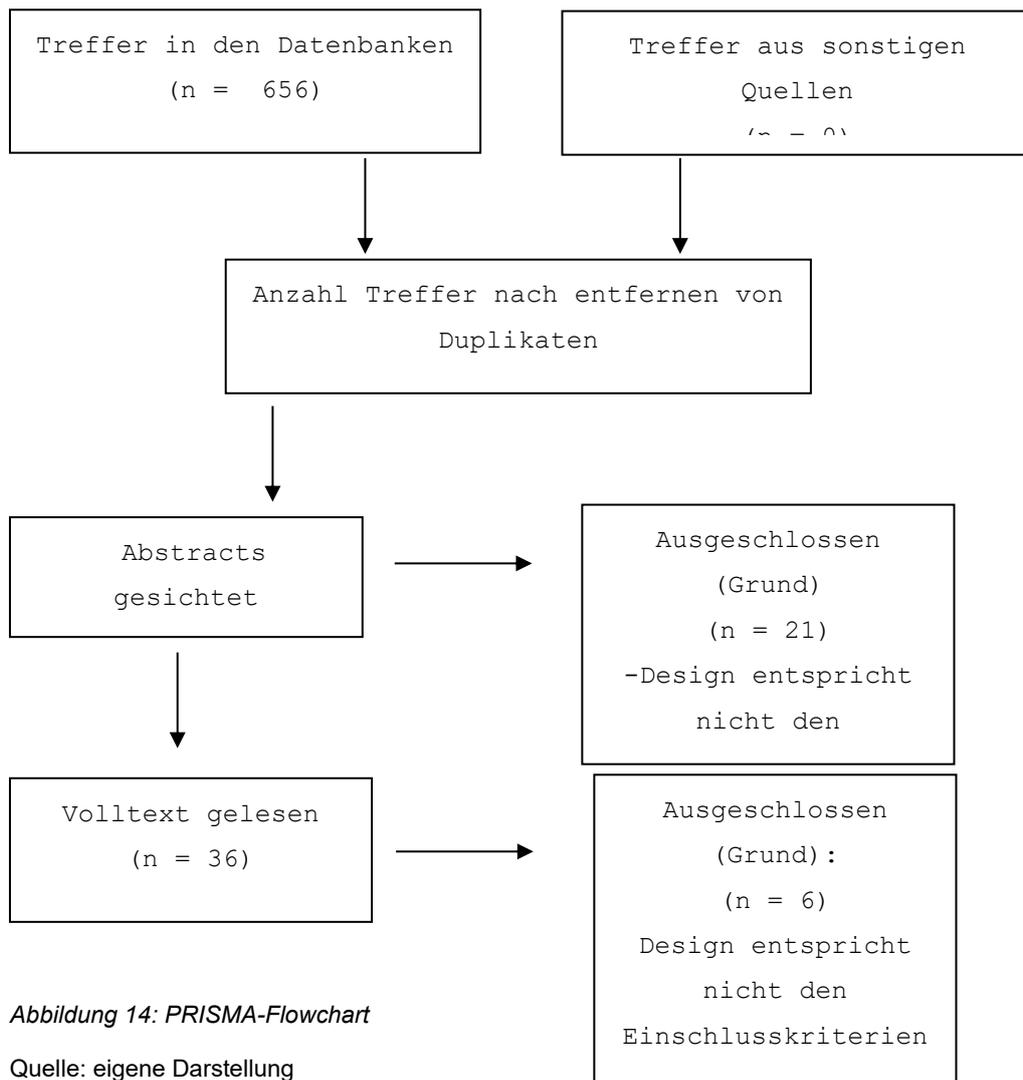


Abbildung 14: PRISMA-Flowchart

Quelle: eigene Darstellung

Der Prozess der Literatur-Recherche, Literatur-Selektion und Literatur-Analyse wird anhand der obigen Flow-Chart nach PRISMA grafisch dargestellt.

### 3.2. Material

Mithilfe der obig beschriebenen Methodik wurden die folgenden relevanten Studien gefunden, die in der nachfolgenden Tabelle übersichtlich dargestellt sind:

Autor/Innen	Jahr	Titel	Journal	Design	Ergebnisse
Algarny et al.	2023	Postoperative Surgical Site Infections in Spine Surgery: Can the Duration of Surgery Predict the Pathogen Spectrum?	In vivo	Retrospektive Kohortenstudie	Signifikanter Zusammenhang zwischen Operationsdauer und Risiko für post-operative Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule
Bassani et al.	2021	New Trends in Spinal Surgery: Less Invasive Anatomical Approach to the Spine. The Advantages of the Anterior Approach in Lumbar Spinal Fusion	Turk Neurosurg	Systematisches Literaturreview	Das Risiko für post-operative Infektionen kann mittels anteriorem Zugang verringert werden.
Berman et al.	2022	Is the Use of Intraoperative 3D Navigation for Thoracolumbar Spine Surgery a Risk Factor for Post-Operative Infection?	J Clin Med	Retrospektive Kohortenstudie	Kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Einbringen von Pedikelschrauben und post-operativen Infektionen

Blood et al.	2017	Risk and Protective Factors Associated with Surgical Infections among Spine Patients	Surg Infect	Systematisches Literaturreview	Adipositas, Diabetes mellitus, Nikotin- und Alkoholabusus sowie ein schwaches Immunsystem wurden als mögliche Risikofaktoren für post-operative Infektionen identifiziert. Ebenso konnten die Verabreichung von Steroiden sowie das Einsetzen von Implantaten als mögliche Risikofaktoren gefunden werden.
Buser et al.	2022	Lumbar surgical drains do not increase the risk of infections in patients undergoing spine surgery		Retrospektive Kohortenstudie	Drainage und deren Lokalisation ist kein signifikanter Risikofaktor für post-operative Infektionen.
Chan et al.	2023	Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion for grade I lumbar spondylolisthesis: 5-year follow-up from the prospective multicenter Quality Outcomes Database registry	Neurosurg. Focus	Retrospektive Kohortenstudie	Minimal-invasive und offene Operation hinsichtlich zahlreicher Parameter und Outcomes gleichwertig. Der Vorteil der minimal-invasiven Technik liegt im geringeren Blutverlust.

Fei et al.	2016	Risk Factors for Surgical Site Infection After Spinal Surgery: A Meta-Analysis	World Neurosurg.	Meta-Analyse	Risikofaktoren für postoperative Infektionen: Operationsdauer länger als drei Stunden, Diabetes, Adipositas und posteriorer Operationszugang
Fiani et al.	2020	Neurosurgical Post-Operative Wound Infections: A retrospective study on surgical site infections for quality improvement	Int. Wound. J.	Komparative Kohortenstudie	Risikofaktoren für postoperative Wundinfektionen: Nikotinabusus, Drogenabusus, Adipositas, Diabetes mellitus
Franck et al.	2018	Local muscle flaps minimize post-operative wound morbidity in patients with neoplastic disease of the spine	Clinical neurology and neurosurgery,	Retrospektive Kohortenstudie	Lappenplastik geht mit einem niedrigen Risiko für postoperative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-OPs bei onkologischen Patientinnen und Patienten einher. Entscheidender Risikofaktor für postoperative Wundinfektionen: Adipositas.
Goldstein et al.	2016	Perioperative outcomes and adverse events of minimally invasive versus open posterior lumbar fusion:	J. Neurosurg. Spine	Systematisches Review	Keine Evidenz für Unterschiede zwischen offener- und minimal-invasiver

		meta-analysis and systematic review			Operationstechniken hinsichtlich post-operative Wundinfektionen. Die Evidenz war allerdings von niedriger Qualität und somit schwach.
Heemskerk et al.	2021	Long-term clinical outcome of minimally invasive versus open single-level transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative lumbar diseases: a meta-analysis	Spine	Meta-Analyse	Keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich klinisches Outcome zwischen offener- und minimal-invasiver Operationstechnik nach zwei Jahren Follow-up.
Horii et al.	2018	Does intrawound vancomycin powder reduce surgical site infection after posterior instrumented spinal surgery? A propensity score-matched analysis	Spine	Retrospektive Kohortenstudie	Kein signifikanter Unterschied in den Infektions-Inzidenzen zwischen der Vancomycin-Kohorte und der Kontrollgruppe.
Kulkarni et al.	2016	Does Minimally Invasive Spine Surgery Minimize Surgical Site Infections?	Asian Spine J.	Retrospektive Kohortenstudie	Signifikant niedrigeres Risiko für post-operative Wundinfektionen bei minimal-invasiven Eingriffen, verglichen mit offenen Operationen.
Lemans et al.	2019	The efficacy of intrawound vancomycin powder and	Spine	Retrospektive Kohortenstudie	Vancomycin reduzierte die Inzidenz post-operativer

		povidone-iodine irrigation to prevent surgical site infections in complex instrumented spine surgery				Wundinfektionen signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe. Vancomycin kann möglicherweise präventiv gegen post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-OPs eingesetzt werden.
Mahan et al.	2023	Full-endoscopic spine surgery diminishes surgical site infections - a propensity score-matched analysis	Spine J.	Retrospektive Kohortenstudie		Signifikant niedrigere Raten an post-operativen Wundinfektionen bei minimal-invasiven Operationen, verglichen mit offenen Eingriffen
Mueller et al.	2019	The Difference in Surgical Site Infection Rates Between Open and Minimally Invasive Spine Surgery for Degenerative Lumbar Pathology: A Retrospective Single Center Experience of 1442 Cases	Operative neurosurgery (Hagerstown, Md.),	Retrospektive, komparative Studie		Signifikant niedrigere Raten an post-operativen Wundinfektionen bei minimal-invasiven Dekompressionen und Wirbelkörperfusionen an der Lendenwirbelsäule verglichen mit den entsprechenden offenen Eingriffen.
Mummaneni et al.	2017	Minimally invasive versus open fusion for Grade I	Neurosurg. Focus	Komparative Kohortenstudie		Offene- und minimal-invasive Operationstechnik

		degenerative lumbar spondylolisthesis: analysis of the Quality Outcomes Database			gleichwertig. Lediglich signifikanter Vorteil der minimal-invasiven Technik hinsichtlich Schmerzen (numerische Schmerzskala).
Muthu et al.	2020	Risk-benefit analysis of wound drain usage in spine surgery: a systematic review and meta-analysis with evidence summary	Eur. Spine J.	Systematisches Review	Keine Evidenz für die post-operative Wunddrainage hinsichtlich Prophylaxe post-operativer Wundinfektionen. Es mangelt bislang an hochqualitativen Studien. Weitere Forschungen sind notwendig.
Pesenti et al.	2018	What are the risk factors for surgical site infection after spinal fusion? A meta-analysis	Eur. Spine J.	Meta-Analyse	Risikofaktoren: Adipositas, Diabetes, Osteotomie, Dauer der Operation
Philipps et al.	2020	Preoperative Versus Extended Postoperative Antimicrobial Prophylaxis of Surgical Site Infection During Spinal Surgery: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis	Adv. Ther.	Meta-Analyse	Keine Evidenz für eine verlängerte post-operative Gabe von Antibiotika von mehr als 24 Stunden. Eine verlängerte Antibiotika-Applikation konnte die Wundinfektions-Rate nach lumbalen

						Wirbelsäuleneingriffen nicht signifikant senken.
Pivazyan et al.	2023	Utility of prolonged prophylactic systemic antibiotics for wound drains in posterior spine surgery: a systematic review and meta-analysis	J Neurosurg. Spine	Meta-Analyse		Keine Evidenz für eine verlängerte post-operative Applikation zur Prävention post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäuleneingriffen.
Rickert et al.	2016	Management of postoperative wound infections following spine surgery: First results of a multicenter study Management postoperativer Wundinfektionen nach Wirbelsäuleneingriffen	Orthopäde	Systematische Befragung		Die bevorzugte Methode im Umgang mit bereits eingetretenen post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-OPs ist das chirurgische Debridement mit Wundspülung an deutschen Kliniken.
Schipman et al.	2016	When the Infection Hits the Wound: Matched Case-Control Study in a Neurosurgical Patient Collective Including Systematic Literature Review and Risk Factors Analysis	World Neurosurg.	Retrospektive Kohortenstudie		Dauer der Operation, Anzahl der bereits erfolgten chirurgischen Eingriffe und die Implantation von Fremdmaterial wurden als entscheidende statistisch signifikante Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen identifiziert.

Tan et al.	2020	Prophylactic postoperative measures to minimize surgical site infections in spine surgery: systematic review and evidence summary	Spine	Systematisches Review	Evidenz unklar. Bislang keine Evidenz für eine bestimmte Methodik der Prophylaxe. Studien mit Hochrisiko-Gruppen fehlen. Weiterer Forschungsbedarf diesbezüglich nötig.
Xia et al.	2024	Post-operative antibiotic prophylaxis in spine surgery patients with thoracolumbar drains: A meta analysis	World Neurosurg X	Meta-Analyse	Eine Antibiotika Gabe von mehr als 24 Stunden hat keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Rate der post-operativen Wundinfektionen, verglichen mit einer 24-stündigen Applikation. Die klinischen Outcomes waren miteinander vergleichbar.
Yao et al.	2018	Prophylaxis of surgical site infection in adult spine surgery: A systematic review	J Clin Neurosci	Systematische Literaturarbeit	Moderate Evidenz für Povidon-Iod-Pulver und Vancomycin, allerdings für keine bestimmte Methodik starke, eindeutige Evidenz.
Yoshida et al.	2023	Hypoalbuminemia and Elevated CRP are Risk Factors for Deep Infections and Urinary Tract Infections After Lumbar Spine Surgery	Global Spine J.	Retrospektive Querschnitts-Studie	Hypoalbuminämie und erhöhte CRP-Werte prä-operativ sind signifikante Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen

		in a Large Retrospective Patient Population			und nosokomiale Harntraktinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen.
Zhang et al.	2022	Risk factors for surgical site infection following spinal surgery: A meta-analysis	Medicine (Baltimore)	Meta-Analyse	Risikofaktoren Osteotomie, Bluttransfusion, Dauer des Eingriffes, Diabetes mellitus. Die Lokalisation des Eingriffes spielt eine entscheidende Rolle.
Zhou et al.	2020	Incidence of Surgical Site Infection After Spine Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis	Spine	Meta-Analyse	Die Lokalisation des Eingriffes ist ein signifikanter Einflussfaktor. Das Infektionsrisiko ist bei minimal-invasiven Eingriffen signifikant geringer als bei offenen Operationen.
Zhu et al.	2021	A Comparative Study Between Minimally Invasive Spine Surgery and Traditional Open Surgery for Patients With Spinal Metastasis	Spine	Retrospektive, komparative Studie	Kein statistisch signifikanter Unterschied in den Raten postoperativer Wundinfektionen zwischen minimal-invasiver und offener Operation.

*Tabelle 2: Ergebnisse aus der Literaturrecherche*

Quelle: eigene Darstellung

## 4. Ergebnisse

Im nachfolgenden Kapitel sollen die wichtigsten Ergebnisse aus der vorliegenden Literaturrecherche beschrieben werden. Eine Tabelle mit der Übersicht über die vorliegend recherchierten Studien ist in Kapitel 4.2 dargestellt.

### 4.1. Operationstechnik

Die Studie von Berman et al. (2022) untersuchten einen möglichen Risikofaktor für post-operative Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule. Dabei fokussierten sich die Autorinnen und Autoren auf die Operationstechnik. Die Fragestellung der Studie war, ob die Verwendung von Pedikelschrauben im Rahmen einer Wirbelsäulen-Operation das Risiko für post-operative Infektionen begünstigen. Das Einsetzen von Pedikelschrauben kommt bei der Fixierung und Stabilisierung der thorakolumbalen Wirbelsäule zum Einsatz. Dabei wird eine intraoperative 3-dimensionale Navigationstechnik verwendet, um die Präzision zu gewährleisten. Um den Zusammenhang zwischen dem Anbringen von Pedikelschrauben und post-operativen Infektionen zu analysieren, führten Berman et al. (2022) eine retrospektive Kohortenstudie bei erwachsenen Patientinnen und Patienten ab 18 Jahren durch, bei denen das Anbringen von Pedikelschrauben indiziert war. Es konnten die Daten von 589 Patientinnen und Patienten identifiziert werden, welche während den vergangenen zwei Jahren Pedikelschrauben erhalten hatten. Hierbei wurden die Patientinnen und Patienten in zwei Kohorten eingeteilt: 1) Pedikelschrauben mit 3-dimensionaler Navigationstechnik und 2) Pedikelschrauben ohne Navigationstechnik. Die Daten wurden statistisch, mittels Multivariant-Analyse ausgewertet. Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Operationstechnik und der Rate der post-operativen Infektionen gefunden werden. Berman et al. (2022) betonen dabei, dass post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-OPs multifaktoriellen Ursachen zugrunde liegen. Ein Zusammenhang mit dem Einbringen von Pedikelschrauben mit oder ohne 3-D-Navigation konnte nicht berechnet werden.

Die Studie von Buser et al. (2022) analysierte die Forschungsfrage, ob Drainagen möglicherweise einen Risikofaktor für post-operative Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule darstellen könnten. Hierfür führten Buser et al. (2022) eine retrospektive Kohortenstudie im Zeitraum 2016 bis 2018 mit Daten von insgesamt 671 Patientinnen und Patienten durch. Von diesen hatten 386 (57,5 %) eine Drainage erhalten und 285 (42,5 %) nicht. Die gesamte Infektionsrate belief sich post-operativ auf 5,7 %. In der Kohorte mit

Drainage betrug die post-operative Infektionsrate 6,22 %, in der Kontrollgruppe, ohne Drainage belief sie sich auf 4,91 %. Die Daten wurden mittels univarianter- und multivariater-Analyse statistisch ausgewertet. Obwohl im Rahmen der univariaten Analyse Risikofaktoren wie Dauer der Drainage, Lokalisation der Operationsstelle, Ausmaß des Blutverlustes, Länge des Krankenhausaufenthaltes, Lokalisation der Drainage und Operationstechnik identifiziert werden konnten, erwiesen sich diese in der multivariaten Analyse als nicht signifikant. Buser et al. (2022) schlussfolgerten daher aus ihren Analysen, dass das Anbringen einer Drainage sowie auch deren Lokalisation keinen signifikanten Einfluss auf das post-operative Infektionsrisiko nach Wirbelsäulen-Operationen ausübt.

Den Faktor Operationstechnik untersuchten auch Franck et al. (2018), allerdings nur bei Patientinnen und Patienten mit malignen Neoplasien im Bereich der Wirbelsäule. Bei ihnen stellen post-operative Wundinfektionen ein besonderes Risiko dar und sie sind auch aufgrund der Chemotherapie und Bestrahlung besonders gefährdet, Infektionen jeglicher Art zu entwickeln.

Franck et al. (2018) betonen, dass Wundinfektionen und -erkrankungen in der Kohorte der Krebskranken eine besondere Problematik und Herausforderung darstellen. Deshalb analysierten die Autorinnen und Autoren die Lappenplastik als Wundmanagement bei krebskranken Personen nach onkologischen, operativen Eingriffen an der Wirbelsäule. Hierfür führten Franck et al. (2018) eine retrospektive Kohortenstudie durch. Hierfür wurden 55 Daten von onkologischen Patientinnen und Patienten gefunden, bei welchen ein chirurgischer Eingriff an der Wirbelsäule indiziert war. Die Patientinnen und Patienten waren zwischen 2007 und 2015 an der Wirbelsäule operiert worden. Die Wunde wurde anschließend mittels Lappenplastik geschlossen. Das mediane Follow-up belief sich auf 253 Tage.

