

Aus dem Lehrstuhl
für Unfallchirurgie
Prof. Dr. Dr. Volker Alt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

Der Stellenwert der Kontrollabdomensonographie
beim polytraumatisierten Patienten

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Thomas Bauer M.Sc.

2025

Aus dem Lehrstuhl
für Unfallchirurgie
Prof. Dr. Dr. Volker Alt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

Der Stellenwert der Kontrollabdomensonographie
beim polytraumatisierten Patienten

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Thomas Bauer M.Sc.

2025

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: PD Dr. Borys Frankewycz

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Jens Werner

Tag der mündlichen Prüfung: 01.10.2025

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG UND MOTIVATION	1
1.1	PATHOPHYSIOLOGIE, ÄTIOLOGIE UND DES POLYTRAUMAS	2
1.2	KLINISCHE ERFAHRUNG AM UKR	3
1.3	KLINISCHER ALGORITHMUS DES POLYTRAUMAS AM UNIVERSITÄTSKLINIKUM REGENSBURG.....	3
1.3.1	<i>Focused Assessment with Sonography for Trauma</i>	7
1.3.2	<i>Multislice Computertomographie</i>	8
1.3.3	<i>Kontrollabdomensonographie</i>	9
1.4	STAND DER FORSCHUNG	9
2.	FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN	15
3.	MATERIAL UND METHODIK.....	17
3.1	ÜBERPRÜFUNG DER HYPOTHESEN	17
3.2	STUDIENDESIGN	18
3.3	EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	20
3.4	DATENQUELLEN.....	20
3.4.1	<i>Traumaregister am UKR</i>	20
3.4.2	<i>SAP/IS-H</i>	22
3.5	STATISTIK	22
3.5.1	<i>Akquisition der Daten</i>	22
3.5.1.1	CT- und Ultraschall-Befunde.....	22
3.5.1.2	OP- und Trauma-Dokumentation	24
3.5.2	<i>Verletzungsschwere-Scores</i>	24
3.5.2.1	Abbreviated Injury Scale (AIS).....	24
3.5.2.2	Injury Severity Score (ISS).....	26
3.5.3	<i>Statistische Durchführung</i>	26
3.6	ALGORITHMUS ZUR BEWERTUNG DER KONTROLLABDOMENSONOGRAPHIE	27
4.	ERGEBNISSE	32
4.1	ANALYSE DER STUDIENPOPULATION UND DES UNFALLES (H-I)	32
4.1.1	<i>Demographie</i>	33
4.1.2	<i>Geschlechtsspezifische Verteilung</i>	33
4.1.3	<i>Verteilung des Unfallmusters</i>	33
4.1.4	<i>Verteilung des Verletzungsmusters</i>	35
4.1.5	<i>Verteilung der Verletzungsschwere</i>	36
4.2	ANALYSE DER BILDGEBENDEN VERFAHREN	38
4.2.1	<i>Statistik der bildgebenden Verfahren</i>	38
4.2.2	<i>Indikationsstellung zur Operation (H-II)</i>	43
4.2.3	<i>Qualität der KAS (H-III)</i>	48
4.2.4	<i>KAS als Outcome-Prädiktor (H-IV)</i>	52
4.2.5	<i>Relevanz des Zeitpunktes der KAS (H-V)</i>	54
5.	DISKUSSION	56
5.1	DISKUSSION DER METHODEN	56
5.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	61
5.2.1	<i>Studienpopulation und Unfall</i>	61
5.2.1.1	Hypothese I	62
5.2.2	<i>Bildgebende Verfahren</i>	63
5.2.2.1	Hypothese II	64
5.2.2.2	Hypothese III	67
5.2.2.3	Hypothese IV	68
5.2.2.4	Hypothese V	68
5.3	SCHLUSSFOLGERUNG	69
6.	ZUSAMMENFASSUNG	71
7.	LITERATURVERZEICHNIS.....	75
8.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	82

9.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	84
10.	QUELLENVERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.....	85
11.	TABELLENVERZEICHNIS	86
12.	DANKSAGUNGEN.....	87

1. Einleitung und Motivation

Unter einem Polytrauma versteht man nach Oestern und Tscherne simultan erlittene Verletzungen unterschiedlicher Körperregionen bzw. Organsysteme – wie z.B. bei einem Autounfall – von denen mindestens eine Einzelverletzung oder das Verletzungsmuster in Kombination eine vitale Bedrohung für den Patienten darstellt.^{1,2} Die Folge eines solchen Traumas können diverse Verletzungen, Läsionen, Rupturen, Kontusionen und Einrisse im gesamten Thorax und Abdomen sein. Diese sind zumeist klinisch imposant, können aber unter bestimmten Umständen bei der ärztlichen Untersuchung zunächst inapparent bleiben und zu einem späteren Zeitpunkt zu Komplikationen führen. Aus diesem Grund hat die Erkennung aller relevanten Verletzungen beim Schwerverletzten einen großen Stellenwert. Dies wird einerseits durch die körperliche Untersuchung und zum anderen durch apparative Diagnostik gewährleistet.³ Eine zentrale Rolle der apparativen Diagnostik wird – neben dem „Goldstandard“ der Bildgebenden Verfahren beim Polytrauma, der Multislice-Computertomographie – der Sonographie eingeräumt.^{4,5} Eine Ultraschalluntersuchung kann schnell und unkompliziert durchgeführt werden und belastet den Patienten nicht mit ionisierender Strahlung.⁶ Deshalb eignet sie sich als Mittel der primären Diagnostik z.B. im Schockraum sowie zur repetitiven Nachuntersuchung und Verlaufskontrolle während eines stationären Aufenthaltes. Die Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), welche die S3-Leitlinie⁵ zur Versorgung von Schwerverletzten herausgibt, empfiehlt zur Erstdiagnostik von abdominell Schwerverletzten die Durchführung einer initialen fokussierten abdominellen Sonographie zum Screening freier Flüssigkeit – „Focused Assessment with Sonography for Trauma“ (FAST). Bei Verdacht auf Verletzungen im Thoraxbereich wird eine e-FAST („e“ für extended) empfohlen, welche zusätzlich einen Pneumo- und Hämatothorax ausschließen soll. Darüber hinaus wird eine sonographische Wiederholungsuntersuchung oder gezielte sonographische Suche nach Parenchymverletzungen empfohlen, wenn eine Computertomographie nicht oder nicht zeitnah durchgeführt werden kann. Demnach wird auch am Universitätsklinikum Regensburg (UKR) nach den Vorgaben der AWMF-Leitlinie beim schwerverletzten Patienten eine FAST- bzw. e-FAST-Untersuchung durchgeführt. Im stationären Verlauf wird dann bei vielen dieser Patienten in Regensburg zusätzlich eine Ultraschallnachuntersuchung durchgeführt, wenn der behandelnde Arzt dies für indiziert hält. Diese nicht direkt empfohlene, aber seit über einem Jahrzehnt durchgeführte Nachuntersuchung wird in der Literatur und auch am UKR kontrovers diskutiert. Die in der Literatur zahlreich aufzufindenden Arbeiten zum Thema Ultraschall bei polytraumatisierten Patienten sind überwiegend aus Zeiten, bei denen eine initiale Computertomographie noch nicht als Goldstandard galt und somit nicht oder nur inkonsequent zum Einsatz kam, weshalb in diesen Arbeiten wiederholte Kontroll-Sonographien ihren Stellenwert nachweisen konnten. Dies ist jedoch nicht mehr mit dem aktuellen Versorgungsstandard am UKR vergleichbar, bei dem jeder polytraumatisierte Patient initial eine Ganzkörper-Multislice-CT erhält. Somit gibt es nur wenige aktuelle Studien, die die Kontrollsonographie nach CT als notwendig darstellen, weshalb wir diesen Umstand erneut prüfen. Summa summarum stellt sich im Kontext aktueller Gegebenheiten die Frage nach der Relevanz und der Kosten-Nutzen-Relation dieser Diagnostik. Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Auswirkungen der Kontrollabdomensonographie (KAS) auf den Verlauf des Patienten zu untersuchen.

Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die Grundlagen des Polytraumas gegeben (1.1), um dann auf den konkreten Ablauf der Versorgung eines Schwerverletzten am UKR und der dabei wichtigsten durchgeführten bildgebenden Verfahren eingegangen.

1.1 Pathophysiologie, Ätiologie und des Polytraumas

Nach dem aktuellen Jahresbericht der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) von 2020 gab es insgesamt 15.651 Schwerverletzte ($ISS \geq 16$) in Deutschland, von denen 9,5% im Krankenhaus verstorben sind, sodass diesem Thema große Aufmerksamkeit eingeräumt wird. Die DGU führt auch das sogenannte TraumaRegister® (TR®), welches Polytraumata in Deutschland erfasst und statistisch auswertet.⁷

In der Altersgruppe bis 40 Jahre stellt das schwere Trauma die häufigste Todesursache dar. Der Häufigkeitsgipfel – wie auch in dieser Studie (s. 4.1.1) – ist bundesweit um das 20. Lebensjahr, in 65-80% der Fälle männlich und mit regelhaft hoher beruflicher Aktivität. Die adäquate Versorgung und Rehabilitation sind daher auch von enormer volkswirtschaftlicher Bedeutung. Zum schweren Trauma kommt es überwiegend durch Verkehrsunfälle (55%), gefolgt von Arbeits- und Freizeitunfällen (24%) und Stürzen aus großer Höhe (14%). Die am ehesten betroffene Region nach $AIS \geq 3$ ist der Thorax mit 45,9%, gefolgt vom Schädel-Hirn-Trauma mit 44,5%. Das für diese Arbeit relevante Abdomentrauma steht mit 12,1% an 5. Stelle. Diese Parameter beeinflussen ausschlaggebend die Frühletalität (Tod ≤ 24 Stunden) nach einem Trauma. Die Verletzten werden im Median 4 Tage beatmet, sind 19 Tage stationär und davon 6 Tage auf der Intensivstation. Die Komplikationen werden mit 22% für die Lunge, 18,7% für den Kreislauf, 9,6% für die Leber und 3,1% für die Niere angegeben. Leber und Niere sind potenziell anfällig für Nachblutungen und daher auch im Fokus der Ultraschallnachsorge. Mit 11,6% wird schließlich noch die Sepsis als mögliche Komplikation angegeben.⁸

Das Polytrauma ist nicht nur als einmaliges Traumaereignis (z.B. Verkehrsunfall) mit konsekutiver Behandlung zu werten, sondern vielmehr als ein komplexes Krankheitsbild, das über Wochen hinweg eine eigene Dynamik entwickeln kann. Dabei spielen Multiorgandysfunktionen bis zum Multiorganversagen sowie Immundefunktionen und -dysfunktionen eine entscheidende Rolle.⁹

Dabei ist ein triphasischer Verlauf zu beobachten. Der erste Gipfel tritt Sekunden bis Minuten direkt nach dem Unfall auf. Der zweite Gipfel, mit etwa der Hälfte aller Todesfälle, ereignet sich innerhalb der ersten 24 Stunden. Dies ist auch der Zeitraum, in dem über 90% der Kontrollabdomensonographien am UKR durchgeführt werden. Die dritte Häufung ereignet sich im intensivmedizinischen Verlauf, wobei eine neuere Arbeit von Rauf und Huber-Wagner von 2018 aus einer Analyse des TR® ergeben hat, dass der dritte Gipfel nach mehreren Tagen oder Wochen in einem modernen System der Versorgung nicht mehr nachgewiesen werden kann. Die Autoren führen diesen Effekt auf die Fortschritte in der intensivmedizinischen Therapie zurück.^{9,10}

Die in dieser Arbeit definierten validen Erst- und Verlaufssonographien des Abdomens sind ausschließlich im 48-Stunden-Fenster verortet. Nach diesem Zeitfenster muss davon ausgegangen werden, dass die durch das initiale Trauma entstandene Blutung, freie Flüssigkeit oder Transsudat durch resorptive Prozesse, Verlagerung, Gerinnung und andere Prozesse so weit verringert werden können, dass eine sichere Identifikation mit dem Ultraschall nicht mehr möglich ist. Aus der Literatur lässt sich berechnen, dass nach 48 Stunden theoretisch bis zu 2,4 Liter intraperitoneal resorbiert werden könnten.^{11,12} Nach der Analyse der üblichen Beschreibungen von freier Flüssigkeit in den Befunden ist jedoch nur mit wenigen hundert Millilitern bis etwa 2000 ml zu rechnen. Somit kann für die in der Arbeit gestellten Fragestellungen ein relevanter Nachbeobachtungszeitraum von maximal 48 h angenommen werden (siehe auch 3.6 und 5.1).

Letale unkontrollierbare Blutungen können in der frühen Phase durch Spritzende Blutungen bei offener Verletzung, Thorax-, Abdomen- oder Beckenverletzungen, sowie Verletzungen der langen Röhrenknochen auftreten ("blood on the floor and 4 times more").¹³ Ist diese Phase überwunden, kann bis zum Auftreten einer Multiorgandysfunktion ein Multiorganversagen verhindert werden. In jedem Fall findet hier eine mehr oder weniger schwere Immunreaktion statt. Das Immunsystem reagiert nach einer schweren Verletzung zweiphasig mit früher Hyperinflammation und folgender Immunsuppression. Überschreitet der entstandene Organ- und Weichteilschaden eine gewisse Grenze, führt dies früher oder später zum lokalen Versagen von Gerinnungs- und Reparaturmechanismen und im schlimmsten Fall zur systemischen überschießenden Immunantwort (SIRS). Das bedeutet aber auch, dass eventuelle Blutungen und freie Flüssigkeit ausgelöst durch Frakturen, Zerreißungen und Quetschungen, die initial zum Erliegen gekommen sind, zu einem späteren Zeitpunkt wieder auftreten können. Die Gründe können Ischämie und Hypoxie, gedeckte Perforation mit Ruptur im Verlauf, Ausgleich des Volumenmangels nach Zentralisation, initiale hämodynamische Instabilität, Nekrosen durch Perfusionsstörungen oder Revaskularisation, posttraumatische Zelldysfunktion, überschießende Immunreaktion sowie vor allem die disseminierte intravasalen Koagulopathie (DIC) sein. Nach Gabe von Flüssigkeit und Stabilisierung von Kreislauf und Immunfunktion steigt die Perfusion in den Organen wieder an und kann hier eine sistierende Blutung erneut aktivieren.^{9,14,15}

Diese Mechanismen können dazu führen, dass während der stationären Phase der Behandlung des Polytraumas freie Flüssigkeit im Abdomen auftritt oder eine Nachblutung entsteht. In diesem Zeitfenster könnte die Ultraschallkontrolle diagnostisch unterstützend eingreifen, um einen möglichst günstigen Verlauf zu erreichen.⁹

1.2 Klinische Erfahrung am UKR

Mitunter Anlass für diese Arbeit stellen in Vergangenheit aufgetretene Fälle von Nachblutungen nach Polytraumata am UKR dar. Durch die jahrzehntelange Erfahrung als Maximalversorger der Stufe 3 mit einem Case-Mix-Index von 2,02 (2019) und einem Einzugsbereich von ca. 2,2 Millionen Einwohnern¹⁶ wurden am Universitätsklinikum Regensburg im Laufe der Zeit verschiedene Wege zur Optimierung der Patientenversorgung von Polytraumata diskutiert. So wurde etwa 2010 – anlässlich zweier Einzelfälle von Nachblutungen – begonnen, eine regelhafte Kontrollabdomensonographie (KAS) nach Polytraumata durchzuführen. Ziel dieser Maßnahme ist es, die Behandlungsqualität durch eine bessere Verlaufskontrolle und Aufdeckung unbekannter oder neu aufgetretener Blutungen zu steigern. Die Indikation dafür wird nach Abwägung vom diensthabenden Arzt in der Notaufnahme nach subjektiver Einschätzung gestellt. Die Dokumentation dieser Untersuchung stellt einen Teil der Datenbasis dar, welche in dieser Arbeit herangezogen wird.

1.3 Klinischer Algorithmus des Polytraumas am Universitätsklinikum Regensburg

Der Schockraum-Algorithmus sieht folgende aufeinanderfolgenden Schritte vor: Schockraumphase I, die CT-Phase, die Schockraumphase II und die Intensivstation bzw. Intermediate Care Station (ICS). In Phase I und wird am UKR ein e-FAST angefertigt, und ggf. in Phase II wiederholt. Auf der Intensivstation/ICS wird nach Maßgabe des behandelnden Arztes eine Kontrollultraschalluntersuchung angeordnet. Begleitend wird, wenn nötig, der Patient operiert. Dies geschieht je nach Zustand während oder zwischen den Phasen. Wenn der Patient auf die Intensivstation/ICS verlegt wird, ist er entweder so weit stabilisiert, dass die vitale Bedrohung akut abgewendet ist, oder der Körper soll sich für kommende Operationen regenerieren.⁸

Im nachfolgenden Abschnitt wird explizit auf das Setting und den Ablauf einer Schwerverletztenversorgung am UKR . Folgende Grafik zeigt den schematischen Ablauf am UKR. Die einzelnen Blöcke werden im Folgenden erläutert. Nicht explizit aufgeführt ist die Kontrollabdomensonographie, die sich in den Intensivaufenthalt eingliedert und zeitlich gesehen den letzten Punkt in dieser Arbeit darstellt.



Abbildung 1: Gliederung der Phasen aus dem Schockraumalgorithmus (Unfallchirurgie, Polytrauma Management, 2007)

Schockraumphase I (5-20 min.):

Die erste Phase beginnt mit der Übergabe des Patienten. Nach der Übergabe arbeiten immer drei Teams parallel am Patienten: Anästhesie, Notaufnahmepflege und Chirurgie nach dem Advanced Trauma Life Support Algorithmus (ATLS® auch ABCDE-Schema).¹⁷ Dazu gehören:

- A = Atemwege sichern / HWS-Immobilisation
- B = Atemfunktion sichern
- C = Kreislauffunktion sichern
- D = ZNS-Beurteilung
- E = Vollständige kranio-kaudale Untersuchung, Vermeidung von Hypothermie

Das Anästhesie-Team übernimmt das Monitoring, die Beatmung und die Atemwegssicherung (A), Oxygenierung (B), medikamentöse Kreislaufunterstützung (C), Bestellung und Gabe von Blutprodukten sowie Gerinnungsmanagement (C) sowie eine Pupillenevaluation (D). Die Notaufnahmepflege entkleidet (E) den Patienten, lagert ihn gemeinsam mit der Anästhesie um, nimmt Blut ab und kümmert sich um den Wärmehaushalt (E). Die Chirurgie stabilisiert initial HWS (A) und Becken (C) und führt dann erste Maßnahmen durch: e-FAST (B+C), Bodycheck (C+D+E), und adressierende Sofortmaßnahmen. Hier wird eine sofortige Interventionsindikation geprüft und wenn nötig eine Operation im Schockraum sofort durchgeführt. Das (e-)FAST dient dazu, intraabdominelle freie Flüssigkeit sowie eine

Herzbeuteltamponade auszuschließen.¹⁸ Mittlerweile wird in diese Untersuchung der Thorax miteinbezogen, um einen Pneumothorax ausschließen zu können.⁵ Am UKR wurde diese Technik rasch nach deren Etablierung eingeführt. Dies ist die erste Ultraschalluntersuchung des Patienten und erster Anlaufpunkt dieser Arbeit (siehe auch 1.3.1). Parallel zu dieser Phase nimmt der Teamleiter während dieses Prozesses eine subjektive Einschätzung des Patienten vor. Kriterien sind hierfür unter anderem:

- Penetrierendes Trauma am Kopf, Hals, Thorax oder Abdomen
- Atemfrequenz < 10/min oder > 25/min
- Herzfrequenz < 50/min oder > 100/min
- Blutdruck systolisch < 85 mmHg oder > 160 mmHg
- Glasgow Coma Scale < 12 oder GCS-Motorik < 5
- Alter und Komorbiditäten
- Unfallmechanismus

Es folgt der zweite Team-Timeout und eine Re-Evaluation der Interventionsnotwendigkeit.

CT-Phase (5-15 min.):

Nach der 5- bis 20-minütigen Schockraumphase I folgt die CT-Phase. Sinn dieser Phase ist es, sich einen schnellen und umfassenden Überblick über den Zustand des Patienten zu verschaffen, sofort akut interventionsbedürftige Befunde zu erkennen und detaillierte Befunde zu erstellen.¹⁹ Zu diesem Zweck wird ein natives CCT, ein Ganzkörperopogram sowie eine Spiral-CT mit Kontrastmittel gefahren, insgesamt ergibt sich dadurch das sogenannte Polytrauma-CT. Standard ist beim Spiral-CT der Bereich von der Schädelbasis (C. Willisii) bis zum proximalen Femur (Trochanter minor). In begründeten Einzelfällen kann noch weiter kaudal gefahren werden. Im Anschluss erfolgt aufgrund der Befunde eine erneute Evaluation der Interventionsnotwendigkeit und gegebenenfalls Verlegung zur Operation oder interventionellen Radiologie.

Schockraumphase II (5-20 min.):

Falls keine sofortige Intervention aufgrund der bisherigen Informationen indiziert ist, wird der Patient zurück in den Schockraum verbracht und Phase II eingeleitet. Hier werden ergänzende konventionelle Röntgenaufnahmen angefertigt, der Patient klinisch vollständig reevaluiert und gegebenenfalls weitere Disziplinen hinzugezogen. Dann werden die Maßnahmen fortgeführt oder vervollständigt, die in der Phase I nicht durchgeführt werden konnten. In diesem Schritt wird bei unklarem Status auch eine erneute e-FAST-Sonographie empfohlen, die vom chirurgischen Assistenten durchgeführt wird. Nachdem der Patient – wenn nötig – durch kleinere Operationen (z.B. Fixateur externe) versorgt wurde, wird die weitere Therapie und Diagnostik sowie deren Priorität festgelegt. Nach diesem Prozedere wird entweder eine OP durchgeführt oder der Patient auf die Intensivstation verlegt. Dabei wird nach dem Prinzip des „do not further harm“ ein second hit wenn möglich vermieden, um dem Patienten nicht unnötig zu schaden.²⁰

Die beschriebenen Phasen werden in folgendem Ablaufdiagramm dargestellt.

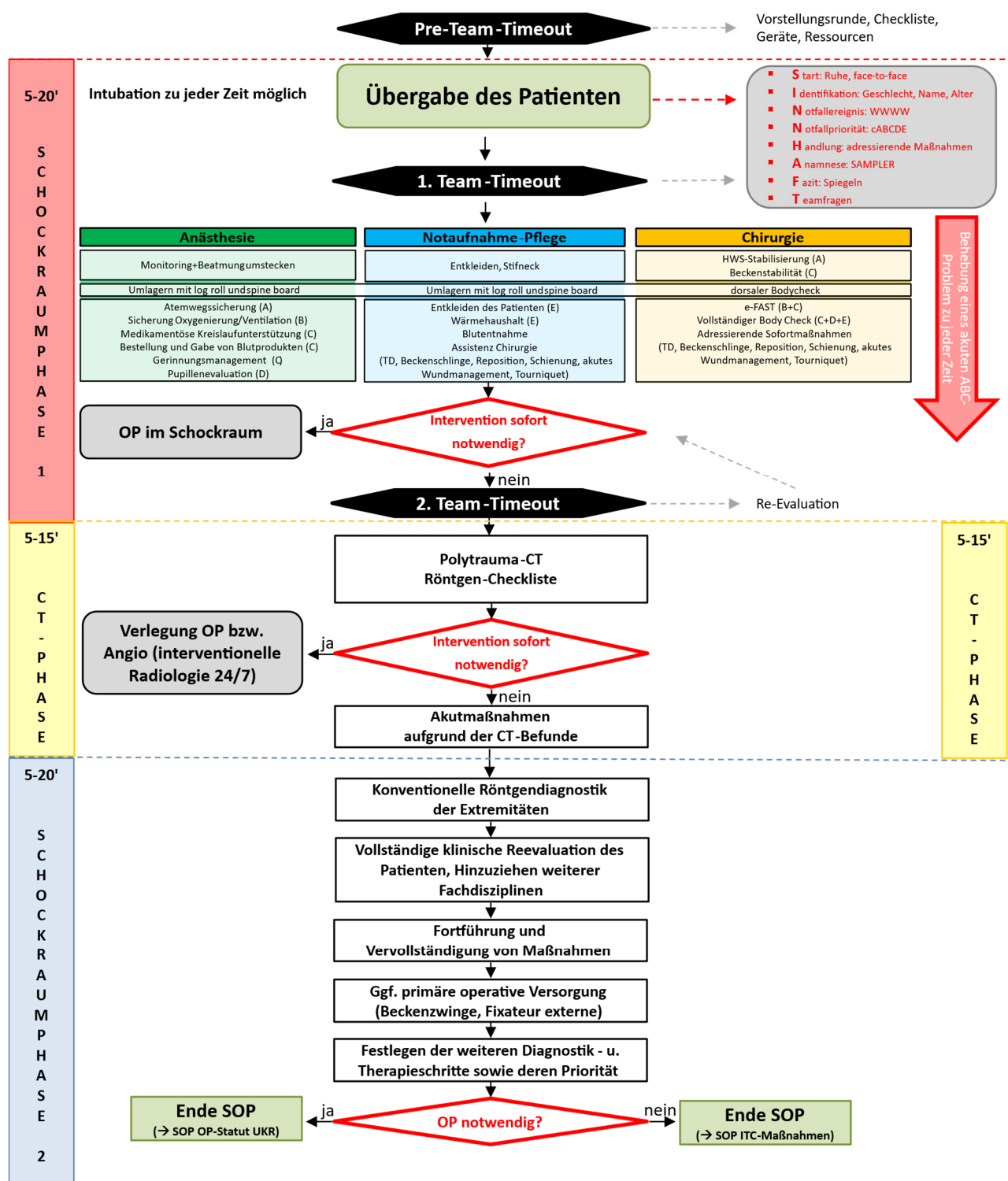


Abbildung 2: Schockraumalgorithmus am UKR als Ablaufdiagramm (Unfallchirurgie, Polytrauma Algorithmus, 2023)

Intensivstation (ITS)/Intermediate Care Station (ICS):

Die Verlegung des Patienten nach einer OP oder direkt aus dem Schockraum geschieht in die Intensivstation oder bei weniger lebensbedrohlichen Fällen auf die Intermediate Care Station.²¹

Kontrollabdomensonographie:

Zur intensivmedizinischen Betreuung gehört bei abdominalen Verletzungen nach subjektiver Einschätzung der behandelnden Ärzte auch eine Ultraschallkontrolle, um bekannte freie Flüssigkeit im Verlauf zu monitoren oder neu aufgetretene freie Flüssigkeit (z.B. Blutungen) zu erkennen und rechtzeitig behandeln zu können.²²

1.3.1 Focused Assessment with Sonography for Trauma

Zum Ausschluss freier Flüssigkeit beim polytraumatisierten Patienten wird als eine der ersten Maßnahmen nach der Übergabe und einem Bodycheck ein FAST durchgeführt. Das FAST ist eine notfallmäßige und standardisierte Abdomensonographie, die nach einem weltweit gleichen Protokoll durchgeführt wird.²³ Zusätzlich kann beim e-FAST (extended FAST) auch die Lunge mittels Ultraschalles auf das Vorliegen eines Pneumothorax untersucht werden. Die Entscheidung, welches Protokoll verwendet wird, obliegt dem Untersucher und dessen Expertise. Generell wird am UKR erst seit ca. 2015 eine e-FAST durchgeführt. Die ganze Prozedur dauert im klinischen Alltag eine bis drei Minuten und sollte nicht unnötig verzögert werden. Die übliche Reihenfolge variiert je nach Literatur. Die einzelnen Schritte sind am UKR folgendermaßen angeordnet:²³

1. Oberer rechter Quadrant: im sog. Morison-Pouch (Pouch engl. für Beutel) und Recessus costodiaphragmaticus rechts auf freie Flüssigkeit untersuchen
2. Oberer linker Quadrant: im sog. Koller-Pouch und Recessus costodiaphragmaticus links auf freie Flüssigkeit untersuchen
3. Herz: im Vier-Kammer-Blick den Perikardbeutel auf freie Flüssigkeit untersuchen
4. Becken: den Douglas- und Proust-Raum auf freie Flüssigkeit untersuchen
5. Ventrale Lungen beidseits: Ausschluss eines Pneumothorax

Durch diese Anordnung kann in den ersten drei Schnitten die gleiche Geräteeinstellung verwendet werden (Frequenz und Tiefe). Für die Herz- und Lungenschnitte wird eine im Vergleich noch höhere Tiefe benötigt.

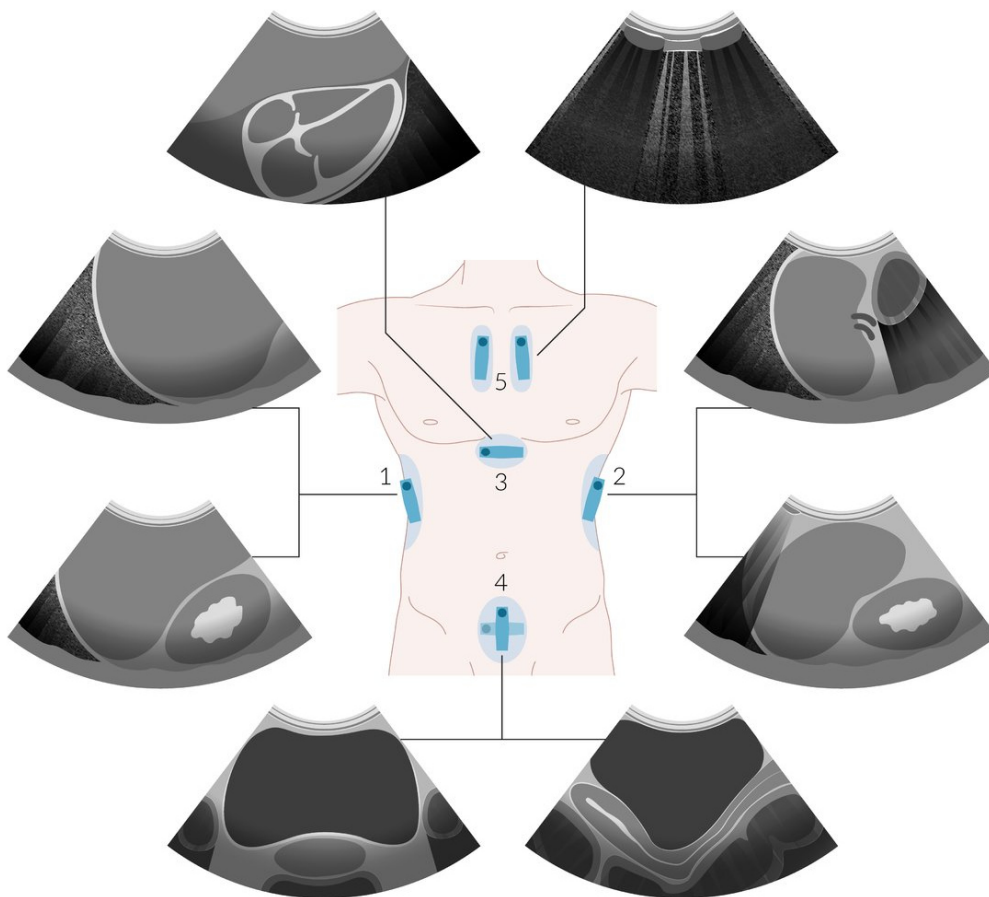


Abbildung 3: Übersicht e-FAST mit schematisierten Ultraschallbildern (Amboss, 2019)

1.3.2 Multislice Computertomographie

Als Multislice-CT (MSCT), Multidetektor-CT (MDCT) oder auch Mehrzeilen-Spiral-CT bezeichnet man die aktuell neueste Generation von Computertomographen. Durch die Komplexität von schweren Mehrfachverletzungen und deren diagnostischen Herausforderungen, die an die moderne Radiologie gestellt werden, hat sich das MSCT als standardisierte frühe Ganzkörperpertomographie etabliert – als der sogenannte „Goldstandard“.⁴ Essenziell ist dabei, eine umfassende, präzise und frühe Diagnostik bereitzustellen, um eine prioritätsorientierte Therapie zu ermöglichen. Ziel ist es, lebensbedrohliche Verletzungen frühzeitig zu erkennen und adäquat zu behandeln. Die Detektionsrate von Verletzungen ist sehr hoch und Studien zufolge (siehe 1.4 Stand der Forschung) verbessert sich die Überlebenschance um 20-25%. Dies ist der Grund, warum in dieser Arbeit die Initial-CT als Bewertungsreferenz für die Sonographien verwendet wird. Dadurch lassen sich die Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiver Wert des Abdomenkontrollultraschalls als auch des FAST berechnen.

Durch moderne Geräte konnten die Auflösung sowie die Untersuchungszeit deutlich verkürzt werden. Die Exposition von kurzweiliger, elektromagnetischer Strahlung ist jedoch nicht unerheblich. Durch die Entwicklung von Mehrzeilen-CTs bis hin zu 128-320 Zeilen bei den aktuellen Topmodellen konnte die Belastung um bis zu 40% signifikant auf 10,2 mSv für ein Thorax- und 14,2 mSv für ein Abdomen-CT gesenkt werden.^{4,24}

1.3.3 Kontrollabdomensonographie

Im Laufe des klinischen Aufenthaltes bekommt der Patient nach subjektiver Einschätzung der behandelnden Ärzte eine Kontrollultraschalluntersuchung, welche das Kernthema dieser Arbeit darstellt. Die Durchführung dieser Untersuchung ist keinesfalls Standard an deutschen Kliniken und wird in der Literatur kontrovers diskutiert.²⁵⁻³¹ Sie sollte nach UKR-Empfehlung idealerweise 6 Stunden nach Aufnahme erfolgen und vorhandene freie Flüssigkeit zur Verlaufskontrolle dokumentieren oder eine neu aufgetretene Blutung frühzeitig detektieren. In „Praxis der Intensivmedizin“ von Wilhelm 2013 nennt der Autor einen passenden Zeitraum dieser Untersuchung von sechs bis acht Stunden nach Aufnahme.³² Der Befund wird in das Klinikinformationssystem (KIS) SAP eingegeben.

Der nachfolgende Abschnitt soll den Nutzen dieser Ultraschall-Kontrolle in der Literatur darstellen, sowie deren Stellenwert in der medizinischen Versorgung.

1.4 Stand der Forschung

In der Literatur finden sich zwar viele Arbeiten zur Qualität der Abdomensonographie aber nur wenige beschäftigen sich mit der Wiederholungs- bzw. Kontrolluntersuchung. Im Rahmen der Literaturrecherche wurden sechs Arbeiten - von 1981 bis 2014 - identifiziert, die konkret das Kernthema – den Stellenwert der Kontroll-Ultraschalluntersuchung nach stumpfem, abdominellem Trauma oder Polytrauma thematisieren. Pädiatrische Patienten wurden in der vorliegenden Arbeit ausgeschlossen, daher wird darauf hier nur am Rande eingegangen. Der Publikationszeitpunkt aller zum Thema gefundenen Arbeiten ist homogen etwa über die letzten 30 Jahre verteilt.

