

Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

Die Nadeldekompression bei Spannungspneumothorax in der
präklinischen Versorgung:
Wahl der Nadellänge und des Punktionsortes

Dissertation zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin an der
Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu
München

vorgelegt von
Derkje Katharina Hockertz

aus
Hannover

2016

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Karl-Georg Kanz

Mitberichterstatter: PD Ines Kaufman

PD Klaus Hofmann-Kiefer

Mitbetreuung durch
den promovierten

Mitarbeiter: Dr. med. Heiko Trentzsch, Institut für Notfallmedizin

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 07.07.2016

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit und tiefer Verbundenheit gewidmet

In Zusammenhang mit der Doktorarbeit wurde folgender Artikel vorab veröffentlicht:

Hockertz D, Braun K, Trentzsch H (2015):

Nadeldekompression des Spannungspneumothorax

Notfall+Rechtungsmedizin 1: 49-52

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	2
1.1 Fragestellung.....	4
2 Material und Methoden	4
2.1 Suchstrategie	4
2.2 Durchführung der Literatursuche	6
2.3 Auswertung und Beurteilung der ausgewählten Literatur.....	9
2.3.1 Evidenzlevel (LoE)	10
2.3.2 Relevanzgrad (RG).....	11
2.3.3 Verzerrungseffekte (Bias)	11
2.4 Quantitative Darstellung der Daten.....	12
3 Ergebnisse	13
3.1 Nadellänge	27
3.1.1 Statistische Auswertung der Studiendaten	34
3.2 Punktionsstelle.....	35
4 Diskussion	41
4.1 Nadellänge	42
4.2 Punktionsort	46
4.3 Durchführung der Nadeldekompression	49
4.4 Limitationen.....	52
5 Schlussfolgerung	53
6 Zusammenfassung	54
7 Literaturverzeichnis	57
8 Anhang.....	63
8.1 Tabellenverzeichnis.....	63
8.2 Abbildungsverzeichnis	63
8.3 Abkürzungsverzeichnis.....	63
9 Eidesstattliche Versicherung.....	64
10 Lebenslauf.....	65
11 Danksagung.....	66

1 Einleitung

Der Spannungspneumothorax ist ein akut lebensbedrohlicher Notfall [13, 28, 65]. Eine Dekompression des Pleuraspaltes soll umgehend und gegebenenfalls auch präklinisch erfolgen [28, 30, 48, 93, 103]. Im Tierexperiment zeigte sich, dass der Spannungspneumothorax unbehandelt binnen weniger Minuten zum Tode führt [49]. Es gibt verschiedene Techniken, um eine notfallmäßige Entlastung der Pleurahöhle zu erzielen. In der Literatur werden die präklinisch möglichen Interventionen zur Dekompression des Pleuraraumes mit einer Nadel oder durch eine stumpfe Thorakostomie, sowie durch Anlage einer Thoraxdrainage in Trokarttechnik oder Minithorakotomietechnik gegenübergestellt [2, 29, 45, 48, 59, 73, 95, 98].

Die Nadeldekompression zeigte im Vergleich zu der präklinischen Anlage einer Thoraxdrainage einen Vorteil aufgrund einer kürzeren Versorgungszeit von Traumapatienten am Unfallort von durchschnittlich 5 Minuten (20,3 vs. 25,7 Minuten, $p=0,005$). Zudem besticht sie durch ihre relativ einfache Durchführung, weshalb sie potentiell auch von nicht-medizinischem Personal erlernt und angewendet werden kann [92, 93]. So werden u.a. auch Soldaten in der korrekten Anwendung der Nadeldekompression geschult, da diese im militärischen Bereich einen besonders hohen Stellenwert unter den präklinischen Interventionen einnimmt. Der Spannungspneumothorax stellt bei Gefechten neben dem Tod durch erhöhten Blutverlust die zweithäufigste unter den potentiell verhinderbaren Todesursachen dar [59, 69, 93].

Da der Spannungspneumothorax außerdem zu den potentiell reversiblen Gründen einer pulslosen elektrischen Aktivität zählt, vertreten einige Experten die Empfehlung, dass bei einer frustranen kardiopulmonalen Reanimation von Traumapatienten eine beidseitige Nadeldekompression erfolgen soll, damit das Vorliegen eines Spannungspneumothorax ursächlich ausgeschlossen werden kann [10, 17, 59, 62, 77]. Alternativ wird von einigen Experten die einfache Thorakostomie zur Thoraxdekompression bei einem traumatisch bedingtem Kreislaufstillstand vorgezogen [36]. Daneben spielt auch die Beatmungssituation des Traumapatienten eine wesentliche Rolle, da eine Beatmung mit intermittierendem positiven Druck einen Risikofaktor für die Entwicklung eines Spannungspneumothorax ausgehend von einem einfachen Pneumothorax darstellt [7, 34, 44, 47]. Studien konnten zeigen, dass sich die Überlebenschancen von reanimationspflichtigen oder schwerstverletzten Traumapatienten durch eine präklinische Thoraxdekompression entschieden verbessert hat [19, 51].

Die Nadeldekompression entspricht somit einer einfachen, aber dennoch potentiell lebensrettenden Intervention bei Traumapatienten in der präklinischen Versorgung. Völlig unklar bleibt jedoch, welche Nadellänge und welche Insertionsstelle für die entlastende Punktion genutzt werden sollen.

Die neunte Ausgabe des *Advanced Trauma Life Support (ATLS®) Student Course Manual* empfiehlt die Notfalldekompression der Pleurahöhle bei einem Spannungspneumothorax mit einer 5,0 cm lange Nadel, die im 2. Interkostalraum medioklavikular (2.ICR MCL) eingebracht werden soll, gefolgt von der Anlage einer Thoraxdrainage über eine Minithorakotomie [2]. Allerdings wird, wie auch in der S3 Leitlinie Polytrauma/Schwerstverletztenversorgung von 2011, zu bedenken gegeben, dass eine 5,0 cm lange Nadel unter Umständen zu kurz sein kann, um die Pleurahöhle tatsächlich zu erreichen [2, 15, 36, 37, 61, 71, 95]. Einige Studien zeigten anhand von CT Bildern, dass der Pleuraspalt mit einer 5,0 cm langen Nadel im 2.ICR MCL in 22% [37], bzw. 34% [86] der Fälle nicht erreicht werden konnte. In einer Studie, die an Leichen erhoben wurde, penetrierten nur 23 von 40 inserierten Nadeln mit einer Länge von 5,0 cm im 2.ICR MCL die Pleurahöhle, das entspricht 57,5% [52].

Es fand sich kein Konsens und eine endgültige Beurteilung und Empfehlung bezüglich der Nadellänge konnte in der S3 Leitlinie von 2011 nicht ausgesprochen werden. Einige Experten erachteten längere Nadeln als empfehlenswert, andere befürchteten eine erhöhte Gefahr iatrogenen Verletzungen durch die langen Nadeln [95].

Das US-Militär empfiehlt derzeit, die Nadelpunktion im 2. ICR MCL mit einer 8,0 - 8,9 cm langen Nadeln durchzuführen [42, 49, 59, 69]. Als alternativer Punktionsort zum 2.ICR MCL wird in einigen militärischen Versorgungsleitlinien bereits der 4.ICR AAL empfohlen, da dieser bei den Soldaten in Schutzausrüstung einfacher zu erreichen sei [21, 59, 101].

Einige Autoren geben zu bedenken, dass die militärische Empfehlungen, die der präklinischen Versorgung von Gefechtsoffern während Kampfhandlungen dienen, auch im zivilen Umfeld zunehmend von Bedeutung sein können [69]. Aufgrund der weltweit steigenden Gefahr von Terroranschlägen ergeben sich unter Umständen auch im zivilen Bereich Verletzungsmuster, die sonst typischerweise in Kriegsgebieten beobachtet werden [69]. So kann es sich ergeben, dass auch das zivile Rettungswesen die Behandlung von Verwundeten mit Explosionstraumata, Amputationen und weiteren schwerwiegenden Verletzungsmustern, wie penetrierende Thoraxverletzungen, die die Gefahr der Entwicklung eines Spannungspneumothorax bergen, gewährleisten muss [69].

Die Durchführung einer optimalen Nadeldekompression gelingt, wenn die Nadellänge so gewählt ist, dass sie sicher die Pleurahöhle erreicht und an einem Punktionsort eingebracht wird, der eindeutig zu identifizieren und gut zugänglich ist [45]. Ferner soll die Gefahr von iatrogenen Verletzungen möglichst gering sein [45].

Als Punktionsorte für eine Nadelpunktion kann generell neben dem 2.-3. ICR MCL auch der 4. oder 5. Interkostalraum in der anterioren (4. oder 5. ICR AAL) bis mittleren Axillarlinie (4. oder 5. ICR MAL) dienen [2, 21, 36, 53, 61, 95]. Welche dieser Insertionsstellen am sichersten ist und das geringste iatrogene Verletzungsrisiko birgt, ist unklar. Die Empfehlungen bezüglich der zu nutzenden Nadellänge liegen aktuell zwischen mindestens 4,5 cm [95] und 8,0/8,3 cm [69].

Die vorliegende systematische Übersichtsarbeit sichtet die aktuelle Literatur bezüglich der Empfehlungen von Nadellänge und/oder Punktionsort und bewertete diese nach evidenzbasierten Kriterien, um das beste Vorgehen bei der Dekompression des Spannungspneumothorax bei Thoraxtrauma zu ermitteln.

1.1 Fragestellung

Nach Formulierung der Fragestellung „Die Nadeldekompression bei Spannungspneumothorax in der präklinischen Versorgung: Wahl des Punktionsortes und der Nadellänge“ wurde eine Suchstrategie entwickelt.

Folgende Leitfragen sollten behandelt werden:

1. Welche Evidenz ist zur Nadeldekompression verfügbar?
2. Welche Ergebnisse liefern Punktionen der Pleura mit verschiedenen langen Nadeln?
3. Welche Ergebnisse liefern Punktionen der Pleura an unterschiedlichen Punktionsstellen?

2 Material und Methoden

2.1 Suchstrategie

Es wurde im Hinblick auf die Frage nach der optimalen Nadellänge und dem bestmöglichen Punktionsort zur präklinischen Entlastung des Spannungspneumothorax eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. In den Datenbanken *pubmed*, *MEDPILOT* und *google scholar* wurde gezielt nach Veröffentlichungen gesucht, die sich mit der Notfalldekompression des Spannungspneumothorax bei Traumapatienten auseinandersetzen.

Die Formulierung der Fragestellung und auch die tabellarische Auswertung der gefundenen Studien erfolgte gemäß dem *PICO* Schema, welches sich bei Abhandlungen medizinischer

Fragestellungen bewährt hat [41]. *PICO* ist ein Akronym. Das *P* steht für die untersuchte Population, *I* für die Intervention, *C* für die Kontrollgruppe (*Comparison*) und *O* für Outcomes [41]. Es diente dazu, die Fragestellung so zu definieren, dass bei der Formulierung der Suchstrategie alle relevanten Aspekte ihre Berücksichtigung finden. Daraus ergeben sich Ein- und Ausschlusskriterien für die gefundenen Studien.

Es wurde zu Beginn eine Populationsgruppe/Patientenkohorte (*P*) definiert, die betrachtet werden soll. In dieser Literaturrecherche wurden in erster Linie Arbeiten gesucht, die an erwachsenen Traumapatienten erhoben wurden (Alter > 18 Jahre). Es wurden jedoch auch Studien berücksichtigt, die die zentrale Fragestellung an Daten von gesunden Probanden oder Patienten, die wegen einer anderen Grunderkrankung stationär aufgenommen waren, untersuchten. Es wurden aber keine Patienten mit spontanen oder sekundären Pneumothoraces in Folge einer pulmonalen Grunderkrankung bewertet. Außerdem wurden pädiatrische Fälle ausgeschlossen.

Dann folgte die Festlegung, welche Intervention (*I*) untersucht werden soll. In dieser Arbeit ging es zentral um die präklinische Pleuradekompression mittels Nadelpunktion mit der Frage nach dem zu empfehlenden Punktionsort und der zu wählenden Nadellänge. Es muss betont werden, dass in dieser Arbeit keine Gegenüberstellung der Nadeldekompression und der Thoraxdrainage erfolgt oder die grundsätzliche Berechtigung der Nadeldekompression diskutiert wird.

Da es bei der notfallmäßigen Therapie des Spannungspneumothorax keine Alternative zur sofortigen Dekompression gibt, konnte zum Vergleich keine Kontrollgruppe (*C*) im Sinne einer unterlassenen Intervention herangezogen werden [95]. Es gab jedoch Studien, die verschiedene Nadellängen verglichen haben [6, 24, 52] oder als Kontrollgruppe Patienten heranzogen, die präklinisch mit einer Thoraxdrainage versorgt wurden [8].

Das Outcome (*O*) konnte je nach Studie bedeuten, dass die Intervention zu einer Entfaltung der Lunge geführt hat und sich die Kreislauffunktion folglich verbesserte [6, 8, 25, 28, 31], dass der Traumapatient lebend die Klinik erreicht hat und eine Entlassung aus der stationären Versorgung erfolgte [8, 19, 26] oder es wurde untersucht, ob sich Komplikationen nach der Durchführung einer präklinischen Thoraxdekompression ereigneten [3, 5, 22, 31]. Im Falle der Studien, die anhand von bildgebenden Verfahren, beispielsweise anhand von CT Bildern, den Punktionsort untersuchten, entsprach das Outcome in den meisten Fällen der Messung der Thoraxwanddicke (TWD) an der jeweiligen Lokalisation [1, 23, 24, 37, 42, 43, 53, 56, 71, 81, 86, 88, 91, 97, 102, 103].

Auf der Basis der mit Hilfe des *PICO* Schemas formulierten Frage wurden geeignete Schlagworte und *MeSH* Begriffe für die Literatursuche gewählt, die unter 2.2 aufgeführt werden. Diese wurden bei *pubmed* und *MEDPILOT* miteinander kombiniert, um eine mögliche Breite, jedoch gezielte Recherche durchführen zu können. Im Anschluss wurde noch eine Suche mit *google scholar* durchgeführt, bei der nur relevante Treffer berücksichtigt wurden, die nach der Recherche in den anderen Datenbanken noch nicht in der Ergebnisliste aufgeführt wurden.

Als Einschlusskriterien wurde festgelegt, dass die Publikation von der präklinischen Thoraxdekompression bei Vorliegen eines Spannungspneumothorax handeln soll und im besten Fall bereits im Abstract und/oder im Titel der Punktionsort und/oder die Nadellänge und/oder die Durchführung diskutiert werden. Zudem sollte die untersuchte Kohorte nach Möglichkeit aus Traumapatienten bestehen, was allerdings nur bei wenigen Arbeiten der Fall war. Es wurden auch Arbeiten berücksichtigt, die beispielsweise die Thoraxwanddicke an gesunden Probanden oder Leichen untersuchten, um eine Nadellänge empfehlen zu können. Weiter sollten die Veröffentlichungen in deutscher oder englischer Sprache vorliegen. Publikationen, die vor 1980 erschienen sind, wurden nicht berücksichtigt.

Alle Veröffentlichungen, die aufgrund des Titels und des Abstracts für die Fragestellung relevant erschienen, wurden im Volltext gelesen. Es wurden vorerst alle Publikationstypen eingeschlossen und somit wurden Kohortenstudien, systematische Reviews und Fallserien ausgewertet. Zudem wurden Fallberichte, Kommentare und Tiermodelle ebenfalls berücksichtigt.

2.2 Durchführung der Literatursuche

Die Literatursuche wurde mit drei Suchmaschinen (*pubmed*, *MEDPILOT*, *google scholar*) durchgeführt. Bei *pubmed* wurden im Zeitraum 18.12.2014 bis 07.01.2015 relevante Veröffentlichungen gesucht. Es wurden u.a. *MeSH* Begriffe kombiniert und Trunkierungen verwendet (Tabelle 1).

Suchbegriffe	Treffer gesamt	Relevante Treffer	Datum der Suche
„Pneumothorax“ „Chest tube“	734	17	18.12.2014
„Pneumothorax“ „Chest tube“ „Emergency treatment“	60	4	05.01.2015
„Pneumothorax“ „Needles“	120	17	27.12.2014
„Pneumothorax“ „Needles“ „Emergency treatment“	5	4	05.01.2015
„Pneumothorax“ „Needles“ „Emergency medical service“	8	7	05.01.2015
„Needle“ „Chest tube“	11	2	05.01.2015
„Pneumothorax“ "Thoracostomy/therapeutic use" OR "Thoracostomy/therapy"	84	4	05.01.2015
<i>Pneumothorax</i> <i>Thoracic injuries</i>	1083		

„Pneumothorax“	„Thoracic injuries“	„Emergency treatment“	140	4	05.01.2015
„Pneumothorax“	„Thoracic injuries“	„Emergency medical service“	80	8	05.01.2015
„Pneumothorax“	„Multiple Trauma“		96	1	05.01.2015
„Pneumothorax“	„Trauma Severity Indices“		83	7	05.01.2015
„Pneumothorax“	„Clinical Trial as topic“		69	1	27.11.2014
„Pneumothorax“	„Needles“	Article type: clinical trial	8	1	05.01.2015
„Pneumothorax“	„Thoracotomy“	Article type: clinical trial	18	0	05.01.2015
„Pneumothorax“	„Needle/adverse effect“		17	0	05.01.2015
„Pneumothorax“	„Resuscitation“		35	2	06.01.2015
„Pneumothorax“	„Critical Care“		10	0	06.01.2015
„Needles“	„Thorax“		98	8	06.01.2015
Needle decompression tension pneumothorax			79	22	07.01.2015
Emergenc* pneumothorax decompression			95	22	07.01.2015
<i>Traum* cardiac arrest</i>			2258		07.01.2015
Traum* cardiac arrest pneumothorax			49	3	07.01.2015
Traum* cardiac arrest decompression			33	4	07.01.2015

Tabelle 1: Literatursuche bei *pubmed*

„“)MeSH Begriffe, *) Trunkierung

Insgesamt ergaben sich bei dieser Suchanfrage 1932 Treffer, von denen nach Abzug der mehrfach genannten 52 die Suchkriterien erfüllten und im Volltext gelesen wurden.

Bei *MEDPILOT* wurde die Suchanfragen am 11.01.2015 und 12.01.2015 durchgeführt. Hier wurden Suchbegriffe ebenfalls zielführend kombiniert (Tabelle 2).

Suchbegriffe	Treffer gesamt	Relevante Treffer	Datum der Suche
Pneumothorax prehospital	368	26	11.01.2015
Pneumothorax needle decompression	114	37	11.01.2015
Trauma* needle decompression	129	26	12.01.2015
Pneumothorax needle length	142	13	11.01.2015
Chest wall thickness needle	236	15	12.01.2015
Pneumothorax tension resuscitation decompression	65	4	12.01.2015
Pneumothorax traumatic cardiac arrest	454	5	12.01.2015
<i>Pneumothorax thoracic injuries</i>	6576		
Pneumothorax thoracic injuries needle	838	34	12.01.2015

Tabelle 2: Literatursuche bei *MEDPILOT*

*) Trunkierung

Von 2346 Treffern wurden 160 als relevant beurteilt und nach Berücksichtigung der mehrfach genannten, erfüllten somit 59 Arbeiten die Einschlusskriterien und wurden im Volltext bearbeitet. Von den insgesamt 111 so ausgewählten Veröffentlichungen wurden 41 sowohl bei der Anfrage bei *pubmed* als auch bei *MEDPILOT* gefunden und notiert. Nach Abzug dieser doppelt gelisteten Arbeiten verblieben 70, die als Volltext beschafft und gelesen wurden.

Die Suche bei *google scholar* zielte darauf ab, die bis dato noch nicht gelistete Literatur ausfindig zu machen. Es wurden ebenfalls Suchbegriffe verknüpft. Bei der ersten Anfrage sollten die Suchbegriffe im Titel vorhanden sein, bei der zweiten wurde diese Einschränkung entfernt. Durch die Arbeitsweise von *google scholar*, die sich grundlegend von *pubmed* und *MEDPILOT* unterscheidet, ergaben sich teilweise Trefferangaben jenseits der 10 000. Daher wurden pro Suchanfrage nur die jeweils ersten 200 Treffer berücksichtigt. *Google scholar* verwendet bei der Suche ein *page ranking*, das heißt, dass sich die Reihenfolge der Treffer aus der Anzahl der Aufrufe ergibt, die die jeweilige Seite verzeichnen kann. Die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um relevantes Ergebnis handelt, nimmt folglich mit steigendem Listenplatz in der Trefferliste ab. Die Abfrage bei *google scholar* wurde am 13.01.2015 durchgeführt (Tabelle 3).

Prehospital pneumothorax ^a	17	-
Prehospital pneumothorax ^b	10 300	1
Pneumothorax needle decompression ^a	21	-
Pneumothorax needle decompression ^b	10 800	1
Trauma* needle decompression ^a	-	
Trauma* needle decompression ^b	30 200	1
Pneumothorax needle length ^a	5	-
Pneumothorax needle length ^b	29 100	1
Chest wall thickness needle ^a	8	1
Chest wall thickness needle ^b	57 400	-
Pneumothorax tension resuscitation decompression ^a	-	
Pneumothorax tension resuscitation decompression ^b	4 450	-
Pneumothorax traumatic cardiac arrest ^a	-	
Pneumothorax traumatic cardiac arrest ^b	20 000	-
Pneumothorax thoracic injuries needle ^a	-	
Pneumothorax thoracic injuries needle ^b	20 400	-

Tabelle 3: Literatursuche bei *google scholar*

^a) erweiterte Suche: die Suchbegriffe sollten im Titel enthalten sein, ^b) keine Einschränkungen, Sichtung der ersten 200 Ergebnisse der Suchanfrage, *)Trunkierung

Es wurden 5 weitere Publikationen gefunden, die bis dahin noch nicht in der relevanten Trefferliste vermerkt wurden. 10 weitere Arbeiten wurden durch Verweise in der selektierten Literatur entdeckt. Insgesamt wurden somit 85 Veröffentlichungen im Volltext gelesen und im Hinblick auf die zentrale Fragestellung bezüglich des optimalen Punktionsortes und der zu wählenden Nadellänge bewertet.

Ablauf der Literaturrecherche

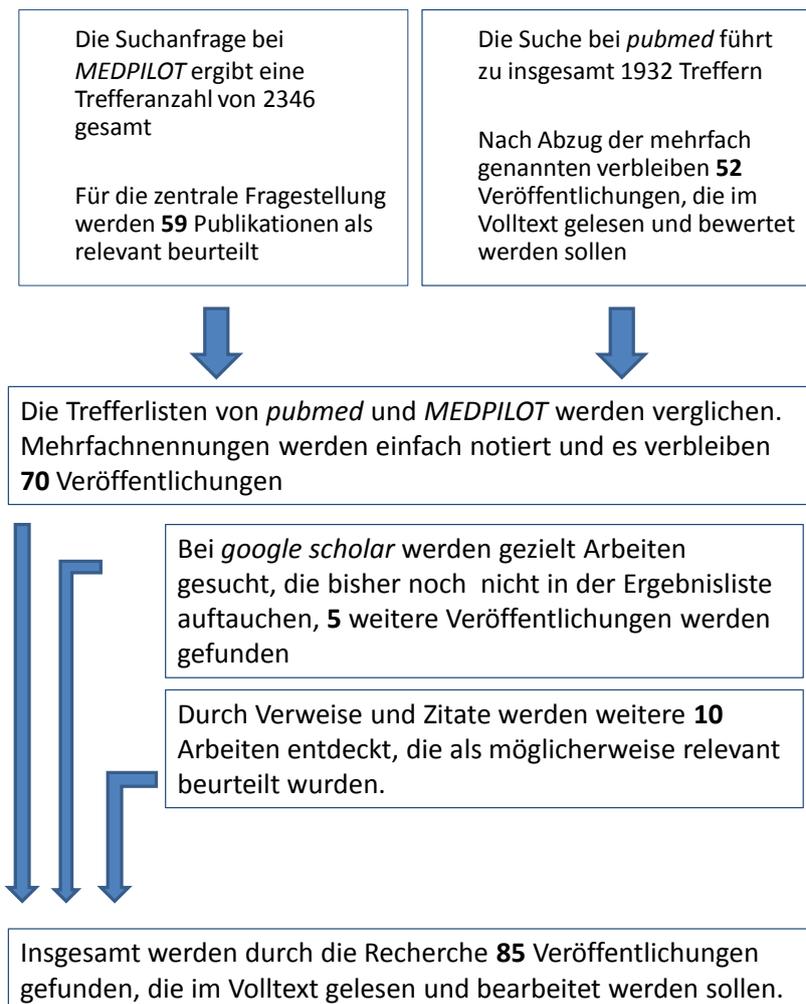


Abbildung 1: Darstellung der Literatursuche

2.3 Auswertung und Beurteilung der ausgewählten Literatur

Die relevante Literatur wurde tabellarisch in einer Extraktionstabelle erfasst. Es wurden sowohl der Autor und der Titel der Veröffentlichung, als auch das Journal und das Erscheinungsjahr dokumentiert. Weiter wurden Studientyp, Studienziel, Relevanzgrad (RG), Evidenzlevel (LoE), sowie mögliche Bias und die für die Fragestellung relevanten Ergebnisse gemäß dem *PICO*-Schema extrahiert [41].

