

Aus dem Zentrum für Klinische Forschung des  
BG Klinikums Unfallkrankenhaus Berlin gGmbH

## **DISSERTATION**

# **Diagnostische Genauigkeit einer Ultraschalluntersuchung zur Detektion von thorakoabdominellen Traumafolgen im Rahmen der Schwerverletztenversorgung**

**Ein diagnostisches Cochrane Review und dessen Bedeutung  
im Kontext von Leitlinien und verschiedenen  
Versorgungsbedingungen**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité Universitätsmedizin Berlin

von

**Johannes Leisterer**

aus Berlin

<http://dx.doi.org/10.17169/refubium-30449>

Datum der Promotion: 17.09.2021

## Vorwort

**Zugrundeliegende Publikation:** Stengel D, Leisterer J, Ferrada P, Ekkernkamp A, Mutze S, Hönning A. Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2018, Issue 12. Art. No.: CD012669. DOI: 10.1002/14651858.CD012669.pub2

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Verletzungsgeschehen in Deutschland .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Schockraummanagement im Einzelfall und Massenansturm von Verletzten .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Bildgebung.....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Golden hour of shock .....	16
1.3.2 FAST – eine Begriffsdefinition .....	16
1.3.3 Grundprinzip der FAST-Untersuchung .....	17
1.3.4 Grundprinzip der eFAST-Untersuchung .....	18
<b>1.4 Diagnostische Verfahren, Genauigkeit und Nutzen .....</b>	<b>20</b>
<b>1.5 Leitlinien und Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>22</b>
1.5.1 Nationale Handlungsempfehlung – S3-Leitlinie Polytrauma der DGU .....	22
1.5.2 Internationale Empfehlungen .....	24
<b>2. Fragestellungen .....</b>	<b>29</b>
<b>3. Material und Methoden .....</b>	<b>29</b>
3.1 Cochrane-Review, ein zeitlicher Überblick .....	29
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien .....	30
3.3 Klinische Diagnostik .....	31
3.4 Quantitative Betrachtung .....	31
3.5 Qualitative Betrachtung .....	32
3.6 Statistische Analyse.....	33
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>35</b>
4.1 Studienauswahl .....	35
4.2 Studienqualität.....	36
4.3 Diagnostische Genauigkeit.....	39
4.4 Heterogenitätsanalyse .....	40
4.5 Sensitivitätsanalysen .....	46
<b>5. Diskussion.....</b>	<b>49</b>
5.1 Hauptergebnisse .....	49
5.2 Heterogene Sensitivität-/ Spezifitätswerte, mögliche Erklärungsansätze .....	50
5.3 Ergebnisintegration in Leitlinien .....	51
5.4 Limitationen des Reviews, Stärken und Schwächen .....	51

5.5	Nationale Versorgungslage .....	52
5.6	Präklinische Ultraschalluntersuchung (pFAST) .....	60
5.7	Kontrastmittelunterstützter Ultraschall.....	61
<b>6.</b>	<b>Schlussfolgerung.....</b>	<b>62</b>
<b>7.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>63</b>
7.1	Suchstrategien.....	63
7.1.1	Ovid Medline .....	63
7.1.2	Ovid Embase .....	65
7.1.3	Pubmed Medline .....	68
7.1.4	BIOSIS Database.....	69
7.2	Quadas-2 Instrument.....	70
7.3	Literaturverzeichnis.....	77
<b>8.</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>81</b>
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>83</b>
<b>10.</b>	<b>Publikation der Ergebnisse .....</b>	<b>86</b>
<b>11.</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>87</b>

## Abbildungsverzeichnis:

- Abbildung 1: eigene Untersuchung, FAST-Diagnostik
- Abbildung 2: Lewis, D. (2019) 'PoCUS – Pneumothorax', Available at: <http://sjrhem.ca/pocus-pneumothorax> (Accessed: February 02, 2020).
- Abbildung 3: Critical Care Northampton 'Thoracic and other Images, summary of chest findings', Available at: <https://criticalcarenorthampton.com/thoracic-other-images/> (Accessed: May 05, 2020).
- Abbildung 4: Kozul, C., Judson, R., Gumm, K., Santos, R., Walsh, M., Pascoe, D. and ACT (2017) 'Blunt Abdominal Trauma', Available at: [https://www.thermh.org.au/sites/default/files/media/documents/clinical/TRM05.03%20Blunt%20Abdominal%20Trauma%20Guideline%20V2\\_08.17.pdf](https://www.thermh.org.au/sites/default/files/media/documents/clinical/TRM05.03%20Blunt%20Abdominal%20Trauma%20Guideline%20V2_08.17.pdf), *Advisory Committee on Trauma*, 5 (Accessed: June 21, 2019).
- Abbildung 5: Iowa Methodist Medical Center (2014) 'Blunt Abdominal Trauma Evaluation and Management Guideline', Available at: <https://www.unitypoint.org/desmoines/filesimages/Services/Trauma/Trauma%20Guidelines%202017/ADULT%20Blunt%20Abdominal%20Injury%20Management%20Protocol%20and%20Algorithm.pdf> (Accessed: June 22, 2019).
- Abbildung 6: Washington State Department of Health (2017) 'Evaluation and Management of Blunt Abdominal Trauma', Available at: <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/530168.pdf> (Accessed: June 23, 2019).
- Abbildung 7: Pace, J., Arntfield, R. (2018) 'Focused assessment with sonography in trauma: a review of concepts and considerations for anesthesiology', *Canadian Journal of Anaesthesia*, 65, 360-370.
- Abbildung 8-12: Stengel D, Leisterer J, Ferrada P, Ekkernkamp A, Mutze S, Hönning A. (2018) 'Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma', *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Issue 12. Art. No.: CD012669. DOI: 10.1002/14651858.CD012669.pub2.

Abbildung 13-14: Statistisches Bundesamt (2018c) 'Grunddaten der Krankenhäuser', *Fachserie 12 Reihe 6.1.1*, 1-125.

Abbildung 15-16: Statistisches Bundesamt (2018b) 'Fläche und Bevölkerung nach Ländern.' Available at: <https://www.statistikportal.de/de/bevoelkerung/flaeche-und-bevoelkerung> (Accessed: August 07,2019).

Abbildung 17: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR (2013) 'Wie weit ist es zum nächsten Krankenhaus? '. Available at: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Home/Topthemen/krankenhaus\\_erreikbaarheit.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Home/Topthemen/krankenhaus_erreikbaarheit.html) (Accessed: August 03, 2019).

### **Tabellenverzeichnis:**

Tabelle 1: Frink, M., Lechler, P., Debus, F. und Ruchholtz, S. (2017) 'Polytrauma und Schockraummanagement'. Available at: <https://www.aerzteblatt.de/archiv/192550/Polytrauma-und-Schockraummanagement> (Accessed: June 04, 2019).

Tabelle 2-5: Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (2016) 'Die S3-Leitlinie Polytrauma/ Schwerverletzten-Behandlung', Available at: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012019l\\_S3\\_Polytrauma\\_Schwererletzten-Behandlung\\_2017-08.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012019l_S3_Polytrauma_Schwererletzten-Behandlung_2017-08.pdf), 256 – 304 (Accessed: July 22, 2019).

Tabelle 6-10: Stengel D, Leisterer J, Ferrada P, Ekkernkamp A, Mutze S, Hönning A. (2018) 'Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma', *Cochrane Database of Systematic Reviews*. Issue 12. Art. No.: CD012669. DOI: 10.1002/14651858.CD012669.pub2.

## Abkürzungsverzeichnis:

(e)FAST	(Extended) Focused Assessment with Sonography for Trauma
(p)FAST	(Prehospital) Focused Assessment with Sonography for Trauma
ACS	American College of Surgeons
ATLS	Advanced Trauma Life Support
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
CIG	Cochrane Injuries Group
CEBM	Centre for Evidence-Based Medicine
CT	Computertomographie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DPL	Diagnostische Peritoneallavage
DTA	Diagnostic Test Accuracy
FN	Falsch negativ
FP	Falsch positiv
KI	Konfidenzintervall
MANV	Massenanfall von Verletzten
MRT	Magnetresonanztomographie
POCS	Point-of-Care-Sonography
QUADAS	Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies
RISC	Revised Injury Severity Classification Score
RN	Richtig negativ
ROC	Receiver Operating Characteristics
RP	Richtig positiv
SMR	Standardisierte Mortalitätsrate
SN	Sensitivität
SP	Spezifität
SPPIN	Specificity is so high that Positive results rule the diagnosis IN
SROC	Summary Receiver Operating Characteristics
WBCT	Weight Bearing Cone Beam Computed Tomography

## **Glossar:**

Negativ prädiktiver Vorhersagewert [NPV]	Wahrscheinlichkeit, dass eine Person bei negativen Testergebnis auch gesund ist (Schwarzer, Türp and Antes, 2002).
Negative Likelihood Ratio [LR-]	Der negative Likelihood Ratio gibt an, wie viel Mal wahrscheinlicher ein negatives Testergebnis bei Gesunden eintritt als bei Kranken.
Positiv prädiktiver Vorhersagewert [PPV]	Wahrscheinlichkeit, dass eine Person bei positiven Testergebnis tatsächlich krank ist (Schwarzer, Türp and Antes, 2002).
Positive Likelihood Ratio [LR+]	Der positive Likelihood Ratio gibt an, wie viel Mal wahrscheinlicher ein positives Testergebnis bei Kranken eintritt als bei Gesunden.



## **Abstract**

### **Hintergrund**

Die zeiteffektive und prioritätenorientierte Behandlung gemäß des „treat first what kills first“ Paradigmas bestimmt wesentlich das Outcome Schwerverletzter. Die Ultraschalluntersuchung des Thorax und Abdomens stellt einen integralen Bestandteil des Schockraummanagements dar. Die diagnostische Genauigkeit eines bildgebenden Verfahrens steht am Anfang der Nutzenbewertung, entscheidet aber über dessen therapeutische Konsequenzen. Anhand einer Meta-Analyse im Rahmen eines Cochrane-Reviews sollten die Genauigkeit der Sonografie in diesem klinischen Szenario bestimmt und die Ergebnisse in den Kontext von Leitlinien und klinischen Versorgungsbedingungen gebracht werden.

### **Methoden**

Es wurde eine systematische Literaturrecherche in Ovid Medline und Embase, PubMed Medline, Biosis sowie der Cochrane Library durchgeführt. Geeignete prospektive und retrospektive Kohortenstudien untersuchten die diagnostische Genauigkeit der Ultraschalluntersuchung als Indextest im Vergleich zu objektiven Referenzstandards wie Computertomografie, Magnetresonanztomografie, intraoperativen Befunden und Obduktionsergebnissen bei Kindern und Erwachsenen mit vermutetem stumpfen thorako-abdominellen Trauma. Sowohl freie Flüssigkeit und Luft als auch nachgewiesene Organ- und Gefäßverletzungen galten als positive Befunde. Die methodische Qualität wurde mit Hilfe des QUADAS-2-Instruments bewertet. Individuelle Studiendaten wurden standardisiert extrahiert, um diagnostische Indizes wie Sensitivität und Spezifität zu ermitteln und diese meta-analytisch zusammenzufassen. Zudem wurden Daten des statistischen Bundesamtes (radiologischer- und intensivmedizinischer Ressourcenvergleich) und globale Leitlinien zur Kontextbildung erhoben.

### **Ergebnisse**

34 Studien mit 8635 Patient\*innen konnten in die Untersuchung eingeschlossen werden. Die gepoolten Sensitivitäts- und Spezifitäts-Schätzer betragen 0,74 (95% Konfidenzintervall [KI] 0,65 – 0,81) bzw. 0,96 (95% KI 0,94 – 0,98). Abhängig von der Studienpopulation und untersuchten Körperregionen bestand erhebliche Heterogenität in der berichteten diagnostischen Genauigkeit. So betrug bei Kindern die Sensitivität 0,63 (95% KI 0,46 – 0,77) und Spezifität 0,91 (95% KI 0,81 – 0,96), bei Erwachsenen bzw. in einer gemischten Population hingegen 0,78 (95% KI 0,69 – 0,84) und 0,97 (95% KI 0,96 – 0,99).

In einer virtuellen Kohorte von 1000 Patient\*innen mit thorakoabdominellen Trauma würden, basierend auf den Studienergebnissen und der beobachteten medianen Prävalenz von 28% bzw. 31% bei Kindern, 73 verletzte erwachsene Patient\*innen bzw. 118 Kinder im Ultraschall als nicht-verletzt und 29 erwachsene Patient\*innen bzw. 62 Kinder fälschlicherweise als verletzt gelten.

## **Schlussfolgerungen**

Die Ultraschalluntersuchung stellt einen wichtigen Baustein der frühen Schwerverletztenversorgung dar, kann aufgrund ihrer unzureichenden Sensitivität Verletzungen des Thorax und Abdomens jedoch nicht ausschließen. Insg. scheint die Sensitivität der Methode bei Thoraxverletzungen höher als bei Bauchtraumen zu sein. Nur knapp die Hälfte aller Krankenhäuser in Deutschland (969 / 1942) halten einen Computertomografen vor, so dass es gelingen muss, die Sensitivität der Ultraschalluntersuchung als breit verfügbares bildgebendes Instrument durch technische und prozessuale Verbesserungen zu erhöhen.

## **Abstract**

### **Background**

Priority-oriented management according to the "treat first what kills first" paradigm determines the outcome of seriously injured patients. Thoraco-abdominal ultrasonography is an integral part of point-of-care (POC) imaging. Diagnostic accuracy resembles the first stage of health-technology assessment but often decides about the therapeutic consequences of an imaging test. A Cochrane review was performed to determine the diagnostic accuracy of thoraco-abdominal POC ultrasonography in a trauma scenario, and to bring findings in the context of practice management guidelines and various care conditions.

### **Methods**

A systematic literature search was carried out in Ovid Medline and Embase, PubMed Medline, Biosis and the Cochrane Library. Eligible studies examined the diagnostic accuracy of ultrasonography as an index test compared to objective reference standards such as computed tomography (CT), magnetic resonance imaging, intraoperative findings and autopsy in children and adults with suspected blunt thoraco-abdominal trauma. Both free fluid and air as well as proven organ and vascular injuries were considered positive results. Methodological quality was assessed by the QUADAS-2 instrument. Individual study data were extracted in a standardized manner to compute diagnostic indices like sensitivity and specificity, and to summarize them by meta-analytic methods. In addition, data from the German Federal Statistical Office and international clinical practice guidelines were considered to interpret findings in a broader context.

### **Results**

34 studies involving 8635 patients were included in the meta-analysis. Sensitivity and specificity were estimated at 0.74 (95% CI 0.65-0.81) and 0.96 (95% CI 0.94-0.98). There was considerable heterogeneity across studies depending on individual populations and body regions. For example, sensitivity and specificity of ultrasonography in children were estimated at 0.63 (95% CI 0.46-0.77) and 0.91 (95% CI 0.81-0.96), whereas in adults and mixed populations estimates were 0.78 (95% CI 0.69-0.84) and 0.97 (95% CI 0.96-0.99). In a virtual cohort of 1000 patients with a median 28% prevalence (31% in children) of thoracoabdominal trauma, 73 and 118 injured adults and children would be overlooked by ultrasound and 29 patients and 62 children would falsely be considered injured.

## **Conclusions**

Thoraco-abdominal ultrasonography is highly specific to reveal but insufficiently sensitive to rule out injuries after blunt trauma. The sensitivity of the method seems to be higher in chest than in abdominal injuries. As only half of hospitals in Germany (969 / 1942) provide a CT scanner, it needs technical and procedural efforts to enhance the sensitivity of ultrasonography as ubiquitously available screening tool for trauma.

# 1. Einleitung

## 1.1 Verletzungsgeschehen in Deutschland

2019 ereigneten sich laut statistischem Bundesamt rund 2,7 Millionen Straßenverkehrsunfälle, 1,9% mehr als im Jahr zuvor. Demgegenüber sank die Zahl der Unfälle mit Personenschäden auf 300.200 (-2,8%), die Anzahl Verletzter auf 387.067 (-3,1%) und die Anzahl Verstorbener auf 3.059 (-6,6%) (Statistisches Bundesamt, 2018a). Nach Schätzungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin machten Verkehrsunfälle insgesamt jedoch nur 4% des Gesamtunfallgeschehens aus und tragen zu etwa 15% aller Unfalltoten in Deutschland bei (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2017).

Im Gegensatz zu Ländern wie den USA und Südafrika (Dijking *et al.* (2018)), wo 60 bis 80% aller Verletzungen auf penetrierende Mechanismen durch Stich- und Schusswaffen zurückzuführen sind, überwiegen in Deutschland und Europa stumpfe Gewalteinwirkungen. Laut den Angaben des Jahresberichts 2019 aus dem TraumaRegisterDGU der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie [DGU], in dem Daten über Schwerstverletzte und Polytraumatisierte aus über 650 Kliniken zentral gesammelt werden, überwogen bei einer Gesamtfallzahl von 32.580 stumpfe (96,2%) gegenüber penetrierenden Verletzungen (3,8%) (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2019). Dieses Verhältnis verschiebt sich in der heutigen Zeit. Jüngere Terrorereignisse und Amokläufe wie beispielsweise in der Stadt Hanau in Hessen im Februar 2020 mit 11 Toten und 5 Verletzten oder in Halle an der Saale Ende 2019 mit 2 Toten und 3 Verletzten unterstreichen die Brisanz des Themas. In der Häufigkeitsverteilung stehen thorakale Verletzungen bei Polytraumatisierten mit 45,2% an zweiter Stelle nach Kopfverletzungen; Verletzungen des Abdomens machen knapp 15% der Gesamt-Traumalast aus. Blutungen aufgrund von größeren Gefäß- oder Organschäden stellen sowohl Rettungsdienste als auch innerklinische Teams vor diagnostische und therapeutische Herausforderungen. Durch Antifibrinolytika wie Tranexamsäure können lebensbedrohliche Blutungen kontrolliert und Transfusionen von Erythrozytenkonzentraten etc. reduziert werden. Die DGU beobachtete innerhalb der letzten vier Jahre eine zunehmende Häufigkeit der Nutzung von Tranexamsäure im präklinischen Setting von 1% auf 30% und im klinischen Setting von 50% auf 65%. In den letzten 10 Jahren konnte womöglich auch aufgrund dieser medizinisch wichtigen Therapiestrategie die Häufigkeit von Bluttransfusionen um 1,6% reduziert werden.

Die Trauma-bedingte Sterblichkeit kann, unter Adjustierung für verschiedene demografische, biologische und Verletzungs-assoziierte Variablen, als standardisierte Mortalitätsrate [SMR], dem Quotienten aus beobachteter und vorhergesagter Sterblichkeit ausgedrückt werden.

Das TraumaRegisterDGU nutzt hierfür den RISC II-Score<sup>1</sup>. Eine SMR >1 deutet darauf hin, dass die Häufigkeit der beobachteten Sterbefälle höher als die erwartete bzw. prognostizierte Häufigkeit ist. Zwischen 2009 und 2019 stieg dieser Wert von 1,03 auf 1,11 an und deutet auf Optimierungsbedarf in der Prozessqualität des Trauma-Managements in Deutschland hin.

## 1.2 Schockraummanagement im Einzelfall und Massenanfall von Verletzten

Modernes Schockraum-Management stellt ein zentrales Element der Schwerverletztenversorgung dar. Es wird durch international standardisierte Handlungsalgorithmen wie beispielsweise das Ausbildungskonzept Advanced Trauma Life Support [ATLS®] gekennzeichnet, welches in den 70er Jahren vom American College of Surgeons [ACS] entwickelt wurde. Dabei hat die Erfassung lebensbedrohlicher Verletzungen und / oder Kreislaufdysregulation oberste Priorität („treat first what kills first“). Sollten keine Vitalfunktionen vorhanden sein, wird sofort vom ATLS-Schema abgewichen und die Reanimation nach den internationalen Richtlinien des European Resuscitation Council durchgeführt. In einem Artikel von Frink et al. (Frink *et al.*, 2017) im deutschen Ärzteblatt aus dem Jahr 2017 wird eine Senkung der Gesamtmortalität von 24,2% auf 0% in der ersten Stunde durch den Einsatz dieses Systems beschrieben. Zentrale Elemente von ATLS® im Rahmen des „Primary Survey“ sind die Kontrolle oberer Atemwege (Airway [A]), der Belüftung (Breathing [B]), der Kreislaufsituation (Circulation [C]), der neurologischen Defizite (Disability [D]) und des Patientenumfeldes (Exposure [E]). Diesem Algorithmus wird häufig ein erstes Sichtungssystem vorgeschaltet, beispielsweise das Manchester-Triage-System, welches eine Ersteinschätzung der Behandlungspriorität erlaubt. Dabei werden schnellstmöglich die vital bedrohten, sofort zu behandelnden Patient\*innen anhand von 200 Indikatoren (Roessler, 2015) identifiziert und in die Gruppe eins (Sofortbehandlung) bis Gruppe fünf (nicht dringliche Behandlung) kategorisiert. Bezugnehmend auf den zuvor genannten Artikel werden klare Empfehlungen zur Aktivierung des Schockraumteams und der damit verbundenen diagnostischen Schritte formuliert, die in der folgenden Tabelle 1 aufgelistet sind.

---

<sup>1</sup> RISC II-Score = „Revised Injury Severity Classification Score“ anhand von 13 Merkmalen, u.a. Alter, Verletzungsmuster, Glasgow-Coma-Scale, Pupillenreaktion, Blutdruck, Gerinnung, etc.

**Tabelle 1** Empfehlungen zur Aktivierung des Schockraumteams (Frink et al. 2017).

Physiologische Parameter	Verletzungsmuster	Unfallmechanismus
Systolischer Blutdruck <90 mmHg nach Trauma	Penetrierende Verletzungen der Rumpf-/ Hals-Region	Sturz aus >3m Höhe
Glasgow Coma Scale < 9 nach Trauma	Schussverletzungen der Rumpf-/ Hals-Region	Verkehrsunfall
Atemstörungen/ Intubationspflicht nach Trauma	Frakturen von mehr als zwei proximalen Knochen	Frontalaufprall mit Intrusion von mehr als 50 - 75cm
	Instabiler Thorax	Geschwindigkeitsveränderung von delta > 30 km/h
	Instabile Beckenfraktur	Fußgänger-/ Zweirad-Kollision
	Amputationsverletzung proximal der Hände / Füße	Tod eines Insassen
	Verletzungen mit neurologischer Querschnittssymptomatik	Ejektion eines Insassen
	Offene Schädelverletzung	
	Verbrennung >20% von Grad >2b	

Diese Notfallsysteme werden vor allem in der Bewältigung von besonderen Lagen mit einem zu erwartenden Massenanfall von Verletzten, den sogenannten MANV-Lagen, beispielsweise nach oben genannten Terroranschlägen aber auch bei Naturkatastrophen oder anderen außergewöhnlichen Vorkommnissen aktiviert. Jedes Ereignis zeigt dabei situationsspezifische Häufungen von Verletzungsmustern mit einer großen Varianz und Dynamik je nach Schadenslage und Art der verwendeten Waffen (Bieler *et al.*, 2018).

Bei terrorassoziierten Ereignissen ähneln die Verletzungen denjenigen nach kriegerischen Auseinandersetzungen (Schuss-/ Explosions-, Splitter- und sonstige perforierende und penetrierende Verletzungen). In diesem Setting liegt das Hauptaugenmerk sowohl in der präklinischen als auch klinischen Versorgung in der Stillung und Versorgung von lebensbedrohlichen Blutungen. Hoch-dynamische Patientenaufkommen in Abhängigkeit von der geografischen Lage der betroffenen Klinik zum Anschlagsort und auch die Gefahr eines „second hit“, dem sogenannten Zweitanschlag, sind weitere terror-spezifische Probleme, die jede einzelne Klinik im Hinblick auf das Ressourcenmanagement vor große Herausforderungen stellt (Achatz *et al.*, 2018).

## 1.3 Bildgebung

### 1.3.1 Golden hour of shock

Auch wenn die von R. Adams Cowley 1975 geprägte „Golden hour of shock“ (Cowley, 1975; Samplais, Denis and Lavoie, 1993; Kleber *et al.*, 2012) mittlerweile eher historischen Charakter besitzt, illustriert sie den überlebenswichtigen Faktor Zeit in der präklinischen Stabilisierung, dem Transfer Verletzter in das nächstgelegene, geeignete Traumazentrum innerhalb eines TraumaNetzwerks und selbstverständlich in der Rettungsstelle bzw. im Schockraum.

Traumatische Blutungen in die großen Körperhöhlen, die tödliche Trias von Azidose und Hypothermie mit hierdurch getriggelter traumatischer Koagulopathie oder retroperitoneale Blutungen aufgrund von schweren Beckenverletzungen müssen sofort identifiziert und im Rahmen von Damage-Control-Konzepten (Bieler *et al.*, 2018) u.a. mit hämostatischen Transfusionsregimen mit 1:1 Gabe von Erythrozyten und Frischplasma, individueller Substitution von Gerinnungsfaktoren, Beckenstabilisierung, etc. kontrolliert werden. Aufgrund der zeitkritischen Komponente ist es wichtig, bildgebende Verfahren so dicht wie möglich am Behandlungs-/ Interventionsort oder Krankenbett vorzuhalten (Point-of-Care [POC]). Die thorako-abdominale Ultraschalluntersuchung ist die bildgebende POC-Technologie schlechthin, welche im Trauma-Szenario üblicherweise als fokussierte Ultraschalluntersuchung des Abdomens (FAST), ergänzt um die Sonografie des Thorax (eFAST) durchgeführt wird.