Franck et al. (2018) fanden bei den betroffenen Patientinnen und Patienten zwei Hauptkomplikationen: 1) schwere Wundinfektionen bei 3,3 % der untersuchten Personen, welche eine Re-Operation erforderlich machten und 2) leichte Wundinfektionen bei 16,7 %. Die mediane Dauer des Krankenhausaufenthaltes betrug zehn Tage. Die Patientendaten wurden statistisch mittels Regressionsanalyse ausgewertet. Franck et al. (2018) konnten als signifikanten Risikofaktor für post-operative Wundinfektionen Adipositas (Body Mass Index > 30) identifizieren. Die Rate der schweren Wundinfektionen war insgesamt mit 3.3 % niedrig. Franck et al. (2018) empfehlen daher die Lappenplastik zur Reduktion des Risikos für schwere Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen bei onkologischen Patientinnen und Patienten.

Bassani et al. (2021) untersuchten die Vor- und Nachteile eines anterioren Zugangs bei Eingriffen an der lumbalen Wirbelsäule, auch hinsichtlich post-operativer Infektionen. Der Fokus lag dabei auf minimal-invasiven Operationstechniken. Um ihre Forschungsfragen zu beantworten, führten Bassani et al. (2021) eine systematische Literaturrecherche durch. Es wurde in allen wissenschaftlichen Datenbanken nach englischsprachigen Publikationen zum Thema minimal-invasiver anteriorer Operationszugang bei Operationen an der Wirbelsäule. Hierbei fanden Bassani et al. (2021) als Vorteile ein niedrigeres Risiko für post-operative Infektionen. Hierfür lieferten auch schon Fei et al. (2016) Evidenz. Als Nachteile des anterioren Zuganges wurden das Risiko für Thrombosen und Verletzungen der Blutgefäße gefunden. Allerdings liefern sowohl Bassani et al. (2021) als auch Fei et al. (2016) Evidenz dafür, dass mittels anteriorem Zugang das post-operative Infektionsrisiko verringert werden kann.

Hinsichtlich Operationstechniken und deren Risiken führten Chan et al. (2023) eine multizentrische, retrospektive Kohortenstudie durch. Dabei fokussierten sich Chan et al. (2023) auf die minimal-invasive transforaminale Operation am lumbalen Teil der Wirbelsäule bei der Indikation Spondylolisthese. Chan et al. (2023) verglichen hierbei die minimal-invasive transforaminale Wirbelkörper mit der offenen transforaminalen Wirbelkörper. Dafür wurde eine retrospektive Kohortenstudie durchgeführt, wobei die Autorinnen und Autoren die Datenbank „Quality Outcomes Database registry“ nach Patientendaten durchsuchten. Es wurde nach Patientinnen und Patienten mit einer Grad I-Spondylolisthese gesucht, die chirurgisch behandelt wurden nach den patient-reported outcomes. Der Follow-up-Zeitraum betrug 60 Monate. Chan et al. (2023) konnten 297 Patientendaten finden. Die Autorinnen und Autoren kamen beim Vergleich der beiden Operationstechniken zum Ergebnis, dass der minimal-invasive Ansatz zu signifikant weniger perioperativem Blutverlust führte. Hinsichtlich der Parameter Patientenzufriedenheit, Disability Index, Schmerzen, Lebensqualität und post-operative Infektionen wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der minimal-invasiven- und der offenen Operation gefunden. Chan et al. (2023) kommen zur Schlussfolgerung, dass beide Operationstechniken gleichwertig sind. Das Risiko für post-operative Infektionen hängt somit in diesem Fall nicht von der Operationstechnik ab.

Auch die Studie von Goldstein et al. (2016) fokussierte sich auf den Vergleich zwischen minimal-invasiven- und offenen Operationstechniken bei lumbalen Wirbelkörperfusionen. Das Ziel der Studie war, die Vor- und Nachteile der beiden Operationstechniken herauszuarbeiten und die beiden Techniken miteinander zu vergleichen. Hierfür führten Goldstein et al. (2016) eine systematische Literaturstudie durch. Die Autorinnen und Autoren durchsuchten die Datenbanken Medline, EMBASE, PubMed, Web of Science und Cochrane nach für ihre

Forschungsfrage geeignete Literatur. Eingeschlossen wurden randomisierte, kontrollierte Studien und komparative Kohortenstudien mit mindestens 10 Versuchspersonen. Die komparativen Kohortenstudien sollten dabei den Vergleich der offenen- mit der minimal-invasiven Technik lumbaler Wirbelkörperfusionen vergleichen sowie die folgenden Aspekte beinhalten: Messung des klinischen Outcomes, Monitoring und Dokumentation des perioperativen Prozesses, radiologische Überprüfung des Outcomes und Dokumentation von unerwünschten Effekten sowie Komplikationen.

Goldstein et al. (2016) konnten 26 Studien finden, die den obig genannten Einschlusskriterien entsprachen, davon eine randomisierte, kontrollierte Studie. Die Autorinnen und Autoren bemerken, dass alle Studien niedriger bis sehr niedriger Qualität waren und somit nur schwache Evidenz lieferten. Goldstein et al. (2016) konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Komplikationen und post-operative Wundinfektionen zwischen den offenen- und minimal-invasiven Operationstechniken finden. Beide Verfahren wurden als gleichwertig befunden.

Zu diesem Ergebnis kam auch die Studie von Chan et al. (2023) und bestätigt somit die Ergebnisse von Goldstein et al. (2016). Die Studien von Berman et al. (2022) und Buser et al. (2022) kommen zu ähnlichen Ergebnissen, wenn sie auch andere Techniken untersuchten. Doch weder Berman et al. (2022) noch Buser et al. (2022) konnten spezifische Faktoren hinsichtlich Operationstechnik finden, die sich signifikant auf das Risiko für post-operative Wundinfektionen auswirkten. Lediglich Algarny et al. (2023) liefern Hinweise darauf, dass die Dauer der Operation ein signifikanter Einflussfaktor sein könnte. Zu diesem Resultat kam auch die Studie von Fei et al. (2016).

Minimal-invasive Operationstechniken mit offenen- bei lumbalen Wirbelkörperfusionen untersuchte auch die Meta-Analyse von Heemskerk et al. (2021). Hierbei fokussierten sich die Autorinnen und Autoren auf den langfristigen klinischen Outcome, als Parameter gemessen anhand von Patientenberichten („patient reported outcomes“). Der minimale Follow-up-Zeitraum betrug zwei Jahre. Heemskerk et al. (2021) verglichen dabei minimal-invasive- mit offenen Operationstechniken bei Patientinnen und Patienten mit degenerativen Erkrankungen der lumbalen Wirbelsäule.

Die Autorinnen und Autoren recherchierten nach Literatur in den Datenbanken Pubmed, MEDLINE, EMBASE, Scopus, Web of Science, und CENTRAL. Es wurden langfristige, komparative Studien hinsichtlich minimal-invasiver versus offene Operation degenerativer lumbaler Wirbelsäulenerkrankungen mit einem Minimum-Follow-up von zwei Jahren eingeschlossen. Ein weiteres Einschlusskriterium war, dass die Studien “patient reported

outcomes“ anhand standardisierter Fragebögen beinhalteten. Diese wurden im Rahmen einer Meta-Analyse miteinander verglichen.

Heemskerk et al. (2021) konnten 16 Studien mit insgesamt 1.321 Versuchspersonen für ihre Meta-Analyse finden. Die Parameter der Patientenfragebögen wurden statistisch miteinander verglichen. Es wurde eine hohe Patientenzufriedenheit bei beiden Operationstechniken nach zwei Jahren Follow-up gefunden: hohe Raten der erfolgreichen Wirbelkörperfusion (80,5 % und 91,1 %,  $p = 0,29$ ), geringe Re-Operationsraten (3 % vs. 2,4%,  $p = 0,5$ ) und geringe post-operative Infektionsraten. Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich klinischen Outcomes zwischen beiden Techniken berechnet werden. Die minimal-invasive- und die offene Operationstechnik waren gleichwertig und vergleichbar nach zwei Jahren Follow-up. Zu diesem Ergebnis kamen auch die Studien von Chan et al. (2023) und Goldstein et al. (2016). Dies liefert Evidenz für die Gleichwertigkeit der offenen- und minimal-invasiven Operationstechniken bei lumbalen Wirbelsäulen-Operationen.

Ebenso verglichen Kulkarni et al. (2016) minimal-invasive mit offenen Operationstechniken an der Wirbelsäule hinsichtlich Risikos für post-operative Wundinfektionen. Hierfür führten die Autorinnen und Autoren eine retrospektive, komparative Kohortenstudie durch. Sie werteten die Daten von 1.043 Patientinnen und Patienten in ihrem Krankenhaus aus. Eingeschlossen wurden die Daten von Patientinnen und Patienten, die sich einem minimal-invasiven chirurgischen Eingriff an der Wirbelsäule unterziehen mussten. Hierbei wurden die Inzidenzen von post-operativen Wundinfektionen bei sowohl minimal-invasiven-, als auch bei offenen Operationstechniken berechnet. Die Inzidenzen post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen wurden aus der wissenschaftlichen Literatur recherchiert.

Das mediane Alter der Patientinnen und Patienten lag bei 52,2 Jahren und die Infektionsrate nach minimal-invasiven Eingriffen belief sich auf 0,29 %. Die post-operative Rate der Wundinfektionen nach offenen Eingriffen betragen gemäß der Recherche von Kulkarni et al. (2016) 0,7 bis 16 %. Somit schlussfolgern die Autorinnen und Autoren aus ihren Ergebnissen, dass minimal-invasive Operationstechniken das Risiko für post-operative Wundinfektionen deutlich senken können. Dies widerspricht den bisherigen Ergebnissen von Heemskerk et al. (2021), Chan et al. (2023) und Goldstein et al. (2016). Dies kann unter anderem in den unterschiedlichen Designs der Studien begründet werden, der unterschiedlichen Zusammensetzung der Kohorten sowie die bislang niedrige Qualität der Studien. Heemskerk et al. (2021) lieferte mit einer Meta-Analyse allerdings die bislang stärkste Evidenz.

Weitere Evidenz für die minimal-invasive Technik hinsichtlich Wundinfektionsprävention liefern Mahan et al. (2023). Die Autorinnen und Autoren verglichen im Rahmen einer multizentrischen,

retrospektiven Kohortenstudie die post-operativen Wundinfektionsraten zwischen minimal-invasiven- und offenen Wirbelsäulenoperationen. Ziel der Studie war, die Infektionsrate bei minimal-invasiven Eingriffen an der Wirbelsäule zu berechnen und diese mit der „propensity score-matched“ Infektionsrate der National Surgical Quality Improvement Program (NSQIP) Datenbank bei offenen Operationen zu vergleichen. Hierfür führten Mahan et al. (2023) eine retrospektive, multizentrische Kohortenstudie durch.

Für die Studie wurden Daten von 1.277 Patientinnen und Patienten, die im Zeitraum von 2015 bis 2021 minimal-invasiv an der Wirbelsäule operiert worden waren, analysiert. Für die NSQIP-Raten konnten 55.882 Patientendaten in der National Surgical Quality Improvement Program Datenbank gefunden werden. Der primäre Outcome war das Auftreten von post-operativen Wundinfektionen. Ferner wurden die demografischen Daten, weitere Komplikationen im Zusammenhang mit der Operation, die Operationsdaten sowie jegliche Ko-Morbiditäten dokumentiert.

Mahan et al. (2023) stellten eine höhere Rate an Ko-Morbiditäten in der Kohorte der minimal-invasiven Wirbelsäulenchirurgie fest. Mahan et al. (2023) fanden bei offenen Operationen eine Rate post-operativer Wundinfektionen von 1,2 %, bei minimal-invasiven Eingriffen waren es 0,001 %. Der Unterschied war statistisch signifikant ( $p < 0,011$ ). Es wurde ein Odds Ratio von 0,063 (95 % Konfidenzintervall: 0,009-0,461,  $p=0,006$ ) gefunden, was den minimal-invasiven Eingriff favorisiert. Mahan et al. (2023) kommen somit zur Schlussfolgerung, dass eine minimal-invasive Operationstechnik mit einer signifikant niedrigeren Rate an post-operativen Wundinfektionen einher geht. Zu diesem Ergebnis kam auch die Studie von Kulkarni et al. (2016).

Die Studie von Müller et al. (2019) verglich ebenfalls die Raten an post-operativen Wundinfektionen zwischen minimal-invasiven und offenen Operationen. Hierfür führten Müller et al. (2019) eine retrospektive Kohortenstudie durch, wobei der Fokus auf Eingriffen an der Lendenwirbelsäule lag. Für die Studie wurden 1.442 Fälle analysiert. Es handelt sich um eine einzentrische, retrospektive Studie mit einer prospektiv gesammelten Datenbank zwischen 2013 und 2016. Es wurden nur erwachsene Versuchspersonen ab 18 Jahren in die Studie eingeschlossen. Müller et al. (2019) analysierten Fälle von lumbalen Dekompressionen oder Wirbelkörperfusionen an der Lendenwirbelsäule. Die Raten der post-operativen Wundinfektionen bei offenen- und minimal-invasiven Eingriffen wurden berechnet und miteinander verglichen.

Von den 1.442 Fällen wurden 961 (67 %) Personen minimal-invasiv und 481 (33 %) offen operiert. Die allgemeine Infektionsrate belief sich auf 1,5 % ( $n=21$ ). Die Rate der post-

operativen Wundinfektionen lag bei minimal-invasiven Eingriffen bei 0,5 %, bei offenen Operationen bei 3,3 %. Der Unterschied war statistisch signifikant mit  $p=0,0003$ . Die lumbale Dekompression ging mit einer Rate an post-operativen Wundinfektionen von 0,4% bei minimal-invasiven- und 3,9 % bei offenen Eingriffen einher. Der Unterschied war signifikant mit  $p=0,04$ . Für die Wirbelkörperfusion wurden Infektionsraten von 0,7 % für minimal-invasive Eingriffe und 2,6 % bei offenen Operationen berechnet. Allerdings war hierbei der Unterschied statistisch nicht signifikant ( $p=0,68$ ).

Die Studie von Müller et al. (2019) zeigt einen signifikanten Vorteil der minimal-invasiven Operationen gegenüber den offenen- hinsichtlich post-operative Wundinfektionen. Allerdings untersuchten Müller et al. (2019) lediglich die Indikationen Dekompression und Wirbelkörperfusion. Zu ähnlichen Infektionsraten kamen auch Kulkarni et al. (2016). Die Studie von Müller et al. (2016) bestätigt die Ergebnisse von Kulkarni et al. (2016). Auch die Studie von Mahan et al. (2023) kommt zu ähnlichen Ergebnissen und geht somit mit Kulkarni et al. (2016) sowie Müller et al. (2019) konform.

Die gleiche Forschungsfrage verfolgten auch Mummaneni et al. (2017) und verglichen die minimal-invasiven- mit den offenen Eingriffen an der Lendenwirbelsäule bei der Indikation Spondylolistese. Hierfür führten die Autorinnen und Autoren eine retrospektive, komparative Kohortenstudie durch. Mummaneni et al. (2017) recherchierten dafür in der Quality Outcomes Database (QOD) nach Daten von Patientinnen und Patienten mit degenerativer Spondylolistese Grad 1 und den entsprechenden klinischen Outcomes nach offenen- und minimal-invasiven Eingriffen. Die „patient recorded outcomes“ (PRO) sowie die Oswestry Disability Indices wurden dokumentiert. Die so dokumentierten Daten wurden statistisch mittels multivariater Regressionsanalyse ausgewertet. Auch die Daten zu Rückenschmerzen anhand der numerischen Schmerzskala und die Patientenzufriedenheit (anhand des North American Spine Society satisfaction Fragebogens) wurden ausgewertet.

Insgesamt wurden die Daten von 345 Patientinnen und Patienten ausgewertet, wobei 254 Personen offen- und 91 minimal-invasiv operiert worden waren. Der Follow-up-Zeitraum betrug ein Jahr. Sowohl in der Kohorte der offenen- als auch in derjenigen der minimal-invasiven Operation wurde von den Patientinnen und Patienten von positiven klinischen Outcomes berichtet. Zwischen den Werten der PROs bestand kein statistisch signifikanter Unterschied. Es konnte lediglich ein signifikanter Unterschied beim Parameter Rückenschmerzen auf der numerischen Schmerzskala gefunden werden. Hierbei zeigte sich ein Vorteil der minimal-invasiven Operationstechnik ( $p=0,02$ ). Mummaneni et al. (2017) fanden ansonsten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parametern der offenen- und

minimal-invasiven Operation. Die beiden Techniken scheinen hinsichtlich der übrigen untersuchten Parameter gleichwertig. Dies liefert weitere Evidenz für die Ergebnisse von Heemskerk et al. (2021), Goldstein et al. (2016) und Chan et al. (2023).

Die Meta-Analyse von Zhou et al. (2020) beinhaltete auch den Vergleich zwischen minimal-invasiven- und offenen Operationstechniken hinsichtlich des Risikos für post-operative Wundinfektionen. Die Autorinnen und Autoren recherchierten in den Datenbanken PubMed, Embase und Cochrane nach für die Forschungsfrage relevanten Studien. Zhou et al. (2020) fanden 27 Studien mit 22.475 Versuchspersonen. Die allgemeine Inzidenz von post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen wurde auf 3,1 % berechnet. Zhou et al. (2020) führten darüber hinaus eine Subgruppen-Analyse hinsichtlich post-operativer Wundinfektionen durch. Die in der Studie untersuchte Inzidenz setzte sich aus 1,4 % oberflächlichen- und 1,7 % tiefen Wundinfektionen zusammen.

Die höchste Inzidenz an post-operativen Wundinfektionen wurde bei Personen mit neuromuskulären Skoliosen gefunden (13 %). Die Inzidenz post-operativer Wundinfektionen belief sich bei Eingriffen an der cervikalen Wirbelsäule auf 3,4 %, an der thorakalen Wirbelsäule auf 3,7 % und bei Operationen im Bereich der Lendenwirbel auf 2,7%. Dass die Lokalisation des Eingriffes eine Rolle spielt, zeigte auch die Meta-Analyse von Zhang et al. (2022). Der Operationszugang ist ebenfalls für das post-operative Infektionsrisiko entscheidend. Zhou et al. (2020) kommen auf ein signifikant höheres Risiko bei einem posterioren Zugang, verglichen mit einem anterioren Ansatz. Zu diesem Ergebnis kamen auch Bassani et al. (2021). Darüber hinaus fanden Zhou et al. (2020) signifikant niedrigere Infektionsraten bei einer minimal-invasiven Operationstechnik (1,5 %), verglichen mit der offenen Operation (3,8 %). Auch diese konnte bereits von mehreren Studien gezeigt werden (Kulkarni et al. 2016; Mahan et al. 2023; Müller et al. 2019). Zhou et al. (2020) kamen darüber hinaus zum Ergebnis, dass die peri-operative Anwendung von Vancomycin die Infektionsraten signifikant verringern kann.

Zhu et al. (2021) verglichen die minimal-invasive Operationstechnik mit der offenen- bei Personen mit Krebsmetastasen an der Wirbelsäule hinsichtlich post-operativen Wundinfektionen und klinischem Outcome. Dafür führten Zhu et al. (2021) eine retrospektive Kohortenstudie durch und analysierten die Daten von 154 konsekutiven Patientinnen und Patienten, die im Zeitraum 2017 bis 2019 am eigenen Krankenhaus behandelt worden waren. 47 Personen wurden aufgrund Metastasen an der Wirbelsäule minimal-invasiv operiert und 105 im Rahmen eines offenen Eingriffes. Zhu et al. (2021) dokumentierten die

demografischen- und perioperativen Daten und verglichen sie in Form einer statistischen Analyse.