2.3.1 Evidenzlevel (LoE)

Jeder Studie wurde ein Evidenzgrad (*Level of Evidenz, LoE*) gemäß dem 2011er Schema des *Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM)* zugeordnet [67]:

Question	Step 1 (Level 1*)	Step 2 (Level 2*)	Step 3 (Level 3*)	Step 4 (Level 4*)	Step 5 (Level 5)
How common is the problem?	Local and current random sample surveys (or censuses)	Systematic review of surveys that allow matching to local circumstances**	Local non-random sample**	Case-series**	n/a
Is this diagnostic or monitoring test accurate? (Diagnosis)	Systematic review of cross sectional studies with consistently applied reference standard and blinding	Individual cross sectional studies with consistently applied reference standard and blinding	Non-consecutive studies, or studies without consistently applied reference standards**	Case-control studies, or poor or non-independent reference standard**	Mechanism-based reasoning
What will happen if we do not add a therapy? (Prognosis)	Systematic review of inception cohort studies	Inception cohort studies	Cohort study or control arm of randomized trial [†]	Case-series or case-control studies, or poor quality prognostic cohort study**	n/a
Does this intervention help? (Treatment Benefits)	Systematic review of randomized trials or n-of-1 trials	Randomized trial or observational study with dramatic effect	Non-randomized controlled cohort/follow-up study**	Case-series, case-control studies, or historically controlled studies**	Mechanism-based reasoning
What are the COMMON harms? (Treatment Harms)	Systematic review of randomized trials, systematic review of nested case-control studies, n-of-1 trial with the patient you are raising the question about, or observational study with dramatic effect	Individual randomized trial or (exceptionally) observational study with dramatic effect	Non-randomized controlled cohort/follow-up study (post-marketing surveillance) provided there are sufficient numbers to rule out a common harm. (For long-term harms the duration of follow-up must be sufficient.)**	Case-series, case-control, or historically controlled studies**	Mechanism-based reasoning
What are the RARE harms? (Treatment Harms)	Systematic review of randomized trials or n-of-1 trial	Randomized trial or (exceptionally) observational study with dramatic effect			
Is this (early detection) test worthwhile? (Screening)	Systematic review of randomized trials	Randomized trial	Non-randomized controlled cohort/follow-up study**	Case-series, case-control, or historically controlled studies**	Mechanism-based reasoning

* Level may be graded down on the basis of study quality, imprecision, indirectness (study PICO does not match questions PICO), because of inconsistency between studies, or because the absolute effect size is very small; Level may be graded up if there is a large or very large effect size.

** As always, a systematic review is generally better than an individual study.

Abbildung 2: Schema des *Oxford Centre for Evidence-Based Medicine* zur Zuordnung der Evidenzlevel

Das Schema des *OCEBM* von 2011 unterscheidet je nach Studientyp und -durchführung fünf Evidenzlevel (LoE). Das Ziel war es, die Qualität und Validität der Studie bewerten zu können. Das Oxford Schema ist als Tabelle konzipiert und besteht aus 6 Spalten und 7 Zeilen. In der ersten Spalte wird zuerst die zentrale Fragestellung geklärt: soll die Arbeit Aufschluss über eine Inzidenz, über eine Diagnose, eine Therapie, eine Prognose, Nebenwirkungen oder ein Screeningverfahren geben? Je nach Studientyp sind für die spezifischen Fragestellungen entsprechende Evidenzgrade hinterlegt. Anschließend bewegt man sich entlang der verschiedenen LoE, die den möglichen Studientypen zugeordnet sind. Man beginnt mit dem Level höchster Evidenz (LoE 1) und arbeitet sich zu denen mit niedrigerer vor. Vereinfacht kann man die LoE 1-5 wie folgt gliedern:

- 1) Eine Systematische Übersichtsarbeit mehrerer randomisierter Kontrollstudien oder prospektiver Kohortenstudien
- 2) Eine randomisierte Studie oder eine prospektive Kohortenstudien
- 3) Nicht-randomisierte Kontrollstudien, retrospektive Kohortenstudien
- 4) Fall-Kontroll Studien, Fallberichte
- 5) Expertenmeinung/Experimente/Tiermodelle

2.3.2 Relevanzgrad (RG)

Die Kernaussagen der jeweiligen Studie wurden zusätzlich nach Relevanz für die zentrale Fragestellung nach dem optimalen Punktionsort und/oder der zu empfehlenden Nadellänge in die Grade 1-3 eingeteilt. Die Publikationen, die in der Gruppe Grad 1 gelistet wurden, beinhalteten Veröffentlichungen, deren Fragestellung zielgerichtet auf eine Empfehlung eines optimalen Punktionsortes und/oder die beste Nadellänge abzielten. In diesen Veröffentlichungen wurden u.a. verschiedene Punktionsorte oder Nadellängen gegenübergestellt und verglichen.

Eine Relevanz Grad 2 erhielten Artikel, die Ergebnisse präsentierten, die die Anwendung der präklinischen Nadeldekompression und deren optimale Durchführung untersuchten, jedoch keine konkreten Punktionsorte oder Nadellängen verglichen oder empfahlen. Die Artikel, die in der Gruppe Grad 3 gesammelt wurden, beinhalteten für die zentrale Diskussion keine entscheidenden Ergebnisse.

2.3.3 Verzerrungseffekte (Bias)

Weiter wurden bei jeder im Volltext gelesenen Studie mögliche Störgrößen (Bias) beurteilt, die bei der Erhebung der jeweiligen Daten eine Verzerrung bedingen konnten. Berücksichtigt wurden folgende Störgrößen, welche u.a. im *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions (2011)* aufgeführt werden [39]:

- *Selection bias*: Die Interventionsgruppe und Kontrollgruppe setzen sich unterschiedlich zusammen.
- *Recall bias*: Eine Verzerrung kommt aufgrund einer retrospektiven Bewertung zu Stande. Hierbei kann ein im zeitlichen Abstand beobachteter Effekt unter- oder überschätzt werden [39, 70].
- *Attrition bias*: Eine inkomplette Datenerhebung kann zu einem systematischen Fehler führen, der das Ergebnis der Studie beeinflusst. Häufig handelt es sich um die unvollständige Darstellung und Beobachtung von Stichproben.
- *Reporting bias*: Aufgrund einer selektiven Darstellung von Studienergebnissen kommt es zu einer Verzerrung des Ergebnisses.

Bei randomisierten Kontrollstudien werden noch das *performance bias* und das *detection bias* untersucht, welche sowohl die Verblindung als auch die Zusammensetzung der randomisierten Gruppen beurteilen [39]. Da bei der Literaturrecherche im Zuge dieser Dissertation keine randomisierte Kontrollstudie gefunden wurde, finden diese Störfaktoren im Folgenden keine

Berücksichtigung. Die Bewertung der *risks of bias* sollte die interne Validität der Arbeit sichern [39].

Die externe Validität beschreibt hingegen die korrekte Fragestellung, mit deren Hilfe nach aussagekräftiger Literatur gesucht wurde [39]. Sie stellt die Übertragbarkeit der Studienergebnisse auf die Allgemeinheit dar.

Mit steigendem Level sinkt die Evidenz der durchgeführten Studie. Studien konnten ein Level herabgestuft werden, wenn die Planung, der Ablauf oder das Ergebnis dieser erhebliche Schwächen (*high risk of bias*) aufwiesen, die eine Verzerrung der Resultate vermuten ließen. Diese Arbeit orientierte sich damit an der Methodik, die in ähnlicher Weise zu der Entwicklung einer Leitlinie herangezogen wurde [79]. Eine Extraktionstabelle, die die wesentlichen Angaben beinhaltet, wurde im Kapitel 3 dargestellt (Tabelle 4).

2.4 Quantitative Darstellung der Daten

Soweit die gefundenen Studien Angaben über den Erfolg für die jeweilige Nadel am entsprechenden Punktionsort enthielten, wurden diese für die statistische Auswertung herangezogen, um unter Berücksichtigung aller verfügbaren Studienergebnisse festzustellen, welcher Punktionsort und welche Nadellänge die besten Erfolgschancen bietet. Die verfügbaren Daten wurden nach Punktionsort und Nadellänge sortiert und mit Kolmogorov-Smirnov Test auf Normalverteilung überprüft (Ergebnis nicht abgebildet). Da sich keine Normalverteilung ergab, wurde für jede Nadellänge und jeden Punktionsort der Median und die Interquartilabstände (IQR) berechnet. Lediglich für eine Variante (Nadellänge 4,5 cm im lateralen Zugang) fand sich nur ein einzelnes Ergebnis, so dass sich dieser Wert aus dem Ergebnis einer einzigen Studie ergab. Anschließend wurden diese Daten in „erfolgreiche“ und „nicht erfolgreiche“ dichotomisiert und in eine Vierfeldertafel eingetragen. So konnte unter Verwendung des Chi²- Test die Odds Ratios (OR) und das korrespondierende 95%-Konfidenzintervall (KI) berechnet werden. Das Signifikanzniveau wurde für eine Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha=0,005$ festgelegt. Ein statistisch signifikanter Unterschied wurde angenommen bei $p < 0,05$.

3 Ergebnisse

Nach der Literaturrecherche wurden 85 Veröffentlichungen als relevant beurteilt und im Volltext gelesen. Darunter gab es Reviews und Kohortenstudien, die zum Großteil auf bildgebenden Untersuchungen basierten, Falldarstellungen, experimentelle Arbeiten, Tiermodelle, aber auch kurze Kommentare zu wichtigen Arbeiten.

Kontrollierte randomisierte Studien, die für die zentrale Fragestellung von großer Relevanz sind und, die eine hohe Evidenz aufweisen, wenn sie akkurat durchgeführt werden, wurden durch die Recherche nicht entdeckt. Da es sich um eine notfallmäßige Intervention handelt, die keinen Aufschub duldet, können kontrollierte randomisierte Studien nicht in dem Umfang organisiert und geplant werden, wie es bei anderen Eingriffen mitunter möglich ist. Da bei Vorliegen eines Spannungspneumothorax eine absolut dringliche Indikation zur Intervention besteht, muss die Diagnose rein klinisch gestellt werden. Eine Bildgebung zur Diagnosesicherung als diagnostischer Goldstandard verbietet sich daher für das unter Umständen rasant verlaufende Krankheitsbild [27]. In einem Review wurde bereits 2006 darauf hingewiesen, dass es an Studien, die eine hohe Evidenz aufweisen, mangelte und die Lehrmeinung daher auf Fallberichten, Tierexperimenten und Expertenmeinungen fußt [98].

Die Evidenzgrade (LoE) der gefundenen Arbeiten bewegten sich hauptsächlich zwischen 3 und 5. Systematische Reviews wurden berücksichtigt und konnten gemäß dem Oxford Schema von 2011 einem LoE von 2 zugeordnet werden [65, 66, 98]. Die Details der gefundenen Arbeiten sind in der Extraktionstabelle (Tabelle 4) knapp zusammengefasst worden.

Die Reihenfolge innerhalb der Tabelle ergab sich aus der Relevanz für die zentrale Fragestellung bezüglich der optimalen Nadellänge oder des bestmöglichen Punktionsortes. Jeder Veröffentlichung wurde somit, wie bereits im Methodikteil beschrieben, ein Relevanzgrad (RG), ein Evidenzlevel (LoE), sowie mögliche Bias, die eine Verzerrung der Ergebnisse bedingen können, zugeordnet:

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
Akoglu [1] 2013	Retrospektive Kohortenstudie CT Untersuchung	TWD im 5.ICR MAL < 2.ICR MCL, anhand von CT Bildern ergaben sich durchschnittliche TWD im 2.ICR MCL von 5,2 cm für die Frauen und 3,8 cm für die Männer. Außerdem wurde die TWD im 4./5.ICR MAL ermittelt und ergab für die Frauen 3,8 cm und Männer 3,3 cm im Durchschnitt.	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei der Datenerhebung
Ball [6] 2009	Retrospektive Kohortenstudie	Vergleich des Outcomes von Patienten, die mit Nadeln unterschiedlicher Länge präklinisch entlastet wurden (5,0 cm vs. 3,5 cm).	1	4↓	<i>Risk of reporting</i> und <i>selection bias</i> , schlechtes Studiendesign, da neben der Nadeldekompression auch Thoraxdrainagen angelegt werden und dadurch das Ergebnis erheblich beeinträchtigt wird
Beckett [9] 2011	Experimentelle Untersuchung	Ein Katheter, der im Experiment im 5.ICR MCL eingebracht wurde, knickt häufiger ab als einer, der im 2.ICR MCL inseriert wurde	1	5	Ergebnisse des experimentellen Modells nur bedingt auf tatsächliche Umstände übertragbar.
Britten [15] 1996	Prospektive Kohortenstudie Sonographie	96% der TWD betrogen im 2.ICR MCL < 4,5 cm, sonographische Untersuchung	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei der Datenerhebung, Ausschluss von Traumapatienten, bzw. Patienten mit Begleitverletzungen (Emphysemen, Frakturen)
Britten [16] 1996	Falldarstellung	Schilderung einer präklinischen Nadeldekompression, die sekundär fehlschlägt	1	5	<i>Risk of recall bias</i>
Carter [23] 2013	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	Bestimmung der TWD im 2.ICR MCL und Untersuchung, ob eine suffiziente Entlastung mit verschiedenen Nadellängen gelingen kann: 4,6 cm Nadel (52,7% erfolgreich) 5,1 cm (64,5%), 6,4 cm (79%).	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> durch Datenerhebung, Berücksichtigung der regional vorherrschenden BMI Werte (USA)
Chang [24] 2014	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	Vergleich der Punktionsorte 2.ICR MCL und 4.ICR AAL und der Nadellängen 5,0 cm und 8,0 cm. Im 2.ICR MCL gelangen am CT Bilder simulierte Punktionsorten mit einer 5,0 cm Nadel in 71% der Fälle, mit einer 8,0 cm Nadel in 97%. Im 4.ICR AAL lagen die erfolgreichen Simulationen	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> durch Datenerhebung und durch bereits im Vorfeld bekannte Standpunkte der Co-Autoren

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
		bei 79% bei Gebrauch einer 5,0 cm Nadel und bei 96%, wenn man eine 8,0 cm Nadel nutzte.			
Givens [37] 2004	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	TWD im 2.ICR MCL betrug durchschnittlich 4,2 cm, Durchschnittswerte der Frauen lag bei 4,9 cm und bei den Männern bei 4,2 cm	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> durch Datenerhebung (USA)
Biffi [11] 2004	Kommentar/ Expertenmeinung	Statement zu den Ergebnissen von Givens et al.	1	5	Expertenmeinung
Harcke [42] 2013	Retrospektive Kohortenstudie Leichen/ CT	Vergleich der Punktionsorte 2.ICR MCL und 4./5.ICR AAL an gefallen Soldaten, die vor deren Ableben noch eine Nadel inseriert bekamen. Ein erfolgreiches Erreichen der Pleura erfolgte in 46% der Fälle im 2.ICR MCL und in 100% beim Einbringen im 4./5.ICR AAL.	1	5	<i>Risk of reporting bias</i> durch Studiendesign, keine Angaben über geglückte Interventionen <i>Risk of selection bias</i> : untersuchte Population besteht aus gefallen Soldaten, Übertragbarkeit auf Traumapatienten fraglich
Harcke [43] 2008	Retrospektive Kohortenstudie CT Auswertung	TWD im 2.ICR MCL betrug bei militärischem Personal 4,9 cm (bei streng senkrechter Insertion)	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> durch Auswertung
Hecker [46] 2012	Retrospektive Kohortenstudie MRT	TWD im 2.ICR MCL wurde mit durchschnittlich 5,1 cm gemessen, Simulationen an MRT Bildern mit einer 4,5 cm langen Nadel ergaben erfolgreiche Dekompressionen in 35% der weiblichen und 42% der männlichen Patienten	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei Datenerhebung, keine detaillierte Angaben über die Messmethoden (Arbeit liegt nur als Poster vor), einzige Untersuchung, die an deutscher Bevölkerung durchgeführt wurde
Inaba [52] 2011	Experimentelle Studie an Leichen	Mit einer 5,0 cm langen Nadel wurde die Pleura bei Leichen in 57,5% der Fälle im 2.ICR MCL und in 100% im 4./5.ICR MAL erreicht.	1	5	Ergebnisse von Experimente, die an Leichen durchgeführt wurden, sind nur bedingt auf Traumapatienten übertragbar
Inaba [53] 2012	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	2.ICR MCL > 4./5.ICR AAL, am CT Bild simulierte Entlastungen gelingen mit einer 5,0 cm Nadel in 57,5% im 2.ICR MCL und in 83,3% im 4./5.ICR AAL	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei Datenerhebung
Schreiber [87] 2012	Kommentar zu Inaba	Statement zu Inabas Veröffentlichung	2	5	Expertenmeinung, <i>Risk of reporting bias</i>

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
Kim [56] 2010	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	TWD im 2.ICR MCL < 5.ICR AAL	1	3	Erhebung der Daten an koreanischer Bevölkerung, <i>risk of reporting bias</i> ; nur Abstract und Ergebnispräsentation in Englisch vorliegend
Lamblin [60] 2014	Prospektive Kohortenstudie	TWD im 2.ICR MCL (4,2 cm) > 4.ICR in der Axillarlinie (3,0 cm), sonographischer Untersuchung	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> , da Messergebnis von Untersuchung/Untersucher (Sono) abhängt
Mabry [69] 2008	Experten- meinung	Aktuelle Diskussion zur präklinischen Versorgung Schwerstverletzter mit penetrierendem Thoraxtrauma	1	5	Keine detaillierte Beschreibung der Recherche oder Evidenzlage der Empfehlungen, <i>risk of reporting bias</i>
Marinero [71] 2003	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	TWD im 2.ICR MCL betrug 4,6 cm, eine 5,0 cm Nadel konnte in den Simulationen in 67% die Pleura erreichen	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei Erstellung der Daten
McLean [74] 2010	Prospektive Kohortenstudie Sonographie	TWD im 2.ICR MCL (Durchschnittswerte Männer 2,1 cm und Frauen 2,1 cm) < 4./5.ICR MAL (Männer 2,5 cm und Frauen 2,4 cm)	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei sonographischer Untersuchung
Powers [81] 2013	Retrospektive Kohortenstudie CT Auswertung	TWD Bestimmung im 2.ICR MCL ergab einen Durchschnittswert von 6,3 cm	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei Ermittlung der TWD
Rawlins [85] 2003	Falldarstellungen	Komplikationen bei Nadeldekompression im 2.ICR MCL	1	5	<i>Risk of recall bias, reporting bias</i>
Sanchez [86] 2011	Retrospektive Kohortenstudie CT Aufnahmen	TWD im 2.ICR MCL (4,6 cm) < als im 4. (6,3 cm) und 5.ICR MAL (5,3 cm)	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei Messung
Schröder [88] 2013	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	TWD im 2.ICR MCL (4,1 cm) < 5.ICR AAL (4,6 cm) und eine suffiziente Entlastung mit einer 4,5 cm Nadel konnte in der CT basierten Simulation in 71% (2.ICR MCL), bzw. 55% (4./5.ICR AAL) gelingen	1	4↓	Diese Studie wurde im LoE abgestuft, da die Erhebung der Daten an einem anatomisch inkorrekten Punktionsort ermittelt wurde (Unterrand der Rippen), zudem wurden nur bei 67% der Probanden der BMI ermittelt, daraus ergibt sich ein <i>risk of attrition bias</i>
Stevens [91] 2009	Retrospektive Kohortenstudie	TWD im 2.ICR MCL wurde mit 5,1 cm bei den weiblichen und 4,0 cm bei den männlichen	1	3	<i>Risk of reporting bias</i>

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
	CT Studie	Patienten erhoben. Eine Entlastung mit einer 4,4 cm Nadel würde in 50% im 2.ICR MCL gelingen.			
Wax [97] 2007	Retrospektive Kohortenstudie CT Auswertung	TWD Messung an neuer innovativer Punktionsstelle 2.ICR MHT (mittlere Thoraxhalbierende) (3,1 cm), 5.ICR AAL (2,6 cm) und 5.ICR MAL (3,5 cm)	1	3	<i>Risk of reporting bias</i>
Waydhas [98] 2006	Review	Diskussion bezüglich der präklinischen Nadeldekompression. Punktionsorte 2.ICR MCL und 4.-6.ICR AAL bis MAL wurden benannt. Die Insertion sollte nicht unterhalb der Brustwarze erfolgen. Die Empfehlung der Nadellänge betrug min. 4,5 cm.	1	2	Suchstrategie des Reviews ist nachvollziehbar, unabhängige Bewertung der Literatur durch zwei unabhängige Autoren
Yamagiwa [102] 2010	Retrospektive Kohortenstudie CT Bilder	TWD im 2.ICR MCL betrug 3,1 cm, eine an CT Bildern simulierte Entlastung konnte in bis zu 94% der Fälle gelingen	1	3	<i>Risk of reporting bias</i> , Erhebung der Daten an japanischer Bevölkerung
Rajan [82] 2012	Kommentar zu Yamagiwa	Statement zu Ergebnissen von Yamagiwa	2	5	
Zengerink [103] 2008	Retrospektive Kohortenstudie	TWD im 2.ICR MCL wurde mit 3,5 cm bestimmt. Mit einer 4,5 cm Nadel konnte eine simulierte Dekompression in 78% der Fälle gelingen.	1	3	<i>Risk of reporting bias</i>
Rathinam [83] 2008	Expertenmeinung	Kommentar zu Zengerink et al. Unterstützen die These von Zengerink, dass die Nadeln mitunter zu kurz sein könnten und fordern die Entwicklung spezieller Utensilien, die zur präklinischen Dekompression genutzt werden können.	2	5	
Barton [7] 1999	Expertenmeinung	Abhandlung über Spannungspneumothorax mit Fallbeispielen, Pathophysiologie, Diagnostik und Therapie	2	5	<i>Risk of reporting bias</i> , kein systematisches Review, keine Angabe bezüglich Literatursuche etc.
Barton [8]	Retrospektive	Vergleich präklinische Nadeldekompression vs.	2	3	<i>Risk of selection bias</i> bei untersuchter Kohorte (P=