Frühere, vor der etablierten CT-Diagnostik bis zu 30 Jahre alte Arbeiten, stellen die Ultraschalldiagnostik als überwiegend positiv dar. So schreiben Kretschmer et al. 1998, dass die Sonographie die diagnostische Peritoneallavage in Europa als primär diagnostisches Verfahren beim Abdominaltrauma abgelöst hat. Laut Kretschmer et al. sollte damals ein CT nur dann gemacht werden, wenn der Patient kreislaufstabil war und der Sonographiebefund freie Flüssigkeit ergab oder nicht eindeutig beurteilbar war. Beim hämodynamisch instabilen Patienten sollte demnach nur eine Ultraschalldiagnostik ablaufen und bei Nachweis freier Flüssigkeit wurde der Patient laparotomiert.³³

Auch Trupka et al. belegten in einer Arbeit von 1996, dass die Sonographie seit 1989 durch höhere Sensitivität und Spezifität die Peritoneallavage als Methode der ersten Wahl zur Diagnose freier Flüssigkeit ersetzt hat. Sie berichten, dass von 24 Hohlorganverletzungen und Zwerchfellrupturen insgesamt 5 verzögert diagnostiziert wurden. Darunter waren 4 falsch negative Sonographien und ein zuverlegter Patient mit Magenruptur. In allen anderen Fällen wurde eine Frühoperation durchgeführt und hier die entsprechende Blutung oder freie Flüssigkeit intraoperativ festgestellt. Sie folgerten, dass Zwerchfellrupturen nicht immer durch Routine-Abdominaldiagnostik sicher erkannt werden. Daher sollte bei jedem Verdacht ein thorakales CT gemacht werden. Bei primär nicht operationspflichtigen Bauchtraumata sollte eine engmaschige sonographische Kontrolle im klinischen Verlauf erfolgen.³⁴

In einer prospektiven Studie von Hoffmann et al., die von 1986 bis 1990 291 Patienten mit schweren mehrfachen Verletzungen (ISS > 20) untersuchten, konnte gezeigt werden, dass die initiale Ultraschalluntersuchung eine Sensitivität und Spezifität von 89% bzw. 97% bei der Erkennung intraabdominaler, operationsbedürftiger Verletzungen hatte. Eine standardisierte Ultraschallnachuntersuchung kann die Güte dieses Verfahrens sogar noch erhöhen. Damit hatte die Sonographie die Peritoneallavage als Diagnostikum der ersten Wahl abgelöst, welche nur

noch in ausgewählten Fällen angewandt wird. Von den 291 Patienten wurden 117 laparotomiert. Dabei waren die Hauptursachen für intraabdominelle Verletzungen Milz- und Leberrupturen. Insgesamt 111 Laparotomien stellten sich als notwendig heraus. Bei den restlichen sechs war zuvor im Ultraschall freie Flüssigkeit diagnostiziert worden, intraoperativ stellten sich die Operationen aber als unnötig heraus, da die Blutungen spontan sistierten. Dagegen waren von den insgesamt 105 positiven Ultraschallbefunden zunächst nur 86 eindeutig positiv. In 19 Fällen fand man initial nur geringfügige Zeichen von freier Flüssigkeit. Nach hämodynamischer Stabilisation der Patienten wurde allerdings durch die routinemäßige Ultraschallnachuntersuchung in der Notaufnahme freie Flüssigkeit und damit eine intraabdominelle Verletzung erst erkannt.³⁵

Eine ältere Arbeit von Schwerk et al. von 1981 berichtet von 6 Patienten (ohne Angabe des Gesamtkollektives), bei denen nach Fehlinterpretation eine subkapsuläre bzw. verzögerte Milzblutung auftrat. Bei 4 von 6 Patienten waren keine oder lokal uncharakteristische Schmerzen vorhanden. Durch die sonographische Nachuntersuchung konnten diese Fälle in einem Zeitraum von 3 bis 61 Tagen nach dem retrospektiv ursächlich erkannten Trauma diagnostiziert werden. In 4 von 6 Fällen erfolgte eine ultraschallgesteuerte, perkutane Aspirationspunktion, wobei in allen Fällen – bis zu 6 Tage ab Trauma - Blut aspiriert werden konnte. Problematisch seien demnach subkapsuläre oder gedeckte Milzrupturen, welche verzögerte traumatische Blutungen verursachen können. Die Häufigkeit dieser wird von Wilkinson (1978) mit 15% angegeben. Daher kommt der sonographischen Wiederholungsuntersuchung zur Verhinderung fataler Verläufe nach verzögerter chirurgischer Intervention eine entscheidende Bedeutung zu.³⁶

Neuere Arbeiten, die sich kritisch zu diesem Thema äußern, sind im Folgenden zusammengefasst. Maurer et al. untersuchten 2012 an der Charité in Berlin den Zusammenhang von Kosten und Stellenwert von Ultraschallverlaufskontrollen bei polytraumatisierten Patienten nach initialer Computertomographie an 176 Patienten. Sie kamen zu der Schlussfolgerung, dass bei initialem negativen CT-Befund eine Ultraschallverlaufskontrolle nur einen geringen diagnostischen Zugewinn bei relativ hohem Kosten- und Personalaufwand (28,93€ pro Untersuchung) erbringt. Dabei wurde bei 151 Patienten, bei denen initial keine abdominelle Verletzung im CT festgestellt werden konnte, in der Ultraschallverlaufskontrolle keine Zusatz- oder Neubefunde festgestellt. Lediglich bei 2 der 25 Patienten mit initialer im CT nachweisbarer abdomineller Verletzung konnten Neubefunde durch eine Ultraschallverlaufskontrolle festgestellt werden. Beim ersten Patienten, einem 18-jährigen Mann, zeigte die Ganzkörper-CT nach einem Autounfall Einblutungen in die Leber und eine Milzlazeration bei jeweils intakter Organkapsel. In der Kontrollultraschalluntersuchung zeigte sich dann perihepatisch und perisplenisch ein schmaler Flüssigkeitssaum, der nach 8 Tagen nicht mehr nachweisbar war. Beim 2. Patienten (Sturz aus drittem Stock) zeigte das Polytrauma-CT neben mehreren thorakalen Verletzungen Lazerationen an der Leber, Einblutungen in die rechte Niere und ein retroperitoneales Hämatom diagnostiziert. Der Kontrollultraschall zeigte Flüssigkeit perihepatisch und neu nachweisbare Flüssigkeit um die Milz. Die daraufhin erneut durchgeführte CT-Kontrolle konnte nun auch eine Einblutung mit angrenzendem Hämatom in der Milz feststellen. Aus dieser Information entstand jedoch keine Interventionsindikation, da das Hämatom in Verlaufskontrollen bei konstanter Größe verblieb.²⁵

In der Literatur herrscht wenig Einigkeit über den Stellenwert und die Sinnhaftigkeit einer Ultraschallnachuntersuchung. So kommen neuere Arbeiten wie etwa 2014 von Geyer et al. zu dem Ergebnis, dass Routine-Ultraschallfolgeuntersuchungen keine zusätzlichen Informationen nach einem abdominalen Trauma erbringen. Bei initial positivem CT (nachgewiesene

Organläsionen) sollte jedoch ein Folge-CT bei auffälliger Klinik oder Labor in Betracht gezogen werden.²⁶

Busse et al. stellten 2015 in einem Kongress ihre Arbeit über Kontrollsonographien bei Traumapatienten ohne initiale Verletzung der parenchymatösen Organe oder Nachweis freier Flüssigkeit in der Ganzkörper-Computertomographie dar. Die retrospektive Analyse wurde an erwachsenen Patienten durchgeführt, die im Zeitraum von 2008 bis 2012 in der initialen CT keine parenchymatösen Verletzungen aufwiesen und auch keinen Nachweis freier Flüssigkeit hatten und die innerhalb der darauffolgenden 24 Stunden eine Kontrollsonografie erhielten. Aus den 316 untersuchten Patienten konnte bei 3 (0,9%) eine kleine Menge freier Flüssigkeit in der Kontrollsonographie detektiert werden, welche jedoch keine therapeutische Relevanz hatte. Kein Patient davon verstarb. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die abdominelle Kontrollsonographie keinen Benefit und keinen Einfluss auf die weitere Therapie hat – bei Patienten ohne freier Flüssigkeit in der initialen Ganzkörper-Computertomographie.³⁷

In einer Dissertation von 2017 untersuchte Wilckens am Universitätsklinikum Gießen die Notwendigkeit einer abdominellen Kontrollsonographie bei polytraumatisierten Patienten nach dem Nachweis einer intraabdominellen Organverletzung oder freier Flüssigkeit im Abdomen. Von den insgesamt 1019 Patienten im Beobachtungszeitraum hatten 69 einen positiven Befund im MDCT, von denen dann 54 eine sonographische Nachuntersuchung bekamen. Neben der Ultraschalluntersuchung flossen vor allem laborchemische Werte in die weitere Therapieplanung mit ein. Von den 54 Patienten zeigte sich in der Nachuntersuchung kein therapierelevanter Neu- oder Zusatzbefund.²⁷

In der 2022 überarbeiteten S3-Leitlinie zur Schwerverletztenbehandlung der DGU wird generell darauf hingewiesen, dass eine abdominelle Verletzung selbst beim wachen und unauffälligen Patienten ausgeschlossen werden sollte. Dazu gehört initial eine mittlerweile zum Standard gehörende e-FAST Untersuchung zum Screening freier abdomineller Flüssigkeit. Die sonographische Wiederholungsuntersuchung sollte laut Empfehlung aber nur dann durchgeführt werden, wenn eine computertomographische Untersuchung nicht möglich ist oder nicht zeitnah durchgeführt werden kann (Evidenzgrad B). Des Weiteren heißt es, dass eine gezielte sonographische Suche nach Parenchymverletzungen ergänzend zur FAST eine Alternative darstellt, sofern die Computertomographie nicht durchführbar ist (Evidenzgrad 0). Dies zeigt auch, dass die Wiederholungsuntersuchung als klare „Handlungsempfehlung“ (B) empirisch gesichert die Wertigkeit klinischer Entscheidungen optimieren kann. Die initiale Suche nach Parenchymverletzungen mit der Ultraschalltechnik erreicht jedoch nur den Status „Empfehlung offen“.^{5,38}

In früheren Arbeiten, bei denen eine Initial-CT noch nicht als Goldstandard galt oder inkonsequent zum Einsatz kam, haben wiederholte Kontroll-Sonographien ihren Stellenwert nachweisen können:

In einer Arbeit von Ambacher et al. 2000 stellen die Autoren dar, dass Verletzungen im Rahmen von sonographischen und klinischen Untersuchungen bei etwa 10% der Patienten (n=1000) im Schockraum erkannt wurden. In einem weiteren Prozent der Fälle (n=10) nach 2 Stunden und bei 0,1% (n=1) nach 24 Stunden. Die sonographische Kontrolle ist somit obligatorischer Bestandteil der Basisdiagnostik. Als Primärdiagnostik werden hier die körperliche Untersuchung, Ultraschalluntersuchung, Schädel-CT und konventionelle Röntgendiagnostik genannt. Am häufigsten seien insgesamt Milz- und Darmverletzungen, die auch weniger erfahrene Untersucher erkennen können. Die Sensitivität für die Erkennung intraabdominaler freier Flüssigkeit wird hier mit bis zu 99% angegeben.³⁹

In einer prospektiven Studie von 2001 durch Nunes et al. konnte gezeigt werden, dass durch die Wiederholung der „six-point trauma US evaluation“ (6-Punkt-Ultraschalluntersuchung), mit einer Ultraschalluntersuchung als Primärdiagnostikum, beim Schwerverletzten (Serious Abdominal or Pelvic Injury) Patienten nach stumpfem und scharfen Abdominaltrauma die Falsch-negativ-Rate um 50% verringert wurde, die Sensitivität für freie Flüssigkeit von 69% auf 85% gestiegen ist und der positiv prädiktive Wert von 95% auf 97% erhöht werden konnte. Zugleich konnten auch die Sensitivität und der negativ prädiktive Wert für die Erkennung von Verletzungen von 57% auf 71% respektive von 96% auf 97% gesteigert werden. Die Autoren kamen zu der Erkenntnis, dass eine wiederholte 6-Punkt-Ultraschalluntersuchung eine zuverlässige Methode zur Erkennung freier intraabdomineller Flüssigkeit darstellt, was ein zuverlässiger Indikator für eine abdominelle Verletzung ist.²⁹ Nachfolgend ist der Ablaufalgorithmus für stabile und instabile Patienten am Hahnemann University Hospital von 1997 dargestellt, welcher bei dieser Arbeit verwendet wurde. Zu erkennen ist, dass im Gegensatz zu heutigen Standards,^{4,8,17,24,40-42} eine Polytrauma-CT beim Schwerverletzten nicht immer obligat war.

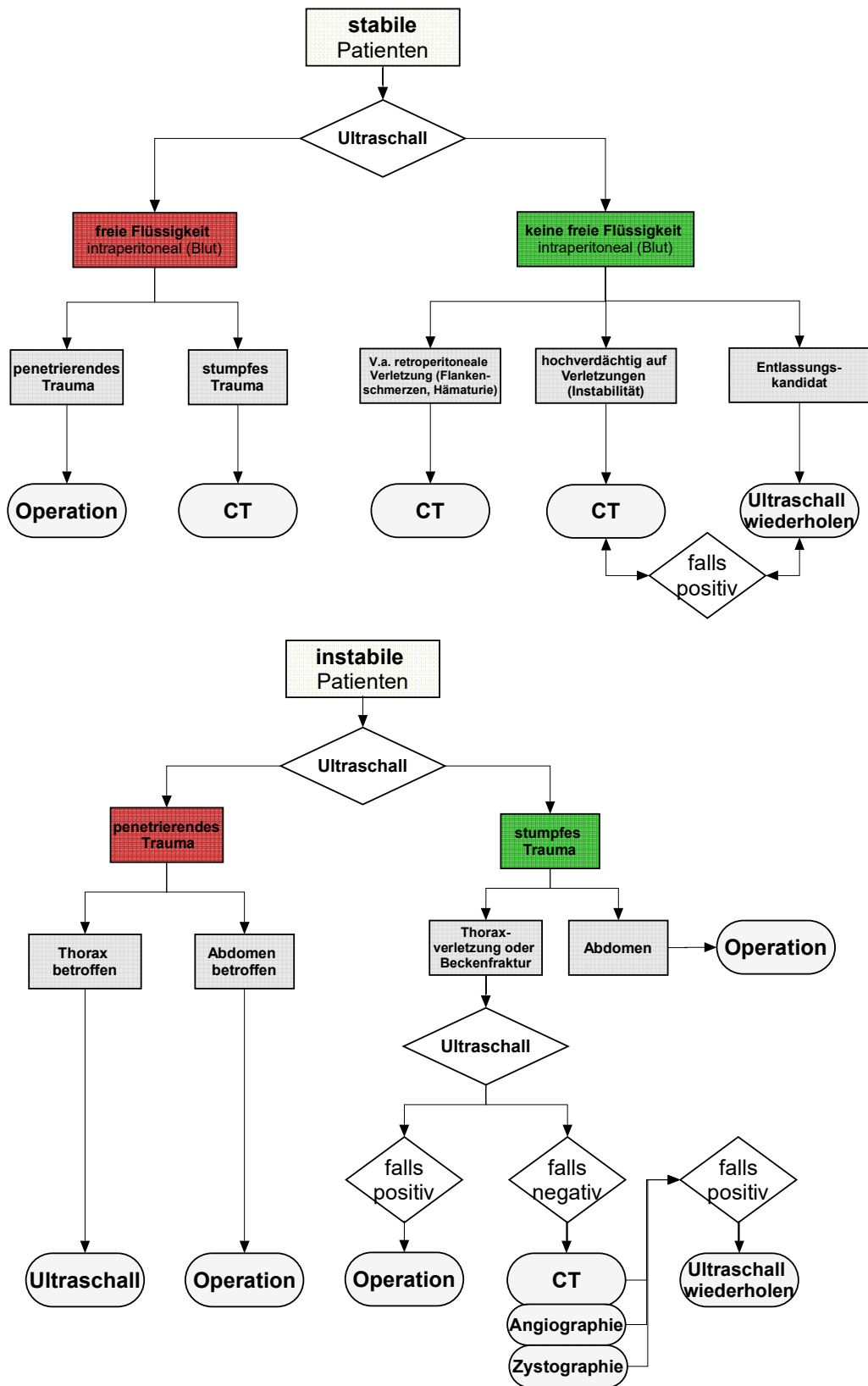


Abbildung 4: Klinischer Ablaufalgorithmus bei stumpfem Trauma am Hahnemann University Hospital in Philadelphia²⁹

Lingawi et. al zeigten in einer prospektiven Studie von 2000, in der 1090 Patienten mit stumpfen Abdominaltrauma untersucht wurden, dass die Sensitivität intraabdomineller freier

Flüssigkeit und Parenchymverletzungen durch wiederholte Ultraschalluntersuchungen auf eine Sensitivität und Spezifität von bis zu 94% bzw. 98% gesteigert werden kann.⁴³

Auch Blackbourne et al. konnten 2004 zeigen, dass eine zweite Ultraschalluntersuchung an Traumapatienten innerhalb von 24 Stunden nach einer initialen Ultraschalluntersuchung (als Primärdiagnostikum) zu einer generellen Steigerung der Sensitivität und zu einer Verringerung der falsch-positiv-Rate führte. Dazu wurden in einer prospektiven Kohortenstudie am Jackson Memorial Hospital der University of Miami 547 aus 1361 Patienten mit stumpfem Trauma einer zweiten Ultraschalluntersuchung unterzogen. Die Untersuchung, die im Durchschnitt nach 4 Stunden und 10 Minuten durchgeführt wurde, erhöhte die Sensitivität nach der initialen Ultraschalluntersuchung von 31,1% auf 72,1% ($p < 0,001$) für intraabdominelle Verletzungen oder intraabdomineller Flüssigkeit. Während die Spezifität gleichbleibend bei 99,8% lag, konnte der negativ prädiktive Wert von 92,0% auf 96,6% ($p = 0.002$) durch eine wiederholte Untersuchung gesteigert werden. Es konnte gezeigt werden, dass kein in der Kontrollultraschalluntersuchung nach 4 Stunden unauffälliger Patient im Verlauf eine klinisch relevante intraabdominelle Blutung entwickelte.²⁸

Auch in der Kinder-Schockraumversorgung haben die Kontrolluntersuchungen nach primärer sonographischer Diagnostik ihren wichtigen Stellenwert. In der Literatur ließen sich drei relevante Arbeiten zu diesem Thema finden: Davies et al. untersuchten die Inzidenz von verzögerten Milzblutungen bei Kindern nach stumpfem Trauma. Von 303 Kindern mit Milzverletzungen wurden 302 erfolgreich nichtoperativ versorgt oder verstarben unmittelbar an der Unfallursache. Nur ein 15-jähriger Junge hatte 23 Tage später eine verzögerte Milzblutung, an der er verstarb. In der Literatur sind seit 1980 14 solcher Fälle beschrieben worden. Die durchschnittliche Zeit bis zur Blutung beträgt dabei 10 Tage $\pm$ 7 Tage.⁴⁴ In Anbetracht der praktizierten Ultraschalluntersuchungen nach ca. 6 Stunden am UKR, die das Thema dieser Abhandlung darstellen, sind verzögerte Milzblutungen eher nicht mit der zeitnahen (ca. 6 Stunden) Kontrolluntersuchung auszuschließen.

Wickede stellte 2017 mit einem Artikel zur Empfehlung bei der Diagnostik des stumpfen Bauchtraumas bei Kindern heraus, dass die Sonographie als Basisdiagnostikum trotz hauptsächlich konservativer Behandlung die entscheidende Rolle bei der Erfassung operationsbedürftiger Befunde spielt. Demnach wird beim kreislaufinstabilen Kind eine engmaschige Ultraschallkontrolle alle 4-8 Stunden nach dem Unfall empfohlen, um rechtzeitig die OP-Indikation stellen zu können. Beim kreislaufstabilen Patienten sollte jedoch bei Verdacht vorzugsweise ein Abdomen-CT mit Kontrastmittel durchgeführt werden.⁴⁵

In einer früheren Untersuchung von Sjövall und Hirsch 1997 in Stockholm, wurden 203 Kinder mit Milz-, Leber-, Pankreas- und Gastrointestinalverletzungen retrospektiv untersucht. Als Hauptursache wurden Fahrrad- und Reitunfälle genannt. In 138 Fällen - mit der vorwiegenden Diagnose Milzblutung - war eine konservative Behandlung mit konsekutiver Ultraschallnachuntersuchung ausreichend. Von 7 operativ versorgten Milzverletzungen wurde nur eine durch den sonographischen Befund primär auffällig, der Rest durch den klinischen Eindruck. Bei den Leberverletzungen wurden 25 aus 29 konservativ versorgt. Aus den restlichen 4 Patienten wurde bei 2 die Indikation nur durch Ultraschall und bei einem durch die Klinik gestellt. Bei einem Mädchen trat nach 12 Tagen eine Nachblutung auf und nach 24 Tagen eine akute Verschlechterung. In der anschließenden Operation fand man eine große Ruptur am rechten Leberlappen, welche bis dahin übersehen wurde. Bei der 13-Jährigen wurde demnach keine Ultraschallfolgeuntersuchung durchgeführt.⁴⁶

2. Fragestellungen und Hypothesen

Vor dem Hintergrund, dass

- es in der Literatur nur wenige Arbeiten gibt, die sich konkret mit dem Thema der Kontrollabdomensonographie beschäftigen,
- in den meisten neueren Arbeiten kein wesentlicher Nutzen der Kontrollabdomensonographie gezeigt werden konnte,
- es im Allgemeinen erwiesen ist, dass ein Multislice-Spiral-CT der Goldstandard zur Diagnose intraabdomineller Blutungen nach Polytrauma ist

und dennoch

- in den aktuellen S3-Leitlinien der DGU neben eines initialen e-FAST eine Wiederholungsuntersuchung zum Monitoring der Zu- oder Abnahme freier Flüssigkeit unter bestimmten Bedingungen empfohlen wird⁵,
- mehrere Arbeiten zeigen konnten, dass durch wiederholte Ultraschalluntersuchungen im Verlauf die Falsch-negativ-Rate gesenkt und die Sensitivität signifikant gesteigert werden konnte^{28,29,47},
- am Universitätsklinikum Regensburg seit über 10 Jahren nach einem Polytrauma standardmäßig nach 6 Stunden eine Kontrollabdomensonographie durchgeführt wird und
- in jüngerer Vergangenheit am UKR erneut Fälle von abdominalen Blutungen erst nach Entlassung festgestellt wurden,

ist es naheliegend, diesen komplexen Sachverhalt genauer zu betrachten.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. *Werden Blutungen durch die Kontrollabdomensonographie detektiert, die im CT unauffällig waren, und wenn ja wie viele?*
2. *Welche Konsequenz hat die Kontrollabdomensonographie (sowohl bei primären als auch sekundären Blutungen) auf die weitere Therapie und was wäre, wenn die Kontrollabdomensonographie weggelassen würde?*
3. *Muss die Kontrollabdomensonographie in domo nach spätestens 6 Stunden durchgeführt werden oder reicht auch innerhalb von 24 oder 48 Stunden?*

Die Hypothesen, die sich aus den vorliegenden Fragestellungen ergeben, lauten:

H-I:

Das untersuchte Patientenkollektiv unterscheidet sich nicht von der Gesamtpopulation.

H-II:

Es wird eine relevante Anzahl an Blutungen in der Kontrollabdomensonographie detektiert, die im Abdomen-CT unauffällig waren oder initial kein Abdomen-CT bekommen haben.

H-III:

Freie Flüssigkeit ist in der Kontrollabdomensonographie mit hoher Sensitivität sichtbar.

H-IV:

Ein positiver Kontrollsonographie-Befund ist signifikant mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert.

H-V:

Der Zeitpunkt der Kontroll-Sonographie 6-24h nach Trauma ist nicht nachteilig im Vergleich zum Zeitraum 0-6h nach Trauma.

3. Material und Methodik

Zunächst beschreibt Kapitel 3, wie aus den gesammelten Daten, die durch die in den folgenden Kapiteln 3.2 - 3.6 beschriebenen Methoden akquiriert werden, die einzelnen Hypothesen beantwortet werden.

Zur Verfügung standen Falldaten von etwa 9 Jahren, die in verschiedenen Datenquellen vorgehalten wurden. Nachdem das Studiendesign (3) sowie die Ein- und Ausschlusskriterien (3.3) definiert waren, wurden die Daten (3.4) aus den Datenquellen akquiriert (3.5). Dabei wird in Kapitel 3.5 auch auf die wichtigsten Scoring-Systeme: AIS und ISS, sowie die Berechnung der Statistiken mit SPSS eingegangen.

Um abschließend die einzelnen Hypothesen bewerten zu können, musste für jede grundlegende Überlegung zuerst die Richtigkeit aller Kontrollabdomensonographien bekannt sein. Da dies retrospektiv nicht möglich ist, wurde ein komplexer Schätzalgorithmus entwickelt (3.6), welcher auf Basis der KAS- und CT-Befunde, der Trauma- und OP-Dokumentation sowie der AIS-Abdomen-Scores die einzelnen KAS-Befunde auf ihre Korrektheit (richtig positiv (RP), richtig negativ (RN), falsch positiv (FP), falsch negativ (FN)) bewertet.

3.1 Überprüfung der Hypothesen

Überprüfung der Hypothese I:

Das untersuchte Patientenkollektiv unterscheidet sich nicht von der Gesamtpopulation.

Hypothese I lässt sich aus dem Vergleich der epidemiologischen Daten aus dem Regensburger Traumaregister und der Literatur prüfen.

Überprüfung der Hypothese II:

Es wird eine relevante Anzahl an Blutungen in der Kontrollabdomensonographie detektiert, die im Abdomen-CT unauffällig waren oder initial kein Abdomen-CT bekommen haben.

Die Überprüfung von Hypothese II fußt auf einer Einzelfallbetrachtung. Fände man bei einem Fall freie Flüssigkeit intraoperativ bei initial blandem Polytrauma-CT und konträr dazu freie Flüssigkeit in einer KAS vor der OP, wäre eine mögliche Operationsindikation der KAS zu unterstellen. Die Nullhypothese: „Die Kontrollabdomensonographie hat keinen Einfluss auf den Verlauf des Patienten“ kann aber auch hier nicht zweifelsfrei widerlegt werden, da eine OP-Indikation nicht explizit auf Grund der KAS dokumentiert ist.

Überprüfung der Hypothese III:

Freie Flüssigkeit ist in der Kontrollabdomensonographie mit hoher Sensitivität sichtbar.

Hypothese III kann durch (a) dem Vergleich der KAS-Befunde mit dem Goldstandard CT-Abdomen als Referenz bewertet werden und somit die Sensitivität und Spezifität abgeschätzt werden. Eine weitere Möglichkeit (b) ist der Vergleich von KAS-Befunden und OP-Protokollen eines Patienten. Damit kann eindeutig das Vorhandensein freier Flüssigkeit und damit die Sensitivität der KAS überprüft werden.

Überprüfung der Hypothese H IV:

Ein positiver Kontrollsonographie-Befund ist signifikant mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert.

Zur Überprüfung von Hypothese IV werden deskriptive Statistiken, Chi²-Test, P-Wert, Kreuztabelle und ein direkter Vergleich angewendet. Nach der Überprüfung der Gleichheit der Subgruppen (KAS-positiv / KAS-negativ) hinsichtlich demographischer Unterschiede (Alter, Geschlecht, ISS und Unfallmechanismus) können unterschiedliche Outcome-Parameter der Mortalität und Morbidität (z.B. Dauer des Intensivaufenthaltes, Erythrozytenkonzentrat-Gaben,

Gesamtdauer des Stationären Aufenthaltes) miteinander verglichen werden. Die Tauglichkeit der KAS als Outcome-Prädiktor wird dann deskriptiv (Mittelwerte) sowie mittels Chi-Quadrat und der Korrelation nach Pearson bestimmt.

Überprüfung der Hypothese H V:

Der Zeitpunkt der Kontroll-Sonographie 6-24h nach Trauma ist nicht nachteilig im Vergleich zum 0-6h Zeitraum nach Trauma.

Für die Beantwortung der Hypothese V werden die Fälle zeitlich gruppiert in KAS- „0 bis 6 Stunden“ und „6 bis 24 Stunden“ unterteilt. Analog zu Hypothese IV werden mithilfe von deskriptiver Statistik, Chi²-Test, P-Wert, Kreuztabelle und direkter Vergleich die Subgruppen miteinander verglichen und bewertet.

3.2 Studiendesign

Diese Arbeit wurde als unizentrische retrospektive Kohortenstudie angelegt und im Zentrum für klinische Studien am Universitätsklinikum Regensburg mit der Nummer Z-2019-1246-4 angemeldet.

Die Datenakquise wurde aus zwei großen Datenbanken realisiert:

- Das Traumaregister der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am UKR und
- Das SAP/IS-H Klinikinformationssystem am UKR

Das Traumaregister (abgekürzt TR-UKR) ist eine hauseigene geführte Datenbank, die zur Beobachtung schwerstverletzter Patienten am UKR 2007 eingeführt worden ist und durch das Votum der Ethikkommission der Fakultät für Medizin am UKR mit der Nummer 14-101-0004 bestätigt worden ist. Aus dieser Datenbank werden die Daten für das „TraumaRegister DGU®“ (TR-DGU®) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) extrahiert (s.u.). Da das TR-UKR nicht die für die Auswertung benötigten CT- und Sonographie-Befunde enthält, wurden diese aus dem Klinikinformationssystem SAP/IS-H extrahiert.

In der folgenden Übersicht sind die Quellen und Zusammensetzungen der Fälle als Flussdiagramm dargestellt, welche in den nachfolgenden Kapiteln explizit erklärt werden.



Abbildung 5: Flussdiagramm der verwendeten Datenbanken der eingeschlossenen Patienten

3.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Der Arbeit liegen Daten des UKR in einen Zeitraum von September 2007 bis Dezember 2016 zu Grunde. Für alle Hypothesen gelten folgende Kriterien:

- der Patient ist am UKR über den Schockraum aufgenommen worden
- der Patient ist als Polytrauma eingestuft worden ($ISS \geq 16$)
- der Patient hat die Volljährigkeit erreicht ($\text{Alter} \geq 18$ Jahre)
- für den Patienten existiert eine Dokumentation im SAP

Für **Hypothese I** werden keine zusätzlichen Kriterien angewandt.

Für **Hypothese II, III, IV** gilt zusätzlich:

- Es werden nur Fälle betrachtet, bei denen die KAS innerhalb von 48 Stunden durchgeführt wurde

Für **Hypothese V** gilt zusätzlich:

- Es werden nur Fälle betrachtet, bei denen die KAS innerhalb von 6 bzw. 24 Stunden durchgeführt wurde

3.4 Datenquellen

3.4.1 Traumaregister am UKR

Die rechte Säule im Übersichtsdiagramm (Abbildung 5) wird vom Traumaregister am UKR (TR-UKR) gestellt. Das TR-UKR ist eine Abwandlung des „TraumaRegister DGU®“ (TR-DGU®) der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) und enthält alle Variablen des TR-DGU® inklusive einer Ergänzung um weitere 350 eigene Variablen. Das TR-UKR wird von der Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie am UKR seit 2007 geführt und dokumentiert alle über den Schockraum aufgenommenen Patienten. Dabei ist das TR-UKR seinerseits eine Fusion aus den Daten des TR-DGU® und hauseigen eingepflegten Daten. Die Erhebung der eigens gepflegten Daten beginnt im Schockraum, wird während des Aufenthaltes weitergeführt und bei Entlassung komplettiert. Die vom UKR an die Akademie der Unfallchirurgie GmbH (AUC) standardmäßig weitergeleiteten Daten werden dort gesammelt und aufbereitet und dann wieder via „IBM SPSS Statistics“-Datenbank zurückgesendet. Die AUC ist der 2004 gegründete Wirtschaftsbetrieb der DGU, der als Schnittstelle zwischen klinischer Medizin, Gesundheitsforschung und Management fungieren soll.⁴⁸ Anschließend wird die erhaltene SPSS-Datenbank mit den 350 hauseigenen Variablen ergänzt und gespeichert. Der für diese Arbeit vorliegende Auszug der Datenbank beinhaltet die Daten von September 2007 bis Dezember 2016.

Der beschriebene Ablauf wird in folgender Grafik veranschaulicht:

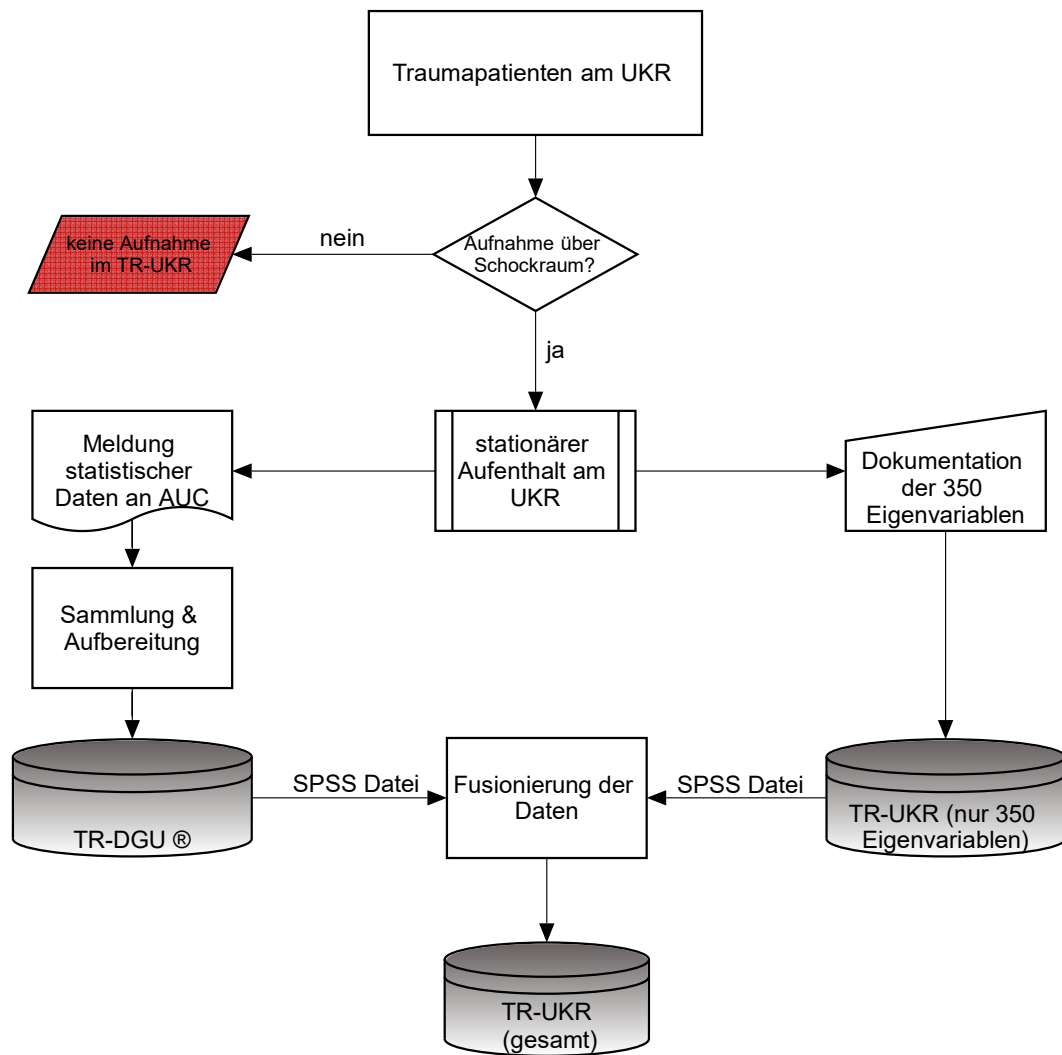


Abbildung 6: Flussdiagramm der Datenpfade der einzelnen Datenquellen des TR-UKR

Die damit entstehende Datenbank ist somit eine Mischung aus verschiedenen Variablen. Einen beispielhaften Auszug stellt die folgende Liste dar.