Zhu et al. (2021) kamen dabei zum Ergebnis, dass die allgemeinen Komplikationsraten, inklusive post-operative Wundinfektionen, bei den Patientinnen und Patienten, die minimal-invasiv operiert worden waren, geringer waren – im Vergleich zur offenen Operation. Zhu et al. (2021) berechneten eine geringere Rate an post-operativen Wundinfektionen beim minimal-invasiven Ansatz als bei der offenen Operation, allerdings war der Unterschied in diesem Fall statistisch nicht signifikant. Dies könnte durch die geringe Anzahl an Patientinnen und Patienten möglicherweise erklärt werden. Zhu et al. (2021) werteten die Daten von lediglich 154 Patientinnen und Patienten aus, was eine geringe Anzahl darstellt.

## **4.2. Risikofaktoren**

Die aktuelle Studie von Algarny et al. (2023) untersuchte den Zusammenhang zwischen der Operationsdauer an der Wirbelsäule und das Risiko für post-operative Infektionen. Hintergrund der Studie war, dass post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-Operationen häufig eine ernsthafte Komplikation darstellen. Post-operative Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule zu längeren Krankenhausaufenthalten, gesundheitlichen Komplikationen, in schweren Fällen zu Lebensgefahr, zu höheren Kosten für die Krankenversicherungen und somit für die Gemeinschaft und zu ungünstigen klinischen Outcomes der Operation selbst führen können. Risikofaktoren und Prädiktoren für das Auftreten von post-operativen Infektionen sind noch nicht im Detail bekannt. Deshalb war Ziel der Studie von Algarny et al. (2023), den Zusammenhang zwischen Operationsdauer und dem Auftreten post-operativer Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule zu untersuchen. Hierfür führten Algarny et al. (2023) eine retrospektive Kohortenstudie über einen Zeitraum von zwei Jahren durch.

Die Studie wurde in Deutschland, am Klinikum Köln durchgeführt. Algarny et al. (2023) dokumentierten die demografischen Daten sowie das Alter und den Body-Mass-Index und die Dauer des jeweiligen operativen Eingriffes aller Patientinnen und Patienten, die sich einer Wirbelsäulenoperation am Klinikum Köln während den vergangenen zwei Jahren unterzogen hatten. Es konnten 75 Patientendaten für die Studie dokumentiert werden. Das mediane Alter der Patientinnen und Patienten belief sich auf 64 Jahre, die mediane Operationsdauer betrug 131,5 Minuten. Algarny konnten im Rahmen ihrer retrospektiven Studie eine signifikante Korrelation zwischen Operationsdauer und dem Risiko für post-operative Infekte berechnen ( $p=0,002$ ).

Auch Blood et al. (2017) untersuchten mögliche Prädiktoren und Risikofaktoren für post-operative Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule. Dafür führten die Autorinnen und Autoren ein systematisches Literatur-Review durch. Ziel der Studie war, mögliche Risiko- und prädiktive Faktoren für post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-OPs zu identifizieren. Hierfür wurde nach geeigneter Literatur der vergangenen zehn Jahre (2007-2017) in den Datenbanken CINAHL, PubMed, Ovid, Medline, und EBSCO gesucht. Eingeschlossen wurden peer-reviewed Studien, die sich mit post-operativen Infektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen beschäftigten. Blood et al. (2017) fanden 29 Artikel, die den Einschlusskriterien entsprachen.

Im Rahmen ihrer Literaturanalyse fanden Blood et al. (2017) inkonsistente Evidenz hinsichtlich Patienten- oder Operationstechnik-assoziierten Faktoren. Als mögliche Patienten-spezifische Risikofaktoren für post-operative Infektionen wurden männliches Geschlecht, ein schwaches Immunsystem, ein hohes Lebensalter, Adipositas, Nikotinabusus, Alkoholabusus und Diabetes mellitus identifiziert. Als Prozedur-spezifische mögliche Risikofaktoren wurden die Indikation einer Bluttransfusion, das Einsetzen von Implantaten und die Verabreichung von Steroiden gefunden. Blood et al. (2017) betonen hierbei jedoch, dass die Evidenzlage hierfür noch nicht ausreichend ist, jedoch ist es empfehlenswert die vorliegend identifizierten Risikofaktoren möglichst zu minimieren.

Fei et al. (2016) analysierten im Rahmen eines systematischen Reviews und Meta-Analyse ebenfalls die Patienten- und Behandlungs-assoziierten Risikofaktoren für post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen. Um ihre Forschungsfrage zu beantworten, recherchierten die Autorinnen und Autoren in den Datenbanken PubMed, Embase, und Web of Science nach geeigneter Literatur. Eingeschlossen wurden Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien, welche die Risikofaktoren für post-operative Infektionen nach Wirbelsäulen-OPs untersuchten. Fei et al. (2016) konnten 12 Studien mit insgesamt 13.476 Patientinnen und Patienten identifizieren. Die Meta-Analyse wurde mittels fixed effects- und random effects-Modell durchgeführt.

Hierbei konnten Fei et al. (2016) als wichtigste Risikofaktoren für post-operative Infektionen Diabetes mellitus, Dauer der Operation (> drei Stunden), Body Mass Index (über 35), bzw. Adipositas, und einen posterioren Operationszugang identifizieren. Die Operationsdauer als möglicher Risikofaktor wurde ebenfalls von Algarny et al. (2023) gefunden und bestätigt die Ergebnisse von Fei et al. (2016). Somit liefern die Studien von Algarny et al. (2023) und Fei et al. (2016) Evidenz für eine längere Operationsdauer als Risikofaktor für post-operative Infektionen. Fei et al. (2016) geben dabei eine Operationsdauer von mehr als drei Stunden an.

Post-operative Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule stellen nach wie vor eine große Herausforderung dar (Fiani et al. 2020). Fiani et al. (2020) führten eine retrospektive, komparative Studie durch und verglichen die Infektionsraten sowie die Risikofaktoren zwischen unterschiedlichen Operationstechniken und möglichen Risikofaktoren. Fiani et al. (2020) untersuchten die Daten aller Patientinnen und Patienten, die an der neurochirurgischen Abteilung ihres Institutes an der Wirbelsäule operiert worden waren. Ziel der Studie war es, mögliche Risikofaktoren zu identifizieren und Schlussfolgerungen für die Qualitätsverbesserung in der Behandlung zu ziehen. Um die Patientendaten zu erhalten, wurde in der Crimson Continuum of Care Software nach den entsprechenden Daten gesucht. Es konnten 1184 geeignete Patientendaten gefunden werden. Die Daten wurden statistisch mittels Chi-Quadrat-Test und Berechnung des relativen Risikos analysiert. Von 1184 Personen, erlitten 12 post-operative Infektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule. Von diesen 12 Personen waren 10 männlich (83,3 %) und 2 weiblich (16,6 %). Die Hälfte der Patientinnen und Patienten (50 %) war älter als 51 Jahre alt. Die Altersspanne lag bei 51-65 Jahren.

Ein Drittel der betroffenen Personen (33,3 %) war adipös mit einem Body-Mass-Index von über 30 kg/m<sup>2</sup>. Die Hälfte der Patientinnen und Patienten mit post-operativen Wundinfektionen waren aktuelle- oder ehemalige Raucher oder Raucherinnen. Zwei Personen waren ehemalige Drogenabhängige (intravenöse Applikation) und eine Person hatte Diabetes mellitus. Hinsichtlich Operationstechnik und post-operative Wundversorgung konnten keine spezifischen Risikofaktoren identifiziert werden. Fiani et al. (2020) zeigen jedoch diejenigen Risikofaktoren auf, für welche auch schon die Studie von Fei et al. (2016) Evidenz geliefert hat: Nikotinabusus, Adipositas und Diabetes mellitus. Fiani et al. (2020) liefern somit zusätzliche Evidenz für die obig genannten Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule.

Die Meta-Analyse von Pesenti et al. (2018) untersuchte ebenfalls die möglichen Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule. Der Fokus der Autorinnen und Autoren lag dabei auf der Indikation Wirbelkörperfusion. Somit suchten Pesenti et al. (2018) nach Studien mit erwachsenen Patientinnen und Patienten (ab 18 Jahren), bei denen eine Wirbelkörperfusion an der thorakalen- oder Lendenwirbelsäule indiziert war. Eingeschlossen wurden nur Studien, in denen der Odds Ratio (OR) angegeben war oder solche mit ausreichend Versuchspersonen zur Berechnung des OR. Pesenti et al. (2018) analysierten im Rahmen ihrer Meta-Analyse die Odds-Ratios, die Heterogenität der Studien

(12) und verwendeten für die Meta-Analyse das Fixed-Effekts-Modell sowie das Random-Effects-Modell.

Es konnten 29 Studien gefunden werden, die den Einschlusskriterien entsprachen. Insgesamt wurden in den gefundenen Studien 374.488 Versuchspersonen untersucht werden. Als entscheidende Risikofaktoren konnten Pesenti et al. (2018) Adipositas, Diabetes mellitus, Nikotinabusus, die Operationszeit, die Notwendigkeit einer Osteotomie, die Länge der Fusion und deren Ausdehnung auf die Beckenregion finden. Die Dauer der Operation, Adipositas und Diabetes mellitus wurden ebenfalls von Fiani et al. (2020), Fei et al. (2016) und Algarny et al. (2023) gefunden. Die Ergebnisse von Pesenti et al. (2018) gehen somit mit Fei et al. (2016), Algarny et al. (2023) und Fiani et al. (2020) konform. Pesenti et al. (2018) liefern somit weitere Evidenz für die Risikofaktoren Adipositas, Diabetes und die Dauer der Operation.

Die aktuelle Studie von Yoshida et al. (2023) konzentrierte sich auf bestimmte Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen sowie nosokomiale Harntrakt-Infektionen. Die Autorinnen und Autoren analysierten dabei die Hypoalbuminämie und das C-reaktive Protein (CRP). Hierfür führten Yoshida et al. (2023) eine retrospektive Kohortenstudie durch. Es wurde in der Datenbank PearlDriver nach Daten von Patientinnen und Patienten gesucht, welche eine anteriore- oder posteriore lumbale Wirbelkörperfusion oder eine lumbale Diskektomie erhalten hatten. Die Patientendaten wurden gemäß Charlson Comorbidity Index (CCI)-Score stratifiziert und die Albumin- und CRP-Werte wurden im Zusammenhang mit post-operativen Wundinfektionen und nosokomialen Harntrakt-Infektionen statistisch analysiert. Der Follow-up-Zeitraum betrug ein Jahr.

Yoshida et al. (2023) konnten die Daten von 74.280 Patientinnen und Patienten analysieren. Die Autorinnen und Autoren konnten eine prä-operative Hypoalbuminämie und einen erhöhten CRP-Wert als signifikante Risikofaktoren für post-operative Wund- und Harntraktinfektionen identifizieren. Yoshida et al. (2023) zeigen das erste Mal diese Risikofaktoren auf, betonen jedoch, dass weitere Studien notwendig sind, um weitere Evidenz für die besagten Risikofaktoren zu liefern.

Zhang et al. (2022) führten eine Meta-Analyse durch, um die Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen nach Operationen an der Wirbelsäule zu untersuchen. Hierfür suchten die Autorinnen und Autoren in den Datenbanken PubMed, Embase und Cochrane nach geeigneter Literatur, welche ihre Forschungsfrage beantworten kann. Zhang et al. (2022) konnten 26 Studien mit insgesamt 41.624 Versuchspersonen zu ihrer Forschungsfrage finden. Die allgemeine Rate der post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen wurde auf 2,9% berechnet. Als Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen identifizierten

Zhang et al. (2022) einen posterioren Operationszugang, die Indikation für Osteotomie, Indikation für Bluttransfusion, Diabetes mellitus, Hypertonie, die Lokalisation der Operation mit dem höchsten Risiko bei Eingriffen an der cervikalen Wirbelsäule, gefolgt von der thorakalen Wirbelsäule und das geringste Risiko an der Lendenwirbelsäule. Im Gegensatz zur Studie von Yoshida et al. (2022) konnten Zhang et al. (2022) den Albuminwert nicht als signifikanten Risikofaktor identifizieren. Auch fanden Zhang et al. (2022) Adipositas nicht als signifikanten Risikofaktor, im Gegensatz zu den Studien von Fiani et al. (2020), Blood et al. (2017) und Fei et al. (2016) und Franck et al. (2018). Zhang et al. (2022) untersuchten Eingriffe an der gesamten Wirbelsäule, während sich die Studien von Franck et al. (2018), Fiani et al. (2020) und Fei et al. (2016) auf den Bereich der Lendenwirbelsäule fokussierten. An dieser Stelle sollen auch die unterschiedlichen Designs der jeweiligen Studien angemerkt werden und die niedrige Sample Size an Studien bei Zhang et al. (2022). Hinsichtlich Dauer der Operation gehen die Ergebnisse von Zhang et al. (2022) mit denjenigen von Algarny et al. (2023) und Fei et al. (2016) konform. Je länger die Operation dauert, desto höher ist das Risiko für post-operative Wundinfektionen (Algarny et al. 2023; Zhang et al. 2022). Fei et al. (2016) gehen dabei von einer Operationsdauer von mehr als drei Stunden aus. Zhang et al. (2022) kamen zum Ergebnis, dass die Gabe von Steroiden keinen signifikanten Risikofaktor für post-operative Wundinfektionen darstellt. Dies widerspricht den Ergebnissen von Blood et al. (2017) und macht weitere Forschungen diesbezüglich notwendig. Durch die unterschiedlichen Designs sind die Studien von Blood et al. (2017) und Zhang et al. (2022) zudem nur schwer miteinander vergleichbar. Zhang et al. (2022) bestätigen zudem die Ergebnisse der Meta-Analyse von Zhou et al. (2020), dass die Lokalisation des Eingriffes eine signifikante Rolle spielt.

Schipmann et al. (2016) analysierten die Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen nach cranialen Eingriffen. Dies erfolgte in Form einer retrospektiven Kohortenstudie. Hierbei konnten 70 Patientinnen und Patienten mit post-operativen Wundinfektionen sowie 185 Kontrollpersonen in die Studie eingeschlossen werden. Die statistischen Analysen erfolgen mittels univarianter- und multivarianter Modelle, um die Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen zu identifizieren. Die Analyse von Schipmann et al. (2016) ergab als Hauptrisikofaktoren die Dauer der Operation ( $p=0,003$ ), die Anwendung einer Wunddrainage ( $p < 0,001$ ), die Anzahl der bereits erfolgten chirurgischen Eingriffe ( $p < 0,001$ ) und die Indikation für die Implantation von Fremdmaterial ( $p < 0,001$ ). Schipmann et al. (2016) kamen somit zur Schlussfolgerung, dass auf diese Faktoren bei cranialen Operationen besonders geachtet werden muss, wenn es darum geht, post-operative Wundinfektionen möglichst zu verhindern.

### 4.3. Management und Prävention post-operativer Infektionen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit stellte sich auch die Frage nach der Prävention und dem Management von post-operativen Wundinfektionen. Hierbei wurden von Algarny et al. (2023) die häufigsten Krankheitserreger für post-operative Infekte identifiziert: *Staphylococcus aureus* (n=7), *Staphylococcus haemolyticus* (n=2) und *Staphylococcus hominis* (n=2). Hierbei soll jedoch kritisch angemerkt werden, dass es sich um eine geringe Sample Size handelt und dies somit nicht für die gesamte Bevölkerung als repräsentativ angesehen werden kann. Jedoch schlussfolgerten Algarny et al. (2023) aus ihrer Studie, dass je länger die Operation andauert, desto das Risiko für post-operative Infektionen ist. Die Autorinnen und Autoren empfehlen daher, bei länger dauernden Operationen, die Gabe von Antibiotika in Betracht zu ziehen.

Dies untersuchte unter anderem die Studie von Horii et al. (2018). Die Autorinnen und Autoren untersuchten die präventiven Effekte der Platzierung von Vancomycin in die Operationswunde, bevor diese verschlossen wird. Der Fokus lag dabei auf den posterioren Zugang bei der Wirbelsäulenoperation. Horii et al. (2018) führten eine multizentrische retrospektive Kohortenstudie durch, um ihre Forschungsfrage zu beantworten. Sie analysierten die Daten von 2.859 Patientinnen und Patienten. Es wurden zwei Kohorten gebildet: Eine Patientengruppe, die Vancomycin erhalten hatte (n=694) und eine Kontrollgruppe, der kein Vancomycin verabreicht wurde (n=2.165). Die Inzidenzen von post-operativen Wundinfektionen in der jeweiligen Kohorte wurden ermittelt, die Unterschiede wurden mittels Chi-Quadrat- und Fisher-Test statistisch ausgewertet.

In der Vancomycin-Kohorte entwickelten 12 Personen (1,73 %) eine post-operative Wundinfektion, in der Kontrollgruppe waren es 21 (0,97 %). Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p=0,10$ ). Es konnte somit kein signifikanter Benefit einer Vancomycin-Applikation in die Operationswunde gefunden werden.

Mit der Prävention post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen beschäftigte sich auch die Studie von Lemans et al. (2019). Die Autorinnen und Autoren untersuchten dabei den Nutzen von in die Wunde verabreichtem Vancomycin oder Povidon-Iod hinsichtlich der Prävention post-operativer Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule. Um ihre Forschungsfragen zu beantworten, führten Lemans et al. (2019) eine retrospektive Kohortenstudie durch. Daten von 853 Patientinnen und Patienten wurden in die Studie eingeschlossen. Hierbei wurden die Patientinnen und Patienten in drei Kohorten

eingeteilt: Kontrollgruppe (n=257), Povidon-Iod (n=217)- und Vancomycin-Gruppe (n=379). Die Daten wurde mittels logistischer Regressionsanalyse statistisch ausgewertet.

In der Kontrollgruppe entwickelten 25 Personen (9,7 %) eine tiefe Wundinfektion und 13 Personen (5,1%) eine oberflächliche Wundinfektion. In der Povidon-Iod-Gruppe konnten 21 (9,7 %) tiefe- und zwei (0,9 %) post-operative Wundinfektionen beobachtet werden. Innerhalb der Vancomycin-Kohorte wurden 19 (5,0 %) tiefe- und sechs (1,6 %) oberflächliche post-operative Wundinfektionen registriert.