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
1995	Kohortenstudie	Thoraxdrainage. Es zeigte sich, dass die Versorgungszeit bei einer Behandlung mittels Nadeldekompression geringer war als bei einer Anlage einer Thoraxdrainage.			Traumapatienten, die eine Nadeldekompression erhielten) und der Kontrollgruppe (C= Traumapatienten, die eine Thoraxdrainage angelegt bekamen), da einige Thoraxdrainagen zusätzlich nach einer möglicherweise gescheiterten Nadeldekompression inseriert wurden. Damit wird das Outcome (hier: Überlebenszeit) verändert. <i>Risk of attrition bias</i> : zwei Patienten der Stichprobe wurden nicht über den angestrebten Zeitraum beobachtet.
Bernadin [10] 2012	Review	Überblick über schwerwiegende Verletzungen von Traumapatienten mit Thoraxtrauma und Anweisungen für das initiale Management bei der Versorgung dieser Patienten	2	3↓	Keine Angabe über systematische Literatursuche
Blaivas [12] 2010	Prospektive Kohortenstudie	Sonographische Untersuchung von Patienten, die präklinisch mit einer Nadeldekompression behandelt wurden. Bei 26% dieser Traumapatienten konnte sonographisch bei Aufnahme kein Pneumothorax diagnostiziert werden.	2	3	<i>Risk of reporting bias</i>
Boyle [13] 2012	Review	Trainingsmodelle, an denen man die Nadeldekompression üben kann, weisen eine erheblich zu dünne TWD auf.	2	3	Review bezog sich auf Studien, die die TWD im 2.ICR MCL ermittelten. Dazu wurden Studien aus dem militärischen und zivilen Bereich herangezogen. Es erfolgte bei der Darstellung der Ergebnisse keine Unterscheidung nach Geschlecht, zudem hatte eine Subgruppe (militärische Angehörige) einen großen Effekt auf die präsentierten Daten.
Cantwell [22] 2014	Retrospektive Kohortenstudie	Der Spannungspneumothorax konnte durch einen neuen Leitfaden und eine verbesserte Ausbildung sicherer diagnostiziert und therapiert werden	2	3	<i>Risk of recall bias</i> , da einige Daten rückwirkend vervollständig wurden

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
Cullinane [26] 2001	Prospektive Kohortenstudie	Beurteilung der Effektivität und Notwendigkeit der präklinischen Nadeldekompression. Nur ein Patient von 19 habe von der Nadeldekompression profitiert.	2	3	<i>Risk of reporting bias</i> , da keine Benennung der Anwender (Ausbildungsstand etc.) und der präklinisch präsenten Symptome etc.
Currie [27] 2007	Review	Aktuelle Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie des Pneumothorax unterschiedlicher Ätiologie, Diskussion bezüglich des korrekten Auffindens des Punktionsortes (55% der Ärzte bestimmten Ort akkurat).	2	2	Review Literatursuche ist weitestgehend nachvollziehbar (Daten der Suchanfragen fehlen)
Eckstein [31] 1998	Retrospektive Kohortenstudie	Erfassung der Komplikationen der präklinischen Nadeldekompression. Eine korrekte Durchführung fußt auf einer fundierten Ausbildung des Anwenders.	2	3	Studie war als prospektive Datenerhebung geplant, die Auswertungen erfolgten jedoch retrospektiv anhand der Dokumentationen von Rettungsassistenten, <i>risk of reporting bias</i>
Elsayed [33] 2012	Prospektive Kohortenstudie	44% der Assistenzärzte konnten den lateralen Punktionsort, der auch für die Anlage einer Thoraxdrainage genutzt wird, korrekt bestimmen.	2	3	
Ferrie [35] 2005	Prospektive Kohortenstudie	60% der Ärzte konnten den 2.ICR MCL akkurat bestimmen	2	3	Kleine Kohorte (n=25)
Fitzgerald [36] 2008	Review	Diskussion über die Pleuradekompression bei Traumapatienten mit historischem Hintergrund, Indikationen, Techniken und Komplikationen	2	3↓	Keine Angaben bezüglich der Literatursuche
Grabo [38] 2014	Prospektive Kohortenstudie	Gegenüberstellung verschiedener Lernmethoden: traditioneller Unterricht mittels Folien und Diagrammen vs. Lehreinheiten, die an Leichen abgehalten wurden. Der Unterricht an Leichen zeigte bessere Ergebnisse.	2	3	
Griffiths [40] 2005	Prospektive Kohortenstudie	45% der jungen Ärzte waren in der Lage, sicher den Punktionsort für eine Thoraxdrainage bestimmen zu können	2	3	
Jones [54]	Falldarstellungen	Darstellung von 3 Fällen, in denen die	2	5	<i>Risk of reporting bias, risk of recall bias</i> bei der

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
2002		Nadeldekompression fehlschlug, bzw. eine Re-Entwicklung eines Spannungspneumothorax beobachtet wurde			Schilderung der Fälle
Lee [61] 2007	Expertenmeinung	Leitfaden für die präklinische Versorgung von Traumapatienten mit Thoraxtrauma. Die Nadeldekompression soll im 2.ICR MCL, alternativ 5.ICR AAL mit einer mindestens 4,5 cm langen Nadel erfolgen.	2	5	Keine Angaben bezüglich der Recherche
Leigh-Smith [64] 2007	Expertenmeinung	Kritische Auseinandersetzung mit der Nadeldekompression, längere Nadeln bedingen erhöhtes iatrogenes Verletzungsrisiko	2	5	
Leigh- Smith [65] 2005	Systematisches Review	Aktuelle Empfehlung zur Diagnostik und Therapie des Spannungspneumothorax. Der Punktionsort 2.ICR MCL sei vorteilhaft, da sich die Luft immer kranial sammelt und im lateralen Punktionsgebiet (4./5.ICR AAL und MAL) müsse mit Adhäsionen gerechnet werden.	2	2	Literatursuche ist nachvollziehbar und erfolgte durch zwei unabhängige Reviewer, Berücksichtigung von Tiermodellen und Unterscheidung zwischen beatmeten und nicht-beatmeten Patienten
Netto [78] 2008	Prospektive Kohortenstudie	Untersuchung der Punktionsstellen an Traumapatienten, die präklinisch mit einer Nadeldekompression behandelt wurden. 48% der Nadeln wurden zu weit medial inseriert.	2	3	Kleine Kohorte (n=17), <i>risk of reporting bias</i>
Studer [92] 2013	Prospektive Kohortenstudie	Unterrichtung an Leichen oder Trainingsmodelle zeigte einen besseren Lernerfolg. Soldaten sollten die Nadeldekompression erlernen.	2	3	Fraglich, ob bei einem tatsächlichen Notfall so gehandelt wird, wie während des Unterrichts
Sztajnkrzyer [93] 2008	Prospektive Kohortenstudie	Polizisten konnten lernen einen Spannungspneumothorax zu erkennen und die Nadeldekompression anzuwenden.	2	3	Beobachtungszeitraum 6 Monate
Tien [94] 2008	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung, ob die Nadeldekompression korrekt angewandt wurde	2	3	Keine Angaben über Anwender, sprachliche Barriere zwischen Arzt und Patienten (<i>Risk of recall bias</i>),

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
		(Indikation/Durchführung). Die Punktionsstelle wurde häufig zu weit medial bestimmt.			keine Angaben wie viele Nadeldekompressionen im Beobachtungszeitraum insgesamt inseriert wurden
Warner [96] 2007	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung der Nadeldekompression im Hinblick auf ihre Indikationsstellung, der Komplikationen und des Outcomes der Patienten. Es gab neun 'unerwartet Überlebende' in dieser Studie, die mit einer Nadeldekompression behandelt wurden.	2	3	Keine Beobachtung der Patienten bis zur Entlassung, <i>risk of reporting bias</i>
Anderson [3] 2014	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung, ob die Komplikationsrate nach Anlage einer Thoraxdrainage durch die Einführung eines Leitfadens, eines Patientenbogens oder durch eine verbesserte Ausbildung des Personals gesenkt werden kann. Es zeigte sich, dass das Empyem als Komplikation seltener aufgetreten ist (1,44% vs. 0,57%).	3	3	Neben der Einführung eines Verlaufsbogens erfolgte auch eine Veränderung der Ausbildung des Personals, zudem wurde eine prophylaktisch antibiotische Behandlung etabliert. Unklar bleibt, welche Veränderung den größten Effekt birgt.
Aylwin [5] 2008	Prospektive Kohortenstudie	Untersuchung der Indikationen und der Komplikationsrate der präklinisch durchgeführten Thorakotomie gegenüber der in der Notaufnahme inserierten. Die Autoren folgerten, dass die Ausbildung verbessert werden muss, um eine sichere Diagnosestellung zu erzielen und die Komplikationsrate senken zu können.	3	3	
Brims [14] 2013	Systematisches Review	Auswertung von Studien, die die Therapie von Pneumothoraces behandelten. Die Therapie des Spannungspneumothoraxes wurde ausgeschlossen.	3	2	Recherchestrategie nachvollziehbar
Buschmann [18] 2013	Retrospektive Kohortenstudie	Darstellung traumatisch bedingter Todesfälle und deren Epidemiologie, Todesursachen und Managementfehler.	3	3	

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
		10% aller traumatischen Todesfälle seien potentiell vermeidbar gewesen. 2/3 aller traumatischen Todesfälle ereigneten sich präklinisch. Der Spannungspneumothorax wurde als "definitiv vermeidbare" Todesursache eingestuft. Insgesamt wurden 85% der traumatischen Todesfälle als "nicht vermeidbar" und 5% als "definitiv vermeidbar" angegeben. 92% aller potenziell vermeidbaren Todesfälle erfolgten sich präklinisch.			
Bushby [19] 2005	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung, weshalb schwerverletzte Traumapatienten „unerwartet“ überleben. Die Anlage einer Thoraxdrainage und die Intubation waren wichtige Interventionen.	3	3	Keine detaillierte Schilderung über die Durchführung der Nadeldekompression
Cai [20] 2012	Retrospektive Kohortenstudie CT Auswertung	Bestimmung der Ausdehnung eines Pneumothorax anhand von CT Aufnahmen. Erläuterung der Methodik zur Berechnung eines Pneumothorax.	3	3	
Coats [25] 1995	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung des Outcomes von Traumapatienten, welche präklinisch mit einer Nadeldekompression oder einer Thoraxdrainage versorgt wurden und ggf. intubiert wurden. Die Autoren empfahlen die sofortige Anlage einer Thoraxdrainage durch einen Notarzt statt einer Durchführung der Nadeldekompression. Diese könne jedoch weiterhin von den Rettungssanitätern durchgeführt werden.	3	3	Keine Angaben bezüglich Anwender, <i>risk of reporting bias</i>
Davis [28] 2005	Retrospektive Kohortenstudie	Gegenüberstellung der Effektivität der Nadeldekompression und der Thoraxdrainagen in der präklinischen Versorgung. Bei den Nadeldekompressionen ergaben sich in 60%	3	3	Luftgebundener Transport der Traumapatienten könnte bei der Wahl der Intervention eine Rolle spielen (längere Transportstrecke, sehr gut ausgebildetes Personal); <i>Risk of selection bias</i> , da

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
		eine Verbesserung der Symptomatik (32% verbesserte Vitalparameter) und nach einer Anlage einer Thoraxdrainage entsprach dieser Wert 75% (60% stabilisierte Vitalparameter).			sich die verglichenen Patientengruppen unterschieden (Intubation); <i>risk of reporting bias</i> , da die Interventionen teilweise überlappend angewandt wurden
Dominguez [30] 2013	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung, ob die Anlage einer Thoraxdrainage nach präklinischer Nadeldekompression unbedingt notwendig ist. 85% der untersuchten Patienten benötigten eine Thoraxdrainage nach einer Nadeldekompression.	3	3	Keine Angaben über Anwender oder Indikationsstellung der präklinischen Nadeldekompression, <i>risk of reporting bias</i>
Escott [34] 2014	Expertenmeinung /Review	Diskussion, ob die einfache Thorakotomie eine Alternative zur Nadeldekompression bei präklinischen, traumatischen Herzstillstand darstellt. Die Autoren empfahlen bei traumatisch bedingtem Herzkreislaufstillstand die einfache Thorakotomie.	3	5	Keine detaillierte Darstellung der Literaturrecherche
Harris [44] 2012	Expertenmeinung	Veröffentlichung über die aktuellen Empfehlungen zur Versorgung von Schwerstverletzten. Die Autoren zogen die einfache Thorakotomie der Nadeldekompression vor.	3	5	Keine Angaben über den Ablauf der Literaturrecherche
Hatch [45] 2014	Experimentelles Tiermodell	Untersuchung, ob der Gebrauch eines Trokars zur Therapie eines Spannungspneumothorax und einer resultierenden pulslosen elektrischen Aktivität erfolgreich sein kann. Das Experiment erfolgte am Schweinemodell.	3	5	Tiermodelle sind nur fraglich auf Menschen übertragbar, Kontrollgruppe entspricht bereits publizierten Daten, Spannungspneumothorax wurde mittels CO2 simuliert
Heng [47] 2004	Retrospektive Kohortenstudie	Erfassung von Komplikationen, welche sich nach einer Anlage einer Thoraxdrainage ergeben.	3	3	
Holcomb [49] 2009	Tiermodell	Experimentelle Untersuchung der Nadeldekompression, des Cook Katheters und der Thoraxdrainage als mögliche therapeutische	3	5	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Traumapatienten fraglich

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
		Interventionen bei Vorliegen eines Hämatospannungspneumothorax am Schweinemodel. Die Nadeldekompression und die Anlage einer Thoraxdrainage seien gleichwertige Interventionen.			
Huber-Wagner [50] 2007	Prospektive Kohortenstudie	Gegenüberstellung der Punktionsorte 2.ICR MLC und 4.-6-ICR vordere bis mittlere Axillarlinie im Hinblick auf die Komplikationen und Fehlanlagen. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Punktionsorten. Die meisten Anwender nutzten zur Insertion einer Thoraxdrainage den lateralen Zugang.	3	3	Zugang konnte vom Anwender frei gewählt werden, keine Randomisierung der Patientenkohorten
Huber-Wagner [51] 2007	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung von prädiktiven Faktoren bezüglich der Mortalität bei reanimationspflichtigen Traumapatienten. Die präklinische Anlage einer Thoraxdrainage konnte die Mortalität senken.	3	3	Auswertung anhand der Daten vom Traumaregisters, anonyme Erfassung der Daten, <i>risk of selection/ reporting bias</i> , da auf dem Weg verstorbene Patienten nicht berücksichtigt wurden. Keine Angaben über die Dauer der präklinischen Reanimation
Kaneda [55] 2013	Systematisches Review	Therapie des Pneumothorax; Vergleich der Nadeldekompression mit der Thoraxdrainage	3	2	Literaturrecherche nachvollziehbar
Kleber [57] 2013	Retrospektive Kohortenstudie	Der traumatisch bedingte Herzstillstand soll im Hinblick auf die Therapieempfehlung und des Outcomes dieser Patienten untersucht werden. Die Unterlassung einer Thoraxdekompression wurde als häufiger Fehler bei der Versorgung reanimationspflichtiger Traumapatienten angesehen.	3	2	
Leigh-Smith [63] 2006	Expertenmeinung	Kommentar zur europäischen Leitlinie zur Wiederbelebung. Die einfache Thorakotomie ist bei einem traumatisch bedingten Herzstillstand der Nadeldekompression überlegen.	3	5	

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
Lesquen [66] 2014	Systematisches Review	Versorgung von Traumapatienten mit stumpfen Thoraxverletzungen binnen der ersten 48h nach Aufnahme.	3	2	Literaturrecherche ist nachvollziehbar
Lubin [68] 2013	Experimentelles Tiermodel	Eine modifizierte Veress Nadel wird am Schweinemodel mit einer Standardnadel (5,0 cm Länge, 14 Gauge) am verglichen. Veress Nadel schnitt besser ab als Standardnadel.	3	5	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Traumapatienten nur bedingt möglich, Einteilung der Schweine in die Interventionsgruppen erfolgte randomisiert
Martin [72] 2012	Experimentelles Tiermodel	Vergleich der Durchführungen der Nadeldekompression und der Thoraxdrainage bei vorliegendem Spannungspneumothorax am Schweinemodel. 26% der Nadeldekompressionen scheiterten binnen 5 Minuten aufgrund mechanischer Komplikationen. Insgesamt lag die Versagensrate bei 58% im Schweinemodel.	3	5	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Traumapatienten nur bedingt möglich, Spannungspneumothorax wurde im Experiment mittels CO2 geschaffen
Massarutti [73] 2006	Prospektive Kohortenstudie	Untersuchung, ob die einfache Thorakotomie eine Alternative für die präklinische Behandlung eines Spannungspneumothorax darstellt.	3	3	<i>Risk of reporting bias</i> bei Datenerhebung
McPherson [75] 2006	Retrospektive Kohortenstudie	Anhand von Röntgenuntersuchungen sollte die Prävalenz von Spannungspneumothoraces bei gefallenen Soldaten bestimmt werden.	3	3	Die Röntgenbilder, die an Verstorbenen angefertigt werden, können erhebliche Artefakte und Begleitverletzungen aufweisen, <i>risk of bias</i>
Menger [76] 2012	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung der Komplikationsrate nach Anlage einer Thoraxdrainage. Die Komplikationsrate steigt mit der Verletzungsschwere.	3	3	<i>Risk of reporting bias</i>
Mistry [77] 2009	Retrospektive Kohortenstudie	Untersuchung des Outcomes von präklinisch reanimierten Traumapatienten, deren Thoraxdekompression mit einer Nadelpunktion oder Thorakotomie erfolgte. Weiter sollte evaluiert werden, wie die Entscheidung zur jeweiligen Intervention am Unfallort	3	3	<i>Risk of reporting bias</i>

Autor/ Jahr	Studientyp	Studienergebnis	RG	LoE	Bias
		beschlossen wurde.			
Parlak [80] 2012	Randomisierte Kontrollstudie	Effizienz der Nadeldekompression und der Thoraxdrainage bei Pneumothoraces. Keine Berücksichtigung von Spannungspneumothoraces. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied bei der Erfolgsrate.	3	2	Bei der Darstellung der Ergebnisse sind die Angaben der Ausdehnungen der Pneumothoraces nicht vollständig, <i>risk of attrition bias</i>
Scott [89] 2012	Falldarstellung	Entwicklung eines Spannungspneumothorax trotz liegender Thoraxdrainage	3	5	<i>Risk of recall bias</i>
Seitz [90] 2005	Expertenmeinung	Diskussion bezüglich der präklinischen Anlage einer Thoraxdrainage und der Nadeldekompression. Bei der Nadeldekompressionen wurden mechanisches Versagen und mögliche Dislokationen beobachtet. Bei fehlgeschlagener Nadeldekompression sollte eine Thoraxdrainage angelegt werden.	3	5	Keine Angaben bezüglich Literaturrecherche.
Waydhas [99] 2003	Review	Diagnosestellung eines Spannungspneumothorax	3	2	Literaturrecherche nachvollziehbar
Wayne [100] 1980	Klinische Studie, nicht randomisiert	Evaluation des McSwain Katheters als Alternative zu den bewährten Nadeldekompressionssets und Thoraxdrainagen.	3	3	Angabe bezüglich der Anwender vorhanden, keine randomisierten Kontrollgruppen

Tabelle 4: Übersicht der gefundenen Arbeiten

Die zu wählende Nadellänge und der komplikationsärmste und sicherste Punktionsort wurden in der gefundenen Literatur kontrovers diskutiert.

3.1 Nadellänge

Einige Studien untersuchten, welche Nadellänge am besten geeignet ist, um im Falle einer Nadeldekompression eine sichere Entlastung zu erzielen. Dass die untersuchten Nadellängen mit 4,5 cm, 5,0 cm und 8,0/8,3 cm gewählt wurden, ergab sich aus den aktuellen Empfehlungen des zivilen Rettungswesens und der Leitlinie, die von US-militärischer Seite ausgesprochen wurde [2, 69, 95].

Die meisten der gesichteten Studien haben die Thoraxwanddicke (TWD) entweder mit Hilfe von bildgebenden Untersuchungen oder an Leichen [52] gemessen, um anhand der ermittelten TWD zu eruieren, ob eine Nadel einer bestimmten Länge theoretisch die Pleurahöhle erreichen kann. In den meisten Veröffentlichungen wurden folglich keine tatsächlichen Punktionsen der Pleura mit einer Nadel untersucht, sondern es wurde eine Auswertung von „simulierten“ Punktionsen anhand der Daten von bildgebenden Verfahren durchgeführt. Generell gilt, dass eine sichere Penetration der Pleura nur gelingen kann, wenn die gemessene TWD geringer ist als die untersuchte Nadellänge.

Als bildgebende Verfahren kamen die Sonographie [15, 60, 74] und die Computertomographie [1, 23, 24, 37, 42, 43, 53, 56, 71, 81, 86, 88, 91, 97, 102, 103], sowie das MRT [46] zum Einsatz. Die Arbeit, die die TWD mittels MRT ermittelte, lag zum Zeitpunkt der Literatursuche nach unserem Kenntnisstand nur als Poster vor [46].

Bei den Arbeiten, die auf der Auswertung von bildgebenden Verfahren beruhen, handelte es sich um Kohortenstudien, denen somit ein Evidenzlevel 3 zugeordnet wurde. Die Arbeiten, die tierexperimentell oder an Leichen erhoben wurden, wurden dem LoE 5 eingeordnet. Die tierexperimentellen Veröffentlichungen lieferten für die zentrale Fragestellung (Punktionsort und Nadellänge) aufgrund der unterschiedlichen anatomischen Gegebenheiten keine relevanten Ergebnisse, jedoch konnten einige Resultate in die Diskussion einfließen.

Die Ergebnisse der Studien, die im Folgenden dargestellt werden, variierten zum Teil erheblich.

Mehrere Arbeiten untersuchten anhand von CT Aufnahmen, ob mit einer 5,0 cm Nadel an den unterschiedlichen Punktionsstellen eine suffiziente Entlastung erzielt werden kann [1, 24, 37, 43, 53, 71, 86, 102], eine weitere Studie wurde mittels sonographischer Untersuchung erhoben [60] (Tabelle 5). Die Nadellänge von 5,0 cm entspricht dem aktuellen *ATLS*[®] Manual [2]. Die Autoren einer japanischen Studie schlussfolgerten, dass mit einer 5,0 cm langen Nadel im 2.ICR MCL eine

suffiziente Entlastung bei bis zu 94% der japanischen Traumapatienten, unabhängig vom Geschlecht, erzielt werden könne [102]. Vergleichbare Studienergebnisse aus den USA gaben an, dass erfolgreiche Entlastungen mit 5,0 cm langen Nadeln im 2.ICR MCL in 78% [37] , 67% [71], 66% [86], 65% (mit einer 5,1 cm langen Nadel) [23] und 57,5% [52, 53] der Fälle zu erwarten wären. Bei einer sonographischen Datenerhebung aus dem reinen militärischem Bereich wurden TWD von unter 5,0 cm im 2.ICR MCL in 76% der Messungen erhoben, im 4./5.ICR AAL entsprach diese Quote 94,3% [60]. In CT basierten Untersuchungen konnten TWD von unter 5,0 cm im 4./5.ICR AAL in 83,3% [53] und 79% [24] der Fälle gemessen werden.

Bei anderen Studien wurde untersucht, ob eine Entlastung mit einer 4,5 cm langen Nadeln gelingen könnte und die gemessene TWD somit dünner als 4,5 cm war. Die Wahl dieser Nadellänge gleicht der Empfehlung der derzeitigen S3 Leitlinie [95]. Fasst man die Ergebnisse der CT basierten zusammen, die die Punktion mit einer 4,5 cm langen Nadel im 2.ICR MCL untersuchten, so gaben die Autoren Distanzen von weniger als 4,5 cm in 53% [23] (4,6 cm Nadel), 78% [103] und 71% [88] der Fälle an. In einer dieser Studien erfolgte die Punktion allerdings nicht an der korrekten Stelle, daher ist das Ergebnis nur eingeschränkt verwertbar [88]. Bei den sonographisch basierten Studien betrug die TWD in 96% [15] und 99% [74] weniger als 4,5 cm. Bei einer MRT basierten Arbeit, die an einer deutschen Kohorte durchgeführt wurde, ergab sich eine mögliche Entlastung durch ein Eindringen in die Pleura mit einer 4,5 cm langen Nadel im 2.ICR MCL bei 35% der Frauen und bei 42% der Männer [46]. Eine weitere Studie beschrieb, dass eine simulierte Entlastung mit einer 4,4 cm Nadel im 2.ICR MCL in weniger als 50% der Fälle erzielt werden kann [91].

Gemäß der Empfehlungen der US-Armee untersuchten einige Studien, wie häufig Nadeldekompressionen mit einer 8,0/8,3 cm langen Nadel im 2.ICR MCL und 4./5.ICR AAL gelingen können. Diese Untersuchungen erfolgten sowohl theoretisch an CT Aufnahmen [24, 43] als auch praktisch an Leichen [42].