- TR-DGU®:
 - Aufnahmedatum und Uhrzeit
 - Operationsart und Datum
 - ISS
 - AIS
 - Mortalität
 - Geschlecht
 - Traumaart
 - Traumaursache
 - Traumahergang
 - Alter
- TR-UKR:
 - Ergebnis der e-FAST-Sonographie
 - Ergebnis der Computertomographie
 - Maßnahmen der Erstversorgung
 - Gesicherte Traumata
 - Operationen

3.4.2 SAP/IS-H

Die linke Säule im Übersichtsdiagramm (Abbildung 5) wird vom Klinikinformationssystem am UKR gestellt. Um die Qualität der Ultraschallnachuntersuchungen bewerten zu können, müssen demnach auch die Ultraschallbefunde dieser Patienten ausgewertet werden. Diese befinden sich mit allen anderen relevanten Daten im Klinikinformationssystem (KIS). Das KIS am UKR ist ein SAP/IS-H. Dort wird die Patientenakte sowie alle Befunde elektronisch verwaltet und gespeichert. Im Sinne einer modernen IT-Architektur ist das SAP über eine PACS (Picture Archiving and Communication Systems) -Schnittstelle mit einem eigenständigen Radiologie-Informationssystemen (RIS) am UKR verbunden. Die getrennte Datenhaltung ermöglicht eine hohe Performanz und Erreichbarkeit bei minimaler Redundanz und geringen Ausfallzeiten.^{49–}

⁵¹ Die Pflege und Wartung dieser Systeme unterliegt der DV-Med, einer eigenen Abteilung, die für diesen Zweck ins Leben gerufen wurde. Mitarbeiter dieser Abteilung können über die SAP-Fallnummer ein Auszug aus der Datenbank extrahieren. Die Abfrage wurde mit den Programmiersprachen ABAP und SQL realisiert.^{52,53} Als Ausgabe- und Übergabeformat wurde eine CSV-Datei (comma separated value) gewählt.⁵⁴ Die Datenbank wurde über ein gesichertes Laufwerk im internen Kliniknetz übergeben und konnte somit ausgewertet werden. Dabei wurden alle radiologischen sowie sonographischen Befunde der Patienten, die das Einschlusskriterium erfüllen, in einem Zeitraum von 5 Tagen nach Aufnahme im Schockraum extrahiert. In einem nächsten Schritt wurden 1167 CT-Befunde sowie 1453 Sonographiebefunde ausgewertet. Diese konnten dann mit den Daten des Traumaregisters zur statistischen Auswertung kombiniert werden.

Ebenfalls aus dem Klinikinformationssystem wurden ergänzend Daten manuell, über das SAP/ISH Front-End ausgelesen. Darunter fallen OP-Berichte sowie die OP-Zeiten, die für den Vergleich mit den Ultraschall-Zeiten nötig sind.

3.5 Statistik

3.5.1 Akquisition der Daten

3.5.1.1 CT- und Ultraschall-Befunde

Durch die nötige Ergänzung der Traumaregister-Daten mit denen des Klinikinformationssystems SAP/IS-H wurden insgesamt 2620 Freitext-Befunde ausgewertet. Die Übergabe des Datenbankauszuges erfolgte im CSV-Format über einen gesicherten Server im Kliniknetz. Die Datei wurde mit Microsoft Excel® geöffnet und wie im folgenden Diagramm ausgewertet. Zu Hilfe genommen wurde die Programmiersprache Visual Basic for Applications, die mit ihrer Laufzeit- und Entwicklungsumgebung in Microsoft Excel® angebunden ist.⁵⁵ Durch einen eindeutigen Header, der bei Export aus der SAP-Datenbank erstellt wurde, konnte automatisiert erkannt werden, ob es sich um einen radiologischen oder sonographischen Befund handelt. Des Weiteren konnte mit dieser Methode auch erkannt werden, ob und wie viele Befunde welcher Art vorliegen. Dies ermöglicht die Bestimmung von CT- und Ultraschall-Quoten generell.

In einem nächsten Schritt wurde versucht, die Befunde so weit wie möglich automatisch auszuwerten. Dies gelang nur zum Teil durch ein String-Matching-Verfahren sowohl mit der Methode "Like()", die sich mit Wildcards parametrisieren lässt, als auch durch die Methode "InStr()", die einen exakten String in einer Zeichenfolge sucht.⁵⁶ Dadurch wurde es ermöglicht, bei Sonographiebefunden einen positiven Fund mit eindeutigen Formulierungen wie z.B. „perihepatisch 1cm großer Flüssigkeitssaum“ zu erkennen und als einen Ultraschallbefund mit freier Flüssigkeit zu interpretieren. Dies funktionierte jedoch nur bei den 43% (n=233) mit eindeutig positivem Befund. Bei allen anderen konnte keine Automatisierung erreicht werden und bei 57% (n=310) der Patienten wurde somit jeder Befund einzeln durchgearbeitet. Durch

die 1-zu-n-Beziehung wurden bis zu fünf Ultraschallnachuntersuchungen pro Patient durchgeführt. Bei den CT-Befunden war es genau andersherum: ein positiver Befund von freier Flüssigkeit konnte nicht zweifelsfrei zugeordnet werden, allerdings konnte die in den radiologischen Befunden häufig verwendete Formulierung „keine freie Flüssigkeit intraabdominell“ und ähnlich klingende Beschreibungen eindeutig als negativer Befund interpretiert werden. So konnten 48% (n=378) der Befunde automatisch als negativ erkannt werden und 52% (n=409) wurden manuell bewertet.

Im nachfolgenden Flussdiagramm ist der Bearbeitungsalgorithmus dargestellt.

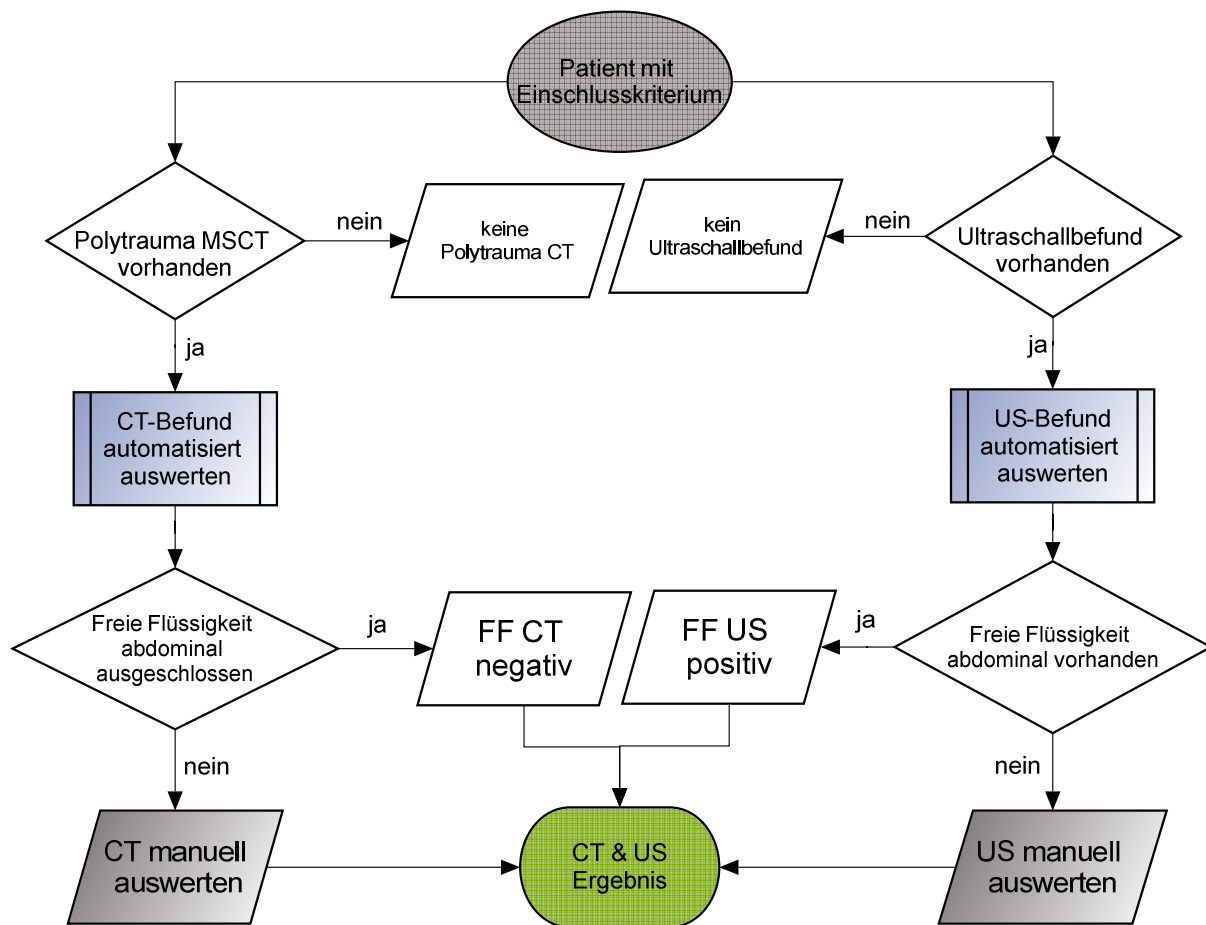


Abbildung 7: Workflow der Befundauswertung aus dem SAP

Da die Ultraschall- und CT-Befunde im vordefinierten CSV-Format vorhanden waren, konnte auch eine automatisierte Extraktion des Zeitpunktes der Untersuchungen erfolgen. Dabei wurde der Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes als Interventionszeitpunkt geschätzt, da der echte Zeitpunkt weder dokumentiert noch im Nachhinein nachvollziehbar ist. Der OP-Zeitpunkt wurde, wie oben beschrieben, direkt aus dem OP-Protokoll der einzelnen Fälle entnommen und mit den Ultraschall- und CT-Zeiten verglichen. Die Statistik im Ergebnisteil bezieht sich daher auf den geschätzten und nicht auf den tatsächlichen Zeitpunkt.

Als Bezugsbasis bei mehreren CT-Befunden wird stets die initiale Polytrauma-CT herangezogen, die im zeitlichen Bezug zum Unfall steht. Bei mehreren Ultraschallbefunden wird nach einem positiven Befund von freier Flüssigkeit (FF) gesucht, auch wenn andere negativ sind. Ein positiver Befund ist bis zum Beweis des Gegenteils als gültig zu betrachten, da er als Momentaufnahme einen potenziell bedrohlichen Zustand darstellt. Bei Patienten, die

operiert wurden, wurden nur diejenigen Ultraschallbefunde inkludiert, die vor der ersten Operation stattgefunden haben.

3.5.1.2 OP- und Trauma-Dokumentation

Die technische Umsetzung des TR-UKR erfolgt in zwei getrennten SPSS-Datenbanken. Die erste hält die Daten zum Unfall und zum Patienten, die zweite die Diagnosen und Prozeduren. Aus den in der zweiten Tabelle gespeicherten Daten können die gesicherten Diagnosen, Traumata und Operationen als normierte Diagnose/OP und im Freitext ausgelesen werden und mit den Ergebnissen der Ultraschall- und CT-Diagnostik verglichen werden. Dies erlaubt eine erste Bewertung der Richtigkeit der Kontrollabdomensonographie. Als zusätzliches Datum wurden die OP-Zeiten für jeden Fall, bei dem eine Operation und eine Ultraschalluntersuchung durchgeführt wurde, aus dem KIS (SAP) manuell ausgelesen und mit den Sonographiezeiten verglichen, da so die Zuordnung möglich ist, ob ein Ultraschall nach oder vor einer entsprechenden Operation stattgefunden hat.

3.5.2 Verletzungsschwere-Scores

Folgender Abschnitt beschreibt die Daten allgemein oder die Methode der Akquisition der Daten. In der Schockraumphase werden unterschiedliche Parameter erhoben, um daraus wiederum Scores zur Abschätzung der Verletzungsschwere und Überlebenswahrscheinlichkeit berechnen zu können. Die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) hat dazu eine standardisierte Dokumentation für Notaufnahmen etabliert.⁵⁷ Diese Parameter sind im TR-UKR dokumentiert. Ein exemplarischer Auszug daraus ist: GCS (Glasgow Coma Scale), RTS (Revised Trauma Score), NISS (New Injury Severity Score), TRIS (Kombination aus RTS und ISS), TASH (Trauma-associated Severe Hemorrhage Score), RISC (Revised Injury Severity Classification Score), SAPS (Simplified Acute Physiology Score) und SOFA (Sequential Organ Failure Assessment).⁵⁸ Die beiden in dieser Arbeit ausgewerteten Scores sind:

- AIS (Abbreviated Injury Scale), unterteilt in:
 - Kopf
 - Gesicht
 - Thorax
 - Abdomen
 - Extremitäten
 - Weichteile
- ISS (Injury Severity Score)

Der ISS bildet das Haupteinschlusskriterium zur Unterscheidung von Schwerverletzten und nicht-Schwerverletzten.⁵⁹ Der AIS-Abdomen beschreibt die Verletzungsschwere im Bauchraum und wird nach dem stationären Aufenthalt retrospektiv ermittelt. Dazu wird der Entlassbrief sondiert und auf das Vorliegen einer abdominell relevanten Diagnose hin untersucht. Der AIS-Abdomen ist einer der Hauptfaktoren zur Einstufung der Richtigkeit der Abdomen-Sonographie und wird zur deskriptiven Statistik verwendet. Daher werden im Folgenden nur diese zwei Score-Systeme genauer betrachtet.

3.5.2.1 Abbreviated Injury Scale (AIS)

Nachdem Anfang der 1940er Jahre die Automobil-Unfallforschung einen Aufschwung erlebte, formierte sich Mitte der 1960er nach mehreren Anläufen eine durch die Regierung finanzierte

Forschung, welche die Sicherheit in Automobilen erhöhen sollte. Die verschiedenen Verletzungen nach Unfällen wurden bis dahin völlig unterschiedlich beschrieben. Als ein Nebeneffekt der standardisierten und normierten Datenakquisition solcher Traumata bildete sich der erste AIS 1969.⁶⁰ Der gegenwärtig gültige AIS ist durch die Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) weiterentwickelt und 2008 das letzte Mal mit einem Update herausgegeben worden. Aktuell kann die AIS als eine universelle, internationale und interdisziplinäre Klassifikation der Verletzungsschwere angesehen werden.⁶¹

Der AIS wird in Form eines AIS-Codes kodiert, welcher unter anderem von der AAAM in Form von Codebüchern herausgegeben wird. Das Grundprinzip des AIS ist das Gruppieren von Verletzungen mit annähernd gleicher Letalität, da sich herausgestellt hat, dass die Überlebenswahrscheinlichkeit ein sehr guter Stellvertreter für die Schwere einer Verletzung ist. Damit lässt sich die Verletzungsschwere in aktuell 8 Stufen objektiv bewerten:

- 0: unverletzt
- 1: gering („minor“)
- 2: mittel/ernsthaft („moderate“)
- 3: schwer („serious“)
- 4: schwer lebensbedrohlich („severe“)
- 5: kritisch, Überleben fraglich („critical“)
- 6: nicht überlebbar („maximum“)
- 9: nicht genau angegeben („not further specified“)

Stufe 6 wurde später hinzugefügt und als ein nicht überlebbares Trauma definiert. Stufe 9 stellt einen Sonderfall für Verletzungen dar, die nicht mit ausreichender Sicherheit diagnostiziert wurden. Die Schwere wird im numerischen Code, dem sogenannten AIS-Code angegeben. Ein Patient mit einem AIS-Code von 1 wird ziemlich sicher nicht sterben, wobei ein Patient mit einem AIS-Code von 6 sicher nicht überlebt. Die einzelnen Klassen stellen jedoch keine explizite Wahrscheinlichkeit dar, sondern nur eine Ansammlung von Diagnosen, die für sich genommen das gleiche Risiko bilden. Sie werden aus Diagnoselisten zusammengestellt, in denen sich die einzelnen klinischen Diagnosen den AIS-Codes zuordnen lassen. Gruppieren man die AIS-Codes weiterhin in verschiedene Körperregionen (z.B. Kopf, Thorax, Abdomen, ...) und aggregiert die einzelnen Verletzungen der Regionen (z.B. Abdomen) zu einem Gesamtwert, erhält man den in dieser Arbeit verwendeten Score: den AIS-Abdomen. Die Aggregation erfolgt je nach verwendeter Code-Auflage durch unterschiedliche Algorithmen (Overall AIS, Maximaler AIS - MAIS). Die in der modernen Unfallchirurgie gebräuchliche und in dieser Arbeit zu Grunde liegende Algorithmus ist der des MAIS auf Basis des AIS98-Code.⁶⁰⁻⁶²

Die Zuordnung zu den Verletzungen geschieht hier tabellarisch bei insgesamt 250 möglichen Diagnosen. Der Code deckt jeweils die Kategorien Haut/Subkutan/Muskel, Nerven, innere Organe und Blutgefäße ab. Die Art der Verletzung kann eine der folgenden sein: Laceration, Perforation, Punktion, Kontusion, Hämatom, Einriss/Ruptur und nicht näher bezeichnet. Dabei gibt es 50 Möglichkeiten, einen AIS von 1 zu bekommen, 94 Möglichkeiten für AIS 2, 61 Möglichkeiten für AIS 3, 31 Möglichkeiten für AIS 4, 9 für AIS 5 und 2 für AIS 6. Einen AIS-Abdomen mit dem Wert 1 bekommt man z.B. für eine leichte, geringe oder oberflächliche Verletzung, einen AIS-Abdomen 2 z.B. für schwerwiegende Verletzungen oder Perforation <50% des Organumfangs, beim AIS-Abdomen 3 kann ein größerer Einriss eines Blutgefäßes vorliegen oder eine Perforation > 50% des Organumfangs. Beim AIS-Abdomen von 4 kann z.B. eine schwerwiegende, multiple Laceration vorhanden sein. Bei einem AIS-Abdomen von

5 kann z.B. ein kompletter Gefäßabriss mit großen Blutverlusten vorliegen und beim AIS-Abdomen von 6 liegt eine Zerteilung des Rumpfes oder ein kompletter Abriss der Leber vor.^{60,63}

3.5.2.2 Injury Severity Score (ISS)

Als Weiterentwicklung des AIS wurde der Injury Severity Score erstmals 1974 und 1976 als Update von Baker et al.⁶⁴ herausgegeben, um eine Abschätzung des Gesamtverletzungsgrades zu ermöglichen. Grundlage sind die jeweiligen Einzelverletzungen bzw. regionsweise zusammengefassten Verletzungen auf Grundlage des AIS (z.B. AIS-Abdomen). In der modernen Traumaversorgung wird der Score als De-facto-Definition eines Polytraumas verwendet. Die Werte liegen zwischen minimal 0 und maximal 75, wobei man ab 16 definitionsgemäß von einem Polytrauma (oder auch Schwerverletzten) spricht. Dies ist zusammen mit dem AIS-Abdomen ein Hauptrestriktionsmerkmal dieser Arbeit, da aus allen Schockraumpatienten nur Polytraumata ($ISS \geq 16$) aufgenommen wurden. Die einzelnen Regionen, welche der ISS berücksichtigt, sind:

- Kopf oder Hals
- Gesicht
- Thorax
- Abdomen/Becken
- Extremitäten
- Äußerliche Verletzungen

Daraus werden ähnlich dem MAIS die Maximalwerte der einzelnen Regionen zusammengefasst. Dies geschieht laut Baker über die Summe der Quadrate der drei höchsten AIS-98 Codes. Daraus lässt sich folgende Formel ableiten:

$$ISS = (AIS_a)^2 + (AIS_b)^2 + (AIS_c)^2$$

wobei a, b und c für die drei am schwersten verletzten Körperregionen stehen. Zwei Ausnahmefälle stellen die AIS-Werte 6 und 9 dar. Bei einem Wert von 6 ist der ISS automatisch bei 75. Enthält eine der Regionen den Wert 9, kann der ISS nicht berechnet werden.^{8,59,64}

3.5.3 Statistische Durchführung

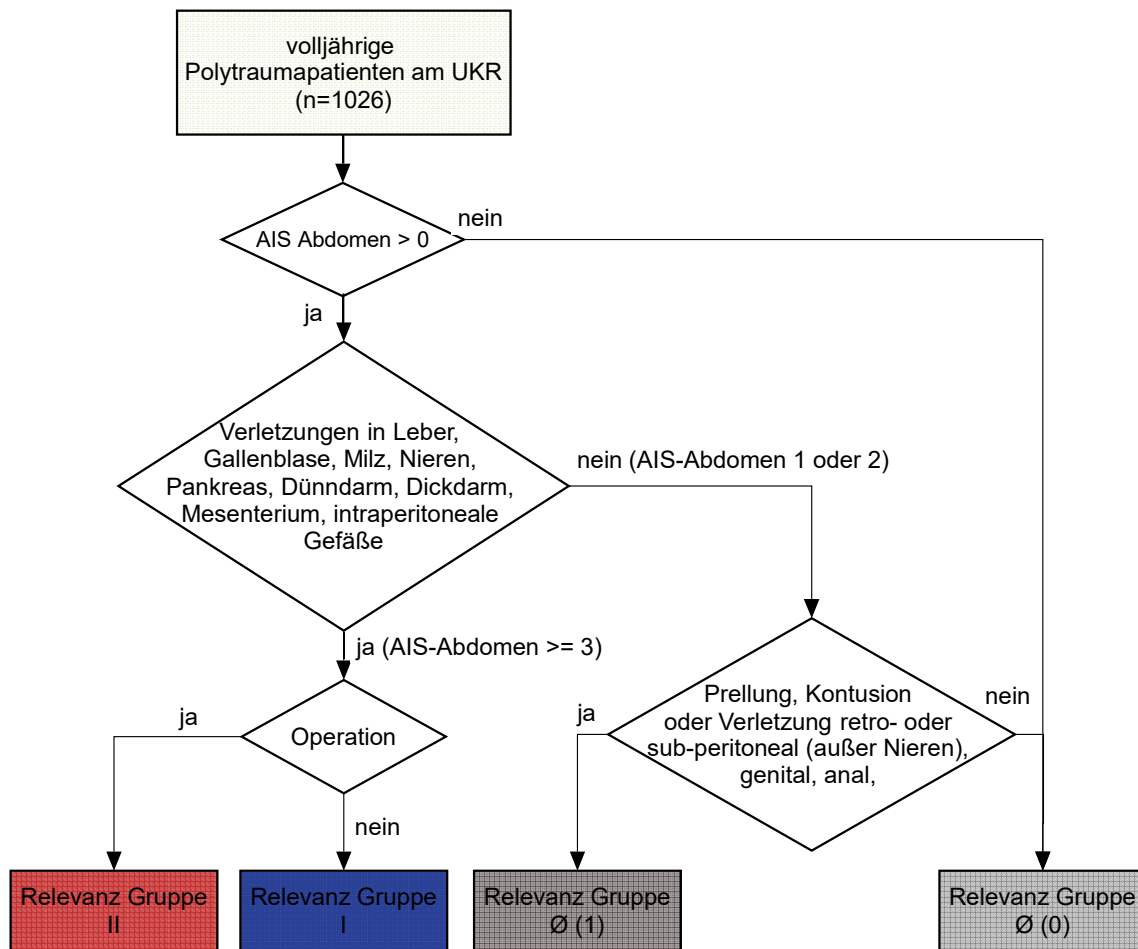
Nach dem Zusammentragen aller Daten aus zwei getrennten SPSS-Datenbanken (TR-UKR), mehrerer CSV-Dateien (Untersuchungsbefunde) und einzelnen Daten aus dem Frontend des Klinikinformationssystems in Microsoft Excel®, wurden diese dort algorithmisch und manuell ausgewertet und anschließend in eine neue SPSS-Datenbank überführt. Diese wurde dann mit den Daten des Traumaregisters ergänzt. Anschließend wurden damit die statistischen Auswertungen durchgeführt. Die hierfür verwendete Version war die IBM® SPSS® Statistics Version 25, die für den Campus der Universität Regensburg lizenziert ist.⁶⁵ Der verwendete Chi²-Test ist ein Hypothesentest mit quadratisch verteilter Testprüfgröße, welcher Unabhängigkeit und Verteilung testen kann. Ist der p-Wert bei einem vordefiniertem alpha-Fehler von 5 % kleiner als 0,05 gilt es die Alternativhypothese H1 anzunehmen. Das bedeutet, es besteht eine Abhängigkeit. Ist $p > 0,05$, ist die Nullhypothese beizubehalten: Es besteht kein Zusammenhang der Variablen. Für die Hypothesen H-I bis H-V wurden die folgend aufgelisteten statistischen Test bzw. Metriken angewendet:

- **H-I Das untersuchte Patientenkollektiv unterscheidet sich nicht von der Gesamtpopulation:**
Es erfolgte ein deskriptiver Vergleich von statistischen Lagemaßen (Mittelwert, Median, Standardabweichung, Perzentilen, prozentuale Anteile) aus den Datenbanken der Uniklinik Regensburg (KIS) zu den von der DGU® publizierten TraumaRegister-Daten.³⁰
- **H-II Es wird eine relevante Anzahl an Blutungen in der Kontrollabdomensonographie detektiert, die im Abdomen-CT unauffällig waren oder initial kein Abdomen-CT bekommen haben:**
Es erfolgte eine Einzelfallbetrachtung aller Patientenfälle bezüglich CT (ja/nein – negativ FF/positiv FF), KAS (ja/nein – negativ FF/positiv FF) sowie der OP-Dokumentation (negativ FF/positiv FF oder beschriebene Blutungen), um mögliche interventionspflichtige Fälle von Blutungen zu identifizieren, die nicht im initialen Abdomen-CT jedoch in der KAS detektiert wurden. Zudem wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson für die Gruppen KAS positiv FF/negativ FF und OP ja/nein berechnet.
- **H-III Freie Flüssigkeit ist in der Kontrollabdomensonographie mit hoher Sensitivität sichtbar:**
Es erfolgte eine Berechnung von Sensitivität, Spezifität, positiv prädiktiver Wert sowie negativ prädiktiver Wert auf Basis des Vergleiches von KAS (negativ FF/positiv FF) mit der Abdomen-CT (negativ FF/positiv FF). Dies wurde für die Grundgesamtheit sowie die Subgruppe der abdominell schwer verletzten Patienten (AIS-Abdomen ≥ 2) berechnet. Zudem wurde eine Einzelfallbetrachtung vorgenommen bei Patienten mit intraoperativ festgestellter FF oder Blutung, ob diese in der KAS zuvor korrekt identifiziert wurde.
- **H-IV Ein positiver Kontrollsonographie-Befund ist signifikant mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert:**
Es erfolgte ein Subgruppen-Vergleich der KAS (negativ FF/positiv FF) hinsichtlich demographischer Unterschiede (Alter, Geschlecht, ISS und Unfallmechanismus) mittels Chi²-Test. Im Anschluss wurden beide Gruppen hinsichtlich Morbidität und Mortalität (Liegedauer Intensivstation, Liegedauer stationärer Aufenthalt, Anzahl Blutprodukt-Gaben, Zeitpunkt des Todes) miteinander durch Mittelwert, p-Wert (Chi²) und Korrelationskoeffizient nach Pearson verglichen.
- **H-V Der Zeitpunkt der Kontroll-Sonographie 6-24h nach Trauma ist nicht nachteilig im Vergleich zum Zeitraum 0-6h nach Trauma:**
Es erfolgte ein Vergleich der Gruppen KAS 0-6h/6-24h hinsichtlich Morbidität und Mortalität (Liegedauer Intensivstation, Liegedauer stationärer Aufenthalt, Anzahl Blutprodukt-Gaben, Zeitpunkt des Todes) durch Mittelwert, p-Wert (Chi²) und Korrelationskoeffizient nach Pearson.

3.6 Algorithmus zur Bewertung der Kontrollabdomensonographie

Relevanzgruppierung der Fälle (betrifft Hypothese II)

Zur letztendlichen Bewertung der Qualität der bildgebenden Verfahren (siehe 4.2) wurden die dokumentierten Sonographieergebnisse auf Basis der CT-Untersuchung, der Traumabeschreibung, des AIS-Abdomen und der OP-Berichte bewertet. Dabei wurde jeweils die Relevanz der Fälle sowie die Klassifikation der Sonographiebefunde vorgenommen.



Gruppe Ø (0): keine mit dem Ultraschall erfassbare abdominelle Verletzung
 Ø (1): retro-/subperitoneale, genitale, anale Verletzung, Prellung, Kontusionen
 I: Lacerationen, subkapsuläre Blutungen, relevante Verletzungen ohne OP
 II: Operation

Abbildung 8: Entscheidungsalgorithmus für die Relevanz der einzelnen Fälle

Die Bestimmung der Relevanz zielt darauf ab, ob es überhaupt möglich gewesen wäre, in der Ultraschalluntersuchung relevante Verletzungen, Blutungen und freie Flüssigkeit festzustellen oder nicht. Die Relevanzgruppe (RG) wird bei der Bewertung der Korrektheit – wie nachfolgend beschrieben – herangezogen. Wie in Abbildung 8 gezeigt, werden Patienten ohne abdominelle Verletzung (AIS-Abdomen = 0) in die Gruppe „Ø (0)“ klassifiziert. Ebenfalls als Gruppe „Ø (0)“ klassifiziert wurden Patienten, die zwar irgendeine abdominelle Verletzung haben (AIS-Abdomen > 0), diese aber in der Regel nicht durch eine Standard-Abdomen-Ultraschalluntersuchung festgestellt werden kann. In Gruppe „Ø (1)“ finden sich per definitionem nur Patienten mit ausschließlich Prellungen, Kontusionen, Verletzungen im Retro- oder Sub-Peritonealraum, genitalen und analen Verletzungen sowie sonstige kleinere abdominelle Verletzungen. Gruppe „Ø (0)“ und „Ø (1)“ - zusammengefasst als „Ø“ = keine Relevanz (siehe auch 4.2.2) - wurden somit per Definition als nicht relevant eingestuft. Der Kernbereich der Sonographie an Leber, Gallenblase, Milz, Nieren, Pankreas, Dünndarm, Dickdarm, Mesenterium und allen intraperitonealen Gefäßen wurde als Kategorie I oder II eingestuft. Dabei sind in Gruppe I abdominell relevante Verletzungen, die über eine Prellung

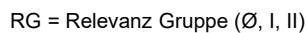
oder Kontusion hinausgehen, aber noch nicht interventionspflichtig wurden. Gruppe II beinhaltet somit die interventionspflichtigen abdominellen Verletzungen.

Im Ergebnisteil unter 4.2.1 und in den Statistiken - betreffend Hypothese II - beziehen sich die Ergebnisse auf diese Klassifikation. „Keine Relevanz“ oder auch „Ø Relevanz“ bedeutet somit, dass bei diesen Patienten die standardisierte Kontrollsonographie keinen oder nur einen geringen Einfluss hat und somit für weitere Betrachtungen ausgeschlossen wurde. Neben der Entscheidung, ob ein Patient überhaupt relevant ist, musste auch die Korrektheit der Kontrollabdomensonographien (KAS) überprüft werden. Bewertet wurde bei den CT- und KAS-Befunden jeweils das im Befund dokumentierte Auftreten freier Flüssigkeit intraabdominal nach den in Abbildung 8 gezeigten Kriterien. Hierfür wurde der nachfolgend abgebildete Algorithmus verwendet. Als Zeitraum für alle zu bewertenden KAS wurden maximal 48-Stunden gewählt (siehe auch 3 und 3.3). Nach diesem Zeitfenster muss davon ausgegangen werden, dass die durch das initiale Trauma entstandene Blutung, freie Flüssigkeit oder Transsudat (z.B. durch Kapselrisse oder Flüssigkeitssubstitution) durch resorptive Prozesse so weit verringert wurden, dass eine sichere Identifikation mit dem Ultraschall nicht mehr möglich ist¹¹ (siehe dazu auch 5.1). Zudem wurden bei allen operierten Patienten die OP-Zeitpunkte mit denen der KAS verglichen, um somit eine mögliche Kausalitätskette herstellen zu können. Ist eine KAS vor einer OP durchgeführt worden, ist diese potenziell als Entscheidungshilfe für den weiteren Verlauf anzusehen. Vor allem bei einem positiven Ergebnis könnte man eine OP-Indikation unterstellen. Wurde die KAS nach der ersten OP durchgeführt, verfällt ihre Gültigkeit für diese Betrachtung.

Bewertung der Korrektheit der KAS (betrifft Hypothese III)

Die Korrektheit der KAS wird mithilfe von Vergleichen anderer Befunde (CT-Befund, OP-Dokumentation, e-FAST im Schockraum, Relevanz-Gruppe, Diagnosen) bestimmt bzw. bei Unklarheit geschätzt.

Hierzu wird primär die Polytraumacomputertomographie, welche im allgemeinen Konsensus als Goldstandard gilt⁴, herangezogen. Ist diese positiv auf FF kann die Sonographie direkt verglichen werden. Ist die CT negativ auf FF wird noch die Trauma- und OP-Dokumentation sowie die Relevanz-Gruppe ergänzend geprüft und auf dieser Basis entschieden. Ist keine Computertomographie durchgeführt worden, wird direkt anhand der Trauma- und OP-Dokumentation entschieden. Im Sonderfall: CT FF negativ + KAS FF negativ oder keine CT durchgeführt + KAS FF negativ, aber Relevanz Gruppe 3, also interventionspflichtige Patienten, wurde stets eine Einzelfallentscheidung (Schätzung) mit Betrachtung des gesamten Verlaufes durchgeführt. Der beschriebene Sachverhalt ist im folgenden Diagramm dargestellt.



Bewertung der Korrektheit bei mehreren KAS (betrifft Hypothesen II und III)

30

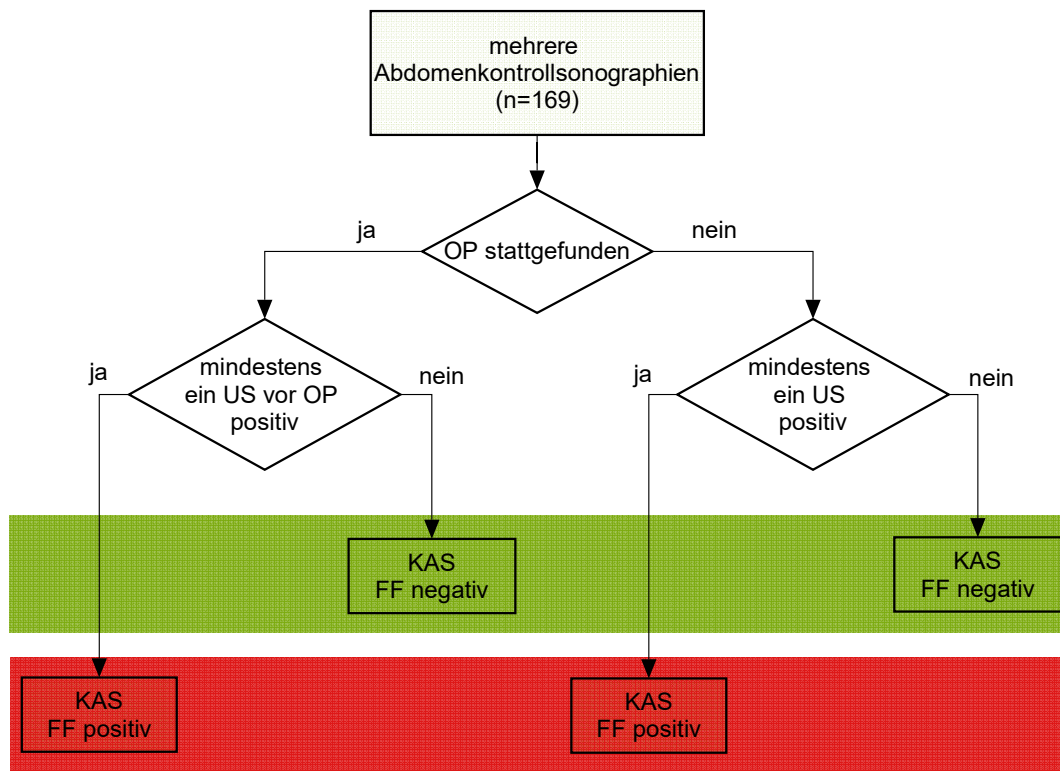


Abbildung 10: Entscheidungsalgorithmus bei mehreren Kontrollabdomensonographien

4. Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich – falls nicht anders angegeben – nur auf Patienten mit erfüllten Einschlusskriterien. Aus insgesamt 2188 Patienten mit 14691 Diagnosen erfüllen 1026 Patienten (46,9%) die Einschlusskriterien (siehe 3.3). Im folgenden Abschnitt wird die Studienpopulation auf ihre demographische und geschlechtsspezifische Verteilung hin betrachtet. Im Anschluss wird der Unfall genau analysiert: zeitliche Darstellung, Unfallmuster, Verletzungsmuster und Verletzungsschwere. Im Abschnitt 4.2 wird dann das Hauptthema dieser Arbeit beleuchtet: die Kontrollabdomensonographie, gefolgt von einer Analyse der FAST-Sonographie.