Ein statistischer Vergleich zwischen der Povidon-Iod- und der Kontrollgruppe ergab keine signifikanten Unterschiede in den Infektions-Inzidenzen (Risk Ratio: 1,00, 95 % Konfidenzintervall: 0,57-1,73). Nur die Inzidenz der oberflächlichen Wundinfektionen war in der Iod-Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe signifikant vermindert (Risk Ratio: 0,18, 95 % Konfidenzintervall 0,04-0,8). Bei der Vancomycin-Kohorte konnten Lemans et al. (2019) eine statistisch signifikant geringere Inzidenz von Wundinfektionen verglichen mit der Kontrollgruppe feststellen – für sowohl tiefe- (Risk Ratio:0,52, 95 % Konfidenzintervall: 0,29-0,92) als auch oberflächliche Wundinfektionen (Risk Ratio: 0,31, 95 % Konfidenzintervall 0,12-0,81). Lemans et al. (2019) schlussfolgern daraus einen signifikanten Nutzen von Vancomycin gegenüber der Kontrollgruppe. Dies widerspricht den Ergebnissen von Horii et al. (2018). Möglicherweise könnte dies an der geringen Sample Size an Patientinnen und Patienten in der Studie von Horii et al. (2018) liegen. Lemans et al. (2019) konnten deutlich mehr Versuchspersonen untersuchen als Horii et al. (2018). In der Studie von Horii et al. (2018) entwickelten lediglich insgesamt 32 Versuchspersonen eine post-operative Wundinfektion. Lemans et al. (2019) hingegen hatten eine deutlich höhere Anzahl an Daten von Patientinnen und Patienten. Auch die statistischen Auswertungsmethoden unterscheiden sich in den beiden Studien, was ebenfalls eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse liefern könnte. Ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Studien war, dass Horii et al. (2018) sich lediglich Eingriffe mit posteriorem Zugang fokussierten, während Lemans et al. (2019) jegliche Wirbelsäulen-Operationen untersuchten.

Die Prophylaxe post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen war auch das Thema der Studie von Tan et al. (2020). Die Fragestellung der Studie war, ob es Evidenz für bestimmte Methoden der Wundinfektions-Prophylaxe nach Wirbelsäulen-OPs gibt und für welche Methode die höchste Evidenz existiert. Deshalb führten Tan et al. (2020) eine systematische Literaturrecherche und -analyse nach PRISMA-Schema durch. Die Autorinnen und Autoren konnten 41 Studien zu ihrer Fragestellung finden, davon neun randomisierte, kontrollierte Studien und 32 Kohortenstudien.

Jedoch konnten Tan et al. (2020) für keine Methoden wie prä-inzisions-Prophylaxe mittels Antibiotika, post-operative Applikation von Vancomycin in die Wunde oder Wunddrainage klare Evidenz finden. Die Problematik besteht dabei unter anderem in der Zusammensetzung der Kohorten. In den meisten Studien, die Tan et al. (2020) gefunden hatten, wurden keine potenziellen Hochrisikogruppen wie ältere Menschen, Adipöse oder Personen mit Diabetes mellitus untersucht. Die Evidenz hinsichtlich Menschen mit Risikofaktoren ist noch dünn. Auch herrscht noch kein Konsens über eine bestimmte Methodik der Infektionsprophylaxe nach Wirbelsäulen-Operationen. Tan et al. (2020) betonen, dass hinsichtlich Hochrisiko-Patientinnen und -Patienten noch dringend weiterer Forschungsbedarf besteht. Bislang wurde noch keine Methode gefunden, die sich in der post-operativen Wundinfektions-Prophylaxe etabliert hat (Tan et al. 2020).

Auch die Studie von Yao et al. (2018) stellte die Forschungsfrage nach der Evidenz für bestimmte Verfahren zur post-operativen Wundinfektions-Prophylaxe nach Wirbelsäulen-Operationen. Hierfür führten die Autorinnen und Autoren eine systematische Literaturrecherche und -analyse durch. Es wurde in den Datenbanken PubMed, ClinicalTrials.gov, Cochrane Database, EBSCO Medline, ScienceDirect, Ovid Medline, EMBASE (Ovid), und MEDLINE nach Literatur zur Beantwortung der Forschungsfrage gesucht. Yao et al. (2018) fanden elf randomisierte, kontrollierte Studien, 51 Fall-Kontroll-Studie und sieben Fallserien. Insgesamt wurden 69 Studien für die Literatuarbeit gefunden. Yao et al. (2018) fanden, dass die am meisten untersuchte Methode zur Prävention post-operativer Wundinfektionen die Applikation von Vancomycin in die Wunde war. Es wurden auch die prä-operative Applikation von Antibiotika, Drainage, Povidon-Iod, Wundspülung und 2-Octyl-Cyanocrylat. Yao et al. (2018) fanden für jegliche Methoden eine lediglich begrenzte Evidenz. Es existiert Evidenz dafür, dass die Wunddrainage die Rate der post-operativen Wundinfektion nicht statistisch signifikant beeinflusst. Für Povidon-Iod-Pulver existiert ebenfalls nur moderate Evidenz. Starke Evidenz für eine bestimmte Methodik gibt es allerdings noch nicht.

Auch die aktuelle Meta-Analyse von Xia et al. (2024) beinhaltete die Forschungsfrage der Prävention von Wundinfektionen nach Operationen an der Wirbelsäule. Der Fokus lag dabei auf der Gabe von Antibiotika zur Prävention von post-operativen Wundinfektionen. Xia et al. (2024) untersuchten im Rahmen ihrer Meta-Analyse, ob die Dauer der Antibiotika-Applikation eine Rolle spielt, wenn es darum geht, die Rate an post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulenoperationen signifikant einzudämmen. Sie verglichen die Infektionsraten bei post-operativer Applikation von Antibiotika von weniger- und mehr als 24 Stunden. Die Autorinnen

und Autoren recherchierten gemäß PRISMA-Schema nach Literatur zur Beantwortung ihrer Forschungsfrage in der Datenbank PubMed.

Es konnten sechs Studien mit insgesamt 1.003 Patientinnen und Patienten für die statistische Analyse eingeschlossen werden. Die Patientinnen und Patienten hatten eine thorako-lumbale Operation erhalten. Xia et al. (2024) konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Infektionsraten zwischen einer Antibiotika-Applikation von 24 Stunden und länger als 24 Stunden berechnen. Die klinischen Outcomes waren miteinander vergleichbar. Eine längere Gabe von Antibiotika von mehr als 24 Stunden hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Infektionsraten, verglichen mit einer 24-stündigen Applikation.

Auch Philips et al. (2020) untersuchten im Rahmen einer Meta-Analyse die optimale Dauer und den optimalen Zeitpunkt einer Antibiotika-Gabe zur Verhinderung post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen. Philips et al. (2020) analysierten, ob eine verlängerte Verabreichung von Antibiotika post-operativ die Wundinfektionsraten signifikant senken kann. Hierfür recherchierten die Autorinnen und Autoren in den Datenbanken Medline und Embase nach Kohortenstudien und klinischen Studien, welche die Dauer der Antibiotika-Gabe untersuchten und die Infektionsraten bei unterschiedlichen Zeitspannen der Antibiotika-Applikation verglichen.

Philips et al. (2020) konnten nur fünf Studien mit insgesamt 2.824 Patientinnen und Patienten, die eine Operation an am lumbalen Teil der Wirbelsäule erhalten hatten, finden. Hierbei zeigte keine der Studien einen signifikanten Unterschied zwischen einer 24-Stunden- und einer verlängerten Applikation einer antibiotischen Therapie zur Prävention post-operativer Wundinfektionen. Philips et al. (2020) betonen darüber hinaus die niedrige Qualität und schwache Evidenz der gefundenen Studien.

Die Ergebnisse von Philips et al. (2020) und Xia et al. (2024) werden von der Studie von Pivazyan et al. (2023) gestützt. Auch Pivazyan et al. (2023) führten eine systematische Literaturrecherche und Meta-Analyse zur Fragestellung der Prävention post-operativer Wundinfektionen mittels verlängerte post-operativer Gabe von Antibiotika durch. Pivazyan et al. (2023) identifizierten sieben Studien zu ihrer Fragestellung. Die Meta-Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede in den Wundinfektions-Raten zwischen einer 24-stündigen- und einer verlängerten post-operativen Applikation von Antibiotika. Diesbezüglich gehen die Ergebnisse von Xia et al. (2024), Philips et al. (2020) und Pivazyan et al. (2023) konform und liefern somit bislang keine Evidenz für den Nutzen einer verlängerten (mehr als 24 Stunden) post-operativen Verabreichung von Antibiotika.

Eine andere Methodik als die prophylaktische Applikation von Antibiotika untersuchten Muthu et al. (2020): Die Autorinnen und Autoren stellten sich die Forschungsfrage, ob die Verwendung von Wunddrainagen das Risiko für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen senken kann. Dafür führten Muthu et al. (2020) eine systematische Literaturrecherche und -analyse durch. Die Autorinnen und Autoren suchten in den Datenbanken PubMed, Embase und Cochrane nach geeigneten Studien zur Beantwortung ihrer Forschungsfrage. Muthu et al. (2020) fanden 23 Studien, davon neun randomisierte, kontrollierte Studien, vier prospektive- und zehn retrospektive Studien. Hierbei konnten Muthu et al. (2020) keine Evidenz für den Nutzen einer Wunddrainage hinsichtlich Reduktion der Raten an post-operativen Wundinfektionen finden. Die Qualität der gefundenen Studien wurde mittels Cochrane-Analyse als moderat befunden. Hoch-qualitative Studien, die starke Evidenz liefern könnten, existieren bislang nicht. Auch Tan et al. (2020) fanden keine Evidenz für den Nutzen einer Anwendung der post-operativen Wunddrainage, wenn es um die Prävention post-operativer Wundinfektionen geht.

Die vorliegende Literaturstudie fand somit bislang keine klare Evidenz für eine bestimmte Methodik zur Prävention post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen. Es stellt sich an dieser Stelle die Frage, ob Evidenz hinsichtlich Managements post-operativer Wundinfektionen existiert, wenn die Infektion bereits eingetreten ist.

Dies war die Fragestellung der Studie von Rickert et al. (2016). Aktuell existiert die höchste Evidenz für die prophylaktische post-operative Applikation von Antibiotika in die Wunde (Tan et al. 2020), jedoch existieren noch keine standardisierten Verfahren zur Prophylaxe post-operativer Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule (Tan et al. 2020). Rickert et al. (2016) untersuchen hierfür deutschlandweit die Verfahren im Umgang mit Prophylaxe und Management von post-operativen Wundinfektionen in deutschen Kliniken. Rickert et al. (2016) konzipierten einen Online-Fragebogen und führten bundesweit eine systematische Befragung im Zeitraum Juni 2012 bis November 2013 zur Inzidenz, Prophylaxe und Management post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen durch.

Die teilnehmenden Kliniken führten durchschnittlich 582 operative Eingriffe an der Wirbelsäule jährlich durch. Im Durchschnitt mussten acht Fälle von post-operativer Wundinfektion pro Jahr versorgt werden. Somit belief sich die Rate der post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen an deutschen Kliniken auf 1,7 %.

Rickert et al. (2016) stellten fest, dass an nur 45 % der Kliniken feste Standard-Verfahren im Umgang mit post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen existierten. In 97 % der befragten Krankenhäuser stand das chirurgische Debridement mit Wundspülung im

Fokus. Jedoch konnten bundesweit keine einheitlichen Standards gefunden werden. Im Falle einer post-operativen Wundinfektion wird vor allem auf das chirurgische Debridement mit Wund-Spülung zur Therapie der Wundinfektion gesetzt. In deutschen Kliniken stehen somit das Debridement und die Wundspülung im Fokus.

Nachfolgend soll die aktuell in der vorliegenden Arbeit analysierte Evidenz im Kontext des theoretischen Teils der Arbeit und bezüglich Implikationen in der Praxis diskutiert werden.

## 5. Diskussion

In Deutschland gehören Wirbelsäulenoperationen zur Routineversorgung im Krankenhaus. Während den vergangenen Jahren haben sich neue Operationstechniken etabliert, was zu einer Zunahme der Zahl der Wirbelsäulenoperationen in Deutschland geführt hat (Klauber et al. 2013; Hagan et al. 2022). Hierbei stellt sich die Frage nach einer möglichen Überversorgung, da große regionale Unterschiede in der Anzahl der Wirbelsäulenoperationen in Deutschland bestehen (Klauber et al. 2013). Klauber et al. (2013) untersuchten die rohen, altersstandardisierten Raten der Wirbelsäulenoperationen in Deutschland während den Jahren 2005 bis 2010. Diese lagen im Jahr 2010 bundesweit bei 537,5 (405,1) pro 100.000 Personen (Klauber et al. 2013).

Jährlich werden in Deutschland mehrere Millionen Menschen in Deutschland wegen einer muskuloskelettalen Erkrankung operiert. Eine Studie ergab, dass in Deutschland pro Jahr 15 Millionen Wirbelsäulenoperationen durchgeführt werden (Janka et al. 2017). Es wird erwartet, dass aufgrund des demografischen Wandels, die Zahl der Wirbelsäulen-Operationen weltweit zunehmen wird. Durch die stetig steigende Lebenserwartung und infolgedessen der kontinuierlichen Zunahme der Zahl an älteren Menschen, wird auch die Anzahl der Wirbelsäulenerkrankungen und Operationsindikationen steigen (Janka et al. 2017; Klauber et al. 2013; Zhou et al. 2020).

Grundsätzlich ist eine chirurgische Therapie an der Wirbelsäule dann indiziert, wenn konservative Methoden wie Physiotherapie nicht den gewünschten Erfolg bringen und die betroffenen Menschen unter Schmerzen oder Einschränkungen leiden (Tan et al. 2020; Zhou et al. 2020). Wirbelsäulen-Operationen betreffen sowohl die Bandscheiben, die Nervenstränge, das Rückenmark, die Spinalnerven und die knöchernen Strukturen (Zhou et al. 2020).

Als eine der häufigsten Eingriffe gilt das Einsetzen von Bandscheibenprothesen. Dabei werden kaputte Bandscheiben, die mittels konservativer Therapie nicht mehr behandelbar sind, durch künstliche- ersetzt. Dieser Eingriff wird am häufigsten an der Halswirbelsäule vorgenommen (Hagan et al. 2022; Zhou et al. 2022). Bandscheiben werden häufig dann chirurgisch therapiert, wenn aufgrund beschädigter Bandscheiben große Schmerzen, die nicht konservativ behandelbar sind oder neurologische Symptome wie Sensibilitätsstörungen

auftreten. Das Einsetzen von Bandscheibenprothesen kann unter Umständen als Alternative zur chirurgischen Versteifung der Wirbelsäule bei beispielsweise Spondylolisthese angewendet werden (Hagan et al. 2022).

Die Arthrodesese ist eine weitere häufige Operationstechnik zur Indikation der Versteifung der Wirbelsäule. Eine solche kann indiziert sein, wenn starke chronische Schmerzen im Kreuzdarmbeingelenk nicht ausreichend mittels konservativer Methoden behandelt werden kann. Die Arthrodesese erfolgt heutzutage minimal-invasiv (Schnake et al. 2019). Im Rahmen eines minimal-invasiven Eingriffes werden das Os ilium und das Os sacrum fusioniert und somit das Gelenk versteift (Schnake et al. 2019).

Ein weiterer häufiger Eingriff, der ebenfalls minimal-invasiv durchgeführt wird, ist die Denervierung des Iliosakralgelenks. Auch dieser operative Eingriff erfolgt dann, wenn die Schmerzen und Einschränkungen nicht mehr durch konservative Methoden beherrschbar sind. Hierbei werden die Nerven zwischen dem erkrankten Iliosakralgelenk und Gehirn gezielt unterbunden (Schnake et al. 2019). Die betroffenen Nerven werden mithilfe von Radiofrequenz-Neurotomie oder Thermokoagulation verödet. Mit diesem Eingriff sollen die chronischen Schmerzen und Beschwerden gelindert werden. Allerdings ist der Effekt nicht permanent, sondern hält rund ein bis zwei Jahre an (Schnake et al. 2019).

Bei Osteoporose können minimal-invasive Operationstechniken angewendet werden. Die Vertebroplastie beinhaltet die Reparatur eines frakturierten Wirbelkörpers. Hierbei wird in den beschädigten Wirbelkörper Knochenzement eingespritzt. Damit soll auch erneuten Rezidiv-Brüchen vorgebeugt werden, indem der betroffene Wirbelkörper stabilisiert wird. Die Kyphoplastie beinhaltet die Einführung eines Ballons in den Wirbel. Der Ballon wird dann aufgepumpt und richtet den geschrumpften Knochen wieder auf. Anschließend wird der Ballon entfernt und Knochenzement in den so entstandenen Hohlraum eingespritzt. So können Größe und Form der betroffenen Wirbel wieder hergestellt werden. Auch offene Operationen können bei Osteoporose indiziert sein (Imamudeen et al. 2022; Munoz et al. 2020; Schnake et al. 2019).

Die Indikation zu einer operativen Therapie sollte in der Regel erst dann gestellt werden, wenn sämtliche konservative Methoden, ohne zufriedenstellenden Erfolg, ausgeschöpft worden sind (Tan et al. 2020; Zhou et al. 2020). Hierbei gilt die Trias: Schmerz, Lokalisierbarkeit der pathologischen Veränderung und pathologische- sowie neurologische Befunde, welche die Indikation für eine chirurgische Therapie gilt. Leiden die Patientinnen und Patienten trotz Ausschöpfung aller konservativen Therapiemethoden weiterhin unter Schmerzen und/oder neurologischen Einschränkungen und ist die krankhafte Veränderung an der Wirbelsäule

lokalisierbar, so wird die Indikation für eine chirurgische Therapie gestellt (Meißner 2022; Tan et al. 2020; Zhou et al. 2020).

Aber auch heutzutage sind noch nicht bei allen Indikationen an der Wirbelsäule minimal-invasive Operationstechniken möglich (Meißner 2022). Wenn es darum geht, eine komplexe und große Problematik an der Wirbelsäule zu beheben, ist bis heute eine offene Operation notwendig (Meißner 2022).

Große und technisch anspruchsvolle Eingriffe machen eine offene Operation an der Wirbelsäule notwendig, beispielsweise benigne- und maligne Tumore, Wirbelsäulenmetastasen, eine Skoliose oder komplexe Traumata an der Wirbelsäule zum Beispiel durch Unfälle. Bei einem Bandscheibenvorfall oder einer Spinalkanalstenose kann jedoch minimal-invasiv operiert werden (Meißner 2022).

Die Komplikationen nach operativen Eingriffen an der Wirbelsäule können in zwei unterschiedliche Kategorien differenziert werden: 1) spezifische, 2) allgemeine (Röhl & Röhrich 2005). Bei den allgemeinen Komplikationen handelt es sich beispielsweise um Nachblutungen oder post-operativen Wundinfektionen. Spezifische Komplikationen umfassen unter anderem Fehlstellungen oder Instabilitäten (Röhl & Röhrich 2005).

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf das Kernthema post-operative Wundinfektionen. Diese treten insbesondere nach offenen, komplexen Eingriffen auf, bei operativen Eingriffen bei Tumorerkrankungen oder nach Traumata. Ebenso stellt das Einsetzen von Fremdkörpern wie beispielsweise Pedikelschrauben ein Risiko für eine post-operative Wundinfektion dar (Nasto et al. 2012; Tan et al. 2020; Zale et al. 2023).

Im Fall einer post-operativen Wundinfektion kann eine Revisions-Operation indiziert sein (Röhl & Röhrich 2005). Post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule können schwerwiegende Komplikationen nach sich ziehen: unter anderem neurologische Ausfälle, Verzögerung des Heilungsprozesses, Funktionsverlust und im schlimmsten Fall eine Sepsis (Zale et al. 2023). Post-operative Wundinfektionen sind zudem assoziiert mit längeren Krankenhausaufenthalten sowie einer höheren Morbiditäts- und Mortalitätsrate (Tan et al. 2020; Zale et al. 2023).

Post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule bedeuten nicht nur für die betroffenen Menschen Einschränkungen in ihrer Leistungsfähigkeit und Lebensqualität, sondern auch erhöhte Folgekosten für die Allgemeinheit. Post-operative Wundinfektionen sind also nicht nur ein medizinisches-, sondern auch ein ökonomisches Problem. Daher spielt die

Prophylaxe post-operativer Wundinfektionen eine herausragende Rolle in der Wirbelsäulenchirurgie, aber auch in anderen Fachbereichen der Chirurgie (Napp et al. 2014).