### 1.3.2 FAST – eine Begriffsdefinition

Die FAST- / eFAST-Sonografie ist ein standardisiertes POC-Verfahren zur klinisch-radiologischen Untersuchung von Traumapatient\*innen im Schockraum im Rahmen des Primary Survey. Sie dient der Darstellung von Blutungen (Hämorrhagie) im Abdomen, Retroperitoneum bzw. Perikard. Dabei geht es bei dieser Untersuchung vornehmlich um die besonders schnelle Detektion von möglicherweise lebensbedrohlichen Verletzungen, die ohne große Verzögerung operativ versorgt werden müssen. Eine detaillierte Aussage zu spezifischen Organverletzungen ist hierbei nachrangig. Wesentliche Vorarbeiten, welche darauf abzielten, den invasiven Referenzstandard der diagnostischen Peritoneallavage [DPL] durch eine nicht-invasive Methode wie die Ultraschalluntersuchung zu ersetzen, stammen von der Arbeitsgruppe um Thomas Tilling am 2. Chirurgischen Lehrstuhl der Universität zu Köln am Klinikum Köln-Merheim Ende der 1980er Jahre, welche jedoch nicht in der wissenschaftlichen Literatur abgebildet werden.

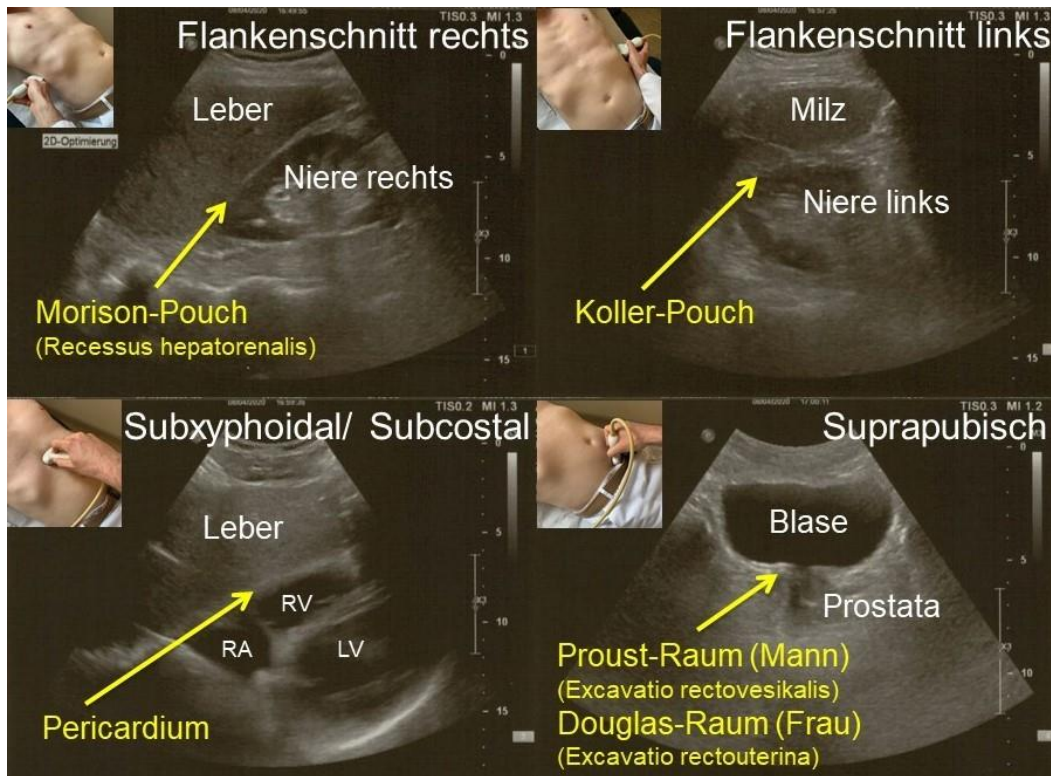


Basierend auf den Kölner Erfahrungen wurden im Jahr 1993 das Untersuchungsprotokoll und die zu untersuchenden Körperregionen durch Grace Frances Rozycki (Rozycki *et al.*, 1993) definiert; zusammen mit Steven R. Shackford (Shackford, 1993) wurde das eingängige, weltweit bekannte Akronym FAST (focused abdominal sonography for trauma oder focused assessment of sonography for trauma) kreiert. 1996 wurde die FAST-Untersuchung in das ATLS-Konzept integriert (Han *et al.*, 1996). Sieben Jahre nach der Erstbeschreibung wandten 79% aller US-Amerikanischen Level-I-Trauma-Zentren die FAST-Untersuchung zur Diagnostik von stumpfen Bauchtraumen an (Todd Miller *et al.*, 2003). 2004 wurde erstmalig auch von einer erweiterten Ultraschalluntersuchung (extended FAST, eFAST) gesprochen, welche dem Nachweis von thorakalen Verletzungen wie z.B. Pneumothorax oder Hämatothorax dient (Kirkpatrick *et al.*, 2004). Die Ultraschalluntersuchung überzeugt durch ihre ubiquitäre Verfügbarkeit, schnelle Durchführbarkeit und fehlende Strahlenexposition. Im internationalen Kontext fällt die FAST-/eFAST-Untersuchung unter den allgemeineren Oberbegriff Point-of-Care-Sonography (POCS).

### 1.3.3 Grundprinzip der FAST-Untersuchung

Das standardmäßige Vorgehen dieser Untersuchung konzentriert sich auf vier Regionen des Abdomens, die mittels eines Konvexschallkopfes nacheinander untersucht werden (Abb. 1): rechtsseitiger Flankenschnitt zur Einsicht des perihepatischen und hepatorenenalen Raumes (Morison-Pouch), linksseitiger Flankenschnitt zur Einsicht des perisplenischen Raumes (Koller-Pouch), suprapubischer Längs- und Querschnitt zur Einsicht des kleinen Beckens (Excavatio rectouterina, sog. Douglas-Raum bei Frauen / Excavatio rectovesicalis, sog. Proust-Raum bei Männern) und nach kranial gerichteter Oberbauch-Querschnitt zur Einsicht des Perikards (subxyphoidal / subcostal). Die Dichteunterschiede zwischen Flüssigkeit (echofrei) und festen Gewebestrukturen (echodichter) lassen eine Extravasation bzw. Blutung gut erkennen.

**Abb. 1** Visuelle Darstellung der FAST-Diagnostik (RV=rechter Ventrikel, LV=linker Ventrikel, RA=rechter Vorhof). Quelle: Eigene Untersuchung.



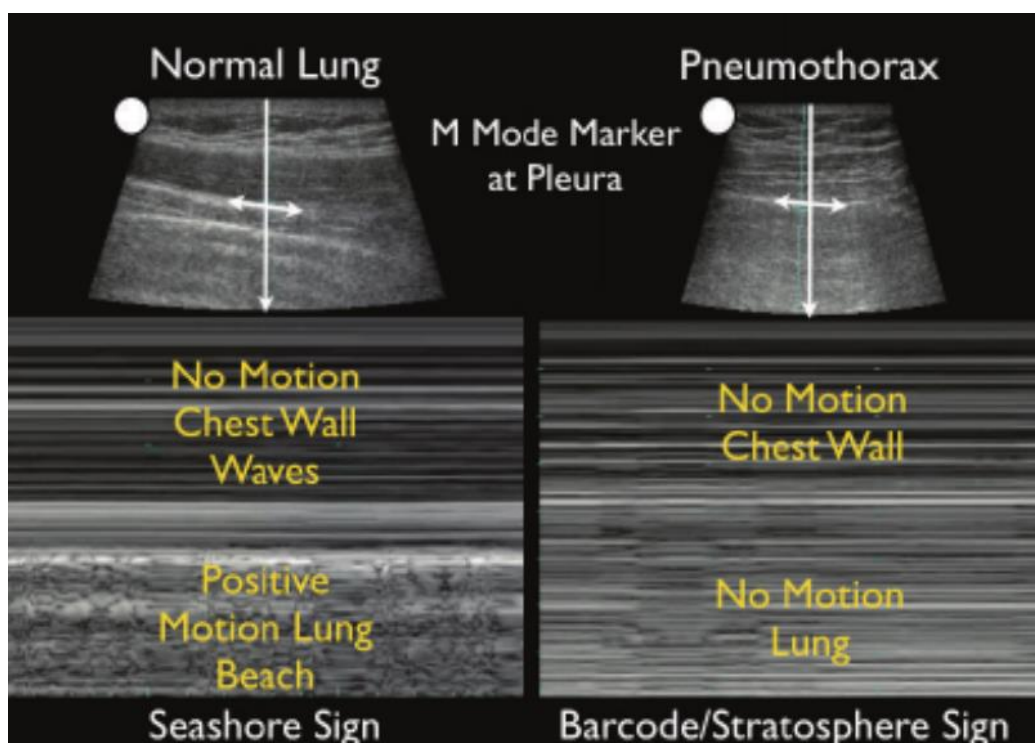
#### 1.3.4 Grundprinzip der eFAST-Untersuchung

Die eFAST-Untersuchung ist eine Erweiterung des beschriebenen abdominalen Untersuchungsprotokolls, bei der zusätzlich der Brustkorb untersucht wird, um einen Pneumo- oder Hämatothorax nachzuweisen. Die Untersuchung erfolgt am liegenden Patienten zwischen dem dritten oder vierten Intercostalraum [ICR] in der Medioclavicularlinie [MCL] und zwischen dem dritten bis fünften ICR in der vorderen Axillarlinie mit Hilfe eines linearen Hochfrequenzschallkopfes bzw. eines Schallkopfes mit niedrigen Frequenzen. Bei der eFAST wird auf folgende Zeichen als Hinweis auf eine Pathologie geachtet:

Das „stratosphere sign / barcode sign“ unter Verwendung des M-Modus<sup>2</sup>, bei dem keine hyperechogene Linie zwischen Pleura und Lunge abzugrenzen ist und aufgrund der fehlenden Bewegung der Lunge im Bereich der Pleuralinie ein durchgehend lineares Muster entsteht, gilt als Hinweis für einen Pneumothorax. Demgegenüber wird das Ultraschallbild eines Normalbefundes in diesem Modus als „seashore sign“ bezeichnet (Abb. 2).

Weiterhin können mit Hilfe des Ultraschalls sogenannte „comet-trials“ bzw. Artefakte und „A-Linien“ im Sinne eines Normalbefundes abgebildet werden, die als echoreiche lineare Reflexe unterhalb der Pleura zu erkennen sind. Sollten diese sonografischen Zeichen fehlen, ist das ein möglicher Hinweis auf einen Pneumothorax. Auch ein fehlender Lungenpuls (rhythmische Bewegung der Pleura visceralis gegen die Pleura parietalis aufgrund der kardialen Bewegung) kann einen Hinweis auf diese Pathologie darstellen.

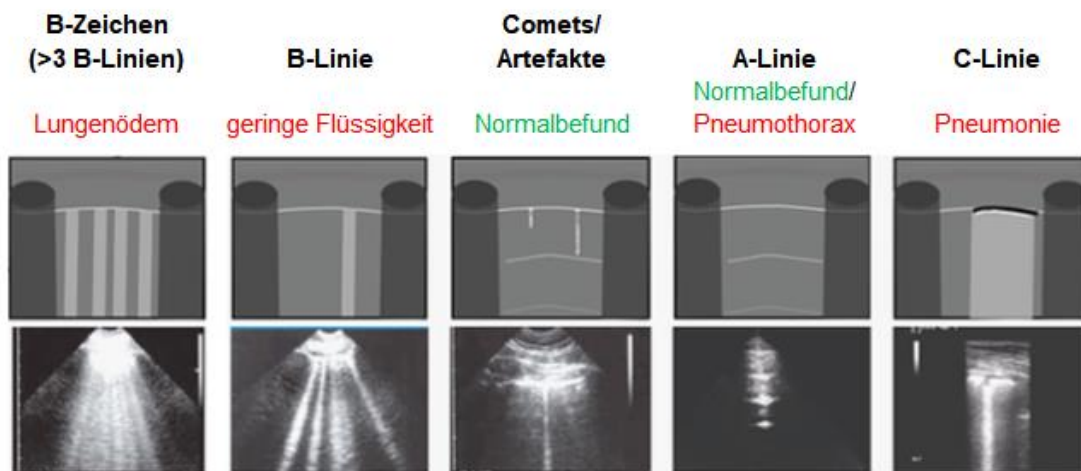
**Abb. 2** Ultraschallvergleich: Normalbefund („seashore sign“) und Pneumothorax („stratosphere sign“ / „barcode sign“) im M-Mode (Lewis, D. 2019).



<sup>2</sup> M-Mode = „Motion-Mode“; spezieller Ultraschallmodus zur Darstellung von bewegten Geweben oder Strukturen zur eindimensionalen Darstellung mit Hilfe eines Strahls durch das subkutane Gewebe, die Interkostalmuskulatur, Pleura und die Lunge.

Abb. 3 stellt einzelne Ultraschallbefunde gegenüber und visualisiert normale bzw. Pneumothorax-typische Befunde als auch andere pathologische Bildkorrelate.

**Abb. 3** Vergleich von Thorax-Ultraschallbildern: Normalbefund, Pneumothorax, Lungenödem und Pneumonie (Criticalcare Northampton 2019).



#### 1.4 Diagnostische Verfahren, Genauigkeit und Nutzen

Diese Arbeit thematisiert die diagnostische Genauigkeit der FAST / eFAST im Vergleich mit objektiven Referenzstandards wie der Computertomographie [CT], Laparoskopie / Laparotomie, Thorakoskopie / Thorakotomie oder Autopsie.

Zur Gesundheitstechnologiebewertung diagnostischer Verfahren schlugen Fryback und Thornbury 1991 verschiedene Ebenen vor, welche sich international als Bewertungsstandard etabliert haben (Fryback and Thornbury, 1991). Eine deutsche Fassung stammt aus dem Jahr 2010 (Nachtnebel *et al.*, 2010). Darin werden die drei Hauptebenen erläutert und die Ermittlung der diagnostischen Genauigkeit fachlich eingeordnet:

1. Bestimmung der diagnostischen Validität durch Prüfung der technischen Qualität (Level I) anhand von physikalischen Parametern (Kontrast etc.) und der diagnostischen Genauigkeit (Level II) durch die Ermittlung von Werten diagnostischer Güte (Sensitivität, Spezifität, etc.)

2. Überprüfung des Einflusses der Testergebnisse auf die medizinische Diagnosestellung (Level III) bzw. therapeutische Entscheidungen (Level IV)
3. Analyse des Nutzens diagnostischer Verfahren unter der Betrachtung patientenrelevanter Kenngrößen, wie zum Beispiel Mortalität, Morbidität und gesundheitsbezogener Lebensqualität (Level V), und in Bezug auf die Gesellschaft, u.a. unter Kosten-Nutzen-Aspekten (Level VI)

Diese diagnostischen Ebenen wurden durch das Centre for Evidence-Based Medicine [CEBM] in Oxford, UK, verschiedenen Evidenzstufen (I – IV) zugeordnet, welche international aber mittlerweile verlassen wurden. Darin entsprachen systematische Übersichtsarbeiten zur diagnostischen Genauigkeit beispielsweise einer Level IIa Evidenz.

Der Patientenzentrierte Nutzen eines diagnostischen Tests kann formal nur durch randomisierte Studien belegt werden, bei welcher eine Gruppe von Probanden den Test durchläuft, die andere Gruppe hingegen nicht (oder aber alle durchlaufen den Test, die Ergebnisse werden aber zufallsbedingt nur einem Teil der Behandler zur Verfügung gestellt). Es ist aber eine *conditio sine qua non*, dass der interessierende Test überhaupt krank von gesund unterscheiden kann- mit anderen Worten: ohne Daten über die diagnostische Genauigkeit kann auch keine Nutzenbewertung erfolgen.

## 1.5 Leitlinien und Handlungsempfehlungen

### 1.5.1 Nationale Handlungsempfehlung – S3-Leitlinie Polytrauma der DGU

Im Jahr 2016 wurde die überarbeitete Evidenz- und Konsensbasierte S3-Leitlinie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2016) zur Behandlung von Polytraumatisierten und Schwerverletzten von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften [AWMF] unter Federführung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. veröffentlicht. Sie beinhaltet auch Handlungsempfehlungen für den Einsatz der (e)FAST-Untersuchung, welche „(...) im deutschsprachigen Raum im Rahmen der Traumaversorgung bei etwa 81% der Patient\*innen im Mittel sechs Minuten nach Schocktraumaaufnahme angewandt“ wird. In der Leitlinie wird die Ultraschalluntersuchung als Screening-Instrument sowohl bei schwerverletzten Erwachsenen (Tabelle 2) als auch Kindern (Tabelle 3) empfohlen.

**Tabelle 2** Schlüsselempfehlungen zur Ultraschalluntersuchung im Rahmen der Schwerverletztenversorgung bei Erwachsenen gemäß S3-Leitlinie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2016).

<b>2.121</b>	<b>Empfehlung, neu 2016</b>
GoR <sup>3</sup> B	Zur Diagnostik von freier Flüssigkeit nach stumpfem oder penetrierendem Abdominaltrauma sollte eine eFAST im Rahmen des Primary Survey durchgeführt werden.
<b>2.122</b>	<b>Empfehlung, neu 2016</b>
GoR B	Sonografische Wiederholungsuntersuchungen sollten im zeitlichen Verlauf erfolgen, wenn eine CT-Untersuchung des Körperstammes nicht zeitnah durchgeführt werden kann.
<b>2.123</b>	<b>Empfehlung, neu 2016</b>
GoR B	Zur Diagnostik eines Pneumo- oder Hämatothorax sollte eine transthorakale Ultraschalluntersuchung als Bestandteil des eFAST durchgeführt werden.

---

<sup>3</sup> GoR = „Grade of Recommendation“, sogenannte Empfehlungsgrade mit der Abstufung A („soll“), B („sollte“) und 0 („kann“).

**Tabelle 3** Schlüsselempfehlungen für die abdominelle Ultraschalluntersuchung im Rahmen der Schwerverletztenversorgung bei Kindern aus der S3-Leitlinie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2016).

2.130	Empfehlung, neu 2016
GoR B	<p>Zur Diagnostik von freier Flüssigkeit nach stumpfem oder penetrierendem Abdominaltrauma beim Kind sollte eine eFAST im Rahmen des Primary Survey durchgeführt werden (Basisdiagnostik).</p> <p>Ein negatives Ergebnis schließt eine intraabdominelle Verletzung keineswegs aus. Es sollte eine Überwachung, ggf. eine ausführliche Wiederholungsuntersuchung oder eine CT-Untersuchung durchgeführt werden.</p>

Auch wenn es in den industrialisierten Ländern eine relativ hohe Dichte erweiterter bildgebender Diagnostik (CT, MRT, etc.) zur Erfassung von Verletzungen gibt, betont die Leitlinie, dass „das Verfahren sehr schnell und kostenneutral durchzuführen ist“ und dass es „im Falle eines positiven Befundes das weitere Vorgehen beschleunigt“.

Auch für vermutete thorakale Verletzungen beinhaltet die Leitlinie Empfehlungen für den Einsatz der eFAST-Untersuchung als initiales Diagnostikum (Tabelle 4).

**Tabelle 4** Schlüsselempfehlung für die Ultraschalluntersuchung des Thorax im Rahmen der Schwerverletztenversorgung aus der S3-Leitlinie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2016).

2.15	Empfehlung, modifiziert 2016
GoR B	<p>Eine initiale Ultraschalluntersuchung des Thorax sollte bei jedem Patient*innen mit klinischen Zeichen eines Thoraxtraumas (im Rahmen des eFAST) durchgeführt werden, es sei denn, eine initiale Thorax-Spiral-CT mit KM wird durchgeführt.</p>

Ergänzend ist zu erwähnen, dass die eFAST bei Traumapatient\*innen mit Herzkreislaufstillstand (Tabelle 5) medizinisch besonders sinnvoll ist. Die Untersuchung kann eventuell reversible Ursachen (Pneumothorax, Hypovolämie, Lungenarterienembolie, etc.) für einen Herzkreislaufstillstand sowohl präklinisch als auch klinisch detektieren.

So kann beispielsweise eine Perikardtamponade bei hämodynamisch instabilen Patient\*innen im Rahmen eines Thoraxtraumas nachgewiesen oder ausgeschlossen werden.

**Tabelle 5** Schlüsselempfehlung für die Ultraschalluntersuchung bei HerzKreislaufstillstand im Rahmen der Schwerverletztenversorgung aus der S3-Leitlinie (Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, 2016).

2.89	Empfehlung, neu 2016
GPP <sup>4</sup>	Zur Diagnose traumaspezifischer reversibler Ursachen des HerzKreislaufstillstandes kann in der Präklinik und soll im Schockraum die eFAST eingesetzt werden.

### 1.5.2 Internationale Empfehlungen

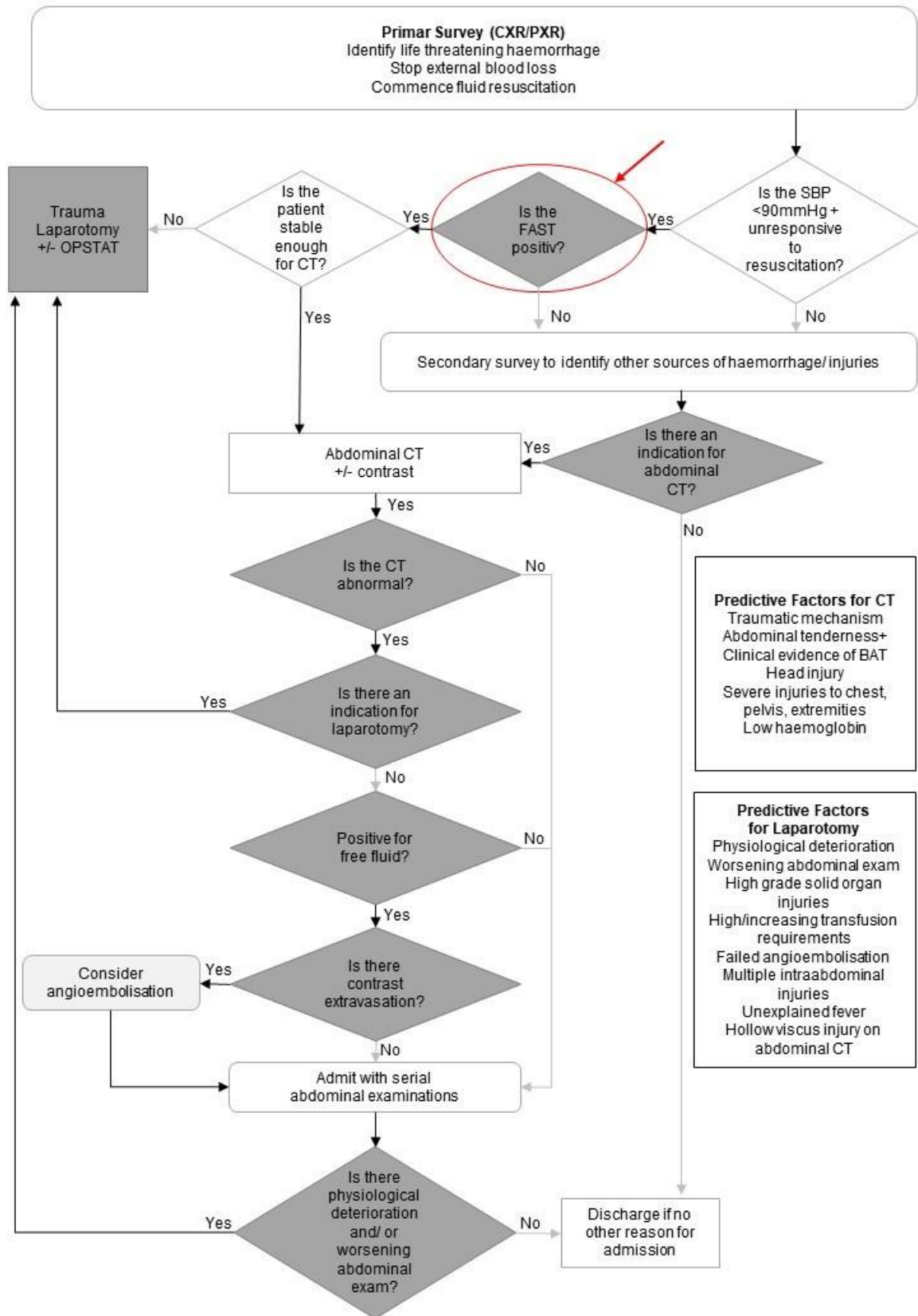
International weichen Handlungsempfehlungen für die Diagnostik in der prä-klinischen und Schockraumphase voneinander ab, auch wenn die FAST / eFAST oder jede POCS-Untersuchung praktisch immer als primäres bildgebendes Verfahren der Wahl genannt wird. Dies gilt einerseits für verschiedene Altersgruppen, andererseits aber auch für deren Anwendung bei kreislaufstabilen und instabilen Patientinnen und Patienten. In den Australischen Leitlinien wird z.B. die FAST nur bei hämodynamisch instabilen Verletzten empfohlen- Kreislaufstabile sollen hingegen einer Computertomographie zugeführt werden (Abb. 4).

---

<sup>4</sup> GPP = „Good (Clinical) Practice Points“; klinischer Konsens-Punkt ohne verfügbare Evidenz.