4.1 Analyse der Studienpopulation und des Unfalles (H-I)

Die Grundgesamtheit dieser Arbeit hat einen Mittelwert von 46,15 Jahren, einen Median von 44,5 Jahren, 75% sind männlich, der ISS ist im Mittel 23,9 und die Gesamtmortalität beträgt 17,8%. Die DGU gibt die Kohorte mit einem Mittelwert der letzten 10 Jahre von 50,9 Jahren, einem Anteil von 70% Männern, einem mittleren ISS von 18,7 und einer Gesamtmortalität von 11,4% an.³⁰ Damit sind die an der Uniklinik Regensburg behandelten Patienten im Mittel um etwa 5 Jahre jünger und der ISS sowie die Mortalität sind um ca. 5 bzw. 6% höher als in der Allgemeinbevölkerung. Als Ursache wird hier das sehr große Einzugsgebiet des Uniklinikums als Traumazentrum vermutet, dass sich mit ca. 2,2 Millionen Einwohner über die Regierungsbezirke Niederbayern und Oberpfalz erstreckt. Als Ausdruck dieses Umstandes ist auch der Case-Mix-Index in Regensburg zu betrachten, welcher mit 2,02 an der Spitze der deutschen Universitätsklinika liegt.¹⁶ Der bayerische Durchschnitt liegt hier nach dem Krankenhaus-Report von Klauber et al. 2019 lediglich bei 1,08.⁶⁶ Aus dem deskriptiven Vergleich der Daten der Studienpopulation dieser Arbeit und der veröffentlichten Daten der DGU lässt sich somit ableiten, dass die Lagemaße mit denen des Traumaregisters der DGU und damit mit denen der deutschen Bevölkerung in etwa übereinstimmen.

4.1.1 Demographie

Nachfolgende Grafik zeigt ein Histogramm des Alters der Patienten im Traumaregister mit passenden Einschlusskriterien in 5-Jahres Blöcken.

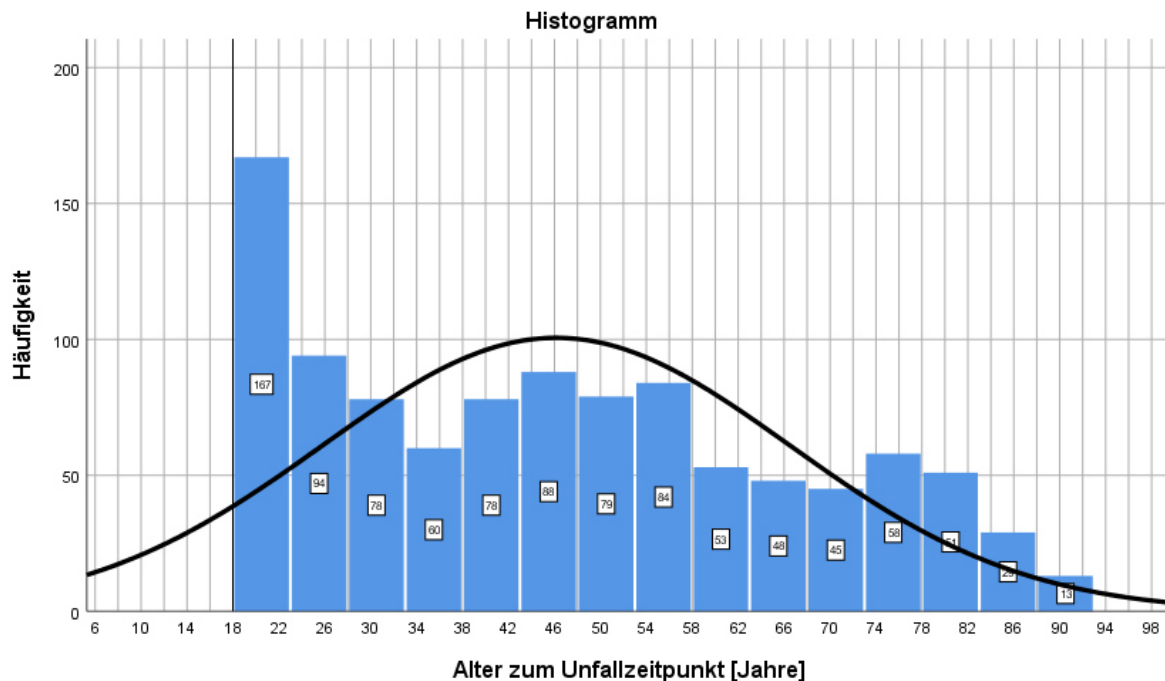


Abbildung 11: Histogramm der Verteilung des Alters des Gesamtpatientenkollektivs

Der Mittelwert der Verteilung ist 46,2 Jahre (Standardabweichung (SD) $\pm 20,4$ Jahre) und der Median liegt bei 44,5 Jahren. Zum Vergleich: ohne den Ausschluss Minderjähriger liegen der Mittelwert und der Median knapp 5 Jahre niedriger bei 42,0 und 40,0 Jahren. Dies liegt vor allem an der Stärke der Fraktion minderjähriger Schwerverletzter, die insgesamt 12,1% ($n=141$) der Gesamtheit einnehmen. Die jüngsten Patienten in der Studie haben somit das 17. Lebensjahr vollendet, der älteste Patient war 93 Jahre. Die maximale Einzelhäufigkeit liegt bei 18 Jahren mit 3,4% gefolgt von den 21- und 22-Jährigen mit 3,3%. Die Gruppe der 18- bis 22-Jährigen stellt insgesamt 16,3% und damit die mit Abstand stärkste Gruppe der polytraumatisierten Patienten dar, gefolgt von den 23- bis 27-Jährigen mit 9,2%. Der zweite Peak nach den 18- bis 22-Jährigen liegt zwischen 38 – 58 Jahren und umfasst insgesamt 32,1% aller Patienten. Die sieben prozentual stärksten Altersgruppen sind die 18-, 19-, 20-, 21-, 22-, 24- und die 53-Jährigen. Die 25%-, 50%- und 75%-Perzentile sind bei 27-, 45- und 62-Jahren.

4.1.2 Geschlechtsspezifische Verteilung

Unter allen eingeschlossenen Patienten befinden sich 75,2% ($n=772$) männliche und 24,8% ($n=254$) weibliche Patienten. Die Schwere des Traumas – gemessen durch den ISS – ist dabei nicht vom Geschlecht abhängig (Korrelationskoeffizient = 0,017, $p=0,590$). Jedoch ist der Anteil der Männer unter den Schwerverletzten deutlich größer (75,2%) als der der Frauen (24,8%). Verstorben innerhalb von 30 Tagen sind 17,4% ($n=179$), direkt im OP oder Schockraum verstorben sind 3,3% ($n=34$).

4.1.3 Verteilung des Unfallmusters

Durch die oben erwähnte Ungleichheit zwischen Männern und Frauen lohnt sich eine differenzierte Betrachtung des Unfalls beider Geschlechter. Von allen Patienten mit

Einschlusskriterium, bei denen der Unfallmechanismus dokumentiert wurde (n=1026), wurde zu 96% (n=985) ein stumpfes Trauma festgestellt. In 3% der Fälle ein penetrierendes Trauma. Die häufigste Ursache bei allen Patienten, bei denen dies dokumentiert wurde (n=1020), ist zu 94% (n= 963) ein Unfall. Dieser ist wiederum zu 66% ein Verkehrsunfall (n=632). Die Aufschlüsselung des Unfallhergangs wird in Tabelle 2 detailliert dargestellt. Dem Unfall folgt mit 4,0% (n=40) der Verdacht auf Suizid und mit 1,6% (n=16) der Verdacht auf Gewaltverbrechen. Geht man hier auf die Geschlechter differenzierter ein, zeigt sich innerhalb der Verteilung Unfall/Gewaltverbrechen/Suizid eines Geschlechts nur ein geringer Unterschied ($\pm 2,4\%$) zum anderen. Betrachtet man jedoch die Verteilung der Geschlechter isoliert in einer Unfallursache, findet man bei der Hauptursache – Unfall – zu 71,2% (n=730) der Grundgesamtheit Männer und zu 22,7% (n=233) Frauen. Aus der Unterkategorisierung des Unfalls in „PKW“, „Motorrad“, usw., die in nachfolgenden Tabellen abgebildet ist, ist zu sehen, dass der größte Anteil von Unfällen auf von Männern erlittene Verkehrsunfälle zurückzuführen ist:

Geschlecht-Unfallursache Kreuztabelle

			Unfall	Verdacht auf Gewaltverbrechen	Verdacht auf Suizid	
Geschlecht	Männl.	Anzahl	730	13	26	769
		% innerhalb von Geschlecht	94,9%	1,7%	3,4%	100,0%
	Weibl.	Anzahl	233	3	15	251
		% innerhalb von Geschlecht	92,8%	1,2%	6,0%	100,0%
Gesamt	Anzahl		963	16	41	1020
	% innerhalb von Geschlecht		94,4%	1,6%	4,0%	100,0%

Tabelle 1: Verteilung der Unfallursache bezogen auf das Geschlecht

Auch hinsichtlich des Unfallmechanismus zeigt sich ein überwiegender Anteil der Männer. Bei den stumpfen Traumata sind es 72,1% Männer und 25,0% Frauen und beim penetrierenden Trauma 2,4% Männer 0,5% Frauen bezogen auf die Grundgesamtheit. Der Unfallhergang kann, wie aus nachfolgender Tabelle ersichtlich, in folgende Kategorien und Unterkategorien eingeteilt werden:

		Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültig	Verkehr - PKW-LKW-Insasse	341	33,2	33,4
	Verkehr - Motorradfahrer	169	16,5	49,9
	Verkehr - Fahrradfahrer	75	7,3	57,2
	Verkehr - Fußgänger angefahren	51	5,0	62,2
	Sturz - über 3m Höhe	138	13,5	75,7
	Sturz - unter 3m Höhe	135	13,2	88,9
	Verkehr - andere (Zug, Schiff, ...)	10	1,0	89,9
	Sonstige - Schlag (Gegenstand, Ast...)	18	1,8	91,7

	Sonstige - Schuss	6	0,6	92,3
	Sonstige - Stich	7	0,7	93,0
	Sonstige - Andere	72	7,0	100,0
	Gesamt	1022	99,6	
Fehlend	keine Angabe	4	0,4	
Gesamt		1026	100,0	

Tabelle 2: Verteilung des Unfallhergangs

In den Hauptkategorien stellt der Verkehr den häufigsten Hergang mit 63,0% (n=646) dar, gefolgt von Sturz mit 26,6% (n=273) und Sonstiges mit 10,0% (n=103). In den Subkategorien stellt der Verkehrsunfall mit einem PKW oder LKW den mit Abstand häufigsten Hergang mit 33,2% (n=341) dar, gefolgt von Motorradunfall mit 16,5% (n=169), Sturz über 3 Meter Höhe mit 13,5% (n=138) und Sturz unter 3 Meter Höhe mit 13,2% (n=135).

4.1.4 Verteilung des Verletzungsmusters

Bei allen Schwerverletzten (auch jene ohne Einschlusskriterien) war die Diagnose Kopfverletzung am häufigsten mit 12,6% (n=881), gefolgt von Thoraxverletzungen mit 11,8% (n=828), Extremitätenverletzungen mit 11,1% (n=777), Weichteilverletzungen mit 9,1% (n=638), Verletzungen des Abdomens mit 7,2% (n=504) und zuletzt Gesichtsverletzungen mit 5,1% (n=356). Dieser Zusammenhang wird im folgenden Histogramm grafisch dargestellt.

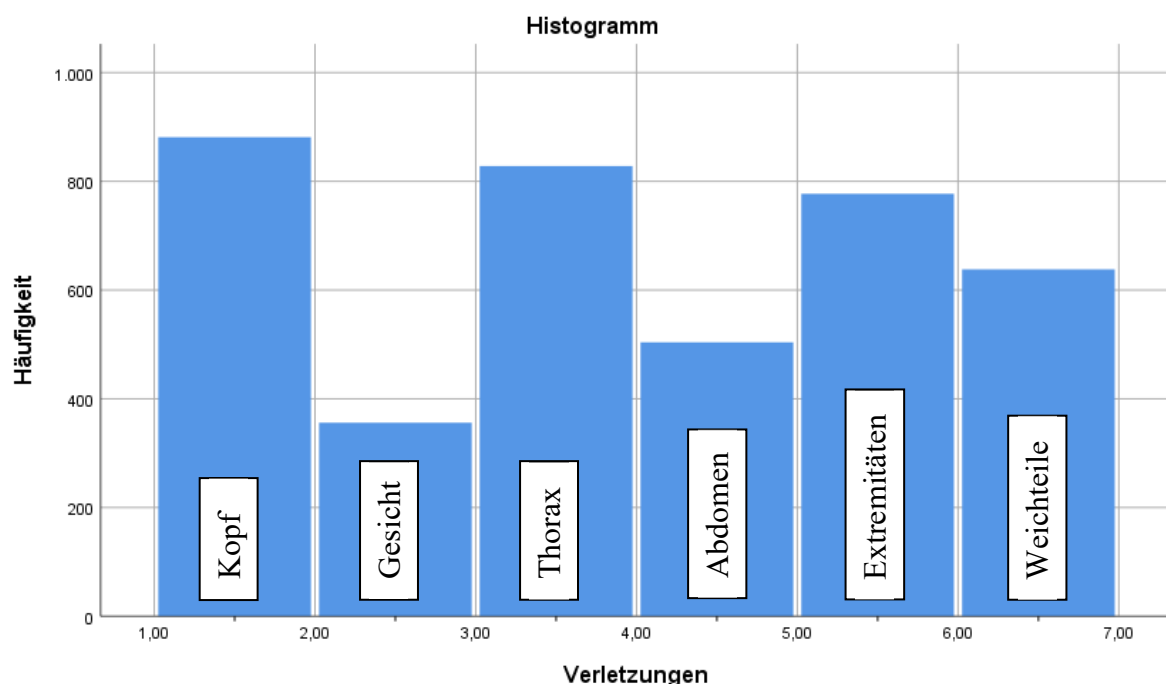


Abbildung 12: Histogramm des AIS-Verletzungsmusters

Die für diese Arbeit relevante Verletzung ist die Abdominalverletzung, da evaluiert werden soll, ob die Kontrollabdomensonographie ein wichtiges Element bei der Verlaufskontrolle von Schwerverletzten ist. Die Bildung und Bedeutung des AIS wird in 3.5.2.1 Abbreviated Injury Scale (AIS) behandelt.

Bei der Betrachtung der Verteilung der abdominalen Verletzungsschwere mit Einschlusskriterium findet man bei über der Hälfte der Schwerverletzten (56,3%, n=578) keine abdominale Verletzung (AIS=0). Patienten mit abdominalen Verletzung haben überwiegend einen AIS-Abdomen von 2 mit 21,8% (n=224), gefolgt von AIS 3 mit 11,3% (n=116), AIS 4 mit 6,5% (n=67), AIS 5 mit 3,5% (n=36) und zuletzt einen AIS 1 mit 0,5% (n=5). Nachfolgendes Histogramm zeigt dies übersichtlich.

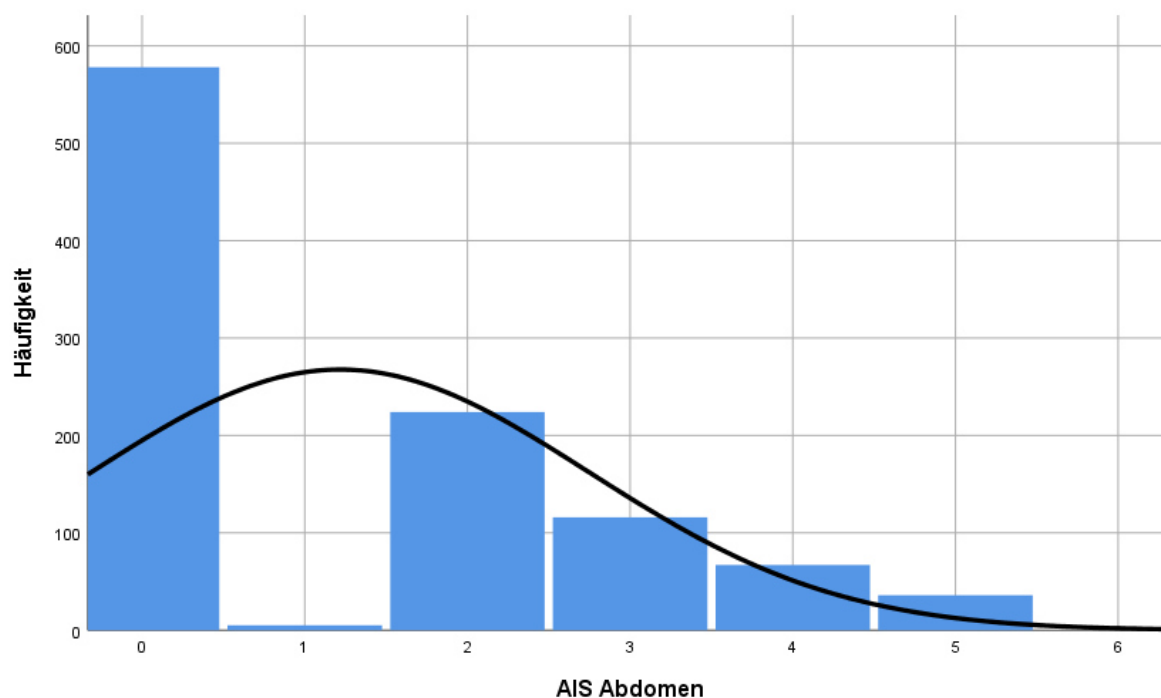


Abbildung 13: Histogramm des AIS-Abdomen-Verletzungsmusters

4.1.5 Verteilung der Verletzungsschwere

Zum Vergleich der Verletzungsschwere der Studienpopulation mit der Gesamtpopulation und zu deren Beurteilung wurden die Scores ISS, NISS, RISC2 und AIS herangezogen. In nachfolgender Tabelle sind diese zur Übersicht mit ihren statistischen Lagemaßen dargestellt.

Deskriptive Statistik					
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
ISS	1026	16	75	32,0	14,8
RISC2 (neuer RISC)	820	0,2	99,9	22,2	31,9
NISS	1026	16	75	38,8	16,3

Tabelle 3: Statistische Lagemaße der Intensiv-Scores

Zur Klärung der Generalisierbarkeit der Datenbasis wurden alle Patienten im Traumaregister in Schwerverletzte (ISS ≥ 16) und nicht Schwerverletzte (ISS < 16) unterteilt. Die nachfolgende Grafik zeigt ein Histogramm der Verteilung des ISS über alle Patienten – auch jene ohne Einschlusskriterium.

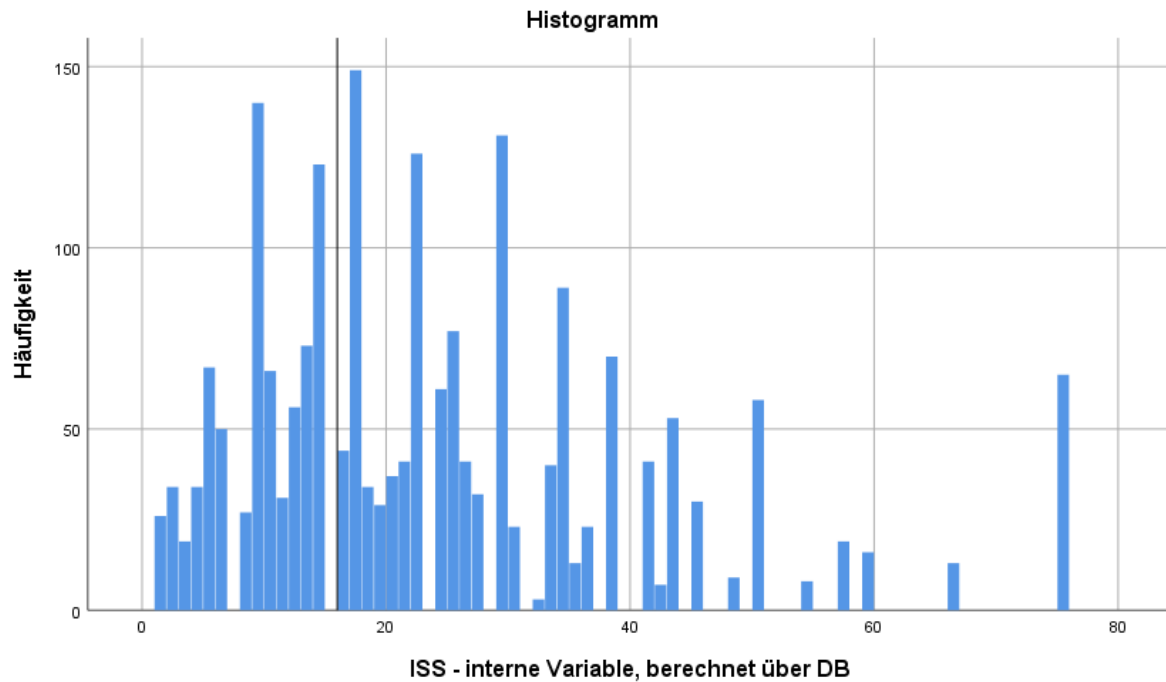


Abbildung 14: Histogramm der Verteilung aller Patienten im Traumaregister (auch ohne Einschlusskriterium)

Es zeigt sich ein Maximum bei einem ISS von 17 mit 7,0% (n=149). Die schwarze senkrechte Linie in der Abbildung markiert einen ISS von 16 (Grenze zum Polytrauma, siehe auch 3.5.2.2). Der Mittelwert liegt bei 23,9 (SD $\pm$ 16,2) und der Median bei 21,0. Das Minimum ist 1 und das Maximum bei 75. Insgesamt sind 64,9 % schwerverletzt respektive 35,1% haben einen ISS<16.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die deskriptive Statistik des untersuchten Patientenkollektives annähernd mit den veröffentlichten Daten des TraumaRegisters der DGU® übereinstimmt. Hypothese I: „Das untersuchte Patientenkollektiv unterscheidet sich nicht von der Gesamtpopulation“ lässt sich damit bestätigen. Die stärkste Fraktion Verunglückter Patienten stellen junge Männer zwischen 18 und 22-jahren dar, die nach einem PKW-Unfall ein stumpfes Trauma mit folgenden Kopf-, Thorax- oder Extremitätenverletzung erlitten haben.

4.2 Analyse der bildgebenden Verfahren

Der Fokus dieser Arbeit ist jener über die Analyse der bildgebenden Verfahren. Sie soll letztlich die Güte der KAS feststellen. Zur Bewertung werden in diesem Kapitel die Hypothesen II – V geprüft. Zunächst wird für einen besseren Gesamtüberblick auf die statistische Verteilung der bildgebenden Verfahren KAS und CT eingegangen.

4.2.1 Statistik der bildgebenden Verfahren

Deskriptive Statistik der KAS

Von insgesamt 1026 Patienten haben 543 Menschen (52,9%) 803 dokumentierte Kontrollultraschalluntersuchungen bekommen. Das ist ein Durchschnitt von 1,5 pro Patient in der Gruppe, welche mindestens eine Sonographie bekommen hat, und ein Durchschnitt von 0,78 pro Patient auf die Grundgesamtheit. Der Median liegt bei einer Ultraschalluntersuchung, das Maximum ist bei 5. Die größte Gruppe mit insgesamt 483 Patienten (47,1%) ist bei 0 (keine Ultraschalluntersuchung), gefolgt von 374 Patienten mit 1 (36,5%). Der Rest macht 16,5% (169) aus, welcher mehr als eine Sonographie erhalten hat. Die 90%-Perzentile ist bei 2 und die 98%-Perzentile bei 3. Etwa 8% Prozent aller Patienten haben mehr als eine US-Untersuchung und etwa 2% mehr als zwei US-Untersuchungen erhalten.

Von allen 443 Patienten mit $\text{AIS} \geq 2$ wurden bei 297 (67,0%) Patienten 487 Ultraschalluntersuchungen durchgeführt. Das ist ein Durchschnitt analog zum vorherigen Absatz von 1,6 pro Patient. Damit liegt er bei den abdominell Schwerverletzten etwas höher als bei der Grundgesamtheit. Der Median und das Maximum liegen auch hier bei 1 bzw. 5. Die Verteilung der Anzahl der Sonographien kann aus Tabelle 4 entnommen werden.

		Häufigkeit	Positiv FF	Negativ FF	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültig	0	483	-	-	47,1	47,1
	1	374	110	264	36,5	83,5
	2	103	48x1, 13x2	42	10,0	93,6
	3	46	15x1, 11x2, 3x3	17	4,5	98,1
	4	15	7x1, 5x2, 2x3, 0x4	1	1,5	99,5
	5	5	1x1, 1x2, 3x3, 0x4, 0x5	0	0,5	100,0
	Gesamt	1026			100,0	

Tabelle 4: Verteilung der Anzahl der Sonographien aller schwerverletzten Patienten

Insgesamt sind es 169 Patienten, die mehr als eine Sonographie erhalten haben, 60 davon haben ein negatives Ergebnis in allen Befunden. Von den 109 mehrfach sonographierten Patienten mit mindestens einem positiven Befund ist bei 25 die erste Sonographie nach der ersten OP durchgeführt worden und damit ungültig. Von den restlichen 84 stimmen bei 13 Patienten alle Befunde in ihrem Ergebnis überein. 71 Patienten haben somit unterschiedliche Ergebnisse in ihren Befunden, davon haben 41 abdominal relevante Verletzungen. 34 Patienten davon wurden konservativ versorgt, sieben Patienten wurden operiert.

Aufteilung der KAS in Bezug auf AIS-Abdomen und OP

Teilt man die Patientengruppen in zwei Kohorten auf – abdominell leicht oder nicht Verletzte (1: AIS-Abdomen 0 oder 1) und abdominell Schwerverletzte (2: AIS-Abdomen ≥ 2) –, zeigt

sich ein homogenes Bild. Die Gruppenstärke unterscheidet sich nur um knapp 15% (443/583) und auch die Anzahl der Sonographien in beiden Gruppen ist relativ gleich verteilt (297/246). Das bedeutet, dass bei Patienten ohne schwere abdominale Verletzung etwa genauso viele KAS gemacht werden wie bei schwer Verletzten. In Gruppe 1 wurden alle KAS als Verlaufskontrollen durchgeführt. In Gruppe 2 sind vor allem die nicht im oder unmittelbar nach dem Schockraum durchgeführten Operationen interessant, bei denen die KAS entscheidend hätte sein können. In allen Fällen wurde die KAS zwischen 1 und 24 Stunden durchgeführt. Daraus wurden 12 Untersuchungen identifiziert, die vor der Operation stattgefunden haben. In zwei Fällen war die Ultraschallkontrolle negativ, in 10 Fällen positiv. Bei sechs Patienten davon wurde die FF auch im Abdomen-CT gesehen und somit dem Ultraschallbefund zugestimmt. Bei einem Patienten lag eine subperitoneale Verletzung vor, welche per Definition ausgeschlossen wurde. Die übrigen drei Fälle sind jene, bei denen die Ultraschalluntersuchung potenziell zur OP-Indikation beigetragen hat. Hier war die Abdomen-CT entweder negativ (1 Fall, KAS nach 3h) oder ist nicht am UKR durchgeführt worden (2 Fälle, KAS nach 4 – 24h). Diese drei Fälle werden im Abschnitt 4.2.2 sowie in der Diskussion im Detail besprochen. Die Aufschlüsselung der beschriebenen Population ist nachfolgender Abbildung 15 zu entnehmen.

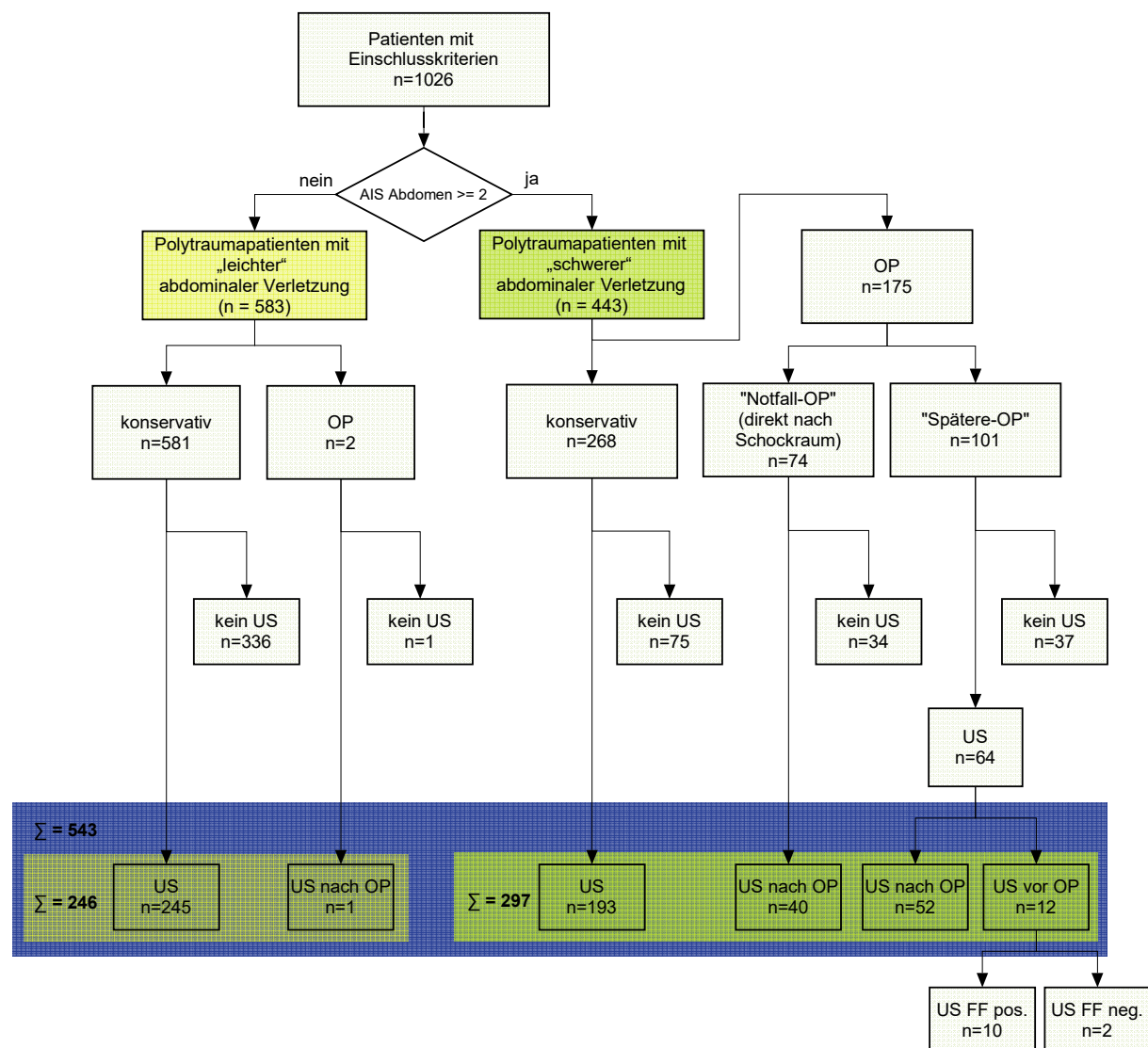


Abbildung 15: Aufschlüsselung der Kontrollabdomensonographien bezüglich AIS und OP

Zeitliche Verteilung der KAS

Die durchschnittliche Zeit bis zum ersten Kontrollultraschall beträgt 10,0 Stunden ($SD \pm 9,4$), der Median liegt bei 6,8 Stunden. Die maximale Zeit bis zum ersten dokumentierten Kontrollultraschall innerhalb der Einschlusskriterien ist 46,6 Stunden, das Minimum bei 0,65 Stunden. Die durchschnittliche Zeit in Minuten von der Aufnahme bis zum Schockraum-CT beträgt 24,3 Minuten ($SD \pm 10,8$), der Median 22, das Minimum ist 7 und das Maximum ist 180 Minuten. Wie in Material und Methodik erwähnt (siehe 3.5.1.2), beziehen sich diese Statistiken auf die geschätzten Zeitpunkte von Sonographie und Computertomographie, da nur der Zeitpunkt der Erstellung des Befundes bekannt ist, nicht aber der Zeitpunkt der tatsächlichen Durchführung. Abbildung 16 zeigt ein Histogramm der zeitlichen Anordnung der Ultraschalluntersuchungen.

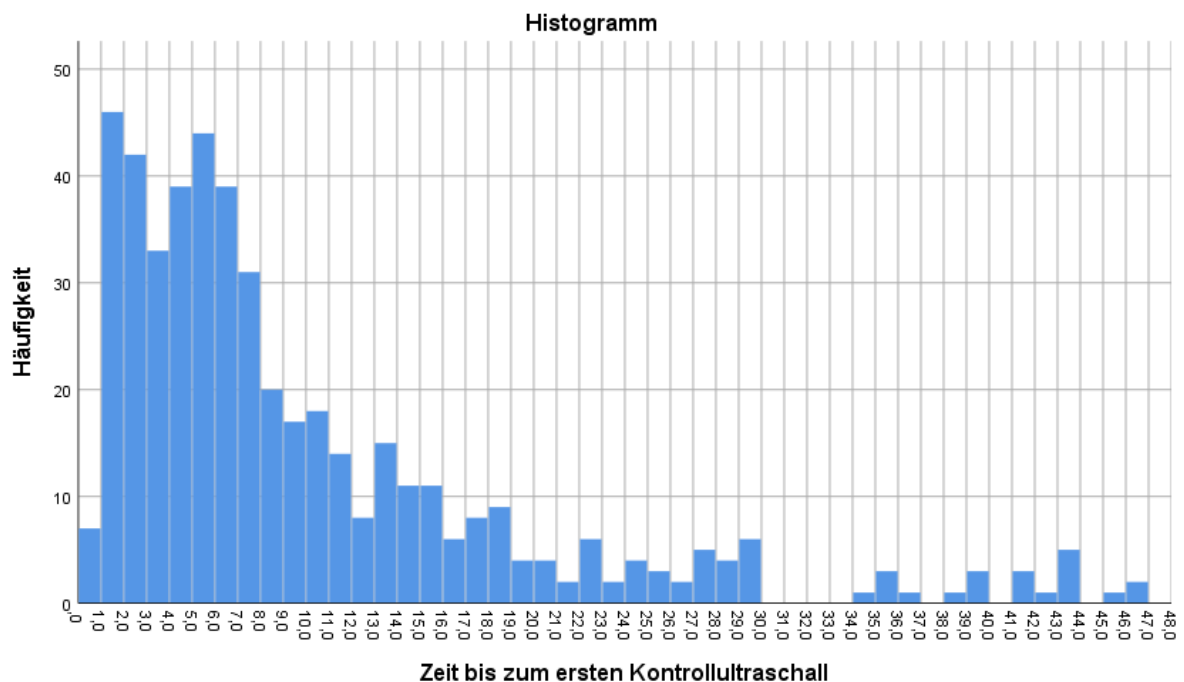


Abbildung 16: Histogramm der zeitlichen Verteilung der Kontrollabdomensonographien

Wie im Bild zu erkennen ist, werden 75% der Nachuntersuchungen zwischen einer und dreizehn Stunden durchgeführt. Die lokalen Maxima liegen bei Stunde 2 und 6. Innerhalb von sechs Stunden sind 43,9% der Sonographien durchgeführt worden. Die Perzentilen sind in Tabelle 5 vollständig zusammengefasst.