Die Ergebnisse der Studien sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Die Reihenfolge der Studien ergab sich aus der aufsteigenden Nadellänge, die bei den Simulationen untersucht wurde.

Die Angabe des Anteils erfolgreicher Punktionen erfolgte, nach Möglichkeit, geschlechterspezifisch (weibliche Probanden/Patienten= ♀, Daten männlicher Probanden/Patienten= ♂):

Studiengruppe und untersuchte Nadellänge (Verfahren mit dem die TWD bestimmt wurde)	Erfolgreiche simulierte Punktionen im 2.ICR MCL	Erfolgreiche simulierte Entlastungen im 4./5.ICR AAL	Erfolgreiche simulierte Punktionen im 4./5.ICR MAL
Stevens (CT) 4,4 cm Nadel [91]	50%		
Zengerink (CT) 4,5 cm Nadel [103]	71% ♀ 85% ♂		
Hecker (MRT) 4,5 cm Nadel [46]	35% ♀ 42% ♂		
Schröder (CT) 4,5 cm Nadel [88]	71%	55%	
Britten (Sono) 4,5 cm Nadel [15]	96%		
McLean (Sono) 4,5 cm Nadel [74]	99%		
Carter (CT) 4,6 cm Nadel 5,1 cm Nadel 6,4 cm Nadel [23]	47% 65% 79%		
Akoglu (CT) 5,0 cm Nadel [1]	52% ♀ 83% ♂		67% ♀ 87% ♂
Inaba (Kadaverstudie) 5,0 cm Nadel [52]	57,5% 16,7% ♀ 75% ♂		100%
Inaba (CT) 5,0 cm Nadel [53]	57,5%	83,3%	
Sanchez (CT) 5,0 cm Nadel [86]	66%		
Marinero (CT) 5,0 cm Nadel [71]	67% ♂		
Lamblin * (Sono) 5,0 cm Nadel [60]	75%	94,3%	
Givens (CT) 5,0 cm Nadel [37]	78%		
Yamagiwa (CT) 5,0 cm Nadel [102]	94%		
Harcke * (CT) 5,0 cm Nadel 8,0 cm Nadel [43]	> 50% 99%		
Chang (CT) 5,0 cm Nadel 8,0 cm Nadel [24]	71% 97%	79% 96%	
Harcke * (CT und Kadaver) 8,3 cm Nadel [42]	46%	100%	

Tabelle 5: Prozentuale Angaben bezüglich der Nadeldekompressionen, die an verschiedenen Punktionsorten mit diversen Nadellängen untersucht wurden

*) rein militärische Kohorte

Die Daten, die anhand von sonographischen [15, 60, 74] oder CT basierten Untersuchungen [1, 23, 24, 37, 42, 43, 53, 71, 86, 88, 91, 102, 103] erhoben wurden, wurden mittels Säulendiagramm dargestellt (Abbildung 3-7). Bei den meisten Studien handelte es sich um CT-basierte Auswertungen, diese wurden in den Abbildungen nicht explizit gekennzeichnet. Sonographische Untersuchungen (Sono) und Arbeiten, die an Leichen (K) erhoben wurden, wurden hingegen benannt. Die erste Darstellung (Abbildung 3) bezieht sich auf die Untersuchungen, die die TWD bestimmten und eruieren wollten, ob eine suffiziente Nadeldekompression theoretisch mit einer 4,5 cm langen Nadel gelingen kann (Anteil der fehlgeschlagenen Simulationen ist rot gekennzeichnet, x-Achse: Angabe der Studiengruppe, y-Achse: Angabe der Messungen in Prozent):

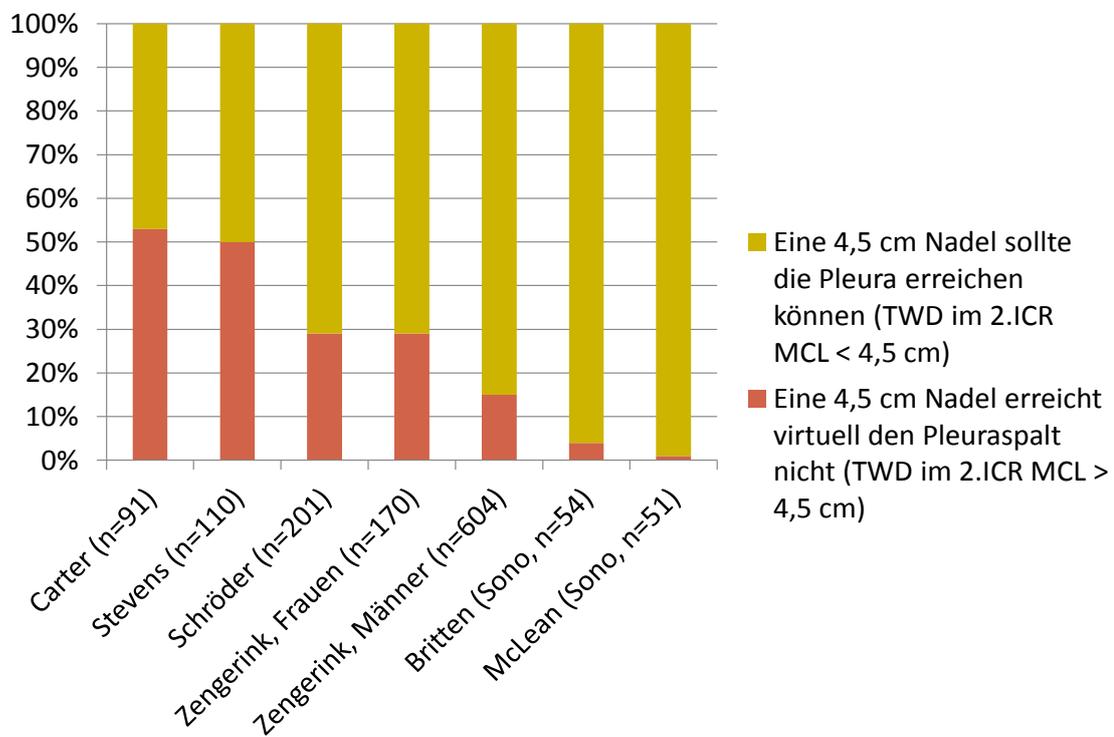


Abbildung 3: Ergebnisse der Studien, die die Nadeldekompression mit 4,5 cm langen Nadeln im 2.ICR MCL untersuchten

Es gab weitere Studien, die die TWD bestimmten und untersuchten, ob eine Penetration der Pleura mit einer 5,0 cm langen Nadel erzielt werden kann. Bei einer gemessenen TWD von über 5,0 cm kann die Nadel die Pleurahöhle wahrscheinlich nicht erreichen und eine Entlastung kann somit nicht sicher erzielt werden. Diverse Studiengruppen untersuchten die Verwendung von 5,0

cm Nadeln an unterschiedlichen Punktionstellen (Tabelle 5) und diese Ergebnisse konnten ebenfalls als Diagramm (Abbildung 4) dargestellt werden. Auch diese Auswertungen wurden zumeist anhand von CT Aufnahmen erhoben. Eine Arbeit untersuchte an Leichen, ob eine 5,0 cm lange Nadel im 2.ICR MCL und 5.ICR MAL den Pleuraraum erreichen konnte [52]. Hierbei konnte die Pleurahöhle im 2.ICR MCL bei 16,7% der weiblichen und bei 75% der männlichen Leichen penetriert werden. An der x-Achse kann die Studiengruppe abgelesen werden, die y-Achse gibt die jeweiligen Messergebnisse in Prozent an:

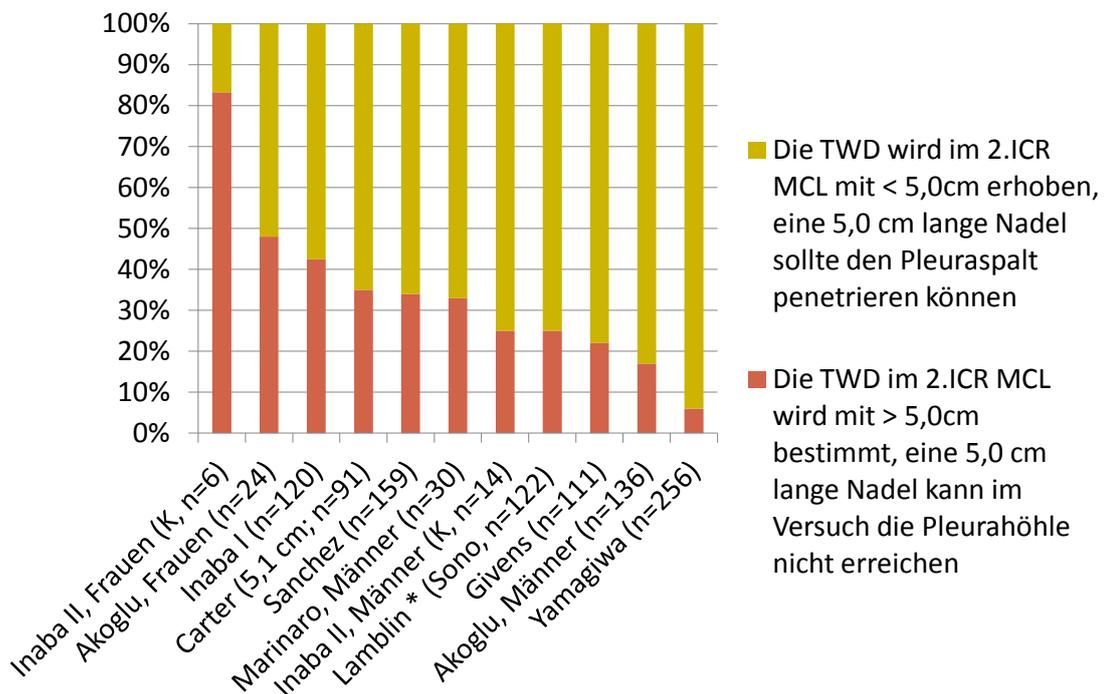


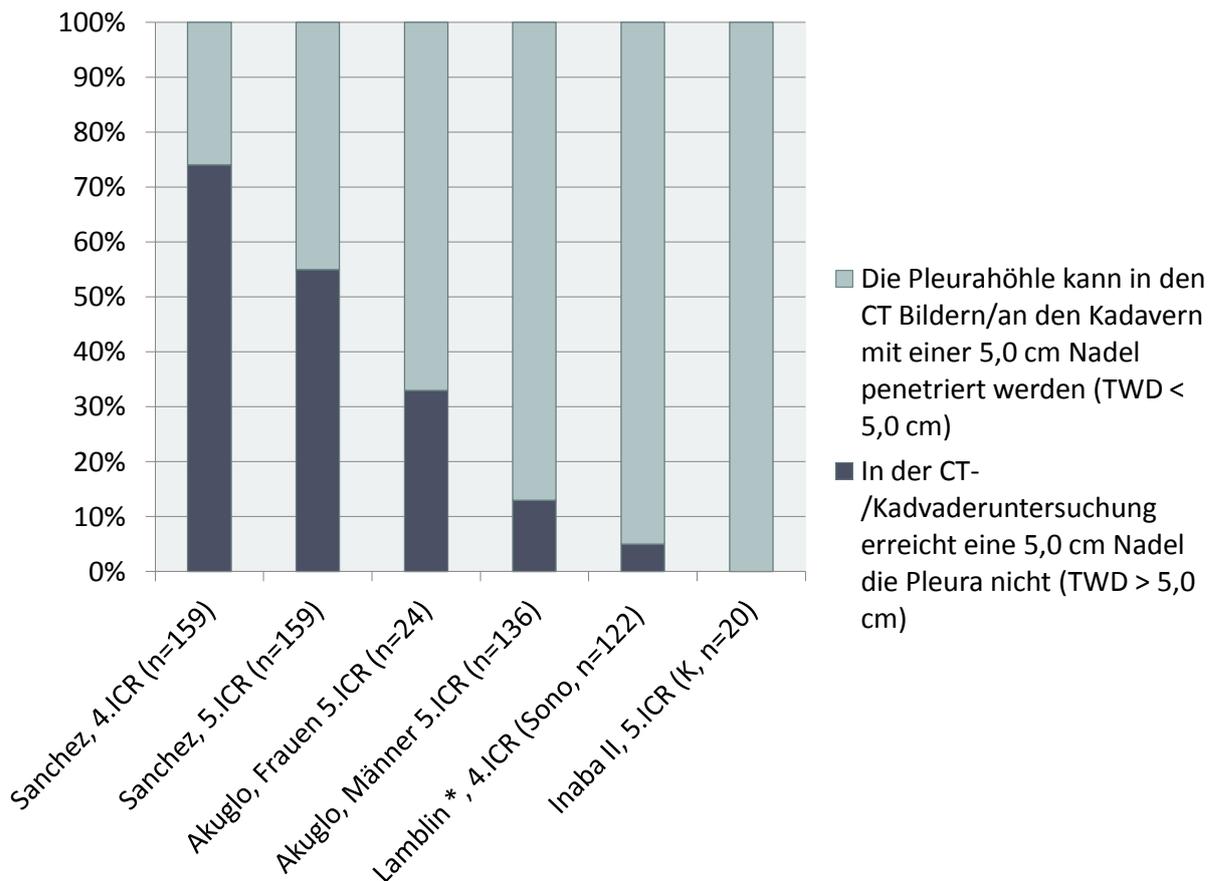
Abbildung 4: Ergebnisse der Studien, die die Nadeldekompression im 2.ICR MCL mit einer 5,0 cm langen Nadel untersuchten

Inaba I = [53], Inaba II = [52]

Es zeigte sich, dass bei den Studien, die die Kohorte geschlechterspezifisch aufteilten, bei den Frauen im Durchschnitt seltener der Pleuraspalt mit einer 5,0 cm Nadel erreicht wird als bei den Männern [1, 52]. Jedoch sind die untersuchten Kohorten bei diesen Studien relativ klein (gesamt Anzahl der Frauen n=30).

Ebenso kann man im 4./5.ICR MAL und im 4./5.ICR AAL mittels CT Bildern die TWD bestimmen und anhand der Messdaten vergleichen, ob eine Dekompression mit einer 5,0 cm Nadel

theoretisch gelingen kann. Bei der Studie, die an Leichnamen erhoben wurde, konnten die 5,0 cm langen Nadeln im 5.ICR MAL in 100% den Pleuraraum erreichen, unabhängig vom Geschlecht [52]. Das folgende Schaubild (Abbildung 5) bezieht sich auf die Untersuchungen, die in der mittleren Axillarlinie (MAL) vorgenommen wurden (x-Achse = Studiengruppen, y-Achse = Messergebnisse in Prozent):



*) rein militärische Daten

Abbildung 5: Darstellung der Untersuchungen, die die Nadeldekompression im 4./5.ICR AAL und MAL mit einer 5,0 cm Nadel evaluierten

Die CT basierten Arbeiten von *Chang et al.* und von *Harcke et al.* verglichen die Erfolgsraten der simulierten Nadeldekompressionen mit den Nadellängen 5,0 cm und 8,0 cm an den Punktionsorten 2.ICR MCL und 4./5.ICR AAL (Tabelle 5) [24, 43]. Eine weitere Untersuchung von *Harcke et al.* erfolgte an Leichen von gefallenen Soldaten [42]. In dieser Studie wurden Nadeln mit einer Länge von 8,3 cm im 2.ICR MCL oder 4.ICR AAL inseriert [42]. Für die jeweiligen Punktionsorte ergaben sich erfolgreiche Insertionen in 46% (6/13) für den 2.ICR MCL und in 100%

(4/4) für den 4./5.ICR AAL [42]. Stellt man die Ergebnisse dieser drei Publikationen gegenüber, ergibt sich folgendes Diagramm (Abbildung 6):

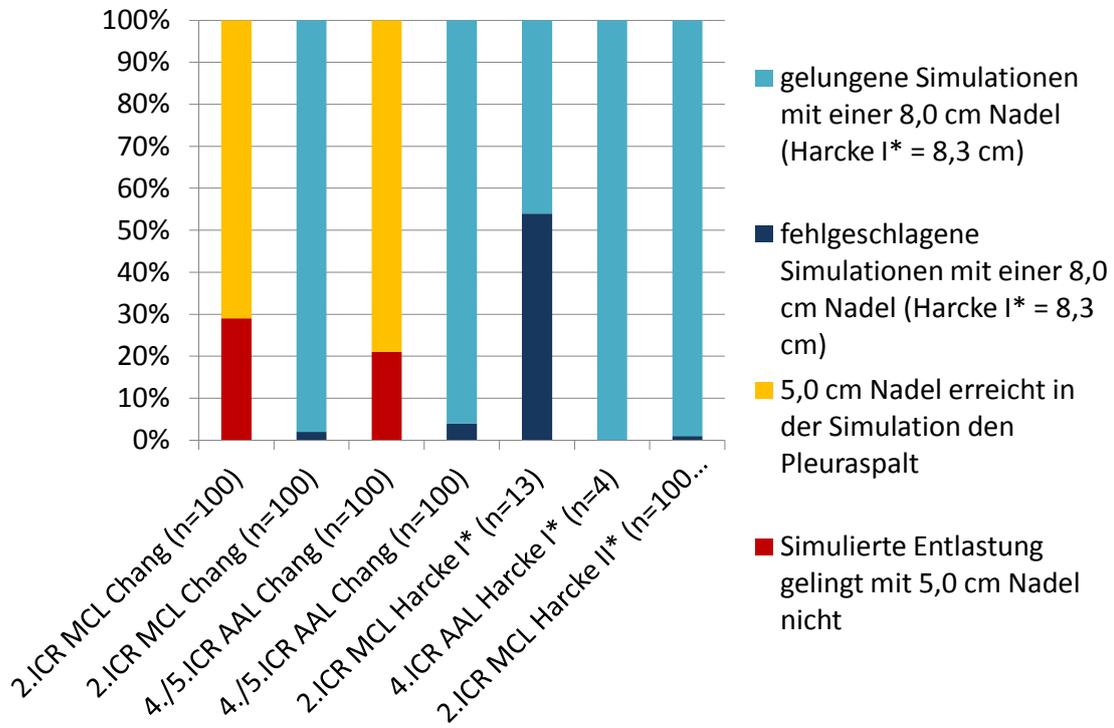


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Ergebnisse der 5,0 cm und 8,0 (8,3) cm langen Nadeln an den Punktionsorten 2.ICR MCL und 4./5.ICR AAL

*) entspricht rein militärische Kohorte, Harcke I = [42], Harcke II= [43]

Die Ergebnisse der Studien, die verschiedene Nadellängen und Punktionsorte untersuchten, variierten erheblich. Das kann zum einem mit der Konstitution der Studienpatienten zu tun haben, zum anderen aber auch mit der Genauigkeit der verschiedenen bildgebenden Verfahren erklärbar sein. Für einen besseren Überblick wurden die Erfolgsraten nach Bildgebung, Punktionsort und Nadellänge stratifiziert und für die jeweilige Gruppe im Median in der Abbildung 7 dargestellt.

Da die CT Studie von *Yamagiwa et al.* an einer japanischen Kohorte erhoben wurde und sich die Werte von den Arbeiten, die in den USA oder Europa an der jeweiligen Bevölkerung erworben wurden, erheblich unterschieden, erfolgten zwei Darstellungen der Gesamtergebnisse für die CT-basierte Untersuchung mit der 5,0 cm Nadel. In einer flossen die Werte der *Yamagiwa* Studie (Y) ein, in der anderen wurden sie aufgrund der Abweichung nicht berücksichtigt.

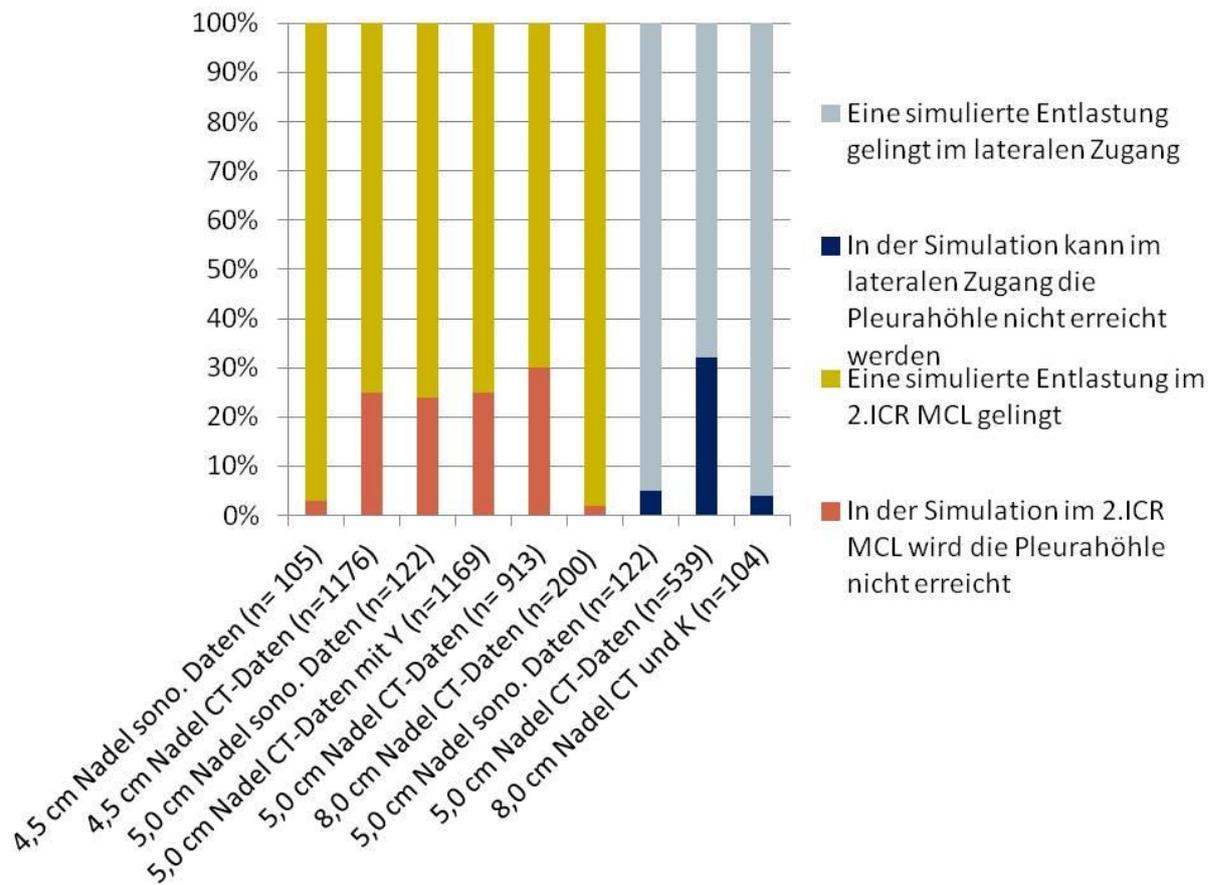


Abbildung 7 Ergebnisse der Studien, die die erfolgreichen Simulationen mit unterschiedlichen Nadellängen an diversen Punktionsorten untersuchten

3.1.1 Statistische Auswertung der Studiendaten

Die Ergebnisse der Studien, die die Nadellängen an unterschiedlichen Punktionsorten verglichen haben (Tabelle 5), sind statistisch auswertbar. Dafür wurden die Daten zu Gruppen zusammengefasst. Auf eine Unterteilung zwischen Männern und Frauen oder nach Art der Bildgebung wurde verzichtet. Außerdem wurde wegen der geringen Fallzahl alle Punktionen an der lateralen Thoraxwand im 4./5.ICR AAL und MAL zu einer einzigen Gruppe zusammengefasst, die im Folgenden als „lateraler Zugang“ bezeichnet wird. Für diese Gruppen wurden die Mediane und die Interquartilabstände (IQR) berechnet.