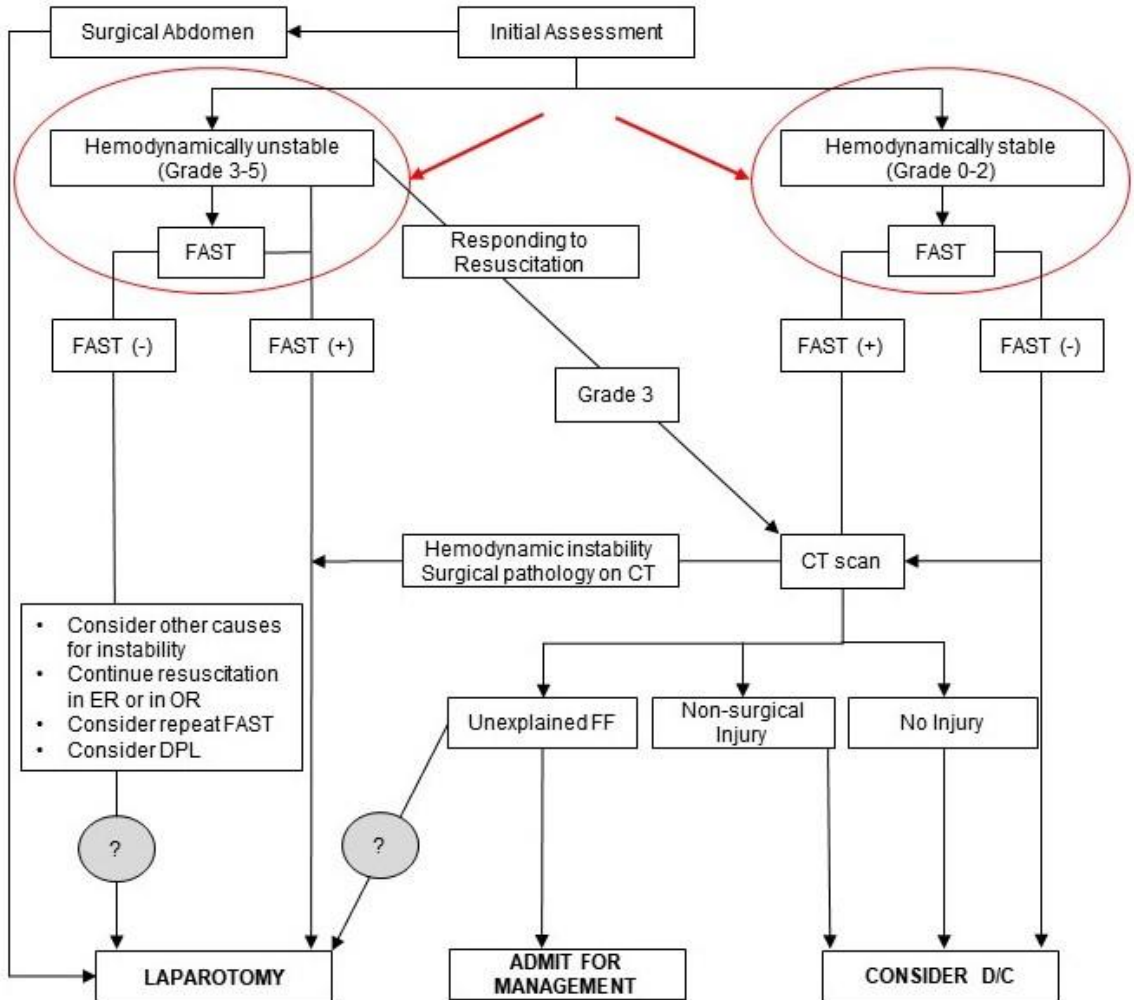


**Abb. 4** Trauma-Guideline des Royal Melbourne Hospital (Kozul, C et. al., 2017).



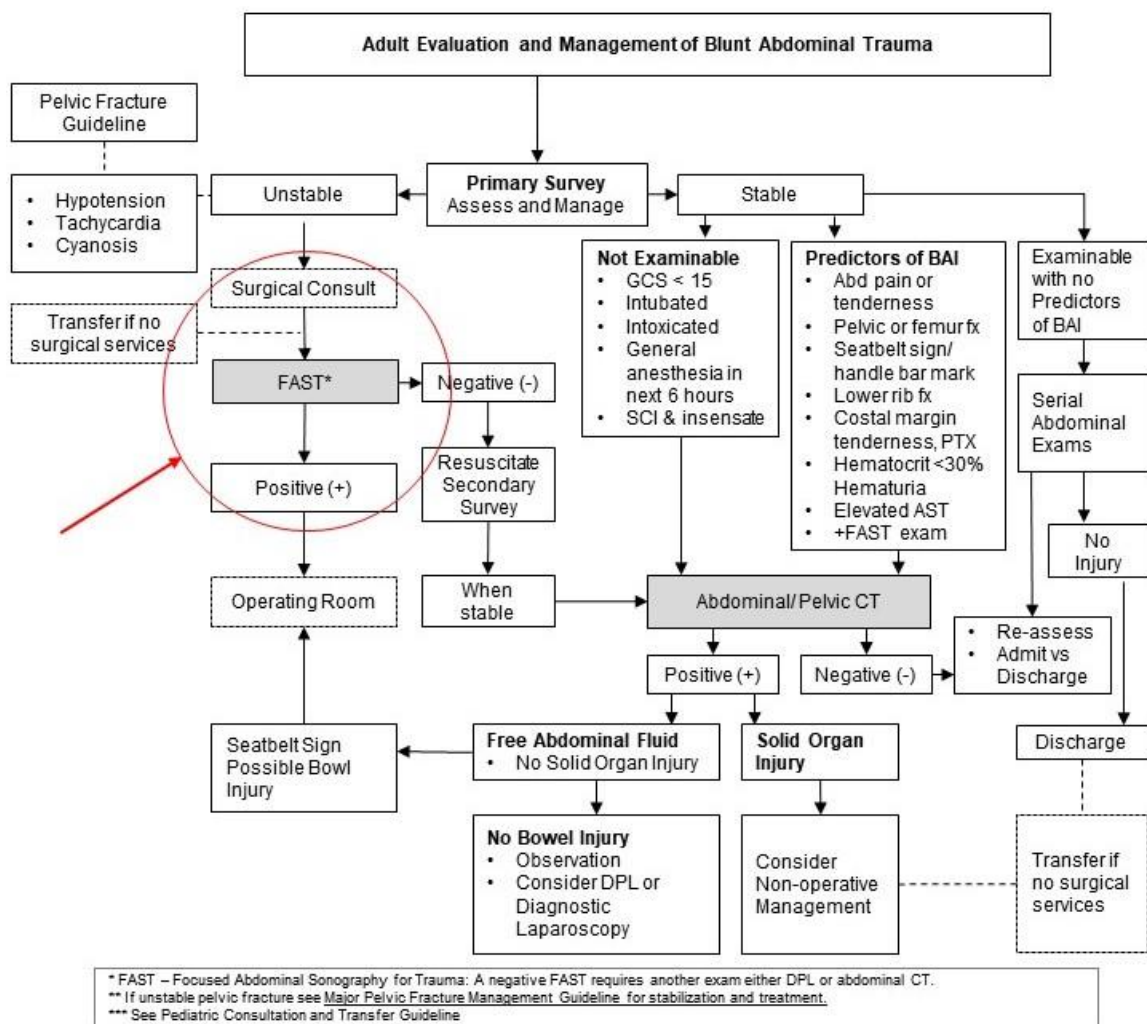
Eine US-amerikanische Leitlinie aus Iowa hingegen empfiehlt eine FAST-Sonografie sowohl bei hämodynamisch instabilen als auch stabilen Patient\*innen (Abb. 5).

**Abb. 5** Trauma-Guideline des Iowa Methodist Medical Center, 2014.



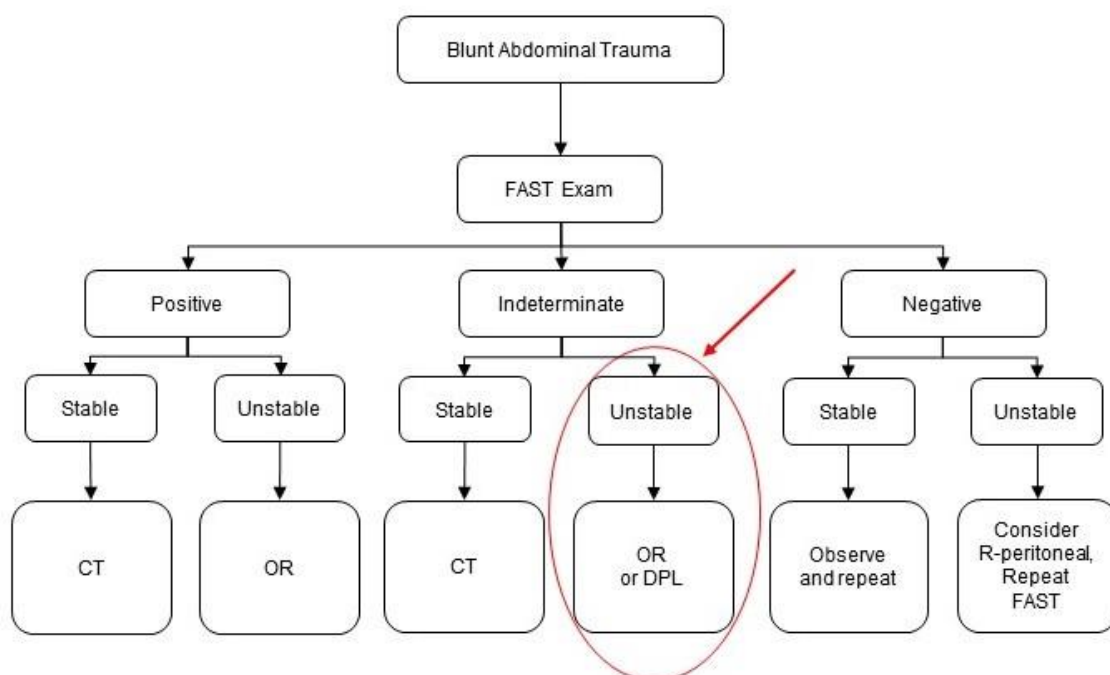
Werden Guidelines (Abb. 6) bezüglich der Folgediagnostik bei einer positiven FAST-Untersuchung betrachtet, fällt auf, dass bei hämodynamisch instabilen Patient\*innen keine weitere standardmäßige Computertomografie empfohlen wird, sondern in erster Linie die operative Versorgung im Sinne einer explorativen Laparotomie. Vor dem Hintergrund des internationalen Trends hin zum nicht-operativen Management von Verletzungen der Oberbauchorgane unter Nutzung hämostatischer Transfusionskonzepte und interventionell-radiologischer Verfahren zur (super-)selektiven Ausschaltung arterieller Blutungen stellt die explorative Laparotomie (oder Laparoskopie) eher die Ultima ratio statt eines diagnostischen Referenzstandard dar.

**Abb. 6** Trauma Guideline (Washington State Department of Health Office of Community Health Systems, 2017).



In einem kanadischen Review (Abb. 7) wird nach einem unklaren FAST-Ergebnis (intermediär) immer noch die diagnostische Peritoneallavage empfohlen. Diese Art der Diagnostik wird heutzutage im europäischen Raum aufgrund ihrer Invasivität immer weniger durchgeführt, da sie große Risiken bezüglich Blutungen, Infektionen oder Verletzungen birgt. Im internationalen Kontext scheint diese aber immer noch eine bedeutende Rolle in der Diagnostik von abdominalen Traumata zu spielen.

**Abb. 7** Trauma Guideline aus einem kanadischen Review (Pace, J., Arntfield, R., 2018).



In Guidelines zur Detektion von thorakalen Pathologien scheint die eFAST Untersuchung bisher keinen festen Bestandteil im diagnostischen Algorithmus darzustellen.

Basierend auf den Review-Ergebnissen in Kapitel 4 werden im Diskussionsteil mögliche Ansätze zur Differenzierung der nationalen und internationalen Empfehlungen unter Punkt 5.3 („Ergebnisintegration in Leitlinien“) vorgeschlagen.

## **2. Fragestellungen**

1. Wie hoch ist die diagnostische Genauigkeit der POCS-Ultraschalluntersuchung (FAST/eFAST) im Vergleich zu objektiven Referenzstandards zur Erkennung von Verletzungen des Abdomens und / oder des Thorax?
2. Welchen Einfluss könnten die Review-Ergebnisse auf, die derzeit gültigen nationalen und internationalen Handlungsempfehlungen haben und welche Rolle spielt das Review im Kontext der aktuellen Versorgungssituation in Deutschland?

## **3. Material und Methoden**

### **3.1 Cochrane-Review, ein zeitlicher Überblick**

Zur Durchführung des Cochrane Reviews waren eine Reihe von Einzelschritten bis zur Publikation im Dezember 2018 nötig. 2016 wurde nach der Themenfindung und dem Entschluss zu einem Review zunächst ein Protokoll zu Rahmenbedingungen, Forschungsfragen und Durchführung dieses Forschungsvorhabens entworfen, welches durch unabhängige internationale Peer-Reviewer der Cochrane Injuries Group [CIG] geprüft wurde. Anschließend folgte ein längerer Zeitabschnitt der Überarbeitung und Implementierung der Gutachter-Kommentare mit nachfolgenden Anpassungen des Protokolls. Als sehr komplex erwies sich die Entwicklung der an die verschiedensten Datenbanken angepassten Suchstrategien, die in Zusammenarbeit mit Information Specialists der CIG in einem umfangreichen Recherchealgorithmus zur Identifikation geeigneter Studien resultierte. Im Mai 2017 wurde das Protokoll verabschiedet, das die Grundlage für die Umsetzung des Reviews darstellte. Nach der Durchführung der Suche mit Hilfe der einzelnen Suchstrategien wurden die eingeschlossenen Studien mit Hilfe des für das Forschungsvorhaben modifizierte Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies [QUADAS-2] Instruments qualitativ bewertet. Es folgten quantitative Analysen mit Hilfe von RevMan- und Stata-Software inklusive tabellarischer und grafischer Präsentation der Ergebnisse (Forest-Plots, Summary Receiver Operating Characteristics [SROC] etc.). Anschließend wurden die Ergebnisse im Hinblick auf die Forschungsfrage erörtert und die Kernaussagen des Reviews formuliert. Gemäß der strikten formalen Vorgaben der Cochrane Collaboration wurden alle eingeschlossenen Studien detailliert beschrieben.

Abschließend wurden Stärken und Schwächen des Reviews und Abweichungen von Protokollinhalten diskutiert, worauf das Review nach weiteren Überarbeitungen schließlich im Dezember 2018 veröffentlicht werden konnte.

### **3.2 Ein- und Ausschlusskriterien**

Im Review berücksichtigt wurden sowohl prospektive als auch retrospektive Kohortenstudien berücksichtigt, welche Patient\*innen jeden Alters und Geschlechts mit dem Verdacht auf ein stumpfes Abdominal- oder Thoraxtrauma Verletzung einschlossen, die wiederum in Krankenhäusern aller Versorgungsstufen im Rahmen von zivilen Szenarien behandelt wurden. Alle Teilnehmer wurden initial mit dem Indextest FAST bzw. eFAST untersucht und die Ergebnisse anschließend unabhängig von negativen oder positiven Ultraschallbefunden mit objektiven Referenzstandards verifiziert. Letztere umfassten ausschließlich die Computertomografie (ggf. auch Magnetresonanztomografie [MRT]), Laparoskopie / Laparotomie, Thorakoskopie / Thorakotomie, oder Autopsie. Lediglich die Bestätigung positiver Befunde (z.B. durch CT oder Laparotomie) wurde aufgrund des Risikos für einen partiellen Verifikationsbias als ebenso unzureichend angesehen wie eine rein klinische Verlaufsbeobachtung.

Zu den vorab festgelegten Ausschlusskriterien gehörten diagnostische Fall-Kontroll-Studien, Fallserien und Einzelfallberichte, Studien mit nicht eindeutiger primärer Diagnostik und / oder unklarem Referenztest sowie Verletzungen im Rahmen von Kriegsszenarien. Untersuchungen zu Messerstich-, Schuss-, Explosions- oder Pfählungsverletzungen wurden ebenso ausgeschlossen wie solche, welche keine Erstellung von Vierfeldertafeln ermöglichten.

Für eine strukturierte und umfassende Literatursuche wurden für die wichtigsten medizinischen Datenbanken Suchstrategien (siehe 7.1) entwickelt, die neben den Vorgaben der CIG auch mit den Empfehlungen der Cochrane Diagnostic Test Accuracy [DTA] Group übereinstimmten:

1. Ovid Medline – 01/1946 bis 07/2017
2. Pubmed Medline– 01/1947 bis 07/2017
3. Ovid Embase – 01/1974 bis 07/2017

Nicht im Volltext publizierte Forschungsarbeiten wurden über die BIOSIS Datenbank und die graue Literatur identifiziert.

### **3.3 Klinische Diagnostik**

Die Ultraschalluntersuchung (FAST bzw. eFAST) wird als Indextest bei der Erstuntersuchung Schwerverletztem im Rahmen des Schockraummanagements eingesetzt. Folgende sonografisch pathologischen Befunde wurden als positiver Testbefund gewertet:

- freie Flüssigkeit im Abdomen, Thorax, Retroperitonealraum, Perikardraum oder Mediastinum
- Organverletzungen (Leber, Milz, Pankreas, Nieren, etc.)
- Gefäßverletzungen im Sinne einer Ruptur oder Dissektion der großen Gefäße (Aorta, obere und untere Hohlvene, Iliakalgefäße, etc.)
- Luft im Pleuraspalt (Pneumothorax), intra-thorakale Blutung

Als objektive Referenzstandards wurden Schnittbildgebungen des Abdomens und Thorax (CT, MRT) aber auch operative (Laparotomie, Laparoskopie, Thorakotomie, Thorakoskopie) oder post-mortem Untersuchungen (Obduktionen) definiert, welche sämtliche Patient\*innen zur Minimierung eines Verifikationsbias erhalten mussten.

### **3.4 Quantitative Betrachtung**

Die Datenerhebung und Analyse wurden unter folgenden Gesichtspunkten durchgeführt:

1. Prüfen der Studien nach Ein- und Ausschlusskriterien (siehe 3.2) über Titel, Abstrakt und Volltext durch zwei voneinander unabhängige Bewerter
2. Extraktion der Daten
  - Studiencharakteristika (Autor, Studienjahr, Publikationsjahr, Journaldaten, Studiendesign, Ein- und Ausschlusskriterien, Untersucherdetails, Gerätespezifikation, Indextest / Referenztest)
  - Patientencharakteristika (Alter, Geschlecht, Verletzungsmechanismus und -muster, Kreislaufstabilität)
  - Ergebnisse des Indextests, eventuell Anzahl der Patient\*innen mit inkompletter Untersuchung
  - Erstellung einer Vierfeldertafel auf der Basis der Index- und Referenztextergebnisse (Anzahl richtig-positiver Ergebnisse, falsch-positiver Ergebnisse, richtig-negativer Ergebnisse, falsch-negativer Ergebnisse)

### 3.5 Qualitative Betrachtung

Alle eingeschlossenen Studien wurden mit Hilfe eines standardisierten Instruments systematisch bewertet. Für systematische Reviews ist hierfür das QUADAS-2-Instrument von Penny F. Whiting (Whiting *et al.*, 2011) entwickelt worden, das erstmalig im Jahre 2003 publiziert wurde. Mit diesem wissenschaftlichen Tool (siehe 7.2) werden die Variablen Patientenstichprobe, Index- und Referenztest, zeitlicher Ablauf der Diagnostik u.a. jeder Einzelstudie erfasst.

Das Instrument wurde 2010 ins Deutsche übersetzt (Schuetz *et al.*, 2010). Beantwortet werden die jeweiligen Signalfragen mit „Ja“, „Nein“ oder „Unklar“. Nach Summation einzelner Items wird eine Gesamtbewertung des Verzerrungsrisikos bzw. Bias mit „Gering“, „Hoch“ oder „Unklar“ vorgenommen. Aufgrund der verschiedenen Rahmenbedingungen und der technischen Ausrichtung der Arbeit wurde das QUADAS-2-Instrument in folgender Art und Weise angepasst:

- Patientenstichprobe (Kategorie I):  
„Wurde ein Fall-Kontroll-Design vermieden?“
  - *aufgrund des Ausschlusses der Studienarten Fall-Kontroll-Studien, Fallserien und Fallreports entfernt*
- Indextest (Kategorie II):  
„War die Ausbildung der Untersucherin oder des Untersuchers gemäß dem klinischen Experten angemessen?“  
„War das genutzte Gerät nach technischem Verständnis aktuell?“  
„Wurde das Ultraschallprotokoll (FAST / eFAST) klar definiert und war es angemessen?“
  - *aufgrund der technischen Ausrichtung des Reviews hinzugefügt*
- Referenztest (Kategorie III):  
„War die Ausbildung der Untersucherin oder des Untersuchers gemäß dem klinischen Experten angemessen?“  
„War das genutzte Gerät nach technischem Verständnis aktuell?“
  - *aufgrund der technischen Voraussetzungen hinzugefügt*
- Ablauf / Zeitverlauf (Kategorie IV):  
„Erhielten alle Patient\*innen einen Referenztest unabhängig vom Ultraschallergebnis?“
  - *zur Überprüfung des möglichen „Verification Bias“ hinzugefügt*



### 3.6 Statistische Analyse

Neben der qualitativen Bewertung jeder einzelnen Studie wurden die Daten der Originalstudien von zwei Reviewern unabhängig voneinander extrahiert und Studiencharakteristika (Autoren, Jahr der Durchführung / Veröffentlichung, Studiendesign, etc.), Patienteninformationen (Geschlecht, Alter, Art des Traumas, etc.), Ergebnisse des Indextests und diagnostische Maßzahlen (Sensitivität, Spezifität, etc.) nach Vergleich und Harmonisierung der extrahierten Daten tabellarisch dargestellt.

Folgendes Vorgehen wurde für die statistischen Analysen festgelegt:

- Beurteilung der Ergebnisse des Indextests: Testpositivität bei Detektion von freier Flüssigkeit, Luft, Organ- oder Gefäßverletzungen oder eines Pneumo- und / oder Hämatothorax, Testnegativität bei keiner bildmorphologischen Pathologie
- Berechnung statistischer Maßzahlen für die Güte eines diagnostischen Tests (richtig positive [RP], richtig negative [RN], falsch positive [FP], falsch negative [FN], Sensitivität [SN] und Spezifität [SP] inklusive 95% Konfidenzintervall [KI] für Einzelstudien und positive [LR+] bzw. negative Likelihood Ratios [LR-] sowie positive [PPV] und negative prädiktive Werte [NPV] im bivariaten Modell
- Grafische Darstellung der Ergebnisse der Einzelstudien anhand von Forest-Plots zu Sensitivität und Spezifität inklusive 95% KI mit Hilfe des Review Managers 5 (RevMan5) (Review Manager, 2014)
- Untersuchung möglicher Schwelleneffekte durch das Auftragen von Sensitivität (Rate richtig positiver) gegenüber  $1 - \text{Spezifität}$  (Rate falsch positiver) jeder einzelnen Studie anhand von Grenzwertoptimierungskurven (Receiver Operating Characteristics [ROC])

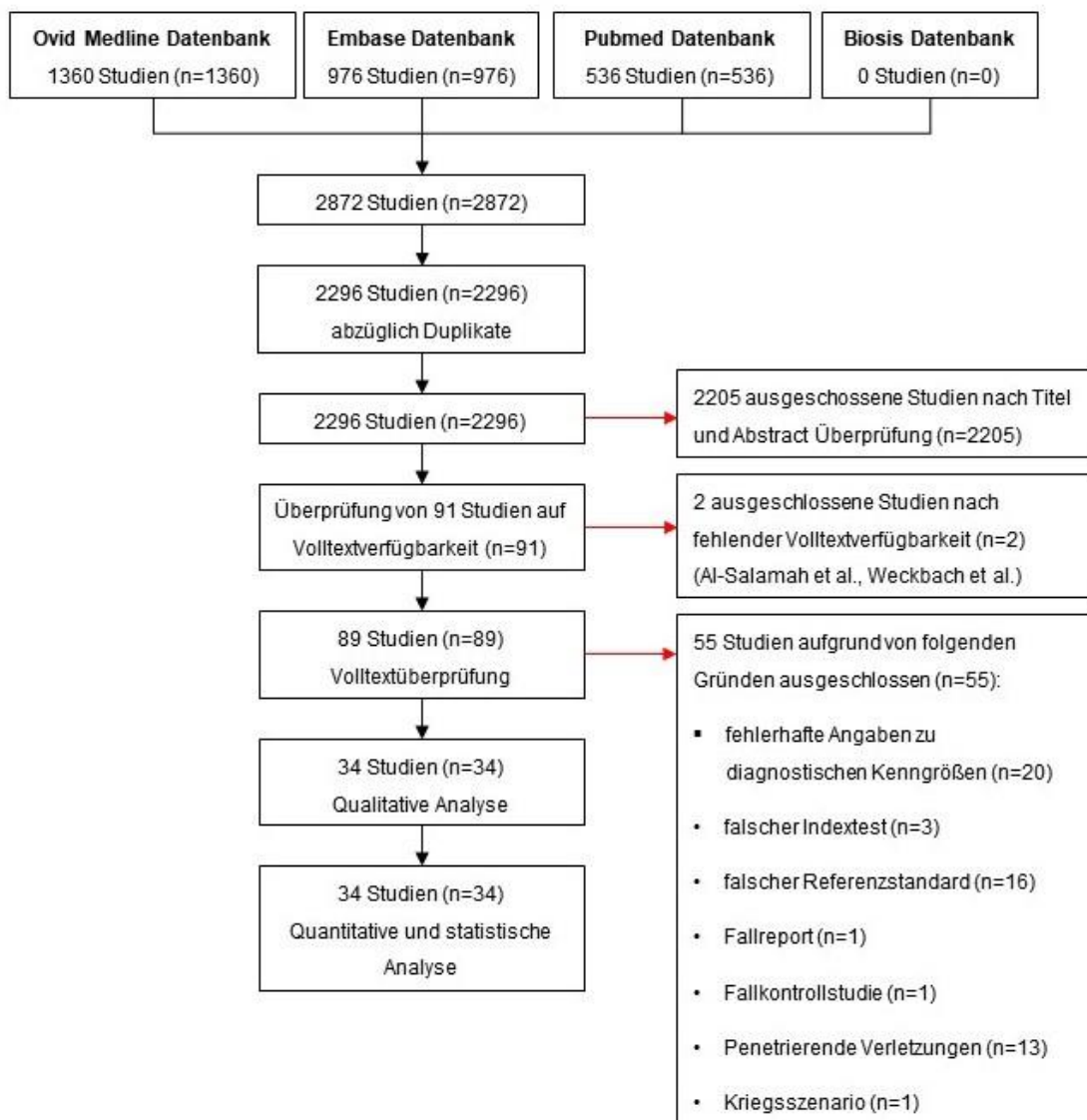
- Heterogenitätsanalysen (siehe 4.4) mit Hilfe des bivariaten Modells nach Reitsma (Reitsma *et al.*, 2005), welches Abhängigkeiten zwischen Sensitivität und Spezifität berücksichtigt, berechnet in Stata (Stata, 2017) und grafische Darstellung der SROC-Kurven mit RevMan 5
  - Dichotomisierung der zu untersuchenden Co-Variablen wie Patientenalter (Kinder, Erwachsene, gemischte Population), Verletzungs-Surrogat (z.B. freie Flüssigkeit), betroffene Körperregion (Bauch- / Thoraxverletzungen) und Referenzstandard (nur CT, CT plus Laparotomie).
  - Durchführung eines Likelihood-Ratio-Tests zur Untersuchung jeder einzelnen Co-Variable bezüglich ihres Einflusses auf das Basismodell. Bei statistisch signifikantem Einfluss (d.h.,  $p$ -Wert  $<0.05$ ) erfolgte die Überprüfung, ob eine Assoziation mit der Sensitivität und / oder Spezifität vorliegt. Für die Anwendung des Tests sind mindestens zehn Studien und vier Studien pro Untergruppe nötig.
- Sensitivitätsanalysen (siehe 4.5) zur Überprüfung des Einflusses einzelner Hauptkategorien des QUADAS-2-Instruments, unterschiedlicher Beurteilungen von Reviewern und des Patientenalters auf Sensitivitäts- und Spezifitätsschätzer.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Studienauswahl

Die systematische Literaturrecherche lieferte insg. 2269 Zitate. Nach Bereinigung von Duplikaten (n=576) und weiterer Selektion gemäß Ein- und Ausschlusskriterien standen 34 Studien für eine Meta-Analyse zur Verfügung (Abb. 8).