Die Reduktion der post-operativen Infektionsraten bedeutet somit das Vermeiden schwerwiegender Komplikationen für die Patientinnen und Patienten und gleichzeitig eine Senkung der Verweildauer im Krankenhaus und die Reduktion der Gesundheitskosten für die Allgemeinheit (Napp et al. 2014).

Eine Studie hat ergeben, dass Patientinnen und Patienten, die einen chirurgischen Eingriff erhalten haben, doppelt so häufig von Krankenhausinfektionen betroffen sind als Personen, bei denen kein operativer Eingriff indiziert ist (Sax et al. 2011). Konkrete Berechnungen zeigen, dass post-operative Wundinfektionen den Krankenhausaufenthalt der Betroffenen um 6,5 bis 17,9 Tage verlängern. Zudem verursachen sie zusätzliche Behandlungskosten von 1.814 bis zu 22.900 Euro. Auch für Ärztinnen und Ärzte stehen bei post-operativen Wundinfektionen hinsichtlich Behandlung häufig vor großen Herausforderungen (Chaberny & Graf 2011).

Bei der Strategie zur Prävention post-operativer Wundinfektionen werden Risikofaktoren definiert. Diese können in zwei unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden: prädisponierende- und expositionsbedingte-. Bei Ersteren handelt es sich um Faktoren, welche nicht oder nur sehr bedingt beeinflussbar sind, beispielsweise das Lebensalter des betroffenen Menschen, die Genetik, das Immunsystem, das Geschlecht oder bereits vorhandene Vorerkrankungen. Die expositionellen Risikofaktoren umfassen beispielsweise komplexe chirurgische Eingriffe, die Krankenhaushygiene und das prä-, peri- und post-operative Management (Chaberny & Graf 2011).

Eines der häufigsten Keime, die für post-operative Wundinfektionen ursächlich sind, ist *Staphylokokkus aureus* (Munoz et al. 2008). Deshalb wird als eine wichtige Präventionsmaßnahme ein Screening von Risikopatientinnen und -patienten auf Methicillin-resistente *Staphylokokkus aureus* (MRSA) bei stationärer Aufnahme ins Krankenhaus empfohlen (Parente et al. 2018).

Dabei werden die Risikopatientinnen und -patienten nasal auf MRSA untersucht, denn *Staphylokokkus aureus* Stämme befinden sich meist in der Nase der betroffenen Personen. Fällt der Test auf MRSA positiv aus, werden als Präventionsmaßnahmen Dekolonisationsmethoden eingesetzt. Dies beinhaltet die Applikation von antibiotischen Nasensalben zur Eliminierung der Bakterien. Neben Risikopatientinnen und -patienten können auch jegliche Personen, bei denen chirurgische Eingriffe indiziert sind, gescreent und entsprechend behandelt werden (Parente et al. 2018).

Eine frühere randomisierte, kontrollierte Studie (Bode et al. 2010) kam zum Ergebnis, dass das Screening auf MRSA und die Applikation einer antibiotischen Nasensalbe die Rate der nosokomialen Infektionen durch *Staphylokokkus aureus* signifikant senken konnte. Eine weitere Möglichkeit zur Prävention besteht in der antibiotischen Prophylaxe perioperativ. Hierbei werden den Patientinnen und Patienten präventiv 30 Minuten bis eine Stunde vor dem chirurgischen Eingriff Antibiotika, zum Beispiel Vancomycin, appliziert. Wird eine Operationsdauer von drei bis vier Stunden überschritten, so wird den Patientinnen und Patienten noch eine Dosis des jeweiligen Antibiotikums gegeben (Hansen et al. 2014). Die aktuelle Evidenz für die Applikation von Vancomycin wird in den nachfolgenden Kapiteln noch ausführlich beleuchtet und diskutiert.

Mittels alkoholhaltiger Präparate oder Povidon-Ion wird zur Infektionsprävention die Haut rund um die operierende Stelle desinfiziert (Chaberny & Graf 2011). Frühere Studien haben Diabetes mellitus, bzw. einen hohen Wert an Blutglukose als signifikanter Risikofaktor für post-operative- und jegliche nosokomiale Infektionen identifiziert (Martin et al. 2016; Pennington et al. 2020). Somit scheint die Kontrolle der Blutzuckerwerte eine ebenfalls wichtige Präventionsmaßnahme post-operativer Wundinfektionen darzustellen (Martin et al. 2016; Pennington et al. 2020). Laut einer Studie (Martin et al. 2016) scheint eine Blutglukosekontrolle von < 200 mg/dl einen wichtigen Teil zur Prävention von post-operativen Wundinfektionen beizutragen. Die frühere Studie von Leibowitz et al. (2010) konnte zeigen, dass mittels Kontrolle der Blutzuckerwerte eine Reduktion an post-operativen Wundinfektionen um 56 % erreicht werden kann. Dies zeigten Leibowitz et al. (2010) allerdings an Patientinnen und Patienten aus der Kardiologie.

Es stellt sich ferner die Frage, welchen Einfluss Wunddrainagen auf die Rate an post-operativen Wundinfektionen haben (Akis et al. 2022; Tan et al. 2020).

Generell fassen Chaberny & Graf (2011) während den unterschiedlichen Phasen chirurgischer Eingriffe die folgenden Präventionsmaßnahmen vor, die in der nachfolgenden Tabelle übersichtlich zusammengefasst werden:

<b>Zeitpunkt</b>	<b>Präventionsmaßnahmen</b>
Prä-operativ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Screening auf MRSA</li> <li>• Antibiotische Nasensalbe falls Screening positiv</li> <li>• Haarclipping statt Rasur</li> </ul>
Peri-operativ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perioperative Applikation von Antibiotika</li> <li>• Antiseptische Maßnahmen</li> <li>• Händehygiene, Tragen doppelter Schicht an Handschuhen</li> <li>• Kontrolle der Blutzuckerwerte</li> <li>• Normothermie: Prävention von Hypothermie</li> <li>• Sauerstofftherapie</li> </ul>
Post-operativ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmäßiger Verbandwechsel</li> <li>• Hygienemaßnahmen/Händehygiene</li> <li>• Wunddrainagen</li> <li>• Eventuell Antibiose</li> </ul>
Generell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung</li> <li>• Hygieneschulungen</li> <li>• Hygienemaßnahmen</li> <li>• Monitoring der Compliance der Patientinnen und Patienten</li> </ul>

*Tabelle 3: Präventionsmaßnahmen post-operativer Wundinfektionen*

Quelle: eigene Darstellung angelehnt an Chaberny & Graf 2011, S. 240

Post-operative Wundinfektionen sind nach operativen Eingriffen an der Wirbelsäule keine Seltenheit (Pepke et al. 2020). Unterschiedliche Studien berechnen auch verschiedene Infektionsraten, so dass die Studienlage zur Epidemiologie post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäuleneingriffen noch nicht einheitlich klar ist (Rickert et al. 2016; Tan et al. 2020). Mögliche Präventionsmaßnahmen wurden zwar bereits publiziert (Chaberny & Graf 2011), jedoch ist bislang noch nicht im Detail bekannt, welche Risikofaktoren genau für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen existieren (Pepke et al. 2020). In der Praxis ist es jedoch von entscheidender Bedeutung, die Risikofaktoren genau zu kennen, sowie geeignete Leitlinien zum Umgang mit post-operativen Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule zu etablieren (Farah et al. 2021). Aus diesem Grund hatte die vorliegende Arbeit zum Ziel, die aktuelle Evidenz hinsichtlich Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche zu

analysieren. Ebenso wurde die aktuelle Evidenz für entsprechende Präventionsmaßnahmen und mögliche prädiktive Faktoren kritisch analysiert.

Es stellte sich als Erstes die Frage, bei welcher spinalen Operationstechnik das höchste Risiko für post-operative Wundinfektionen besteht. In der aktuellen Literatur werden dabei häufig offene- mit minimal-invasiven Eingriffen verglichen (u.a. Bassani et al. 2021; Berman et al. 2022; Blood et al. 2017; Buser et al. 2022; Chan et al. 2023; Fei et al. 2016; Fiani et al. 2020; Franck et al. 2018; Goldstein et al. 2016). Die vorliegende Literaturanalyse kam dabei zu widersprüchlichen Ergebnissen und einer noch bislang uneinheitlichen Studienlage.

Die Studie von Franck et al. (2018) konnte die Lappenplastik als mögliche Operationstechnik zur Reduktion von post-operativen Wundinfektionen identifizieren. Weitere Evidenz für diese Ergebnisse liefert die Studie von Kenny et al. (2021). Die Autorinnen und Autoren bestätigen in Form einer retrospektiven Kohortenstudie mit 373 Patientinnen und Patienten, dass die Lappenplastik mit geringeren Komplikationsrisiken wie post-operative Wundinfektion einhergeht. Franck et al. (2018) schlossen lediglich 55 Patientinnen und Patienten in ihre Studie ein, was eine geringe Anzahl darstellt, wobei es sich auch nur um onkologische Patientinnen und Patienten handelte. Kenny et al. (2021) bestätigten allerdings die Ergebnisse von Franck et al. (2018) an einer höheren Anzahl an Versuchspersonen, wobei Kenny et al. (2021) ebenfalls Risikopatientinnen und -patienten in ihre Studie einschlossen und daraus schlussfolgern, dass die Lappenplastik für diese Kohorte eine geeignete Methode darstellt. Auch Inglesby et al. (2020) kommen im Rahmen ihrer retrospektiven Fallserie zum Ergebnis, dass die Lappenplastik bei komplexen Wunden im Bereich der Wirbelsäule das Komplikationsrisiko senken kann. Mehrere Studien (Franck et al. 2018; Inglesby et al. 2020; Kenny et al. 2021) liefern Hinweise darauf, dass die Lappenplastik möglicherweise das Komplikationsrisiko nach Wirbelsäulen-Operationen senken kann.

Eine aktuelle Studie (Chan et al. 2023) fokussierte sich auf die Senkung des Komplikationsrisikos bei minimal-invasiven lumbalen Eingriffen bei der Indikation Spondylolisthese. Chan et al. (2023) stellten die Forschungsfrage, welche Operationstechnik, die minimal-invasive- oder die offene- mit der geringeren Komplikationsrate einhergeht. Die Forschungsfrage wurde im Rahmen einer retrospektiven Kohortenstudie untersucht. Hierbei konnten Chan et al. (2023) keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Operationstechniken hinsichtlich post-operative Wundinfektionen berechnen. Daten 297 Versuchspersonen waren in der Studie von Chan et al. (2023) eingeschlossen worden. Die systematische Literaturstudie von Goldstein et al. (2016) geht mit den Ergebnissen von Chan et al. (2023) konform und kommt somit zu den gleichen Schlussfolgerungen, dass die minimal-

invasive- und die offene Operation hinsichtlich Komplikationsrisiko gleichwertig sind. Auch Heemskerk et al. (2021) kommen im Rahmen ihrer Meta-Analyse zu diesem Ergebnis und liefern weitere Evidenz dafür, dass beide Operationstechniken gleichwertig zu sein scheinen, wenn es um post-operative Infektionen geht. Mummaneni et al. (2017) kommen ebenfalls zu diesem Ergebnis.

Allerdings konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine widersprüchliche Studienlage gefunden werden. So lieferte die Studie von Kulkarni et al. (2016) Evidenz für ein geringeres Infektionsrisiko bei minimal-invasiven Operationstechniken. Kulkarni et al. (2016) kamen in ihrer komparativen Kohortenstudie mit 1.043 Versuchspersonen zum Ergebnis, dass die minimal-invasive Operationstechnik mit geringeren Raten an post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen einhergeht. Dieser Widerspruch zu Chan et al. (2023), Goldstein et al. (2016) und Heemskerk et al. (2021) kann möglicherweise durch die unterschiedlichen Designs und unterschiedlichen Zusammensetzungen der Kohorten erklärt werden.

Ferner führten Kulkarni et al. (2016) auch eine systematische Literaturrecherche und -analyse durch. Die Widersprüche zu den Literaturstudien von Goldstein et al. (2016) und Heemskerk et al. (2021) können möglicherweise durch unterschiedliche Einschlusskriterien für die Literatur erklärt werden. Es ist auch kritisch anzumerken, dass Goldstein et al. (2016) sowie Heemskerk et al. (2021) lediglich eine geringe Anzahl an geeigneten Studien zu ihren Forschungsfragen finden konnten.

Goldstein et al. (2016) fanden lediglich 26 Studien, während Heemskerk et al. (2021) in ihre Meta-Analyse nur 16 Studien einschließen konnten. Dies stellt eine geringe Anzahl an Studien dar und es stellt sich auch die Frage nach der Qualität der jeweiligen Studien.

Kulkarni et al. (2016) schlossen zudem relativ junge Patientinnen und Patienten (medianes Alter 52,2 Jahre) ein, während Franck et al. (2018) ihre Studie lediglich mit onkologischen Patientinnen und Patienten durchführten. Die Kohorten sind somit in beiden Studien unterschiedlich. Die Ergebnisse von Kulkarni et al. (2016) werden jedoch von der aktuellen Studie retrospektiven Kohortenstudie von Mahan et al. (2023) mit 1.277 Versuchspersonen gestützt. Mahan et al. (2023) stellten fest, dass vor allem Patientinnen und Patienten mit Ko-Morbiditäten minimal-invasiv operiert worden waren. Allerdings konnten die Autorinnen und Autoren einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Infektionsraten bei offenen- oder minimal-invasiven Eingriffen berechnen. Die Studie von Müller et al. (2019) mit 1.442 Patientinnen und Patienten lieferte weitere Evidenz für eine signifikant niedrigere Infektionsrate bei minimal-invasiven Eingriffen, verglichen mit offenen Operationen. Es ist

jedoch anzumerken, dass Müller et al. (2019) nur die Indikationen Dekompression und Wirbelkörperperfusion untersuchten. An dieser Stelle ist auch kritisch anzumerken, dass nicht nur die unterschiedlichen Designs und Kohorten, sondern auch die verschiedenen untersuchten Indikationen in den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Studien zu diesen widersprüchlichen Ergebnissen geführt haben kann. Es zeigte sich, dass die aktuelle Studienlage hinsichtlich Operationstechniken und deren Risiken für post-operative Wundinfektionen noch stark heterogen ist.

Die Meta-Analyse von Zhou et al. (2020) könnte eine weitere mögliche Erklärung für die widersprüchlichen Ergebnisse hinsichtlich Operationstechnik liefern. Die Autorinnen und Autoren fanden heraus, dass die Rate der post-operativen Infektionen von der Indikation abhängen könnte. Zhou et al. (2020) fanden die höchsten Inzidenzen post-operativer Wundinfektionen bei neuromuskulären Skoliosen. Auch die Lokalisation des Eingriffes könnte eine Rolle spielen: Zhou et al. (2020) fanden unterschiedliche Infektions-Inzidenzen bei Eingriffen jeweils an der cervikalen- thorakalen- und lumbalen Wirbelsäule. Ebenso scheint der Operationszugang einen wesentlichen Einfluss auszuüben. Zhou et al. (2020) kamen zur Schlussfolgerung, dass die Infektionsraten bei posterioren Operationszugängen höher waren als bei anterioren-. Diese Erkenntnis wird von den Ergebnissen von Bassani et al. (2021) gestützt. Allerdings konnte die Meta-Analyse von Zhou et al. (2020) ebenfalls niedrigere Infektionsraten bei minimal-invasiven Eingriffen als bei offenen- finden.

Sowohl Zhou et al. (2020) als auch Heemskerk et al. (2021) führten eine Meta-Analyse bezüglich Operationstechnik durch, wobei die beiden Studien zu widersprüchlichen Ergebnissen kommen. Zhou et al. (2020) fanden für ihre Meta-Analyse 27 Studien, während es bei Heemskerk et al. (2021) lediglich 16 Studien waren. Dies verdeutlicht die unterschiedlichen Einschlusskriterien für die jeweilige Literatur, was eine mögliche Erklärung für diese widersprüchlichen Ergebnisse liefern könnte.

Die Ergebnisse von Kulkarni et al. (2016), Müller et al. (2019), Zhou et al. (2020) und Mahan et al. (2023), dass minimal-invasive Operationstechniken mit niedrigeren Infektionsraten einhergehen, werden zusätzlich von Zhu et al. (2021) gestützt. Allerdings ist hierbei ebenfalls kritisch anzumerken, dass in der Studie von Zhu et al. (2021) nur onkologische Patientinnen und Patienten mit Wirbelsäulenmetastasen untersucht wurden.

Anhand der vorliegenden Literaturrecherche kann die Forschungsfrage 1) „Bei welcher spinalen Operationstechnik besteht die höchste Gefahr für post-operative Infektionen?“ nicht eindeutig beantwortet werden. Aktuell existieren Hinweise darauf, dass möglicherweise offene Operationstechniken mit höheren Infektionsraten einhergehen als minimal-invasive- (Kulkarni

et al. 2016; Müller et al. 2019; Zhou et al. 2021; Mahan et al. 2023). Die Studienlage diesbezüglich ist allerdings noch nicht eindeutig, da andere Studien zum Ergebnis kommen, dass die offene- und die minimal-invasive Operationstechnik hinsichtlich Komplikationen und Infektionsraten gleichwertig sind (Goldstein et al. 2016; Heemskerk et al. 2021; Mummaneni et al. 2017; Chan et al. 2023).

Es existieren Hinweise darauf, dass die Lappenplastik dazu beitragen könnte, die Rate post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulenoperationen möglichst gering zu halten. Mehrere Studien sprechen dafür (Franck et al. 2018; Kenny et al. 2021; Inglesby et al. 2020). Weitere Forschungen sind diesbezüglich allerdings noch nötig. So fand die systematische Literaturstudie von Blood et al. (2017) tatsächlich inkonsistente Ergebnisse, was den Risikofaktor Operationstechnik betrifft.

Somit bedarf es noch weiterer Forschungen in Form von hochqualitativen Studien, wie beispielsweise randomisierte, kontrollierte Studien oder Meta-Analysen bezüglich offener- oder minimal-invasiver Operationstechnik zur Eindämmung post-operativer Wundinfektionen. Die Infektionsraten scheinen allerdings nicht nur von der Operationstechnik, sondern von weiteren Faktoren wie Operationszugang und Indikation zur Operation abzuhängen (von Bassani et al. 2021; Zhou et al. 2021). Diese Hypothese wird von der Studie von Fei et al. (2016) gestützt. Die Autorinnen und Autoren kamen zur Schlussfolgerung, dass ein post-operativer Operationszugang das Risiko für post-operative Wundinfektionen begünstigen kann. Sowohl Chan et al. (2023) als auch Berman et al. (2022) betonen die multifaktorielle Genese post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen. Auch hierzu bedarf es noch weiterer Forschungen. Die Forschungsfrage 1) kann somit bis heute noch nicht eindeutig beantwortet werden. Es bedarf weiterer Forschungen bezüglich der unterschiedlichen Faktoren, die zu einer post-operativen Wundinfektion nach einem Eingriff an der Wirbelsäule führen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten auch mehrere Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen gefunden werden. Die retrospektive Kohortenstudie von Algarny et al. (2023) identifizierte die Dauer der Operation als bedeutenden Risikofaktor für post-operative Wundinfektionen. Zu diesem Ergebnis kam auch die frühere Studie von Fei et al. (2016). Hierbei stellten die Autorinnen und Autoren fest, dass eine Operationsdauer von mehr als drei Stunden, das Risiko für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen begünstigt.