Gruppe	Studienanzahl	N (Fallzahl)	Erfolgsrate (Median)	IQR (%)
2.ICR MCL und 8,0 cm Nadel	3	213	96%	∅
2.ICR MCL und 5,0 cm Nadel	11	913	67,3%	57,5-75,8
2.ICR MCL und 4,5 cm Nadel	7	1281	78,0%	54,8-97,5
Lateraler Zugang und 8,0 cm Nadel	2	104	98,5%	∅
Lateraler Zugang und 5,0 cm Nadel	3	661	83%	∅
Lateraler Zugang und 4,5 cm Nadel	1	201	55%	∅

Tabelle 6: Median und Interquartilabstände berechnet aus den Ergebnissen aller verfügbaren Studien

So ergaben sich im 2.ICR MCL folgende Erfolgsraten: für die 8,0 cm lange Nadel lag der Median bei 96,0%, für die 5,0 cm Nadel ergab sich ein Median 67,3% (IQR 57,5-75,8) und für die 4,5 cm Nadel ein Median von 78,0% (IQR 54,8-97,5). An der lateralen Insertionsstelle beträgt der Median für die 8,0 cm Nadel 98,5% und für die 5,0 cm Nadel 83%. Die 4,5 cm lange Nadel wurde nur in einer Studie am lateralen Punktionsort untersucht, so dass weder der Median noch ein IQR berechnet werden konnte [88]. Für die unterschiedlichen Nadellängen im 2.ICR MCL ergibt sich für die 8,0 cm Nadel gegenüber der 4,5 cm Nadel eine Odds ratio (OR) von 6,8 (KI: 2,1-24,3). Damit ist die Chance auf eine erfolgreiche Punktion mit einer 8,0 cm Nadel an dieser Punktionsstelle fast siebenfach größer als für die 4,5 cm Nadel ($p < 0,001$). Der Vergleich zwischen der 4,5 cm und 5,0 cm Nadel im 2.ICR MCL zeigte keinen signifikanten Unterschied (OR: 0,6, KI: 0,3-1,2, $p = 0,11$). Vergleicht man die Erfolgsraten für die 5,0 cm Nadel an den verschiedenen Punktionsorten, ergab sich ein signifikanter Vorteil für den lateralen Punktionsort gegenüber dem 2.ICR. Hier ergab sich ein OR von 2,4 (KI: 1,2-5,0). Damit ist die Erfolgchance mit der 5,0 cm Nadel im lateralen Zugang 2,4-fach höher als in dem klassischen Punktionsort im 2.ICR MCL ($p = 0,009$). Im Vergleich des lateralen und anterioren (2.ICR MCL) Zugang ergab sich für die 8,0 cm Nadel kein signifikanter Unterschied (OR: 4,1, KI: 0,4-99, $p = 0,17$). Interessanterweise zeigte sich für die 4,5 cm Nadel, dass im lateralen Zugang die Chance für eine erfolgreiche Punktion geringer war als im 2.ICR MCL (OR: 0,35, KI: 0,2-0,7, $p = 0,001$).

3.2 Punktionsstelle

Einige Untersuchungen setzten es sich zum Ziel, die durchschnittliche Thoraxwanddicke (TWD) an den einschlägigen Punktionsorten zu bestimmen, um herauszufinden, ob sich aufgrund der erhobenen anatomischen Beschaffenheit der Thoraxwand hinsichtlich der TWD eine der betrachteten Insertionsstellen als besonders geeignet erweisen könnte. Die Messungen der TWD

erstreckten sich von der Hautoberfläche bis zum Pleuraspalt. Diese Auswertungen bezogen sich in den meisten Fällen auf die bekannten Insertionsstellen im 2.ICR MCL, im 4./5.ICR AAL oder 4./5.ICR MAL. Die Bestimmung der TWD erfolgte je nach Studie mit unterschiedlichen bildgebenden Verfahren. Die Messungen wurden sowohl sonographisch [15, 60, 74], als auch anhand von CT Bildern [1, 23, 24, 37, 43, 53, 71, 81, 86, 88, 91, 97, 102, 103], sowie durch eine MRT Untersuchung [46] oder an Leichen [52] erhoben. Die Messergebnisse dieser Studien, die die TWD an den möglichen Punktionsstellen erhoben haben, können in der Tabelle 7 dargestellt werden (die Daten werden nach Möglichkeit geschlechtsspezifisch angegeben ♀= weibliche Probandinnen/Patientinnen, ♂= männliche Probanden/Patienten):

Studiengruppe (Verfahren mit dem die TWD bestimmt wurde)	TWD im 2.ICR MCL	TWD im 4./5. ICR AAL	TWD im 4./5. ICR MAL
Powers (CT) [81]	6,3 cm		
Harcke * (CT) [43]	5,4 cm ♂ 4,9 cm ♂ (streng senkrechte Messung)		
Akuglo (CT) [1]	5,2 cm ♀ 3,8 cm ♂		3,8 cm ♀ 3,3 cm ♂
Stevens (CT) [91]	5,1 cm ♀ 4,0 cm ♂		
Hecker (MRT) [46]	5,1 cm		
Carter (CT) [23]	4,6 cm		
Marinaro (CT) [71]	4,6 cm ♂		
Sanchez (CT) [86]	4,6 cm		4.ICR MAL 6,3 cm 5.ICR MAL 5,3 cm
Inaba (CT) [53]	4,6 cm	3,2 cm	
Chang (CT) [24]	4,5 cm	3,9 cm	
Inaba (Kadaverstudie) [52]	4,5 cm		3,5 cm
Givens (CT) [37]	4,2 cm 4,9 cm ♀ 4,2 cm ♂		
Lamblin * (Sono) [60]	4,2 cm 3,4 cm ♀ 4,2 cm ♂		3,0 cm 2,5 cm ♀ 3,0 cm ♂
Schröder (CT) [88]	4,1 cm	4,6 cm	
Zengerink (CT) [103]	3,5 cm		
Britten (Sono) [15]	3,2 cm 3,0 cm ♀ 3,3 cm ♂		
Yamagiwa (CT) [102]	3,1 cm		
McLean (Sono) [74]	2,3 cm ♀ 2,1 cm ♂		2,5 cm ♀ 2,4 cm ♂
Wax (CT) [97]		2,6 cm	3,5 cm

Tabelle 7: Ergebnisse der Bestimmung der Thoraxwanddicke an unterschiedlichen Punktionsorten

*) Daten, die an einer rein militärischen Kohorte erhoben wurden

Beinahe alle TWD, die in der vorderen Axillarlinie (AAL) erhoben wurden, waren geringer als die, die an der Insertionsstelle im 2.ICR MCL gemessen wurden [24, 53]. Eine Ausnahme ist die Arbeit von *Schröder et al.*, die die Punktionsstelle am Unterrand der Rippe festlegten [88]. Damit unterscheidet sich diese Studienauswertung von den anderen, die den Punktionsort am Oberrand der Rippen bestimmten. De facto ist der Unterrand der Rippen für eine Punktion nicht geeignet, da in diesem Gebiet mit einem erheblichen iatrogenen Verletzungsrisiko gerechnet werden muss [59]. Unter anderem können Gefäße punktiert werden und heftige Blutungen resultieren [59].

Bei einem Vergleich der Werte, die im 2.ICR MCL und in der mittlere Axillarlinie erhoben wurden, zeigten sich uneinheitliche Ergebnisse. In einigen Arbeiten wurden die TWD im 4./5.ICR MAL geringer gemessen als die TWD im 2.ICR MCL [1, 52, 60], in anderen Studien wurde beschrieben, dass der 2.ICR MCL dem 4./5.ICR MAL aufgrund einer dünneren TWD vorzuziehen sei [74, 86].

Im 2.ICR MCL wurde eine TWD von durchschnittlich 3,1 cm [102], 3,5 cm [103], 4,1 cm [88], 4,2 cm [37], 4,5 cm [24, 52], 4,6 cm [23, 53, 86], 5,1 cm [46] und 6,3 cm [81] mittels CT Bildern gemessen (Tabelle 7). In sonographischen Untersuchungen ergaben sich TWD Werte von 3,2 cm [15] und 4,2 cm ^{*1}[60] im 2.ICR MCL, unabhängig vom Geschlecht.

Bei Frauen lagen die Messwerte, die an CT Bildern erhoben wurden, bei durchschnittlich 4,9 cm [37], 5,1 cm [91] und 5,2 cm [1]. Die sonographischen Ergebnisse der TWD im 2.ICR MCL beliefen sich bei den Frauen auf 2,3 cm [74] und 3,0 cm [15] 3,4 cm ^{*}[60].

Bei den Männern betragen die Werte der TWD im 2.ICR MCL bei 3,8 cm [1], 4,0 cm [91], bei 4,2 cm [37], 4,6 cm [71], sowie bei 5,4/ bzw. 4,9 cm ^{*} bei Einbringen der Nadel streng senkrecht zur Hautoberfläche [43] bei Erhebungen an CT Daten, sowie 2,1 cm [74] und 3,3 cm [15] und 4,2 cm ^{*}[60] bei sonographischen Untersuchungen.

Eine anschauliche Darstellung der veröffentlichten Messergebnisse der TWD im 2.ICR MCL ergibt die Abbildung 8 (die y-Achse entspricht der TWD in [cm]). Die Unterteilung der Resultate erfolgte nach Möglichkeit geschlechterspezifisch. Die meisten Studien wurden anhand von CT Bildern erhoben [1, 23, 24, 37, 43, 53, 71, 81, 86, 88, 91, 102, 103], drei Arbeiten basieren auf sonographischen Untersuchungen und sind dementsprechend gekennzeichnet (Sono) [15, 60, 74] und eine Veröffentlichung nutzte Leichname (K) [52], um die TWD zu ermitteln. Das Ergebnis einer Arbeit, die nur als Poster vorlag, ermittelte die TWD mittels MRT-Untersuchung (MRT) und wurde hier ebenfalls berücksichtigt [46].

¹ *) rein militärische Kohorte

Im 2.ICR MCL ergaben sich für die TWD folgende Messergebnisse (die Werte der y-Achse geben die TWD in [cm] an):

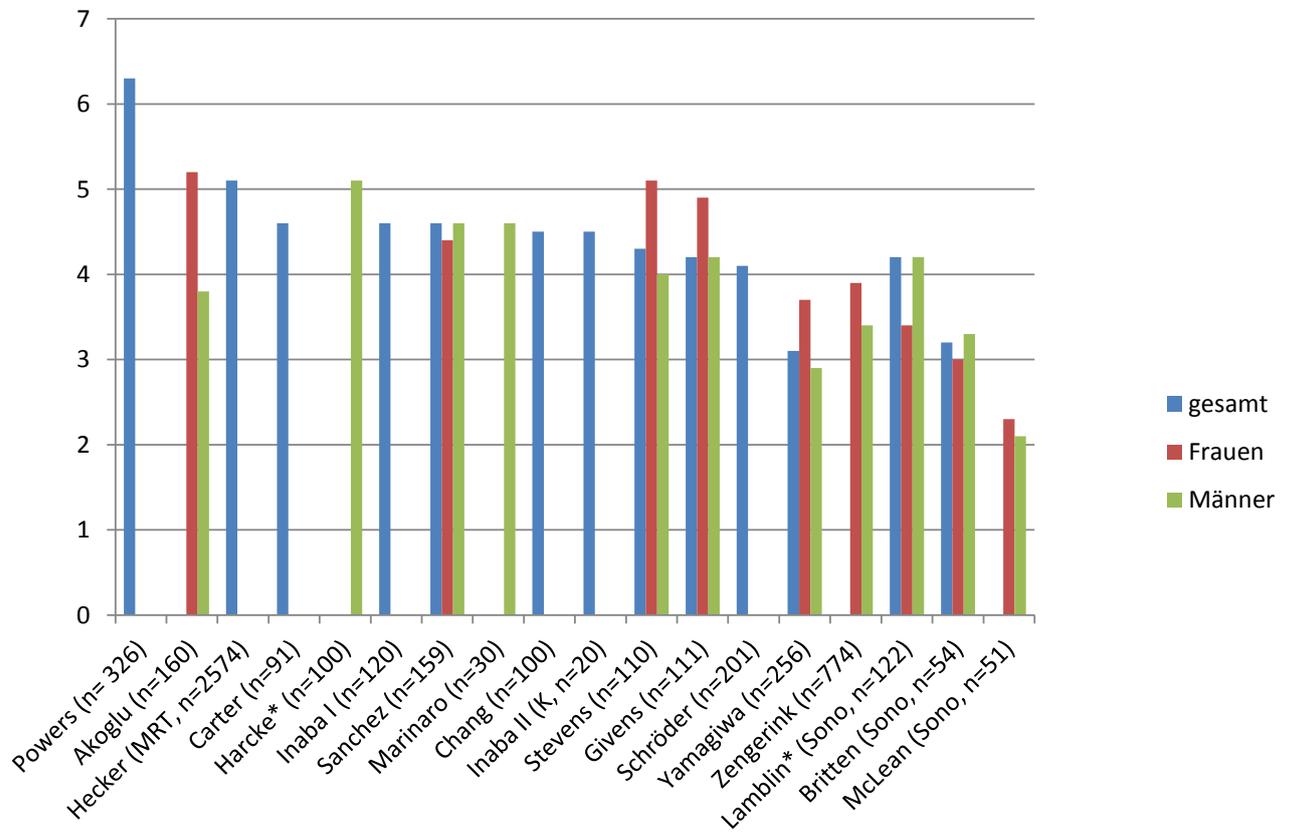


Abbildung 8: Darstellung der erhobenen Thoraxwanddicken im 2.ICR MCL

*) Daten, die ausschließlich an militärischem Personal erhoben wurden

Einige Studien verglichen die TWD im 2.ICR MCL mit der TWD im 4./5.ICR MAL. Eine Studiengruppe erhob die TWD im 4.ICR MAL mittels einer sonographischen Untersuchung [74]. Für die Frauen wurde ein Durchschnittswert von 2,5 cm und für die Männer von 2,4 cm erhoben [74].

In zwei Arbeiten wurde die TWD im 5.ICR MAL an von CT Bildern untersucht und die Werte lagen durchschnittlich bei 3,5 cm [52, 97], unabhängig vom Geschlecht. In einer weiteren CT Untersuchungen wurden bei den Frauen eine durchschnittliche TWD von 3,8 cm [1] und bei den Männern von 3,3 cm [1] gemessen. *Sanchez et al.* veröffentlichten durchschnittliche TWD Werte im 4.ICR 6,3 cm und im 5.ICR 5,3 cm [86]. Ob es sich um die vordere oder mittlere Axillarlinie handelte, konnte anhand des Studienprotokolls nicht sicher geklärt werden [86]. Im Zuge einer sonographischen Untersuchung, die beim französischen Militär durchgeführt wurde, ergaben sich

durchschnittliche TWD im 4.ICR von 2,5 cm *[60] bei den Frauen und bei Männern von 3,0 cm *[60].

Die Messergebnisse im 4. und 5.ICR in der mittleren Axillarlinie (MAL) stellten sich wie folgt dar (Abbildung 9, die Werte der y-Achse entsprechen der gemessenen TWD in [cm]):

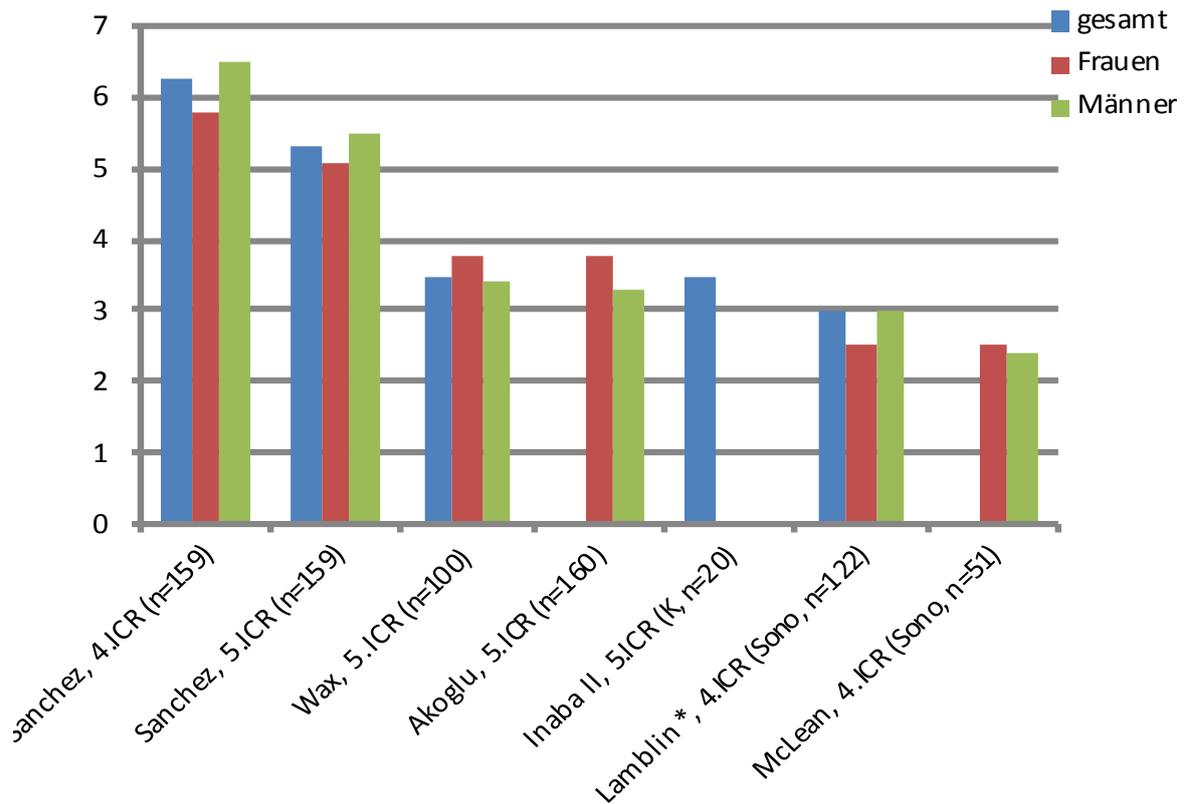


Abbildung 9: Ergebnisse der Thoraxwanddicke im 4./5.ICR MAL

*) Daten, die ausschließlich an militärischem Personal erhoben wurden

Im 4.ICR AAL wurde die TWD mittels CT Bildern durchschnittlich mit 3,9 cm [24] unabhängig vom Geschlecht angegeben. Im 5.ICR AAL wurde diese mit durchschnittlich 4,6 cm [88], 3,2 cm [53] und 2,6 cm [97] bestimmt.

Stellt man die Ergebnisse der Studien, die die TWD an verschiedenen Punktionsorten vermessen haben, direkt gegenüber ergibt sich die Abbildung 10 (x-Achse: Studiengruppe, y-Achse: TWD in [cm]):

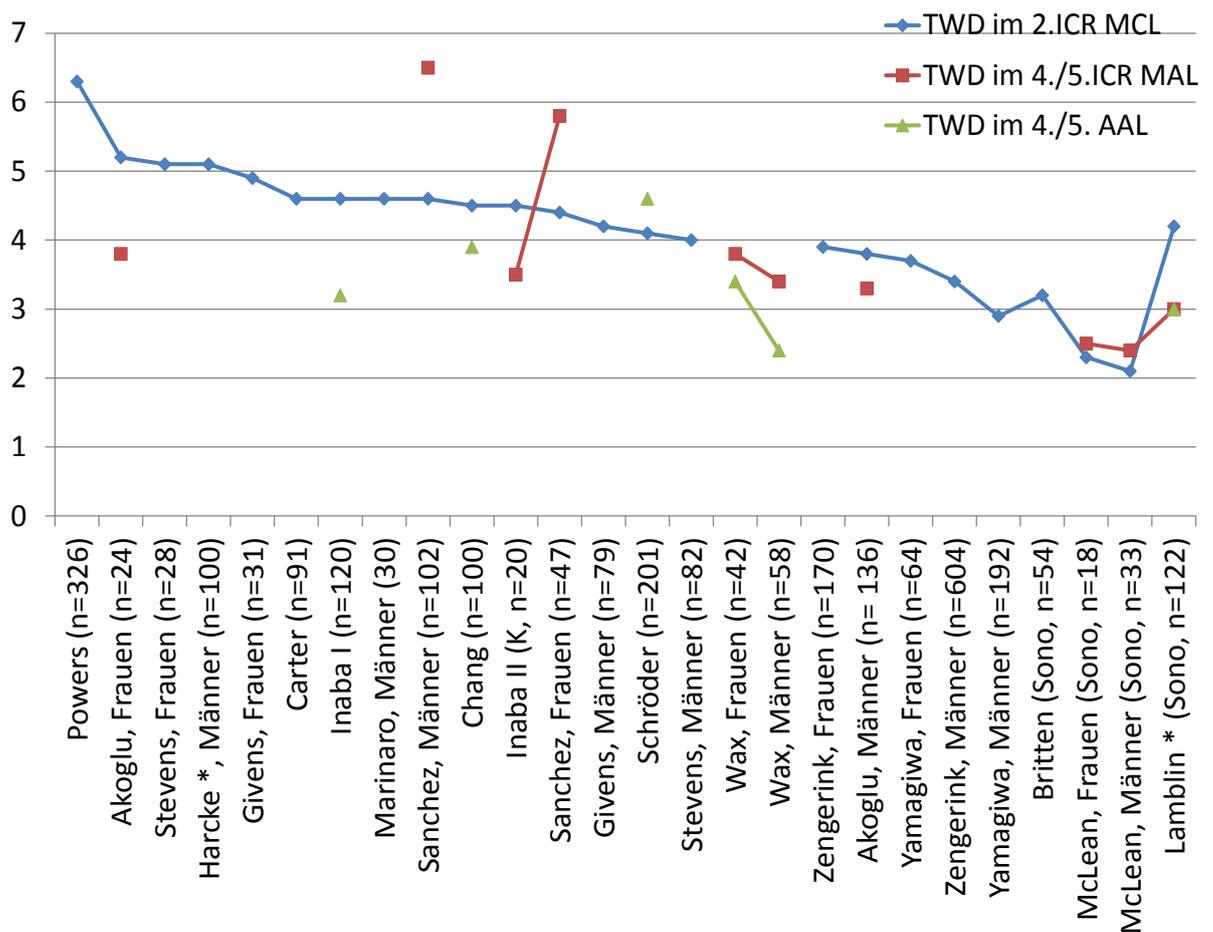


Abbildung 10: Messergebnisse der Thoraxwanddicke an den Punktionsorten 2.ICR MCL, 4./5.ICR AAL und 4./5.ICR MAL

*) Daten, die an militärischen Personal erhoben wurden

Die Empfehlungen bezüglich eines optimalen Punktionsortes divergierten immens. So gaben 5 von 8 Arbeiten an, dass der laterale Punktionsort (sowohl 4./5.ICR MAL als auch AAL) in deren Untersuchungen gegenüber der anterioren Insertionsstelle im 2.ICR MCL überlegen war [1, 24, 52, 53, 60].

Eine Arbeit untersuchte die Punktionsorte 2.ICR MCL und 4./5.ICR AAL an gefallenen Soldaten, an denen vor Eintritt des Todes präklinisch Nadeldekompressionen durchgeführt wurden [42]. Die verwendete Nadellänge betrug, gemäß den US-militärischen Empfehlungen 8,3 cm [42]. Ein Erreichen der Pleura wurde sowohl mittel CT-Untersuchung als auch durch eine Obduktion überprüft [42]. In 10 von 17 untersuchten Fällen (59%) erreichte die Nadel eindeutig die Pleurahöhle. Für die jeweiligen Punktionsorte ergaben sich erfolgreiche Insertionen in 46% (6/13) für den 2.ICR MCL und in 100% (4/4) für den 4./5.ICR AAL [42].

Mehrere Autoren forderten unbedingt weitere Studien und nach Möglichkeit klinische Untersuchungen, um die Sicherheit der Anwendung von längeren Nadeln an den jeweiligen Punktionsorten in der Praxis untersuchen zu können [53, 81, 91, 103].