**Abb. 8** Studienselektionsprozess.



Der Publikationszeitraum erstreckte sich von 1992 (Tso *et al.*, 1992) bis 2017 (Calder *et al.*, 2017) mit einer Stichprobengröße von 51 (Benya *et al.*, 2000) bis 3.181 (Becker *et al.*, 2010). Im geografischen Vergleich stammte die Mehrzahl der Studien aus den USA. Bezüglich der Altersstruktur schlossen knapp ein Drittel der Studien (n=10) ausschließlich Kinder und Jugendliche im Alter von 1 bis 18 Lebensjahren (Benya *et al.*, 2000; Calder *et al.*, 2017; Coley *et al.*, 2000; Corbett *et al.*, 2000; Emery *et al.*, 2001; Fox *et al.*, 2011; Menichini *et al.*, 2015; Soudack *et al.*, 2004; Valentino *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2012) ein. Nur zwei Studien beschränkten sich ausschließlich auf Erwachsene (Blaivas, Lyon and Duggal, 2005; Verbeek *et al.*, 2014). Die restlichen 22 Studien differenzierten nicht zwischen bestimmten Altersklassen. Die Mehrzahl der Studien (n=30) stellte abdominelle Verletzungen in den Vordergrund, wohingegen sich vier Studien ausschließlich mit thorakalen Verletzungsmustern (Blaivas, Lyon and Duggal, 2005; Nandipati *et al.*, 2011; Ojaghi *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2006) beschäftigen.

## 4.2 Studienqualität

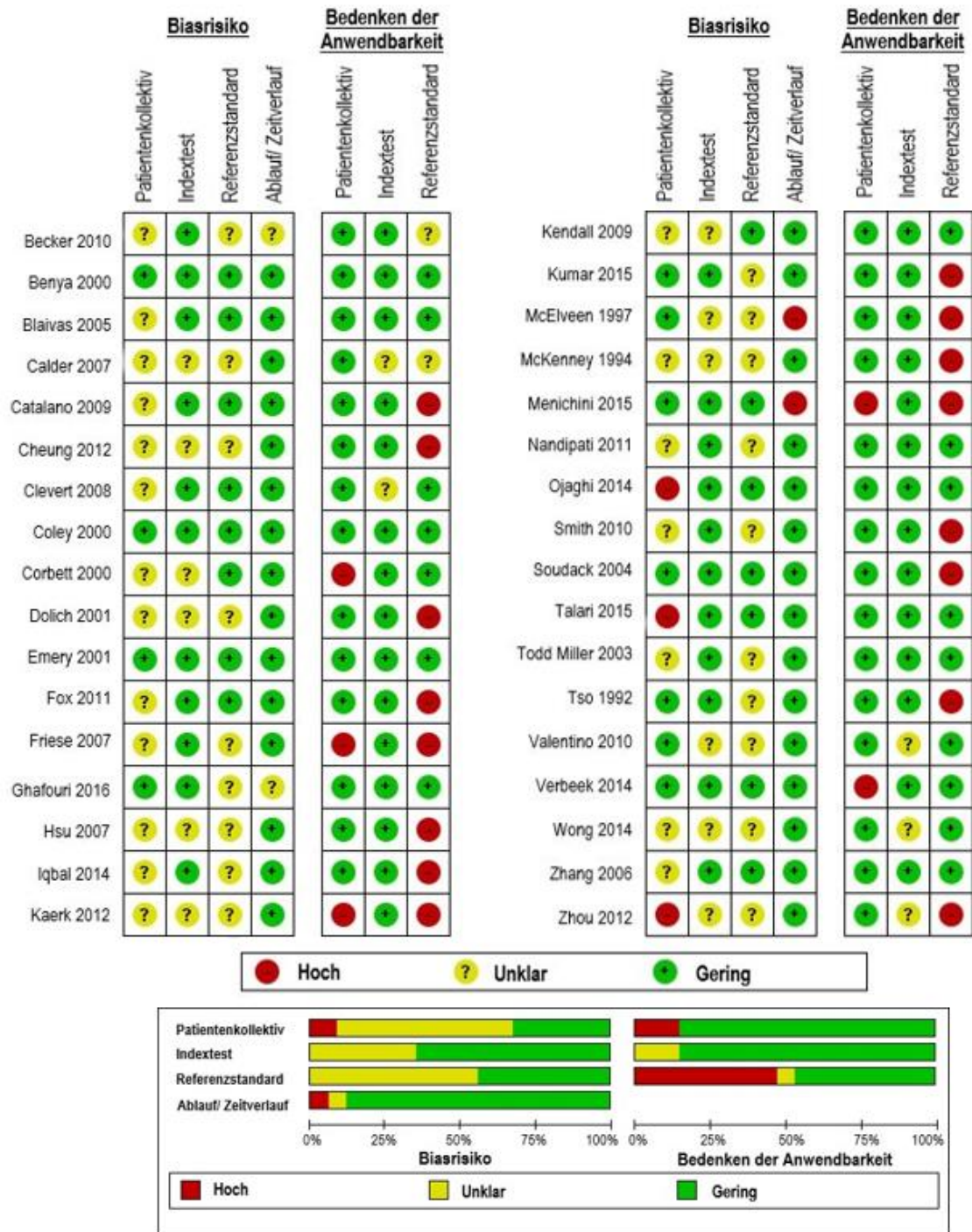
Im ersten Selektionsschritt wurden drei Studien (Ojaghi *et al.* 2014; Talari *et al.* 2015; Zhou *et al.* 2012) ausgeschlossen, welche einerseits Teilnehmer mit Erkrankungen beinhalteten, die, verletzungsunabhängig, mit freier abdomineller Flüssigkeit assoziiert waren und andererseits Patient\*innen rekrutierten, welche die Studienteilnahme nach Aufklärung ablehnten. Weitere 21 Studien boten ein unklares Bias-Risiko aufgrund eines nicht-konsekutiven Patienteneinschlusses (Becker *et al.* 2010; Blaivas, Lyon, and Duggal 2005; Cheung *et al.* 2012; Clevert *et al.* 2008; Corbett *et al.* 2000; Fox *et al.* 2011; Hsu *et al.* 2007; Kendall *et al.* 2009; Smith, Postma, and Wood 2010; Valentino *et al.* 2010; Wong *et al.* 2014) oder unklarer Rekrutierungskriterien (Calder *et al.* 2017; Catalano *et al.* 2009; Dolich *et al.* 2001; Friese *et al.* 2007; Iqbal *et al.* 2014; Kärk Nielsen *et al.* 2012; McKenney *et al.* 1994; Nandipati *et al.* 2011; Todd Miller *et al.* 2003; Zhang *et al.* 2006).

Unklare Bias-Bewertungen des Indextests und des Referenzstandards in der zweiten und dritten Hauptkategorie resultierten größtenteils aus fehlenden Angaben zur eingesetzten Hardware (z.B. fehlende Spezifikationen der Ultraschallgeräte und / oder CT-Scanner) und / oder zur Qualifikation der Anwender, welche von einem achtstündigen Ultraschallkurs (Hsu et al. 2007) bis zu zehn Jahren Erfahrung (Menichini et al. 2015) variierten.

In der vierten Kategorie wurde für fast alle Studien ein geringes Bias-Risiko in Bezug auf den Ablauf der Untersuchungen festgestellt. In zwei Studien (McElveen and Collin 1997; Menichini et al. 2015) war es unklar, ob negative Ultraschallergebnisse wirklich regelhaft durch einen radiologischen Referenztest verifiziert wurden (vgl. 3.3, Klinische Diagnostik).

Eine abschließende Beurteilung des Bias-Risikos konnte aufgrund mangelnder Informationen in den Kategorien Patientenauswahl und Referenzstandard nur eingeschränkt vorgenommen werden. Nur fünf Studien (Benya et al. 2000; Coley et al. 2000; Emery et al. 2001; Soudack et al. 2004; Verbeek et al. 2014) wurden in allen vier Kategorien mit einem geringen Risiko bewertet, während 19 Studien in mindestens zwei Kategorien ein unklares oder hohes Verzerrungspotential aufwiesen. Abb. 9 fasst die qualitative Bewertung im Einklang mit dem Ampel-System des Cochrane Risk-of-Bias studienspezifisch als auch global zusammen.

**Abb. 9** Qualitative Bewertung einzelner und aller Studien.



### 4.3 Diagnostische Genauigkeit

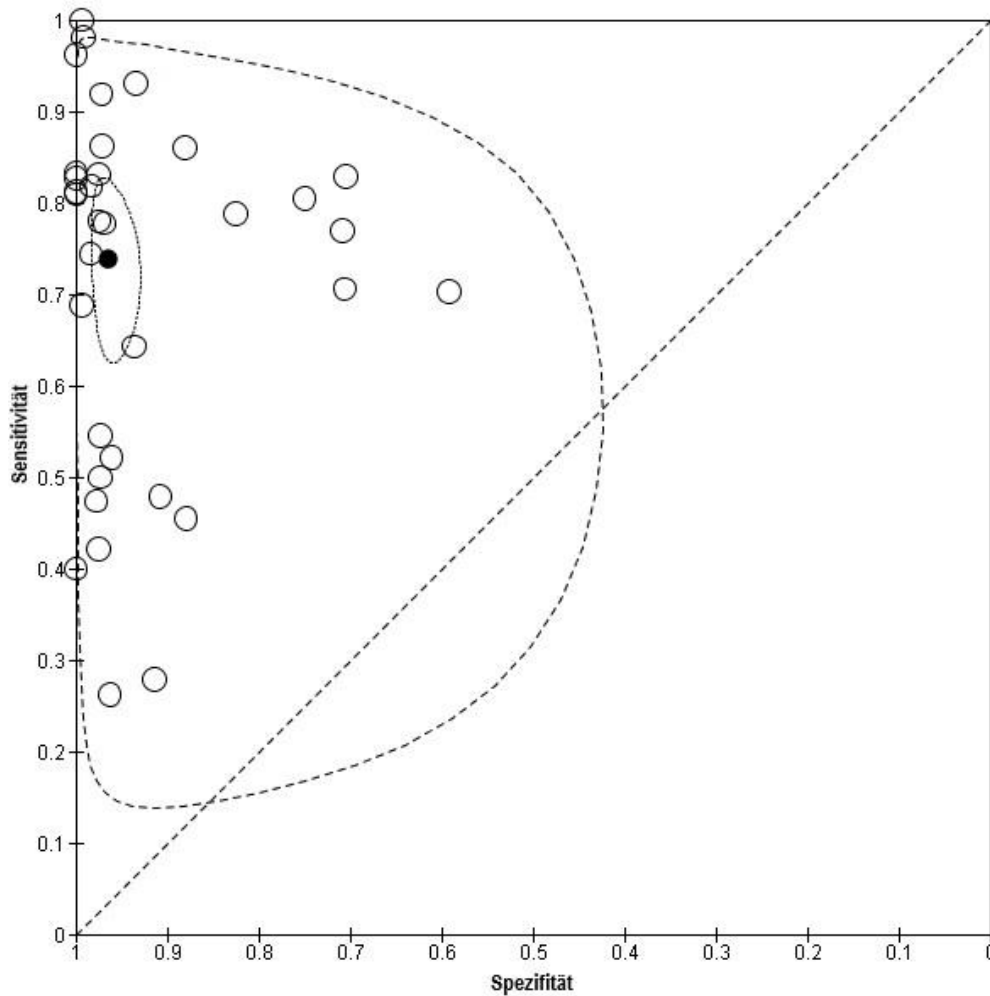
Die Hybrid-Tabelle 6 umfasst RP-, FP-, FN- und RN-Befunde, die zugrundeliegende Population, die diagnostischen Genauigkeitsindikatoren Sensitivität und Spezifität mit 95% KI, ergänzt um Forest-Plots. Die Sensitivität des Indextests aller 34 Studien reichte von 0,26 (95% KI 0,14 – 0,42) bis 1,00 (95% KI 0,74 – 1,00), die Spezifität von 0,59 (95% KI 0,44 – 0,73) bis 1,00 (95% KI 0,97 – 1,00).

**Tabelle 6** Forest-Plots zu Sensitivität und Spezifität aller 34 eingeschlossenen Studien (RP = richtig positiv; FP = falsch positiv; FN = falsch negativ; RN = richtig negativ; KI = Konfidenzintervall).

Studie	RP	FP	FN	RN	Population	Körperregion	Sensitivität [95% KI]	Spezifität [95% KI]	Sensitivität [95% KI]	Spezifität [95% KI]
Talari 2015	133	1	27	39	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.83 [0.76,0.89]	0.97 [0.87,1.00]		
Todd Miller 2003	16	8	22	313	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.42 [0.26,0.59]	0.98 [0.95,0.99]		
Tso 1992	11	1	5	146	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.69 [0.41,0.98]	0.99 [0.96,1.00]		
Verbeek 2014	27	5	15	73	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.64 [0.48,0.78]	0.94 [0.86,0.98]		
Wong 2014	23	16	25	157	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.48 [0.33,0.63]	0.91 [0.85,0.95]		
McEveen 1997	9	1	2	58	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.82 [0.48,0.98]	0.98 [0.91,1.00]		
Kumar 2015	37	1	9	3	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.80 [0.66,0.91]	0.75 [0.19,0.99]		
McKenney 1994	10	0	4	124	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.81 [0.58,0.95]	1.00 [0.97,1.00]		
Ghafouri 2016	27	6	2	85	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.98 [0.77,0.99]	0.93 [0.86,0.98]		
Friese 2007	11	2	31	52	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.26 [0.14,0.42]	0.96 [0.87,1.00]		
Iqbal 2014	40	14	12	34	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.77 [0.63,0.87]	0.71 [0.56,0.83]		
Kendall 2009	9	3	10	130	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.47 [0.24,0.71]	0.98 [0.94,1.00]		
Kaerk 2012	67	0	14	37	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.83 [0.73,0.90]	1.00 [0.91,1.00]		
Catalano 2009	78	10	21	47	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.79 [0.69,0.86]	0.82 [0.70,0.91]		
Cheung 2012	20	3	20	110	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.50 [0.34,0.66]	0.97 [0.92,0.99]		
Dolich 2001	264	37	43	272	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.86 [0.82,0.90]	0.88 [0.84,0.91]		
Clevert 2008	15	0	3	60	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.83 [0.59,0.96]	1.00 [0.94,1.00]		
Becker 2010	352	44	121	2664	Erwachsene/ gemischt	Abdomen	0.74 [0.70,0.78]	0.98 [0.98,0.99]		
Smith 2010	13	0	3	60	Erwachsene/ gemischt	Anderes	0.81 [0.54,0.96]	1.00 [0.90,1.00]		
Hsu 2007	78	8	22	302	Erwachsene/ gemischt	Anderes	0.78 [0.69,0.86]	0.97 [0.95,0.99]		
Zhang 2006	25	3	4	103	Erwachsene/ gemischt	Thorax	0.86 [0.68,0.96]	0.97 [0.92,0.99]		
Ojaghi 2014	50	0	2	98	Erwachsene/ gemischt	Thorax	0.96 [0.87,1.00]	1.00 [0.96,1.00]		
Nandipati 2011	12	1	0	146	Erwachsene/ gemischt	Thorax	1.00 [0.74,1.00]	0.99 [0.96,1.00]		
Blaivas 2005	52	1	1	122	Erwachsene/ gemischt	Thorax	0.98 [0.90,1.00]	0.99 [0.96,1.00]		
Valentino 2010	59	20	25	29	Kinder	Abdomen	0.70 [0.59,0.80]	0.59 [0.44,0.73]		
Zhou 2012	29	18	6	43	Kinder	Abdomen	0.83 [0.66,0.93]	0.70 [0.57,0.81]		
Menichini 2015	26	0	39	6	Kinder	Abdomen	0.40 [0.28,0.53]	1.00 [0.54,1.00]		
Soudack 2004	34	2	3	70	Kinder	Abdomen	0.92 [0.78,0.98]	0.97 [0.90,1.00]		
Fox 2011	12	13	11	321	Kinder	Abdomen	0.52 [0.31,0.73]	0.96 [0.93,0.98]		
Emery 2001	20	14	24	102	Kinder	Abdomen	0.45 [0.30,0.61]	0.88 [0.81,0.93]		
Calder 2017	27	21	70	222	Kinder	Abdomen	0.28 [0.19,0.38]	0.91 [0.87,0.95]		
Coley 2000	12	2	10	73	Kinder	Abdomen	0.55 [0.32,0.76]	0.97 [0.91,1.00]		
Benya 2000	12	10	5	24	Kinder	Abdomen	0.71 [0.44,0.90]	0.71 [0.53,0.85]		
Corbett 2000	7	1	2	31	Kinder	Anderes	0.78 [0.40,0.97]	0.97 [0.84,1.00]		

Im bivariaten Modell betrug die geschätzte Sensitivität im Mittel 0,74 (95% KI 0,65 – 0,81) und der Spezifität 0,96 (95% KI 0,94 – 0,98). LR+ und LR- betragen 18,5 (95% KI 10,8 – 40,5) und 0,27 (95% KI 0,19 – 0,37). Der PPV betrug 0,88 (95% KI 0,81 – 0,94) und der NPV 0,90 (95% KI 0,87 – 0,93). Die hieraus abgeleitete SROC-Kurve ist in Abb. 10 dargestellt.

**Abb. 10** Sensitivität und Spezifität einzelner Studien sowie hieraus generierte SROC. Gefüllter schwarzer Kreis: gemeinsamer Sensitivitäts- und Spezifitätsschätzer mit 95% KI (gepunktete Linie). Gestrichelte Kurve: 95%-Vorhersagebereich (Prediction Interval).



#### 4.4 Heterogenitätsanalyse

Das 95% KI des Summenschätzers in Abb. 10 zeigt, innerhalb welchen Rahmens sich die Sensitivität und Spezifität der Ultraschalluntersuchung in 95 von 100 zukünftigen Studien bewegen würde. Wie aus der Fläche des Prediction Intervals hervorgeht, besteht zwischen den Studien eine erhebliche Heterogenität. In Bezug auf die Sensitivität variiert der 95%-Vorhersagebereich zwischen 0,14 und 0,98, für die Spezifität zwischen 0,42 und 1,00. Diese ausgeprägte Heterogenität zwischen den Studien erfordert weitere Untersuchungen.



Tabelle 7 zeigt eine Übersicht der Ergebnisse der Heterogenitätsanalyse, die den Einfluss verschiedener Co-Variablen (Referenzstandard, Zielbedingungen, Patientenalter und Verletzungsart) in Form statistischer Tests untersucht.

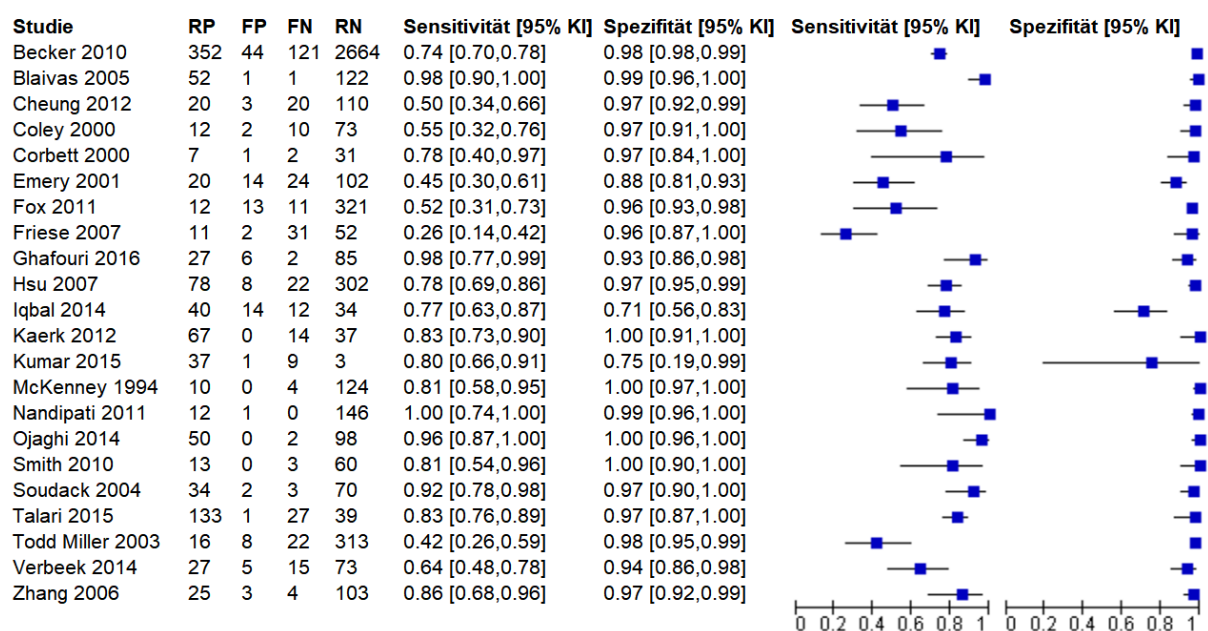
**Tabelle 7** Ergebniszusammenfassung der Heterogenitätsanalyse.

Co-Variable (Heterogenität)	Anzahl Studien	Sensitivität (95% KI)	Spezifität (95% KI)	Chi-Quadrat Test <sup>1</sup>	P-Wert <sup>2</sup>
<b>Referenz-Standard</b>					
CT	25	0,95 (0,63-0,84)	0,97 (0,93-0,98)	0,18 (kombiniert)	0,9160 (kombiniert)
CT und Laparotomie	7	0,73 (0,58-0,84)	0,95 (0,87-0,98)		
<b>Zielbedingung</b>					
Freie Luft und/ oder Flüssigkeit	22	0,78 (0,68-0,85)	0,97 (0,96-0,99)	9,10 (kombiniert) 0,06 (Sensitivität) 8,08 (Spezifität)	0,0106 (kombiniert) 0,8100 (Sensitivität) 0,0045 (Spezifität)
Freie Luft und/ oder Flüssigkeit plus Organverletzung/ Gefäßverletzung	7	0,80 (0,73-0,85)	0,88 (0,70-0,96)		
<b>Patientenalter</b>					
Kinder	10	0,63 (0,46-0,77)	0,91 (0,81-0,96)	7,32 (kombiniert) 54,91 (Sensitivität) 19,88 (Spezifität)	0,0258 (kombiniert) 0,0000 (Sensitivität) 0,0000 (Spezifität)
Erwachsene und Kinder	24	0,78 (0,69-0,84)	0,97 (0,96-0,99)		
<b>Verletzungsart</b>					
Abdominelles Trauma	27	0,68 (0,59-0,75)	0,95 (0,92-0,97)	17,36 (kombiniert) 13,22 (Sensitivität) 5,39 (Spezifität)	0,0002 (kombiniert) 0,0003 (Sensitivität) 0,0202 (Spezifität)
Thoraxtrauma	4	0,96 (0,88-0,99)	0,99 (0,97-1,00)		
<sup>1</sup> Chi-Quadrat Test: Hypothesentest; hohe Testwerte indizieren, dass das ein Zusammenhang zwischen Testergebnis und Co-Variable bestehen könnte <sup>2</sup> p-Wert: p<0.05; statistisch signifikantes Ergebnis					

In jeder Studie wurde das CT entweder als einzelner Referenzstandard oder in Kombination mit anderen diagnostischen Tests verwendet. 25 Studien verglichen die Zielbedingungen (freie Luft / Flüssigkeit, etc.) ausschließlich mit CT und in sieben Studien mit CT und Laparotomie, wobei es keine signifikanten Unterschiede in der Sensitivität und Spezifität des Indextests im Vergleich zu den o.g. Co-Variablen gab ( $\text{Chi}^2 = 0,18$ ;  $p$ -Wert [Gesamteffekt] = 0,9160).

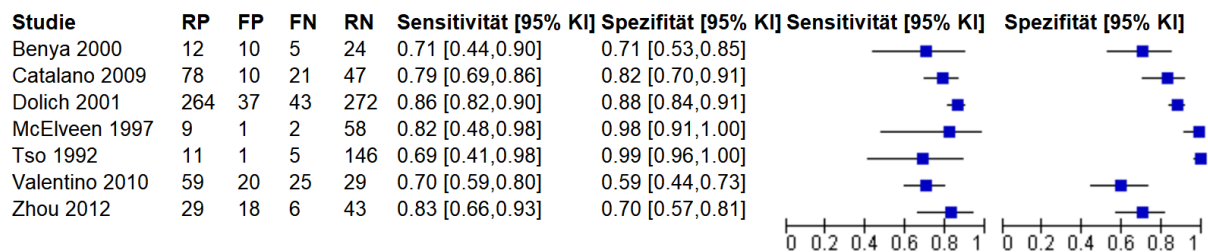
Bei der Analyse der Zielbedingungen untersuchten 18 Studien das Vorhandensein von freier Flüssigkeit bzw. vier Studien das Vorkommen von freier Luft (Hybrid-Tabelle 8). Drei Studien untersuchten Organverletzungen und weitere sieben Studien sowohl freie Flüssigkeit als auch direkte Anzeichen von Organverletzungen. Die individuellen Zielbedingungen beeinflussten hauptsächlich die Spezifitätsschätzungen ( $\text{Chi}^2 = 9,10$ ;  $p$ -Wert [Gesamteffekt] = 0,0106). Die Sensitivität des Indextests, die auf den Nachweis von freier Flüssigkeit oder freier Luft beschränkt war, betrug 0,78 (95% KI 0,68 bis 0,85), vergleichend dazu bei vollständiger Untersuchung (freie Flüssigkeit / Luft und Organverletzung) 0,80 (95% KI 0,73 bis 0,85) ( $\text{Chi}^2 = 0,06$ ;  $p$ -Wert [paarweise] = 0,8100). Die korrespondierenden Spezifitäten betrugen 0,97 (95% KI 0,96 bis 0,99) bzw. 0,88 (95% KI 0,70 bis 0,96) ( $\text{Chi}^2 = 8,08$ ;  $p$ -Wert [paarweise] = 0,0045).

**Tabelle 8** Forest-Plots zu Sensitivität und Spezifität aller 22 Studien, die ausschließlich auf den Nachweis freier Flüssigkeit bzw. freier Luft abzielten (RP = richtig positiv; FP = falsch positiv; FN = falsch negativ; RN = richtig negativ; KI = Konfidenzintervall).



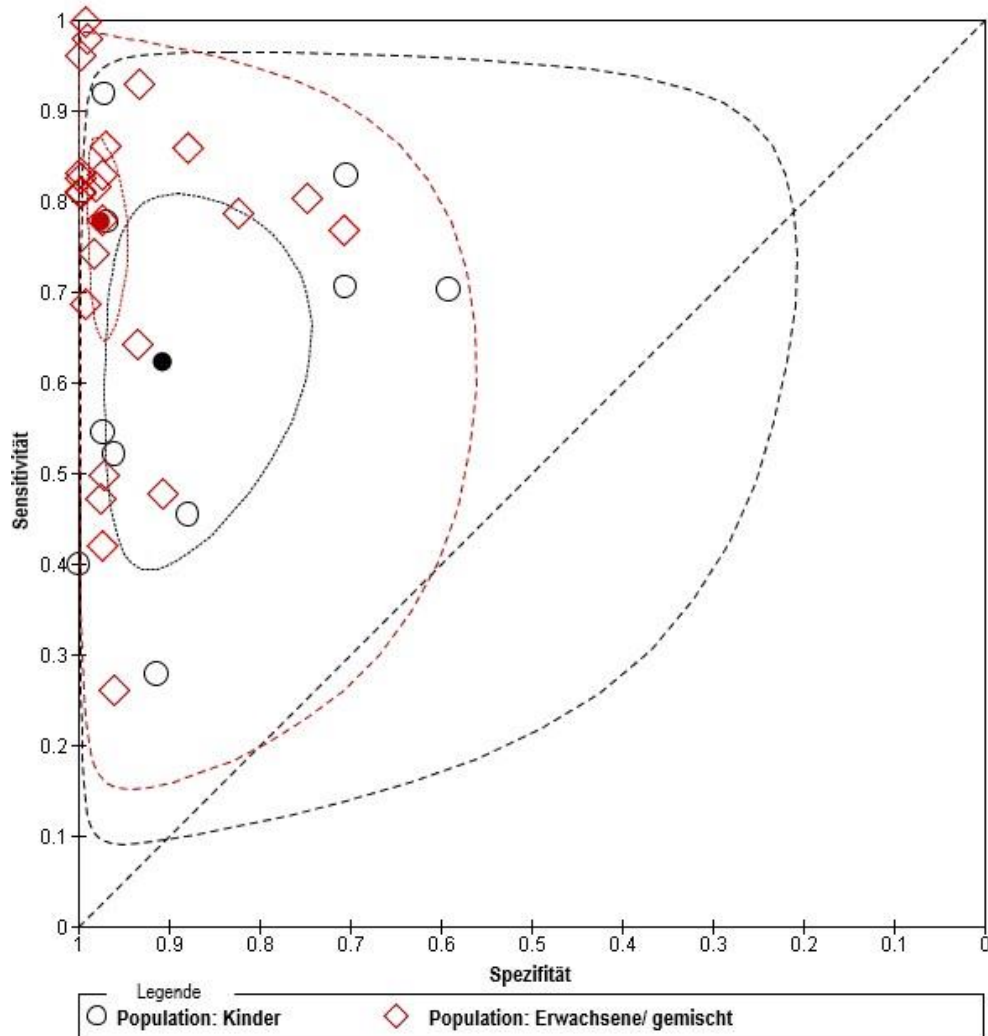
Die Forest-Plots für die Beurteilung freier Flüssigkeit sowie für die Beurteilung von freier Flüssigkeit / Luft plus Organverletzungen (Tabelle 9) zeigten größere Unterschiede in den Spezifitätswerten der Studien, die sowohl freie Flüssigkeit als auch direkte Anzeichen von Organverletzungen untersuchten als solche, die nur freie Flüssigkeit oder freie Luft untersuchten.

**Tabelle 9** Forest-Plots zu Sensitivität und Spezifität aller 7 Studien, die sowohl freie Flüssigkeit bzw. freie Luft als auch Organverletzungen untersuchten (RP = richtig positiv; FP = falsch positiv; FN = falsch negativ; RN = richtig negativ; KI = Konfidenzintervall).



Zehn Studien schlossen nur Kinder unter 18 Jahren und 24 Studien Erwachsene bzw. eine überwiegend erwachsene Bevölkerung ein. Das Alter der Teilnehmer war mit signifikant unterschiedlichen Sensitivitäts- und Spezifitätsschätzern assoziiert ( $\text{Chi}^2 = 7,32$ ;  $p$ -Wert [Gesamteffekt] = 0,0258). Die Sensitivität der Ultraschalluntersuchung betrug in Studien mit Kindern bzw. bei Erwachsenen oder einer gemischten Bevölkerung 0,63 (95% KI 0,46 bis 0,77) bzw. 0,78 (95% KI 0,69 bis 0,84) ( $\text{Chi}^2 = 54,91$ ;  $p$ -Wert [paarweise] <0,0001), die Spezifität 0,91 (95% KI 0,81 bis 0,96) bzw. 0,97 (95% KI 0,96 bis 0,99) ( $\text{Chi}^2 = 19,88$ ;  $p$ -Wert [paarweise] <0,0001). Die Abb. 11 zeigt die individuellen Sensitivitäts- und Spezifitätsschätzer, 95% KI und 95%-Vorhersageregionen in Abhängigkeit vom Alter der untersuchten Verletzten.

**Abb. 11** Sensitivitäts- und Spezifitätsanalysen mittels SROC-Kurven (schwarze Kreise: pädiatrische Studien, n=10; rote Rauten: nicht-pädiatrische Studien, n=24. Gestrichelte Linie: 95%-Vorhersagebereich (Prediction Interval). Gepunktete Linie: 95% KI).

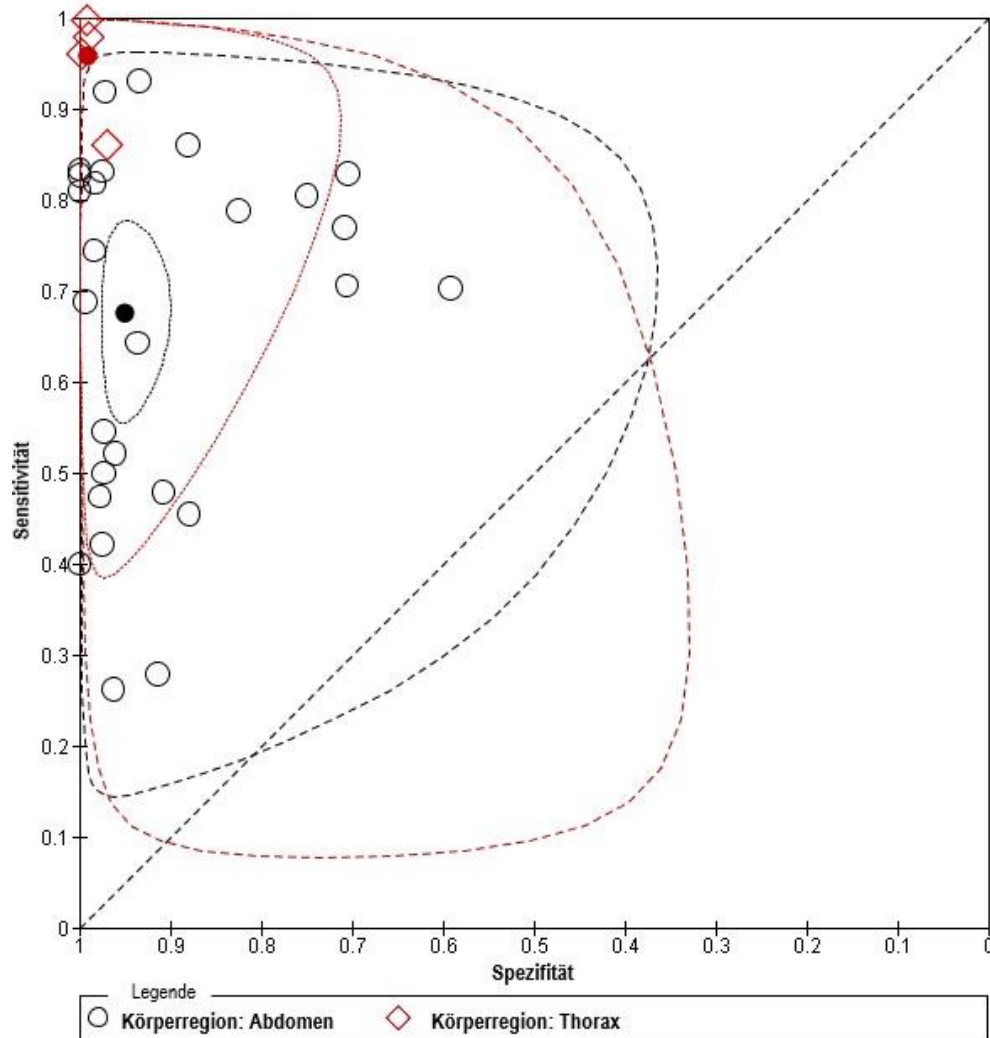


Bezüglich des Verletzungsmusters befassten sich 27 Studien mit abdominellen Verletzungen, vier Studien ausschließlich mit Thoraxtraumata, zwei Studien mit beiden Verletzungsmustern und eine Studie mit stumpfen stammbetonten Traumata ohne weitere Spezifikation. Basierend auf 31 Studien führte die Beurteilung dichotomisiert nach Verletzungstyp (Thorax- oder Abdominaltrauma) zu signifikant unterschiedlichen Schätzungen der Sensitivität und Spezifität ( $\text{Chi}^2 = 17,36$ ;  $p$ -Wert [Gesamteffekt] = 0,0002).

Die Sensitivität des Indextests für Abdominal- und Thoraxtraumata betrug 0,68 (95% KI 0,59 bis 0,75) bzw. 0,96 (95% KI 0,88 bis 0,99) ( $\text{Chi}^2 = 13,22$ ;  $p$ -Wert [paarweise] = 0,0003) und die Spezifität 0,95 (95% KI 0,92 bis 0,97) bzw. 0,99 (95% KI 0,97 bis 1,00) ( $\text{Chi}^2 = 5,39$ ;  $p$ -Wert [paarweise] = 0,0202).

Studienübergreifende Schätzungen der Sensitivität und Spezifität sowie die 95% KI und 95%-Vorhersageregionen für Thorax- und abdominelle Studien sind in Abb. 12 dargestellt. Die diagnostischen Maßzahlen der Studien mit dem Schwerpunkt abdomineller Verletzungen (schwarze Kreise) sind über die Studien hinweg stark gestreut, wohingegen Sensitivitäts- und Spezifitätswerte für Studien, die ausschließlich Thoraxtraumata (rote Rauten) einbeziehen, durchgängig konsistent sind.

**Abb. 12** Sensitivitäts- und Spezifitätsanalyse mittels SROC-Kurven (schwarze Kreise: abdominelle Studien, n=27; rote Rauten: thorakale Studien, n=4. Gestrichelte Linie: 95%-Vorhersagebereich (Prediction Interval). Gepunktete Linie: 95% KI).



#### 4.5 Sensitivitätsanalysen

Zur Einschätzung potenzieller Einflussfaktoren (Studienqualität, Effekt unabhängiger Reviewer und Patientenalter) auf die Sensitivitäts- oder Spezifitätsschätzer wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die Werte der Summenschätzer (Sensitivität und Spezifität) für Studien mit geringem Bias-Risiko basierend auf der Studienqualität sind der nachfolgenden Auflistung zu entnehmen. Keine der genannten Variablen hatte einen Einfluss diagnostische Gütekriterien:

Patientenauswahl (n=9):	SN 0,75 (95% KI 0,63 – 0,85) und SP 0,93 (95% KI 0,83 – 0,98)
Indextest (n=22):	SN 0,77 (95% KI 0,66 – 0,85) und SP 0,97 (95% KI 0,94 – 0,98)
Referenzstandard (n=11):	SN 0,77 (95% KI 0,60 – 0,89) und SP 0,97 (95% KI 0,93 – 0,99)
Verlauf (n=30):	SN 0,74 (95% KI 0,65 – 0,81) und SP 0,96 (95% KI 0,93 – 0,98)

Da in zwei Originalstudien (Benya *et al.*, 2000; Ghafouri *et al.*, 2016) die Ultraschall- und CT-Untersuchungen jeweils von zwei Untersuchern unabhängig bewertet wurden und daher zu zwei verschiedenen diagnostischen Maßzahlen für jeden Prüfer führte, wurde der Einfluss der Ergebnisse jedes einzelnen Untersuchers auf die Schätzer der diagnostischen Güte analysiert. Dafür wurden die niedrigsten Werte beider Prüfer in einem Analyseset (Hauptanalyseset) und die höchsten Werte beider Prüfer in einem zweiten Set (Sensitivitätsanalyseset) zusammengefasst. Bei einem Vergleich der beiden Sets wurde jedoch kein substanzieller Unterschied in den Schätzungen der diagnostischen Genauigkeit festgestellt. Die zusammenfassenden Schätzer von Sensitivität und Spezifität inklusive der Konfidenzintervalle waren in beiden Gruppen identisch, wobei die Sensitivitätsschätzungen bei 0,74 (95% KI 0,65 – 0,81) und die Spezifitätsschätzungen bei 0,96 (95% KI 0,94 – 0,98) lagen. Die positiven und negativen LRs unterschieden sich nur geringfügig mit 20,9 (95% KI 12,0 – 36,5) und 0,27 (95% KI 0,20 – 0,37) im Hauptanalyseset, verglichen mit 20,8 (95% KI 11,8 – 36,8) und 0,27 (95% KI 0,20 – 0,37) im Sensitivitätsanalyseset.

Die Sensitivitäts- und Spezifitätswerte der pädiatrischen Studien im Rahmen der Sensitivitätsanalyse waren niedriger als in der Untersuchung von Erwachsenen und gemischten Populationen. In den 10 pädiatrischen Studien mit 1.384 Teilnehmern wurde die Sensitivität auf 0,62 (95% KI 0,47 – 0,75) und die Spezifität auf 0,91 (95% KI 0,81 – 0,96) geschätzt. Tabelle 10 zeigt die Gesamtübersicht über die Hauptergebnisse der Sensitivitätsanalyse.

**Tabelle 10** Ergebniszusammenfassung der Sensitivitätsanalyse.

Patient*- Innen (Studien)	Sensitivität (95% KI)	Spezifität (95% KI)	Positive LR <sup>1</sup> (95% KI)	Negative LR (95% KI)	PPV <sup>2</sup> (95% KI)	NPV <sup>3</sup> (95% KI)
<b>Gesamtkohorte</b>						
8635 (34)	0.74 (0.65-0.81)	0.96 (0.94-0.98)	18.5 (10.8-40.5)	0.27 (0.19-0.37)	0.88 (0.81-0.94)	0.90 (0.87-0.93)
<b>Kinderkohorte</b>						
1384 (10)	0.62 (0.47-0.75)	0.91 (0.81-0.96)	6.9 (2.5-18.8)	0.42 (0.26-0.65)	0.76 (0.53-0.89)	0.84 (0.77-0.90)
<b>Auswirkungen auf eine virtuelle Kohorte von 1000 Personen</b>						
<b>Gesamtkohorte</b>						
Nicht erfasste Verletzungen	73 von 280 Verletzten bei mittlerer Prävalenz von 28%					
Überbehandlung	29 von 720 Gesunden bei mittlerer Prävalenz von 28%					
<b>Kinderkohorte</b>						
Nicht erfasste Verletzungen	118 von 310 Verletzten bei mittlerer Prävalenz von 31%					
Überbehandlung	62 von 690 Gesunden bei mittlerer Prävalenz von 31%					
<sup>1</sup> Likelihood-Ratio; <sup>2</sup> Positiver prädiktiver Vorhersagewert; <sup>3</sup> Negativer prädiktiver Vorhersagewert						



## 5. Diskussion

### 5.1 Hauptergebnisse

Insgesamt wurden aus einer Gesamtmenge von 2.296 potenziell relevanten Zitaten 34 Studien mit 8.635 Teilnehmern in die quantitative Betrachtung einbezogen, um die Frage nach der diagnostischen Genauigkeit der POCS-Ultraschalluntersuchung (FAST / eFAST) gegenüber einem Referenzstandard beantworten zu können. Die gepoolte Spezifität wurde auf 0,96 (95% KI 0,94 – 0,98) geschätzt. Damit handelt es sich bei der POCS-Sonografie um einen sog. SPPIN-Test („Specificity is so high that Positive results rule the diagnosis IN“) - mit anderen Worten, zeigen FAST oder eFAST eine Verletzung, kann diese mit hoher Wahrscheinlichkeit als gesichert gelten. Ein Ausschlussverfahren ist die FAST / eFAST mit einer gepoolten Sensitivität von 0,74 (95% KI 0,65 – 0,81) hingegen nicht. Bei starker Heterogenität individueller Studienergebnisse überrascht die besonders niedrige berichtete Sensitivität bei Kindern (0,63, 95% KI 0,46 – 0,77) im Vergleich zur Erwachsenen- bzw. gemischten Population. Dies steht auch etwas im Gegensatz zu klinischen Erfahrungswerten, da Kinder aufgrund ihres Körperbaus und geringer Fettschichten i.a. gut sonografisch untersuchbar sind.

In der Differenzierung der Studien nach der Verletzungsart (Abdominal- versus Thoraxtrauma) erzielte die Ultraschalluntersuchung bei der Detektion von Thoraxverletzungen eine klinisch relevant und statistisch signifikant höhere Sensitivität von 0,96 (95% KI 0,88 – 0,99) im Vergleich zum Abdomen-Schall (0,68, 95% KI 0,59 – 0,75) - allerdings beruhen diese Ergebnisse auf lediglich vier Genauigkeitsuntersuchungen mit dem Fokus auf Thoraxverletzungen.

Nicht überraschend war die Spezifität der POCS-Sonografie in der Detektion freier Flüssigkeit höher (0,97, 95% KI 0,96 – 0,99) als beim Nachweis von Organverletzungen (0,88, 95% KI 0,70 – 0,96).

In einer virtuellen Kohorte von 1000 Patient\*innen mit einer mittleren Prävalenz thorako-abdomineller Verletzungen von 28% würden auf der Basis der Ergebnisse dieser Meta-Analyse 73 Patient\*innen mit Verletzungen übersehen werden und fälschlicherweise 29 Patient\*innen als verletzt beurteilt werden. In einer Kohorte von 1000 Kindern würden 118 Kinder mit Verletzungen übersehen und 62 Kinder fehlerhaft als verletzt eingeschätzt werden.

## 5.2 Heterogene Sensitivität-/ Spezifitätswerte, mögliche Erklärungsansätze

Die heterogenen diagnostischen Kennzahlen erfordern medizinische und methodische Erklärungsansätze. Die berichtete geringe diagnostische Genauigkeit der POCS-Sonografie bei Kindern könnte auf unzureichende Compliance und Kooperation von Kindern während der Durchführung, aber auch auf mangelnde Expertise und Erfahrung des Untersuchers zurückzuführen sein. Eine weitere mögliche Erklärung für falsch-negative Befunde ist der üblicherweise niedrigere Blutdruck von Kindern im Vergleich zu Erwachsenen. Die Ultraschalluntersuchung kann erst ab einem bestimmten Volumen und in Abhängigkeit vom Untersucher eine intraabdominelle Blutung darstellen (Paajanen, Lahti and Nordback, 1999). Eine venöse bzw. arterielle Blutung nach einer Gefäß- oder Organverletzung bei Kindern könnte innerhalb vergleichbarer Zeit zu einer geringeren Blutansammlung in den Körperhöhlen führen als bei Erwachsenen.

Die Detektion eines Pneumo- bzw. Hämatothorax gelingt mittels Ultraschall möglicherweise einfacher als die eines Bauchtraumas, da hier die Untersuchungsbedingungen aufgrund der Konstitution jedes einzelnen Patient\*innen bei weitem günstiger sind.

In der abdominellen Untersuchung kann ein meteoristisch geblähtes Abdomen oder eine Adipositas mit großen viszeralen Fettanteilen die Ultraschalluntersuchung erschweren, so dass eine richtungsweisende Aussage bezüglich einer Pathologie schwierig zu treffen ist.

Im Bereich des Thorax können diese Einschränkungen auf ein Minimum reduziert werden, da das Lungenfell (Pleura visceralis) im besten Fall in Adhäsion mit dem Rippenfell (Pleura parietalis) nur wenige Zentimeter vom Ultraschallkopf entfernt liegt, so dass Fettgewebe oder Luft die maximale Eindringtiefe und Qualität der Bilder nur marginal beeinflusst und dadurch die Aussage verlässlicher wird.

Die Erkennung oder der Ausschluss von Organ- bzw. Gefäßverletzungen mittels Ultraschall ist bei weitem schwieriger als die Detektion von Surrogaten wie freier Flüssigkeit und erfordert ein hohes Maß an Fähigkeiten des Untersuchers. Möglicherweise könnten Ultraschall-Kontrastmittel die Genauigkeit verbessern (siehe 5.7).

### **5.3 Ergebnisintegration in Leitlinien**

Die Ergebnisse dieser Arbeit könnten möglicherweise in nationale und internationale Leitlinienempfehlungen einfließen.

Insb. bei der Untersuchung von Kindern (siehe 1.5.1 Schlüsselempfehlung 2.130 der S3-Leitlinie) sollten die Ergebnisse der POCS-Sonografie mit noch größerer Zurückhaltung beurteilt werden.

Weiterhin sollte die eFAST-Untersuchung bei der Detektion von thorakalen Verletzungen als fester Bestandteil der Basisdiagnostik implementiert werden (siehe 1.5.1 Schlüsselempfehlung 2.15 der S3-Leitlinie). Die Röntgenuntersuchung des Thorax, insb. bei polytraumatisierten Patient\*innen, sollte womöglich verlassen werden.

Um Organ- und / oder Gefäßverletzungen mittels Ultraschalluntersuchung genauer nachweisen bzw. ausschließen zu können, bedarf es entweder Kontrastmittel oder sequenzieller sonografischer Folgeuntersuchungen.

### **5.4 Limitationen des Reviews, Stärken und Schwächen**

Diese systematische Übersichtsarbeit und Meta-Analyse gemäß der strikten methodischen und formalen Kriterien der Cochrane Collaboration (vertreten sowohl durch die Cochrane Injuries als auch Diagnostic Test Accuracy Group) liefert einen umfassenden und unverzerrten, qualitativen und quantitativen Überblick über die diagnostische Genauigkeit der Ultraschalluntersuchung im frühen Stadium der Schwerverletztenversorgung. Auf Anraten der Cochrane DTA Group wurden „Diagnostic test accuracy Filter“ zum Zwecke der Reduktion der Anzahl von Studien und der Fokussierung auf die relevantesten Zitate genutzt (Lefebvre *et al.*, 2017).

Dies stand im Widerspruch zu einem Manuskript einer Expertengruppe der Cochrane Collaboration von 2013, welches vom Einsatz dieser DTA-Filter abriet, um die Sensitivität der Suche nicht negativ zu beeinflussen (Beynon *et al.*, 2013). Somit ergaben sich selbst unter den Bedingungen eines Cochrane-Reviews uneinheitliche methodische Vorgaben, welchen entsprochen werden musste.

Aufgrund der relativ großen Anzahl von 34 Studien mit über 8.000 Teilnehmern war es möglich, hinreichend viele Daten zu extrahieren, statistisch aufzuarbeiten und im Hinblick auf Sensitivität, Spezifität und Heterogenität zu analysieren.

Allerdings ließen sich in diesem Review nur hinsichtlich abdomineller Verletzungen verlässliche Aussagen treffen; nur vier Studien untersuchten thorakale Verletzungsbilder.

Fehlende Informationen in den Kategorien Patientenauswahl und Referenzstandards führten zu einer negativen Bewertung der Gesamtqualität einzelner Untersuchungen im QUADAS-2-Instrument. Sensitivitätsanalysen legten hingegen keinen Einfluss der methodischen Studienqualität auf diagnostische Genauigkeitsschätzer nahe.

Der Einfluss verschiedener Studiencharakteristika, insbesondere Hardware, Anwender-Ausbildung und -Expertise, auf die beobachtete Heterogenität konnte aufgrund fehlender Informationen in der Mehrzahl der Studien nicht untersucht werden. Außerdem mussten die ursprünglich angedachten Kategorien für Referenzstandard und Patientenalter aufgrund der Studienlage angepasst werden, um die Heterogenitätsanalyse verlässlich durchführen zu können.

Im Review wurden sowohl Indextest als auch Referenztest als positiv bewertet, wenn eine der unter Punkt 3.3 genannten Zielbedingungen erfüllt wurde, ohne dabei zu unterscheiden, ob diese bei einem Indextest oder nachfolgendem Referenztest identisch waren. In 25 von 34 Studien wurden jedoch sowohl für den Index- als auch Referenztest gleiche Bedingungen für die Testpositivität angelegt. Fehlende Details über beide Testverfahren bezüglich dieser Zielbedingungen könnten aber potenziell einen Effekt auf die Testgenauigkeit haben.

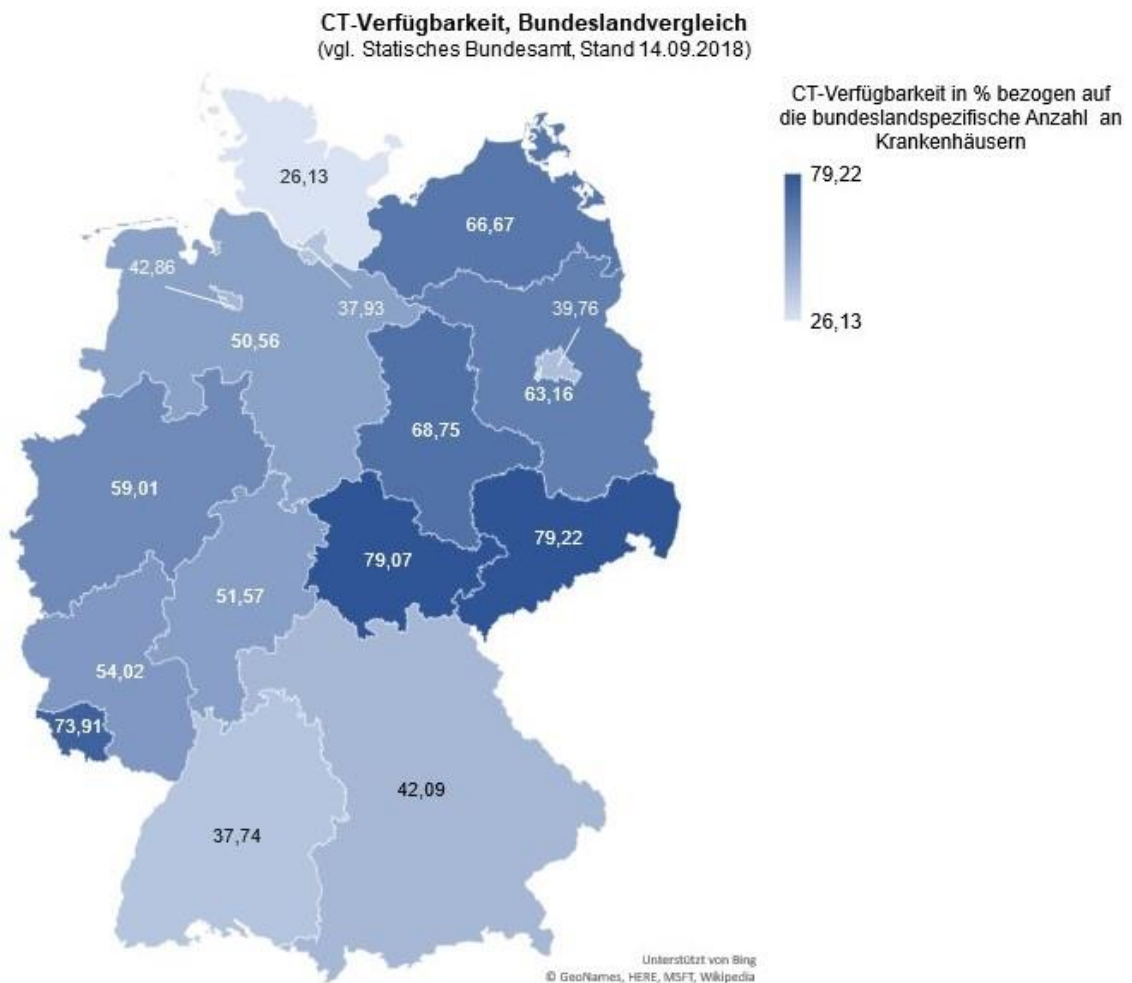
## **5.5 Nationale Versorgungslage**

Für die Gesundheitstechnologie- und Nutzenbewertung der POCS-Sonografie (FAST / eFAST) im hier untersuchten Szenario spielen die diagnostische Genauigkeit, die Häufigkeit von Abdomen- und Thoraxverletzungen sowie die Verbreitung der Methode und potenziell konkurrierende diagnostische Verfahren wie die CT / Weight Bearing Cone Beam Computed Tomography [WBCT] eine Rolle. Letzteres soll anhand des umfassenden Berichtes „Grunddaten der Krankenhäuser“ des statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, 2018c) praktisch erörtert werden.

Nicht nur die räumliche Verteilung von Krankenhäusern verschiedener Versorgungsstufen und ihre Akkreditierung als lokales, regionales oder überregionales Traumazentrum innerhalb eines TraumaNetzwerks ist entscheidend für eine suffiziente Behandlung von Patient\*innen, sondern auch die Ausstattung dieser Einrichtungen mit personellen und apparativen Ressourcen zu jeder Tages- und Nachtzeit.

Gemäß den aktuellen Zahlen des statistischen Bundesamtes aus dem Jahre 2018 verfügen knapp die Hälfte (969 von 1.942) aller bundesdeutschen Krankenhäuser über einen Computertomografen. Im Ländervergleich sind Sachsen und Thüringen mit 79%, das Saarland mit 74%, Sachsen-Anhalt mit 69% und Mecklenburg-Vorpommern mit 67% die führenden Bundesländer, bei denen mehr als zwei Drittel aller Krankenhäuser einen CT-Scanner vorhalten. Das Schlusslicht bilden Hamburg mit 38%, Baden-Württemberg mit 38% und Schleswig-Holstein mit 26% (Abb. 13).

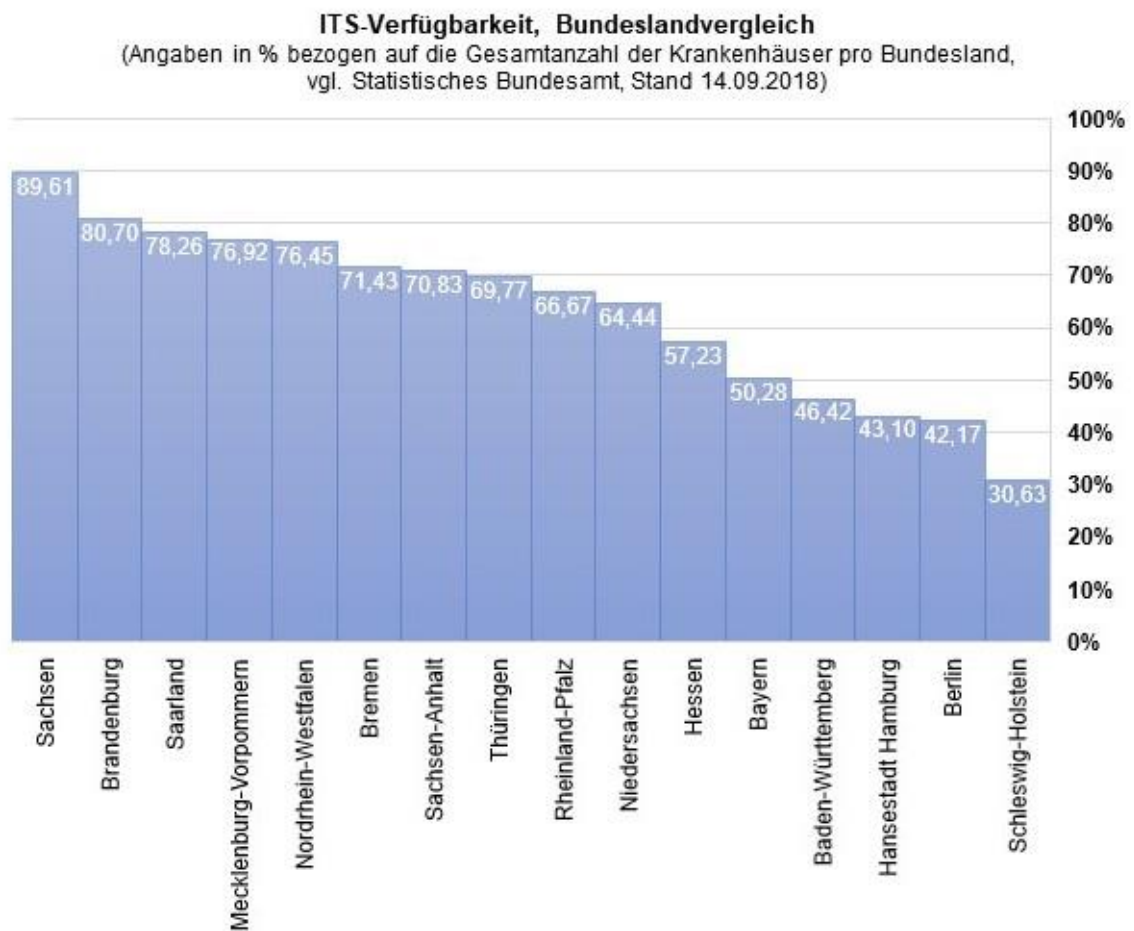
**Abb. 13** Geografischer Vergleich der Verfügbarkeit von Computertomografen auf Länderebene (Statistisches Bundesamt, 2018c).



Ob diese radiologische Diagnostik jedoch rund um die Uhr (24 / 7) zur Verfügung steht, in unmittelbarer Nähe zur Notaufnahme bzw. dem Schockraum installiert ist und beispielsweise Trauma-spezifische Ganzkörper-Untersuchungsprotokolle etabliert sind, eine professionelle Befundung vor Ort oder im Rahmen von Teleradiologie durch ein übergeordnetes Zentrum ermöglicht wird, kann aus diesen Informationen nicht abgeleitet werden.

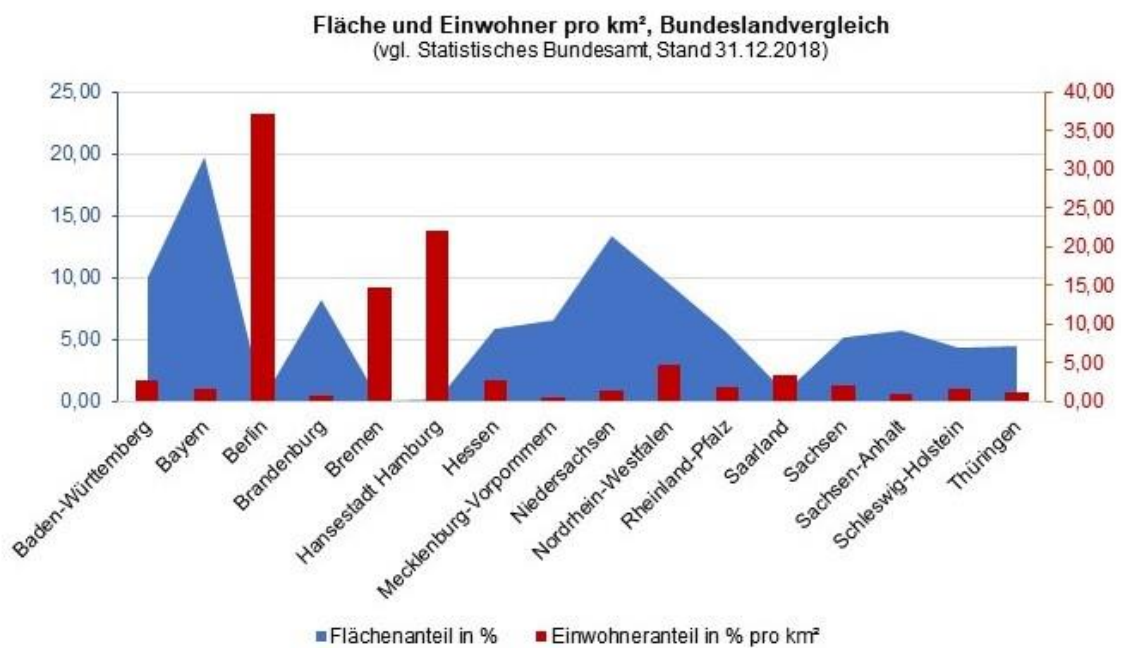
Ebenso wichtig wie die CT-Diagnostik ist für eine adäquate Schwerverletztenversorgung auch die Vorhaltung von Intensivbetten. Derzeit bieten etwa 60% aller deutschen Krankenhäuser (1.160 / 1.942) in Deutschland diese notwendige Kapazität einer Intensivstation [ITS], visualisiert in Abb. 14.

**Abb. 14** Überblick über die Verfügbarkeit von Intensivstationen in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2018c).



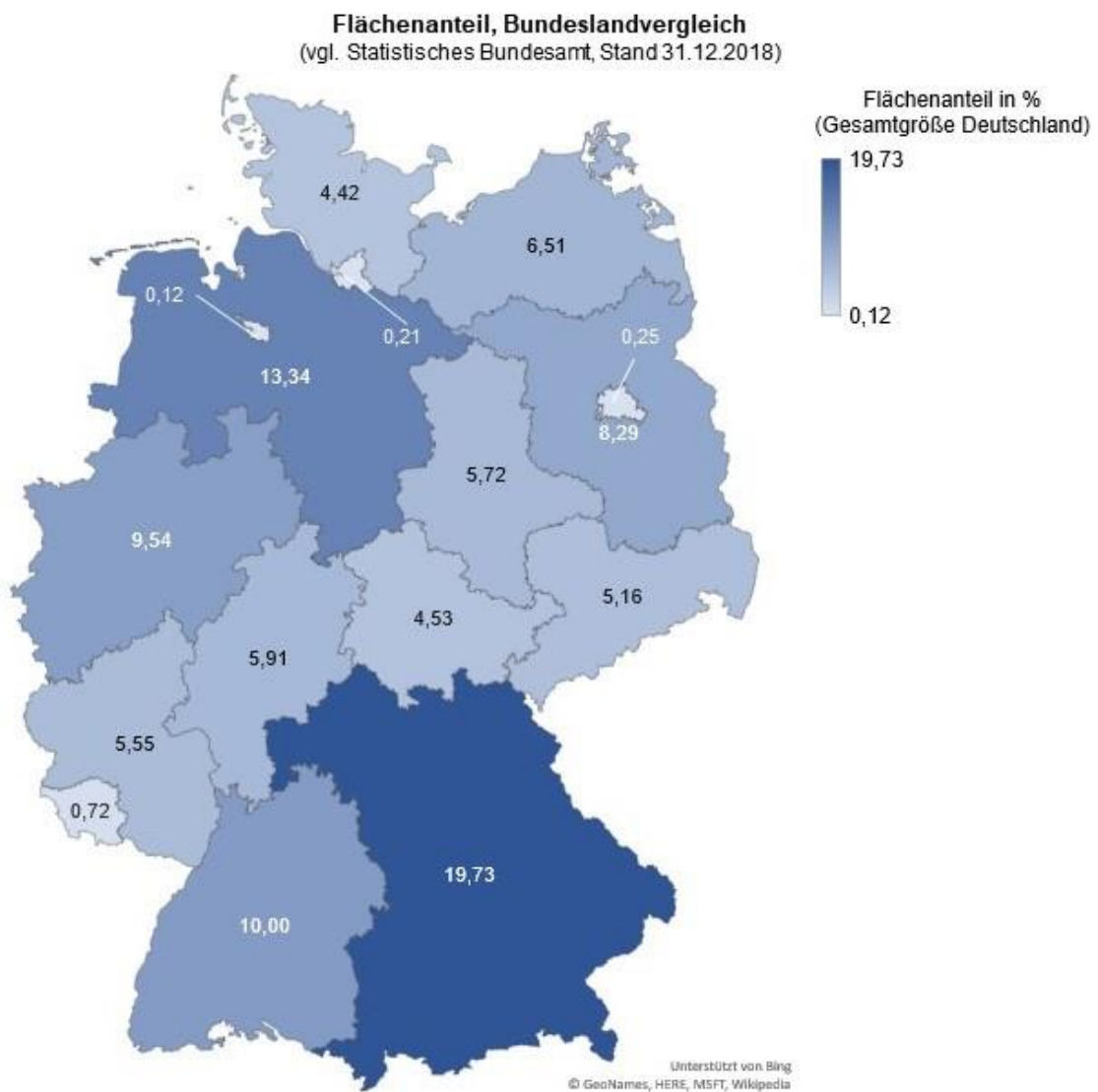
Die Bevölkerungsdichte in Ballungsräumen (Statistisches Bundesamt, 2018b), z.B. Berlin und Hamburg ist höher als in ländlichen Regionen (Abb. 15, Abb. 16). Da die Transportwege in städtischen Bereichen zu geeigneten Krankenhäusern kürzer sind, muss das Hauptaugenmerk auf ländliche Regionen mit Engpässen und einer möglichen Unterversorgung gerichtet werden.

**Abb. 15** Überblick über die Flächen- und Einwohnerverteilung in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2018b).





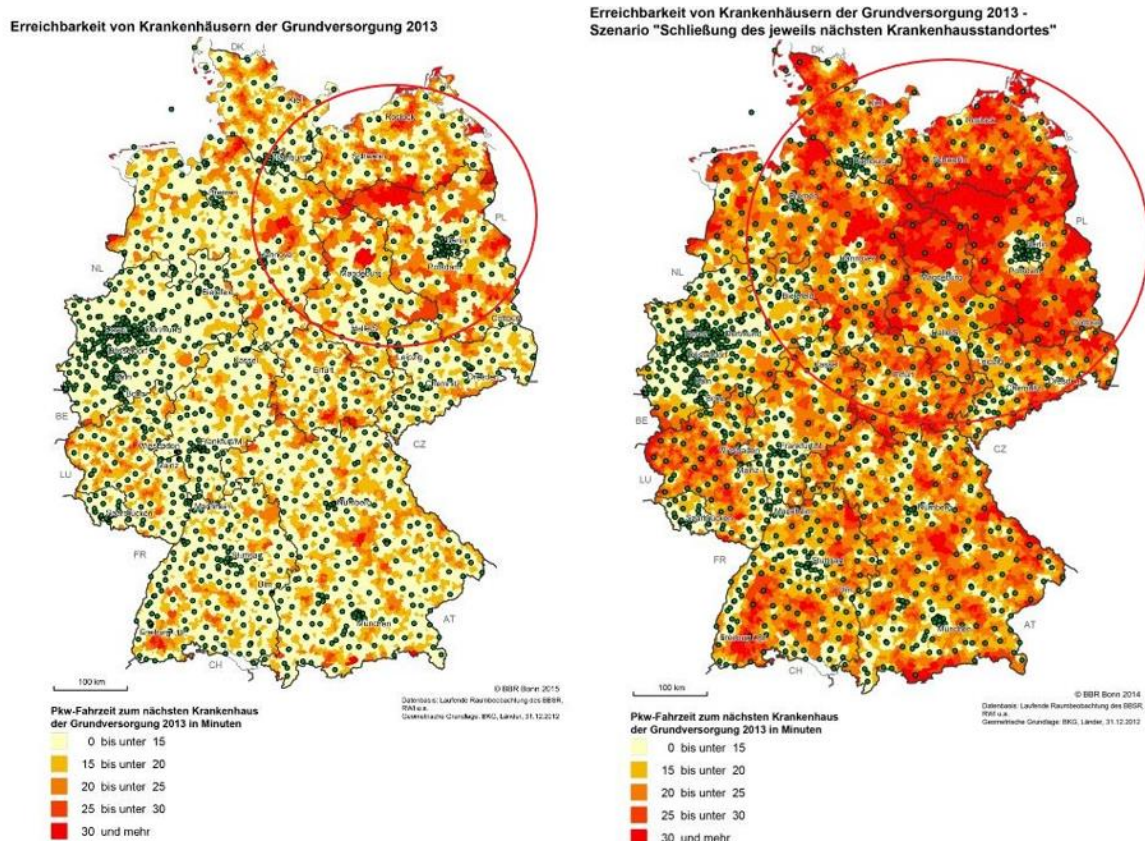
**Abb. 16** Geografischer Flächenvergleich in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2018b).



Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung hat 2013 durchschnittliche Transportzeiten zu Krankenhäusern der Grundversorgung untersucht (Abb. 17). Natürlich sind diese nicht mit Transportzeiten des Rettungsdienstes aufgrund ihrer Sonderrechte etc. vergleichbar. Die Untersuchung ermöglicht jedoch eine grobe Einschätzung über die Anbindung ländlicher Regionen an die medizinische Versorgung.

Vor allem die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und der östliche Teil Nordrhein-Westfalens weisen lange Transportzeiten von über 30 Minuten zum nächstgelegenen Krankenhaus der Grundversorgung auf.

**Abb. 17** Erreichbarkeit von Krankenhäusern der Grundversorgung im Regelfall und bei Schließung des jeweils nächsten Krankenhausstandortes (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2013).



Anhand dieses Beispiels und der rot markierten Bereiche wird klar, dass es große Defizite in der Traumaversorgung der deutschen Bevölkerung vorwiegend im Norden und Nord-Osten Deutschlands gibt. Auch in einer späteren Veröffentlichung des Bundesministeriums des Innern, Bau und Heimat auf Grundlage von Daten des Bundesforschungsinstituts für Ländliche Räume, Wald und Fischerei aus dem Jahre 2019 (Bundesinstitut des Innern und Bau und Heimat, 2019) wurde auf Engpässe in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen und Bayern hingewiesen.

Etwa 14% der deutschen Bevölkerung würden für den Weg in ein Krankenhaus der Grundversorgung bis zu 20 Minuten und 3% mehr als 20 Minuten benötigen. Würden diese Prozentzahlen auf die Gesamtbevölkerung hochgerechnet werden, brauchen knapp 14 Millionen Einwohner über 15 Minuten mit dem eigenen Fahrzeug in eine Klinik, die möglicherweise nicht die Expertise für eine adäquate Behandlung von Verletzungen vorhält. Zwischen 2005 und 2015 wurden beispielsweise durch Unternehmensfusionen 183 Krankenhäuser geschlossen; die Gesamtzahl verfügbarer Betten wurde damit um 24.473 (4,7%) reduziert (Klauber *et al.*, 2018). Das Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung prognostizierte 2018 eine Zunahme von Notfall-Patient\*innen von 34% auf 45% über 10 Jahre (RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, 2018).

Abschließend lässt sich vor dem Hintergrund der aktuellen Versorgungslage in Deutschland für schwere und schwerste Verletzungen des Thorax und / oder Abdomens festhalten:

1. Die CT-Verfügbarkeit 24 / 7 und Intensivbehandlung von Verletzten wird derzeit nur von etwa der Hälfte aller Krankenhäuser garantiert.
2. Es besteht unverändert eine regional heterogene Verteilung von Krankenhäusern der Grund-, Regel-, Maximalversorgung, vornehmlich im norddeutschen Raum.
3. Die stetige Zunahme von Notfallpatient\*innen in Rettungsstellen konkurriert mit der z.T. notwendigen Schließung von Krankenhausstandorten und der Reduktion von Krankenhausbetten.

Die Ultraschalldiagnostik stellt jedoch eine niederschwellige, allgemein verfügbare bildgebende Technologie dar, welche es ermöglicht, zumindest wegweisende Basisdiagnostik bei vermuteten Verletzungen der großen Körperhöhlen flächendeckend durchzuführen - vorausgesetzt, die Anwender bringen ausreichende Expertise mit. Hierfür garantieren qualitätsgesicherte Fort- und Weiterbildungsprogramme z.B. unter dem Dach der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin e.V. [DEGUM], ATLS®-Kursen usw.