Zeit bis zum ersten Kontrollultraschall

Perzentile	10	1,9
	20	3,0
	25	3,6
	30	4,4
	40	5,5
	50	6,8
	60	8,3
	70	11,0
	75	13,2
	80	15,1
	90	22,7

Tabelle 5: Tabellarische Darstellung der Perzentilen und deren Zeit in Stunden bis zum ersten Kontrollultraschall

KAS im Bezug zu CT und Therapie

Die Frage nach den Häufigkeiten von Ultraschall und CT muss differenziert betrachtet werden. Nicht bei allen schwerverletzten Patienten wurde eine Abdomen-Computertomographie und eine Kontrollabdomensonographie durchgeführt. Die Indikation für diese Untersuchungen stellt der behandelnde Arzt in der Notaufnahme nach individuellem Ermessen. Daher stellt sich die Lage insgesamt sehr heterogen dar. Es sind alle Kombinationen des Einsatzes von FAST, Abdomen-MSCT und KAS vorhanden. Zudem ist zu erwähnen, dass nur dokumentierte Untersuchungen in die Statistik mit eingehen können.

Die nachfolgende Grafik zeigt eine Übersicht der Patientengruppen und ihrer Untersuchungen sowie Interventionen. Die 1026 Patienten mit Einschlusskriterium wurden zunächst anhand der CT-Dokumentation in zwei Gruppen aufgeteilt (CT ja/nein). Das Gleiche wurde im Anschluss mit der Sonographie gemacht (US ja/nein), sodass insgesamt vier Subgruppen entstehen. Die Subgruppen wurden jeweils auf ihre vier Verläufe hin exploriert: keine Relevanz, konservative Behandlung und OP, wobei die Mortalität bei Letzteren beiden angegeben ist. Die vierte Kategorie stellt einen Sonderfall dar, in der der Patient direkt im Schockraum oder in einer konsekutiven Operation verstorben ist.

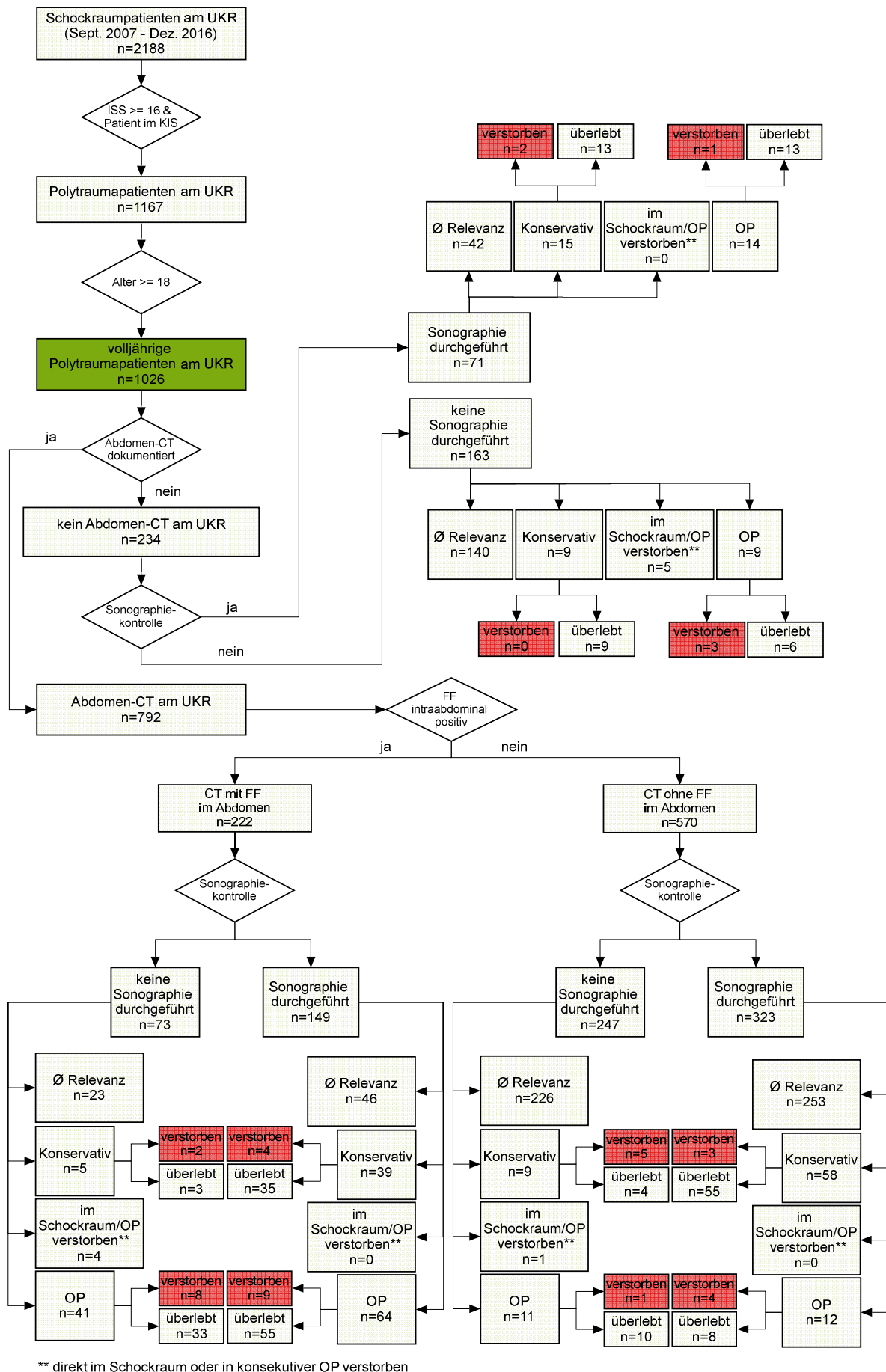


Abbildung 17: Aufschlüsselung der Sonographien in Bezug auf CT-Befund und Mortalität

Von den 1026 Patienten bekamen 71,1% (n=792) im Rahmen ihrer Polytrauma-CT eine CT-Abdomenaufnahme. Von dieser Gruppe haben insgesamt 59,6% (n=472) eine Kontrollsonographie bekommen. Von den 234 Patienten, die keine Abdomen-CT bekommen haben, wurde bei 30,3% (n=71) eine Kontrollsonographie durchgeführt. Insgesamt wurden bei 543 Patienten 803 Kontrollsonographien durchgeführt, davon 45,3% (n=246) bei abdominell leicht verletzten Patienten (AIS-Abdomen von 0 oder 1) und 54,7% (n=297) bei abdominell schwer verletzten Patienten (AIS-Abdomen ≥ 2).

4.2.2 Indikationsstellung zur Operation (H-II)

Zunächst sollte klargestellt werden, dass nicht eine einzelne Ultraschalluntersuchung die Indikation zur Operation stellt, sondern dies eine Zusammenschau aller Befunde und Einschätzungen der behandelnden Ärzte ist.⁶⁷ In keinem Ultraschallbefund steht ein Behandlungsvorschlag oder eine Empfehlung zur OP. Wenn in einem Befund Empfehlungen stehen, dann für eine wiederholte Ultraschallkontrolle oder ein erneutes Computertomogramm. Was aber bestimmt werden kann, ist der Zusammenhang von positiv freier Flüssigkeit und einer stattgehabten OP.

Hiermit wird Hypothese II durch eine Einzelfallanalyse geprüft, indem jeder potenziell relevante Fall exploriert wird und auf die Möglichkeit hin untersucht wird, dass der KAS-Befund eine OP-Indikation darstellt.

Fallbasierte Analyse

Betrachtet werden Patienten mit negativem Abdomen-CT-Befund und ohne Abdomen-CT-Befund gemäß der in der Fragestellung definierten Hypothesen (H-II). Da die CT beim Polytrauma den Goldstandard der bildgebenden Diagnostik darstellt, kann bei einem positiven CT-Befund eine daraus resultierte OP-Indikation unterstellt werden. Daher werden diese Fälle für die o.g. Fragestellung ausgeschlossen. Relevant sind jene Fälle, bei denen ein negativer CT-Befund vorliegt oder keine Polytrauma-CT am UKR gemacht wurde und trotzdem eine OP stattgefunden hat. Die folgenden Grafiken stellen die Therapieformen bzw. Therapierelevanz der einzelnen Fälle dar. Abbildung 18 behandelt die Fälle mit negativem CT, Abbildung 19 jene ohne Abdomen-CT.

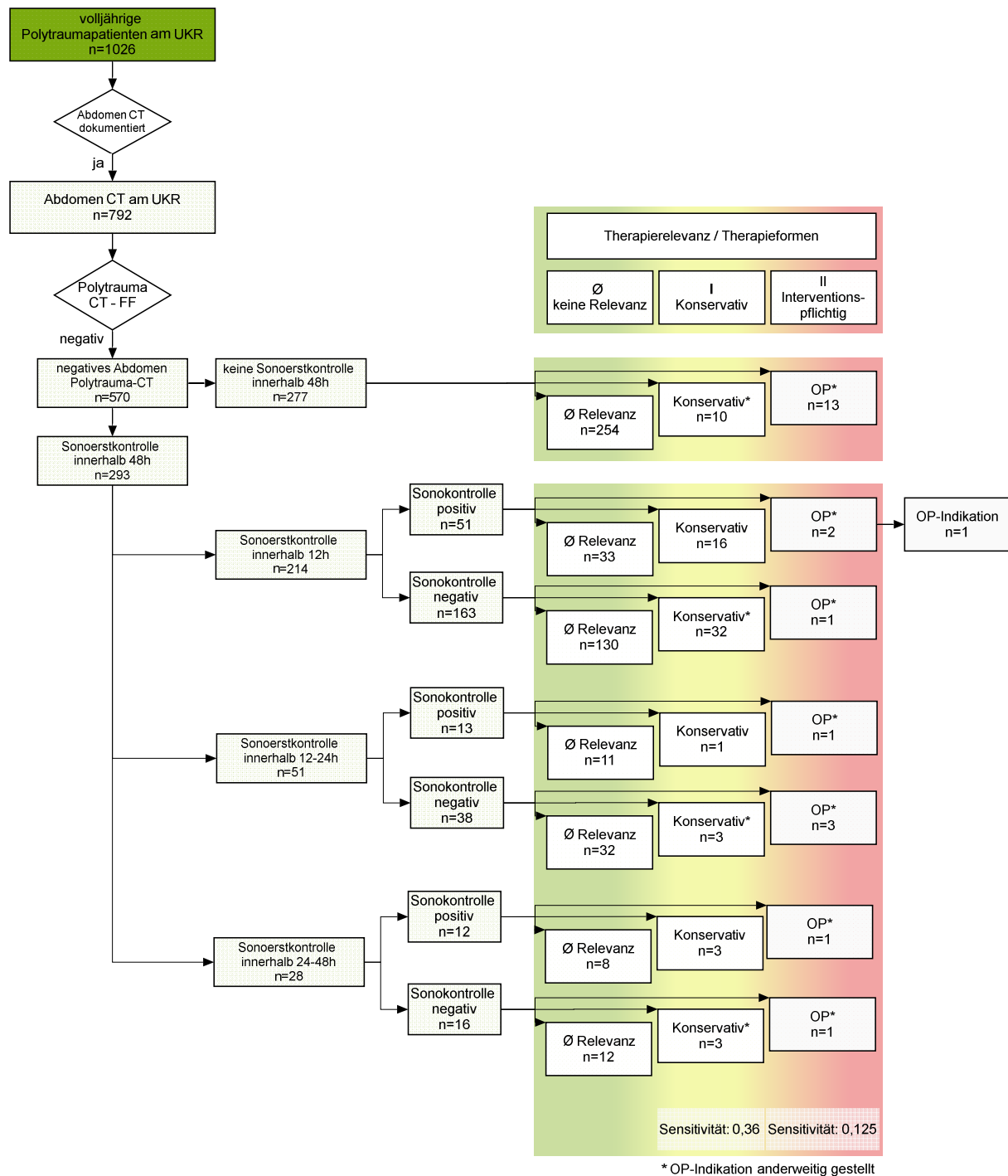


Abbildung 18: Therapieformen/Therapierelevanz der einzelnen Fälle mit negativ freier Flüssigkeit im Abdomen-CT Befund, bezogen auf das Sonographieergebnis

Die Patienten mit initial negativem CT-Befund wurden aufgeteilt in vier Gruppen. Die erste Gruppe beinhaltet alle, die innerhalb von 48 Stunden keine KAS erhalten haben und somit als OP-Indikation ausgeschlossen wurden. Bei allen Fällen, in denen die KAS negativ war, kann auch keine OP-Indikation unterstellt werden, weshalb diese Fälle nicht einzeln exploriert werden. Die folgenden Gruppen haben eine KAS in den Zeiträumen [0-12[, [12-24[und [24-48] Stunden erhalten. Für jede Gruppe ist das Sonographieergebnis angegeben und als eigene Subgruppe dargestellt. Diese wiederum sind aufgeteilt in Fälle ohne Relevanz, konservative Therapie und interventionspflichtige Fälle. Ohne Relevanz sind Fälle, bei denen eine Standard-

KAS im Normalfall nicht zu einer OP-Indikation führt, wie z.B. skrotale Verletzungen. In der konservativen Gruppe sind jene, die zwar eine relevante und durch die KAS detektierbare Verletzung intraabdominal haben, bei denen aber keine Operation durchgeführt wurde. Schließlich sind nach Ausschluss aller anderen Gruppen die Interventionspflichtigen dargestellt. Hier erfolgte bei den KAS-positiven eine Einzelfallbetrachtung, ob die KAS zu einer OP-Indikation geführt haben könnte. Die Aufteilung in die verschiedenen Kategorien wird in 3.6 behandelt.

Sonokontrolle < 12 Stunden

Bei einer der zwei Operationen in der KAS [0-12[und KAS-positiv-Gruppe wurde die Sonographie erst postoperativ durchgeführt, weshalb hier nur ein Fall relevant ist. Dieser hatte im initialen Polytrauma-CT-Befund „kein[en] Nachweis von freier Flüssigkeit intraperitoneal“ beschrieben. Bei dem Patienten wurde nach der Aufnahme um 5:00 Uhr um ca. 8:30 Uhr und nachfolgend mehrfach eine KAS mit sonographisch freier Flüssigkeit durchgeführt. Um ca. 19:00 Uhr wurde der Patient operiert und ein Einriss des Colon ascendens übernäht (Patientenfall 1, siehe auch Diskussion 5.2.1.1)

Sonokontrolle 12 - 24 Stunden und 24 – 48 Stunden

In den zwei Fällen, die zur OP geführt haben (KAS [12-24[, KAS [24-48[und KAS-positiv-Gruppe), wurde die KAS erst postoperativ durchgeführt und ist somit irrelevant.

Folglich führte die KAS innerhalb 0-12 Stunden in 1/293 Fällen zu einer möglichen OP-Indikation. Bei 20 weiteren (KAS positiv, Gruppe Konservativ) wurde eine verzögerte Abdominalverletzung diagnostiziert, die ohne Interventionsbedarf blieb. Als direkte/potenzielle OP-Indikation wären das 0,3% der Patienten (1/293) mit einer Sensitivität von 0,111 (1/9), bei denen trotz negativem Polytrauma-CT eine interventionsrelevante Verletzung diagnostiziert wurde.

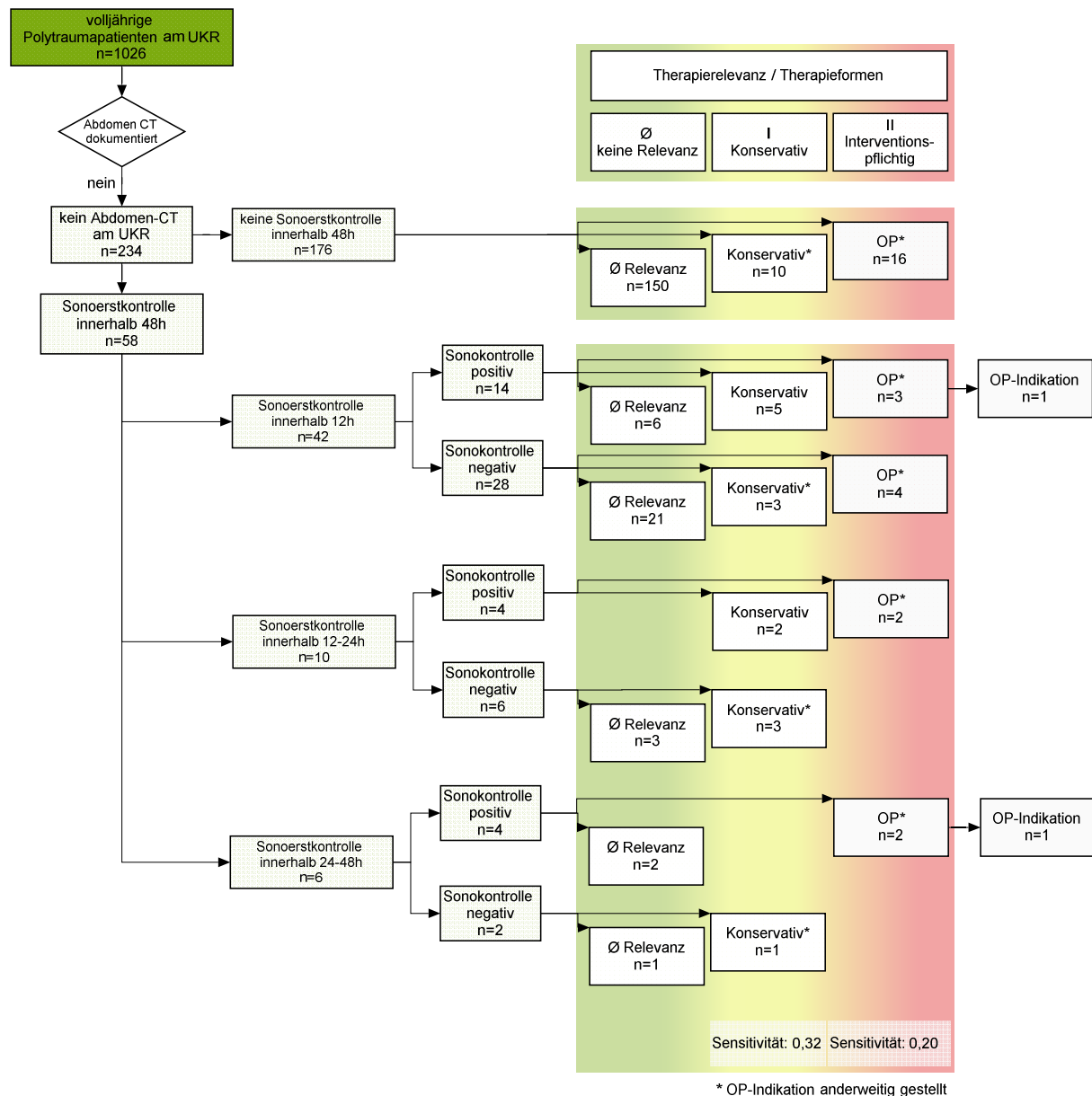


Abbildung 19: Therapieformen/Therapierelevanz der einzelnen Fälle ohne Abdomen-CT Befund, bezogen auf das Sonographieergebnis

In Abbildung 19 sind ausschließlich Fälle abgebildet, die initial keine Abdomen-CT am UKR erhalten haben. Dabei handelt es sich um Zuverlegungen oder Fälle von Schwerverletzten, bei denen der Fokus auf einem anderen Kompartiment (z.B. Kopf, Thorax, Extremitäten) liegt. Die KAS bietet damit einen wertvollen Gewinn an Informationen im Verlauf solcher Patienten. Das Vorgehen ist dabei analog zu dem in Abbildung 18. Fälle, die innerhalb von 48 Stunden keine KAS erhalten haben, sowie Fälle, in denen die KAS negativ war, sind irrelevant, da hier keine OP-Indikation unterstellt werden kann.

Sonokontrolle < 12 Stunden

In zwei Fällen, die zur OP geführt haben (KAS [0-12[und KAS-positiv-Gruppe), wurde die KAS erst postoperativ durchgeführt und ist somit irrelevant. Im dritten Fall wurde ein Patient nach Verkehrsunfall mit Wirbelsäulen-, thorakalen und abdominalen Verletzungen fünf Tage später splenektomiert, nachdem der Verlauf mit der KAS beobachtet wurde (Patientenfall 3).

Sonokontrolle 12 - 24 Stunden

Im ersten Fall wurde die KAS erst postoperativ durchgeführt, im zweiten Fall lag eine extraperitoneale Blasenruptur vor. Extraperitoneale Verletzungen wurden per Definition ausgeschlossen (siehe 3.6). Somit sind beide Fälle für diese Betrachtung irrelevant.

Sonokontrolle 24 – 48 Stunden

Im ersten Fall, der zur OP geführt hat (KAS [24-48[und KAS-positiv-Gruppe), wurde die KAS erst postoperativ durchgeführt und ist somit irrelevant. Im zweiten Fall wurde ein Patient mit Pankreas- und Nierenparenchym-Zerreißung – im auswärtigen CT-Befund – zuverlegt und drei Tage nach Aufnahme nephrektomiert (Patientenfall 2).

Folglich führte die KAS in 2/58 Fällen zu einer möglichen OP-Indikation, bei 15 weiteren (KAS positiv, Gruppe Konservativ) wurde eine verzögerte Abdominalverletzung diagnostiziert, die ohne Interventionsbedarf blieb. Das sind 3,4% der Patienten (2/58) mit einer Sensitivität von 0,18 (2/11), bei denen ohne initial gefahrener Abdomen-CT eine interventionsrelevante Verletzung diagnostiziert wurde.

KAS-OP-Korrelation

Eine weitere Möglichkeit, die Indikationsstellung der KAS für eine Operation statistisch abzuschätzen, ist die Korrelation zwischen stattgehabter Operation und positiv FF in der KAS zu berechnen. Bei einem positiven Zusammenhang sollte die statistische Korrelation der Variablen „stattgehabte OP“ und „FF im Ultraschall“ hoch sein.⁶⁸

In nachfolgender Tabelle wird der Korrelationskoeffizient nach Pearson für Patienten, bei denen ein Ultraschall durchgeführt wurde, dargestellt. Die gesuchte Korrelation wird dabei zwischen den beiden binären Variablen „freie Flüssigkeit (0/1)“ und „Operation: ja-nein (0/1)“ berechnet. Dabei zeigt sich eine niedrige Korrelation von 0,220 mit einer Signifikanz von $p < 0,001$ (siehe Tabelle 6).

		Korrelationen	
		Freie Flüssigkeit KAS (0/1)	OP (0/1)
Freie Flüssigkeit KAS	Pearson-Korrelation	1	,220**
	Sig. (2-seitig)		<,001
	N	481	481

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 6: Korrelation nach Pearson zwischen freie Flüssigkeit (0/1) und Operation (0/1)

Der geringe Zusammenhang lässt schon vermuten, dass das Ultraschallergebnis nicht signifikant mit der OP korreliert und nur in Einzelfällen zur OP-Indikation führt.

Zusammenfassend ergeben sich insgesamt drei interventionspflichtige Fälle, bei denen der KAS eine mögliche OP-Indikation unterstellt werden kann. Hypothese II: „Es wird eine relevante Anzahl an Blutungen in der Kontrollabdomensonographie detektiert, die im Abdomen-CT unauffällig waren oder initial kein Abdomen-CT bekommen haben“ kann damit als zutreffend angesehen werden. Bei weiteren 35 Patienten, welche nicht interventionspflichtig wurden, wurde eine verzögerte Abdominalverletzung

diagnostiziert und mit der KAS beobachtet. Zwischen den binären Variablen „freie Flüssigkeit (0/1)“ und „Operation: ja-nein (0/1)“ besteht nur eine geringe Korrelation nach Pearson, weshalb eine Einzelfallbetrachtung sinnvoller ist.

4.2.3 Qualität der KAS (H-III)

Die Qualität der KAS kann am sichersten mithilfe des Goldstandards⁶⁹ - der Abdomen-CT - als Referenz abgeschätzt werden. Zum Zeitpunkt der Einlieferung eines Schwerverletzten kann noch nicht sicher bestimmt werden, ob eine abdominelle Verletzung vorliegt oder nicht. Erst nach der Entlassung des Patienten wird der AIS-Abdomen retrospektiv durch die gesammelten Befunde bestimmt. Eine Überlegung ist daher – aus einer neutralen Sichtweise – zwei verschiedene Vergleiche zwischen CT-Befund und KAS-Befund anzustellen, d.h. zunächst alle Patienten, egal welchen AIS-Abdomen sie haben, in der Statistik gleich zu behandeln. Andererseits ist eine Subgruppenbetrachtung von abdominal Schwerverletzten (AIS-Abdomen ≥ 2) interessant, da hier die „relevantere“ Patientengruppe hinsichtlich zweizeitiger Blutungen betrachtet wird. Somit werden zwei Gruppen betrachtet, um eine mögliche Beeinflussung durch die vielen Schwerverletzten ohne abdominelle Traumata aufzudecken. Es werden im Folgenden zwei Fälle unterschieden:

1. Alle Patienten mit Einschlusskriterium, um einen übergeordneten Vergleich zu haben und
2. Patienten mit Einschlusskriterium und AIS-Abdomen ≥ 2 , bei denen erwartet wird, dass sie die Indikation für eine KAS erfüllen und eine relevante abdominelle Verletzung vorliegt.

Statistische Qualität der KAS der Grundgesamtheit in Abhängigkeit der Polytrauma-Spirale als Goldstandard

Insgesamt erfüllen 1026 Patienten das Einschlusskriterium. Als ungültig definiert gelten Ultraschallbefunde, die nach der ersten Operation erhoben wurden und somit das Ergebnis verfälschen würden. Dieses Kriterium erfüllen 90 Patienten, so dass die statistischen Lagewerte aus den verbleibenden 936 berechnet werden. 453 Patienten haben daraus eine Ultraschalluntersuchung bekommen. Folgende Tabelle zeigt die Verteilung der Befunde der Kontrollsonographie.

Freie Flüssigkeit in der KAS					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Kein US	483	51,6	51,6	51,6
	FF negativ	287	30,7	30,7	82,3
	FF positiv	166	17,7	17,7	100,0
	Gesamt	936	100,0	100,0	

Tabelle 7: Verteilung der Ergebnisse in der Kontrollabdomensonographie für alle AIS-Abdomen-Werte

Die Sensitivität, Spezifität, der negative und positive prädiktive Wert können somit mit der Qualität des Entscheidungsalgorithmus aus den gültigen Werten abgeschätzt werden und errechnen sich aus folgender Tafel.⁷⁰

		FF in der KAS		Summe
FF im CT		positiv	negativ	
	positiv	99	37	136
	negativ	67	250	317
Summe		166	287	453

Tabelle 8: Tafel für die Kontrollabdomensonographie für alle Patienten der Grundgesamtheit

Aus den Daten ergeben sich damit folgende Werte für die KAS:

- Sensitivität: 0,728 (99/136)
- Spezifität: 0,789 (250/317)
- positiv prädiktiver Wert: 0,596 (99/166)
- negativ prädiktiver Wert: 0,871 (250/287)

Statistische Qualität der KAS mit AIS ≥ 2 in Abhängigkeit der Polytrauma-Spirale als Goldstandard

Wie im vorherigen Absatz definiert, fließen US-Befunde nach Operationen nicht in die Berechnungen mit ein. Somit bleiben aus 1026 noch 936 Patienten. Davon haben 354 eine schwere abdominelle Verletzung (AIS-Abdomen ≥ 2). 208 Patienten haben daraus eine Ultraschalluntersuchung bekommen. Folgende Tabelle zeigt die Verteilung der Befunde der Kontrollsonographie.

Freie Flüssigkeit in der KAS					
		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Kein US	146	41,2	41,2	41,2
	FF negativ	104	29,4	29,4	70,6
	FF positiv	104	29,4	29,4	100,0
	Gesamt	354	100,0	100,0	

Tabelle 9: Verteilung der Ergebnisse in der Kontrollabdomensonographie für AIS-Abdomen ≥ 2

Die Sensitivität, Spezifität, der negative und positive prädiktive Wert können somit mit der Qualität des Entscheidungsalgorithmus aus den gültigen Werten abgeschätzt werden und errechnen sich aus folgender Tafel.⁷⁰

		FF in der KAS		Summe
FF im CT		positiv	negativ	
	positiv	77	29	106
	negativ	27	75	102
Summe		104	104	208

Tabelle 10: Tafel für die Kontrollabdomensonographie für Patienten ohne Operation

Aus den Daten ergeben sich damit folgende Werte:

- Sensitivität: 0,726 (77/106)
- Spezifität: 0,735 (75/102)
- positiv prädiktiver Wert: 0,740 (77/104)
- negativ prädiktiver Wert: 0,721 (75/104)

Damit bleiben auch durch die Restriktion der abdominell schwer Verletzten die Sensitivität und die Spezifität annähernd gleich. Der positiv prädiktive Wert (PPW) verbessert sich leicht von 0,596 auf 0,740. Dies ist durch die geringere Zahl der Fälle ohne freie Flüssigkeit zu erklären, die bei schwereren Verletzungen seltener zu erwarten sind. Somit sinkt auch die Falsch-positiv-Rate und der PPW steigt. Dementsprechend sinkt der negativ prädiktive Wert (NPW) auch durch die geringeren Fälle ohne freie Flüssigkeit, die in der Folge seltener korrekt positiv klassifiziert werden. Summa summarum ergibt sich dadurch in beiden Kohorten eine Sensitivität von ca. 73%, womit Hypothese III bewertet werden kann.

Qualität der KAS in der Einzelfallbetrachtung

Ein zweiter Ansatz, die Qualität der KAS zu bestimmen ist, die OP-Berichte sämtlicher operierter Patienten, welche eine KAS und Abdomen-CT bekommen haben, zu prüfen, ob freie Flüssigkeit oder Blutungen beschrieben werden. Aus diesem Vergleich könnte ebenfalls eine Sensitivität gemäß Hypothese III bestimmt werden.

Aus allen Fällen ist bei 8 Patienten folgende Konstellation vorhanden:

- der Patient hat eine relevante abdominelle Verletzung und
- eine Operation hat stattgefunden und
- davor wurde eine KAS und Abdomen-CT durchgeführt.

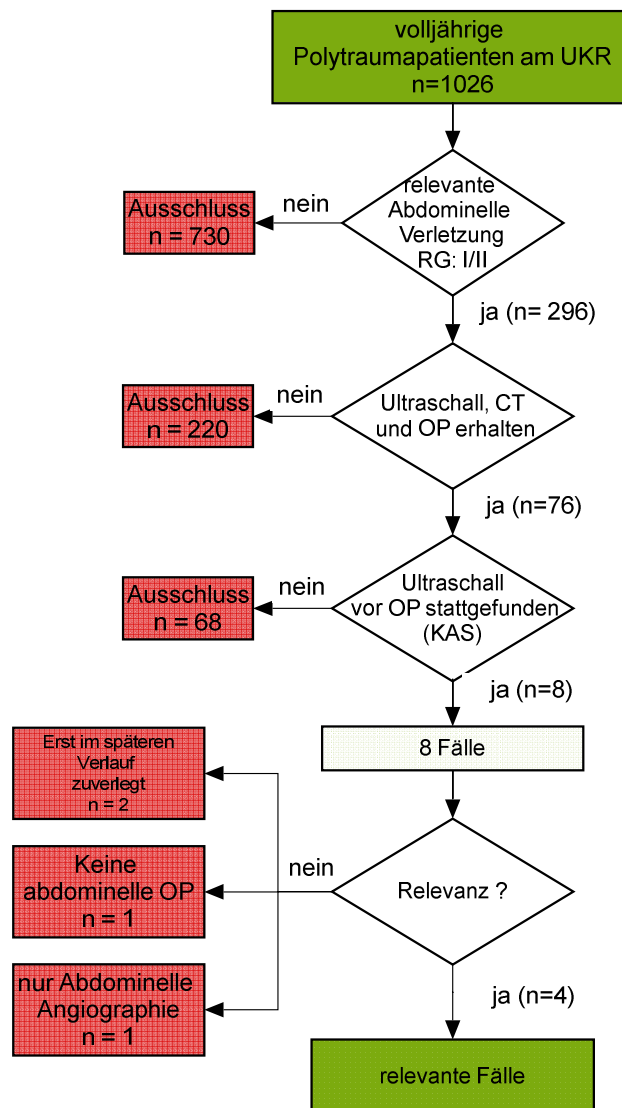


Abbildung 20: Relevante Fälle - KAS Einzelfallbetrachtung

Bei zwei dieser Fälle wurde der Patient erst im Verlauf zuverlegt. Diese werden daher nicht betrachtet. Ein Patient hatte keine abdominelle Operation, ein anderer Patient hatte eine abdominelle Angiographie. Von den verbleibenden vier gültigen Patienten waren 3 im CT sowie in der KAS mit positiv FF diagnostiziert. Bei zwei davon wurde im OP-Bericht von deutlich sichtbaren Blutmengen berichtet. Bei dem dritten wurde in der KAS „wenig FF“ befundet und im OP-Bericht von etwas serösem Aszites aber keiner Blutung berichtet. Diese drei Fälle wären somit alle korrekt von der KAS erkannt worden. Im letzten der vier gültigen Fälle war die initiale CT negativ auf FF und in der KAS wurde von deutlich perihepatischer Flüssigkeit berichtet. In der nachfolgenden Operation wurden dann etwa 750 ml Blut oberhalb der Leber abgesaugt.

Aus der Einzelfallbetrachtung sind somit vier Fälle relevant. Bei allen vier Fällen hat die KAS – in einem Fall konträr zum CT-Befund – freie Flüssigkeit im Abdomen korrekt diagnostiziert. In der Kohorte der operationspflichtigen Patienten, welche eine KAS erhalten haben, ist die Sensitivität der KAS damit 100%.

Bewertet man die Qualität der KAS anhand des Vergleiches mit der Polytrauma-CT als Goldstandard ergibt sich eine hohe Sensitivität und Spezifität von 73% bzw. 79% über die gesamte Kohorte. Aus einer Einzelfallbetrachtung (OP-Bericht und KAS-Befund) interventionspflichtiger Patienten kann der KAS ebenfalls eine hervorragende Sensitivität unterstellt werden. Zusammenfassend kann Hypothese III: „Freie Flüssigkeit ist in der Kontrollabdomensonographie mit hoher Sensitivität sichtbar“ als zutreffend betrachtet werden.

4.2.4 KAS als Outcome-Prädiktor (H-IV)

Zur Überprüfung der Hypothese IV erfolgt zunächst ein Subgruppen-Vergleich (KAS-positiv / KAS-negativ) hinsichtlich demographischer Unterschiede (Alter, Geschlecht, ISS und Unfallmechanismus) mittels Chi²-Test. Im Anschluss werden beide Gruppen hinsichtlich verschiedener Outcome-Parameter der Morbidität und Mortalität verglichen und der Outcome-Prädiktor bestimmt.

Vergleich der Gruppen auf signifikante Unterschiede

Zunächst wird der Unterschied zwischen beobachteter und erwarteter Häufigkeit der Gruppen - KAS-positiv / KAS-negativ - mithilfe des Chi²-Test für die Variablen Alter, Geschlecht, ISS und Unfallmechanismus bestimmt.⁷⁰

Gleichheit der Gruppen KAS-positiv / KAS-negativ		
Variable	Pearson- Chi-Quadrat	p-Wert (asymptotische Signifikanz)
Alter zum Unfallzeitpunkt	87,238	0,080
Geschlecht	1,386	0,239
ISS	43,728	0,039
Unfallmechanismus	0,043	0,836

Abbildung 21: Chi-Quadrat-Test zur Bestimmung der Gleichheit der Subgruppen KAS-positiv / KAS-negativ

Bei drei von vier demographischen Merkmalen wird der alpha-Fehler von 5 % überschritten, somit kann die Unabhängigkeit von KAS-Befund zu den demographischen Merkmalen angenommen werden.

Outcome-Parameter

Es werden Parameter der Morbidität und Mortalität analysiert:

- Morbidität: Liegedauer im Krankenhaus, Anzahl der EK-Gaben, Anzahl der FFP-Gaben, Dauer des Intensivaufenthaltes
- Mortalität: Tod nach 30min, 1 Std., 6 Std., 12 Std., 24 Std., 48 Std. und 30 Tagen

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Auswertung.