4 Diskussion

Der Spannungspneumothorax ist ein lebensbedrohlicher Notfall, der unbehandelt binnen weniger Minuten letal verlaufen kann [65, 95]. Eine notfallmäßige, präklinische Thoraxdekompression kann durch die Punktion des Pleuraraumes mit einer Nadel oder durch eine einfache Thorakostomie oder durch eine Minithorakotomie, an die sich die Anlage einer Thoraxdrainage anschließen kann, erzielt werden. Die aktuellen Empfehlungen sprechen sich für eine präklinische Nadeldekompression aus, an die sich eine Minithorakotomie mit oder ohne Anlage einer Thoraxdrainage anschließen sollte [2, 95]. Die zu wählende Nadellänge und der Punktionsort werden in der Literatur jedoch kontrovers diskutiert und eine generelle Empfehlung, wie die Notfalldekompression durchzuführen sei, konnte bisher nicht ausgesprochen werden. Die vorliegende systematische Literaturrecherche nahm es sich zum Ziel, die aktuellen Studien und Empfehlungen bezüglich der Anwendung der Nadeldekompression zu sichten und nach evidenzbasierten Kriterien zu bewerten. Die meisten Studien, die die zentrale Fragestellung untersuchten, welche Nadellänge und/oder welcher Punktionsort zu empfehlen sei, wiesen LoE zwischen 3 bis 5 auf. Es gab keine hochwertigen randomisierte oder verblindeten Studien, die die Nadelpunktion an unterschiedlichen Punktionsorten oder mit diversen Nadellängen am Traumapatienten verglichen. Die aktuellen Empfehlungen begründen sich auf Studien mit geringer Evidenz oder Expertenmeinungen. Das wurde bereits 2006 kritisiert [98]. Es gibt jedoch Arbeiten, die die Punktionsorte an Leichen verglichen [42, 52] oder mittels bildgebenden Verfahren die Thoraxwanddicke (TWD) an verschiedenen Insertionsstellen ermittelten und gegenüberstellten [1, 15, 23, 24, 37, 42, 43, 53, 56, 71, 74, 81, 86, 88, 91, 97, 102, 103]. Weiter gab es einige Kohortenstudien, sowie ausführliche Fallbeispiele, die sich dieser Thematik ausführlich widmeten [8, 16]. Insgesamt wurden für diese Arbeit 85 (Tabelle 4) Veröffentlichungen gesichtet, nach evidenzbasierten Kriterien bewertet und im Hinblick auf die optimale Nadellänge und den bestmöglichen Punktionsort bearbeitet. Das Ziel dieser Arbeit war die Evaluation der Erfolgsraten mit verschiedenen Nadellängen und/oder unterschiedlicher Punktionsorte anhand von CT-, MRT- oder sonographischer Aufnahmen anhand der verfügbaren Evidenz.

4.1 Nadellänge

Nach Durchsicht der 85 gefundenen Publikationen (Tabelle 4) zeigte sich, dass sich die Experten bezüglich einer zu präferierenden Nadellänge uneinig waren.

Im Hinblick auf die zu empfehlende Nadellänge ergab sich bei der statistischen Auswertung der Studien, die erfolgreiche Simulationen mit unterschiedlichen Nadellängen im 2.ICR MCL verglichen, dass man eine knapp 7-fach höhere Chance hat, den Pleuraraum mit einer 8,0 cm Nadel als mit einer 4,5 cm langen Nadel zu erreichen. Bei einer Gegenüberstellung der erfolgreichen Simulationen mit 5,0 cm und 4,5 cm lange Nadeln ergab sich im 2.ICR MCL kein signifikanter Unterschied. Für die 8,0 cm Nadel ergab sich kein signifikanter Unterschied an den verschiedenen Punktionsorten.

Bei der Gegenüberstellung der statistischen Ergebnisse fiel auf, dass die 4,5 cm Nadeln im 2.ICR MCL besser abschneidet als die 5,0 cm Nadel (78,0% vs. 67,5%). Bei dieser Betrachtung wurden alle verfügbaren Studien einbezogen. Es muss jedoch bedacht werden, dass bei den untersuchten Studien verschiedene technische Untersuchungen angewendet wurden, um die TWD an den Punktionsorten zu bestimmen. Hierbei fiel auf, dass die sonographisch basierten Studien größtenteils geringere TWD gemessen haben als die Arbeiten, die anhand von CT Untersuchungen erhoben wurden (Tabelle 7, Abbildung 10). Gleichzeitig ergaben sich bei diesen Studien, die die 4,5 cm Nadel im 2.ICR MCL untersuchten, hohe simulierte Erfolgsraten von > 96%, die von den Erfolgsraten der CT-basierten Untersuchungen stark abweichen (35-85%). Die Untersuchungsmethode muss demnach berücksichtigt werden, da diese höchstwahrscheinlich Auswirkungen auf die Messergebnisse hat. Einige Studie gaben diesbezüglich zu bedenken, dass es während der sonographischen Messung zu einem aktiven Verdrängen des Weichteilgewebes durch den Untersucher kommt und die TWD in Folge dessen dünner gemessen wird [74, 86]. Es wurde gefordert, dass die TWD innerhalb einer Studie sowohl mittels Sonographie als auch anhand von CT Bildern bestimmt werden soll und somit die Abweichung, die sich durch die unterschiedlichen Methoden ergab, bestimmt werden kann [74]. Vermutlich würde sich hierbei zeigen, dass die 4,5 cm Nadel im 2.ICR MCL tatsächlich schlechter abschneidet als die 5,0 cm Nadel. Im lateralen Zugang zeigte die 5,0 cm Nadel bereits einen Vorteil gegenüber der 4,5 cm (83% vs. 55%).

Zum anderen wurde ein Vergleich der zahlreichen CT-, MRT- und sonographisch basierten Arbeiten (LoE 3/4) (Tabelle 5 und 6), dadurch erschwert, dass sich diese Studien untereinander in ihren Studienpopulationen unterschieden. Gemäß des *PICO* Schemas wurden Kohorten explizit aus dem militärischen [43] oder zivilen Bereich untersucht [1, 86, 97]. Außerdem gab es Gruppen,

die ausnahmslos aus Traumatpatienten bestanden [1, 24, 88, 91, 102, 103] oder es handelte sich um ein Patientengut, das für eine videoassistierte Thorakoskopie stationär aufgenommen war [97]. Einige Studien werteten aufeinanderfolgende CT Untersuchungen eines Zeitraumes aus, unabhängig von der Grunderkrankung [23]. Andere Arbeiten haben die Daten an gesunden Probanden erhoben, beispielsweise an Studenten [74]. Die Berücksichtigung der Probandengruppe ist hinsichtlich des Körperbaus von gesteigerter Relevanz. So zeigten einige Studien, dass die Frauen der untersuchten Kohorte durchschnittlich eine dickere Thoraxwand aufwiesen als die Männer [1, 37, 46, 56, 91, 102, 103]. Eine dieser Studien berücksichtigte die Brustgröße der Frauen und erklärte, dass erst ab einer Körbchengröße > B-Cup eine signifikante dickere Brustwand bei den weiblichen Patienten erhoben wurde und sich die Werte der TWD der Frauen mit A- und B-Cup den Werten der männlichen Patienten annäherten [1]. Eine Arbeit aus dem militärischen Bereich unterstützte dieses Ergebnis hingegen nicht [60].

Zudem wurde in einigen Studien bei den männlichen Patienten/Probanden ein Zusammenhang zwischen steigendem Alter und einer Zunahme der TWD erkannt [43, 103]. Die Autoren vermuteten, dass u.a. eine Vermehrung des subkutanen Fettgewebes zu einer erhöhten Brustwanddicke führen könnte [43]. Eine andere Studie konnte hingegen keinen Zusammenhang zwischen dem Alter und der TWD feststellen [97].

Allerdings muss bei diesen CT-/MRT- und sonographisch erhobenen Studien bedacht werden, dass keine realen Punktionen bewertet wurden. Das ist ein großes Manko, da faktisch keine Nadelpunktionen erfolgten und somit auch die Betrachtungen der konkreten praktischen Durchführung, sowie die Berücksichtigung möglicher iatrogenen Verletzungsrisiken weitestgehend fehlten [1, 81, 103]. So zeigt die 8,0 cm Nadel zwar sehr gute Erfolgsraten bei den simulierten Pleurapunktionen (96% im 2.ICR MCL und 96,5% im lateralen Zugang), doch wurde nur in einer Studie das mögliche Risiko bei einer tatsächlichen Punktion mit einer 8,0 cm Nadel im 4.ICR AAL beleuchtet [24]. Es wurde untersucht, ob vitale Strukturen bei einem, an den CT-Bildern simulierten, Einbringen einer 8,0 cm langen Nadel verletzt werden könnten. Bei der Auswertung zeigte sich, dass bei einer tatsächlichen Insertion einer 8,0 cm Nadel, abhängig vom Einbringwinkel, bei 100 Punktionen u.a. bis zu 30x der linke Ventrikel verletzt werden könnte [24]. Das iatrogene Verletzungsrisiko könnte, laut dieser Studie, durch ein streng senkrecht Einbringen der Nadel auf 9 Verletzungen reduziert werden [24].

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aller relevanten Studien wird weiter dadurch erschwert, dass die Bestimmung der TWD unterschiedlich durchgeführt wurde. In manchen Studien wurde die TWD streng senkrecht zur Hautoberfläche gemessen [24, 53, 60, 88, 97], in andere wurde ein

Lot zum CT Tisch gefällt und die Distanz zwischen der Körperoberfläche bis zum Pleuraspalt auf dieser Verbindungslinie ermittelt [1]. In einer Studie von *Chang et al.* ergab sich eine Differenz der Ergebnisse der TWD im 4.ICR AAL abhängig vom Messwinkel von 0,2 cm (4,0 cm vs. 3,8 cm) [24].

Trotz der Heterogenität der Studienergebnisse wurden einige Beobachtungen von unterschiedlichen Autoren in gleicher Weise geschildert, so dass sich gewisse Zusammenhänge ableiten lassen. Mehrere Arbeiten erkannten einen gleichartigen Zusammenhang zwischen dem Body-Mass-Index² (im Weiteren BMI) und der TWD [24, 53, 74, 81, 88, 97, 102]. So wurde beispielsweise an CT Bildern untersucht, ob eine Nadeldekompression im 2.ICR MCL mit einer 5,0 cm langen Nadel gelingen könnte. Innerhalb der untersuchten Patientenkohorte wurden Subgruppen gemäß des BMI gebildet [81]. Es konnte durch Simulationen an den CT Bildern gezeigt werden, dass die Pleurahöhle bei 75% der Untergewichtigen und bei 9% der als adipös (BMI > 30) eingestuften Traumapatienten mit einer 5,0 cm langen Nadel erreicht werden konnte [81]. Manche Autoren forderten deshalb, dass die Nadellängen an die regional erhobenen BMI Werte angepasst werden sollten, bzw. die vorherrschenden BMI Werte der Bevölkerung berücksichtigt werden sollten [81, 102]. Vergleicht man die Anteile, den die Übergewichtigen an der Gesamtbevölkerung eines Landes einnehmen, so ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den europäischen Ländern, Kanada und den USA. So betrug der Anteil der adipösen Bevölkerung im Jahr 2003 in den USA 30,6%, in Kanada 14,9%, in Deutschland 12,9% und in Frankreich 9,4% [32]. Bei einer Gegenüberstellung dieser Daten fällt auf, dass die Ergebnisse, die in den USA erhoben wurden, kritisch bewertet und auf ihre Übertragbarkeit auf die deutsche Bevölkerung hin untersucht werden sollten. Vermutlich lassen sich die Studienergebnisse, die Kanada [103], in Frankreich [60] oder in der Türkei [1] erzielt wurden, eher auf die deutsche Population übertragen. Durch die Literatursuche konnte nur eine Arbeit entdeckt werden, die an deutschen Probanden erhoben wurde, die aber leider nur als Poster vorlag [46]. Die Messung der TWD ergab bei dieser Studiengruppe einen Durchschnittswert von 5,1 cm im 2.ICR MCL [46].

Einige Autoren geben weiter zu bedenken, dass es bei der Insertion der Nadel zu einem aktiven Verdrängen oder zu einer Stauchung des Weichteilgewebes kommen, so dass die statisch ausgemessene TWD u.U. während der Intervention geringer sein kann und die Nadel ggf. tiefer eindringt als die CT Bilder vermuten lassen [1, 23, 24, 59, 91]. Dadurch kann das iatrogene Verletzungsrisiko unterschätzt werden und eine Dekompression ggf. kurzzeitig mit einer kürzeren

² Der Body-Mass-Index errechnet sich aus der Formel: Körpergewicht [kg]/ Körpergröße zum Quadrat [m²]. Dieser Index erlaubt eine grobe Einschätzung des Ernährungszustandes. Es kann zwischen normalgewichtigen (BMI 20-24,9), übergewichtigen (BMI 25-29,9), adipösen (BMI 30-39,9) und extrem adipösen Menschen unterschieden werden.

Nadel gelingen [24, 59, 91]. Die Intervention kann jedoch auch sekundär scheitern, wenn sich das komprimierte Gewebe wieder ausdehnt und die Nadel dadurch nicht mehr bis in den Pleuraspalt reichen kann oder die Nadel während des Transportes sekundär disloziert [16, 81]. Eine Falldarstellung, die ein derartiges sekundäres Fehlschlagen der Nadeldekompression schilderte, wurde von *Britten et al.* veröffentlicht [16].

Außerdem werden die Begleitverletzungen, die sich bei einem Thoraxtrauma ergeben können, wie beispielsweise subkutane Emphyseme oder ausgedehnte Hämatome, nur unzureichend berücksichtigt [1, 24]. So können subkutane Emphyseme die TWD erhöhen und eine Entlastung kann in diesem Fall nur mit einer längere Nadel gelingen, wobei es vorkommen kann, dass die Punktion eines Emphysems, vor allem bei Luftaustritt, als erfolgreiche Pleurapunktion fehlgedeutet werden kann [10, 36]. Wie bereits geschildert, soll die Insertion der Nadel streng senkrecht zur Körperoberfläche erfolgen, da dadurch die TWD auf kürzestem Wege durchstochen wird und das iatrogene Verletzungsrisiko gleichzeitig möglichst gering gehalten wird [43, 52]. Da diese Betrachtung jedoch auch nur an CT Bildern untersucht wurde, bleibt es fraglich, ob sich die Nadel unter realen Bedingungen so verhält oder, ob es beim Inserieren des Katheters nicht zu einem Abknicken oder zumindest häufig zu einem Ablenken der Nadel kommt [43, 52].

Venenverweilkanülen werden oft als behelfsmäßiges Instrument für dieses Manöver eingesetzt. Der wesentliche Nachteil sind die leicht abknickenden, dünnwandigen Schläuche, die zur Drainage in die Thoraxwand eingebracht werden. Das Hauptproblem ist aber die geschilderte Problematik der unzureichenden Länge. Speziell für dieses Manöver konzipierte Nadeln sind kommerziell verfügbar, haben sich jedoch bislang offenbar noch nicht durchgesetzt. Neben der i.v.-Kanüle regten einige Autoren bereits den Gebrauch von Spinal- oder Epiduralnadeln an [84, 97] oder sahen in den intraossären Zugängen eine Alternative [54]. Es wurden als weitere Instrumentarien ein Trokar [45], eine modifizierte Veres Nadel [68], sowie ein Cook Katheter [49] in Tiermodellen untersucht. Bisher konnte sich keine dieser Methoden durchsetzen und vor allem von der Verwendung eines Trokars zur präklinischen Thoraxdekompression wurde in der Leitlinie von 2011 klar abgeraten [95]. Einige Instrumentarien wurden speziell für die präklinische Thoraxdekompression entwickelt und es bleibt abzuwarten, ob sich diese Alternativen gegenüber der Venenverweilkanüle behaupten können. So untersucht u.a. eine Studiengruppe um *Rathinam et al.* eine 8,4 cm lange Nadel, an welche ein Dreiwegehahn konnektiert ist, wodurch im Notfall ein unkorrekter Zusammenbau der Utensilien verhindert und ein Zeitgewinn erreicht werden soll [84]. Im militärischen Bereich werden bereits spezialisierte Nadeln zur Notfalldekompression genutzt, die jedoch länger sind als die Nadeln, die im zivilen Rettungswesen gebraucht werden. Neben der Nadellänge spielen auch das Material und der Aufbau des Instrumentariums eine

entscheidende Rolle. Hierbei sind das Lumen und die Festigkeit des Katheters von besonderem Interesse [91, 97]. Der Durchmesser sollte so gewählt werden, dass ein Verklumpen möglichst vermieden werden kann und das Material muss stabil genug sein, um die Gefahr des Abknickens zu minimieren. Es bleibt abzuwarten, ob sich in absehbarer Zeit ein neues Equipment zur Thoraxdekompression behaupten wird. Festzuhalten bleibt, dass die Nadeln mit der Länge 4,5 cm oder 5,0 cm, die den aktuellen Empfehlungen entsprechen, in 32,7% (5,0 cm im 2.ICR MCL), bzw. 22% (4,5 cm im 2.ICR MCL) nicht lang genug sind, um eine Notfalldekompression eines Spannungspneumothorax zu erzielen (Tabelle 6) [2, 37, 60, 71, 95]. In den untersuchten Studien zeigten die Nadeln mit einer Länge von 8,0 cm deutlich bessere Erfolgsquoten (96% im 2.ICR MCL, bzw. 98,5% im lateralen Zugang). Es ist möglich, dass je nach Konstitution des Traumapatienten ggf. unterschiedliche Nadellängen nötig sein können, um eine suffizienten Entlastung im Notfall zu erzielen. Vor allem bei Frauen mit einer Körbchengröße > B-Cup oder bei übergewichtigen, sowie bei ausgesprochen athletischen Traumapatienten kann der Gebrauch einer längeren Nadel nötig sein, um die Pleura sicher zu erreichen.

Um eine Empfehlung für den Gebrauch neuartiger Instrumentarien aussprechen zu können, bedarf es in Zukunft unbedingt weiterer Studien, die die Sicherheit untersuchen und zugleich eine hohe Evidenz aufweisen.

Das gegenwärtige *ITLS® (International Trauma Life Support)* Handbuch regt bereits den Gebrauch von 6,0 – 9,0 cm langen Nadeln an. Im militärischen Bereich setzen sich seit geraumer Zeit Nadeln mit einer Länge > 8,0 cm durch [42, 49, 69]. Es fehlt bisher an Studien, die eine hohe Evidenz aufweisen und beispielsweise das Outcome der Soldaten untersuchen, die eine präklinische Notfalldekompression mit einer 8,0/8,3 cm langen Nadel erhalten haben.

4.2 Punktionsort

Bei den Insertionsstellen, die in den meisten Arbeiten verglichen wurden, handelte es sich um den 2.ICR MCL, den 4./5.ICR AAL und den 4./5.ICR MAL. Die Gegenüberstellung erfolgte durch die Messung der TWD an den jeweiligen Punktionsorten durch bildgebende Verfahren oder Untersuchungen an Leichen. Das LoE dieser Arbeiten liegt bei 3-5.

Bei der statischen Datenauswertung ergab sich im Hinblick auf den 2.ICR MCL, dass man mit einer 8,0 cm gegenüber einer 4,5 cm langen Nadel eine beinahe 7-fach höhere Wahrscheinlichkeit hat, erfolgreich die Pleura zu punktieren (OR: 6,8, KI: 2,1-24,3, $p < 0,001$).

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der 8,0 cm Nadel an den jeweiligen Punktionsorten (2.ICR MCL vs. lateraler Zugang) bestand kein signifikanter Unterschied (OR= 4,1 KI: 0,4 – 99, p= 0,17).

Vergleicht man hingegen die Erfolgsraten für die 5,0 cm Nadel an den verschiedenen Punktionsorten, ergibt sich ein signifikanter Vorteil für den lateralen Punktionsort gegenüber dem 2.ICR MCL (OR= 2,4 KI: 1,18 – 5,0, p= 0,009). Für die 4,5 cm lange Nadel zeigte sich hingegen, dass im lateralen Zugang eine geringe Chance besteht, den Pleuraraum zu penetrieren als 2.ICR MCL (OR= 0,35 KI: 0,2 – 0,7, p= 0,001). Allerdings war nur eine Studie vorhanden, die die 4,5 cm lange Nadel im lateralen Zugang untersuchte [88]. Und in dieser CT basierten Arbeit wurde der Punktionsort inkorrekt am Unterrand der Rippen festgelegt (s.o.) [88].

Es fiel auf, dass sechs von acht Arbeiten die dünnere TWD im lateralen Zugang (4./5.ICR AAL und MAL) gemessen haben (Tabelle 7). Eine der Arbeit, die den 2.ICR MCL als Punktionsort dem 4./5.ICR AAL aufgrund der TWD vorgezogen hat, muss unbedingt kritisch betrachtet werden [88]. Vor allem der 4./5.ICR AAL schnitt in drei von vier Studien gegenüber der anderen Punktionsorte aufgrund der erhobenen TWD besser ab (Tabelle 7, Abbildung 10).

Jedoch muss abermals, wie bereits unter 4.1 betont werden, dass keine realen Punktionen durchgeführt wurden und die Insertionsstellen im Falle der CT- und MRT-Untersuchungen virtuell festgelegt wurden. Somit ist fraglich, ob die aufgesuchten Punktionsstellen anhand der anatomischen Landmarken für eine reale Punktion genauso bestimmt worden wären. Zudem gaben einige Autoren zu bedenken, dass eine Übertragbarkeit der bildgebenden Untersuchungen nur bedingt auf die Traumapatienten möglich ist, da die Umstände, die sich u.U. am Unfallort ergeben, nur unzureichend berücksichtigt werden konnten [42, 103]. Ein weiteres Artefakt kann sich dadurch ergeben, dass sich die Lagerung, die der Patient/Proband bei den CT-/MRT- oder sonographischen Untersuchungen eingenommen hat, von der Position, die die Traumapatienten während der präklinischen Notfalldekompression einnehmen, unterscheiden [81, 91, 103]. Oft werden CT-Untersuchungen von schwerstverletzten Patienten mit nach kranial verlagerten Armen durchgeführt, was zu einer Verschiebung der anatomischen Strukturen führt. Eine Studie gab an, dass die TWD im 2.ICR MCL bei den weiblichen Probanden von der Armpositionierung abhing [103]. So wurden erhöhte TWD bei angelegten Armen und geringere TWD bei elevierten Armen gemessen [103]. Die Autoren vermuteten, dass das Brustgewebe bei der Elevation des Armes durch die Relaxierung des M.pectoralis nach lateral verschoben wird und die TWD im 2.ICR MCL folglich abnimmt [103]. Eine andere Arbeit entgegnet, dass es bei der Elevation des Armes bei schlaffen Brustgewebe eher zu einer Zunahme der TWD im 2.ICR MCL kommen kann [91]. Für das

Resultat kann das bedeuten, dass die publizierten TWD bei einer anderen Positionierung der Patienten ggf. nicht reproduzierbar sind [81, 91, 103].

Weiter kann auch die Anlage eines *Stiffnecks* während der präklinischen Versorgung zu einer Verschiebung der oberen Hautschichten führen und vor allem eine Veränderung der TWD im 2.ICR MCL bedingen [81, 103]. Außerdem treten bei Traumapatienten häufig auch Begleitverletzungen auf, wie subkutane Emphyse oder ausgedehnte Hämatome, oder es kann aufgrund des Spannungspneumothorax zu einer Verlagerung der intrathorakalen Organe kommen [81, 97]. Diese Pathologien konnten in diesen Arbeiten nicht ausreichend berücksichtigt werden [81, 97]. Auch Auswirkungen des Transportes, wie die Umlagerung oder Fixierung der Traumapatienten konnten in den meisten Studien nicht bewertet werden.

Außerdem wurden die iatrogenen Verletzungsrisiken an den jeweiligen Punktionsorten oft nur unzureichend untersucht. So deklarieren einige Studien einen Punktionsort aufgrund der geringeren TWD als geeigneter ohne eine Betrachtung oder Untersuchung der potentiell gefährdeten Strukturen, die bei einer Nadelinsertion möglicherweise verletzt werden könnten. So wurde bei einer CT basierten Studie aufgrund der geringeren TWD der 5.ICR MAL dem 2.ICR MCL vorgezogen, ohne dass das iatrogenen Verletzungsrisikos beachtet wurde [1].