Die Ergebnisse aus der Literaturstudie von Blood et al. (2017) hinsichtlich Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen waren zu diesem Zeitpunkt inkonsistent. Als mögliche

Risikofaktoren wurden das männliche Geschlecht, ein geschwächtes Immunsystem, das Lebensalter, Adipositas, Nikotinabusus, Alkoholkrankheit und Diabetes mellitus identifiziert. Die Adipositas sowie auch die Diabetes mellitus als potenzieller Risikofaktor für post-operative Wundinfektionen wurde von Fei et al. (2016) ebenfalls identifiziert.

Nikotinabusus, Adipositas und Diabetes mellitus als potenzielle Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen werden auch von der Studie von Fiani et al. (2020) bestätigt. Die Meta-Analyse von Pesenti et al. (2018) geht mit den obigen Ergebnissen konform und identifizierte Adipositas, Diabetes mellitus, Nikotinabusus sowie die Operationszeit als maßgebliche Risikofaktoren. Die Dauer der Operation als möglicher Risikofaktor wurde auch von Algarny et al. (2023) und Fei et al. (2016) gefunden. Es existiert somit Evidenz für sowohl patientenbezogene- als auch operationsbezogene Risikofaktoren. Dies verdeutlicht, dass es nicht die Operationstechnik alleine ist, welche die Gefahr einer post-operativen Wundinfektion birgt, sondern dass zahlreiche andere, sowohl operationsbezogene-, als auch patientenbezogene Aspekte hinzukommen. Diese Hypothese wird von der aktuellen Studie von Chan et al. (2023) bestätigt.

Sowohl Pesenti et al. (2018) als auch Fiani et al. (2020), Fei et al. (2016) und Blood et al. (2017) kamen zum Ergebnis, dass Adipositas, Diabetes mellitus, Nikotinabusus und die Dauer der Operation als bedeutende Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen gesehen werden können. Das Körpergewicht, bzw. Adipositas als Risikofaktor für post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule identifizieren somit mehrere Studien, nämlich Fei et al. (2016), Blood et al. (2017) und Fiani et al. (2020). Franck et al. (2018) liefern weitere Evidenz für den Risikofaktor Adipositas für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulenoperationen.

Pesenti et al. (2018) fanden zusätzlich noch die Indikation für eine Osteotomie. Eine erste Evidenz für weitere Faktoren konnte in der vorliegenden Arbeit in der Studie von Yoshida et al. (2023) gefunden werden. Yoshida et al. (2023) liefern Hinweise darauf, dass ein erhöhter Wert des CRP und eine Hypoalbuminämie hierbei ebenfalls eine Rolle spielen könnten. Es ist allerdings an dieser Stelle anzumerken, dass die Studie von Yoshida et al. (2023) mit Conflicts of Interest verbunden war. Die Autorinnen und Autoren geben Conflicts of Interest bekannt.

Es stellt sich somit die Frage nach der Objektivität der Ergebnisse. Die frühere Studie von He et al. (2020), ohne Conflicts of Interest, zeigte jedoch ebenfalls die Ergebnisse, dass die Hypoalbuminämie einen möglichen Risikofaktor darstellen kann. Yoshida et al. (2023) geben bezüglich ihrer Ergebnisse auch zu bedenken, dass weitere Forschungen notwendig sind, um ihre Ergebnisse zu bestätigen. Die jeweiligen Ergebnisse der Studien von Zhang et al. (2020)

und Zhang et al. (2022) widersprechen Yoshida et al. (2023). Zhang et al. (2020) sowie Zhang et al. (2022) konnten keinen signifikanten Einfluss des Albuminwertes auf das Risiko für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen finden.

Bei der Studie von Yoshida et al. (2023) handelt es sich um eine retrospektive Querschnittsstudie, die 72.280 Patientinnen und Patienten einschloss. Zhang et al. (2020) führten eine retrospektive Kohortenstudie mit 602 Versuchspersonen. Es ist hierbei kritisch anzumerken, dass in der Studie von Yoshida et al. (2023) lediglich Versuchspersonen, die über den anterioren Zugang operiert worden waren, eingeschlossen waren. Zhang et al. (2020) allerdings untersuchten sämtliche Versuchspersonen mit der Indikation Wirbelkörperfusion. Somit könnten die unterschiedliche Auswahl und Zusammensetzung der Kohorten eine mögliche Erklärung für die widersprüchlichen Ergebnisse sein.

Bei Zhang et al. (2022) hingegen handelt es sich um eine Meta-Analyse. Die anbei verglichenen Studien verfügen somit nicht nur über unterschiedliche Kohorten, sondern auch über unterschiedliche Designs. Die Studienlage zur Hypoalbuminämie muss somit in der vorliegenden Arbeit als widersprüchlich befunden werden. Weitere Forschungen zu dieser Fragestellung sind notwendig.

Adipositas wurde als signifikanter Risikofaktor in mehreren Studien identifiziert (Blood et al. 2017; Fiani et al. 2020; Fei et al. 2016; Franck et al. 2018). Dem widersprechen allerdings die Ergebnisse von Zhang et al. (2022). In der Meta-Analyse von Zhang et al. (2022) wurde Adipositas als nicht signifikanter Faktor befunden. Es stellt sich die Frage, wie es zu einem solchen widersprüchlichen Ergebnis kommen konnte. Dies könnte möglicherweise an der Indikation liegen, wobei unterschiedliche Eingriffe an der Wirbelsäule in den jeweiligen Studien untersucht wurden.

Fei et al. (2016), Fiani et al. (2020) und Franck et al. (2018) konzentrierten sich überwiegend auf Eingriffe im Bereich der Lendenwirbelsäule. Zhang et al. (2022) hingegen analysierten Eingriffe an der gesamten Wirbelsäule. Diese sind stark heterogen, es kann vermutet werden, dass bei manchen Eingriffen an der Wirbelsäule unter Umständen Adipositas eine geringere Rolle spielt als bei Operationen an der Lendenwirbelsäule. Diesen Punkt erwähnen auch Zhang et al. (2022) als signifikanten Risikofaktor: die Lokalisation der Operation. Die Autorinnen und Autoren liefern Evidenz dafür, dass das Risiko für post-operative Wundinfektionen signifikant vom Ort der Operation abhängt. Dies macht somit die Studie von

Zhang et al. (2022) mit denjenigen von Fei et al. (2016), Fiani et al. (2020) und Franck et al. (2018) nur schwer vergleichbar. Dies zeigten auch Zhou et al. (2020).

Sowohl Bassani et al. (2021) als auch Zhang et al. (2022) bestätigen die Ergebnisse von Zhou et al. (2020), dass einerseits die Lokalisation der Operationsseite eine entscheidende Rolle hinsichtlich post-operatives Infektionsrisiko spielt und andererseits der anteriore Operationszugang mit einem signifikant geringeren Risiko für post-operative Wundinfektionen einhergeht. Zhou et al. (2020) fanden in ihrer Meta-Analyse unterschiedliche Infektionsraten bei verschiedenen Operationslokalisationen. Das geringste Infektionsrisiko besteht – laut Zhou et al. (2020) – bei operativen Eingriffen an der lumbalen Wirbelsäule, das höchste- bei chirurgischen Eingriffen an der thorakalen-.

Zhang et al. (2022) fanden darüber hinaus, dass die Operationstechnik ebenfalls einen signifikanten Risikofaktor darstellen kann. So ist – laut den Ergebnissen von Zhang et al. (2022) – der anteriore Operationszugang mit einem geringeren Risiko für post-operative Wundinfektionen assoziiert. Zu diesem Ergebnis kamen auch Bassani et al. (2021) im Rahmen ihrer systematischen Literaturrecherche.

Diabetes mellitus wurde darüber hinaus von Zhang et al. (2022) als signifikanter Risikofaktor identifiziert. Somit gehen die Ergebnisse von Zhang et al. (2022) mit denjenigen von Fiani et al. (2020), Fei et al. (2016), Algarny et al. (2023) und Pesenti et al. (2018) konform. Zhang et al. (2022) liefern somit weitere Evidenz für Diabetes mellitus als wesentlichen Risikofaktor für post-operative Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen.

Die Applikation von Steroiden konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeiten ebenfalls als möglicher Risikofaktor identifiziert werden, die Evidenz dafür ist allerdings noch schwach (Blood et al. 2017; Zhang et al. 2022). Blood et al. (2017) kamen in ihrer systematischen Literaturrecherche und -analyse zum Resultat, dass die Applikation von Steroiden einen möglichen Einfluss auf das Risiko für post-operative Wundinfektionen nach Eingriffen an der Wirbelsäule hat. Bestätigt wird dieses Ergebnis durch die Meta-Analyse von Zhang et al. (2022). Jedoch betonen Blood et al. (2017), dass es zu dieser Fragestellung noch nicht ausreichend Studien gibt, die Evidenz daher noch schwach ist. Die Meta-Analyse von Zhang et al. (2022) widerlegt allerdings diese Hypothese. Somit ist hinsichtlich der Gabe von Steroiden als möglicher Risikofaktor noch keine ausreichende Evidenz verfügbar. Weitere Forschungen zu diesem Thema sind notwendig, um die Frage nach dem Risikofaktor Steroiden zu klären.

Die Forschungsfrage 2) der vorliegenden Arbeit „Welche Faktoren beeinflussen das Risiko, den Verlauf und der klinische Outcome post-operativer Infektionen nach einem spinalen chirurgischen Eingriff?“ kann somit folgendermaßen anhand der aktuellen Evidenz beantwortet werden:

- Es existiert Evidenz für einen Einfluss des Operationszugangs auf das Risiko post-operativer Wundinfektionen (Zhou et al. 2020; Zhang et al. 2022; Bassani et al. 2021). Studien deuten darauf hin, dass der anteriore Operationszugang mit einem geringeren post-operativen Infektionsrisiko assoziiert ist als der posteriore-.
- Im Rahmen der vorliegenden Literaturarbeit wurde die Lokalisation der Operation als ein möglicher Risikofaktor gefunden, wobei das geringste Infektionsrisiko bei lumbalen Operationen besteht und das höchste- bei thorakalen- (Zhou et al. 2020; Zhang et al. 2022).
- Diabetes mellitus wurden in mehreren Studien als Risikofaktor identifiziert (Fiani et al. 2020; Fei et al. 2016; Algarny et al. 2023; Pesenti et al. 2018; Zhang et al. 2022).
- Auch existiert Evidenz für Adipositas (Blood et al. 2017; Fiani et al. 2020; Pesenti et al. 2018; Fei et al. 2016; Franck et al. 2018).
- Ebenso wurden Nikotin- und Alkoholabusus als weitere entscheidende Faktoren identifiziert (Fei et al. 2016; Pesenti et al. 2018; Franck et al. 2018; Zhang et al. 2022).
- Die Dauer der Operation wurde ebenfalls als signifikanter Risikofaktor in mehreren Studien befunden (Algarny et al. 2023; Pesenti et al. 2018; Schipman et al. 2016; Zhang et al. 2022; Fei et al. 2016). Dabei wurde eine Operationsdauer von mehr als drei Stunden als riskant für post-operative Infektionen befunden (Fei et al. 2016).

Für weitere Risikofaktoren wie Hypoalbuminämie, Hypertonie oder die Applikation von Steroiden existiert noch nicht ausreichend Evidenz und die Studienlage hierzu ist noch heterogen und widersprüchlich (Blood et al. 2017; Yoshida et al. 2023; Zhang et al. 2022). Welche weiteren Faktoren eine Rolle spielen und inwiefern, bedarf weiterer Forschungen.

Somit kann die Forschungsfrage 3) der vorliegenden Arbeit „Gibt es prädiktive Faktoren für das Risiko post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen?“ folgendermaßen beantwortet werden: Mehrere Studien deuten darauf hin, dass die Operationsdauer ein möglicher prädiktiver Faktor sein kann (Algarny et al. 2023; Pesenti et al. 2018; Schipman et al. 2016; Zhang et al. 2022; Fei et al. 2016). Fei et al. (2016) liefern Evidenz dafür, dass eine Operationsdauer von mehr als drei Stunden mit einem erhöhten Risiko für

post-operative Wundinfektionen sein kann. Zwar wurden Adipositas, Nikotin- sowie Alkoholabusus, ein posteriorer Operationszugang, sowie die Lokalisation des Eingriffes als mögliche Risikofaktoren, jedoch nicht als prädiktive Faktoren identifiziert (Algarny et al. 2023; Pesenti et al. 2018; Schipman et al. 2016; Zhang et al. 2022; Fei et al. 2016; Schipman et al. 2016). Als möglicherweise prädiktiv gilt die Operationsdauer, die, falls sie länger als drei Stunden dauert, tatsächlich ein prädiktiver Risiko-Faktor für mögliche post-operative Wundinfektion sein kann (Algarny et al. 2023; Fei et al. 2016; Zhang et al. 2022). Die Studie von Lubelski et al. (2021) untersuchte Web-basierte Rechner als ein mögliches prädiktives Tool für das Risiko einer post-operativen Wundinfektion nach Wirbelsäulen-Eingriffen. Dabei handelt es sich um eine Pilot-Studie. Lubelski et al. (2021) entwickelten ein mathematisches prädiktives Modell für das Risiko für post-operative Wundinfektionen, wobei die Risikofaktoren Nikotinabusus, Adipositas, der Grad der Invasion des Eingriffes, das weibliche Geschlecht und der Allgemeinzustand des betroffenen Menschen als Risikofaktoren mit einfließen. Das Modell hat sich allerdings noch nicht etabliert und weitere Forschungen sind notwendig (Lubelski et al. 2021).

Eine weitere Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit war, wie mit post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen umgegangen werden soll, insbesondere ob standardisierte Verfahren zur Prävention und zum Management post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen existieren. Hierzu konnte im Rahmen der vorliegenden Literaturrecherche bislang keine klare Evidenz gefunden werden (Horii et al. 2018; Tan et al. 2020; Yao et al. 2018; Xia et al. 2024).

Die aktuelle Meta-Analyse von Xia et al. (2024) untersuchte als Methodik zur Prävention post-operativer Wundinfektionen eine Applikation von Antibiotika von mehr als 24 Stunden. Verglichen wurde diese Methode mit einer 24-stündigen Antibiotika-Applikation. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in den Raten post-operativer Wundinfektionen gefunden werden. Hierbei wurden keine signifikanten Unterschiede berechnet. Eine längere als 24-stündige Applikation von Antibiotika beeinflusst die Raten der post-operativen Wundinfektionen nicht signifikant. Auch die Applikation von Vancomycin in die Operationswunde wurde als mögliche präventive Maßnahme untersucht (Horii et al. 2018). Die Studie von Horii et al. (2018) kam dabei zum Ergebnis, dass dies die post-operative Infektionsrate nicht statistisch signifikant beeinflussen kann. Jedoch muss sowohl zur Studie von Xia et al. (2024) als auch zur Studie von Horii et al. (2018) kritisch angemerkt werden, dass es sich um geringe Sample Sizes gehandelt hat. Xia et al. (2024) werteten im Rahmen ihrer Meta-Analyse lediglich 16 Studien aus, Horii et al. (2018) standen nur Daten von 33

Patientinnen und Patienten mit post-operativen Wundinfektionen zur Verfügung. Die Raten der post-operativen Wundinfektionen innerhalb der Interventions- und Kontrollgruppe waren von vornherein bereits gering. Die geringe Anzahl an Personen mit post-operativen Wundinfektionen erschwerten die statistische Analyse. Die Ergebnisse von Horii et al. (2018) könnten im Rahmen großangelegter Studien mit einer höheren Anzahl an Versuchspersonen entweder bestätigt oder widerlegt werden. Weitere Forschungen sind notwendig, um klare Evidenz zu liefern. Denn die Studie von Lemans et al. (2019) kam zum gegenteiligen Ergebnis: Lemans et al. (2019) fanden einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen ihrer Interventionsgruppe, die Vancomycin erhalten hatte und der Kontrollgruppe.

Nach einem evidenzbasierten, standardisierten Verfahren zur Prophylaxe post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen suchten Tan et al. (2020) im Rahmen einer systematischen Literaturstudie. Obwohl 41 Studien zum Thema gefunden werden konnten, kamen Tan et al. (2020) zur Schlussfolgerung, dass es bislang noch keine Evidenz für eine standardisierte Methode gibt. Bislang existiert noch kein standardisiertes Verfahren, um post-operative Wundinfektionen zu verhindern (Tan et al. 2020). Auch die Studie von Muthu et al. (2020), ebenfalls eine systematische Literaturarbeit, kommt zu diesem Ergebnis. Muthu et al. (2020) fanden ebenfalls noch keine klare Evidenz für ein standardisiertes Verfahren zur Prophylaxe post-operativer Wundinfektionen.

Eine Studie aus Deutschland (Rickert et al. 2016) fokussierte sich auf ein mögliches standardisiertes Verfahren im Umgang mit post-operativen Wundinfektionen, wenn diese bereits eingetreten sind. Rickert et al. (2016) kamen zum Ergebnis, dass nicht einmal die Hälfte der deutschen Kliniken (45 %) über ein standardisiertes Verfahren im Umgang mit post-operativen Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Operationen verfügen. Rickert et al. (2016) fanden das chirurgische Debridement und die Wundspülung als die häufigsten Verfahren, welche in deutschen Kliniken angewendet werden. Allerdings muss hierzu angemerkt werden, dass Rickert et al. (2016) schon ohnehin niedrige Infektionsraten (1,7%) in deutschen Kliniken fanden.

Die vorliegende Forschungsfrage 4) „Gibt es ein standardisiertes Verfahren zum Management von post-operativen Wundinfektionen nach spinalen chirurgischen Eingriffen?“ muss zu diesem Zeitpunkt mit einem Nein beantwortet werden. Es gibt noch kein standardisiertes Verfahren, jedoch zeigten Rickert et al. (2016), dass die häufigsten Methoden in Deutschland das chirurgische Wunddebridement und die Wundspülung sind. Jedoch sind weitere Forschungen notwendig, um klare Evidenz für bestimmte Methodiken zu etablieren.

Nachfolgend sollen nun die wichtigsten Schlussfolgerungen und „take home messages“ aus der vorliegenden Arbeit für die Praxis zusammengefasst werden.

## 5.1. Schlussfolgerung und Fazit

Aus der vorliegenden Literaturstudie können somit die folgenden Schlussfolgerungen für die Praxis gezogen werden:

- Es liegt aktuell Evidenz für mögliche Risikofaktoren für post-operative Wundinfektionen vor und diese sind laut aktuellem Stand der Literatur:
  - Adipositas
  - Diabetes mellitus
  - Nikotinabusus
  - Alkoholabusus
  - Dauer der Operation
  - Invasiver Eingriff
  - Posteriorer Operationszugang
- Für weitere Faktoren wie Hypoalbuminämie, Einnahme von Steroiden oder Hypertonie liegt noch nicht ausreichend gesicherte Evidenz vor.
- Es existiert noch nicht ausreichend Evidenz für etwaige prädiktive Faktoren, eine Operationsdauer jedoch hat sich als möglicher Prädiktor herausgestellt.
- Zur Operationstechnik liegen aktuell noch widersprüchliche Ergebnisse in der Literatur vor, allerdings deutet die aktuelle Studienlage darauf hin, dass minimal-invasive Eingriffe mit einem geringeren Infektionsrisiko einhergehen.
- Ein standardisiertes Verfahren zur Prophylaxe und Behandlung post-operativer Wundinfektionen existiert derzeit noch nicht, die Evidenzlage lässt hierzu noch keine klaren Schlussfolgerungen zu, allerdings haben sich in deutschen Kliniken das chirurgische Wunddebridement und die Wundspülung, als wirksam bei post-operativen Wundinfektionen erwiesen.
- Weitere Forschungen hinsichtlich Risikofaktoren, Prophylaxe und Management post-operativer Wundinfektionen nach Wirbelsäulen-Eingriffen sind notwendig, um die genauen Risikofaktoren und den Umgang mit post-operativen Wundinfektionen zu standardisieren.