Outcome-Parameter der Morbidität und Mortalität

	Mittelwert KAS negativ	Mittelwert KAS positiv	p-Wert (Chi-Quadrat)	Korrelation (Pearson)
Morbidität				
Liegedauer im Krankenhaus	21,22 d	23,87 d	0,245	0,076
Anzahl EK-Gaben	1,01 St.	1,78 St.	0,017	0,091
Anzahl FFP-Gaben	1,35 St.	2,78 St.	0,007	0,128
Dauer des Intensivaufenthaltes	11,59 d	14,31 d	0,343	0,100
Mortalität				
Tod nach 30 min.	0 %	0 %	–*	–*
Tod nach 1 Std.	0 %	0 %	–*	–*
Tod nach 6 Std.	0 %	0 %	–*	–*
Tod nach 12 Std.	1 %	0 %	0,240	0,054
Tod nach 24 Std.	2 %	2 %	0,850	0,009
Tod nach 48 Std.	3 %	3 %	0,865	0,008
Tod nach 30 Tagen	9 %	10 %	0,730	0,016

* keine bzw. zu wenige Daten

Tabelle 11: Statistische Auswertung der Outcome-Parameter bezüglich des KAS-Befundes

Es zeigt sich keine Abhängigkeit der Mortalität vom KAS-Befund, die Signifikanz (p-Wert) ist allseits deutlich über dem Alpha-Fehler, die Korrelation sehr gering ($< 0,054$). In den absoluten Werten der gerundeten, prozentualen Angaben gibt es nur einen einprozentigen Unterschied bei der Mortalität nach 30 Tagen.

Bei der Morbidität zeigt sich eine im Mittel längere Aufenthaltsdauer im Krankenhaus bei FF in der KAS von 2,65 Tagen ($SD \pm 14,9$, CI 19,5 – 26,7), auf der Intensivstation von 2,72 Tagen ($SD \pm 11,1$, CI 10,3 – 16,6). Im Chi-Quadrat-Test zeigt sich keine signifikante Abhängigkeit vom KAS-Befund zu den Liegedauern, die Korrelation ist gering ($< 0,100$). Es zeigt sich allerdings ein signifikanter Zusammenhang zwischen KAS-Befund und Anzahl der EK- und FFP-Gaben. Der p-Wert ist in beiden Fällen $< 0,017$, die Korrelation bei 9,1 – 12,8 %. Bei positivem KAS-Befund war die mittlere Anzahl der EK-Gaben um 0,77 ($SD \pm 4,4$, CI 0,5 – 2,3) und die der FFP-Gaben um 1,43 ($SD \pm 4,7$, CI 0,8 – 3,6) höher.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der KAS-Befund nicht suffizient als Outcome-Prädiktor eingesetzt werden kann. Ein positiver KAS-Befund geht nicht mit einer erhöhten Mortalität einher. Er korreliert jedoch mit einer nicht signifikanten, aber im Mittel leicht verlängerten Liegedauer sowie mit einer signifikant erhöhten Gabe von Blutprodukten. Hypothese-IV: „Ein positiver Kontrollsonographie-Befund ist signifikant mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert.“ wird somit nicht unterstützt.

4.2.5 Relevanz des Zeitpunktes der KAS (H-V)

Im Folgenden soll Hypothese V beleuchtet werden, ob sich der Zeitpunkt der KAS nachteilig oder positiv auf den Verlauf des Patienten auswirkt. Dafür werden die Fälle zeitlich gruppiert in KAS- „0 bis 6 Stunden“ und „6 bis 24 Stunden“. Anschließend werden die statistischen Lagemaße hinsichtlich der Mortalität und Morbidität mithilfe von deskriptiver Statistik, Chi-Quadrat-Test und Korrelation nach Pearson bestimmt und bewertet.

Outcome-Parameter der Morbidität und Mortalität

	Mittelwert KAS 0 – 6 h	Mittelwert KAS 6 – 24 h	p-Wert (Chi-Quadrat)	Korrelation (Pearson)
Morbidität				
Liegedauer im Krankenhaus	20,74 d	24,05 d	0,554	0,094
Anzahl EK-Gaben	0,68 St.	1,44 St.	0,159	0,120
Anzahl FFP-Gaben	0,92 St.	2,26 St.	0,075	0,147
Dauer des Intensivaufenthaltes	11,51 d	13,86 d	0,167	0,086
Mortalität				
Tod nach 30 min.	0 %	0 %	–*	–*
Tod nach 1 Std.	0 %	0 %	–*	–*
Tod nach 6 Std.	0 %	0 %	–*	–*
Tod nach 12 Std.	1 %	0 %	0,143	0,070
Tod nach 24 Std.	2 %	0 %	0,085	0,083
Tod nach 48 Std.	3 %	1 %	0,129	0,073
Tod nach 30 Tagen	9 %	8 %	0,471	0,034

* keine bzw. zu wenige Daten

Tabelle 12: Statistische Auswertung der Outcome-Parameter bezüglich des KAS-Zeitpunktes

Bei der Betrachtung der Mortalität ergibt sich eine im Mittel um maximal 2 % (SD $\pm$ 10, 95, CI 0 - 4) höhere Sterblichkeit, wenn die KAS zwischen 0 und 6 Stunden durchgeführt worden ist. Der Unterschied ist nicht signifikant ($p > 0,085$), die Korrelation gering ($< 0,083$).

Bei der Morbidität zeigt sich, wenn die KAS im Intervall 6 – 24 Stunden durchgeführt wurde, eine im Mittel längere Aufenthaltsdauer im Krankenhaus von 3,31 Tagen (SD $\pm$ 17,3, CI 18,4 – 26,4) sowie auf der Intensivstation von 2,35 Tagen (SD $\pm$ 11,9, CI 9,9 – 15,9), vermehrte EK-Gaben von 0,76 (SD $\pm$ 2,2, CI 0,4 – 1,9) und vermehrte FFP-Gaben von 1,34 (SD $\pm$ 3,3, CI 0,5 – 3,0). Im Chi-Quadrat-Test zeigt sich keine signifikante Abhängigkeit ($p > 0,085$) vom KAS-Zeitpunkt zu den Liegedauern oder Gaben von Blutprodukten, die Korrelation ist allseits kleiner 0,147.

Im Kontext dieser Hypothese erfolgte bereits eine deskriptive Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Zeitpunkt der KAS und OP-Indikation (s. 4.2.2.). Ein offensichtlicher Benefit eines der 3 Zeitintervalle (0 – 6 h, 6 – 12 h, 12 – 24 h) konnte nicht eruiert werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der KAS-Zeitpunkt keine signifikante Relevanz bei der Morbidität und Mortalität spielt. Eine spätere KAS (6 – 24 h) korreliert jedoch mit einer nicht signifikanten aber im Mittel leicht verlängerten Liegedauer sowie erhöhten Gabe von Blutprodukten. Hypothese-V: „Der Zeitpunkt der Kontroll-Sonographie 6-24h nach Trauma ist nicht nachteilig im Vergleich zum Zeitraum 0-6h nach Trauma.“ konnte belegt werden.

5. Diskussion

Diese Studie ist eine retrospektive monozentrische Datenanalyse, die die Qualität und den Stellenwert der Kontrollabdomensonographie (KAS) beim polytraumatisierten Patienten eruieren soll. Hintergrund ist eine individualisierte Ultraschallnachuntersuchung, die beim Schwerverletzten am UKR seit über einem Jahrzehnt im Verlauf nach ca. 1 – 24 Stunden durchgeführt wird. Ähnliche Untersuchungen finden auch an anderen Kliniken statt, doch der Nutzen dieser ist nicht eindeutig belegt und in der Literatur teilweise umstritten.^{25–29,34,37,71,72}

Die Indikationsstellung am UKR zu dieser Untersuchung ist zudem nicht deterministisch und wird subjektiv vom behandelnden Arzt in der Notaufnahme gestellt. Betrachtet und ausgewertet wurden – neben anderen ausgesuchten Parametern – vor allem das Ergebnis der e-FAST, des MSCT und der KAS. Dabei wurden die Befunde binär klassifiziert, das bedeutet jeder Befund wurde auf das Vorliegen von relevanter, in der Sonographie erkennbarer intraabdomineller freier Flüssigkeit (FF ja/nein) hin untersucht. Die Ergebnisse wurden deskriptiv und statistisch beschrieben und miteinander verglichen. Als Referenz zur Überprüfung der Richtigkeit der Sonographien wurde ein Entscheidungsalgorithmus (EA) zu Grunde gelegt, der den CT-Abdomen-Befund, e-FAST, Diagnosen, die Trauma-Dokumentation und OP-Berichte, Parameter der Verletzungsschwere (AIS-Abdomen, ISS) und z.T. Einzelfallbetrachtungen zu Rate zieht.

Zunächst werden im folgenden Kapitel 5.1 die Methoden dieser Arbeit diskutiert und im Anschluss in der Diskussion der Ergebnisse in Kapitel 5.2 die **Hypothesen und Fragestellungen** einzeln erörtert. Die Hypothesen werden zur besseren Sichtbarkeit fett gedruckt. Abschließend werden im Kapitel 5.3 schlussfolgernde Gedanken dargelegt.

5.1 Diskussion der Methoden

Ein positiver Aspekt dieser Studie ist, dass die Studienpopulation dieser Arbeit eine Verteilung besitzt, die mit der des Traumaregisters der DGU übereinstimmt.³⁰ Dies bedeutet, dass trotz der Einschränkung einer unizentrischen Studie eine repräsentative Stichprobe gezogen wurde.

Die Patienten mit erfülltem Einschlusskriterium exkludieren Minderjährige. Die Gründe für diese Entscheidung waren die hohe Komplexität und Eigendynamik bei Kindern, die eine komplett eigenständige Betrachtung vonnöten machen würde. Auch in der entsprechenden Literatur wird dies getrennt behandelt.^{44–46,73,74} Im TraumaRegister der DGU® sind Kinder unter 16 Jahren 2019 mit einem Anteil von 3,8% angegeben.³⁰ Im Regensburger Traumaregister ist diese Maßzahl über den gesamten Zeitraum 7,6%, die Anzahl der Patienten unter 18 Jahren ist 12,1%. In einer Arbeit von 2015 von Debus et al. wird der Anteil schwerverletzter Kinder am Gesamtkollektiv mit 7,4% angegeben und eine separate kindertraumatologische Kompetenz in überregionalen Traumazentren gefordert, um der Thematik gerecht zu werden.⁷⁴

Das retrospektive Studiendesign stellt einige relevante Limitationen dar. Teile der Fragestellungen können nicht sicher beantwortet werden. So ist die erste Fragestellung **„Werden Blutungen durch die Kontrollabdomensonographie detektiert, die im CT unauffällig waren, und wenn ja wie viele?“** nicht gänzlich beantwortbar. Bei einer falsch positiven Entscheidung des EA z.B. bei negativem CT-Befund, keine entsprechende Diagnose und ohne Intervention - bei rein konservativer Behandlung - kann die Falschheit einer positiven KAS trotzdem nicht sicher retrospektiv eruiert werden. Es könnte sein, dass freie Flüssigkeit intraabdominell vorhanden ist und die KAS damit richtig läge. Durch die fehlende Intervention im Verlauf kann dies aber nicht mit letzter Sicherheit festgestellt werden. Eindeutig geklärt würde dies nur durch eine konsekutive explorative Laparotomie/Laparoskopie, bei der freie Flüssigkeit oder Blut dokumentiert wird.⁷⁰

Ebenfalls nur teilweise beantwortbar ist die Fragestellung 2: „**Welche Konsequenz hat die Kontrollabdomensonographie (sowohl bei primären als auch sekundären Blutungen) hinsichtlich der weiteren Therapie und was wäre, wenn die Kontrollabdomensonographie weggelassen würde?**“. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass die Faktoren, die zur Therapieentscheidung der Ärzte geführt haben, retrospektiv nicht mehr eindeutig nachvollziehbar sind. Die Entscheidung zu einer interventionellen Maßnahme ist stets eine multifaktorielle Angelegenheit.^{32,75} Neben dem klinischen Eindruck des Patienten, Laborwerten und Verlaufsparemtern spielt auch der Ultraschallbefund eine gewisse Rolle. Ob dieser entscheidend ist oder die Laborparameter und der klinische Eindruck allein zum gleichen Ergebnis führen, wäre nur in einer prospektiven Studie beantwortbar. Man müsste den behandelnden Arzt während seiner Entscheidungsfindung befragen, welchen Einfluss der Ultraschallbefund auf ihn hat. Noch besser – um das „Weglassen“ exakt beantworten zu können – wäre eine randomisierte Aufteilung in eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe. Die Versuchsgruppe würde eine KAS nach einem definierten Zeitraum (z.B. 6 Stunden) bekommen, die Kontrollgruppe keine. Anschließend würden die Anzahl und der Ausgang der Operationen sowie die kritischen Zwischenfälle und Todesfälle miteinander verglichen werden. Dieses Vorgehen wäre allerdings schon alleine aus ethischer Sicht sehr strittig.⁷⁶ Letztlich zeigt sich auch nur eine schwache Korrelation zwischen Operationen und positiver KAS, sodass auch die Sinnhaftigkeit einer solchen Untersuchung strittig wäre. In allen retrospektiven Betrachtungen sind die eben genannten Limitationen präsent, sodass grundsätzlich nur das Potential zur Indikationsstellung unterstellt werden kann. Ob ein KAS-Befund tatsächlich zur OP-Indikation geführt hat, ist retrospektiv nicht zu ersehen.

Ein großer Vorteil dieser Studie ist die umfassende Datenbasis, die zur Verfügung steht. Bei 1026 Patienten wurde das seltene Ereignis (Ultraschall deckt unbekannte freie Flüssigkeit im Abdomen auf) dreimal beobachtet. Diese vergleichsweise große Anzahl begründet sich zum einen durch den langen Beobachtungszeitraum (Sept. 2007 – Dez. 2016), sowie die Arzt- und Patienten- individuelle Indikationsstellung der KAS. Da die Indikation nicht deterministisch gestellt wird (z.B. bei allen Patienten mit FF im Abdomen-CT), sind die Kontrollsonographien in allen denkbaren Kombinationen vorhanden: bei abdominell leicht- oder schwerverletzten Patienten sowie mit negativer, positiver oder nicht durchgeführter Abdomen-CT. Dies bedingt eine beachtliche Vielfalt an Befundkombinationen. Beispielsweise gibt es Fälle mit AIS = 0 (unverletzt⁶¹) und positiv FF in der KAS, sowie Patienten mit AIS-Abdomen = 4 (sehr schwer⁶¹) ohne dokumentierte Ultraschallkontrolle (siehe dazu auch Kapitel 4.2.1).

Als weiteren denkbaren Fehler bei der Bewertung der Korrektheit der KAS ist ein falsch negatives Abdomen-CT zu diskutieren. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass in den meisten Fällen mit negativer FF in der Abdomen-CT keine nachfolgende abdominelle Intervention durchgeführt wurde. Damit ist das Vorhandensein von freier Flüssigkeit im Nachhinein nicht mehr mit eindeutiger Sicherheit beweis- oder widerlegbar. Der Entscheidungsalgorithmus (EA) bezieht sich in solchen Fällen meistens allein auf den CT-Befund. Die CT gilt zwar in diesem Kontext unumstritten als Goldstandard^{24,69}, ist jedoch nicht unfehlbar (vgl. nächster Absatz). Hierdurch nimmt man einen möglichen Confirmation-Bias in Kauf.⁷⁷ Die initiale Annahme, dass ein CT-Befund grundsätzlich korrekt ist ohne zusätzliche Informationen zum Beweis des Gegenteils muss zur Aufrechterhaltung der Konsistenz des Entscheidungsalgorithmus immer gegeben sein (Tautologie⁷⁸). Die Entscheidungsfähigkeit des Algorithmus basiert eben auf der Verlässlichkeit der CT-Befundung. Damit wird ein - theoretisch denkbare - falsch negativer CT-Befund in Kauf genommen, welcher unbemerkt bleibt, wenn dieser nicht durch die OP-Dokumentation widerlegt wird. Dies kann retrospektiv nicht mehr sicher ausgeschlossen werden.

Weiterführende Gedanken dazu werden in diesem Absatz mit Hilfe der Literatur genauer beleuchtet. Wie bereits erläutert muss bei negativem CT-Befund nicht unbedingt eine Blutung oder freie Flüssigkeit ausgeschlossen sein und umgekehrt. Auch als Goldstandard ist die Polytrauma-CT nicht perfekt. Die Literatur gibt hier Sensitivitäten von 85-99% und eine Spezifität von 28-100% an.^{4,24,41,79} Das bedeutet im Umkehrschluss, dass von 100 Patienten mit freier Flüssigkeit im Abdomen bei einem bis fünfzehn Scans ein falsch negativer Befund ermittelt wird sowie bei bis zu 72 von 100 mit negativem Befund freie Flüssigkeit vorhanden ist. Ein negativer CT-Befund könnte also auch falsch negativ sein und schließt damit nicht zu 100% eine Blutung aus. Daher macht eine Kontrollabdomensonographie durchaus Sinn, um diesen Fehler zu minimieren.

Darüber hinaus könnte man auch physiologisch argumentieren und eine verzögerte Blutung postulieren (ausführlich beschrieben in 1.1), welche die Initial-CT nicht erfassen kann. Ursächlich könnte eine gedeckte Perforation, die später rupturiert und einblutet, Ausgleich des Volumenmangels nach initialer Zentralisation, einem Versagen von Gerinnungs- und Reparaturmechanismen in der Hyperinflammationsphase, Hypoxie und Ischämie, Nekrosen, posttraumatische Zelldysfunktion, überschießende Immunreaktion sowie eine disseminierte intravasale Koagulopathie sein. Nach Gabe von Flüssigkeit sowie Stabilisierung des Kreislaufes und der Immunfunktion steigt die Perfusion in den Organen erneut an und kann hier eine zunächst sistierende Blutung wieder aktivieren.^{9,14,15} Eine initial negative Abdomen-CT bei später diagnostizierter FF im Abdomen (KAS oder OP) kann also prinzipiell ein denkbarer und korrekter Sachverhalt sein. Hier würde aber der KAS-Befund als falsch klassifiziert werden. Auch dies kann einen methodischen Fehler darstellen.

Bei der Bewertung der Sensitivität, Spezifität, des positiv und negativ prädiktiven Wertes der von KAS und e-FAST gibt es zwei weitere Selektionsbias. Zum einen wurden nur Datensätze verwendet, die vollständig oder aus anderen Gründen nachvollziehbar waren. Das bedeutet, eine Bewertung des Entscheidungsalgorithmus (EA) wurde nur bei Patientendatensätzen angewendet, bei denen eine Ultraschalluntersuchung dokumentiert ist und eine initiale Schockraum-Computertomographie oder eine eindeutige Diagnose oder Trauma/OP-Beschreibung vorhanden sind. Dies war notwendig, da sonst kein Vergleich möglich ist und damit auch die Korrektheit der Ultraschalluntersuchung nicht bewertet werden kann. Zum anderen wurde eine zeitliche Selektion vorgenommen. Ausgeschlossen wurden alle Fälle, bei denen die Befunderstellung mehr als 48 Stunden nach Aufnahme erfolgte, da hier keine ausreichende Kausalität mehr zwischen initialem Trauma und KAS-Befund unterstellt werden kann. Nach mehr als 48 Stunden könnten resorptive Prozesse, Flüssigkeitsverlagerungen, Transsudation, oder Gerinnungsprozesse den Ultraschalluntersucher zu unverschuldet falschen Diagnosen beeinflussen.^{11,12}

Im Falle von Blutbeimengungen ändert sich zudem mit zunehmender Dauer das sonographisch echoarme Bild der freien Flüssigkeit in ein gemischtes, echofreies bis echogenes Mischbild aus Koageln und Restflüssigkeit. Das Erkennen und die Abgrenzung dieser Strukturen von umgebenden Organen kann mitunter sehr schwierig sein.⁸⁰ Um diese Unsicherheit als Störfaktor auszuschließen wurden alle Befunde, die > 48 Stunden nach Aufnahme erstellt wurden, per Definition ausgeschlossen.

Eine weitere Restriktion der Daten ergibt sich bei der Frage, ob eine Operation stattgefunden hat oder nicht. Bei stattgehabter OP wurde in beinahe allen Fällen die Ultraschallkontrolle nach der Intervention durchgeführt. Dies beeinflusst naturgemäß das Ergebnis, sodass nicht unterschieden werden kann, ob die FF schon vor der OP vorhanden war oder nicht. Genauso verhält es sich mit der Frage, ob die FF durch die Operation erzeugt wurde oder durch diese

verschwunden ist. Daher wurden alle Ultraschallbefunde, die erst nach der Erstoperation dokumentiert wurden, im Sinne dieser Arbeit als ungültig klassifiziert. Eine Ausnahme dieser Betrachtungen stellt die e-FAST dar, da diese im Schockraum als eine der ersten Maßnahmen durchgeführt wurde und frei von jeder interventionellen Beeinflussung ist.

Eine zusätzliche Einschränkung ergibt sich daraus, dass die Abschätzung der Flüssigkeitsmenge im Ultraschall großen Schwankungen unterliegt. Sie ist maßgeblich von der Erfahrung des Untersuchers abhängig.²² Es kann also vorkommen, dass eine physiologische Flüssigkeitsmenge als freie Flüssigkeit dokumentiert wird oder umgekehrt.

Zuletzt sind nur jene Datensätze in die Studie miteingeflossen, bei denen die Befunde eine zuordenbare und gültige SAP-Nummer im Traumaregister vorweisen, da sonst die Zuordnung mit den Daten aus dem Klinikinformationssystem nicht möglich wäre.

Ein weiterer zu beachtender Punkt ist die generelle Heterogenität der Qualität der Befunde. Die Untersucher unterscheiden sich in Erfahrung, Formulierungsfähigkeit und Talent, die Geräte variieren und die Durchführungsbedingungen sind sehr unterschiedlich. Während die CT-Befunde von einem Radiologen fast immer einheitlich formatiert und formuliert sind, auf genormten Monitoren unter standardisierten Lichtbedingungen befundet werden, bestehen manche Ultraschallbefunde nur aus den Buchstaben „oB“. Andere sind sehr ausführlich geschrieben und eindeutig für den Leser zu interpretieren, z.B. mit exakt berechneten Mengenangaben freier Flüssigkeit in Milliliter. Zudem werden in den Befunden häufig relativierende Adjektive verwendet wie z.B. minimal oder gering, welche dann in vergleichbaren anderen Befunden mit dem Zusatz: „wohl noch im physiologischen Maße“ beschrieben werden. Die Klassifizierung dieser Befunde ist somit nicht immer eindeutig und daher auch fehlerbehaftet.

Der Grund hierfür ist die Diversität der Untersucher und der Bedingungen, deren Streubreite keinen verlässlichen Vergleich zulassen würde. Im nachfolgenden Absatz wird auf dies genauer eingegangen. Es müssten die Ultraschallbedingungen und die Befundformulierungen standardisiert werden oder in die Bewertung miteinfließen.⁷⁵ Würde man die radiologischen Formulierungsstandards⁸¹ hier zugrunde legen, würde man zudem lediglich eine Ordinalskalierung erhalten (minimal/wenig/deutlich). Eine eindeutige Zuordnung im Sinne einer Intervallskalierung (Milliliter) könnte nur mit dem konsequenten Ausmessen der freien Flüssigkeitsmenge erreicht werden. Da diese Voraussetzungen allesamt nicht erfüllt waren, wurde in dieser Arbeit zur Verbesserung der Eindeutigkeit eine binäre Klassifizierung - FF ja/nein - vorgenommen. Jede Formulierung von freier Flüssigkeit wird demnach als „FF positiv“ interpretiert, das Komplement dieser Menge als negativ.

Generell ist festzustellen, dass, verglichen mit Ultraschallbefunden, in CT-Befunden freie Flüssigkeit weniger relativierend beschrieben wird und so klarer einzuordnen ist. Die unterschiedliche Erfahrung zeigt sich darin, dass manche Untersucher sich der technischen Möglichkeiten bewusst sind und sogar in den Befund mit einfließen lassen, dass freie Flüssigkeit im Ultraschall erst ab 50 ml eindeutig zu identifizieren ist. Steitz et al. 2013 postuliert ein kumulatives Mindestvolumen von 200-500 ml, um einen sonographischen Nachweis zu ermöglichen.²² Andere Befundende benutzen umständliche Formulierungen, um sich nicht eindeutig festlegen zu müssen. Zum Teil stehen in den US-Befunden auch die Untersuchungsbedingungen, wie z.B. „sehr schlechte Lichtverhältnisse“, „man kann kaum etwas erkennen“ oder „sehr eingeschränkte Untersuchungsbedingungen bei extremer Adipositas“, welche bei einer modernen CT-Untersuchung kaum eine Rolle spielen.⁸¹ Seitz publizierte dazu 2006 eine Arbeit zum Thema „Qualität der Oberbauchsonographie“. Er stellte

fest, dass die zwei Hauptfaktoren Qualität der Geräte und Erfahrung der Untersucher die Ergebnisqualität maßgeblich bestimmen. Er nennt die Routineuntersuchung auch „klinische Sonographie“, da der klinische Anwender nur unter dem Wissen der Makropathologie, der Vorgeschichte des Patienten, der Indikationsstellung zur Untersuchung und der kritischen Bewertung des sonographischen Untersuchungsergebnisses qualitativ hochwertige Befunde erstellen kann. Bei der KAS sind diese Bedingungen im Falle der Fragestellung „freie Flüssigkeit?“ erfüllt.⁸² Daraus ergibt sich ein insgesamt realistisches, aber durch die fehlenden Ultraschall-Standardbedingungen beeinflusstes Bild. Es resultiert ein Detection-Bias (Informationsbias).^{70,83} Unter kontrollierten Laborbedingungen sollten idealerweise immer die gleichen Geräte bei normierten Untersuchungsbedingungen genutzt und eine einheitliche Formulierung verwendet werden. Auch die Erfahrung der Untersucher könnte erfasst werden und in die Bewertung mit einfließen, diese würde einiges an Aufschluss geben. Der einzig sicher dokumentierte Sonographieur ist der des FAST-Ultraschalles. Dies führt per festgelegtem Algorithmus am UKR der chirurgische Assistent im Schockraum durch. Bemerkenswert ist dabei, dass sich die Sensitivität der FAST mit etwa 42% erheblich von denen der Kontrollsonographie mit etwa 73% unterscheidet. Die Sonographie-Kontrolle wird vom „Sonographie-Dienst“ am UKR durchgeführt. Dies können Assistenzärzte, Fachärzte und Oberärzte aus den Fachrichtungen Innere Medizin, Chirurgie und Radiologie sein, die eine hausinterne Zertifizierung absolviert haben. Aber auch bei den Befunden der Kontrolluntersuchung ist einige Diversität zu beobachten. So schreiben manche Befundende von eindeutig freier Flüssigkeit, während nachfolgende Untersuchungen einen Tag später keine freie Flüssigkeit mehr feststellen und umgekehrt. Eine Dissertation am UKR von Schütz 2012 ermittelte retrospektiv die therapeutische Konsequenz von Ultraschallbefunden am UKR allgemein. Er kam zu dem Schluss, dass in nur 6,2 % aller Fälle keine adäquate Abklärung aufgrund eines pathologischen Sonographiebefundes durchgeführt wurde. In 74,9% der Fälle wurde der Befund als nicht weiter abklärungsbedürftig klassifiziert oder war durch Begleitumstände erklärbar, in 18,7% der Fälle erfolgte eine Abklärung oder wurde zumindest im Entlassbrief empfohlen. Der Autor sah jedoch durch eine Standardisierung der Formulierungen in den Untersuchungsbefunden noch deutliches Verbesserungspotential.⁷⁵

Des Weiteren besteht in dieser Arbeit eine grundlegende Einschränkung bezüglich der Dunkelziffer von nicht dokumentierten KAS. Als Grundlage der zentralen Fragestellungen wird vorausgesetzt, dass jede Untersuchung im Klinikinformationssystem dokumentiert ist. Die KAS wird – wie schon erwähnt – von einem zentralen Sonographiedienst des Hauses durchgeführt. Durch den „Konsil-Charakter“ dieser Dienstleistung ist davon auszugehen, dass die Befunde zuverlässig und zeitnah dokumentiert werden. Dieser Umstand trägt unter anderem zu der Annahme bei, dass die Forschungsfrage suffizient beantwortet werden kann. In der Realität wird aber eine nicht genau zu bestimmende Anzahl an Ultraschalluntersuchungen direkt vom ärztlichen Personal auf der Intensivstation durchgeführt – zum Teil ohne Dokumentation – welche aber den Verlauf des Patienten entscheidend beeinflussen können.⁸⁴ In einem freiwilligen Peer Review zur Qualitätsverbesserung auf Intensivstationen von Kumpf et al. 2014 wurden als größte Schwachstellen die Themen Dokumentation/Reporting, Hygiene und Ethik erkannt. In der Studie wurden 22 deutsche Intensivstationen mit insgesamt mehr als 300 Patientenbetten freiwilligen Peer Reviews unterzogen und die Ergebnisse aus den Berichten und Rückmeldungen der besuchten Intensivstationen analysiert und veröffentlicht.⁸⁴ Auch diese, nur durch ergänzende Dokumentation oder prospektives Studiendesign zu erhebende Dunkelziffer, stellt einen Störfaktor der Ergebnisse dieser Arbeit dar.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Betrachtung von Laborparametern, die hier absichtlich nicht vorgenommen wurde, da aus den vorliegenden Datenbanken nur der initiale Hämoglobinwert im Schockraum und auf der Intensivstation dokumentiert ist. Eine Verlaufsbeobachtung und

Korrelation zur OP sind demnach nicht möglich. Erwähnenswert ist dies trotzdem, da Laborwerte neben den bildgebenden Verfahren in der Zusammenschau gemeinhin ausschlaggebend sind, um eine OP-Indikation zu stellen.⁶⁷ Auch hier würde vornehmlich ein prospektives Studiendesign Sinn ergeben, da somit direkt in den Entscheidungsprozess eingesehen werden kann und die Gewichtung der Parameter bei der Therapiefindung im Gespräch mit den behandelnden Ärzten evaluiert werden könnte. Nur so ließe sich die Auswirkung der Exposition „KAS“ auf die mögliche Folge „Intervention“ exakt bestimmen.⁸⁵

Trotz dieser Limitationen können die Forschungsfragen mit dem vorliegenden Studiendesign auf Grund der großen Anzahl an Fällen und Befunden adressiert werden.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Für diese Arbeit wurde das bestehende Traumaregister am UKR mit Daten aus dem Klinikinformationssystem ergänzt und anschließend analysiert. Der vorliegende Auszug des Traumaregisters führt Patientendaten von 2007 bis 2016. Daraus wurden dann schließlich 1026 schwerverletzte Patienten identifiziert, die sich für eine nähere Betrachtung eignen.

5.2.1 Studienpopulation und Unfall

Zeitliche Verteilung, Verletzungs- und Unfallmuster

Das Schockraum-CT wurde mit einem Mittelwert von 24,3 Minuten nach Eintreffen im Schockraum relativ zeitnah durchgeführt. Ein Vergleich mit einer Arbeit von 2012 aus Kiel zeigt einen Durchschnitt von 22 Minuten.⁸⁶ Die KAS ereignet sich durchschnittlich nach 10,0 Stunden, die maximale Zeit bis zum ersten dokumentierten Kontrollultraschall innerhalb der Einschlusskriterien ist 46,6 Stunden. Die per Definition validen Kontrollen sind ausschließlich im 48-Stunden Fenster verortet. Nach diesem Zeitfenster muss davon ausgegangen werden, dass die durch das initiale Trauma entstandene Blutung, freie Flüssigkeit oder Transsudat durch resorptive Prozesse, Verlagerung oder Gerinnung soweit verringert wurden, dass eine sichere Identifikation mit dem Ultraschall nicht mehr möglich ist.^{11,12}

Volker führte dazu 2016 eine Arbeit zum Thema peritonealer Barrieren durch und nennt eine maximale Resorptionskapazität von 30-60 ml/h.¹¹ Bei einer angenommenen Flussrate von 50 ml/h wären das 1000 ml in 20 Stunden und 2400 ml in 48 Stunden. Bei einem Zustand nach Verletzung verringert sich jedoch diese Rate durch Adhäsionen sowie Heilungs- und (narbige) Umbauprozesse während der ersten fünf bis zehn Tage.¹¹ Aus den Sonographiebefunden ist bekannt, dass die freie Flüssigkeit entweder als Flüssigkeitssaum um die Organe mit einer Spanne von wenigen Millimetern von bis zu 1,5 Zentimetern beschrieben wird oder als solitäre Raumforderung von wenigen Zentimetern. Nach einer Arbeit von Ambacher et al. zur systematischen sonographischen Diagnostik des Abdomens bei Traumapatienten gilt als Faustregel, bei einem Flüssigkeitssaum von >1cm Dicke an drei verschiedenen Stellen die Annahme einer Gesamtmenge von mindestens 1000 ml.³⁹ Eine annähernd kugelförmige, flüssigkeitsgefüllte Raumforderung hat nach der Volumenformel $V[mL] = \frac{4}{3}\pi r^3[cm] = \frac{1}{6}\pi d^3[cm]$ ⁸⁷ bei üblichen Größenangaben von z.B. 3 cm Durchmesser ca. 15 ml und bei 7 cm 180 ml Inhalt. Zusammengefasst ergeben sich damit in fast allen Fällen (Kugelförmig, Saumförmig) geschätzte Flüssigkeitsmengen von weniger als 2000 ml, womit die Annahme bestätigt sein sollte, dass nach 48 Stunden nicht mehr mit relevanter freier Flüssigkeit durch das initiale Trauma zu rechnen sei. Eine ähnliche Arbeit zu diesem Thema von Busse et al. von 2015 definiert ein 24-Stunden-Fenster als Zeitgrenze ihrer Ultraschallkontrollen. Die Patienten daraus hatten allerdings als Voraussetzung keine parenchymatösen Verletzungen oder initial

freie Flüssigkeit.³⁷ Andere Arbeiten, die sich nicht speziell mit dem Kernthema befassen, berichten von Kontrollsonographien in einem Zeitraum von ca. 6-24 Stunden.^{27,29,35,88} Durch die eben genannten Überlegungen wäre nach Meinung der Autoren in dieser Arbeit ein Nachbeobachtungszeitraum von 48-Stunden gerechtfertigt. Nimmt man nun die 48-Stunden-Kohorte aus der Studienpopulation berechnet sich ein Mittelwert von 10 Stunden und ein Median von 6,8 Stunden (7,5 Stunden bei >48h).

Bei der Verteilung der Verletzungen fällt auf, dass die Abdominalverletzung im Vergleich zu anderen Verletzungen bei Polytraumata eher eine seltenere Entität ist. Nach den häufigsten – Kopf, Thorax, Extremitäten und Weichteile – kommt die Abdomenverletzung mit 7,2% erst an 5. Stelle. Dies scheint plausibel, stellt man einen Vergleich mit der DGU an, bei denen eine Abdominalverletzung 2019 mit 12,1% ebenfalls an 5. und damit an letzter Stelle angegeben wird.³⁰ Insgesamt sind von allen Patienten im Regensburger Traumaregister 64,9% schwerverletzt ($ISS \geq 16$), davon haben 56,3% einen AIS-Abdomen = 0 (abdominell nicht verletzt). Bemerkenswert ist allerdings die Aufteilung der Kontrollsonographien. Erwartet wurde eine vermehrte Verteilung der KAS zugunsten der abdominell schwerverletzten Patienten. Von den 566 schwerverletzten Patienten ohne abdominelles Trauma haben 237 (41,9%) eine KAS erhalten. Dagegen sind bei den 460 schwerverletzten Patienten mit abdomineller Verletzung nur 306 (66,5%) KAS durchgeführt worden. Bei der Kohorte mit einem AIS-Abdomen ≥ 2 – also abdominell schwer Verletzten – ist nur bei 297 von 443 Patienten (67%) eine KAS durchgeführt worden. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass bei 33,0% ($n=146$) der Patienten mit schwerer abdomineller Verletzung kein KAS durchgeführt oder nicht dokumentiert wurde. Wie schon in 5.1 erläutert ist mit einer hohen Dunkelziffer an nicht dokumentierten KAS auf der Intensivstation zu rechnen. Dieser Umstand ist sicherlich diskussionswürdig, da hier Ressourcen besser umverteilt oder Sonographien konsequenter dokumentiert werden könnten.

5.2.1.1 Hypothese I

Im folgenden Absatz wird die Hypothese **H-I: „Das untersuchte Patientenkollektiv unterscheidet sich nicht von der Gesamtpopulation“** diskutiert.

Demographie und Geschlechtsspezifische Verteilung

Die deskriptive Statistik der Lagemaße der eingeschlossenen Kohorte volljähriger Patienten deckt sich weitestgehend mit denen der im TraumaRegister der DGU® veröffentlichten Daten. Es lässt sich daher annehmen, dass die Studienpopulation mit der Grundgesamtheit in etwa übereinstimmt. Die Patienten dieser Arbeit sind im Mittel 46,15 Jahre, haben einen Median von 44,5 Jahren, 75% sind männlich, der ISS ist im Mittel 23,9 und die Gesamtmortalität beträgt 17,8%. Die DGU gibt die Kohorte mit einem Mittelwert der letzten 10 Jahre von 50,9 Jahren, einem Anteil von 70% Männern, einem mittleren ISS von 17,8 und einer Gesamtmortalität von 10,8% an.³⁰ Damit sind die Regensburger Patienten im Mittel um etwa 5 Jahre jünger und der ISS sowie die Mortalität sind um ca. 6 bzw. 7% höher als in der Allgemeinbevölkerung. Als Ursache wird hier der höhere Case-Mix-Index in Regensburg vermutet, welcher mit 2,02 an der Spitze der deutschen Universitätsklinika liegt.¹⁶ Der Durchschnitt bayerischer Krankenhäuser beträgt zum Vergleich nur 1,08.⁶⁶ Insgesamt entspricht die Population der durch den höheren CMI leicht veränderten Allgemeinheit und lässt daher eine zuverlässige Aussage über die Forschungsfragen zu. **Die Hypothese H-I kann damit bestätigt werden.**

5.2.2 Bildgebende Verfahren

Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST)

Bei der FAST-Sonographie fällt die gering berechnete Sensitivität auf. Bei lediglich 42% korrekt positiv erkannten Fällen werden damit über die Hälfte der Patienten mit FF im Abdomen verkannt. Vergleichende Literatur von Geyer et al. von 2010 zum Stellenwert der Sonographie in der frühen Versorgung traumatisierter Patienten gibt eine Sensitivität der FAST von 64-98% an. Die Autoren berichten allerdings auch, dass mindestens 50-200 ml an Flüssigkeit vorliegen müssen, um diese sicher erkennen zu können und dass die Aussagekraft von Organläsionen nach Trauma durch die FAST sehr limitiert ist. Steitz (2013) nennt sogar ein nötiges Volumen von 200-500 ml zum Nachweis freier Flüssigkeit.²² Demzufolge werden Organverletzungen regelmäßig nicht oder nur unzureichend erkannt, wenn daraus nur geringe Mengen freier Flüssigkeit entstehen oder sie nicht zu einer Blutung in den Bauchraum führen.⁸⁹ Milkau et al., die sich 2018 mit der Point-of-care-Sonographie des Abdomens in der Notfall- und Intensivmedizin befassten, postulieren im Gegensatz dazu, dass die Frage nach intraabdomineller Flüssigkeit auch bei geringer Expertise des Untersuchers anhand weniger Standardschnitte mit hoher Sensitivität (73-100%) und Spezifität (94-100%) zu beantworten sei.⁹⁰ Geyer et al. berichtet hier von einer Spezifität von 86-100%.⁸⁹ Die - aus den in dieser Arbeit vorliegenden Daten - berechnete Spezifität erreicht einen Wert von 92,0% und liegt damit in etwa im erwarteten Bereich. Die geringe Sensitivität in dieser Arbeit wird zum einen dem alten Ultraschallgerät im Schockraum, welches bereits ausgetauscht wurde, und zum anderen der damals noch fehlender Ultraschallausbildung der im Schockraum tätigen Chirurgen zugeschrieben. Ergebnisse aus dieser Arbeit haben unter anderem dazu geführt, dass alle chirurgischen AssistenzärztInnen im Rahmen des Schockraumtrainings einen eigenen eFAST Kurs mit einer Mindestanzahl an durchzuführenden Untersuchungen absolvieren müssen. Somit kann die Sensitivität signifikant gesteigert werden.⁹¹

Kontrollabdomensonographie (KAS)

Es gibt prinzipiell zwei grundlegende Herangehensweisen für die Indikation einer KAS. Zum einen, falls ein begründeter Verdacht auf FF besteht (1) (FAST positiv, CT positiv, schweres abdominales Trauma) zum anderen als Routine-Verlaufskontrolle ohne Verdacht auf FF intraabdominell bei polytraumatisierten Patienten (2).

Der zweite Punkt (2) stellt sich in der Literatur als überwiegend positiv bewertet dar. Viele Autoren kommen zu dem Schluss, dass eine Routine-Sonographie Vorteile gegenüber anderen Bildgebenden Verfahren hat. Dazu zählen die schnelle und ubiquitäre Verfügbarkeit, die einfache Handhabung, die kurze Untersuchungszeit und Nichtinvasivität, die Möglichkeit einer dynamischen Untersuchung, die fehlende Strahlenbelastung und beliebige Wiederholbarkeit sowie die geringen anfallenden Kosten.^{6,18,39,80} Vor allem letzteres wird in einigen wenigen Arbeiten kontrovers diskutiert. Hinsichtlich der Kosten kommt Maurer et al. in einer Arbeit von 2012 zu dem Schluss, dass die KAS bemessen an der Aussagekraft und diagnostischen Relevanz bei initial negativ FF im CT relativ teuer und aufwändig ist.²⁵ Die bei Maurer ermittelten durchschnittlichen Kosten einer Ultraschalluntersuchung von 28,93€ sind verglichen mit anderen Arbeiten noch konservativ geschätzt. Die Kosten für eine Ultraschalluntersuchung sollen im Allgemeinen unterschätzt werden und belaufen sich nach Nürnberg und Schuler et al. in Summation aller Faktoren (Personal, Geräte, Betriebsmittel) im Mittel auf etwa 41€. ^{92,93} Bühne et al. folgerte, dass ohne initialen Verdacht auf freie Flüssigkeit intraabdominell Folgeuntersuchungen generell nur bei einer sehr geringen Anzahl an Patienten zu therapeutischen Konsequenzen führten.⁷¹ Die berechnete Gesamt-Sensitivität (72,8%) und -Spezifität (78,9%) der KAS in dieser Arbeit sind verglichen mit der Literatur eher an der Untergrenze der Statistik zu finden.^{31,42} Eine OP-Indikation aufgrund der Nachkontrolle unterstellen zu können, ist eine Seltenheit (siehe im Ergebnissteil 4.2.2). Dennoch wird die KAS

im allgemeinen Konsens in der Literatur als preisgünstig und effizient beschrieben.^{6,18,39,80} Dies deckt sich auch mit der klinischen Erfahrung am UKR. Durch geringen Aufwand kann hier ein erheblicher Zusatznutzen für einige wenige Patienten erzeugt werden. Folglich wurde in dieser Arbeit in insgesamt 3 Fällen aus dem Beobachtungszeitraum eine mögliche OP-Indikation gestellt und der Verlauf durch die KAS mutmaßlich entscheidend beeinflusst. Zudem gibt es eine nicht zu bestimmende Dunkelziffer von direkt vom ärztlichen Personal auf der Intensivstation durchgeführten und nicht dokumentierten Untersuchungen, die möglicherweise verlaufsentscheidend waren.⁸⁴ Eine Sondersituation stellen auch Patienten mit nicht vorliegender Abdomensequenz im initialen CT (kein Polytrauma-CT) dar. Dies kann der Fall sein, bei ISS < 16 und dominierendem cranialen, thorakalen oder auf die Extremitäten gerichteten Fokus oder bei Zuverlegungen aus anderen Häusern. Auch hier kann eine Ultraschallkontrolle den Status des Patienten vervollständigen und in begründeten Einzelfällen richtungsweisend sein.⁵

Dies führt zu dem Schluss, dass die KAS ohne initialen Verdacht auf FF intraabdominal eine sinnvolle Ergänzung der Diagnostik darstellen kann. Mit geringem Aufwand und schneller Verfügbarkeit kann bei einigen wenigen Patienten ein lohnender Zusatznutzen entstehen.

Im erstgenannten Fall (1) scheint die KAS intuitiv eine sinnvolle Ergänzung der Diagnostik zu sein, jedoch sollte der Stellenwert neben anderen Parametern (CT, Labor, etc.) diskutiert werden. Generell zu erwähnen ist, dass bei positivem CT- oder FAST-Befund ein falsch positives Ergebnis aus klinischer Sicht nahezu ausgeschlossen ist.^{18,23,41,42} Eine Ultraschallkontrolle wäre hier prinzipiell sinnvoll, um die Menge freier Flüssigkeit im Verlauf beobachten zu können.³⁹

Im Folgenden werden die im Kapitel 2 formulierten **Hypothesen II – V** und die Fragestellungen einzeln evaluiert und bewertet.

5.2.2.1 Hypothese II

Wie schon bei der Diskussion der Methoden erläutert, wären einige Fragestellungen besser in einer prospektiven Studie zu beantworten gewesen. Dazu zählt auch die zweite Hypothese **H-II: „Es wird eine relevante Anzahl an Blutungen in der Kontrollabdomensonographie detektiert, die im Abdomen-CT unauffällig waren oder initial kein Abdomen-CT bekommen haben“** und auch die **Frage 1:** „Werden Blutungen durch die Kontrollabdomensonographie detektiert, die im CT unauffällig waren, und wenn ja wie viele?“ sowie **Frage 2:** „Welche Konsequenz hat die Kontrollabdomensonographie (sowohl bei primären als auch sekundären Blutungen) auf die weitere Therapie und was wäre, wenn die Kontrollabdomensonographie weggelassen würde?“. Die Hypothese II sowie Fragestellungen 1 und 2 zielen auf die Indikationsstellung zur Operation durch die KAS ab und stellen somit das zentrale Thema dieser Arbeit dar. Da eine definitive Indikationsstellung zur OP nur durch eine prospektive Studie gesichert werden könnte, wurden die Forschungsfragen auf eine retrospektiv beantwortbare Formulierung geändert.

Dies ist darin begründet, dass man zwar eine dokumentierte Operation nach positiv freier Flüssigkeit in der KAS als potenzielle Folge dieser werten kann, aber meist nicht als monokausale Ursache. Nach Mirow et al. 2015 und Alsfasser et al. 2020 gehört die Ultraschalluntersuchung beim akuten und subakuten/unklaren Abdomen zwar neben Laboruntersuchung und Röntgen zu den obligaten First-Line-Therapien und ist bei einem konservativen Therapiekonzept oft ausreichend. Bei Verdacht auf ein operationswürdiges Geschehen ist jedoch meist eine Computertomographie, Endoskopie, Angiographie oder

letztlich eine diagnostische Laparoskopie nötig.^{94,95} Ein einheitliches Indikations- oder Therapiekonzept existiert aufgrund der Vielfalt der dem akuten Abdomen zugrunde liegenden Erkrankungen, hausinterner Standards und diagnostischer Möglichkeiten nicht.^{94,95} Nach Bühne et al. 2001 ist die Sonographie hauptsächlich eine elegante Möglichkeit zur ergänzenden Diagnostik, welche – nach CT-graphischer Sicherung- zur Intervention führen kann.⁷¹ Eine kausale OP-Indikation lässt sich somit alleine durch die Sonographie nicht stellen. Die Konsequenz der KAS ist bei einem konservativen Vorgehen als Rechtfertigung der konservativen Therapie an sich und als Verlaufskontrolle zu sehen. Nach Hauser et al. 2016 wird bei perforierenden und penetrierenden Bauchtraumata in jüngster Zeit beim hämodynamisch stabilen Patienten wegen der Komplikationsgefahr einer unnötigen Laparotomie ein konservatives Vorgehen bevorzugt. Unterstützend kann hier die Sonographie verwendet werden. Die Grundvoraussetzung für ein nichtoperatives Vorgehen ist allerdings ein Abdomen-CT. Die KAS kann dann im Verlauf zur Beobachtung von aktiven Blutungszeichen, sich verändernden Flüssigkeitsspiegeln oder progredienten Perforationen eingesetzt werden.⁹⁶

Die komplexe Frage nach der Konsequenz des Weglassens der KAS ist also differenziert zu betrachten. Bei operativem Vorgehen würde ein Teil der „Basisdiagnostik“ wegfallen, welcher unter Umständen zur OP führt. Bei nicht operativem Vorgehen fiel ein Hauptteil der abdominalen Verlaufsbeobachtung von freier Flüssigkeit und Organverletzungen weg, die zur Beibehaltung des konservativen Vorgehens beitragen. Ob der Patient im Verlauf eine Intervention erfährt, ist aber zum Zeitpunkt der KAS noch nicht bekannt. Somit ist die KAS zum Untersuchungszeitpunkt je nach Befund beides: potenzielle OP-Indikation und Verlaufskontrolle. Eine KAS dient im Falle der Verlaufskontrolle auch als Absicherung gegen schlimmere Verläufe. Ein Weglassen würde damit zwar die potentielle OP-Indikation verhindern, jedoch entscheidend für die interventionelle Indikation sind immer noch CT, Laborwerte und der klinische Eindruck des Patienten.⁹⁴⁻⁹⁶ Ein Patient mit lebensbedrohlicher Blutung würde auch durch andere Merkmale auffallen (z.B. Tachykardie, Schockzeichen, Hb-Verlust) und einer entsprechenden Therapie zugeführt werden. Wie im Ergebnisteil beschrieben wäre bei Weglassen der KAS bei einem Patienten mit negativ FF im CT-Befund und bei zwei, bei denen keine Abdomen-Sequenz durchgeführt wurde, eine Operation mutmaßlich nicht indiziert worden. Ob die Patienten zu einem späteren Zeitpunkt durch beschriebene Merkmale aufgefallen wären, bleibt Spekulation.

Es gibt insgesamt 78 Fälle mit der Kombination – initialer Abdomen-CT-Befund negativ und KAS positiv auf freie Flüssigkeit – aber nur einer davon wurde operiert. In diesem Fall war die KAS wahrscheinlich verlaufsentscheidend. Der Fall wird im nächsten Absatz detailliert dargestellt. Durch den Entscheidungsalgorithmus (EA, siehe 3.6), der weitere Parameter wie Traumabeschreibung, Lokalisation und AIS-Abdomen miteinbezieht, kann die Richtigkeit der KAS ohne konsekutive OP abgeschätzt werden. Dies kann allerdings nur als eine Annäherung an die Wahrheit verstanden werden. Der EA ist ein Schätzer, der die beschriebenen vorliegenden Informationen retrospektiv berücksichtigt. Eine Blutung oder FF könnte mit letzter Sicherheit nur durch eine Intervention gesichert werden. Durch den generellen Ausschluss aller KAS nach 48-Stunden bleiben 72 Patienten mit oben beschriebener Konstellation. Davon wurden 11 durch den EA als FF richtig positiv klassifiziert. Das sind 15,3% (11/72), in denen die KAS einer negativen initialen Abdomen-Computertomographie widersprach und möglicherweise damit richtig liegt. Durch das zumeist konservative Vorgehen ist die FF allerdings nur in einem Fall gesichert. Nachfolgend wird dieser Fall präsentiert. In allen anderen Fällen bleibt dies durch das limitierte Studiendesign Spekulation.

Patientenfall 1:

Ein 48-jähriger Patient wurde von einem PKW angefahren. Mit einem ISS von 33 wurde er am Aufnahmetag nach blandem FAST und initialem Polytrauma-CT (Schädel und Hals ohne Kontrastmittel, Thorax, Abdomen und Becken mit Kontrastmittel) ohne abdominelle freie Flüssigkeit stationär aufgenommen. Führende Verletzungen waren primär eine Beckenringsprengung Typ B und eine offene Unterschenkeltrümmerfraktur III°. Die Kontrollsonographie nach 3,2 Stunden beschreibt deutlich perihepatisch freie Flüssigkeit und eine intrahepatische Raumforderung. Der Patient zeigte sich kreislaufinstabil sowie katecholamin- und volumenpflichtig. Es wurden zwei EKs transfundiert. Nach steigendem Noradrenalin-Bedarf und einem Hb-Abfall von 9,2 auf 4,9 g/dl sowie deutlicher Zunahme der Schwellung im Beckenbereich wurde eine notfallmäßige Becken-OP geplant. Eine erneute KAS nach 8,5 Stunden zeigte eine Zunahme der freien Flüssigkeit perihepatisch. Durch die Zunahme der FF sowie die Kreislaufinstabilität wurde auch die Indikation zur explorativen Laparotomie gestellt. Im unmittelbaren Verlauf wurde der Patient dann operativ am Beckenring - bei massiver aktiver Blutung - stabilisiert und im Anschluss laparotomiert. Intraoperativ zeigte sich ca. 750 ml altes Blut oberhalb der Leber – ohne Hinweise auf Leberruptur. Des Weiteren zeigte sich am Colon ascendens eine „markstückgroße“ eingeblutete Deserosierung, welche übernäht wurde.

Dieser Fall stellt einen schlüssigen Handlungsstrang aufgrund der Befunde dar. Somit wurde hier wahrscheinlich eine intraabdominelle Nachblutung entdeckt, die sich erst im Verlauf demaskierte. Das bedeutet **Hypothese II kann als zutreffend diskutiert werden**, die Irrelevanz der Kontrollabdomensonographie ist damit widerlegt (Wiederlegung der Gegenhypothese/Beweis durch Kontraposition).⁹⁷ Aus insgesamt 570 initial negativen Abdomen-CT-Befunden, die das Einschlusskriterium erfüllen, ist letztlich eine davon als sicher falsch erkannt worden. Das entspricht 0,18% (1/570) der Fälle. Nimmt man die durch den EA als falsch klassifizierten Fälle hinzu, käme man auf 1,9% (11/570). Die Frage, ob bei zuletzt genannter Kohorte der Ultraschallbefund weiteren Schaden abgewendet hat – trotz fehlendem Interventionsbedarf - kann nicht eindeutig beantwortet werden. Unklar bleibt aber, ob eine positive KAS möglicherweise eine erhöhte "Wachsamkeit" nach sich zieht. Dies wäre sowohl positiv im Sinne einer Risikominimierung als auch negativ im Sinne eines unnützen Übermonitorings.

Die Konstellation – fehlende Abdomen-CT Sequenz im Polytrauma-CT am UKR und positiv freie Flüssigkeit (vor OP) im Kontrollultraschall – ist bei 19 Patienten festzustellen. Wie bereits beschrieben, kann dies der Fall sein bei Zuverlegungen aus anderen Häusern oder bei initial nicht klassifiziertem Polytrauma (der ISS wird retrospektiv bei Entlassung festgelegt). Dabei sind wieder nur diejenigen Patienten gezählt worden, bei denen im Falle einer OP die KAS vor dieser durchgeführt worden ist. Bei 17 Patienten wurde ein konservatives Vorgehen gewählt, zwei wurden operiert. Bei den 17 konservativ geführten Patienten wurde bei vier FF im FAST festgestellt, bei zwei wurde keine FAST durchgeführt. Bei den 2 operierten Patienten war in beiden Fällen die FAST negativ. Diese Fälle werden im Folgenden exploriert.

Patientenfall 2:

Ein 58-jähriger Patient wurde aus einem externen Krankenhaus, mit dort gefahrenem Abdomen-CT, zuverlegt und am selben Tag nach einem Einriss der linken Niere durch einen Sturz aus neun Meter Höhe interventionell embolisiert. Die Sonographie am Folgetag zeigt perihepatisch und peripankreatisch freie Flüssigkeit. Zwei Tage später erfolgte eine Nephrektomie. Wieder zwei Tage später wurde in einer ERCP ein Stent in das Pankreas eingesetzt.

Patientenfall 3:

Ein 62-jähriger Patient wurde nach einer Kollision mit einem LKW bei thorakalem und auf die Extremitäten gerichteten Verletzungsfokus aufgenommen. Hierbei zog er sich eine HWK 6/7-Fraktur zu. Zur Kontrolle abdomineller Verletzungen wurde eine KAS durchgeführt, bei der ein Flüssigkeitssaum am Milzhilus gesehen wurde. Insgesamt wurde der Patient am Aufnahme- und am Folgetag insgesamt 5-mal durch eine KAS bei V.a. Milzeinriss kontrolliert. Dabei wurde zuletzt eine gleichbleibende oder regrediente FF an Milz, Leber und im Unterbauch dokumentiert. Der Hb fiel im stationären Verlauf innerhalb von vier Tagen sukzessive von 15,1 auf 10,8 g/dl. Der hämodynamisch stabile Patient wurde zu keinem Zeitpunkt transfundiert. Am fünften Tag nach Aufnahme wurde der Patient splenektomiert. Die OP-Indikation wurde laut OP-Bericht aufgrund des „großen Ruptur-Risikos“ gestellt.

Im Patientenfall 2 wurde die Abdomen-CT auswärts durchgeführt, die den Befund an der Niere beschrieben hatte. Die Sonographie war demnach nur eine Verlaufskontrolle, die trotzdem potenziell therapieentscheidende Auswirkungen hatte. Interessanter ist Patientenfall 3, bei dem keine Abdomensequenz im CT gefahren wurde. Die KAS hat hier wahrscheinlich – nach repetitiver Untersuchung – neben Laborparametern und individueller Abwägung mit zur Operationsindikation beigetragen.

Somit ergeben sich aus der Analyse aller Daten drei relevante Fälle im Zeitraum von etwa neun Jahren, bei denen die KAS den Verlauf entscheidend geändert haben könnte. In zwei Fällen wurde dem Abdomen-CT-Befund widersprochen, im dritten Fall wurde keine Abdomen-CT-Aufnahme durchgeführt.

5.2.2.2 Hypothese III

Durch die Auswertung aller Befunde können auch die weiteren Fragen und Hypothesen, die aus generellem Interesse formuliert wurden, beantwortet werden. Dazu wurden die Parameter für die Hypothese **H-III: „Freie Flüssigkeit ist in der Kontrollabdomensonographie mit hoher Sensitivität sichtbar“** berechnet. Die Metriken wurden aus den Vierfeldertafeln, die in 4.2 **Analyse der bildgebenden Verfahren** zu sehen sind, berechnet. Die Bewertungsgrundlage ist der Entscheidungsalgorithmus. Damit ergeben sich für die vorliegenden Daten folgende Ergebnisse:

- Sensitivität: 0,73
- Spezifität: 0,79
- positiv prädiktiver Wert: 0,60
- negativ prädiktiver Wert: 0,87

Die Sensitivität ist mit 73%, die Spezifität mit 79% errechnet. Vergleiche mit der Literatur zeigen, dass die Sensitivität leicht unter dem erwarteten Wert liegt, die Spezifität liegt im erwarteten Bereich. In einer großen Übersichtsarbeit von Stengel et al. aus dem Jahr 2003 in der 46 Studien zusammengefasst wurden, wurde eine Sensitivität von 77 - 96% und eine Spezifität von 71 – 100% für freie Flüssigkeit angegeben^{31,42}. Aus der Gesamtbetrachtung ergibt sich also, dass die Sensitivität nicht den durchschnittlichen Wert aus der Literatur erreicht, mit 73% jedoch nach Meinung der Autoren ausreichend hoch liegt um als „hohe Sensitivität“ eingestuft zu werden. **Hypothese III kann damit weitestgehend als zutreffend betrachtet werden.**

5.2.2.3 Hypothese IV

Durch die umfangreiche Datenauswertung aus dem Traumaregister aller Fälle ist auch die Hypothese **H-IV: „Ein positiver Kontrollsonographie-Befund ist signifikant mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität assoziiert“** beantwortbar. Die Hypothese zielt darauf ab, ob man die KAS auch als Outcome-Prädiktor nutzen könnte. Würde dies zutreffen, könnte man bei einem positiven KAS-Befund – mit dem Wissen einer höheren Mortalität oder Morbidität – eine höhere „Wachsamkeit“ erzeugen und gegebenenfalls einen längeren intensivmedizinischen oder stationären Aufenthalt rechtfertigen.

Hierfür wurde ein Subgruppen-Vergleich der Gruppen KAS-positiv / KAS-negativ mittels Chi²-Test durchgeführt. Dann wurden die Gruppen hinsichtlich verschiedener Outcome-Parameter der Morbidität und Mortalität verglichen. Bei der Mortalität zeigte sich keine Abhängigkeit vom KAS-Befund, die Signifikanz war allseits deutlich über dem Alpha-Fehler von 5 % (min. 24%), die Korrelation nach Pearson sehr gering ($< 0,054$). Bei der Morbidität waren zwar die mittleren Aufenthaltsdauern bei KAS-positiv im Krankenhaus und auf der Intensivstation im Mittel um über 2 Tage länger, es zeigte sich jedoch keine signifikante Abhängigkeit im Chi-Quadrat-Test oder Korrelation nach Pearson zum KAS-Befund. Es zeigte sich allerdings die mittlere Anzahl der EK-Gaben um 0,77 und die der FFP-Gaben um 1,43 erhöht bei positivem KAS-Befund. Der Zusammenhang war auch im Chi²-Test signifikant. Aus den Daten zeigte sich, dass der KAS-Befund nicht suffizient als Outcome-Prädiktor für die Mortalität eingesetzt werden kann. Es besteht jedoch ein geringer, aber signifikanter Zusammenhang erhöhter Transfusionen von Blutprodukten. In einer Arbeit von Fischer wurde bestätigt, dass die EK-Menge nach einem Polytrauma mit Abdominalverletzung einen unabhängigen und signifikanten Prädiktor der Mortalität darstellt.⁹⁸ Auch eine Arbeit von Pape et al. kam zu dem Schluss, dass sich Erythrozytentransfusionen bei Schwerverletzten als unabhängige Prädiktoren für Letalität und die Entwicklung eines Multiorganversagens herausgestellt haben.⁴⁰ Durch den indirekten Zusammenhang (KAS $\rightarrow$ signifikant erhöhte EK/FFP-Gaben $\rightarrow$ erhöhte Mortalität) könnte auch eine erhöhte Mortalität bei positivem KAS-Befund unterstellt werden. Da der Zusammenhang jedoch als gering einzuschätzen ist und der direkte Zusammenhang nicht signifikant ist, ist der KAS-Befund als Outcome-Prädiktor wohl zu vernachlässigen. **Die Hypothese IV ist damit weitestgehend widerlegt.**

5.2.2.4 Hypothese V

Aus den Ergebnissen kann die **Frage 3: „Muss die Kontrollabdomensonographie in domo nach spätestens 6 Stunden durchgeführt werden oder reicht auch innerhalb von 24 oder 48 Stunden?“** und die daraus entwickelte Hypothese **H-V: „Der Zeitpunkt der Kontroll-Sonographie 6-24h nach Trauma ist nicht nachteilig im Vergleich zum Zeitraum 0-6h nach Trauma“** beantwortet werden. Das Vorgehen wurde ähnlich dem bei H-IV gewählt. Es wurden die Fälle zeitlich gruppiert in KAS- „0 bis 6 Stunden“ und „6 bis 24 Stunden“ und die Statistik mit Hilfe von Chi-Quadrat-Test und Korrelation nach Pearson hinsichtlich der Morbidität und Mortalität bewertet. Es ergibt sich zwar eine statistisch minimal erhöhte Sterblichkeit für 0-6 Stunden und eine längere Aufenthaltsdauer, vermehrte EK- und FFP-Gaben für 6-24 Stunden, im Chi-Quadrat-Test zeigt sich jedoch in allen Fällen keine signifikante Abhängigkeit vom KAS-Zeitpunkt. Somit hat der Zeitpunkt der KAS keine Relevanz hinsichtlich der Morbidität und Mortalität. Wie aus Abbildung 18 und Abbildung 19 zu entnehmen, wurde bei der Einzelfallbetrachtung eine zeitliche Gruppierung in [0-12[, [12-24[und [24-48] vorgenommen. Hier ist ebenfalls keine Abhängigkeit vom Sonographiezeitpunkt und der Therapierelevanz ersichtlich. **Hypothese V ist damit bestätigt.**

5.3 Schlussfolgerung

Alle Erwägungen zusammenfassend kann man folgende Gedanken schlussfolgern und diskutieren. Die Aussagekraft dieser Arbeit ist als zufriedenstellend zu bezeichnen. Das Patientenkollektiv stellt einen validen Auszug aus der Gesamtpopulation dar (**H-I**), die Anzahl der Datensätze ist durch den langen Beobachtungszeitraum von 9 Jahren beträchtlich im Vergleich zu anderen Arbeiten.^{25,27,28,37,47,72,73,99}

Auch die ermittelte Qualität der KAS am UKR ist vergleichbar mit den Metriken der Literatur (**H-III**).^{31,82} Nach Analyse des Zeitpunktes der KAS ist der relevante Anteil innerhalb von 48 Stunden – und damit im unmittelbaren Zusammenhang zum Trauma - durchgeführt worden. Eine Subgruppenanalyse der Zeiträume 0-6 h und 6-24 h erbrachte keine signifikanten Unterschiede zur Morbidität und Mortalität (**H-V**). Somit kann der KAS insgesamt eine hohe und zeitlich konstante Aussagekraft unterstellt werden. Eine Eignung als Outcome-Prädiktor ist jedoch unwahrscheinlich. Es zeigte sich kein signifikant statistischer Zusammenhang zwischen positiven KAS-Befund und der Morbidität und Mortalität (**H-IV**).

Generell kann man folgern, dass eine Ultraschalldiagnostik über die e-FAST-Sonographie hinaus beim schwerverletzten Patienten sinnvoll sein kann. In jedem Fall eignet sich die KAS als Verlaufskontrolle bei freier Flüssigkeit und (initial) konservativer Therapie. Die Studie zeigt überdies, dass bei initial negativem oder nicht durchgeführtem CT die Sonographiekontrolle im Einzelfall vorhandene freie Flüssigkeit therapieentscheidend detektieren kann. Diese Situation könnte physiologisch entstehen, falls die durch das initiale Trauma entstandene Blutung erst im späteren Verlauf auftritt. Gründe hierfür können beispielsweise eine gedeckte Perforation, Gerinnungsprozesse oder hämodynamische Stabilisierung sein. Zudem ist ein initial falsch negativer CT-Befund denkbar. Die mutmaßliche Interventionsindikation durch eine positive KAS liegt in dieser Arbeit bei drei von 351 Fällen (0,9%) und ist somit als relevant zu erachten (**H-II**). Zudem könnte diese Maßzahl durch die diskutierte Dunkelziffer an nicht dokumentierten Sonographieuntersuchungen direkt auf der Intensivstation noch höher liegen. Ob die beschriebenen Einzelfälle auch ohne KAS aufgefallen wären, lässt sich rückblickend nicht mehr nachvollziehen, letztlich ist die Therapiefindung multifaktoriell (Vitalparameter, Labor, CT, klinischer Eindruck) und nicht nur von einem Parameter abhängig. Dies könnte zweifelsfrei nur durch ein prospektives Studiendesign erfasst werden. Der KAS kann jedoch im Einzelfall eine potenziell lebensrettende Rolle unterstellt werden. Jedoch bleibt zu diskutieren ob die KAS zur Gesamteinschätzung beiträgend der hauptausschlaggebende Parameter ist oder ob andere wichtige Werte, die in dieser Studie nicht miteingeschlossen wurden, einen größeren Beitrag zur Therapiefindung leisten. Andererseits wäre es sogar denkbar, dass die Anzahl der kritischen Funde durch den umfassenderen Einsatz dieser Untersuchung (nur ca. 67% aller abdominal Schwerverletzten bekommen eine KAS) noch gesteigert werden könnte. Auch zu diskutieren ist, inwiefern die KAS-Untersuchung im Vergleich "Kurzlieger vs. Langlieger" sinnvoll ist. Patientin, die ohnehin längere Zeit stationär mittels Monitor und BGA-Kontrollen überwacht werden (vor allem schwerverletzte), brauchen möglicherweise nicht unbedingt eine Kontrollsonografie, wohingegen Patienten, die kurze Zeit nach Aufnahme bereits entlassen werden - also vor allem Patienten, die keine offensichtlichen und stationär behandlungsbedürftigen Verletzungen haben - oder entlassen werden sollen, von einer Kontrollsonografie eher profitieren würden, da eine sekundäre Nachblutung im ambulanten Bereich kritischer ist (weil unbemerkt). Letzten Endes ist es schwer abzuschätzen, wie groß der tatsächliche Einfluss der KAS auf den Verlauf wirklich ist.⁶⁶

Die Abdomen-Kontrollsonografie findet in der Literatur einen hohen Stellenwert: sie ist schnell und vielerorts verfügbar, hat keine Strahlenbelastung und kann daher beliebig oft wiederholt

werden und die zusätzlich anfallenden Kosten werden in den meisten Arbeiten als gering beschrieben.^{6,18,25,39,80,92,93}

Um den diskutierten Limitationen der Arbeit zu begegnen wäre eine multizentrische (Meta)Analyse denkbar. Dabei sollte die Patientenzahl erhöht werden und eine Kontrolle von Störfaktoren vorgenommen werden.^{70,100} Auch ein prospektives Studiendesign wäre in zukünftigen Arbeiten zu erwägen, hier wäre jedoch eine Aufteilung in Interventions- und Kontrollgruppe ethisch schwierig zu begründen.⁷⁶ Eine definitive Aussage über den Stellenwert zur OP-Indikation ist damit schwer zu treffen, da diese subjektiv ist und nur durch eine Kontrollgruppe letztlich geklärt werden könnte.^{22,32}

Schlussfolgernd bleibt die KAS am UKR als Klinik der Maximalversorgung mit wissenschaftlichem Auftrag nach subjektiver Indikation und individueller Abwägung fester Bestandteil der Polytraumaversorgung. Die strikte 6-h-Regelung kann hier jedoch verlassen und auf 24 Stunden ausgeweitet werden.

6. Zusammenfassung

In der Diagnostik und Versorgung von schwerverletzten Patienten ist die FAST-Sonographie seit der Ablösung der Peritoneallavage in den 90er Jahren ein fester Bestandteil internationaler Schockraumalgorithmen geworden.³⁶ Insbesondere die Polytrauma-CT hat hier wegen ihrer Schnelligkeit und Genauigkeit in der initialen Phase einen zentralen Stellenwert erreicht.^{4,8,24} Bei der Erkennung von freier Flüssigkeit im Abdomen und Organläsionen wird sie als sogenannter Goldstandard gehandhabt, mit einer Sensitivität von 90-99% und einer Spezifität von annähernd 100%.^{4,9,24} Obgleich bei dieser Untersuchung durch ihre hohe Qualität und Standardisierung kaum Fehler unterlaufen, wird seit über eine Jahrzehnt am Universitätsklinikum Regensburg im stationären Verlauf eine Kontrollabdomensonographie (KAS) durchgeführt. Zweck dieser Befundung ist es nicht erkannte oder verzögerte Blutungen zu erkennen, im Verlauf zu kontrollieren und auf einen Interventionsbedarf hinzuweisen. Die KAS wird regelmäßig vom Sonographie-Dienst des Hauses – bestehend aus Chirurgen, Internisten und Radiologen – mit der Maßgabe "6 Stunden nach Schockraum" durchgeführt und dokumentiert.

Das Thema dieser Arbeit ist die Frage nach dem Stellenwert der KAS beim polytraumatisierten Patienten. Eine Literaturrecherche zum Thema ergab kein einheitliches Bild, die wenigen Arbeiten dazu sind nicht eindeutig.^{25,27,29,39,71–73,88,89} Die meisten Analysen beschränken sich entweder auf weniger als 100 Patienten oder schließen kategorisch Patientengruppen durch einen negativen oder positiven CT-Befund aus. Um die Forschungsfrage zu klären, wurde eine retrospektive monozentrische Datenanalyse durchgeführt, welche die Haupthypothese **H-II**: „Es wird eine relevante Anzahl an Blutungen in der Kontrollabdomensonographie detektiert, die im Abdomen-CT unauffällig waren oder initial kein Abdomen-CT bekommen haben“ eruieren soll. Dies zielt direkt auf eine potenzielle OP-Indikationsstellung ab. Des Weiteren wurde anhand der Daten das Patientenkollektiv mit der Gesamtpopulation verglichen (**H-I**), die Qualität der KAS statistisch bewertet (**H-III**), der KAS-Befund als Outcome-Prädiktor für Morbidität und Mortalität bewertet (**H-IV**) sowie eine Analyse des Zeitpunktes der KAS durchgeführt (**H-V**). Um diese Fragestellungen zu beantworten, wurden zwei Datenquellen fusioniert und maschinell sowie händisch bewertet und über einen Algorithmus ausgewertet. Die resultierenden Daten beinhalten alle in Regensburg aufgenommenen Polytraumapatienten im Zeitraum von September 2007 bis Dezember 2016. Aus diesen wurden dann die Basisdaten, alle dokumentierten CT- und Ultraschallbefunde, sowie die Diagnosen und Interventionen ausgewertet und statistisch mit der Software SPSS® interpretiert. Die bildgebenden Verfahren wurden dabei binär klassifiziert (ja/nein) auf das Vorhandensein von freier Flüssigkeit intraabdominell.

Hypothese I (Patientenkollektiv entspricht Gesamtpopulation) konnte bestätigt werden durch den deskriptiven Vergleich der berechneten Lagemaße mit denen der von der DGU® veröffentlichten Daten.

Hypothese II (Detektion von Blutungen in der KAS) kann als zutreffend angesehen werden. Insgesamt wurden 3 interventionspflichtige Fälle gefunden, bei denen der KAS eine mögliche OP-Indikation unterstellt werden kann.

Hypothese III (Hohe Sensitivität) kann unterstützt werden. Es ergibt sich eine Sensitivität von 73% und Spezifität von 79%.

Hypothese IV (KAS als Outcome-Prädiktor) wird nicht unterstützt. Ein positiver KAS-Befund geht nicht mit einer relevant erhöhten Mortalität oder Morbidität einher.

Hypothese V (Zeitpunkt der KAS) konnte belegt werden. Bezüglich des KAS-Zeitpunktes (0-6h vs. 6-24h) besteht kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Morbidität und Mortalität.

Zusammenfassend aus der Analyse der Ergebnisse und ihrer Diskussion ergibt sich folgende Quintessenz dieser Arbeit: Die KAS wird in der Literatur und klinischen Erfahrung am UKR überwiegend positiv dargestellt, einige Quellen diskutieren den Einsatz jedoch sehr kritisch. Sie eignet sich als Verlaufskontrolle bei konservativer Therapie und kann im Einzelfall verzögert aufgetretene oder initial nicht erkannte Blutungen therapieentscheidend detektieren. Die mutmaßliche Interventionsindikation durch eine positive KAS liegt in dieser Arbeit bei drei von 351 Fällen (0,9%) und ist damit als relevant zu bezeichnen. Zudem könnte diese Maßzahl durch nicht dokumentierte Untersuchungen auf der Intensivstation noch höher liegen. Am UKR als Klinik der Maximalversorgung mit wissenschaftlichem Auftrag bleibt die KAS aktuell nach subjektiver Indikation und individueller Abwägung fester Bestandteil der Polytraumaversorgung.

Summary

In terms of diagnostics and the treatment of seriously injured patients the FAST sonography has become a permanent part of the international algorithms for the emergency trauma room since the replacement of the peritoneal lavage in the 1990s.³⁶ Particularly, the polytrauma CT is of major importance in this context as it is fast and exact in the initial phase.^{4,8,24} Having a sensitivity of 90-99% and a specificity of nearly 100%, it is the so-called gold standard when it comes to the detection of free fluid in the abdomen and organ lesions.^{4,9,24} Although this examination is almost 100% reliable due to its high quality and standardization, an abdominal control sonography (ACS) during in-patient treatment has been performed at the university hospital in Regensburg for more than a decade. It is the purpose of this procedure to show undetected or delayed bleeding, to monitor its progression and to indicate a need for intervention. This follow-up sonography is regularly performed and documented by the sonography service of the hospital consisting of surgeons, medical doctors and radiologists.

The topic of this thesis is the question of how important the ACS is for a polytraumatized patient. The results of the literary research regarding this topic were not consistent and the few papers dealing with this topic are ambiguous.^{25,27,29,39,71–73,88,89} Most of the analyses are restricted to fewer than 100 patients or categorically exclude some patient groups via a negative or positive CT scan result. In order to answer the research question, a retrospective, monocentric data analysis was conducted that is supposed to determine the main hypotheses: **H-II** “A relevant number of bleeding cases is seen in a follow up-sonography, which were unremarkable in an abdominal CT or an abdominal CT was not performed in the first place. This leads to a potential indication for surgery. Furthermore, the patient collective was compared to the general population (**H-I**), the quality of the ACS was investigated (**H-III**), the ACS-result was examined as an outcome predictor for morbidity and mortality (**H-IV**), and the time of the ACS was analyzed (**H-V**). For that purpose, two data sources which include all polytrauma patients that were admitted to the university hospital in Regensburg between September 2007 and December 2016 were merged and automatically and manually assessed and evaluated via an algorithm. Then the basic data (age, date of admission, gender...), all documented CT scan and ultrasound results and the diagnoses and interventions were evaluated and statistically interpreted by means of the software SPSS®. The imaging procedures were binarily classified (yes/no) regarding the existence of intraabdominal free fluid.

Hypothesis I (collective fits the population) could be confirmed by comparison of the calculated metrics with the data published by the DGU®.

Hypothesis II (detection of bleedings in the ACS) can be considered correct. A total of 3 cases were found in which the ACS could be considered a possible indicator for surgery.

Hypothesis III (high sensitivity) can be supported. The sensitivity is 73% and the specificity 79%.

Hypothesis IV (ACS as outcome-predictor) is not supported. A positive ACS is not associated with a relevant increase in mortality or morbidity.

Hypothesis V (timing of the ACS) could be confirmed. The timing of the ACS (0-6h vs. 6-24h) shows no significant difference in terms of morbidity and mortality.

In conclusion, the analysis of the results and their discussion leads to the following quintessence of this thesis: The ACS is mostly presented positively in literature as well as clinical experience at the university hospital of Regensburg. However, some authors share a critical view about it. The ACS is perfectly suitable as a follow up during a conservative treatment and can even detect delayed or initially not recognized bleedings in a particular case to crucially influence treatment decisions. The presumable indication of an intervention due to a positive ACS in this thesis is located at three of 351 cases (0,9%) and therefore taken as relevant. Furthermore, there is an

estimated number of unknown examinations that were carried out right away at the ICU and were consequently not documented, that could have enhanced the result to an unknown degree.⁶⁶ However, the university hospital in Regensburg – as a site of maximum care and scientific mission – will keep the ACS with subjective indication and individual consideration as a well-established part concerning the treatment of a poly-traumatized patient.

7. Literaturverzeichnis

1. MUHR G, G M, H T. BERGUNG UND ERSTVERSORGUNG BEI SCHWERVERLETZTEN. *BERGUNG UND ERSTVERSORGUNG BEI SCHWERVERLETZTEN*. Published online 1978.
2. OESTERN HJ, TSCHERNE H, STURM J, NERLICH M. Klassifizierung der Verletzungsschwere. *Unfallchirurg*. 1985;88(11):465-472.
3. Frink M, Lechler P, Debus F, Ruchholtz S. Multiple Trauma and Emergency Room Management. *Deutsches Arzteblatt Online*. Published online July 24, 2017. doi:10.3238/arztebl.2017.0497
4. Ernstberger A, Schreyer A, Schleider S, et al. Computertomographie bei Polytrauma. *Trauma Berufskrankh*. 2017;19(1):57-63. doi:10.1007/s10039-016-0204-z
5. S3 – Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung. Published online 2017.
6. Jenderka KV, Delorme S. Diagnostischer Ultraschall. In: Schlegel W, Karger CP, Jäkel O, eds. *Medizinische Physik: Grundlagen – Bildgebung – Therapie – Technik*. Springer; 2018:285-305. doi:10.1007/978-3-662-54801-1_10
7. Bernhard M, Helm M, Aul A, Gries A. Präklinisches Management des Polytraumas. *Anaesthesist*. 2004;53(9). doi:10.1007/s00101-004-0732-y
8. Weber C, Pape HC. Polytrauma – Versorgungsstrategie. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*. 2013;7(06):487-504. doi:10.1055/s-0032-1324891
9. Wutzler S, Lustenberger T, Relja B, Lehnert M, Marzi I. Pathophysiologie des Polytraumas: Intensivmedizin und „Timing“ der Versorgung. *Chirurg*. 2013;84(9):753-758. doi:10.1007/s00104-013-2477-0
10. Rauend Rauf, Stefan Huber-Wagner, Peter Biberthaler. *Wandel Der Sterblichkeitsverteilung Schwerverletzter –Eine Analyse Des TraumaRegisters® Der Deutschen Gesellschaft Für Unfallchirurgie*. Accessed March 18, 2020. <http://mediatum.ub.tum.de/1374752>
11. Schmitt VH. Die Biokompatibilität peritonealer Adhäsionsbarrieren. In: Schmitt VH, ed. *Die Biokompatibilität peritonealer Adhäsionsbarrieren: Histologie, Immunhistochemie und Ultrastruktur der Gewebe-Material-Interaktion*. Springer Fachmedien; 2016:3-33. doi:10.1007/978-3-658-13037-4_2
12. Offner FA. Anatomie und Physiologie. In: Stolte M, Rüschoff J, Klöppel G, eds. *Pathologie: Verdauungstrakt und Peritoneum*. Pathologie. Springer; 2013:863-866. doi:10.1007/978-3-642-02322-4_38
13. Trauma AC of SC on. *ATLS®: Advanced Trauma Life Support Student Course Manual*. American College of Surgeons; 2018.
14. Wada T, Shiraishi A, Gando S, et al. Disseminated intravascular coagulation immediately after trauma predicts a poor prognosis in severely injured patients. *Sci Rep*. 2021;11(1):11031. doi:10.1038/s41598-021-90492-0

15. Raum M, Waydhas C, Notfallmedizin A. Präklinische Volumentherapie beim Trauma. *Notfall Rettungsmed.* 2006;9(5):485-500. doi:10.1007/s10049-006-0838-7
16. Universitätsklinikum Regensburg - Daten und Fakten. Accessed June 26, 2019. https://www.ukr.de/ueber-uns/Daten_und_Fakten/index.php
17. Brasel K. Advanced trauma life support (ATLS®): The ninth edition. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2013;74(5):1363-1366. doi:10.1097/TA.0b013e31828b82f5
18. Kiefl D, Breitzkreutz R. E-FAST-Konzept: Ein Point-of-Care-Ultraschallverfahren mit Untersuchungsablauf – Schritt für Schritt. *Intensivmedizin up2date.* 2018;14(2):119-126. doi:10.1055/a-0543-8986
19. Dreizin D, Munera F. Blunt Polytrauma: Evaluation with 64-Section Whole-Body CT Angiography. *RadioGraphics.* 2012;32(3):609-631. doi:10.1148/rg.323115099
20. Schächinger D, Trabold D. Polytrauma - Aufgabenverteilung. :3.
21. Waydhas C. Bedeutung der Intermediate Care Station. *Viszeralchirurgie.* 2005;40(2):123-127. doi:10.1055/s-2005-836431
22. Steitz HO, Sohn M. Sonographie. In: Jauch KW, Mutschler W, Hoffmann JN, Kanz KG, eds. *Chirurgie Basisweiterbildung: In 100 Schritten durch den Common Trunk.* Springer; 2013:105-117. doi:10.1007/978-3-642-23804-8_13
23. Dinse-Lambracht A, Reithmeier E, Seibel A, Breitzkreutz R. E-FAST. In: Michels G, Jaspers N, eds. *Notfallsonographie.* Springer; 2014:27-37. doi:10.1007/978-3-642-36979-7_3
24. Linsenmaier U, Geyer LL, Körner M, Reiser M, Wirth S. Stellenwert der Multidetektor-CT bei Polytrauma. *Radiologe.* 2014;54(9):861-871. doi:10.1007/s00117-013-2634-y
25. Maurer M, Winkler A, Wichlas F, et al. Kosten und Stellenwert von Ultraschallverlaufskontrollen bei polytraumatisierten Patienten nach initialer Computertomografie. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren.* 2012;184(01):53-58. doi:10.1055/s-0031-1281638
26. Geyer LL, Körner M, Linsenmaier U, Wirth S, Reiser M, Meindl T. The role of follow-up ultrasound and clinical parameters after abdominal MDCT in patients with multiple trauma. *Acta Radiologica.* 2014;55(4):486-494. doi:10.1177/0284185113499559
27. Wilckens HH. *Evaluation Der Notwendigkeit Einer Abdominellen Kontroll-Sonographie von Polytraumatisierten Patienten Mit Einer Intraabdominellen Organverletzung Und/Oder Freier Abdomineller Flüssigkeit in Der Initialen Computertomographie.* 2017.
28. Blackbourne LH, Soffer D, McKenney M, et al. Secondary Ultrasound Examination Increases the Sensitivity of the FAST Exam in Blunt Trauma: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care.* 2004;57(5):934-938. doi:10.1097/01.TA.0000149494.40478.E4

29. Nunes LW, Simmons S, Hallowell MJ, Kinback R, Trooskin S, Kozar R. Diagnostic performance of trauma US in identifying abdominal or pelvic free fluid and serious abdominal or pelvic injury. *Acad Radiol.* 2001;8(2):128-136.
30. TR-DGU-Jahresbericht.
31. Stengel D, Bauwens K, Porzsolt F, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A. Sonographische Diagnostik im Schockraum bei stumpfem Bauchtrauma - Metaanalyse Update 2003. *Zentralbl Chir.* 2003;128(12):1027-1037. doi:10.1055/s-2003-44850
32. Wilhelm W. *Praxis der Intensivmedizin: konkret, kompakt, interdisziplinär.* Springer-Verlag; 2013.
33. Radiologische Diagnostik des abdominellen Traumas. Published online 1998.
34. Die Problematik primer nicht diagnostizierter Verletzungen nach stumpfem Abdominaltrauma. Published online 1996.
35. R. Hoffmann, M. Nerlich. Blunt abdominal trauma in cases of multiple trauma evaluated by ultrasonography: a prospective analysis of 291 patients.
36. W. B. Schwerk BB. Ultraschalltomographie und gezielte Peritonealpunktion bei verzögerter traumatischer Milzblutung.
37. Busse A, Schneck E, Koch C, et al. Stellenwert der abdominellen Kontrollsonografie bei Traumapatienten ohne initiale Verletzung der parenchymatösen Organe oder Nachweis freier Flüssigkeit in der Ganzkörper-Computertomografie. *Z Gastroenterol.* 2015;53(8):KC066. doi:10.1055/s-0035-1559456
38. Muche-Borowski C, Kopp I. Wie eine Leitlinie entsteht. *Z Herz- Thorax- Gefäßchir.* 2011;25(4):217-223. doi:10.1007/s00398-011-0860-z
39. Ambacher T, Riesener KP, Truong S, Kasperk R, Schumpelick V. Systematische sonographische Diagnostik des Abdomens beim Traumapatienten. *Trauma Berufskrankh.* 2000;2(3):174-181. doi:10.1007/PL00010933
40. Pape HC, Hildebrand F, Ruchholtz S, Tscherne H, eds. *Management des Schwerverletzten.* Springer; 2018.
41. Lindner T, Bail HJ, Manegold S, Stöckle U, Haas NP. Schockraumdiagnostik: Initiale Diagnostik beim stumpfen Abdominaltrauma. *Unfallchirurg.* 2004;107(10):892-902. doi:10.1007/s00113-004-0849-0
42. Lustenberger T, Wutzler S, Marzi I, Walcher F, Vogl TT, Eichler K. Bildgebung im Schockraum. *Notfall Rettungsmed.* 2014;17(7):584-592. doi:10.1007/s10049-014-1865-4
43. Lingawi SS, Buckley AR. Focused abdominal US in patients with trauma. *Radiology.* 2000;217(2):426-429. doi:10.1148/radiology.217.2.r00nv23426
44. Davies DA, Fecteau A, Himidan S, Mikrogianakis A, Wales PW. What's the Incidence of Delayed Splenic Bleeding in Children After Blunt Trauma? An Institutional Experience and Review of the Literature: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care.* 2009;67(3):573-577. doi:10.1097/TA.0b013e318190392b

45. Diagnostik des stumpfen Bauchtraumas bei Kindern und Jugendlichen. Published online 2007.
46. Blunt Abdominal Trauma in Children: Risks of Nonoperative Treatment. Published online 1997.
47. Richards JR, Schleper NH, Woo BD, Bohnen PA, McGahan JP. Sonographic assessment of blunt abdominal trauma: A 4-year prospective study. *J Clin Ultrasound*. 2002;30(2):59-67. doi:10.1002/jcu.10033
48. Unternehmen - AUC. Accessed March 24, 2020. <https://www.auc-online.de/de/service/unternehmen.html>
49. Sunderbrink D, Zapf C, Bermann A. PACS/RIS. In: Kramme R, ed. *Medizintechnik: Verfahren – Systeme – Informationsverarbeitung*. Springer; 2011:871-880. doi:10.1007/978-3-642-16187-2_54
50. Renger BC, Hellerhoff P, Rummeny EJ. KIS/RIS/PACS – Eine neue Funktionalitätentrennung der Systeme. *Rofo*. 2005;177(S 1):VO_3141. doi:10.1055/s-2005-867723
51. Fründ R, Techert J, Strotzer M, Börner W, Tsakpinis A, Feuerbach S. Das PACS-Konzept der Universität Regensburg. *Rofo*. 2001;173(4):362-367. doi:10.1055/s-2001-12466
52. Schicker E. Die Zugriffssprache SQL. In: Schicker E, ed. *Datenbanken und SQL: Eine praxisorientierte Einführung mit Anwendungen in Oracle, SQL Server und MySQL*. Informatik & Praxis. Springer Fachmedien; 2017:99-142. doi:10.1007/978-3-658-16129-3_4
53. Matzke B. *ABAP: die Programmiersprache des SAP-Systems R/3*. Pearson Deutschland GmbH; 2002.
54. Ertner D. Analysieren. In: Ertner D, ed. *Spread Cheat: Praktische Anwendungsfälle und Tipps zur Tabellenkalkulation*. Springer; 2018:85-89. doi:10.1007/978-3-662-58125-4_8
55. Matthäus WG. Visual Basic for Applications: Word-VBA. In: Matthäus WG, ed. *Programmierung für Wirtschaftsinformatiker: Vorlesungen über Basic, Visual Basic und VBA*. Vieweg+Teubner Verlag; 2005:337-344. doi:10.1007/978-3-322-80081-7_24
56. Blum N. *Algorithmen und Datenstrukturen*. Walter de Gruyter; 2013.
57. Walcher F, Kulla M, Klinger S, et al. Standardisierte Dokumentation im Schockraum mit dem Kerndatensatz „Notaufnahme“ der DIVI. *Unfallchirurg*. 2012;115(5):457-464. doi:10.1007/s00113-012-2220-1
58. Fleig V, Brenck F, Wolff M, Weigand MA. Scoring-Systeme in der Intensivmedizin. *Anaesthesist*. 2011;60(10):963. doi:10.1007/s00101-011-1942-8
59. Baker SP, O'neill B. THE INJURY SEVERITY SCORE: AN UPDATE. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1976;16(11):882-885.
60. States JD. The Abbreviated and the Comprehensive Research Injury Scales. *SAE Transactions*. 1969;78:2625-2634.

61. Haasper C, Junge M, Ernstberger A, et al. Die Abbreviated Injury Scale (AIS). *Unfallchirurg*. 2010;113(5):366-372. doi:10.1007/s00113-010-1778-8
62. Gennarelli TA, Wodzin E. AIS 2005: A contemporary injury scale. *Injury*. 2006;37(12):1083-1091. doi:10.1016/j.injury.2006.07.009
63. Schmitt KU, Niederer PF, Cronin DS, Morrison III B, Muser MH, Walz F. Verletzungen des Abdomens. In: Schmitt KU, Niederer PF, Cronin DS, Morrison III B, Muser MH, Walz F, eds. *Trauma-Biomechanik: Einführung in die Biomechanik von Verletzungen*. Springer; 2020:205-218. doi:10.1007/978-3-662-60936-1_7
64. Baker SP, O'Neill B, Haddon WJ, Long WB. THE INJURY SEVERITY SCORE: A METHOD FOR DESCRIBING PATIENTS WITH MULTIPLE INJURIES AND EVALUATING EMERGENCY CARE. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 1974;14(3):187-196.
65. Meyers LS, Gamst GC, Guarino AJ. *Performing Data Analysis Using IBM SPSS*. John Wiley & Sons; 2013.
66. Klauber J, Geraedts M, Friedrich J, Wasem J, eds. *Krankenhaus-Report 2019: Das digitale Krankenhaus*. Springer Berlin Heidelberg; 2019. doi:10.1007/978-3-662-58225-1
67. Siewert JR, Pichlmayr R. *Das traumatisierte Abdomen*. Springer-Verlag; 2013.
68. Hilgers RD, Heussen N, Stanzel S. Korrelationskoeffizient nach Pearson. In: Gressner AM, Arndt T, eds. *Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik*. Springer Reference Medizin. Springer; 2019:1389-1389. doi:10.1007/978-3-662-48986-4_1763
69. Ernstberger A, Reske S, Braunschweig R, Huber-Wagner S, Kulla M, Brandl A. Polytrauma-CT – Goldstandard ohne Standard? *Rofo*. 2019;191:WISS 206.1. doi:10.1055/s-0037-1682227
70. Heinecke A, Hultsch E, Repges R. *Medizinische Biometrie: Biomathematik und Statistik*. Springer-Verlag; 2013.
71. Bühne KH, Zügel N, Mayr E, Häuser H. Routineeinsatz von Abdomensonographie und Oberbauch-CT beim Polytrauma Analyse der Therapierelevanz bei 105 Patienten. *Chirurg*. 2001;72(1):43-48. doi:10.1007/s001040051266
72. Cox JC, Fabian TC, Maish GO, et al. Routine Follow-Up Imaging Is Unnecessary in the Management of Blunt Hepatic Injury: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. Published online November 2005:1175-1180. doi:10.1097/01.ta.0000189003.01375.71
73. Mizzi A, Shabani A, Watt A. The Role of Follow-up Imaging in Paediatric Blunt Abdominal Trauma. *Clinical Radiology*. 2002;57(10):908-912. doi:10.1053/crad.2002.1000
74. Debus F, Lefering R, Frink M, Kühne C, Mand C, Ruchholtz S. Das Polytrauma von Kindern und Jugendlichen. *Unfallchirurg*. 2015;118(5):432-438. doi:10.1007/s00113-013-2518-7

75. Schütz M. *Diagnostische und therapeutische Konsequenz von Ultraschallbefunden – Eine Anwendungsbeobachtung*. phd. 2012. Accessed January 28, 2021. <https://epub.uni-regensburg.de/26679/>
76. Muche R, Rothenbacher D. Studiendesign. In: Lenk C, Duttge G, Fangerau H, eds. *Handbuch Ethik und Recht der Forschung am Menschen*. Springer; 2014:657-660. doi:10.1007/978-3-642-35099-3_108
77. Peters U. What Is the Function of Confirmation Bias? *Erkenn*. 2022;87(3):1351-1376. doi:10.1007/s10670-020-00252-1
78. Meinel C, Mundhenk M. *Mathematische Grundlagen der Informatik*. Springer Fachmedien Wiesbaden; 2015. doi:10.1007/978-3-658-09886-5
79. Bühren V, Josten C, eds. *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*. Springer Berlin Heidelberg; 2013. doi:10.1007/978-3-642-02208-1
80. Truong S, Grommes J, Conze J, Schumpelick V. Stellenwert der Sonographie in der postoperativen Phase. *Chirurg*. 2007;78(5):443-448. doi:10.1007/s00104-007-1333-5
81. Mildenerberger P. Strukturierte Befundung in der Radiologie. *Radiologe*. 2021;61(11):995-998. doi:10.1007/s00117-021-00918-z
82. Seitz K. Zur Qualität der Oberbauchsonographie. *Ultraschall Med*. 2006;27(3):217-219. doi:10.1055/s-2006-926825
83. Diehl K, Bock C. Epidemiologische Studiendesigns. In: Niederberger M, Finne E, eds. *Forschungsmethoden in der Gesundheitsförderung und Prävention*. Springer Fachmedien; 2021:171-201. doi:10.1007/978-3-658-31434-7_7
84. Kumpf O, Bloos F, Bause H, et al. Voluntary peer review as innovative tool for quality improvement in the intensive care unit – a retrospective descriptive cohort study in German intensive care units. *GMS Ger Med Sci*. 2014;12:Doc17. doi:10.3205/000202
85. Mathis S, Gartlehner G. Kohortenstudien. *Wien Med Wochenschr*. 2008;158(5):174-179. doi:10.1007/s10354-008-0516-0
86. Schockraumversorgung des Schwerverletzten: eine Auswertung der Abläufe im Schockraum des Universitätsklinikums Kiel und Detektion von Optimierungspotential. Accessed December 31, 2020. https://macau.uni-kiel.de/rsc/viewer/dissertation_derivate_00004517/Melanie_Krahl_Doktorarbeit.pdf?page=31
87. Papula L. Allgemeine Grundlagen aus Algebra, Arithmetik und Geometrie. In: Papula L, ed. *Mathematische Formelsammlung: Für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Springer Fachmedien; 2017:1-45. doi:10.1007/978-3-658-16195-8_1
88. Mayer H. Validität der sonografischen Kontrollen nach initialer Spiral-CT bei polytraumatisierten Patienten mit abdomineller Verletzung. :49.
89. Geyer LL, Körner M, Reiser M, Linsenmaier U. Aktueller Stellenwert der konventionellen Radiographie und Sonographie in der frühen Versorgung traumatisierter Patienten. *Notfall Rettungsmed*. 2010;13(6):428-435. doi:10.1007/s10049-010-1298-7

90. Milkau M, Noll T, Sayk F. Point-of-care-Sonographie des Abdomens in der Notfall- und Intensivmedizin. *Med Klin Intensivmed Notfmed*. 2018;113(8):638-648. doi:10.1007/s00063-018-0491-1
91. Jang T, Kryder G, Sineff S, Naunheim R, Aubin C, Kaji AH. The technical errors of physicians learning to perform focused assessment with sonography in trauma. *Acad Emerg Med*. 2012;19(1):98-101. doi:10.1111/j.1553-2712.2011.01242.x
92. Nürnberg D, Jung A, Schmieder C, Schmidt M, Holle A. Was kostet die Sonografie – Ergebnisse einer Kosten- und Prozessanalyse an einem Versorgungskrankenhaus. *Ultraschall Med*. 2008;29(4):405-417. doi:10.1055/s-2008-1027389
93. Schuler A, Reuss J, Delorme S, Hagendorff A, Giesel F. Kosten von Ultraschalluntersuchungen im Krankenhaus – das Modell einer Deckungsbeitragsrechnung. *Ultraschall Med*. 2010;31(4):379-386. doi:10.1055/s-0029-1245283
94. Alsfasser G, Klar E. Akutes Abdomen. Was erwartet der Nicht-Radiologe vom Radiologen? In: *Der Radiologe*. Springer Medizin Verlag GmbH; 2020.
95. Mirow L, Hildebrand P. Akutes Abdomen. In: Erckenbrecht JF, Jonas S, eds. *Viszeralmedizin: Interdisziplinäres Facharztwissen Gastroenterologie und Viszeralchirurgie*. Springer; 2015:85-91. doi:10.1007/978-3-642-14301-4_6
96. Hauser H, Buhr HJ, Mischinger HJ, eds. *Akutes Abdomen: Diagnose – Differenzialdiagnose – Erstversorgung – Therapie*. Springer Vienna; 2016. doi:10.1007/978-3-7091-1473-5
97. Benölken R, Gorski HJ, Müller-Philipp S. Grundlegende Beweistechniken. In: Benölken R, Gorski HJ, Müller-Philipp S, eds. *Leitfaden Arithmetik: Für Studierende der Lehrämter*. Springer Fachmedien; 2018:27-41. doi:10.1007/978-3-658-22852-1_2
98. Fischer MS. Prädiktoren der Mortalität bei Abdominaltrauma.
99. Bühne KH, Zügel N, Mayr E, Häser H. [Routine use of abdominal ultrasound and epigastric CT in polytrauma. Analysis of therapeutic relevance in 105 patients]. *Chirurg*. 2001;72(1):43-48. doi:10.1007/s001040051266
100. Klug SJ, Bender R, Blettner M, Lange S. Wichtige epidemiologische Studientypen. *Dtsch Med Wochenschr*. 2004;129(S 3):T7-T10. doi:10.1055/s-2004-836076

8. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AAAM	Association for the Advancement of Automotive Medicine
ACS	Abdominal Control Sonography
AIS	Abbreviated Injury Scale
ATLS	Advanced Trauma Life Support
AUC	Akademie der Unfallchirurgie GmbH
CI	Konfidenzintervall (Confidence Interval)
CSV-Datei	Comma Separated Value Datei
CT	Computertomographie/Computertomogramm
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
EA	Entscheidungsalgorithmus
eFAST	Extended Focussed Assessment with Sonography for Trauma
EK	Erythrozytenkonzentrat
FAST	Focussed Assessment with Sonography for Trauma
FF	Freie Flüssigkeit
FFP	Gefrorenes Frischplasma (Fresh Frozen Plasma)
FN	Falsch Negativ
FP	Falsch Positiv
GCS	Glasgow Coma Scale
H-1/2/3	Hypothese-(Nummer 1/2/3)
Hb	Hämoglobin
ICS	Intermediate Care Station
ISS	Injury Severity Score
ITS	Intensivstation
KAS	Kontrollabdomensonographie
KIS	Klinikinformationssystem
Kontroll-US	Kontrollultraschall
MAIS	Maximaler AIS
MDCT	Multidetektor Computertomographie
MSCT	Multislice Computertomographie
MTRA	Medizinisch-technische Radiologieassistenz
NPW	Negativ Prädiktiver Wert
PACS	Picture Archiving and Communication Systems
PPW	Positiv Prädiktiver Wert
RIS	Radiologie Informationssystemen
RN	Richtig Negativ
RP	Richtig Positiv
SD	Standardabweichung eines Mittelwertes (Standard Deviation)
SIRS	Systemic Inflammatory Response Syndrome
TR®	TraumaRegister®
TR-DGU®	TraumaRegister® der DGU
TR-UKR	Trauma Register des Universitätsklinikums Regensburg
UKR	Universitätsklinikum Regensburg

US	Ultraschall
US-Kontrolle	Ultraschallkontrolle

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gliederung der Phasen aus dem Schockraumalgorithmus (Unfallchirurgie, Polytrauma Management, 2007)	4
Abbildung 2: Schockraumalgorithmus am UKR als Ablaufdiagramm (Unfallchirurgie, Polytrauma Algorithmus, 2023)	6
Abbildung 3: Übersicht e-FAST mit schematisierten Ultraschallbildern (Amboss, 2019)	8
Abbildung 4: Klinischer Ablaufalgorithmus bei stumpfem Trauma am Hahnemann University Hospital in Philadelphia ²⁹	13
Abbildung 5: Flussdiagramm der verwendeten Datenbanken der eingeschlossenen Patienten	19
Abbildung 6: Flussdiagramm der Datenpfade der einzelnen Datenquellen des TR-UKR	21
Abbildung 7: Workflow der Befundauswertung aus dem SAP	23
Abbildung 8: Entscheidungsalgorithmus für die Relevanz der einzelnen Fälle	28
Abbildung 9: Entscheidungsalgorithmus für die Korrektheit der Einzelfälle	30
Abbildung 10: Entscheidungsalgorithmus bei mehreren Kontrollabdomensonographien	31
Abbildung 11: Histogramm der Verteilung des Alters des Gesamtpatientenkollektivs	33
Abbildung 12: Histogramm des AIS-Verletzungsmusters	35
Abbildung 13: Histogramm des AIS-Abdomen-Verletzungsmusters	36
Abbildung 14: Histogramm der Verteilung aller Patienten im Traumaregister (auch ohne Einschlusskriterium)	37
Abbildung 15: Aufschlüsselung der Kontrollabdomensonographien bezüglich AIS und OP	39
Abbildung 16: Histogramm der zeitlichen Verteilung der Kontrollabdomensonographien	40
Abbildung 17: Aufschlüsselung der Sonographien in Bezug auf CT-Befund und Mortalität	42
Abbildung 18: Therapieformen/Therapierelevanz der einzelnen Fälle mit negativ freier Flüssigkeit im Abdomen-CT Befund, bezogen auf das Sonographieergebnis	44
Abbildung 19: Therapieformen/Therapierelevanz der einzelnen Fälle ohne Abdomen-CT Befund, bezogen auf das Sonographieergebnis	46
Abbildung 20: Relevante Fälle - KAS Einzelfallbetrachtung	51
Abbildung 21: Chi-Quadrat-Test zur Bestimmung der Gleichheit der Subgruppen KAS-positiv / KAS-negativ	52

10. Quellenverzeichnis der Abbildungen

AMBOSS SE, Name der Abbildung: Übersicht E-FAST mit schematisierten
Ultraschallbildern, Kapitel: Notfallsonografie;

[Kapitel zuletzt aktualisiert am: 30.04.2019; Kapitel zitiert am: 30.04.2019 um 12:00 Uhr;
https://media-de.amboss.com/media/thumbs/big_5980ab268a0ad.jpg]

Unfallchirurgie. (2007). Polytrauma Management. Regensburg.

Unfallchirurgie. (2023). Polytrauma Algorithmus. Regensburg.

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verteilung der Unfallursache bezogen auf das Geschlecht.....	34
Tabelle 2: Verteilung des Unfallhergangs.....	35
Tabelle 3: Statistische Lagemaße der Intensiv-Scores	36
Tabelle 4: Verteilung der Anzahl der Sonographien aller schwerverletzten Patienten.....	38
Tabelle 5: Tabellarische Darstellung der Perzentilen und deren Zeit in Stunden bis zum ersten Kontrollultraschall.....	41
Tabelle 6: Korrelation nach Pearson zwischen freie Flüssigkeit (0/1) und Operation (0/1)....	47
Tabelle 7: Verteilung der Ergebnisse in der Kontrollabdomensonographie für alle AIS-Abdomen-Werte	48
Tabelle 8: Tafel für die Kontrollabdomensonographie für alle Patienten der Grundgesamtheit	49
Tabelle 9: Verteilung der Ergebnisse in der Kontrollabdomensonographie für AIS-Abdomen ≥ 2	49
Tabelle 10: Tafel für die Kontrollabdomensonographie für Patienten ohne Operation.....	50
Tabelle 11: Statistische Auswertung der Outcome-Parameter bezüglich des KAS-Befundes	53
Tabelle 12: Statistische Auswertung der Outcome-Parameter bezüglich des KAS-Zeitpunktes	54

12. Danksagungen

Herrn PD Dr. Borys Frankewycz und Prof. Dr. Jens Werner danke ich recht herzlich für die Betreuung und Begleitung bei der Anfertigung der Arbeit.

Herrn PD Dr. Antonio Ernstberger danke ich für die Bereitstellung des Traumaregisters für die Schockraumdiagnostik.

Der DV-Med (IT-Abteilung des UKR) und vor allem Frau Birgit Tege danke ich für ihre schnelle und wertvolle Hilfe bei der Datenakquise aus den SAP-Datenbanken.

Dres. Marissa und Benedikt Schmidbauer und meiner Frau Karin danke ich herzlich für das Lektorat dieser Arbeit.

Einen ganz lieben und herzlichen Dank möchte ich auch an meine Familie mit meiner Mutter Anna-Rosa, meinem Vater Manfred, meinem Bruder Simon und meiner Frau Karin richten, die mir das Medizinstudium ermöglicht haben und mir immer mit Rat und Tat zur Seite stehen.