Eine andere Arbeit begründete hingegen ihre Empfehlung, den lateralen Punktionsort zu nutzen, damit, dass das iatrogene Verletzungsrisiko dort geringer sei als an den anderen Insertionsstellen [85]. In dieser Publikation wurden drei Patientenfälle vorgestellt, bei denen sich schwerwiegende Komplikationen nach einer Nadeldekompression im 2.ICR MCL ereigneten [85]. Laut Autoren sei der laterale Zugang im 5.ICR AAL eine sicherere Alternative zum Punktionsort im 2.ICR MCL [85]. Es gab andererseits auch Einwände, dass im Bereich des lateralen Zugangs (4./5.ICR AAL bis MAL) vermehrt mit Adhäsionen gerechnet werden muss und u.U. eine Verletzung des Lungenparenchyms resultieren kann [65, 103].

In einer experimentellen Arbeit von *Beckett et al.* sollte zudem überprüft werden, ob Katheter, die in der mittleren Axillarlinie (MAL) eingebracht wurden häufiger verklumpen, abknicken oder dislozieren als die, die im anterioren Zugang (2.ICR MCL) inseriert wurden [9]. Dazu wurden an Probanden über den beiden Punktionsstellen Thoraxwandteile von Schweinen fixiert und mit entsprechenden Nadeln armiert [9]. Hierbei zeigte sich, dass nach einem simulierten Transport (mit Umlagerung und Fixierung des Probanden an die Trage) die Katheter, die in der mittleren Axillarlinie eingebracht wurden, häufiger verklumpten und ein höher Druck aufgebracht werden musste, um eine Durchgängigkeit des Katheters zu erzielen [9]. Die Autoren gaben jedoch an, dass

die Insertion des Katheters in der vorderen Axillarlinie (AAL) ggf. komplikationsärmer sein könnte und dieser Punktionsort gegenüber der mittleren Axillarlinie (MAL) überlegen sein könnte [9].

Aus militärischer Sicht spricht für den lateralen Zugang (4./5.ICR AAL), dass er offenbar in der Gefechtssituation leichter zu erreichen ist als die anteriore Insertionsstelle im 2.ICR MCL, die von der Schutzausrüstung der Soldaten bedeckt ist [42, 59, 60]. Die Insertion im 4.ICR axillar bietet zudem den Vorteil, dass die Ausrüstung während der Rettung anbehalten werden kann [60].

Neben dem 2.ICR MCL und 4./5.ICR AAL und MAL wurde noch eine weitere potentielle Insertionsstelle als Alternative beschrieben. *Wax et Leibowitz* untersuchten die Schnittstelle zwischen dem 2.ICR in der Horizontalen und einer Vertikalen, die die Thoraxhälfte halbiert [97]. Diese Punktionsstelle benannten die Autoren 2.ICR MHL (mittlere Hemithoraxlinie). Diese innovative Punktionsstelle sollte im Hinblick auf die TWD mit dem 5.ICR AAL und 5.ICR MAL verglichen werden [97]. Die TWD Werte beliefen sich im 2.ICR MHL im Mittel auf 3,1 cm, im 5.ICR MAL auf 3,5 cm und im 5.ICR AAL auf 2,6 cm [97]. Die Autoren gaben an, dass Punktionen im 5.ICR AAL und MAL gegenüber dem 2.ICR MHL ein erhöhtes iatrogenes Verletzungsrisiko bergen [97]. Somit war der 2.ICR MHL, laut Autoren, der sicherste Punktionsort bei deren Auswertung. Sie empfahlen die Punktion mit einer mindestens 7,0 cm langen Nadel im 2.ICR MHL bei der präklinischen Entlastung eines Spannungspneumothorax [97]. Eine detaillierte Darstellung, wie sie zu dieser Empfehlung gelangen, erfolgte jedoch nicht [97].

Dennoch sollte man sich auf Grundlage dieser Studien, die LoE im Bereich von 3 bis 5 aufwiesen, nicht verleiten lassen, einen Punktionsort als optimal zu deklarieren. So erfolgte auch hier in den wenigsten Fällen eine Berücksichtigung des iatrogenen Verletzungsrisikos und möglicher Begleitverletzungen, die zu einer akuten Erhöhung der TWD beitragen können, wie subkutane Emphyseme. Es lässt sich ein Trend erkennen, dass zunehmend der laterale Zugang (4./5.ICR AAL und MAL) aufgrund der erhobenen TWD präferiert wird, doch fehlen Studien, die eine hohe Evidenz aufweisen und diese These unterstützen.

4.3 Durchführung der Nadeldekompression

Neben der optimalen Nadellänge und dem bestmöglichen Punktionsort, spielt auch die Ausbildung des Anwenders eine entscheidende Rolle bei der korrekten Durchführung einer präklinischen Nadeldekompression. Wird ein Punktionsort als geeignet deklariert, muss sichergestellt werden, dass dieser korrekt bestimmt und aufgesucht werden kann. Anatomische Landmarken eignen sich zum Auffinden der Insertionsstellen und sollen in diesem Zusammenhang als sichere Wegweiser dienen [35]. Es gibt einige Studien, die auch bei ausgebildeten

medizinischem Personal eine fehlerhafte Identifizierung von Punktionsstellen bemängelten [35, 78]. So wurden 25 Ärzte, die in der Notaufnahme arbeiteten, nach dem aktuell empfohlenen Punktionsort der Nadeldekompression befragt und gebeten, die Punktionsstelle an einem Probanden einzuzeichnen [35]. 88% der Ärzte konnten den Ort korrekt benennen und 15 von ihnen gelang es, den 2.ICR MCL sicher an einem Probanden einzuzeichnen (60%) [35]. Die Auswertung der angezeichneten Punktionsstellen ergab, dass die Insertionen im 2.ICR in 95% der Fälle zu medial durchgeführt worden wären [35]. Neben Notärzten kann die Nadeldekompression unter Umständen auch von Rettungsassistenten ausgeführt werden. Eine Studie untersuchte anhand von Traumapatienten, die präklinisch eine Nadelpunktion erhalten haben, die Sicherheit, mit der Rettungsassistenten den Punktionsort für die präklinische Entlastung aufsuchten [78]. 17 der insgesamt 18 bewerteten präklinischen Nadeldekompressionen wurden im Bereich der „cardiac box“³ inseriert, 8 von ihnen befanden sich medial der MCL. Dieses Ergebnis deckte sich mit der Untersuchung, die von *Harcke et al.* die an gefallen Soldaten durchgeführt wurde [42]. Bei diesen Soldaten wurden vor deren Tod noch Nadeldekompressionen angewendet [42]. Bei der Auswertung zeigte sich, dass im 2.ICR MCL von 13 inserierten Nadeln 11 medial der Mamille inseriert wurden [42]. Mehrere Experten gaben an, dass sich Verletzungen des Herzens, des Mediastinums oder großer Gefäße ergeben können, wenn die Punktion zu weit medial erfolgt [35, 42, 59, 78, 94]. Einige Autoren vermuteten, dass die Klavikullänge häufig unterschätzt wird [59]. Eine Punktion soll nicht medial der Mamille erfolgen [35, 42, 59, 78, 94].

Eine ähnlich konzipierte Kohortenstudie untersuchte, ob Ärzte den lateralen Zugang korrekt bestimmen können [33]. Es wurden 50 Assistenzärzte befragt und aufgefordert den Punktionsort, den sie für die Anlage einer Thoraxdrainage wählen würden, an einem Foto einzuzeichnen [33]. 44% (22) der Assistenten konnten die Insertionsstelle akkurat bestimmen. In einer gleichartige Studie gelang es 55% (30/55) der Ärzte die laterale Insertionsstelle auf einer Fotografie im richtigen Gebiet einzuzeichnen [40]. In beiden Arbeiten zeigte sich eine erfolgreicherer Abschneiden derjenigen Ärzte, die bereits unter Aufsicht eine Thoraxdrainage bei einem Patienten angelegt haben [33, 40]. Diese Studien glichen sich in ihrer Forderung, dass sich die Ausbildung der Assistenzärzte verbessern muss [33, 40]. Unter anderem muss das Auffinden von anatomischen Landmarken sicher beherrscht werden [40].

Im militärischen Bereich sollte ebenfalls die Durchführung der Nadeldekompression im Hinblick auf das Aufsuchen des korrekten Punktionsortes bewertet werden. Die notfallmäßige Entlastung muss in einer Gefechtssituation gegebenenfalls auch durch nicht-medizinisches Personal erfolgen

³ Die Autoren definierten die „cardiac box“ als sensiblen Bereich, der nach kranial von der Klavikula, nach lateral von den Mamillen und nach kaudal von den unteren Rippen begrenzt wird.

und die Soldaten müssen in der korrekten Anwendung der Nadeldekompression geschult werden [92]. Diese Studie konnte zeigen, dass der Unterricht an Trainingsmodellen und an Leichen eine deutliche Überlegenheit gegenüber der Präsentationen von Folien und Bildern aufwies [92].

Dass eine fundierte medizinische Grundausbildung keine Voraussetzung für eine adäquate Durchführung einer Nadeldekompression sein muss, zeigte zudem eine Studie von *Sztajnkrycer*. Diese Studie wurde als prospektive Kohortenstudie konzipiert und es wurde untersucht, ob Polizisten lernen konnten, die Symptome eines Spannungspneumothorax zu erkennen und, ob sie in der Lage waren, eine präklinische Nadeldekompression an Modellen simulieren zu können [93]. Die Lerneinheit betrug 90 Minuten und bestand aus einem theoretischen (30 Minuten) und praktischen (60 Minuten) Anteil [93]. Eine Überprüfung der Lernziele wurde vor und direkt nach der Unterrichtung der Polizisten, sowie einen und sechs Monaten später erhoben. Die Testergebnisse vor und nach der Lerneinheit wurden verglichen und es zeigte sich, dass sich eine Verbesserung der Ergebnisse von durchschnittlich 1,3 Punkten (von maximal 7) auf 6,8 Punkte ergab [93]. Im Vergleich fiel das Testergebnis auch nach sechs Monaten nicht signifikant schlechter aus [93]. Das ist ein wichtiges Resultat, da in einer weiteren Studie gezeigt werden konnte, dass Probanden, die die Anwendung der Herzdruckmassage erlernten, bereits nach 6 Monaten ein signifikant schlechteres Ergebnis bei der Überprüfung der praktischen Durchführung erzielten (in der Subgruppe der Probanden, die eine zweistündige Einweisung bekamen sank das Ergebnis von korrekten Anwendungen von 92% auf 67,6%) [58]. Betont werden muss abermals, dass bei diesen Untersuchungen keine realen Punktionen durchgeführt und bewertet wurden.

Trainingsmodelle werden häufig für die für Simulationen von Nadeldekompressionen anstelle von Leichnamen genutzt. Allerdings zeigte eine Studie, dass diese Trainingsmodelle einige Mängel aufwiesen [13]. Die Thoraces einiger Modelle wurden auf die Darstellung der wesentlichsten anatomischen Strukturen reduziert, wodurch das Auffinden des korrekten Punktionsortes erleichtert wurde [13]. Weiter besaßen einige Trainingsmodelle einen Hautüberzug aus Gummi, wodurch es bei mehrfachen Insertionen von Nadeln zu Perforationen in diesem Bereich kommen konnte und ein Bestimmen der Punktionsstelle für die Prüflinge vereinfacht wurde [13]. Einen weiteren Mangel stellte die Dicke der Gummihaut der Modelle dar, die im Gegensatz zur durchschnittlichen menschlichen TWD zu gering ausfiel [13]. Laut Autoren sei dieses ein entscheidendes Manko, da die meisten Fehlschläge der Nadeldekompressionen durch ein Nicht-Erreichen der Pleura resultieren und die Prüflinge die menschliche TWD anschließend an das Training als zu dünn einschätzen können [13]. Die Autoren forderten, dass die Trainingsmodelle den menschlichen Körpern besser angepasst werden sollen oder alternativ auch Anteile tierische Kadaver genutzt werden können, um eine bessere Simulation zu erzielen und somit den

Ausbildungsstandard zu verbessern [13]. Beispielsweise könnten Thoraces von Schweinekadavern an Probemodellen im Bereich der Punktionsstellen fixiert werden, um eine korrekte Einführung der Nadel besser zu simulieren, ähnlich wie bei *Beckett et al.* [9, 13]. Ob diese Anregungen tatsächlich umsetzbar sind und, ob die Simulationen effektiv verbessert werden können, bleibt jedoch abzuwarten.

Da der Spannungspneumothorax unbehandelt binnen kürzester Zeit tödlich verlaufen kann [52, 53] und gezeigt werden konnte, dass die korrekte Durchführung der Nadeldekompression relativ einfach erlernt werden und auch durch nicht-medizinisches Personal angewendet werden kann [92, 93], ergibt sich aus diesem Zusammenhang die Forderung, dass neben Soldaten, die in Gefechte involviert sind, auch Rettungskräfte, die möglicherweise als erste am Unfallort eintreffen (Feuerwehrmänner, Polizisten und Rettungssanitäter) in der Diagnostik des Spannungspneumothorax und in der Anwendung der Notfalldekompression geschult werden sollten. Sie sollten die Nadeldekompression sicher beherrschen und im Notfall korrekt anwenden können.

Wie bereits erwähnt, spielt neben der akkuraten Bestimmung des Punktionsortes auch die senkrechte Insertion der Nadel eine wichtige Rolle. Mehrere Studien konnten aufzeigen, dass zum einen die TWD durch ein streng senkrecht Einbringen der Kanüle möglichst gering gehalten wurde und gleichzeitig die Distanz zu gefährdeten Strukturen (Gefäßen, Organen) erhöht werden konnte [24, 43]. So konnte in einer Untersuchung, die das iatrogene Verletzungsrisiko bei Insertion einer 8,0 cm langen Nadel im 4.ICR AAL an CT Bildern überprüfte, die Unversehrtheit von lebenswichtigen Strukturen von 68% auf 99% gesteigert werden, wenn die Nadel streng senkrecht zur Körperoberfläche eingeführt wurde [24]. Folglich konnte das iatrogene Verletzungen dadurch verringert werden [24, 43].

Dass die Insertion der Nadel immer am Oberrand der Rippen erfolgen soll, um die Gefäße und Nerven, die am Unterrand der Rippe verlaufen, zu schonen, gaben mehrere Studiengruppen an [2, 43].

4.4 Limitationen

Als Limitation der vorliegenden Arbeit muss angegeben werden, dass sowohl die Literatursuche als auch deren Bewertung ausschließlich durch zwei Experten erfolgte, ebenso die Zuordnung des LoE sowie die Beurteilung der Studien im Hinblick auf deren Relevanz für die zentrale Fragestellung. Hierdurch ergab sich ein *risk of bias*.

5 Schlussfolgerung

Bei einem Spannungspneumothorax handelt es sich um einen lebensgefährlichen Notfall [13, 28, 65]. Eine Thoraxdekompression muss bei einem klinischen Verdacht auf einen Spannungspneumothorax schnellstmöglich und somit möglicherweise auch präklinisch erfolgen. Aktuell rät die S3-Leitlinie die Durchführung einer präklinischen Nadeldekompression mit einer 4,5 cm Nadel im 2.ICR MCL [95]. Im Anschluss soll die Pleurahöhle chirurgisch eröffnet werden und ggf. eine Thoraxdrainage inseriert werden [95].

Es konnte durch die Auswertung der Studien gezeigt werden, dass eine 4,5 cm oder 5,0 cm lange Nadel, wie sie vom *ATLS-Manual*[®] empfohlen wird, häufig zu kurz ist, um im 2.ICR MCL den Pleuraspalt zu penetrieren. In 23% der Simulationen der 5,0 cm langen und 22% der 4,5 cm langen Nadel kann die Pleurahöhle nicht erreicht werden und folglich kann keine suffiziente Entlastung erzielt werden (Tabelle 6) [2]. Das bedeutet, dass bei mehr als jedem 5. Patient eine präklinische Nadeldekompression mit einer 4,5 cm oder 5,0 cm Nadel fehlschlagen würde.

Für die 8,0 cm lange Nadel, die sich bereits im militärischen Bereich durchsetzt, zeigten die untersuchten Studien, dass ein Erreichen der Pleura im 2.ICR MCL in 96% der Fälle gelingt. Die Wahrscheinlichkeit, dass man im 2.ICR MCL eine Dekompression erzielen kann, ist mit einer 8,0 cm gegenüber einer 4,5 cm Nadel beinahe 7-fach (OR: 6,8, $p < 0,001$) erhöht (Tabelle 6). Das ist ein entscheidendes Ergebnis und regt eine Empfehlung einer längeren Nadel für die notfallmäßige Thoraxdekompression an. Bei dem Gebrauch einer 5,0 cm Nadel zeigte sich ein deutlicher Vorteil für den lateralen Zugang gegenüber dem 2.ICR MCL (OR: 2,4, $p = 0,009$) (Tabelle 6). Somit ergibt sich rein aus diesen Ergebnissen eine Empfehlung bezüglich der Verwendung einer längeren Nadel im 2.ICR MCL oder des Gebrauchs der 5,0 cm Nadel im lateralen Zugang.

Sowohl im militärischen Bereich als auch im *ITLS-Manual*[®] hat sich bereits der Gebrauch der längeren Nadeln etabliert [4, 21, 42, 43]. In Zukunft könnten sich die 8,0 cm langen Nadeln auch im zivilen Rettungswesen durchsetzen, wenn weitere Sicherheitsanalysen für die Anwendung dieser vorliegen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die ausgewerteten Studien auf geringen Evidenzleveln basieren (LoE 3-5) und selten tatsächlich durchgeführten Nadelinsertionen bewertet wurden [42, 52]. Vor allem das iatrogene Verletzungsrisiko fand folglich nicht genügend Berücksichtigung. Für die Zukunft werden weitere Studien gefordert, die beispielsweise das Outcome der Soldaten beschreiben, die während der Gefechte mit einer 8,0 cm Nadel versorgt wurden und überlebten. Derartige Untersuchungen liegen bis dato noch nicht vor. Zudem beschrieben mehrere Autoren, dass der Körperbau des Traumapatienten bei der Wahl der

verwendeten Nadel berücksichtigt werden muss, da die TWD u.a. von der Brustgröße, der Brustmuskulatur und des BMIs abhängt.

Weiter ergibt sich für die Zukunft die Forderung nach einer fundierteren und verbesserten Ausbildung der Ärzte und der Rettungskräfte, die eine Nadeldekompression im Notfall durchführen müssen. Hier konnte gezeigt werden, dass die Technik nicht sicherer beherrscht wird und ein Auffinden der anatomischen Landmarken als Grundlage für eine korrekte Durchführung der Methode häufig misslingt [27, 35, 78]. Zudem ist neben der akkuraten Insertionsstelle und der optimalen Nadellänge auch das streng senkrechte Einbringen der Nadel entscheidend, um das iatrogene Verletzungsrisiko zu minimieren [24].

6 Zusammenfassung

Die Durchführung einer Nadeldekompression ist präklinisch eine lebensrettende Maßnahme bei Vorliegen eines Spannungspneumothorax [2, 26, 95]. Es gibt viele Publikationen, die die bestmögliche Durchführung der Nadelinsertion diskutieren und verschiedene Nadellängen und Punktionsorte empfehlen. Die aktuellen Empfehlungen für das zivile Rettungswesen regen den Gebrauch von 4,5 cm [95], 5,0 cm [2] oder 6,0-9,0 cm lange Nadeln [21] an.

Im militärischen Bereich gibt es international unterschiedliche Richtlinien. Beim französischen Militär wird der Gebrauch von 5,0 cm Nadeln befürwortet [60], bei der US-Armee wird hingegen die Nutzung von Nadeln mit einer Mindestlänge von 8,0 cm empfohlen [42, 43, 59, 69].

Als bestmögliche und komplikationsarme Punktionsorte werden der 2.ICR MCL, der 4./5.ICR AAL und 4./5.ICR MAL diskutiert. In einigen aktuellen Empfehlungen wird der 4.ICR AAL bereits dem 2.ICR MCL vorgezogen [21], in anderen Publikationen wird weiterhin der 2.ICR MCL als optimale Insertionsstelle angegeben [48].

Die hier vorgelegte systematische Analyse der Literatur zeigt allerdings deutlich, dass die gängigen Empfehlungen hinsichtlich der Punktionsstelle und der zu verwendenden Nadellänge auf der Basis einer niedrigen Evidenzlage (LoE 3-5) beruhen und, dass insbesondere für die Verwendung längerer Nadeln kaum Sicherheitsanalysen bezüglich möglicher schwerwiegender Komplikationen (z.B. Verletzungen des Herzens, großer Gefäße, parenchymatöser Organe wie Leber oder Milz oder intraabdomineller Hohlorgane) vorliegen.

Nachvollziehbar ist, dass eine Nadellänge so gewählt werden muss, dass ein sicheres Erreichen der Pleurahöhle gelingt und folglich eine suffiziente Entlastung erzielt werden kann. Der

Punktionsort sollte sicher zu identifizieren und einfach zu erreichen sein. Zudem sollte das Verletzungsrisiko gering gehalten werden.

Ein Vergleich von Erfolgsraten an den unterschiedlichen Punktionsorten und den verschiedenen Nadellängen zeigte, dass für die 5,0 cm langen Nadel ein Vorteil im lateralen Zugang gegenüber dem Zugang im 2.ICR MCL besteht (OR 2,4, p= 0,009). Es zeigte sich auch, dass im 2.ICR MCL eine 8,0 cm lange Nadel eine deutlich höhere Erfolgsaussicht hat die Pleurahöhle zu erreichen als eine 4,5 cm (OR 6,8, p <0,001) Es liegen jedoch keine ausreichende Betrachtung zur Sicherheit bezüglich des iatrogenen Verletzungsrisikos vor. Aufgrund der geringen Evidenz (3-5) lässt sich aus diesen Ergebnissen keine allgemeingültige Empfehlung aussprechen.

Festzuhalten bleibt, dass insbesondere Frauen mit einer Körbchengröße > B-Cup und athletisch gebauten Patienten z.B. Soldaten, sowie stark übergewichtige Patienten eine deutlich dickere Thoraxwand aufweisen können. Die Wahl der Nadel ist in Abhängigkeit vom Geschlecht, dem BMI und dem vermuteten Weichteilmantel individuell abzustimmen. Spezielle Nadeln mit ausreichender Länge sollte gegenüber Venenverweilkanülen bevorzugt werden.

Eine akkurate Durchführung der Nadeldekompression fußt in erster Linie auf einer fundierten Ausbildung des Anwenders. Dieser muss in der Lage sein, die Symptome eines Spannungspneumothorax sicher erkennen zu können, um eine möglichst eindeutige Diagnose stellen zu können. Wenn sich präklinisch der dringende Verdacht auf das Vorliegen eines Spannungspneumothorax ergibt, soll gemäß *ATLS*[®] Protokoll, sowie der S3 Leitlinie, unverzüglich eine Nadeldekompression zur Entlastung erfolgen [2, 95]. Zudem wird von einigen Experten empfohlen, dass auch bei einem präklinischen, traumatisch bedingten Kreislaufstillstand eine beidseitige Thoraxdekompression durchgeführt werden soll [59]. Neben der Nadelinsertion kann potentiell auch eine einfache Thorakostomie angewendet werden [36]. Mehrere Arbeiten berichteten von Problemen bei der korrekten Bestimmung der Insertionsstellen [27, 33, 35, 78]. So wurde im 2.ICR MCL häufig zu weit medial punktiert, wodurch ein erhöhtes iatrogenes Verletzungsrisiko resultierte [59, 78]. Entscheidet man sich für eine Punktion im 2.ICR MCL, so sollte diese nicht medial der Mamille durchgeführt werden [35, 42, 59, 78, 94]. Bei einer Insertion der Nadel im lateralen Zugang sollte man nicht unterhalb der Brustwarze punktieren, da dort die Gefahr besteht, dass man die intraabdominalen Organe (Milz, Leber, Zwerchfell) verletzt [59].

Gleichzeitig wurde mehrfach betont, dass die Notfalldekompression einfach zu erlernen sei und auch nicht-medizinisches Personal in der sicheren Anwendung geschult werden konnte [92, 93]. Im Hinblick auf die Dringlichkeit mit der ein Spannungspneumothorax sofort und u.U. noch am Unfallort entlastet werden muss, ergibt sich die Forderung, dass alle Rettungskräfte, die

möglicherweise als erste zur Versorgung eines Traumapatienten eintreffen, die Symptome eines Spannungspneumothorax erkennen und die Durchführung der Nadeldekompression erlernen und beherrschen sollten. Neben Rettungsassistenten sollten ggf. auch Feuerwehrmänner oder Polizisten in der Diagnostik und Notfalldekompression des Spannungspneumothorax unterrichtet werden.

Die Nadeldekompression gilt als eine Notfallmaßnahme, die lediglich Zeit verschafft, bis eine Thoraxdrainage über eine Minithorakotomie eingelegt werden kann. Mit einem Versagen der Technik muss angesichts der beschriebenen Limitierungen gerechnet werden. Eine suffiziente Entlastung lässt sich am sichersten an einer Verbesserung der Vitalparameter erkennen und der Patienten muss einer ständigen Reevaluation unterzogen werden [59]. Um eine evidenzbasierte Empfehlung bezüglich einer konkreten Nadellänge oder eines Punktionsortes zu geben, bedarf es zwingend weiterer Studien zur Überprüfung der Sicherheit der verschiedenen verfügbaren Punktionsnadeln in den jeweiligen Punktionsorten.

7 Literaturverzeichnis

1. Akoglu H, Akoglu EU, Evman S et al. (2013) Determination of the appropriate catheter length and place for needle thoracostomy by using computed tomography scans of pneumothorax patients. *Injury* 44:1177-1182
2. American College of Surgeons (2012) American College of Surgeons Committee on Trauma. In: American College of Surgeons (ed) ATLS Student Course Manual. American College of Surgeons, p 94-119
3. Anderson M, Fitzgerald M, Martin K et al. (2015) A procedural check list for pleural decompression and intercostal catheter insertion for adult major trauma. *Injury* 46:42-44
4. Anonymous (2009) Präklinisches Traumamanagement.
5. Aylwin CJ, Brohi K, Davies GD et al. (2008) Pre-hospital and in-hospital thoracostomy: indications and complications. *Annals of the Royal College of Surgeons of England* 90:54-57
6. Ball CG, Wyrzykowski AD, Kirkpatrick AW et al. (2010) Thoracic needle decompression for tension pneumothorax: clinical correlation with catheter length. *Canadian journal of surgery. Journal canadien de chirurgie* 53:184-188
7. Barton ED (1999) Tension pneumothorax. *Current opinion in pulmonary medicine* 5:269-274
8. Barton ED, Epperson M, Hoyt DB et al. (1995) Prehospital needle aspiration and tube thoracostomy in trauma victims: a six-year experience with aeromedical crews. *The Journal of emergency medicine* 13:155-163
9. Beckett A, Savage E, Pannell D et al. (2011) Needle decompression for tension pneumothorax in Tactical Combat Casualty Care: do catheters placed in the midaxillary line kink more often than those in the midclavicular line? *The Journal of trauma* 71:S408-412
10. Bernardin B, Troquet J-M (2012) Initial management and resuscitation of severe chest trauma. *Emergency medicine clinics of North America* 30:377-400
11. Biffi WL (2004) Needle thoracostomy: a cautionary note. *Academic Emergency Medicine* 11:795-796
12. Blaivas M (2010) Inadequate needle thoracostomy rate in the prehospital setting for presumed pneumothorax: an ultrasound study. *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine* 29:1285-1289
13. Boyle MJ, Williams B, Dousek S (2012) Do mannequin chests provide an accurate representation of a human chest for simulated decompression of tension pneumothoraxes? *World* 3:265-269
14. Brims FJ, Maskell NA (2013) Ambulatory treatment in the management of pneumothorax: a systematic review of the literature. *Thorax* 68:664-669
15. Britten S, Palmer S, Snow T (1996) Needle thoracocentesis in tension pneumothorax: insufficient cannula length and potential failure. *Injury* 27:321-322
16. Britten S, Palmer SH (1996) Chest wall thickness may limit adequate drainage of tension pneumothorax by needle thoracocentesis. *Journal of accident & emergency medicine* 13:426-427
17. Buschmann C, Kleber C (2013) No more tension pneumothorax in unsuccessfully resuscitated patients with penetrating chest trauma at autopsy! *Injury* 44:1659
18. Buschmann C, Poloczek S, Giesecke MT et al. (2013) Vermeidbare Todesfälle nach Trauma. *Notarzt Der* 29:91-98
19. Bushby N, Fitzgerald M, Cameron P et al. (2005) Prehospital intubation and chest decompression is associated with unexpected survival in major thoracic blunt trauma. *Emergency medicine Australasia : EMA* 17:443-449

20. Cai W, Lee JG, Fikry K et al. (2012) MDCT quantification is the dominant parameter in decision-making regarding chest tube drainage for stable patients with traumatic pneumothorax. *Computerized medical imaging and graphics : the official journal of the Computerized Medical Imaging Society* 36:375-386
21. Campbell J (2012) Invasive Maßnahmen bei Thoraxtrauma. In: *Präklinische Traumatologie*. Pearson Studium, p 142-149
22. Cantwell K, Burgess S, Patrick I et al. (2014) Improvement in the prehospital recognition of tension pneumothorax: the effect of a change to paramedic guidelines and education. *Injury* 45:71-76
23. Carter TE, Mortensen CD, Kaistha S et al. (2013) Needle decompression in appalachia do obese patients need longer needles? *The western journal of emergency medicine* 14:650-652
24. Chang SJ, Ross SW, Kiefer DJ et al. (2014) Evaluation of 8.0-cm needle at the fourth anterior axillary line for needle chest decompression of tension pneumothorax. *The journal of trauma and acute care surgery* 76:1029-1034
25. Coats TJ, Wilson AW, Xeropotamous N (1995) Pre-hospital management of patients with severe thoracic injury. *Injury* 26:581-585
26. Cullinane DC, Morris JA, Jr., Bass JG et al. (2001) Needle thoracostomy may not be indicated in the trauma patient. *Injury* 32:749-752
27. Currie GP, Alluri R, Christie GL et al. (2007) Pneumothorax: an update. *Postgraduate medical journal* 83:461-465
28. Davis DP, Pettit K, Rom CD et al. (2005) The safety and efficacy of prehospital needle and tube thoracostomy by aeromedical personnel. *Prehospital Emergency Care* 9:191-197
29. Deakin CD, Davies G, Wilson A (1995) Simple thoracostomy avoids chest drain insertion in prehospital trauma. *The Journal of trauma* 39:373-374
30. Dominguez KM, Ekeh AP, Tchorz KM et al. (2013) Is routine tube thoracostomy necessary after prehospital needle decompression for tension pneumothorax? *American journal of surgery* 205:329-332; discussion 332
31. Eckstein M, Suyehara D (1998) Needle thoracostomy in the prehospital setting. *Prehospital emergency care : official journal of the National Association of EMS Physicians and the National Association of State EMS Directors* 2:132-135
32. Economic E, Statistics S (2005) *OECD Factbook 2005*.
33. Elsayed H, Roberts R, Emadi M et al. (2010) Chest drain insertion is not a harmless procedure--are we doing it safely? *Interactive cardiovascular and thoracic surgery* 11:745-748
34. Escott ME, Gleisberg GR, Kimmel K et al. (2014) Simple thoracostomy. Moving beyond needle decompression in traumatic cardiac arrest. *JEMS : a journal of emergency medical services* 39:26-32
35. Ferrie EP, Collum N, MCGovern S (2005) The right place in the right space? Awareness of site for needle thoracocentesis. *Emergency medicine journal : EMJ* 22:788-789
36. Fitzgerald M, Mackenzie CF, Marasco S et al. (2008) Pleural decompression and drainage during trauma reception and resuscitation. *Injury* 39:9-20
37. Givens ML, Ayotte K, Manifold C (2004) Needle thoracostomy: implications of computed tomography chest wall thickness. *Academic emergency medicine* 11:211-213
38. Grabo D, Inaba K, Hammer P et al. (2014) Optimal training for emergency needle thoracostomy placement by prehospital personnel: didactic teaching versus a cadaver-based training program. *The journal of trauma and acute care surgery* 77:S109-113
39. Green S (2011) *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.1.0 [updated March 2011]*. The Cochrane Collaboration
40. Griffiths JR, Roberts N (2005) Do junior doctors know where to insert chest drains safely? *Postgraduate medical journal* 81:456-458

41. Guba B (2008) Systematische Literatursuche. Wiener Medizinische Wochenschrift 158:62-69
42. Harcke HT, Mabry RL, Mazuchowski EL (2013) Needle thoracocentesis decompression: observations from postmortem computed tomography and autopsy. Journal of special operations medicine : a peer reviewed journal for SOF medical professionals 13:53-58
43. Harcke HT, Pearse LA, Levy AD et al. (2007) Chest wall thickness in military personnel: implications for needle thoracocentesis in tension pneumothorax. Military medicine 172:1260-1263
44. Harris T, Davenport R, Hurst T et al. (2012) Improving outcome in severe trauma: trauma systems and initial management: intubation, ventilation and resuscitation. Postgraduate medical journal 88:588-594
45. Hatch Q, Debarros M, Johnson E et al. (2014) Standard laparoscopic trocars for the treatment of tension pneumothorax: A superior alternative to needle decompression. Journal of Trauma and Acute Care Surgery 77:170-175
46. Hecker M, Hegenscheid K, Lange J et al. (2012) Nadeldekompression beim Spannungspneumothorax _ Ist eine suffiziente Druckentlastung mit der empfohlenen Nadellänge möglich?
47. Heng K, Bystrzycki A, Fitzgerald M et al. (2004) Complications of intercostal catheter insertion using EMST techniques for chest trauma. ANZ journal of surgery 74:420-423
48. Höch A, Hammer N, Brandmaier P et al. Nadeldekompression des Thorax. Notfallmedizin up2date 10:4-8
49. Holcomb JB, Mcmanus JG, Kerr S et al. (2009) Needle versus tube thoracostomy in a swine model of traumatic tension hemopneumothorax. Prehospital Emergency Care 13:18-27
50. Huber-Wagner S, Korner M, Ehrh A et al. (2007) Emergency chest tube placement in trauma care - which approach is preferable? Resuscitation 72:226-233
51. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick M et al. (2007) Outcome in 757 severely injured patients with traumatic cardiorespiratory arrest. Resuscitation 75:276-285
52. Inaba K, Branco BC, Eckstein M et al. (2011) Optimal positioning for emergent needle thoracostomy: a cadaver-based study. The Journal of trauma 71:1099-1103; discussion 1103
53. Inaba K, Ives C, McClure K et al. (2012) Radiologic evaluation of alternative sites for needle decompression of tension pneumothorax. Archives of surgery (Chicago, Ill. : 1960) 147:813-818
54. Jones R, Hollingsworth J (2002) Tension pneumothoraces not responding to needle thoracocentesis. Emergency medicine journal 19:176-177
55. Kaneda H, Nakano T, Taniguchi Y et al. (2013) Three-step management of pneumothorax: time for a re-think on initial management. Interactive cardiovascular and thoracic surgery 16:186-192
56. Kim J, Jeong J, Cho SJ et al. (2010) Needle Decompression for Trauma Patients: Chest Wall Thickness and Size of the Needle. Journal of the Korean Society of Traumatology 23:63-67
57. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M et al. (2013) Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management strategies and trauma management education. World journal of surgery 37:1154-1161
58. Krämer R (2015) Laienreanimation: Gibt es eine optimale Ausbildungsdauer? In:Freie Universität Berlin, Germany
59. Ladehof K, Neitzel C (2012) Taktische Medizin. Springer Verlag
60. Lamblin A, Turc J, Bylicki O et al. (2014) Measure of chest wall thickness in French soldiers: which technique to use for needle decompression of tension pneumothorax at the front? Military medicine 179:783-786
61. Lee C, Revell M, Porter K et al. (2007) The prehospital management of chest injuries: a consensus statement. Faculty of Pre-hospital Care, Royal College of Surgeons of Edinburgh. Emergency medicine journal : EMJ 24:220-224

62. Lee C, Revell M, Porter K et al. (2007) The prehospital management of chest injuries: a consensus statement. Faculty of Pre-hospital Care, Royal College of Surgeons of Edinburgh. *Emergency medicine journal* : EMJ 24:220-224
63. Leigh-Smith S (2006) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation--ruling out tension pneumothorax in cardiac arrest. *Resuscitation* 71:395; author reply 395-396
64. Leigh-Smith S, Davies G (2007) Indications for thoracic needle decompression. *The Journal of trauma* 63:1403-1404
65. Leigh-Smith S, Harris T (2005) Tension pneumothorax—time for a re-think? *Emergency medicine journal*: EMJ 22:8
66. Lesquen HD, Avaro JP, Gust L et al. (2014) Surgical management for the first 48 h following blunt chest trauma: state of the art (excluding vascular injuries). *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*
67. Levels of Evidence Working Group (2011) The Oxford 2011 Levels of Evidence <http://www.cebm.net/index.aspx?o=5653>, letzter Zugriff: 05.09.2015
68. Lubin D, Tang AL, Friese RS et al. (2013) Modified Veress needle decompression of tension pneumothorax: a randomized crossover animal study. *The journal of trauma and acute care surgery* 75:1071-1075
69. Mabry R, Mcmanus JG (2008) Prehospital advances in the management of severe penetrating trauma. *Critical care medicine* 36:S258-S266
70. Mann C (2003) Observational research methods. Research design II: cohort, cross sectional, and case-control studies. *Emergency Medicine Journal* 20:54-60
71. Marinaro JL, Kenny CV, Smith SR et al. (2003) Needle thoracostomy in trauma patients: what catheter length is adequate? *Academic Emergency Medicine* 10:495
72. Martin M, Satterly S, Inaba K et al. (2012) Does needle thoracostomy provide adequate and effective decompression of tension pneumothorax? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 73:1412-1417
73. Massarutti D, Trillò G, Berlot G et al. (2006) Simple thoracostomy in prehospital trauma management is safe and effective: a 2-year experience by helicopter emergency medical crews. *European Journal of Emergency Medicine* 13:276-280
74. Mclean AR, Richards ME, Crandall CS et al. (2011) Ultrasound determination of chest wall thickness: implications for needle thoracostomy. *The American journal of emergency medicine* 29:1173-1177
75. Mcpherson JJ, Feigin DS, Bellamy RF (2006) Prevalence of tension pneumothorax in fatally wounded combat casualties. *The Journal of trauma* 60:573-578
76. Menger R, Telford G, Kim P et al. (2012) Complications following thoracic trauma managed with tube thoracostomy. *Injury* 43:46-50
77. Mistry N, Bleetman A, Roberts KJ (2009) Chest decompression during the resuscitation of patients in prehospital traumatic cardiac arrest. *Emergency medicine journal* : EMJ 26:738-740
78. Netto FA, Shulman H, Rizoli SB et al. (2008) Are needle decompressions for tension pneumothoraces being performed appropriately for appropriate indications? *Am J Emerg Med* 26:597-602
79. Ollenschläger G, Thomeczek C, Kirchner H et al. (2000) Leitlinien und Evidenz-basierte Medizin in Deutschland. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 33:82-89
80. Parlak M, Uil SM, Van Den Berg JW (2012) A prospective, randomised trial of pneumothorax therapy: manual aspiration versus conventional chest tube drainage. *Respiratory medicine* 106:1600-1605
81. Powers WF, Clancy TV, Adams A et al. (2014) Proper catheter selection for needle thoracostomy: a height and weight-based criteria. *Injury* 45:107-111
82. Rajan JN, De Mello WF (2012) An alternative approach to needle thoracostomy for tension pneumothorax. *Injury* 43:1230-1231; author reply 1231

83. Rathinam S, Bleetman A, Steyn RS (2008) Needle thoracostomy in treatment of a tension pneumothorax in trauma patients. *The Journal of trauma* 65
84. Rathinam S, Quinn DW, Bleetman A et al. (2011) Evaluation of ThoraQuik: a new device for the treatment of pneumothorax and pleural effusion. *Emergency medicine journal* : EMJ 28:750-753
85. Rawlins R, Brown K, Carr C et al. (2003) Life threatening haemorrhage after anterior needle aspiration of pneumothoraces. A role for lateral needle aspiration in emergency decompression of spontaneous pneumothorax. *Emergency medicine journal* 20:383-384
86. Sanchez LD, Straszewski S, Saghir A et al. (2011) Anterior versus lateral needle decompression of tension pneumothorax: comparison by computed tomography chest wall measurement. *Academic emergency medicine : official journal of the Society for Academic Emergency Medicine* 18:1022-1026
87. Schreiber MA (2012) The death of another sacred cow: comment on "radiologic evaluation of alternative sites for needle decompression of tension pneumothorax". *Archives of surgery (Chicago, Ill. : 1960)* 147:818-819
88. Schroeder E, Valdez C, Krauthamer A et al. (2013) Average chest wall thickness at two anatomic locations in trauma patients. *Injury* 44:1183-1185
89. Scott AJ, Davies SJ, Vassiliu P (2012) Development of a tension pneumothorax despite intercostal drain insertion. *BMJ case reports* 2012
90. Seitz S, Kanz KG, Huber-Wagner SM et al. (2005) Der präklinische Pneumothorax - Indikation und Technik für die Dekompression. *Notarzt Der* 21:125-129
91. Stevens RL, Rochester AA, Busko J et al. (2009) Needle thoracostomy for tension pneumothorax: failure predicted by chest computed tomography. *Prehospital Emergency Care* 13:14-17
92. Studer NM, Horn GT, Armstrong JH (2013) Self-rated readiness for performance of needle decompression in combat lifesaver training. *Military medicine* 178:1218-1221
93. Sztajnkrzyer MD (2008) Needle thoracostomy by non-medical law enforcement personnel: preliminary data on knowledge retention. *Prehospital and disaster medicine* 23:553-557
94. Tien HC, Jung V, Rizoli SB et al. (2008) An evaluation of tactical combat casualty care interventions in a combat environment. *Journal of the American College of Surgeons* 207:174-178
95. Unfallchirurgie DGF (2011) S3 - Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/012-019.html>, letzter Zugriff 05.09.2015
96. Warner KJ, Copass MK, Bulger EM (2008) Paramedic use of needle thoracostomy in the prehospital environment. *Prehospital emergency care : official journal of the National Association of EMS Physicians and the National Association of State EMS Directors* 12:162-168
97. Wax DB, Leibowitz AB (2007) Radiologic assessment of potential sites for needle decompression of a tension pneumothorax. *Anesthesia & Analgesia* 105:1385-1388
98. Waydhas C, Sauerland S (2007) Pre-hospital pleural decompression and chest tube placement after blunt trauma: A systematic review. *Resuscitation* 72:11-25
99. Waydhas C, Sauerland S (2003) Thoraxtrauma und Thoraxdrainage: Diagnostik und Therapie—Ein systematisches Review. *Notfall & Rettungsmedizin* 6:627-639
100. Wayne M, Mcswain Jr N (1980) Clinical evaluation of a new device for the treatment of tension pneumothorax. *Annals of surgery* 191:760
101. Woodson J (2012) Needle Decompression of Tension Pneumothorax Tactical Combat Casualty Care Guidelines Recommendation 2012-05. <http://www.health.mil/Reference-Center/Reports/2012/07/06/Needle-Decompression-of-Tension-Pneumothorax-Tactical-Combat-Casualty-Care-Guideline-Recommendations>, letzter Zugriff 05.09.2015

102. Yamagiwa T, Morita S, Yamamoto R et al. (2012) Determination of the appropriate catheter length for needle thoracostomy by using computed tomography scans of trauma patients in Japan. *Injury* 43:42-45
103. Zengerink I, Brink PR, Laupland KB et al. (2008) Needle thoracostomy in the treatment of a tension pneumothorax in trauma patients: what size needle? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 64:111-114

8 Anhang

8.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Literatursuche bei <i>pubmed</i>	7
Tabelle 2: Literatursuche bei <i>MEDPILOT</i>	7
Tabelle 3: Literatursuche bei <i>google scholar</i>	8
Tabelle 4: Übersicht der gefundenen Arbeiten.....	26
Tabelle 5: Prozentuale Angaben bezüglich der Nadeldekompressionen, die an verschiedenen Punktionsorten mit diversen Nadellängen untersucht wurden.....	29
Tabelle 6: Median und Interquartilabstände berechnet aus den Ergebnissen aller verfügbaren Studien.....	35
Tabelle 7: Ergebnisse der Bestimmung der Thoraxwanddicke an unterschiedlichen Punktionsorten .	36

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Literatursuche	9
Abbildung 2: Schema des <i>Oxford Centre for Evidence-Based Medicine</i> zur Zuordnung der Evidenzlevel: http://www.cebm.net/index.aspx?o=5653 , letzter Zugriff 05.09.2015.....	10
Abbildung 3: Ergebnisse der Studien, die die Nadeldekompression mit 4,5 cm langen Nadeln im 2.ICR MCL untersuchten	30
Abbildung 4: Ergebnisse der Studien, die die Nadeldekompression im 2.ICR MCL mit einer 5,0 cm langen Nadel untersuchten	31
Abbildung 5: Darstellung der Untersuchungen, die die Nadeldekompression im 4./5.ICR AAL und MAL mit einer 5,0 cm Nadel evaluierten	32
Abbildung 6: Gegenüberstellung der Ergebnisse der 5,0 cm und 8,0 (8,3) cm langen Nadeln an den Punktionsorten 2.ICR MCL und 4./5.ICR AAL	33
Abbildung 7 Ergebnisse der Studien, die die erfolgreichen Simulationen mit unterschiedlichen Nadellängen an diversen Punktionsorten untersuchten	34
Abbildung 9: Darstellung der erhobenen Thoraxwanddicken im 2.ICR MCL	38
Abbildung 10: Ergebnisse der Thoraxwanddicke im 4./5.ICR MAL	39
Abbildung 11: Messergebnisse der Thoraxwanddicke an den Punktionsorten 2.ICR MCL, 4./5.ICR AAL und 4./5.ICR MAL.....	40

8.3 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	
2.ICR MCL	2. Interkostalraum Medioklavikularlinie
4./5.ICR AAL	4./5. Interkostalraum anteriore Axillarlinie
4./5.ICR MAL	4./5. Interkostalraum mediale Axillarlinie
TWD	Thoraxwanddicke
ATLS	<i>Advanced Trauma Life Support</i>
ITLS	<i>International Trauma Life Support</i>
BMI	Body-Mass-Index

9 Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema:

**Die Nadeldekompression bei Spannungspneumothorax in der präklinischen Versorgung:
Wahl der Nadellänge und des Punktionsortes**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und

alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München
Ort, Datum

Derkje K. Hockertz

10 Lebenslauf

zur Person:

Name: Derkje Katharina Hockertz
Geburtsdatum/-ort: 10.11.1984 in Hannover
Eltern: Dr. med. Thomas Johannes Hockertz
Dr. med. Ingrid Hockertz (geb. Voigt)
Geschwister: Henning Wilhelm (29.10.87) und Marieke Anna Hockertz (09.01.89)
Staatsangehörigkeit: Deutsch

Beruflicher Werdegang:

2004: Abitur am humanistischen Gymnasium Große Schule Wolfenbüttel
2008-2014: Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität und Technischen Universität München
2010: Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (Note 2)
Ab 2010: Absolvierung des klinischen Studienabschnitts an der TU München, Klinikum rechts der Isar
2014: Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (Note 1,5)
15.08.2015: Anstellung als Assistenzärztin in der Chirurgischen Klinik Dr.Rinecker in der Unfallchirurgie

11 Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Karl-Georg Kanz für die Überlassung des Themas und die wertvolle und motivierende Unterstützung bei der Ausarbeitung dieser Dissertation. Zudem schätze ich Herrn Prof. Kanz persönlich sehr als äußerst erfahrenen und überaus geduldigen Lehrer.

Mein Dank gilt auch in besonderem Maße Herrn Dr. med. Heiko Trentzsch. Ich möchte mich für seine konstruktiven Anregungen und die außerordentlich freundliche Betreuung herzlich bedanken.

Weiter danke ich meinen Eltern und meinen Geschwistern Henning und Marieke für die zahllosen Ermutigungen im Zuge der Erarbeitung der Doktorarbeit, sowie für die liebevolle Unterstützung während des gesamten Studiums und darüber hinaus!

Nicht zuletzt möchte ich Darko, Sandra, Luisa und Mine meinen aufrichtigen Dank für ihren ständigen Rückhalt, die herzliche Fürsorge und innige Verbundenheit aussprechen!

Derkje Katharina Hockertz