Nachfolgend folgt eine Zusammenfassung der Problemstellung und der Kernerkenntnisse der vorliegenden Arbeit für die Praxis.

## 5.2. Zusammenfassung

Das nachfolgende Kapitel fasst die vorliegende Arbeit kurz zusammen und stellt den Abschluss der Arbeit dar.

Postoperative Komplikationen und – Infektionen stellen im Bereich der Wirbelsäulen Chirurgie bis heute eine große Herausforderung dar und es stellt sich die Frage nach deren Prävention. Weshalb und wann es zu post-operativen Infektionen im Bereich der Wirbelsäulen Chirurgie kommt, ist bis heute noch nicht im Detail geklärt. Allerdings wären gerade diese Aspekte für eine Prävention post-operativer Wundinfektionen von entscheidender Bedeutung. Die Identifikation von möglichen Risikofaktoren, sowohl im Bereich der Chirurgie selbst als auch die patientenbezogenen Faktoren ist für die Konzeption effektiver Präventionsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung.

Aus diesem Grund war das Ziel der vorliegenden Arbeit, nach der neuesten Evidenz hinsichtlich Risikofaktoren post-operativer Wundinfektion zu recherchieren, diese zu identifizieren, um künftig mögliche Präventionsmaßnahmen in der Praxis ergreifen zu können. Hierbei entscheidend ist die Identifikation von Risikopatientinnen und -patienten, so dass ein effektives und adäquates Management der Infektionsprävention bereits prä- und peri-operativ ergriffen werden kann.

Hierzu wurde eine systematische Literaturstudie und -analyse nach dem PRISMA-Schema durchgeführt. Es wurden 30 Studien, die für die vorliegenden Forschungsfragen und das Kernthema der Arbeit relevant sind, identifiziert und analysiert. Es konnte gezeigt werden, dass es sowohl hinsichtlich Operationstechnik als auch patientenbezogen deutliche Risikofaktoren gibt, die sich in der aktuellen Literatur herauskristallisiert haben und für die mehrere Studien Evidenz liefern.

Bezüglich Operationstechnik hat sich die minimal-invasive Technik der offenen Operation überlegen gezeigt, was das Risiko für post-operative Wundinfektion angeht. Ebenso zeigte sich ein anteriorer Operationszugang als vorteilhaft. Für weitere operationsbezogene Faktoren wie Wunddrainagen, Pedikelschrauben oder Osteotomie existiert noch nicht ausreichend Evidenz, um klare Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Was die patientenbezogenen Risikofaktoren betrifft, wurden Adipositas, Diabetes mellitus sowie Nikotin- und Alkoholabusus von mehreren der vorliegend analysierten Studien identifiziert. Somit lässt sich für die Praxis schlussfolgern, dass insbesondere bei diesen Patientinnen und Patienten auf besonderen Infektionsschutz zu achten ist.

Sollte eine Infektion bereits eingetreten sein, so existiert bis heute noch kein standardisiertes Verfahren zum Management der post-operativen Wundinfektion. In Deutschland wird am häufigsten die Wundspülung angewendet, auch das chirurgische Debridement ist hierzulande verbreitet. Klare Leitlinien und eindeutige Evidenz gibt es aber hierfür bis heute nicht. Sowohl zu den Risikofaktoren als auch zur Infektionsprävention und Infektionsmanagement bedarf es weiterer Forschungen.

## 6. Literaturverzeichnis

- Adelhoefer, S. J., Gonzalez, M. R., Bedi, A., Kienzle, A., Bäcker, H. C., Andronic, O., & Karczewski, D. (2024). *Candida spondylodiscitis: a systematic review and meta-analysis of seventy two studies*. *International orthopaedics*, 48(1), 5–20. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05989-2>
- Akış, S., Keleş, E., Öztürk, U. K., Alınca, C. M., Purut, Y. E., Api, M., & Kabaca, C. (2022). The effect of abdominal drainage on post-operative morbidity; a prospective cohort study. *Journal of obstetrics and gynaecology : the journal of the Institute of Obstetrics and Gynaecology*, 42(7), 3212–3217. <https://doi.org/10.1080/01443615.2022.2109408>
- Algarny, S., Perera, A., Egenolf, P., Weber, M., Heck, V., Walter, S., Eysel, P., Scheyerer, M. J., & Lenz, M. (2023). Postoperative Surgical Site Infections in Spine Surgery: Can the Duration of Surgery Predict the Pathogen Spectrum?. *In vivo (Athens, Greece)*, 37(4), 1688–1693. <https://doi.org/10.21873/invivo.13255>
- Armas, L. A., & Recker, R. R. (2012). Pathophysiology of osteoporosis: new mechanistic insights. *Endocrinology and metabolism clinics of North America*, 41(3), 475–486. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2012.04.006>
- Bartl, R., & Bartl, C. (2011). Osteoporose. *MMW-Fortschritte der Medizin*, 153(38), 73.
- Bassani, R., Morselli, C., Baschiera, R., Brock, S., Gavino, D., Prandoni, L., Cirullo, A., & Mangiavini, L. (2021). New Trends in Spinal Surgery: Less Invasive Anatomical Approach to the Spine. The Advantages of the Anterior Approach in Lumbar Spinal Fusion. *Turkish neurosurgery*, 31(4), 484–492. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.33958-21.1>
- Berman, D., Eleswarapu, A., Krystal, J., & Hoang, H. (2022). Is the Use of Intraoperative 3D Navigation for Thoracolumbar Spine Surgery a Risk Factor for Post-Operative Infection?. *Journal of clinical medicine*, 11(8), 2108. <https://doi.org/10.3390/jcm11082108>
- Blood, A. G., Sandoval, M. F., Burger, E., & Halverson-Carpenter, K. (2017). Risk and Protective Factors Associated with Surgical Infections among Spine Patients. *Surgical infections*, 18(3), 234–249. <https://doi.org/10.1089/sur.2016.183>
- Bode, L. G., Kluytmans, J. A., Wertheim, H. F., Bogaers, D., Vandenbroucke-Grauls, C. M., Roosendaal, R., Troelstra, A., Box, A. T., Voss, A., van der Tweel, I., van Belkum, A., Verbrugh, H. A., & Vos, M. C. (2010). Preventing surgical-site infections in nasal carriers

- of *Staphylococcus aureus*. *The New England journal of medicine*, 362(1), 9–17.  
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa0808939>
- Buser, Z., Chang, K. E., Kall, R., Formanek, B., Arakelyan, A., Pak, S., Schafer, B., Liu, J. C., Wang, J. C., Hsieh, P., & Chen, T. C. (2022). Lumbar surgical drains do not increase the risk of infections in patients undergoing spine surgery. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 31(7), 1775–1783.  
<https://doi.org/10.1007/s00586-022-07130-0>
- Chaberny, I.F. & Graf, K. (2011). Strategien zur Prävention von postoperativen Wundinfektionen. *Unfallchirurg* 114: 236–240. DOI 10.1007/s00113-010-1895-4
- Chan, A. K., Bydon, M., Bisson, E. F., Glassman, S. D., Foley, K. T., Shaffrey, C. I., Potts, E. A., Shaffrey, M. E., Coric, D., Knightly, J. J., Park, P., Wang, M. Y., Fu, K. M., Slotkin, J. R., Asher, A. L., Virk, M. S., Michalopoulos, G. D., Guan, J., Haid, R. W., Agarwal, N., ... Mummaneni, P. V. (2023). Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion for grade I lumbar spondylolisthesis: 5-year follow-up from the prospective multicenter Quality Outcomes Database registry. *Neurosurgical focus*, 54(1), E2.  
<https://doi.org/10.3171/2022.10.FOCUS22602>
- Chan, A. K., Sharma, V., Robinson, L. C., & Mummaneni, P. V. (2019). Summary of Guidelines for the Treatment of Lumbar Spondylolisthesis. *Neurosurgery clinics of North America*, 30(3), 353–364. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2019.02.009>
- Chen, Y., Pu, S., Chen, Z., Xie, C., Feng, G., Cui, Y., & Xu, Y. (2024). Efficacy of Antibiotic Bone Cement in the Treatment of *Burkholderia cepacia* Infection After Spinal Internal Fixation Surgery: Case Report and Literature Review. *World neurosurgery*, 182, e155–e162.  
<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.11.063>
- Chen, S. H., Chen, W. J., Wu, M. H., Liao, J. C., & Fu, C. J. (2018). Postoperative Infection in Patients Undergoing Posterior Lumbosacral Spinal Surgery: A Pictorial Guide for Diagnosis and Early Treatment. *Clinical spine surgery*, 31(6), 225–238.  
<https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000633>
- Clarençon F, Law-Ye B, Bienvenot P, Cormier É, Chiras J. The Degenerative Spine. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2016 Aug;24(3):495-513. doi: 10.1016/j.mric.2016.04.008. PMID: 27417397.

- Cochrane Deutschland, Institut für medizinisches Wissensmanagement (Hrsg.). Bewertung des Verzerrungsrisikos von systematischen Übersichtsarbeiten: ein Manual für die Leitlinienerstellung, Freiburg: Cochrane Deutschland, 2017.
- D'Angelo T, Albrecht MH, Caudo D, Mazziotti S, Vogl TJ, Wichmann JL, Martin S, Yel I, Ascenti G, Koch V, Cicero G, Blandino A, Booz C. Virtual non-calcium dual-energy CT: clinical applications. *Eur Radiol Exp.* 2021 Sep 3;5(1):38. doi: 10.1186/s41747-021-00228-y. PMID: 34476640; PMCID: PMC8413416.
- de Magalhães, M. J. D. S. (2023). COLUMNA VERTEBRALIS Anatomie der Wirbelsäule. Marcelo José da Silva de Magalhães.
- Divi, S. N., Kepler, C. K., Boody, B. S., Bronson, W. H., Russo, G. S., Segar, A. H., Galetta, M. S., Goyal, D. K. C., Fang, T., Schroeder, G. D., & Vaccaro, A. R. (2020). Consensus on Implants in Infections After Spine Surgery. *Clinical spine surgery*, 33(4), 163–171. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000855>
- Edmiston, C. E., Jr, Leaper, D. J., Chitnis, A. S., Holy, C. E., & Chen, B. P. (2023). Risk and economic burden of surgical site infection following spinal fusion in adults. *Infection control and hospital epidemiology*, 44(1), 88–95. <https://doi.org/10.1017/ice.2022.32>
- Farah K, Lubiato A, Meyer M, Prost S, Ognard J, Blondel B, Fuentes S. Surgical site infection following surgery for spinal deformity: About 102 patients. *Neurochirurgie.* 2021;67(2):152-156. <https://doi.org/10.1016/j.neuchi.2020.10.006>
- Fei, Q., Li, J., Lin, J., Li, D., Wang, B., Meng, H., Wang, Q., Su, N., & Yang, Y. (2016). Risk Factors for Surgical Site Infection After Spinal Surgery: A Meta-Analysis. *World neurosurgery*, 95, 507–515. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.05.059>
- Fiani, B., Cathel, A., Sarhadi, K. J., Cohen, J., & Siddiqi, J. (2020). Neurosurgical Post-Operative Wound Infections: A retrospective study on surgical site infections for quality improvement. *International wound journal*, 17(4), 1039–1046. <https://doi.org/10.1111/iwj.13367>.
- Franck, P., Bernstein, J. L., Cohen, L. E., Härtl, R., Baaj, A. A., & Spector, J. A. (2018). Local muscle flaps minimize post-operative wound morbidity in patients with neoplastic disease of the spine. *Clinical neurology and neurosurgery*, 171, 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.05.022>

- Giordan, E., Marton, E., Scotton, G., & Canova, G. (2019). Outcomes and risk factors for spontaneous spondylodiscitis: Case series and meta-analysis of the literature. *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia*, 68, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2019.06.040>
- Goldstein, C. L., Macwan, K., Sundararajan, K., & Rampersaud, Y. R. (2016). Perioperative outcomes and adverse events of minimally invasive versus open posterior lumbar fusion: meta-analysis and systematic review. *Journal of neurosurgery. Spine*, 24(3), 416–427. <https://doi.org/10.3171/2015.2.SPINE14973>
- Hagan, M. J., Remacle, T., Leary, O. P., Feler, J., Shaaya, E., Ali, R., Zheng, B., Bajaj, A., Traupe, E., Kraus, M., Zhou, Y., Fridley, J. S., Lewandrowski, K. U., & Telfeian, A. E. (2022). Navigation Techniques in Endoscopic Spine Surgery. *BioMed research international*, 2022, 8419739. <https://doi.org/10.1155/2022/8419739>
- Hansen, E., Belden, K., Silibovsky, R., Vogt, M., Arnold, W., Bicanic, G., Bini, S., Catani, F., Chen, J., Ghazavi, M., Godefroy, K. M., Holham, P., Hosseinzadeh, H., Kim, K. I., Kirketerp-Møller, K., Lidgren, L., Lin, J. H., Lonner, J. H., Moore, C. C., Papagelopoulos, P., ... Yamada, K. (2014). Perioperative antibiotics. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, 32 Suppl 1, S31–S59. <https://doi.org/10.1002/jor.22549>
- Health Jade (15.05.2024). Spinal Infection, abgerufen von: <https://healthjade.net/spinal-infection/>
- Health Jade (2017). What is Osteoporosis and what can you do about it? <https://healthjade.net/what-is-osteoporosis-and-what-can-you-do-about-it/> (16.07.2024)
- He, Z., Zhou, K., Tang, K., Quan, Z., Liu, S., & Su, B. (2020). Perioperative hypoalbuminemia is a risk factor for wound complications following posterior lumbar interbody fusion. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 15(1), 538. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-02051-4>
- Heemskerk, J. L., Oluwadara Akinduro, O., Clifton, W., Quiñones-Hinojosa, A., & Abode-lyamah, K. O. (2021). Long-term clinical outcome of minimally invasive versus open single-level transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative lumbar diseases: a meta-analysis. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, 21(12), 2049–2065. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.07.006>

- Henle, J. (2023). Handbuch der Systematischen Anatomie des Menschen: Erster Band Erste Abtheilung. BoD–Books on Demand.
- Horan, T. C., Culver, D. H., Gaynes, R. P., Jarvis, W. R., Edwards, J. R., & Reid, C. R. (1993). Nosocomial infections in surgical patients in the United States, January 1986-June 1992. National Nosocomial Infections Surveillance (NNIS) System. *Infection control and hospital epidemiology*, 14(2), 73–80. <https://doi.org/10.1086/646686>
- Horii, C., Yamazaki, T., Oka, H., Azuma, S., Ogihara, S., Okazaki, R., Kawamura, N., Takano, Y., Morii, J., Takeshita, Y., Maruyama, T., Yamakawa, K., Murakami, M., Oshima, Y., & Tanaka, S. (2018). Does intrawound vancomycin powder reduce surgical site infection after posterior instrumented spinal surgery? A propensity score-matched analysis. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, 18(12), 2205–2212. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.04.015>
- Imamudeen, N., Basheer, A., Iqbal, A. M., Manjila, N., Haroon, N. N., & Manjila, S. (2022). Management of Osteoporosis and Spinal Fractures: Contemporary Guidelines and Evolving Paradigms. *Clinical medicine & research*, 20(2), 95–106. <https://doi.org/10.3121/cmr.2021.1612>
- Inglesby, D. C., Young, Z. T., Alshareef, M., Ritter, A., Gunasekaran, A., Kalthorn, S. P., & Lance Tavana, M. (2020). Paraspinous Muscle Flaps for the Treatment of Complex Spinal Wounds. *Spine*, 45(9), 599–604. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003341>
- Janka, M., Füssel, S., Unterpaintner, I. et al. (2017). Sind viele Rücken-OPs überflüssig?. *MMW - Fortschritte der Medizin* 159, 47–49. <https://doi.org/10.1007/s15006-017-9217-1>
- Joaquim, A. F., Milano, J. B., Daniel, J. W., Dantas, F. R., Onishi, F., Russafa Neto, E., Bertolini, E. F., Borgueresi, M. D., Mudo, M. L., & Botelho, R. V. (2019). Intraoperative vancomycin powder and post-operative infection after spinal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Revista da Associacao Medica Brasileira* (1992), 65(2), 253–261. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.65.2.253>
- Kang, B. U., Lee, S. H., Ahn, Y., Choi, W. C., & Choi, Y. G. (2010). Surgical site infection in spinal surgery: detection and management based on serial C-reactive protein measurements. *Journal of neurosurgery. Spine*, 13(2), 158–164. <https://doi.org/10.3171/2010.3.SPINE09403>.
- KenHub (15.05.2024). Halswirbelsäule. Abgerufen von: <https://www.kenhub.com/de/library/anatomie/halswirbelsaule-hws>

KenHub (15.05.2024): Kreuzbein (Os sacrum). Abgerufen von:  
<https://www.kenhub.com/de/library/anatomie/kreuzbein-os-sacrum>

Kenny, E. M., James, I. B., Bengür, F. B., Zammerilla, L. L., Manders, E. K., Russavage, J. M., & Acartürk, T. O. (2021). Flap Closure of Spinal Defects in High-Risk Patients: A 10-Year Institutional Experience. *Annals of plastic surgery*, 86(6), 678–687. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000002821>

Klauber, J., Geraedts, M., Friedrich, J. & Wasem, J. (2013). Krankenhausreport 2013, Schattauer-Verlag, Stuttgart.

Kong, L., Liu, Z., Meng, F., & Shen, Y. (2017). Smoking and Risk of Surgical Site Infection after Spinal Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surgical infections*, 18(2), 206–214. <https://doi.org/10.1089/sur.2016.209>

Kreiner DS, Hwang SW, Easa JE, Resnick DK, Baisden JL, Bess S, Cho CH, DePalma MJ, Dougherty P 2nd, Fernand R, Ghiselli G, Hanna AS, Lamer T, Lisi AJ, Mazanec DJ, Meagher RJ, Nucci RC, Patel RD, Sembrano JN, Sharma AK, Summers JT, Taleghani CK, Tontz WL Jr, Toton JF; North American Spine Society. An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of lumbar disc herniation with radiculopathy. *Spine J.* 2014 Jan;14(1):180-91. doi: 10.1016/j.spinee.2013.08.003. Epub 2013 Nov 14. PMID: 24239490.

Kulkarni, A. G., Patel, R. S., & Dutta, S. (2016). Does Minimally Invasive Spine Surgery Minimize Surgical Site Infections?. *Asian spine journal*, 10(6), 1000–1006. <https://doi.org/10.4184/asj.2016.10.6.1000>

Lane N. E. (2006). Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *American journal of obstetrics and gynecology*, 194(2 Suppl), S3–S11. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2005.08.047>

Lang, S., Walter, N., Schindler, M., Baertl, S., Szymiski, D., Loibl, M., Alt, V., & Rupp, M. (2023). The Epidemiology of Spondylodiscitis in Germany: A Descriptive Report of Incidence Rates, Pathogens, In-Hospital Mortality, and Hospital Stays between 2010 and 2020. *Journal of clinical medicine*, 12(10), 3373. <https://doi.org/10.3390/jcm12103373>

Lazennec, J. Y., Fourniols, E., Lenoir, T., Aubry, A., Pissonnier, M. L., Issartel, B., Rousseau, M. A., & French Spine Surgery Society (2011). Infections in the operated spine: update on risk management and therapeutic strategies. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 97(6 Suppl), S107–S116. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2011.07.002>.