## 5.6 Präklinische Ultraschalluntersuchung (pFAST<sup>5</sup>)

Die zunehmende Kompaktheit und Mobilität hoch-auflösender Ultraschallgeräte ermöglicht ihren Einsatz bereits in der präklinischen Phase (pFAST), z.B. im boden- und luftgebundenen Rettungsdienst. In einer US-amerikanischen prospektiven Studie (Rooney *et al.*, 2016) wurde gezeigt, dass auch nicht-ärztliches Personal (z.B. Rettungsassistenten / -sanitäter, „Paramedics“) nach einem 3-stündigen Training Ultraschallbilder unter den Alarmierungskriterien Brustschmerz, Atemnot, Bewusstlosigkeit, Trauma oder Herzstillstand richtungsweisend beurteilen und somit schneller richtige und zielführende Entscheidungen für den Patient\*innen treffen können. Eine deutsche Studie (Ruessler *et al.*, 2009) zeigte, dass die Durchführung einer präklinischen Ultraschalldiagnostik annähernd vergleichbare Ergebnisse liefert wie im klinischen Kontext, die Ergebnisse der pFAST-Untersuchung aber im Durchschnitt um 35±13 Minuten früher vorlagen, wodurch die nachfolgenden diagnostischen und therapeutischen Entscheidungen in der Klinik zeiteffektiver organisiert werden konnten.

Eine zweite Einsatzmöglichkeit im präklinischen Kontext stellt die Nutzung des Ultraschalls im militärischen Setting und in Kriegsgebieten dar. Die medizinische Versorgung bzw. Anbindung an die moderne Medizin sind in Ländern, in denen Krieg bzw. kriegsähnliche Zustände vorherrschen, häufig unzureichend, wodurch der Einsatz der pFAST in diesen Regionen möglicherweise lebensrettend sein kann.

Die präklinische Ultraschalluntersuchung im Rahmen von Naturkatastrophen (Erdbeben, Vulkanausbrüche, etc.) mit einem zu erwartenden Massenansturm von Verletzten [MANV] aber auch in Extremsituationen, beispielsweise in der Luft- und Raumfahrt, wäre ebenfalls denkbar. In einer Übersicht von Ma *et al.* (Ma, Norvell and Subramanian, 2007) mit dem Titel „Ultrasound applications in mass casualties and extreme environments“ werden die Vor- und Nachteile der Ultraschallnutzung sowohl im Rahmen von Erdbeben in Armenien und der Türkei als auch unter extremen Umweltbedingungen im Kontext von Weltraummissionen geschildert. Unterstrichen werden das (Massen-)Screening von vielen Patient\*innen durch nicht-medizinisches Personal in Katastrophengebieten zur Detektion intraabdomineller und intrathorakaler Verletzungen. Durch drahtlose bzw. Satellitenübertragung von Ultraschallbildern in Echtzeit kann auch unter extremen Bedingungen die Bereitstellung von Bilddaten zur Begutachtung durch medizinisches Fachpersonal in weiter entfernten und übergeordneten Zentren gewährleistet werden.

---

<sup>5</sup> pFAST = „Prehospital Focused Assessment with Sonography for Trauma“

In der Luft- und Raumfahrt wird der Einsatz von Ultraschallgeräten unter Bedingungen der Schwerelosigkeit getestet und überprüft, ob die Durchführung der Untersuchung durch die Besatzung im Weltraum unter Anleitung durch medizinisches Fachpersonal auf der Erde möglich ist. Somit könnten bei Verletzungen durch Außeneinsätze an Weltraumstationen, die mit einem erhöhten Verletzungsrisiko einhergehen, Astronauten effektiver untersucht werden. Auch in Hinblick auf die Zukunftsvision einiger Länder zur Durchführung von kommerziellen Weltraumflügen, insb. aber geplanter bemannter Missionen zum Mond und Mars schon in den nächsten Jahren wird die medizinische Erstversorgung vor große Aufgaben gestellt werden. Der Einsatz der Ultraschalluntersuchung ist in diesen Bereichen essenziell, da kaum röntgenstrahlen-emittierende Großgeräte wie die CT installiert oder mitgeführt werden können.

Ein jüngeres Review (Feletti, Mucci and Aliverti, 2018) unterstreicht die Einsatzmöglichkeit der Ultraschalluntersuchung zur Untersuchung von thorakalen Verletzungsmustern unter extremen Bedingungen, wie beispielsweise in der Raumfahrt aber auch in Kriegsgebieten, bei Umwelt-/Wetterkatastrophen und beim Extremsport.

## **5.7 Kontrastmittelunterstützter Ultraschall**

Die kontrastmittelunterstützte Untersuchung (CEUS<sup>6</sup>) stellt einen weiteren Schritt in der Weiterentwicklung der diagnostischen Ultraschall-Technologie dar. Die intravenös verabreichten Kontrastmittel beinhalten sog. Mikrobäschen („microbubbles“), die innerhalb des Gefäßes im Gewebe durch Ultraschallwellen in Vibration versetzt werden und so über Schwingungen größerer Amplitude durch den Ultraschallkopf detektiert, anschließend ausgewertet und farblich grafisch dargestellt werden. Bei hämodynamisch stabilen Patient\*innen soll die CEUS Organläsionen quantitativ besser erfassen und die Qualität gegenüber einer konventionellen Ultraschalluntersuchung erhöhen (Miele *et al.*, 2016). Insb. Gefäßverletzungen, Gefäßstirisse und Organkapselrisse lassen sich aufgrund des Kontrastmittelaustritts (Extravasation) besser detektieren. Insb. bei Kindern ließe sich (unter Berücksichtigung der schon geschilderten Blutdruck-Besonderheiten) die Sensitivität der Ultraschalldiagnostik verbessern. Auch bei Patient\*innen mit eingeschränkter Nierenfunktion, bei denen eine Applikation von Iod-haltigen Röntgen-Kontrastmitteln nur in geringen Dosen medizinisch vertretbar ist, stellen eine weitere Zielpopulation dar. Der zusätzliche Aufwand, die längere Untersuchungszeit und die höheren Anforderungen an die Untersucherqualifikation sind als mögliche Nachteile zu nennen.

---

<sup>6</sup> CEUS = „Contrast-enhanced ultrasound“

## 6. Schlussfolgerung

Die POCS-Ultraschalluntersuchung stellt in Krankenhäusern bzw. Traumazentren jeder Versorgungsstufe weltweit einen zentralen Baustein der Prioritäten-orientierten Diagnostik schwerverletzter Patient\*innen dar. Die illustrierten Ergebnisse eines unter strengen, reproduzierbaren Rahmenbedingungen durchgeführten diagnostischen Cochrane-Reviews unterstreichen einerseits die hohe Testgüte der FAST / eFAST zum Nachweis von Verletzungen, andererseits deren eingeschränkte bzw. variable Fähigkeit zum Ausschluss von Traumafolgen. Entgegen klinischer Erfahrungswerte weisen Literaturdaten auf eine geringere Genauigkeit bei Kindern als bei Erwachsenen hin. Trotz der bisher geringen Anzahl von Studien bzw. eingeschlossenen Teilnehmern überzeugt die Sensitivität der eFAST zum Ausschluss von potenziell lebensbedrohlichen Thoraxverletzungen (wie z.B. einem Spannungspneumothorax) und wird hier voraussichtlich die bisher in Schockraum-Algorithmen wie ATLS® empfohlene Röntgen-Übersichtsaufnahme mittelfristig ersetzen.

Zur Erkennung von Organverletzungen sollte auf der Basis der Ergebnisse dieser Arbeit die Ultraschalluntersuchung mit weiteren Diagnostikverfahren kombiniert werden, da mit der Sonografie allein keine verlässlichen Aussagen bezüglich der Schwere einer Verletzung getroffen werden kann. Möglicherweise wäre die kontrastmittelunterstützte Ultraschalluntersuchung diesbezüglich wegweisender und verlässlicher, wenn auf andere radiologische Verfahren verzichtet werden muss.

Aufgrund der Ergebnisse des Reviews sollten nationale und internationale Handlungsempfehlungen weiter spezifiziert bzw. differenziert werden, um eine effektive Versorgung von Schwerverletzten zu gewährleisten. Vor allem im Kontext der thorakalen Diagnostik könnten die Ergebnisse dieser Arbeit in Kombination mit weiteren systematischen Analysen in der Zukunft wichtige Weichen stellen.

Die zu fordernde flächendeckende Verfügbarkeit der Ultraschalluntersuchung als Triage-, diagnostisches- und Therapie-steuerndes Instrument im Schwerverletzten- bzw. Polytrauma-Szenario wird durch die Resultate dieser Arbeit gestützt. Zukünftige technologische Entwicklungen und Prozessoptimierungen müssen darauf abzielen, ihre Sensitivität zu optimieren.

## 7. Anhang

### 7.1 Suchstrategien

#### 7.1.1 Ovid Medline

<1946 to Present>

Epub Ahead of Print, In-Process & Other Non-Indexed Citations, Ovid MEDLINE(R) Daily and Ovid

Search1. Target Condition + Index Test (POC Ultrasonography)

OR

Search 2. Target Condition + Index Test (Ultrasonography) + Reference Standard + DTA Filter + Setting)

-----  
[Target Condition]

1 exp Abdominal Injuries/

2 exp Thoracic Injuries/

3 ((chest or torso) adj3 (injur\* or trauma\*)).ti,ab,kf.

4 ((injur\* or ruptur\* or bleed\* or trauma\*) adj3 (abdom\* or thorax or thoracic or thoracoabdom\* or thoraco-abdom\* or stomach or gastric\*)).ti,ab,kf.

5 (free fluid adj3 (abdom\* or thorax or thoracic or thoracoabdom\* or thoraco-abdom\*)).ti,ab,kf.

6 pneumothorax/

7 hemopneumothorax/

8 hemothorax/

9 (pneumothor\* or haemopneumothor\* or haemothor\*).ti,ab,kf.

10 (retroperitoneal or retro-peritoneal or intraperitoneal or intra-peritoneal or mediastinum or pericardium).ti,ab,kf,hw.

11 \*"Wounds and Injuries"/

12 "Wounds and Injuries"/dg [Diagnostic Imaging]

13 Wounds, Nonpenetrating/

14 rupture/ or exp splenic rupture/ or stomach rupture/

15 ((injur\* or ruptur\* or bleed\* or trauma\* or lacerat\* or tear? or contusion\*) adj3 (spleen\* or splenic or hepatic or visceral or liver\* or kidney\* or pancrea\* or renal\* or lungs or heart)).ti,ab,kf.

16 ((blunt\* or non-penetrat\* or nonpenetrat\*) adj trauma\*).ti,ab,kf.

17 (polytrauma\* or poly trauma\* or multiple trauma\* or mass casual\*).ti,ab,kf,hw.

18 or/1-17

[Index Test]

19 exp Ultrasonography/

20 Diagnostic Imaging/

21 (ultraso\* or sonogra\*).ti,ab,kf.

22 (diagnos\* adj2 (screen\* or scan\* or imag\*)).ti,ab,kf.

23 diagnostic imaging.fs.

24 (advanced trauma life support or atls).ti,ab,kf.

25 or/19-24

26 point of care.ti,ab,kf.

27 Point-of-Care Systems/

28 (POCUS or POC US or POC USG).ti,ab,kf.

29 ((focused adj2 assessment adj2 sonogra\* adj2 trauma) or extended-FAST or (FAST adj (ultrasonography or ultrasound))).ti,ab,kf.

30 ((portable or hand-held or handheld or mobile or emergency) adj (sonogra\* or ultraso\*)).ti,ab,kf.

31 bedside.ti,ab,kf.

32 or/26-31

[Search1: Target Condition + Index Test (POC Ultrasonography)]

33 (18 and 25 and 32)

[Reference Standard]

34 exp Tomography, X-Ray Computed/

35 (CT scan or cat scan or (xray\* adj1 ct) or xrayct or (compute\* adj2 tomograph\*)).ti,ab,kf.

36 (MDCT or pan scan or panscan).ti,ab,kf.

37 (laparotom\* or laparoscop\* or thoracotom\* or sternotom\* or thoracoscop\* or autops\*).ti,ab,kf,hw.

38 or/34-37



[DTA Filter]

39 "sensitivity and specificity"/ or "limit of detection"/ or roc curve/ or signal-to-noise ratio/ or "predictive

value of tests"/

40 "reproducibility of results"/

41 likelihood ratio\*.ti,ab,kf.

42 ((re-test or retest or test-retest or test-re-test) adj reliability).ti,ab,kf.

43 receiver operating characteristic\*.ti,ab,kf.

44 (ROC adj5 (analy\* or curve or curves)).ti,ab,kf.

45 or/39-44

[Search2: Target Condition + Index Test (Ultrasonography/Diagnostic Imaging (MeSH)) + Reference Standard + DTA Filter]

46 18 and (19 or 21) and 38 and 45

[Limited to Setting]

47 (trauma\* or emergenc\* or bedside?).ti,ab,kf,hw.

48 (46 and 47)

[Search 1 or Search 2]

49 33 or 48)

50 remove duplicates from 49

## 7.1.2 Ovid Embase

<1974 to date>

Target Condition + Index Test (POC Ultrasonography) + (Setting OR Reference Standard OR DTA Filter)

-----  
[Target Condition]

1 exp \*abdominal injury/ or exp abdominal injury/di

2 exp \*thorax injury/ or exp \*thorax injury/di

3 ((chest or torso) adj3 (injur\* or trauma\*)).ti,ab,kw.

4 ((injur\* or ruptur\* or bleed\* or trauma\*) adj3 (abdom\* or thorax or thoracic or thoracoabdom\* or thoraco-abdom\* or stomach or gastric\*)).ti,ab,kw.

5 (free fluid and (abdom\* or thorax or thoracic or thoracoabdom\* or thoraco-abdom\*)).ti,ab,kw.  
6 pneumothorax/ or hematopneumothorax/ or spontaneous pneumothorax/ or tension pneumothorax/  
7 hemothorax/  
8 (pneumothor\* or h?emopneumothor\* or h?emothor\*).ti,ab,kw.  
9 ((fluid\*1 or blood or bleed\*) and (retroperitoneal or retro-peritoneal or intraperitoneal or intra-peritoneal or mediastinum or pericardium)).ti,ab,kw,hw.  
10 blunt trauma/ or crush trauma/  
11 \*rupture/ or exp \*digestive system rupture/ or \*spleen rupture/ or exp \*thorax organ rupture/  
12 rupture/di or exp digestive system rupture/di or spleen rupture/di or exp thorax organ rupture/di  
13 ((injur\* or ruptur\* or bleed\* or trauma\* or lacerat\* or tear? or contusion\*) adj3 (spleen\* or splenic or hepatic or visceral or liver\* or kidney\* or pancrea\* or renal\* or lungs or heart)).ti,ab,kw.  
14 ((blunt\* or non-penetrat\* or nonpenetrat\*) adj trauma\*).ti,ab,kw.  
15 (polytrauma\* or poly trauma\* or (multiple adj2 trauma\*) or mass casualt\*).ti,ab,kw,hw.  
16 or/1-15

[Index Test]

17 exp echography/  
18 diagnostic imaging/  
19 (ultraso\* or sonogra\*).ti,ab,kw.  
20 (diagnos\* adj2 (screen\* or scan\* or imag\*)).ti,ab,kw.  
21 (advanced trauma life support or atls).ti,ab,kw.  
22 or/17-21  
23 point of care.ti,ab,kw.  
24 "point of care testing"/  
25 (POCUS or POC US or POC USG).ti,ab,kw.  
26 ((focused adj2 assessment adj2 sonogra\* adj2 trauma) or extended-FAST or (FAST adj (ultrasonography or ultrasound))).ti,ab,kw.  
27 ((portable or hand-held or handheld or mobile or emergency) adj (sonogra\* or ultraso\*)).ti,ab,kw.  
28 bedside?.ti,ab,kw.  
29 or/23-28

[Target Condition + Index Test (POC Ultrasonography)]

30 (16 and 22 and 29)

[Setting]

31 (trauma\* or emergenc\* or ((acute or critical or intensive) adj2 (care or medicine))).ti,ab,kw,hw.

[Reference Standard]

32 exp computer assisted tomography/

33 (CT scan or cat scan or (xray\* adj1 ct) or xayct or (compute\* adj2 tomograph\*)).ti,ab,kw.

34 (MDCT or pan scan or panscan).ti,ab,kw.

35 thorax radiography/

36 (laparotom\* or laparoscop\* or thoracotom\* or sternotom\* or thoracoscop\* or autops\*).ti,ab,kw,hw.

37 or/32-36

[DTA Filter]

38 diagnostic accuracy/

39 "sensitivity and specificity"/

40 receiver operating characteristic/

41 predictive value/

42 intermethod comparison/ or comparative study/

43 ((re-test or retest or test-retest or test-re-test) adj reliability).ti,ab,kw.

44 likelihood ratio\*.ti,ab,kw.

45 receiver operating characteristic\*.ti,ab,kw.

46 (ROC adj5 (analy\* or curve or curves)).ti,ab,kw.

47 (detect\* or diagnos\*).ti,ab,kw.

48 or/38-47

[Target Condition + Index Test (POC Ultrasonography) + (Setting OR Reference Standard OR DTA Filter)]

49 (30 and (31 or 37 or 48))

50 Animal experiment/ not (human experiment/ or human/)

51 (exp animal/ or nonhuman/) not ((exp animal/ or nonhuman/) and (human/ or human experiment/))

52 (rat or rats or mouse or mice or swine or porcine or murine or sheep or lambs or pigs or piglets or rabbit or rabbits or cat or cats or feline or dog or dogs or canine or cattle or bovine or monkey or monkeys or trout or marmoset\*).ti.

53 case report/

54 or/50-53

55 (49 not 54)

56 limit 55 to (article in press status or conference abstract status or embase status or inprocess status)

57 remove duplicates from 56

### 7.1.3 Pubmed Medline

<1947 to date>

#1 (pubmednotmedline[sb] OR publisher[sb] OR in process[sb])

#2 "Point-of-Care Systems"[Mesh]

#3 (((point-of-care OR "point of care" OR "focused assessment" OR "focussed assessment" OR EFAST OR bedside OR bedsides OR portable OR hand-held OR handheld OR mobile OR emergency) AND (sonograph OR sonography OR sonographic OR sonographer OR sonographers OR ultrasonography OR ultrasonographic OR ultrasound)))

#4 (POCUS OR POC-US OR POC-USG OR "POC US" OR "POC USG")

#5 (#2 OR #3 OR #4)

#6 ("Abdominal Injuries"[Mesh] OR "Thoracic Injuries"[Mesh] OR "Wounds, Nonpenetrating"[Mesh])

#7 ((abdomen OR abdominal OR chest OR thorax OR thoracic OR torso OR thoracoabdomen OR thoracoabdominal OR thoraco-abdomen OR thoraco-abdominal OR stomach OR gastric) AND (injury OR injuries OR trauma OR traumatic OR rupture OR ruptured OR bleed OR bleeding OR wound OR wounds))

#8 ((spleen OR splenic OR hepatic OR liver OR renal OR kidney OR kidneys OR pancreas OR pancreatic OR lung OR lungs OR heart OR visceral) AND (injury OR injuries OR trauma OR traumatic OR rupture OR ruptured OR bleed OR bleeding OR lacerate OR laceration OR tear OR teared OR contusion OR wound OR wounds))

#9 ((retroperitoneal OR retro-peritoneal OR intraperitoneal OR intra-peritoneal OR mediastinum OR pericardium))

#10 ((blunt OR non-penetrating OR nonpenetrating) AND (trauma OR traumatic))

#11 "Mass Casualty Incidents"[Mesh]

#12 ((polytrauma OR "poly trauma" OR "multiple trauma" OR "multiple traumas" OR "mass casualties" OR "mass casualty"))

#13 ("Pneumothorax"[Mesh] OR "Hemopneumothorax"[Mesh])

#14 ((pneumothorax OR pneumothoracic OR pneumothoraces OR hemopneumothorax OR hemopneumothoracic OR hemopneumothoraces OR haemopneumothorax OR haemopneumothoracic OR haemopneumothoraces OR hemothorax OR hemothoracic OR hemothoraces OR haemothorax OR haemothoracic OR haemothoraces))

#15 ("free fluid" OR "free fluids")

#16 (#6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15)

#17 (#5 AND #16)

#18 (#1 AND #17)

#### 7.1.4 BIOSIS Database

<1926 to date>

Topic = (thorax injur\* OR thoracic injur\* OR chest injur\* OR torso injur\* OR thoracoabdominal injur\* OR thoraco-abdominal injur\* OR abdominal injur\* OR abdomen injur\* thorax injur\* OR stomach injur\* OR gastric injur\* OR thoracic trauma OR chest trauma OR torso trauma OR thoracoabdominal trauma OR thoraco-abdominal trauma OR abdominal trauma OR abdomen trauma OR stomach trauma OR gastric trauma OR pneumothorax OR hemopneumothorax OR haemopneumothorax OR hemothorax OR haemothorax OR pneumothor\* OR retroperitoneal OR retro-peritoneal OR intraperitoneal OR intraperitoneal OR mediastinum OR spleen trauma OR spleen injur\* OR splenic trauma OR splenic injur\* OR hepatic trauma OR hepatic injur\* OR visceral trauma OR visceral injur\* OR liver trauma OR liver injur\* OR kidney trauma OR kidney injur\* OR pancrea\* trauma OR pancrea\* injur\* OR renal trauma OR renal injur\* OR lung trauma OR lung injur\* OR free fluid OR free air OR organ injur\* OR organ lesion\* OR vascular lesion\* OR blunt trauma OR polytrauma\* OR multiple trauma\*) AND Topic  
= (ultraso\* OR US OR sonogra\* OR diagnos\* screen\* OR diagnos\* scan\* OR diagnos\* imag\* OR point of care OR point-of care OR POCUS OR POCUS OR POC US OR POC USG OR FAST OR focused assessment OR EFAST OR extended-FAST OR ALTS OR advanced trauma life support)

## 7.2 Quadas-2 Instrument

Kategorie 1: Patientenstichprobe		
Biasrisiko	Frage (F)1: Wurde eine fortlaufende oder zufällige Stichprobe von Patient*innen genutzt?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>„Ja“</b>, wenn eine fortlaufende oder zufällige Stichprobe von Patient*innen genutzt wurde</li> <li>– <b>„Nein“</b>, wenn keine fortlaufende oder zufällige Stichprobe von Patient*innen genutzt wurde</li> <li>– <b>„Unklar“</b>, wenn der Ablauf nur teilweise beschrieben wurde und wenn weder 'Ja' noch 'Nein' zutrifft</li> </ul>
	F2: Hat die Studie unangemessene Ausschlusskriterien angegeben (z.B. Ausschluss von Patient*innen mit Grunderkrankungen im Zusammenhang mit intraabdomineller Flüssigkeit)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>„Ja“</b>, wenn keine unangemessene Ausschlusskriterien vorhanden waren</li> <li>- <b>„Nein“</b>, wenn unangemessene Ausschlusskriterien vorhanden waren</li> <li>- <b>„Unklar“</b>, wenn die Ausschlusskriterien nicht klar beschrieben wurden</li> </ul>
	<b>Biasrisiko</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>„Gering“</b>: F1+ F2 mit 'Ja' beantwortet</li> <li>– <b>„Hoch“</b>: <math>\geq 1</math> Antworten mit 'Nein'</li> <li>– <b>„Unklar“</b>: alle anderen Fälle</li> </ul>

Bedenken bezüglich klinischer Anwendbarkeit	F3: War das Patientenkollektiv repräsentativ für die Patient*innen, die den Test in der Praxis erhält?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Geringe Bedenken</b>‘, wenn alle Patient*innen mit stumpfen thorakoabdominellen und / oder multiplen Traumata untersucht wurden und wenn das Patientenkollektiv repräsentativ für die Patient*innen ist, die den Test in der Praxis erhalten</li> <li>– ‚<b>Große Bedenken</b>‘, wenn Patient*Innen mit irgendeiner Art von akuten abdominellen Beschwerden oder anderen Anlässen eingeschlossen wurden</li> <li>– ‚<b>Unklare Bedenken</b>‘, wenn weder ‚geringe Bedenken‘ noch ‚große Bedenken‘ zutrifft</li> </ul>
<b>Kategorie 2: Indextest (Ultraschall/ (e) FAST)</b>		
Biasrisiko	F1: Wurde der Indextest ohne Kenntnis des Ergebnisses des Referenzstandards ausgewertet?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Ja</b>‘, wenn genau beschrieben, dass der Indextest unabhängig und ohne das Wissen über das Ergebnis des Referenzstandards beurteilt wurde</li> <li>– ‚<b>Nein</b>‘, wenn der Indextest nicht unabhängig vom Referenz-Standard beurteilt wurde</li> <li>– ‚<b>Unklar</b>‘, wenn diesbezüglich keine Informationen vorlagen</li> </ul>
	F2: Wurde ein Schwellenwert definiert, bevor dieser verwendet wurde (z. B. die Menge an freier intraabdominaler Flüssigkeit, die Anzahl der Bereiche mit nachweisbarer Flüssigkeit usw.)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ‚<b>Ja</b>‘, wenn die Schwellenwerte vor Beginn der Studie definiert wurden</li> <li>- ‚<b>Nein</b>‘, wenn die Schwellenwerte auf der Grundlage der gesammelten Daten festgelegt wurden</li> <li>- ‚<b>Unklar</b>‘, bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>

	F3: War die Ausbildung der Untersucherin oder des Untersuchers gemäß dem klinischen Experten angemessen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>„Ja“</b>, wenn der Hintergrund, die Ausbildung und die Erfahrung für die Einschätzung ausreichend waren (z. B. war die Untersucherin oder der Untersucher ein zertifizierter / qualifizierter Trauma- oder Notfallchirurg, Radiologe usw.)</li> <li>– <b>„Nein“</b>, wenn die Ausbildung unzureichend war</li> <li>– <b>„Unklar“</b>, bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>
	F4: War das genutzte Gerät nach technischem Verständnis aktuell?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>„Ja“</b>, wenn das genutzte Gerät gemäß dem klinischen Experten aktuell und angemessen war (u.a. Angabe des Geräteherstellers, der Schallfrequenzen, des genutzten Schallkopfes, etc.)</li> <li>– <b>„Nein“</b>, wenn das Gerät nicht dem aktuellen Stand entsprach</li> <li>– <b>„Unklar“</b>, bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>
	F5: Wurde das Ultraschallprotokoll (FAST) klar definiert und war es angemessen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>„Ja“</b>, wenn das Ultraschallprotokoll (z. B. Detektion von freier Flüssigkeit und / oder Luft, Organverletzungen usw.) gemäß der klinischen Expertenbewertung angemessen war</li> <li>– <b>„Nein“</b>, wenn das Protokoll nicht angemessen war.</li> <li>– <b>„Unklar“</b>, bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>
	<b>Biasrisiko</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <b>„Gering“</b>: ≥ 4 Antworten mit 'Ja'</li> <li>– <b>„Hoch“</b>: ≥ 3 Antworten mit 'Nein'</li> <li>– <b>„Unklar“</b>: alle anderen Fälle</li> </ul>



<p>Bedenken bezüglich klinischer Anwendbarkeit</p>	<p>F6: Gibt es Bedenken, dass die Definition oder Durchführung des Indextests (FAST) nicht mit allgemein anerkannten, festgelegten Regeln oder Empfehlungen übereinstimmt?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Geringe Bedenken</b>‘, wenn alle Patient*innen mit stumpfen thorakoabdominellen und/ oder multiplen Traumata werden auf etablierte oder empfohlene Weise mit FAST untersucht wurden</li> <li>– ‚<b>Große Bedenken</b>‘, wenn Ultraschallprotokolle erheblich von den etablierten Protokollen abweichen, Patient*innen mit jeder Art von akutem Abdomen eingeschlossen oder andere Co-Variablen genutzt wurden</li> <li>– ‚<b>Unklare Bedenken</b>‘, wenn weder ‚geringe Bedenken‘ noch ‚große Bedenken‘ zutrifft</li> </ul>
<p><b>Kategorie 3: Referenzstandard/-test (CT, MRT, ...)</b></p>		
<p>Biasrisiko</p>	<p>F1: Ist der Referenzstandard geeignet, um die festgelegten Zielbedingungen zu bestimmen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Ja</b>‘, wenn CT und / oder MRT oder ein invasives Verfahren wie Laparotomie / Laparoskopie, Thorakotomie/ Thorakoskopie oder Autopsie als Referenzstandard verwendet wurden</li> <li>- ‚<b>Nein</b>‘, wenn kein Referenztest angegeben wurde oder nur positive FAST-Befunde durch einen bildgebenden und / oder invasiven Referenztest bestätigt wurden</li> <li>– ‚<b>Unklar</b>‘, wenn weder ‚Ja‘ noch ‚Nein‘ zutrifft</li> </ul>

	F2: Wurde der Referenzstandard ohne Kenntnis des Ergebnisses des Indextests ausgewertet?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Ja</b>‘, wenn genau beschrieben, dass der Referenzstandard unabhängig und ohne das Wissen über das Ergebnis des Indextests beurteilt wurde</li> <li>– ‚<b>Nein</b>‘, wenn der Referenzstandard nicht unabhängig vom Indextest beurteilt wurde</li> <li>– ‚<b>Unklar</b>‘, wenn diesbezüglich keine Informationen vorlagen</li> </ul>
	F3: War die Ausbildung der Untersucherin oder des Untersuchers gemäß dem klinischen Experten angemessen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Ja</b>‘, wenn der Hintergrund, die Ausbildung und die Erfahrung für die Einschätzung ausreichend waren (z. B. war die Untersucherin oder der Untersucher ein zertifizierter / qualifizierter Trauma- oder Notfallchirurg, Radiologe usw.)</li> <li>– ‚<b>Nein</b>‘, wenn die Ausbildung unzureichend war</li> <li>– ‚<b>Unklar</b>‘, bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>
	F4: War das genutzte Gerät nach technischem Verständnis aktuell?	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Ja</b>‘, wenn das genutzte Gerät gemäß dem klinischen Experten aktuell und angemessen war (u.a. Angabe des Geräteherstellers, Anzahl der Spulen bei CT, etc.)</li> <li>– ‚<b>Nein</b>‘, wenn das Gerät nicht dem aktuellen Stand entsprach</li> <li>– ‚<b>Unklar</b>‘ bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>
	Biasrisiko	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ‚<b>Gering</b>‘: <math>\geq 3</math> Antworten mit ‚Ja‘</li> <li>– ‚<b>Hoch</b>‘: <math>\geq 2</math> Antworten mit ‚Nein‘</li> <li>– ‚<b>Unklar</b>‘: alle anderen Fälle</li> </ul>

<p>Bedenken bezüglich klinischer Anwendbarkeit</p>	<p>F5: Gibt es Bedenken hinsichtlich der Definition oder Durchführung der Referenztests (z. B. CT, MRT, Laparotomie, Thorakotomie, Autopsie usw.), die nicht mit allgemein anerkannten, festgelegten Regeln oder Empfehlungen übereinstimmen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ‚<b>Geringe Bedenken</b>‘, wenn alle Patient*innen mit stumpfen thorakoabdominellen und / oder multiplen Traumata unabhängig von klinischen Befunden oder Ultraschallbefunden mit einem thorakoabdominellen oder Ganzkörper-CT/ MRT untersucht wurden</li> <li>- ‚<b>Große Bedenken</b>‘, wenn der Referenztests selektiv oder abhängig von klinischen- oder Ultraschallergebnissen angeordnet wurde</li> <li>- ‚<b>Unklare Bedenken</b>‘, wenn weder ‚geringe Bedenken‘ noch ‚große Bedenken‘ zutrifft</li> </ul>
<p><b>Kategorie 4: Verlauf</b></p>		
<p>Biasrisiko</p>	<p>F1: Gab es ein längeres zeitliches Intervall zwischen Indextest und Referenzstandard?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ‚<b>Ja</b>‘, wenn nach dem Indextest ein Referenztest innerhalb von 30 Minuten durchgeführt wurde</li> <li>- ‚<b>Nein</b>‘, wenn der Referenztest nach 30 Minuten, vor dem Indextest durchgeführt wurde oder andere Bedingung vorgegeben wurden</li> <li>- ‚<b>Unklar</b>‘ bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>

	F2: Erhielten alle Patient*innen einen Referenztest?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ‚<b>Ja</b>‘, wenn klar ist, dass alle (oder eine zufällige Auswahl von) Patient*innen, die den Indextest erhalten haben, auch mit dem Referenztest untersucht wurden</li> <li>- ‚<b>Nein</b>‘, wenn nicht alle Patient*innen einen Referenztest erhalten haben oder die Auswahl der Patient*innen, die den Referenztest erhalten haben, nicht zufällig war</li> <li>- ‚<b>Unklar</b>‘ bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>
	F3: Erhielten alle Patient*innen ein und denselben Referenztest?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ‚<b>Ja</b>‘, wenn alle Patient*innen ein und denselben Referenztest erhalten haben</li> <li>- ‚<b>Nein</b>‘, wenn nicht alle Patient*innen ein und denselben Referenztest erhalten haben</li> <li>- ‚<b>Unklar</b>‘ bei unvollständigen bzw. fehlenden Angaben</li> </ul>
	F4: Wurden alle Patient*innen in die Analyse eingeschlossen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ‚<b>Ja</b>‘, wenn alle Patient*innen in die Analyse eingeschlossen wurden</li> <li>- ‚<b>Nein</b>‘, wenn sich herausstellt, dass einige der Patient*innen aus irgendeinem Grund von der Analyse ausgeschlossen wurden (z. B. kein vollständiger Studienabschluss, zweifelhafte Testergebnisse)</li> <li>- ‚<b>Unklar</b>‘, wenn weder ‚Ja‘ noch ‚Nein‘ zutrifft</li> </ul>
	Biasrisiko	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ‚<b>Gering</b>‘: <math>\geq 3</math> Antworten mit ‚Ja‘</li> <li>- ‚<b>Hoch</b>‘: <math>\geq 2</math> Antworten mit ‚Nein‘</li> <li>- ‚<b>Unklar</b>‘: alle anderen Fälle</li> </ul>

### 7.3 Literaturverzeichnis

Achatz, G., Bieler, D., Franke, A. and Friemert, B. (2018) 'Terrorassoziierter Massenanfall von Verletzten (TerrorMANV)', *Trauma und Berufskrankheit*, pp. 188-195.

Becker, A., Lin, G., McKenney, M. G., Marttos, A. and Schulman, C. I. (2010) 'Is the FAST exam reliable in severely injured patients?', *Injury, Int. J. Care Injured*, 41(5), pp. 479-83.

Benya, E. C., Lim-Dunham, J. E., Landrum, O. and Statter, M. (2000) 'Abdominal sonography in examination of children with blunt abdominal trauma', *American Roentgen Ray Society*, 174(6), pp. 1613-6.

Beynon, R., Leeflang, M. M., McDonalds, S., A., E., Mitchell, R. L. and Whiting, P. (2013) 'Search strategies to identify diagnostic accuracy studies in MEDLINE and EMBASE.', *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (9).

Bieler, D., Kollig, E., Achatz, G., Friemert, B. and Franke, A. (2018) 'Typische Verletzungen durch terrorassozierte Ereignisse und ihre Implikationen für die Erstversorgung', *Trauma und Berufskrankheit*, pp. 177-187.

Blaivas, M., Lyon, M. and Duggal, S. (2005) 'A prospective comparison of supine chest radiography and bedside ultrasound for the diagnosis of traumatic pneumothorax', *Academic Emergency Medicine* 12(9), pp. 844-9.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2017) 'Unfallstatistik 2015, Unfalltote und Unfallverletzte 2015 in Deutschland', pp. 1-2.

Bundesinstitut des Innern und Bau und Heimat (2019) *Erreichbarkeit von Krankenhäusern der Grundversorgung*. Available at: <https://heimat.bund.de/atlas/erreichbarkeit-von-krankenhaeusern-der-grundversorgung/> (Accessed: May 05 2020).

Calder, B. W., Vogel, A. M., Zhang, J., Mauldin, P. D., Huang, E. Y., Savoie, K. B., Santore, M. T., Tsa, K., Ostovar-Kermani, T. G., Falcone, R. A., Dassinger, M. S., Recicar, J., Haynes, J. H., Blakely, M. L., Russell, R. T., Naik-Mathuria, B. J., St Peter, S. D., Mooney, D. P., Onwubiko, C., Upperman, J. S., Zagory, J. A. and Streck, C. J. (2017) 'Focused assessment with sonography for trauma in children after blunt abdominal trauma: A multi-institutional analysis', *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 83(2), pp. 218-224.

Coley, B. D., Mutabagani, K. H., Martin, L. C., Zumberge, N., Cooney, D. R., Caniano, D. A., Besner, G. E., Groner, J. I. and Shiels, W. E., 2nd (2000) 'Focused abdominal sonography for trauma (FAST) in children with blunt abdominal trauma', *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 48(5), pp. 902-6.

Corbett, S. W., Andrews, H. G., Baker, E. M. and Jones, W. G. (2000) 'ED evaluation of the pediatric trauma patient by ultrasonography', *American Journal of Emergency Medicine*, 18(3), pp. 244-9.

Cowley, R. A. (1975) 'A total emergency medical system for the State of Maryland.', *Maryland State medical journal*, 24(7), pp. 37-45.

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (2016) *S3-Leitlinie Polytrauma/ Schwerverletzten-Behandlung* AWMF Register-Nr. 012/019). Available at: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-019l\\_S3\\_Polytrauma\\_Schwerverletzten-Behandlung\\_2017-08.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019l_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2017-08.pdf).

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (2019) *Jahresbericht 2019, TraumaRegister*. Available at: [http://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user\\_upload/traumaregister-dgu.de/docs/Downloads/Jahresbericht\\_2019.pdf](http://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/traumaregister-dgu.de/docs/Downloads/Jahresbericht_2019.pdf) (Accessed: January 10 2020).

Dijking, S., Krijnen, P., Hage, A., Van der Wilden, G. M., Kasotakis, G., Den Hartog, D., Salim, A., Goslings, J. C., Bloemers, F. W., Rhemrev, S. J., King, D. R., Velmahos, G. C. and Schipper, I. B. (2018) 'Differences in Characteristics and Outcome of Patients with Penetrating Injuries in the USA and the Netherlands: A Multi-institutional Comparison', *World Journal of Surgery*, 42, pp. 3608-3615.

Emery, K. H., McAneney, C. M., Racadio, J. M., Johnson, N. D., Evora, D. K. and Garcia, V. F. (2001) 'Absent peritoneal fluid on screening trauma ultrasonography in children: a prospective comparison with computed tomography', *Journal of Pediatric Surgery*, 36(4), pp. 565-9.

Feletti, F., Mucci, V. and Aliverti, A. (2018) 'Chest Ultrasonography in Modern Day Extreme Settings: From Military Setting and Natural Disasters to Space Flights and Extreme Sports', *Canadian Respiratory Journal*, pp. 1-9.

Fox, J. C., Boysen, M., Gharahbaghian, L., Cusick, S., Ahmed, S. S., Anderson, C. L., Lekawa, M. and Langdorf, M. I. (2011) 'Test characteristics of focused assessment of sonography for trauma for clinically significant abdominal free fluid in Pediatric Blunt Abdominal Trauma', *Academic Emergency Medicine*, 18(5), pp. 477-482.

Frink, M., Lechner, P., Debus, F. and Ruchholtz, S. (2017) 'Polytrauma und Schockraummanagement', *Deutsches Ärzteblatt*, pp. Heft 29-30.

Fryback, D. G. and Thornbury, J. R. (1991) 'The Efficacy of Diagnostic Imaging', *Medical Decision Making*, 11(2), pp. 88-94.

Ghafouri, H. B., Zare, M., Bazrafshan, A., Modirian, E., Farahmand, S. and Abazarian, N. (2016) 'Diagnostic accuracy of emergency-performed focused assessment with sonography for trauma (FAST) in blunt abdominal trauma', *Electron Physician*, 8(9), pp. 2950-2953.

Han, D. C., Rozycki, G. S., Schmidt, J. A. and Feliciano, D. V. (1996) 'Ultrasound Training during ATLS: An Early Start for Surgical Interns', *The Journal of Trauma*, 41(2).

Kirkpatrick, A. W., Sirois, M., Laupland, K. B., Liu, D., Rowan, K., Ball, C. G., Hameed, S. M., Brown, R., Simons, R., Dulchavsky, S. A., Hamilton, D. R. and Nicolaou, S. (2004) 'Hand-Held Thoracic Sonography for Detecting Post-Traumatic Pneumothoraces: The Extended Focused Assessment With Sonography For Trauma (EFAST)', *The Journal of Trauma*, 57, pp. 288-295.

Klauber, J., Geraedts, M., Friedrich, J. and Wasem, J. (2018) 'Krankenhaus Report. Schwerpunkt: Bedarf und Bedarfsgerechtigkeit', pp. 341-376.

Kleber, C., Lefering, R., Kleber, A. J., Buschmann, C. T., Ball, H. J., Schaser, K. D., Haas, N. P. and Register, D. T. (2012) 'Rettungszeit und Überleben von Schwerverletzten in Deutschland', *Der Unfallchirurg*, 116, pp. 345-350.

Lefebvre, C., Glanville, J., Beale, S., Boachie, C., Duffy, S. and Fraser, C. (2017) 'Assessing the performance of methodological search filters to improve the efficiency of evidence information retrieval: five literature reviews and a qualitative study.', *Health Technology Assessment*, 21(69), pp. 1-148.

Ma, O. J., Norvell, J. G. and Subramanian, S. (2007) 'Ultrasound applications in mass casualties and extreme environments', *Critical Care Medicine*, 35(5), pp. 275-279.

- Menichini, G., Sessa, B., Trinci, M., Galluzzo, M. and Miele, V. (2015) 'Accuracy of contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in the identification and characterization of traumatic solid organ lesions in children: a retrospective comparison with baseline US and CE-MDCT', *La Radiologia Medica*, 120(11), pp. 989-1001.
- Miele, V., Picollo, C. L., Galluzzo, M., Ianniello, S., B., S. and M., T. (2016) 'Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in blunt abdominal trauma', *British Journal of Radiology*, 89.
- Nachtnebel, A., Mittermayr, T., Lühmann, D., Schnell-Inderst, P. and Zechmeister, I. (2010) *Evaluation diagnostischer Technologien*: Ludwig Boltzmann Institut.
- Nandipati, K. C., Allamaneni, S., Kakarla, R., Wong, A., Richards, N., Satterfield, J., Turner, J. W. and Sung, K. J. (2011) 'Extended focused assessment with sonography for trauma (EFAST) in the diagnosis of pneumothorax: Experience at a community based level I trauma center', *Injury, Int. J. Care Injured*, 42(5), pp. 511-514.
- Ojaghi, S. H. O., Adimi, I., Shams Vahdati, S. and Sarkhoshi Khiavi, R. (2014) 'Ultrasonographic diagnosis of suspected hemopneumothorax in trauma patients', *Trauma Monthly*, 19(4), pp. e17498.
- Paajanen, H., Lahti, P. and Nordback, I. (1999) 'Sensitivity of transabdominal ultrasonography in detection of intraperitoneal fluid in humans', *European Radiology*, 9, pp. 1423-1425.
- Reitsma, J. B., Glas, A. S., Rutjes, A. W. S., Scholten, R. J. P. M., Bossuyt, P. M. and Zwinderman, A. H. (2005) 'Bivariate analysis of sensitivity and specificity produces informative summary measures in diagnostic reviews', *Journal of Clinical Epidemiology*, 58, pp. 982-990.
- Review Manager (2014) 'Review Manager 5 (RevMan 5) [Computer program]. Version 5.3. Copenhagen: Nordic Cochrane Centre', *The Cochrane Collaboration*.
- Roessler, M. (2015) 'Update Schockraum-Management', *Aktuelles Wissen für Anästhesisten*, (41), pp. 133-142.
- Rooney, K. P., Lahham, S., Lahham, S., Anderson, L. A., Bledsoe, B., Sloane, B., Joseph, L., Osborn, M. B. and Fox, C. J. (2016) 'Pre-hospital assessment with ultrasound in emergencies: implementation in the field', *World Journal of Emergency Medicine*, 7(2), pp. 117-123.
- Rozycki, G. S., Ochsner, M. G., Jaffin, J. H. and Champion, H. R. (1993) 'Prospective Evaluation of Surgeons Use of Ultrasound in the Evaluation of Trauma Patients', *The Journal of Trauma*, 34(4), pp. 516-527.
- Ruesseler, M., Kirschning, T., Breikreutz, R., Marzi, I. and Walcher, F. (2009) 'Prehospital and Emergency Department Ultrasound in Blunt Abdominal Trauma', *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, 35, pp. 341-346.
- RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung (2018) *Notfallversorgung in Deutschland. Ein Projektbericht im Auftrag der kassenärztlichen Bundesvereinigung*. Available at: [http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/rwi-pb\\_notfallversorgung.pdf](http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-projektberichte/rwi-pb_notfallversorgung.pdf) (Accessed: October 17 2019).
- Samplais, J., Denis, R. and Lavoie, A. (1993) 'Trauma care regionalization: a process-outcome evaluation.', *The Journal of Trauma*, 46, pp. 565-581.
- Schuetz, G. M., Tackmann, R., Hamm, B. and Dewey, M. (2010) 'Qualität diagnostischer Genauigkeitsstudien: QUADAS (Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies included in Systematic Reviews)', pp. 939-942.

Schwarzer, G., Türp, J. C. and Antes, G. (2002) 'Nutzen eines diagnostischen Tests in der Praxis: prädiktive Werte', *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, pp. 573-575.

Shackford, S. R. (1993) 'Focused Ultrasound Examinations by Surgeons: The Time is now', *The Journal of Trauma*, 35(2), pp. 181-182.

Soudack, M., Epelman, M., Maor, R., Hayari, L., Shoshani, G., Heyman-Reiss, A., Michaelson, M. and Gaitini, D. (2004) 'Experience with focused abdominal sonography for trauma (FAST) in 313 pediatric patients', *Journal of Clinical Ultrasound*, 32(2), pp. 53-61.

Stata (2017) 'Stata Statistical Software: Release 15 [Computer program]. Version 15.', *College Station, TX: StataCorp.*

Statistisches Bundesamt (2018a) *2017 starben im Durchschnitt fast 9 Menschen pro Tag im Straßenverkehr*. Pressemitteilung 258/18. Available at: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/07/PD18\\_258\\_46241.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/07/PD18_258_46241.html) (Accessed: April 12 2019).

Statistisches Bundesamt (2018b) *Fläche und Bevölkerung nach Ländern*. Available at: <https://www.statistikportal.de/de/bevoelkerung/flaechen-und-bevoelkerung> (Accessed: August 07 2019).

Statistisches Bundesamt (2018c) *Grunddaten der Krankenhäuser*. Fachserie 12 Reihe 6.1.1., Available at: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/grunddaten-krankenhaeuser-2120611177004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/grunddaten-krankenhaeuser-2120611177004.pdf?__blob=publicationFile) (Accessed: June 20 2019).

Todd Miller, M., Pasquale, M. D., Bromberg, W. J., Wasser, T. E., Cox, J., Rozycki, G. S., Smith, S. R., Shackford, S. R., Gross, R. I. and Fry, W. R. (2003) 'Not so fast', *Journal of Trauma Injury, Infection and Critical Care*, 54(1), pp. 52-60.

Tso, P., Rodriguez, A., Cooper, C., Militello, P., Mirvis, S., Badellino, M. M., Boulanger, B. R., Foss, F. A., Jr., Hinson, D. M. and Mighty, H. E. (1992) 'Sonography in blunt abdominal trauma: a preliminary progress report', *The Journal of Trauma*, 33(1), pp. 39-43; discussion 43-4.

Valentino, M., De Luca, C., Galloni, S. S., Branchini, M., Modolon, C., Pavlica, P. and Barozzi, L. (2010) 'Contrast-enhanced US evaluation in patients with blunt abdominal trauma()', *Journal of Ultrasound*, 13(1), pp. 22-7.

Verbeek, D. O., Zijlstra, I. A., van der Leij, C., Ponsen, K. J., van Delden, O. M. and Goslings, J. C. (2014) 'The utility of FAST for initial abdominal screening of major pelvic fracture patients', *World journal of surgery*, 38(7), pp. 1719-1725.

Whiting, P. F., Rutjes, A. W., Westwood, M. E., Mallett, S., Deeks, J. J., Reitsma, J. B., Leeflang, M. M., Sterne, J. A., Bossuyt, P. M. and Quadas-Group (2011) 'QUADAS-2: a revised tool for the quality assessment of diagnostic accuracy studies.', *Annals of Internal Medicine*, 155(8), pp. 529-536.

Zhang, M., Liu, Z. H., Yang, J. X., Gan, J. X., Xu, S. W., You, X. D. and Jiang, G. Y. (2006) 'Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma', *Critical Care*, 10(4), pp. R112.

Zhou, J., Huang, J., Wu, H., Jiang, H., Zhang, H., Prasoon, P., Xu, Y., Bai, Y., Qiu, J. and Zeng, Y. (2012) 'Screening ultrasonography of 2,204 patients with blunt abdominal trauma in the Wenchuan earthquake', *The Journal of Trauma Acute Care Surgery*, 73(4), pp. 890-4.



## 8. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Johannes Leisterer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Diagnostische Genauigkeit einer Ultraschalluntersuchung zur Detektion von thorakoabdominellen Traumafolgen im Rahmen der Schwerverletztenversorgung. Ein diagnostisches Cochrane Review und dessen Bedeutung im Kontext von Leitlinien und verschiedenen Versorgungsbedingungen“, selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten.

Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte. Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe. Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

---

Datum und Unterschrift des Doktoranden

## Anteilserklärung an etwaigen erfolgten Publikationen

Johannes Leisterer hatte folgenden Anteil an der folgenden Publikation:

Publikation 1: Stengel D, Leisterer J, Ferrada P, Ekkernkamp A, Mutze S, Hönning A. Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2018, Issue 12. Art. No.: CD012669. DOI: 10.1002/14651858.CD012669.pub2

1. Entwicklung und Erstellung des Protokolls für das Forschungsvorhaben
2. Entwicklung der Suchstrategien, angepasst an die jeweilige Datenbank
3. Durchführung der Literaturrecherche
4. Datenextraktion und Beurteilung individueller Studiencharakteristika
5. Anpassung des QUADAS-2-Instruments und methodisch-qualitative Bewertung
6. Statistische Auswertung im Dialog mit dem Statistiker und Betreuer sowie Ergebnisinterpretation im Hinblick auf die klinische Anwendbarkeit
7. Beantwortung von Gutachter-Kommentaren im Rahmen des Peer-Review-Prozesses

---

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

---

Datum und Unterschrift des Doktoranden

## 9. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## 10. Publikation der Ergebnisse

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden im Dezember 2018 als diagnostisches Cochrane Review veröffentlicht:

Stengel D, Leisterer J, Ferrada P, Ekkernkamp A, Mutze S, Hönning A. Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2018, Issue 12. Art. No.: CD012669. DOI: 10.1002/14651858.CD012669.pub2

---

Datum und Unterschrift des Doktoranden

## 11. Danksagung

Nach einer langjährigen und intensiven Arbeit gilt an dieser Stelle ein besonders großer Dank an meinen Doktorvater, Professor Dr. med. Dirk Stengel und den Biostatistiker Alexander Hönning, M.Sc., die stets an meiner Seite waren und mich in der Erarbeitung des Reviews und der nachfolgenden Dissertation tatkräftig unterstützt haben.

Weiterhin möchte ich mich bei der Cochrane Injuries Group, im Speziellen bei Emma Sydenham, Elizabeth Royle und Sarah Dawson für Ihre kompetente fachliche Begleitung im Rahmen des Cochrane Reviews bedanken.

Ein großes Dankeschön auch an meinen Lebenspartner Andreas Neumann, der der wichtigste und stabilste Pfeiler in meinem Leben ist und mich in allen Bereichen während der gesamten Zeit der Erstellung und Bearbeitung der Dissertation mit begleitet und unterstützt hat.