- Leibowitz, G., Raizman, E., Brezis, M., Glaser, B., Raz, I., & Shapira, O. (2010). Effects of moderate intensity glycemic control after cardiac surgery. *The Annals of thoracic surgery*, 90(6), 1825–1832. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2010.07.063>
- Lemans, J. V. C., Öner, F. C., Wijdicks, S. P. J., Ekkelenkamp, M. B., Vogely, H. C., & Kruyt, M. C. (2019). The efficacy of intrawound vancomycin powder and povidone-iodine irrigation to prevent surgical site infections in complex instrumented spine surgery. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, 19(10), 1648–1656. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.05.592>
- Lubelski, D., Feghali, J., Ehresman, J., Pennington, Z., Schilling, A., Huq, S., Medikonda, R., Theodore, N., & Sciubba, D. M. (2021). Web-Based Calculator Predicts Surgical-Site Infection After Thoracolumbar Spine Surgery. *World neurosurgery*, 151, e571–e578. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.04.086>
- Lurie, J., & Tomkins-Lane, C. (2016). Management of lumbar spinal stenosis. *BMJ (Clinical research ed.)*, 352, h6234. <https://doi.org/10.1136/bmj.h6234>
- Mahan, M. A., Prasse, T., Kim, R. B., Sivakanthan, S., Kelly, K. A., Kashlan, O. N., Bredow, J., Eysel, P., Wagner, R., Bajaj, A., Telfeian, A. E., & Hofstetter, C. P. (2023). Full-endoscopic spine surgery diminishes surgical site infections - a propensity score-matched analysis. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, 23(5), 695–702. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2023.01.009>
- Martin, E. T., Kaye, K. S., Knott, C., Nguyen, H., Santarossa, M., Evans, R., Bertran, E., & Jaber, L. (2016). Diabetes and Risk of Surgical Site Infection: A Systematic Review and Meta-analysis. *Infection control and hospital epidemiology*, 37(1), 88–99. <https://doi.org/10.1017/ice.2015.249>
- Mayer, H. M., & Heider, F. C. (2016). Der lumbale Bandscheibenvorfall. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*, 11(06), 427-447.
- MedizInfo (15.05.2024). Aufbau der Wirbelsäule. Abgerufen von: <https://www.medizinfo.de/ruecken/anatomie/wirbelsaeule.shtml>
- Meißner, T. (2022). Zu viele Operationen an der Wirbelsäule und an großen Gelenken. *Schmerzmedizin*, 38(3), 17-17.

- Meng, F., Cao, J., & Meng, X. (2015). Risk factors for surgical site infections following spinal surgery. *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia*, 22(12), 1862–1866. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2015.03.065>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Mohile, N. V., Kuczmarski, A. S., Lee, D., Warburton, C., Rakoczy, K., & Butler, A. J. (2022). Spondylolysis and Isthmic Spondylolisthesis: A Guide to Diagnosis and Management. *Journal of the American Board of Family Medicine : JABFM*, 35(6), 1204–1216. <https://doi.org/10.3122/jabfm.2022.220130R1>
- Mueller, K., Zhao, D., Johnson, O., Sandhu, F. A., & Voyadzis, J. M. (2019). The Difference in Surgical Site Infection Rates Between Open and Minimally Invasive Spine Surgery for Degenerative Lumbar Pathology: A Retrospective Single Center Experience of 1442 Cases. *Operative neurosurgery (Hagerstown, Md.)*, 16(6), 750–755. <https://doi.org/10.1093/ons/opy221>
- Mummaneni, P. V., Bisson, E. F., Kerezoudis, P., Glassman, S., Foley, K., Slotkin, J. R., Potts, E., Shaffrey, M., Shaffrey, C. I., Coric, D., Knightly, J., Park, P., Fu, K. M., Devin, C. J., Chotai, S., Chan, A. K., Virk, M., Asher, A. L., & Bydon, M. (2017). Minimally invasive versus open fusion for Grade I degenerative lumbar spondylolisthesis: analysis of the Quality Outcomes Database. *Neurosurgical focus*, 43(2), E11. <https://doi.org/10.3171/2017.5.FOCUS17188>
- Muñoz, M., Robinson, K., & Shibli-Rahhal, A. (2020). Bone Health and Osteoporosis Prevention and Treatment. *Clinical obstetrics and gynecology*, 63(4), 770–787. <https://doi.org/10.1097/GRF.0000000000000572>
- Muñoz, P., Hortal, J., Giannella, M., Barrio, J. M., Rodríguez-Créixems, M., Pérez, M. J., Rincón, C., & Bouza, E. (2008). Nasal carriage of *S. aureus* increases the risk of surgical site infection after major heart surgery. *The Journal of hospital infection*, 68(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2007.08.010>
- Muthu, S., Ramakrishnan, E., Natarajan, K. K., & Chellamuthu, G. (2020). Risk-benefit analysis of wound drain usage in spine surgery: a systematic review and meta-analysis with evidence summary. *European spine journal : official publication of the European Spine*

- Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society, 29(9), 2111–2128. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06540-2>
- Nasto, L. A., Colangelo, D., Rossi, B., Fantoni, M., & Pola, E. (2012). Post-operative spondylodiscitis. *European review for medical and pharmacological sciences*, 16 Suppl 2, 50–57.
- Medical Graphics (15.05.2024). Anatomische Zeichnung Wirbel. <https://www.medicalgraphics.de/projekte/anatomische-zeichnung-wirbel/>
- Möller, J., & Müller, P. (2020). *Grundriss der Anatomie des Menschen für Studium und Praxis*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Omeis, I. A., Dhir, M., Sciubba, D. M., Gottfried, O. N., McGirt, M. J., Attenello, F. J., Wolinsky, J. P., & Gokaslan, Z. L. (2011). Postoperative surgical site infections in patients undergoing spinal tumor surgery: incidence and risk factors. *Spine*, 36(17), 1410–1419. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181f48fa9>
- Parente, D. M., Cunha, C. B., Mylonakis, E., & Timbrook, T. T. (2018). The Clinical Utility of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Nasal Screening to Rule Out MRSA Pneumonia: A Diagnostic Meta-analysis With Antimicrobial Stewardship Implications. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 67(1), 1–7. <https://doi.org/10.1093/cid/ciy024>
- Pennington, Z., Lubelski, D., Westbrook, E. M., Ahmed, A. K., Passias, P. G., & Sciubba, D. M. (2020). Persistent Postoperative Hyperglycemia as a Risk Factor for Operative Treatment of Deep Wound Infection After Spine Surgery. *Neurosurgery*, 87(2), 211–219. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyz405>
- Pepke, W., Wantia, C., Almansour, H. et al. Komplikationen im zeitlichen Verlauf nach einer operativen Wirbelsäulenersorgung. *Orthopäde* 2020; 49, 39–58.
- Pesenti, S., Pannu, T., Andres-Bergos, J., Lafage, R., Smith, J. S., Glassman, S., de Kleuver, M., Pellise, F., Schwab, F., Lafage, V., & Scoliosis Research Society (SRS) (2018). What are the risk factors for surgical site infection after spinal fusion? A meta-analysis. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 27(10), 2469–2480. <https://doi.org/10.1007/s00586-018-5733-7>

- Phillips, B. T., Sheldon, E. S., Orhurhu, V., Ravinsky, R. A., Freiser, M. E., Asgarzadeh, M., Viswanath, O., Kaye, A. D., & Roguski, M. (2020). Preoperative Versus Extended Postoperative Antimicrobial Prophylaxis of Surgical Site Infection During Spinal Surgery: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis. *Advances in therapy*, 37(6), 2710–2733. <https://doi.org/10.1007/s12325-020-01371-5>
- Pivazyan, G., Khan, Z., Williams, J. D., Kim, A. J., Rush, D. M., Cobourn, K. D., Patel, N., & Nair, M. N. (2023). Utility of prolonged prophylactic systemic antibiotics for wound drains in posterior spine surgery: a systematic review and meta-analysis. *Journal of neurosurgery. Spine*, 38(5), 585–594. <https://doi.org/10.3171/2022.12.SPINE221218>
- Radl, R., Leixner, G., Stihsen, C., & Windhager, R. (2013). Spondylarthrose an der Halswirbelsäule. *Der Orthopäde*, 42(9).
- Rashed S, Vassiliou A, Starup-Hansen J, Tsang K. Systematic review and meta-analysis of predictive factors for spontaneous regression in lumbar disc herniation. *J Neurosurg Spine*. 2023 Jul 14;39(4):471-478. doi: 10.3171/2023.6.SPINE23367. PMID: 37486886.
- Richter, R. H., Richter, S., & Forst, R. (2016). Spinalkanalstenose. Rückenschmerzen und Nackenschmerzen: Interdisziplinäre Diagnostik und Therapie, Versorgungspfade, Patientenedukation, Begutachtung, Langzeitbetreuung, 447-459.
- Rickert, M., Schleicher, P., Fleege, C., Arabmotlagh, M., Rauschmann, M., Geiger, F., & Schnake, K. J. (2016). Management postoperativer Wundinfektionen nach Wirbelsäuleneingriffen : Erste Ergebnisse einer multizentrischen Studie [Management of postoperative wound infections following spine surgery : First results of a multicenter study]. *Der Orthopäde*, 45(9), 780–788. <https://doi.org/10.1007/s00132-016-3314-1>
- Robert Koch Institut (2020). Technisches Feedback System verbessert die Händehygiene und reduziert die Anzahl durch MRE verursachte nosokomiale Infektionen. *Epidemiologisches Bulletin* 2020;5:1-11.
- Röhl, K., Röhrich, F. (2005). Operative Komplikationsbehandlung nach Wirbelsäulenoperation. *Trauma Berufskrankh* 7 (Suppl 1), S187–S193. <https://doi.org/10.1007/s10039-004-0896-3>
- Sammer, A., Sammer, F., & Feigl, G. (2023). Anatomische Varianten der Wirbelsäule—ihre Bedeutung für die manuelle Medizin. *Manuelle Medizin*, 61(2), 76-79.

- Saruwatari, R., Yamada, K., Sato, K., Yokosuka, K., Yoshida, T., Nakae, I., Shimazaki, T., Morito, S., & Shiba, N. (2023). Risk Factors for Surgical Site Infection in Spinal Surgery and Interventions: A Retrospective Study. *The Kurume medical journal*, 68(3.4), 201–207. <https://doi.org/10.2739/kurumemedj.MS6834004>
- Sax, H., Uçkay, I., Balmelli, C., Bernasconi, E., Boubaker, K., Mühlemann, K., Ruef, C., Troillet, N., Widmer, A., Zanetti, G., & Pittet, D. (2011). Overall burden of healthcare-associated infections among surgical patients. Results of a national study. *Annals of surgery*, 253(2), 365–370. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318202fda9>
- Schipmann, S., Akalin, E., Doods, J., Ewelt, C., Stummer, W., & Suero Molina, E. (2016). When the Infection Hits the Wound: Matched Case-Control Study in a Neurosurgical Patient Collective Including Systematic Literature Review and Risk Factors Analysis. *World neurosurgery*, 95, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.07.093>
- Schlenzka, D. (2015). Zur Geschichte der Spondylolisthese. *Der Unfallchirurg*, 118 (Suppl 1), 37-42.
- Schnake, K. J., Rappert, D., Storzer, B., Schreyer, S., Hilber, F., & Mehren, C. (2019). Lumbale Spondylodese – Indikationen und Techniken [Lumbar fusion-Indications and techniques]. *Der Orthopade*, 48(1), 50–58. <https://doi.org/10.1007/s00132-018-03670-w>
- Schulte, T. L., Ringel, F., Quante, M., Eicker, S. O., Mücke-Borowski, C., & Kothe, R. (2016). Surgery for adult spondylolisthesis: a systematic review of the evidence. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 25(8), 2359–2367. <https://doi.org/10.1007/s00586-015-4177-6>
- Singh, R., Gao, Z.X., Mangal Prasad, H., Zhang, P., & Bijendra, D. (2018). Percutaneous Endoscopic Lumbar Spine Surgery for Lumbar Disc Herniation and Lumbar Spine Stenosis: Emphasizing on Clinical Outcomes of Transforaminal Technique. *Surgical Science*. 09. 63-84. 10.4236/ss.2018.92007.
- Takeshima, Y., & Nakase, H. (2022). No shinkei geka. *Neurological surgery*, 50(5), 1044–1052. <https://doi.org/10.11477/mf.1436204664>
- Tan, T., Lee, H., Huang, M. S., Rutges, J., Marion, T. E., Mathew, J., Fitzgerald, M., Gonzalvo, A., Hunn, M. K., Kwon, B. K., Dvorak, M. F., & Tee, J. (2020). Prophylactic postoperative measures to minimize surgical site infections in spine surgery: systematic review and

- evidence summary. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, 20(3), 435–447. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.09.013P>
- Thavarajasingam, S. G., Vemulapalli, K. V., Vishnu K, S., Ponniah, H. S., Vogel, A. S., Vardanyan, R., Neuhoff, J., Kramer, A., Shiban, E., Ringel, F., Demetriades, A. K., & Davies, B. M. (2023). Conservative versus early surgical treatment in the management of pyogenic spondylodiscitis: a systematic review and meta-analysis. *Scientific reports*, 13(1), 15647. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41381-1>
- Theodore N. (2020). Degenerative Cervical Spondylosis. *The New England journal of medicine*, 383(2), 159–168. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2003558>
- Von der Lippe, E., Krause, L., Porst, M., Wengler, A., Ledding, J., Müller, A., Zeisler M.-L., Anton, A. & Rommel, A. (2021). Prävalenz von Rücken- und Nackenschmerzen in Deutschland. Ergebnisse der Krankheitslast-Studie BURDEN 2020. *Journal of Health Monitoring* 6 (3):1-14.
- Ward MM, Deodhar A, Gensler LS, Dubreuil M, Yu D, Khan MA, Haroon N, Borenstein D, Wang R, Biehl A, Fang MA, Louie G, Majithia V, Ng B, Bigham R, Pianin M, Shah AA, Sullivan N, Turgunbaev M, Oristaglio J, Turner A, Maksymowych WP, Caplan L. 2019 Update of the American College of Rheumatology/Spondylitis Association of America/Spondyloarthritis Research and Treatment Network Recommendations for the Treatment of Ankylosing Spondylitis and Nonradiographic Axial Spondyloarthritis. *Arthritis Rheumatol*. 2019 Oct;71(10):1599-1613. doi: 10.1002/art.41042. Epub 2019 Aug 22. PMID: 31436036; PMCID: PMC6764882.
- Williams, J., D'Amore, P., Redlich, N., Darlow, M., Suwak, P., Sarkovich, S., & Bhandutia, A. K. (2022). Degenerative Cervical Myelopathy: Evaluation and Management. *The Orthopedic clinics of North America*, 53(4), 509–521. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2022.05.007>
- Xia, T. C., Rainone, G. J., Woodhouse, C. J., Kramer, D. E., & Whiting, A. C. (2024). Post-operative antibiotic prophylaxis in spine surgery patients with thoracolumbar drains: A meta analysis. *World neurosurgery*: X, 23, 100373. <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2024.100373>
- Yao, R., Tan, T., Tee, J. W., & Street, J. (2018). Prophylaxis of surgical site infection in adult spine surgery: A systematic review. *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia*, 52, 5–25. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2018.03.023>

- Yoshida, B., Nguyen, A., Formanek, B., Alam, M., Wang, J. C., & Buser, Z. (2023). Hypoalbuminemia and Elevated CRP are Risk Factors for Deep Infections and Urinary Tract Infections After Lumbar Spine Surgery in a Large Retrospective Patient Population. *Global spine journal*, 13(1), 33–44. <https://doi.org/10.1177/2192568221990647>
- Zaina F, Tomkins-Lane C, Carragee E, Negrini S. Surgical versus non-surgical treatment for lumbar spinal stenosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016 Jan 29;2016(1):CD010264. doi: 10.1002/14651858.CD010264.pub2. PMID: 26824399; PMCID: PMC6669253.
- Zale, C., Nicholes, M., Hu, S., & Cage, J. (2023). Surgical site infection prophylaxis with intra-wound vancomycin powder for uninstrumented spine surgeries: a meta-analysis. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 32(12), 4259–4264. <https://doi.org/10.1007/s00586-023-07897-w>
- Zhang, X., Liu, P., & You, J. (2022). Risk factors for surgical site infection following spinal surgery: A meta-analysis. *Medicine*, 101(8), e28836. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028836>
- Zhang, F., Liu, X., Tan, Z., Li, J., Fu, D., & Zhu, L. (2020). Effect of postoperative hypoalbuminemia and supplement of human serum albumin on the development of surgical site infection following spinal fusion surgery: a retrospective study. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 29(7), 1483–1489. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06306-w>
- Zhou, J., Wang, R., Huo, X., Xiong, W., Kang, L., & Xue, Y. (2020). Incidence of Surgical Site Infection After Spine Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Spine*, 45(3), 208–216. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003218>
- Zhu, X., Lu, J., Xu, H., Tang, Q., Song, G., Deng, C., Wu, H., Xu, Y., Chen, H., & Wang, J. (2021). A Comparative Study Between Minimally Invasive Spine Surgery and Traditional Open Surgery for Patients With Spinal Metastasis. *Spine*, 46(1), 62–68. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003690>



## **7. Anhang**

### **7.1. Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1: Aufbau, Lage und Form der Columna vertebralis  
Abbildung 2: Aufbau eines Wirbelkörpers  
Abbildung 3: Aufbau des Atlaswirbels  
Abbildung 4: Aufbau des Axiswirbels  
Abbildung 5: Aufbau eines Brustwirbels  
Abbildung 6: Aufbau eines Lendenwirbels  
Abbildung 7: Aufbau des Os sacrum  
Abbildung 8: Schematische Abbildung des Os coccygis  
Abbildung 9: Prävalenz von Rücken- und Nackenschmerzen in einer repräsentativen Stichprobe  
Abbildung 10: Schematische Darstellung eines Bandscheibenprolapses  
Abbildung 11: CT Bildgebung einer Spondylarthrose  
Abbildung 12: MRT-Aufnahme einer Spondylolisthese zwischen L4 und L5  
Abbildung 13: Schematische Darstellung der Osteoporose an der Wirbelsäule  
Abbildung 14: PRISMA-Flowchart

### **7.2. Tabellenverzeichnis**

- Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien für die Literaturrecherche  
Tabelle 2: Ergebnisse aus der Literaturrecherche  
Tabelle 3: Präventionsmaßnahmen post-operativer Wundinfektionen

### **7.3. Abkürzungsverzeichnis**

- ASA American Society of Anesthesiologists  
CCI Charlson Comorbidity Index  
CRP C-reaktives Protein  
CT Computertomografie  
MRSA Methicilin-resistenter Staphylokokkus aureus  
NSAR Nicht sterioide Antirheumatika

NSQIP National Surgical Quality Improvement Program

OR Odds Ratio

PRISMA Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

PRO Patient recorded outcomes

QOD Quality Outcomes Database

SSI Surgical site infections

## **8. Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen**