

Aus dem Institut für Klinische Radiologie der  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. M. Reiser, FACR, FRCR

# **Verzögert diagnostizierte Läsionen in der Ganzkörper-CT bei Polytraumapatienten**

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

vorgelegt von  
Oliver Glücks

aus  
München

Jahr  
2012

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Priv. Doz. Dr. Ulrich Linsenmaier
Mitberichterstatter:	Priv. Doz. Dr. Karl-Georg Kanz Prof. Dr. Wolfgang Hugo Hartl
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Priv. Doz. Dr. M. Körner
Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. h. c. M. Reiser, FACR, FRCR
Tag der mündlichen Prüfung:	19.04.2012

<b>1</b>	<b>Einleitung &amp; Zielsetzung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>6</b>
2.1	Polytrauma - Definitionen .....	6
2.2	Trauma-Scores.....	8
2.3	Radiologische Untersuchungen bei Polytraumatisierten.....	15
2.4	Algorithmen im Schockraum .....	27
2.5	Verzögert diagnostizierte Läsionen.....	30
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>31</b>
3.1	Patientenkollektiv .....	31
3.2	Untersuchungsablauf / Schockraummanagement.....	31
3.3	Ganzkörpercomputertomographie - Aquisitionsprotokoll .....	33
3.4	Verzögert diagnostizierte Läsion - Definition.....	35
3.5	Auswertung .....	36
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>38</b>
4.1	Demographische Daten .....	38
4.2	Verzögert diagnostizierte Läsionen.....	38
4.3	Verletzungsschwere.....	41
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Tabellen</b> .....	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungen</b> .....	<b>54</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung</b> .....	<b>62</b>

# 1 Einleitung & Zielsetzung

Unfälle sind die Haupttodesursache in der Bevölkerungsgruppe bis zum 45. Lebensjahr und stellen die fünfthäufigste Todesursache aller Altersgruppen dar [1]. In der Bundesrepublik Deutschland ereignen sich jährlich etwa 7-8 Millionen Unfälle. In 354.534 Fällen kam es im Jahre 2003 zu Personenschäden [2]. In den meisten Fällen handelt es sich hierbei um leichte Verletzungen, die keiner intensivmedizinischen Behandlung bedürfen. Berechnungen von Kühne et al. zufolge kommt es in ca. 35.300 Fällen zu einem lebensbedrohlichen Polytrauma [3]. Die vitale Bedrohung ist hierbei entweder durch die Einzelverletzungen selbst oder durch die systemische Entzündungsreaktion, welche nach der Akutphase auftreten kann, bedingt [4].

Verkehrsunfälle stellen mit ca. 63 % die häufigste Ursache dar. Knapp 75 % der Patienten mit vermuteter Mehrfachverletzung sind männlich. In der Statistik des Jahres 2002 betrug der mittlere Injury Severity Score (ISS) 23,8 Punkte, die Mortalität lag bei 15,3 %. Überlebende Patienten verbrachten im Schnitt 31 Tage in der Klinik, davon 12,2 Tage auf der Intensivstation und wurden 10 Tage lang beatmet. Die am häufigsten verletzte Körperregionen bei schwerverletzten Patienten sind mit jeweils ca. 58 % Thorax und Kopf. Danach folgen die Extremitäten mit gut 40 % und das Abdomen mit etwa 26 %. Am seltensten sind Gesicht / Hals (4,2 %) und Weichteile (0,8 %) betroffen [5]. Knapp 60 % der Überlebenden können innerhalb von 2 Jahren an ihren alten Arbeitsplatz zurückkehren, 30 % benötigen eine Umschulung. Mit 80 prozentiger Erwerbsunfähigkeit müssen 10 % der Patienten rechnen [6].

Unfälle stellen somit eine besondere Herausforderung für das Gesundheitswesen dar. Obwohl heutzutage die Ganzkörpercomputertomographie (GKCT) als Goldstandard in der Polytraumadiagnostik gilt wird in manchen Fällen auf die konventionelle Radiographie (CR) und den Ultraschall ausgewichen. Aufgrund verschiedener Faktoren wird die diagnostische Sicherheit hierbei jedoch als nicht ausreichend

erachtet. Im Einzelnen ist das Ergebnis sonographischer Untersuchungen stark von der Erfahrung des untersuchenden Arztes abhängig, zudem werden innere Blutungen erst ab einer gewissen Menge ausgetretenen Blutes erkannt [7]. Auch die Aussagekraft des konventionellen Röntgens ist häufig eingeschränkt. Unzureichende Lagerungsmöglichkeit und störende Fremdkörper wie Kabel, Kleidungsstücke, Beckenzwinge oder röntgendichte Verunreinigungen führen nicht selten zu einer mangelhaften Bildqualität [8]. Allerdings kann auch die Aussagekraft von CT-Scans eingeschränkt sein. Artefakte durch Patientenbewegungen oder Metallobjekte können hierfür ursächlich sein. Somit ist es nicht weiter verwunderlich, dass es trotz der heutigen diagnostischen Möglichkeiten immer wieder dazu kommt, dass nicht alle Verletzungen sofort diagnostiziert werden.

Eine Verbesserung der diagnostischen Sicherheit bei Polytraumapatienten könnte dazu beitragen, die Mortalität zu senken [9], sowie kürzere Liegezeiten und niedrigere Behandlungskosten zu erreichen. Deshalb kommt heutzutage in vielen Kliniken die GKCT als bildgebendes Verfahren der Wahl in der Primärdiagnostik von schwerverletzten Patienten zum Einsatz [10-12]. Trotz des Einsatzes der GKCT kommt es zu verzögert diagnostizierten Verletzungen, die je nach Schweregrad den weiteren Verlauf beeinflussen können, bzw. zu schwerwiegenden Komplikationen führen können. Die Häufigkeit von verzögert Diagnostizierten Läsionen (VDL) wird in der Literatur derzeit zwischen 1,5 % und 14 % angegeben [13-18].

Das Ziel der vorliegenden Studie war daher zunächst die Erfassung der Rate an VDL in unserer Klinik, sowie der Vergleich mit den Ergebnissen anderer publizierter Studien. Des weiteren sollte, soweit methodisch bedingt möglich, eine Analyse der Ursachen erfolgen und mögliche Lösungsstrategien erörtert werden.

## **2 Einführung**

### **2.1 Polytrauma - Definitionen**

#### **2.1.1 Polytrauma - Definition von Tscherne et al. aus dem Jahr 1984**

Bei einem Polytrauma handelt es sich um die Verletzung mehrerer Körperregionen oder Organsysteme, von denen mindestens eine oder die Kombination mehrerer Verletzungen lebensbedrohlich ist [19].

#### **2.1.2 Definition nach dem Unfallmechanismus**

Da es sich bei allen prähospitalen Notarztdiagnosen jedoch um Verdachtsdiagnosen handelt, sind unter präklinischen Bedingungen alle Patienten als potentiell polytraumatisiert anzusehen und entsprechend zu therapieren, bei denen die in **Tabelle 1** (S. 7) genannten Faktoren angetroffen werden. Dies entspricht einem erwarteten Injury Severity Score (ISS, Erläuterung unter 2.2.3) von mehr als 15 [20].

**Tabelle 1:** Faktoren für die Verdachtsdiagnose Polytrauma [21].

<p>1. Unfallmechanismus</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Verkehrsunfall<ul style="list-style-type: none"><li>Radfahrer / Fußgänger angefahren</li><li>Unfall mit hoher Geschwindigkeit (&gt; 50 km/h)</li><li>Mit dem Fahrzeug überschlagen</li><li>Ejektion aus dem Fahrzeug</li><li>Ausgelöster Airbag</li><li>Tod des Beifahrers</li><li>In Verunfalltem Fahrzeug eingeklemmt</li></ul></li><li>• Sturz aus großer Höhe (<math>\geq 5</math> Meter oder Höhe unklar)</li><li>• Andere Unfallmechanismen<ul style="list-style-type: none"><li>Unter der Erde begraben</li><li>Explosion</li><li>Mechanismus unklar, schweres Trauma wahrscheinlich</li></ul></li></ul> <p>2. Verletzungsmuster:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• penetrierende Verletzung<ul style="list-style-type: none"><li>Schuss- / Stichwunde am Rumpf</li></ul></li><li>• Instabiler oder offener Thorax</li><li>• Instabile Beckenfraktur</li><li>• Fraktur mindestens zweier langer Extremitätenknochen</li><li>• Proximale Gliedmaßenamputation</li><li>• Rippenserienfraktur in Kombination mit weiteren Verletzungen</li><li>• Trümmerfrakturen</li></ul> <p>3. Vitalparameter:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Glasgow Coma Scale &lt; 10</li><li>• Systolischer Blutdruck &lt; 80 mmHg</li><li>• Atemfrequenz &lt; 10 oder &gt; 29</li><li>• Arterielle Sauerstoffsättigung &lt; 90 %</li></ul>
---

## **2.2 Trauma-Scores**

Zur genauen Kategorisierung und Bewertung der Verletzungsschwere und der damit zu erwartenden Prognose wurden in den letzten Jahrzehnten verschiedene Klassifikationssysteme etabliert. Die wichtigsten Systeme in Bezug auf polytraumatisierte Patienten werden im Folgenden genauer beschrieben.

### **2.2.1 Glasgow Coma Scale**

Die Glasgow Coma Scale (GCS) ist ein weit verbreiteter physiologischer Score zur Beurteilung der Vigilanz des Patienten und zur ungefähren Abschätzung der Überlebenschancen. Ihm kommt eine besondere Bedeutung zu, da sie den ersten diagnostischen Schritt überhaupt darstellt. Ursprünglich wurde sie bereits 1974 von Frahm Teasdale und Brian Jennett zur objektiven Beurteilung der Schwere eines Schädel-Hirn-Traumas (SHT) entwickelt [22]. Hierzu werden die Variablen Augenöffnen, beste verbale Antwort und beste motorische Antwort herangezogen. Niedrige Punktzahlen bedeuten eine schlechte Bewusstseinslage (Minimum 3). Hohe Punktzahlen hingegen gehen mit einer guten Bewusstseinslage und einer hohen Überlebenschancen einher (Maximum 15). Ein Score von 8 oder weniger wird häufig zur Definition eines schweren SHT mit Koma / Bewusstlosigkeit herangezogen [22-23]. Die GCS findet inzwischen Anwendung auf der gesamten Welt. So wird sie unter anderem für das Traumaregister der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) und das Notarztprotokoll der deutschen interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) erhoben. Außerdem geht der GCS-Score in verschiedene komplexere Traumascores wie beispielsweise den Revised Trauma Score (RTS) oder den Trauma and Injury Severity Score (TRISS) mit ein [24-25]. Die Vorteile der GCS liegen in der Einfachheit der Anwendung und der weiten Verbreitung. Die Beurteilung der Schwere eines SHT mittels GCS ist allerdings problematisch, da der Score auch durch andere Parameter (Hypoxie, Schock, Drogen, Medikamente, Alkohol, etc.) beeinflusst wird. Auch der Zeitpunkt



der Feststellung ist relevant, da der Score sich jederzeit ändern kann. Bei analgosedierten Patienten ist eine korrekte Einteilung nicht möglich [23, 26].

### **2.2.2 Abbreviated Injury Scale**

Die Abbreviated Injury Scale (AIS) ist einer der wichtigsten Scores zu Beurteilung der Schwere von Organverletzungen. Sie wird seit 1969 entwickelt und erstmals 1971 von der Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) publiziert. Seitdem haben mehrfache Aktualisierungen und Anpassungen stattgefunden. Die AIS ist ähnlich der Organ Injury Scale (OIS) der Association for the Surgery of Trauma (AAST) [27-31]. Für jedes Organ, bzw. jede Region des Körpers wurden Tabellen entwickelt, die Punktwerte von 0 bis 6 entsprechend der Schwere der Verletzungen zuweisen. Der Wert 1 stellt hierbei eine leichte, der Wert 5 eine sehr schwere und der Wert 6 eine nicht mit dem Leben vereinbare Verletzung der entsprechenden Körperregion dar [32]. In **Tabelle 2** (S. 10) ist am Beispiel der Leber sowohl die OIS, als auch die AIS in der Revision von 1990 dargestellt. Analog existieren entsprechende Tabellen für weitere Organe. Der AIS kommt eine besondere Bedeutung zu, da sie die Grundlage zur Berechnung des ISS bildet.

**Tabelle 2:** AIS und OIS am Beispiel der Leber [28, 31].

<b>OIS</b>	<b>Verletzung</b>	<b>AIS</b>
I	Hämatom Subkapsulär, < 10 % der Oberfläche	2
	Lazeration Kapselriss, < 1 cm ins Parenchym reichend	2
II	Hämatom Subkapsulär, 10 % - 50 % der Oberfläche	2
	Intraparenchymal, < 10 cm Durchmesser	2
	Lazeration 1 – 3 cm ins Parenchym reichend, < 10 cm Länge	2
III	Hämatom Subkapsulär, > 50 % der Oberfläche, oder progredientes rupturiertes, subkapsuläres oder parenchymales Hämatom	3
	Intraparenchymales Hämatom, > 10 cm oder progredient	3
	Lazeration > 3 cm ins Parenchym reichend	3
IV	Lazeration Parenchymzerreiung von 25 – 75 % der Leber, oder 1 - 3 Couinaud-Segmente eines Leberlappens	4
V	Lazeration Parenchymzerreiung von mehr als 75 % der Leber, oder mehr als 3 Couinaud-Segmente eines Leberlappens	5
	vaskulär Juxtahepatische Venenverletzung, insbesondere retrohepatische Vena cava / zentrale größere Lebervenen	5
VI	vaskulär Avulsion der Leber	6

Für multiple Läsionen des selben Organs wird um je I Grad bis maximal III erhöht

### 2.2.3 Injury Severity Score

Der Injury Severity Score (ISS) ist der mit Abstand am häufigsten verwendete Score in der traumatologischen Literatur. Er stellt einen anatomischen Index der Verletzungsschwere dar. Entwickelt wurde er von Susan Baker auf der Grundlage der AIS [33]. Zur Berechnung des ISS wird der Körper in sechs Regionen eingeteilt:

1. Kopf / Hals (mit Halswirbelsäule)
2. Gesicht
3. Thorax (mit Brusteingeweiden und Brustwirbelsäule)
4. Abdomen (mit Baueingeweiden und Lendenwirbelsäule)
5. Becken / Extremitäten
6. Äußere Verletzungen

Der ISS ergibt sich aus der Summe der quadrierten AIS-Punktwerte der drei am schwersten betroffenen Körperregionen. Die entsprechende Formel lautet also:

**Formel 1:** Berechnung des ISS.

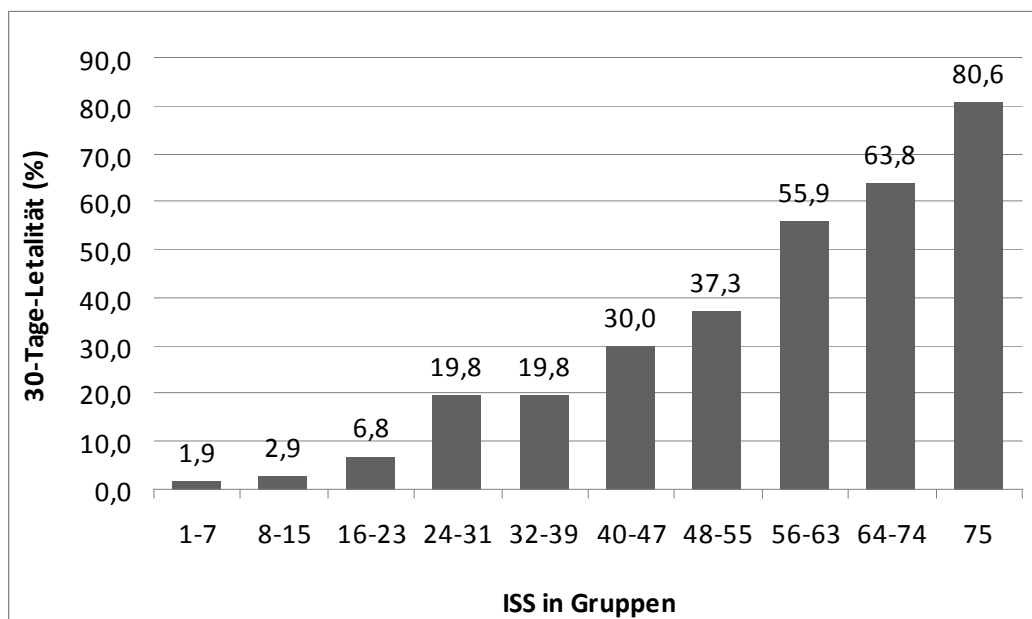
$$ISS = AIS_1^2 + AIS_2^2 + AIS_3^2$$

Es ergeben sich Scorewerte zwischen 0 und 75. Wird einer einzelnen Verletzung der AIS-Punktwert 6 zugeordnet, resultiert definitionsgemäß der maximale ISS-Score von 75 Punkten. Hohe Scores bedeuten schwere anatomische Verletzungen und korrelieren mit einer schlechten Überlebensprognose [23, 34]. Der Zusammenhang ist dabei in etwa linear (**Abbildung 1**, S. 12). Manche ISS-Werte treten sehr häufig auf (z.B. 9, 13, 16, 25, 29), andere sehr selten oder garnicht (z.B. 15, 23, 28, 31, 40). Die Ursache hierfür liegt in der Berechnung des Scores über das Quadrat der

AIS-Punktwerte. Die Zahl 23 beispielsweise lässt sich nicht als Summe dreier Quadratzahlen darstellen.

Der Vorteil des ISS zur Beschreibung des Schweregrades der Verletzungen von Polytraumatisierten ist der hohe Bekanntheitsgrad. Nahezu jeder Traumatologe nutzt diesen Score und auch in Studien findet der ISS sehr häufig Verwendung. Einer der Nachteile ist, dass für jede Körperregion nur die jeweils schwerste Verletzung zur Berechnung herangezogen wird. Multiple Verletzungen der selben Region bleiben somit unberücksichtigt, ebenso wie Verletzungen von mehr als 3 Körperregionen. Auch andere Parameter, wie beispielsweise das Vorhandensein eines SHT, die für die Abschätzung des Outcomes relevant sind, gehen überhaupt nicht in die Berechnung des rein anatomischen ISS ein [23, 33].

**Abbildung 1:** Letalität bezogen auf den ISS [23].



## 2.2.4 Weitere Score-Systeme

Neben den genannten wurden im Laufe der Jahre noch weitere Scores entwickelt.

Der New Injury Severity Score (NISS) wurde erstmals im Jahre 1997 von Osler et al. publiziert [35]. Er ist dem ISS sehr ähnlich. Für die Berechnung werden ebenfalls die 3 schwersten Verletzungen herangezogen, jedoch unabhängig von der Körperregion. Der Nachteil des ISS, multiple Verletzungen derselben Körperregion nicht ausreichend zu berücksichtigen, wird damit aufgehoben. Liegen die 3 schwersten Verletzungen in unterschiedlichen Körperregionen, so ist der NISS gleich dem ISS [23, 35].

Der Revised Trauma Score (RTS) wurde wie sein Vorgänger, der Trauma Score (TS), in den 1980er Jahren entwickelt und liegt in 2 Versionen vor. Der Triage-RTS (T-RTS) dient der raschen Abschätzung ob ein Patient einem Traumazentrum zugeführt werden sollte. Betrachtet werden hierzu lediglich 3 Faktoren: Die GCS, der systolische Blutdruck und die Atemfrequenz. Da der T-RTS sehr einfach bestimmt werden kann, eignet er sich besonders gut zur raschen Einschätzung, auch wenn kein Arzt vor Ort ist. Die zweite Version dient der Abschätzung des Outcomes [23].

Ebenfalls in den 1980er Jahren wurde der Trauma and Injury Severity Score (TRISS) von Boyd et al. entwickelt, welcher die 3 wichtigsten prognostischen Faktoren bei Schwerverletzten vereint [24]. Diese sind zum einen das anatomische Verletzungsmuster (repräsentiert durch den ISS), die physiologischen Traumareaktionen (beschrieben mittels RTS), sowie das Alter des Patienten. Es gibt separate Formeln für Patienten mit stumpfem und penetrierendem Trauma, was die Berechnung der Überlebenschancen noch präzisiert. Der TRISS findet vielfach Verwendung in Traumaregistern, unter anderem auch in dem der DGU. In vergleichenden Studien hat sich eine deutliche Überlegenheit des TRISS gegenüber den einzelnen Scores herausgestellt. Als Nachteile bleiben natürlich die Schwächen

der einzelnen Scores, sowie die lediglich einstufige Berücksichtigung des Patientenalters ab 55 Jahren [23].

Ein weiterer von Howard Champion entwickelter Score ist "A Severity Classification of Trauma" (ASCOT). Er wurde als Alternative zum TRISS entwickelt um dessen Schwächen zu beseitigen. Trotz der deutlichen methodischen Überlegenheit konnte sich der ASCOT nicht gegen den TRISS durchsetzen. Gründe dafür sind möglicherweise der nur minimale prognostische Vorteil des ASCOT und die komplexe Berechnungsvorschrift [36].

Der zurzeit wohl genaueste Score ist die erst 2001 entwickelte Revised Injury Severity Classification (RISC). Sie vereint 11 verschiedene Informationen, alle mit multivariat adjustierten Koeffizienten, und gestattet daher eine Prognose, die in weniger als 1 % der Fälle vom tatsächlichen Outcome abweicht. Allerdings kann es auch leicht vorkommen, dass sich der Wert aufgrund fehlender Daten nicht bestimmen lässt. Ein weiterer Nachteil ist die bisher geringe Akzeptanz [23].

## 2.3 Radiologische Untersuchungen bei Polytraumatisierten

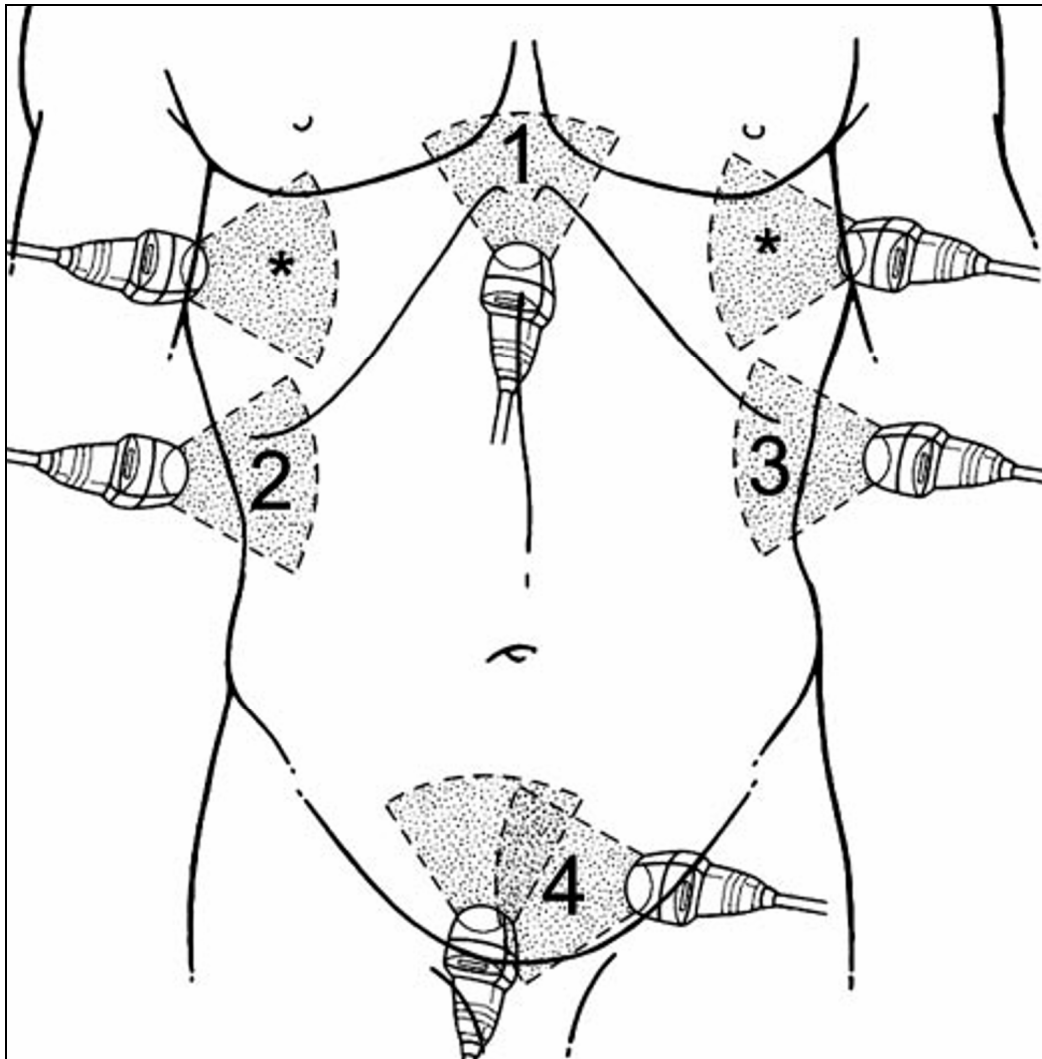
### 2.3.1 Sonographie

Als sonographisches Verfahren bei polytraumatisierten Patienten kommt üblicherweise die fokussierte Sonographie des Abdomens (focused assessment with sonography for trauma, FAST) zum Einsatz. FAST ist eine standardisierte Untersuchungsroutine zur Beurteilung der Integrität der abdominellen und pelvinen Organe, sowie des Herzbeutels und der Pleura [37].

An definierten Stellen wird mittels Sonographie das Vorhandensein freier Flüssigkeit, respektive Blut, überprüft. Diese Stellen sind Pleura, Perikard, Morison-Pouch, Koller-Pouch, sowie Douglas'scher Raum, bzw. Excavatio rectovesicalis (siehe **Abbildung 2**, S. 16). Da die Flüssigkeit den anatomischen Gegebenheiten folgt, bilden sich häufig Ansammlungen zwischen Leber und rechter Niere, perisplenisch (siehe **Abbildung 3**, S. 17) und im Douglas'schen Raum. Dies ist bedingt durch die Grenzschichten zwischen den intraperitoneal und extraperitoneal gelegenen Organen.

Die Flüssigkeit stellt sich in der Sonographie als echofreie, bandförmige Struktur dar. Bei nur geringen Mengen an Flüssigkeit, welche sich nicht in den präformierten Höhlen sammeln, lässt sich häufig ein echofreier Randsaum entlang der Darmschlingen nachweisen. Die Darstellung gelingt ab einer minimalen Menge von etwa 200 ml und ist ein indirektes Zeichen für eine Organläsion. Verletzungen mit geringerem Blutverlust können eventuell direkt durch die Darstellung der parenchymatösen Verletzung selbst diagnostiziert werden [7, 23, 37-38].

**Abbildung 2:** Standardschnitte für die FAST [37].



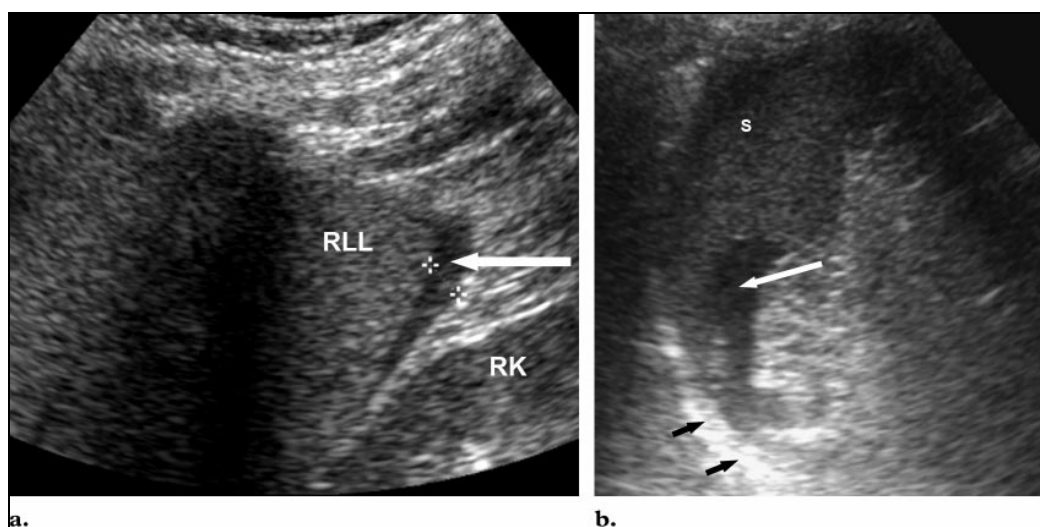
Perikard (1), Morison-Pouch (2), Koller-Pouch (3), Douglas-Raum bzw. excavatio rectovesicalis (4), Pleura (\*).

Eine Ultraschalluntersuchung des Abdomens als alleinige bildgebende Diagnostik zum Ausschluss intraabdomineller Verletzungen wird wegen der nur geringen Sensitivität in der direkten Detektion von Organverletzungen als nicht ausreichend erachtet [37, 39]. Allerdings ist die Sonographie als schnell verfügbare Methode zur



Indikationstellung für Notfalloperationen, insbesondere einer Laparotomie, noch immer ein hilfreiches Mittel [13, 40]. So erlaubt es die Sonographie in einigen Fällen auf die nachfolgende CT-Untersuchung und die damit verbundene Strahlenbelastung zu verzichten, was insbesondere bei schwangeren Patientinnen und Kindern von Bedeutung sein kann [41].

**Abbildung 3:** Beispiele für freie Flüssigkeit in der FAST.



Mittels FAST angefertigte Ultraschallaufnahmen von Patienten mit stumpfem Abdominaltrauma. (a) Längsschnitt durch den rechten Oberbauch mit einer geringen Menge intraperitoneal gelegener Flüssigkeit im Morison-Pouch (Pfeil). RK = rechte Niere, RLL = rechter Leberlappen. (b) Längsschnitt durch den linken Oberbauch. Es zeigt sich freie Flüssigkeit perisplenisch (weißer Pfeil) mit dorsaler Schallverstärkung (schwarze Pfeile). S = Milz [37].

### 2.3.2 Konventionelle Radiographie

In der Fachliteratur wird nach wie vor debattiert, welchen Stellenwert die Projektionsradiographie und die Sonographie in der Frühphase der Diagnostik polytraumatisierter Patienten haben. In den 1990er Jahren wurden bei allen Patienten mit erwartetem Polytrauma entsprechend dem allgemeinen Konsens Röntgenaufnahmen des Schädels, des Thorax, der gesamten Wirbelsäule und des

Beckens, sowie eine FAST angefertigt [21, 39, 42-43]. Durch die Auswertung dieser Bilder und der klinischen Befunde wurde anschließend die Indikation für die gezielte Untersuchung einzelner Körperregionen mittels CT gestellt. Eine Untersuchung des ganzen Körpers mit der CT war wegen der damals nur langsamen und weniger leistungsstarken Geräte technisch nicht möglich, bzw. wegen der langen Untersuchungsdauer medizinisch nicht vertretbar.

Trotz der heute verfügbaren schnelleren und leistungsfähigeren Mehrzeilengeräte halten Fachgesellschaften wie das American College of Surgeons (ACS) und die DGU teilweise bis heute an diesem Konzept fest [41, 44]. Die Projektionsradiographie bringt jedoch bei polytraumatisierten Patienten einige gravierende Nachteile mit sich:

- Oft ist die für die jeweilige Aufnahme notwendige Positionierung des Patienten nicht möglich.
- Artefakte durch noch vorhandene Kleidung, Kontamination des Patienten oder auch medizinische Geräte und Lagerungshilfen sind häufig und können zu einer eingeschränkten Beurteilbarkeit der Bilder oder Maskierung pathologischer Befunde führen.

Beide Faktoren führen schlussendlich zu einer oft insuffizienten Bildqualität und einer eingeschränkten Detektionsrate von relevanten Verletzungen. Dadurch ist z.B. ein zuverlässiger Ausschluss einer HWS-Verletzung mittels einer einzelnen lateralen Röntgenaufnahme oft nicht möglich [8]. Bereits seit Mitte der 1990er Jahre besteht daher die Empfehlung, bei Polytraumatisierten die HWS ausschließlich mit der CT zu untersuchen [8, 41, 45]. Auch aktuelle Zahlen bestätigen hier eine deutliche Überlegenheit der CT gegenüber dem konventionellen Röntgen. Bezüglich stabilen Wirbelkörperfrakturen wurden in einer Studie von Albrecht et al. beispielsweise Detektionsraten von 87 % bei der CT gegenüber 71 % bei der konventionellen Radiographie ermittelt, obwohl die Scanparameter nicht für die Wirbelsäule optimiert

waren. Zudem konnten 100 % der instabilen Wirbelkörperfrakturen diagnostiziert werden [11].

### **2.3.3 Computertomographie**

Die Computertomographie (CT) diente lange Zeit als zusätzliches diagnostisches Mittel für spezielle Fragestellungen. Dies war im Wesentlichen durch die langen Scanzeiten bedingt. Eine derartige Verzögerung war damals bei Patienten mit Polytrauma nicht vertretbar.

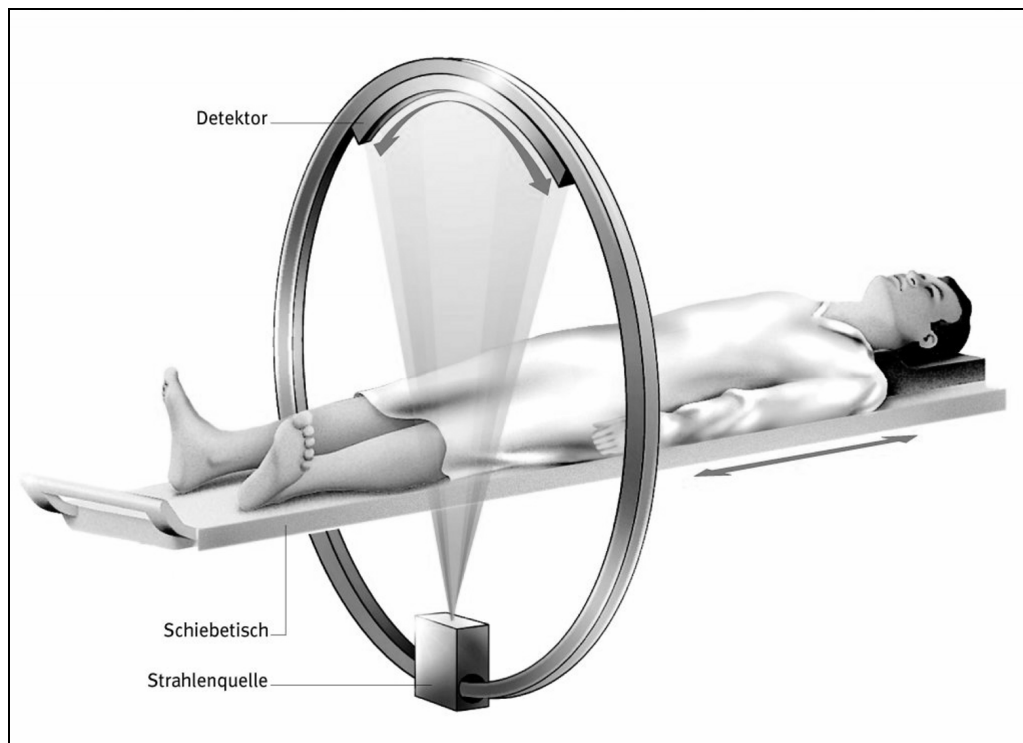
Anfang der 1970er Jahre waren die Geräte der ersten Generation mit nur einem einzigen Detektor ausgestattet. Dieser führte gemeinsam mit der Röntgenröhre während der Durchstrahlung des Patienten gleichzeitig eine Translationsbewegung aus. Im Anschluss wurde das System aus Röhre und Detektor um 1° gedreht und der Vorgang wiederholt. Mit dieser Technik konnten zunächst nur wenige Schichten eines Patientenkopfes gescannt werden. Selbst hierfür wurde pro Schicht eine Zeit von über 5 Minuten benötigt. Die Rekonstruktion der Daten bis zum fertigen Bild nahm mehrere Stunden in Anspruch.

Die Scanner der zweiten Generation, die um 1974 auf den Markt kamen, wurden zwar bereits mit bis zu 52 nebeneinander liegenden Detektoren ausgestattet, eine Translationsbewegung der Röntgenröhre war jedoch immer noch erforderlich. Die Neuerungen brachten einen Zuwachs an Auflösung und Bildqualität. Zudem konnte die Scanzeit pro Schicht auf etwa 18 Sekunden reduziert werden. Auch die ersten Ganzkörperscanner wurden zu dieser Zeit entwickelt.

Erst die folgenden Geräte der dritten Generation arbeiteten mit einem ausreichend breiten Strahlenfächer, was eine Translation der Röntgenröhre überflüssig machte (siehe **Abbildung 4**, S. 20). Allerdings war die Röhre noch immer an das stromzuführende Kabel gebunden, sodass weiterhin das Rückführen der Röhre nach einer 360°-Umdrehung notwendig war. Dennoch konnte die Zeit pro Umdrehung auf

ein Minimum von etwa 2 Sekunden reduziert werden, wodurch die Scanzeit auf ca. 5 Sekunden sank.

**Abbildung 4:** 3. CT-Generation mit breitem Strahlenfächer [46].

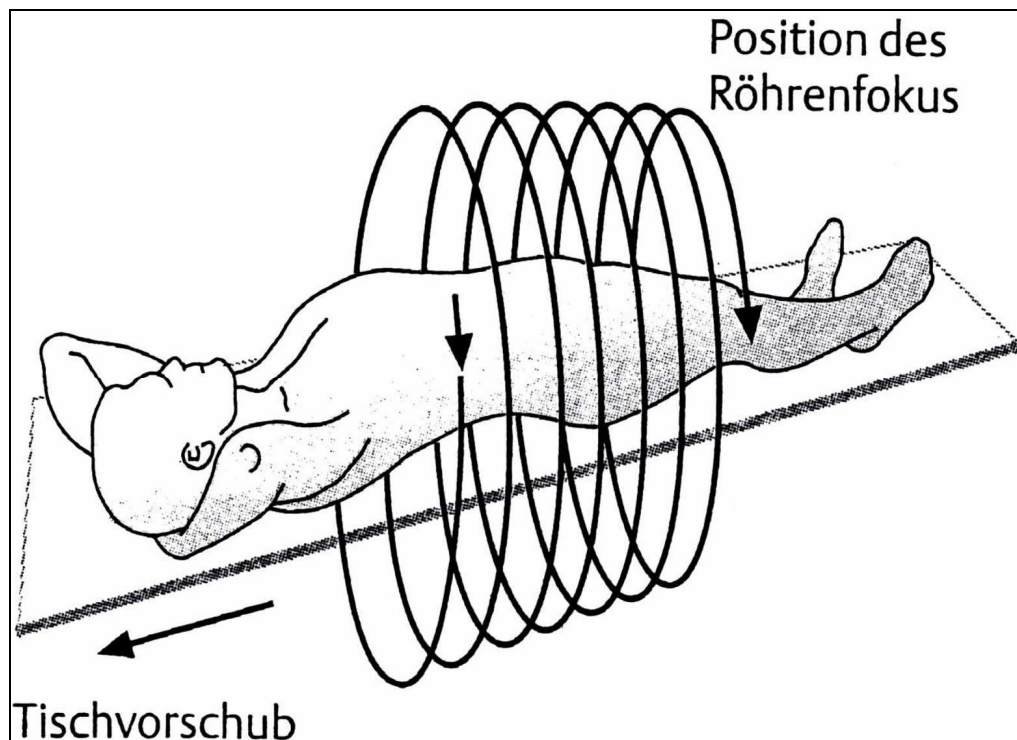


Eine vierte Generation von Computertomographen versuchte die rotierende Masse zu minimieren, indem ein stationärer 360°-Detektorring verbaut wurde, was abermals zu einer Reduktion der Scanzeit beitrug. Dieses Konzept wurde jedoch weitestgehend verlassen, sodass heutzutage fast ausschließlich Geräte der 3. Generation verwendet werden.

Ein Meilenstein in der Geschichte der CT wurde allerdings 1987 gesetzt, als mit der Einführung der Schleifringtechnik die Ära der Spiralcomputertomographie begann. Erst durch die kontinuierliche Rotation der Röhre bei gleichzeitig stetigem Tischvorschub (siehe **Abbildung 5**, S. 21) wurde es möglich, Volumendatensätze zu

akquirieren, die eine Rekonstruktion der Daten in jeder beliebigen Raumebene, sowie eine dreidimensionale Oberflächendarstellung erlauben. Die Geschwindigkeit des Scans wird heutzutage noch dadurch gesteigert, dass nebeneinander angeordnete Reihen von Detektoren mehrere Schichten auf einmal erfassen (Mehrschichtcomputertomographie, MSCT). So kann binnen kürzester Zeit der gesamte Körper eines Patienten gescannt werden [11, 47-48].

**Abbildung 5:** Spiral-CT, schematische Darstellung [49].



### 2.3.4 Vorteile der CT gegenüber anderen bildgebenden Verfahren

MSCT und Spiraltechnik ermöglichen es heutzutage, in der Frühphase der Diagnostik den Schädel und den gesamten Rumpf eines Patienten innerhalb weniger Minuten nach signifikanten Verletzungen zu untersuchen [11]. Als zeitsparende Alternative zu gezielten CT-Einzeluntersuchungen begrenzter Körperabschnitte nach klinischer

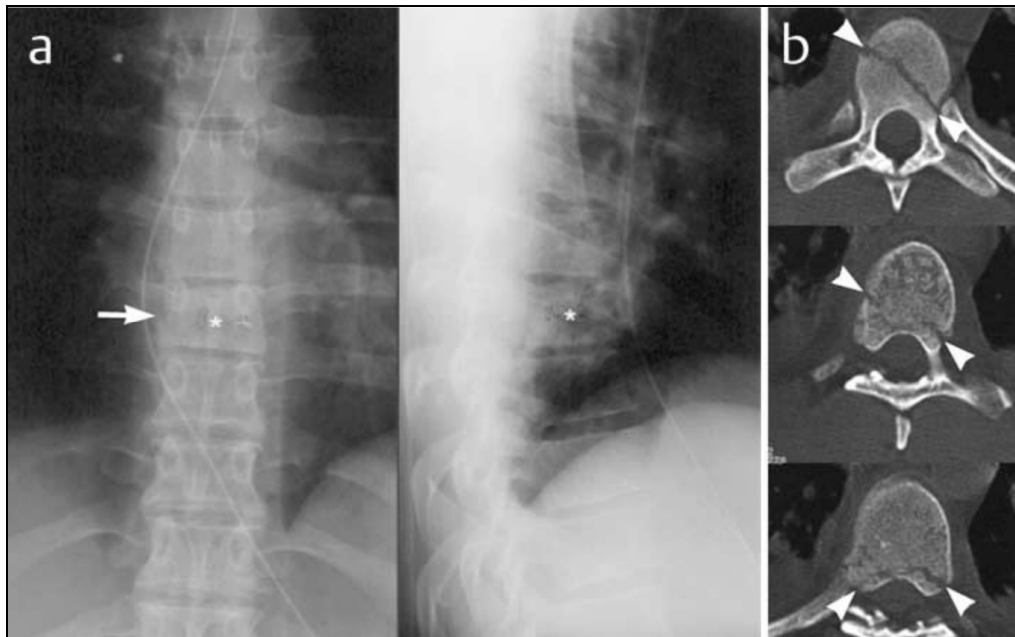
Indikation wurde so Ende der 90er Jahre von Löw et al. und Mutze et al. das Konzept der Ganzkörpercomputertomographie (GKCT) in die Polytraumadiagnostik eingeführt [50-51].

Erwartungsgemäß hat sich herausgestellt, dass die initiale GKCT in der Diagnostik von Thorax- und Abdominalverletzungen der CR und der FAST überlegen ist [52]. Dies konnte auch durch eine Reihe klinischer Studien zur Diagnostik von Thorax- und Abdominaltraumata belegt werden [10-11, 13, 37, 42, 50, 53-60].

Auch bietet die CT deutliche Vorteile in der Detektion und Klassifikation von Frakturen im Vergleich zur CR. Resnik et al. konnten beispielsweise zeigen, dass 80 % aller Actetabulumfrakturen nicht auf den konventionell angefertigten Röntgenaufnahmen diagnostiziert werden können [61]. In einer weiteren Studie konnte zudem die Überlegenheit der CT bei der Klassifikation von Beckenfrakturen und damit bei der OP-Planung nachgewiesen werden [62]. Weitere Beispiele für die diagnostische Überlegenheit der CT gegenüber der CR sind Wirbelsäulenfrakturen [63-65] und allgemein skelettales Trauma [45].

**Abbildung 6** (S. 23) zeigt beispielsweise einen Patienten mit Fraktur des BWK 7 nach stumpfem Thoraxtrauma. Konventionell kann eine leichte, rechtsseitige und ventrale Höhenminderung festgestellt werden, eine Hinterkantenbeteiligung scheint nicht zu bestehen. Erst in der CT zeigt sich, dass die Fraktur durch die Hinterkante ausläuft und somit als instabil einzustufen ist.

**Abbildung 6:** Instabile Kompressionsfraktur des BWK 7 [11].

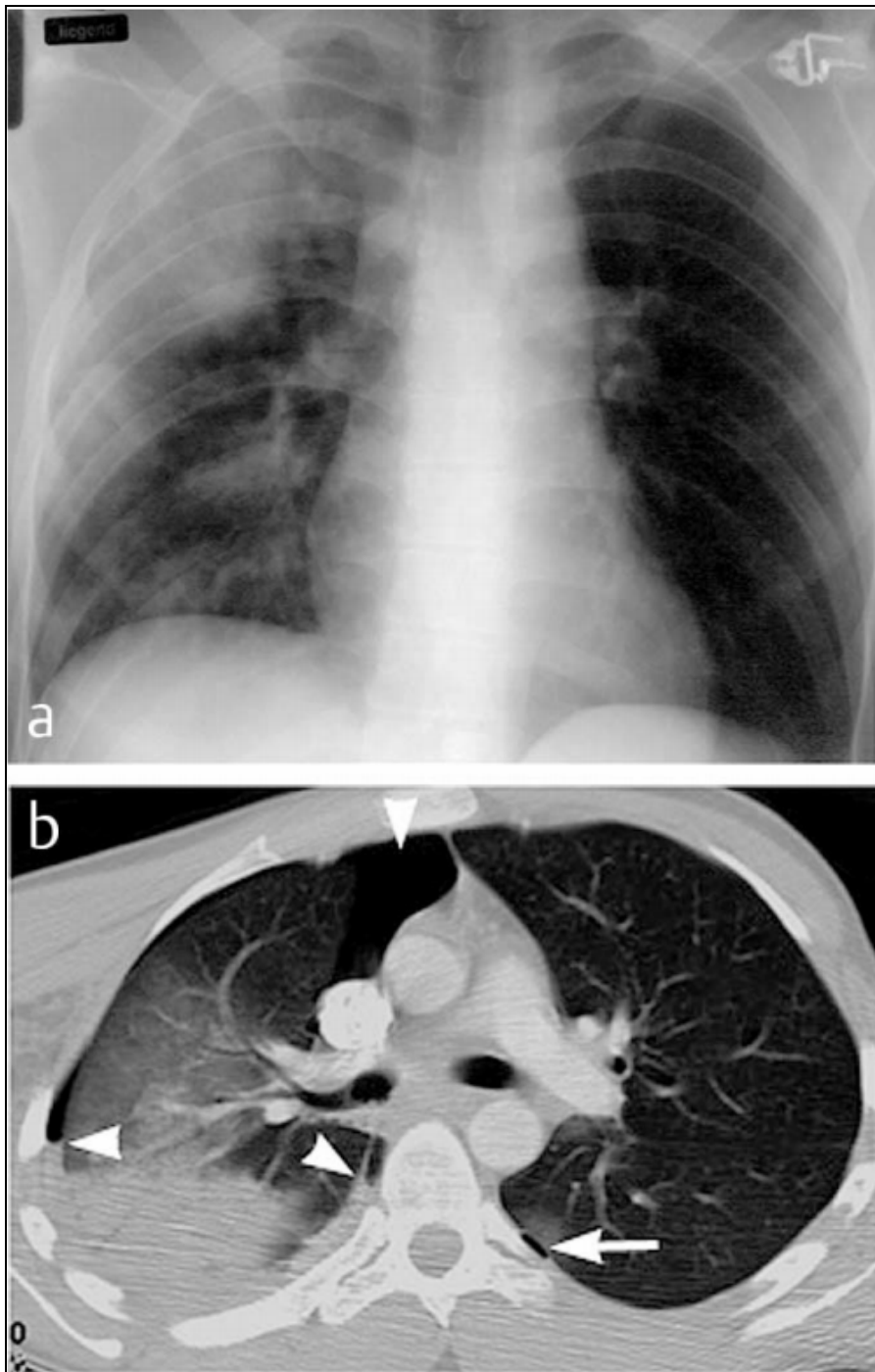


**a** Das konventionelle Röntgenbild zeigt eine geringe, ventral und rechts betonte Höhenminderung des Wirbelkörpers, sowie eine Unterbrechung der rechts-lateralen Kontur (Pfeil). Eine Beteiligung der Hinterkante als Zeichen der Instabilität ist nicht zu erkennen.

**b** Die CT zeigt das wahre Ausmaß der Fraktur: Die Hauptfrakturlinie (Pfeilspitze) erreicht langstreckig die Hinterkante, somit ist die Fraktur instabil.

**Abbildung 7** (S. 24) zeigt die konventionelle Thoraxübersichtsaufnahme und die Thorax-CT eines Patienten, der ebenfalls ein stumpfes Thoraxtrauma erlitt. Während auf der Übersichtsaufnahme nur eine ausgedehnte Lungenkontusion zu sehen ist, zeigt die CT zusätzlich einen rechtsseitigen Hämato-pneumothorax, sowie einen minimalen linksseitigen Pneumothorax.

**Abbildung 7:** In der Röntgenübersicht okulter Hämato-pneumothorax [11].



Zustand nach stumpfem Thoraxtrauma. **a** Die Thoraxübersicht zeigt eine ausgedehnte rechtsseitige Lungenkontusion. **b** Die CT zeigt neben der Kontusion einen mäßiggradigen Hämato-pneumothorax rechts (Pfeilspitzen) und einen minimalen Pneumothorax links (Pfeil).



Die Tatsache, dass Schwerverletzte, die mit der GKCT untersucht werden, eine signifikant höhere Überlebenschance haben, rechtfertigt deren Einsatz noch mehr [9].

Die Zusammenschau der o.g. Studienergebnisse und die Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten im Bereich der CT haben letztendlich dazu geführt, dass die GKCT heutzutage in den meisten großen Traumazentren als Goldstandard in der radiologischen Diagnostik des Polytraumas gilt und generell für die Untersuchung von Schwerverletzten empfohlen wird [66].

Nach einer orientierenden körperlichen Untersuchung, dem Ausschluss einer massiven intrathorakalen oder intraabdominellen Blutung mittels FAST und einer konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme sollte die CT unverzüglich erfolgen. Das Ziel sollte hierbei sein, die CT-Untersuchung innerhalb der ersten 30 Minuten nach Eintreffen des Patienten im Schockraum abgeschlossen zu haben. Diese Zeitvorgabe kann zwar nicht bei allen Patienten erreicht werden, allerdings konnte unsere Arbeitsgruppe nachweisen, dass dieser Zeitraum bei ungefähr 75 % aller Polytraumata eingehalten wird [41]. Bei den restlichen 25 % erforderte der klinische Zustand der Patienten vorrangige Interventionen wie z.B. die Intubation oder die Anlage von Thoraxdrainagen bevor die CT durchführbar war.

### **2.3.5 Strahlenexposition**

Bei der Durchführung einer GKCT (vom Kopf bis zur Symphyse) wird eine für den Patienten nicht unerhebliche Strahlendosis appliziert. Wedegärtner et al. ermittelten einen Durchschnittswert von 20,4 mSv für eine GKCT. Die Belastung einzelner Körperregionen bei selektiver CT wurde mit 2,5 mSv für den Kopf, 2,3 mSv für die HWS, 3,5 mSv für den Thorax und 11,2 mSv für das Abdomen angegeben [67]. Natürlich sind dies nur grobe Richtwerte. Werden bei Geräten unterschiedlicher

Hersteller identische Scanparameter und Protokolle angewendet, kann sich trotzdem die Dosis deutlich unterscheiden. Eine Dosisersparung ist beispielsweise durch die Anwendung eines einzelnen Scans für den Thorax und das Abdomen, anstatt zweier Volumina mit Überlappung möglich [68-69]. Die effektiven Organdosen können noch deutlich höher ausfallen, vor allem wenn spezielle Untersuchungsprotokolle mit wiederholten Scans der selben Körperregion oder Verlaufskontrollen nötig sind [70-71].

Da das Durchschnittsalter aller polytraumatisierten Patienten bei etwa 45 Jahren liegt, ist von einer möglichen Zunahme des zusätzlichen Krebsrisikos für diese Patienten auszugehen [72]. Es handelt sich jedoch bei den Patienten um Schwerverletzte bzw. kritisch Erkrankte, also Patienten mit potentiell erhöhter Mortalität, welche wiederum abhängig vom Zeitpunkt der Erkennung und Intervention ist.

Salim et al. konnten durch einen routinemäßigen Einsatz der GKCT bei 1.000 Patienten ohne offensichtliche Anzeichen einer Verletzung zeigen, dass in 19 % der Fälle eine Änderung der Behandlungsstrategie erforderlich war [73]. Eine weitere Studie untersuchte die routinemäßige GKCT bei 457 Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma. Hierbei wurden bei 38 % der Patienten zuvor nicht erkannte Befunde erhoben, bei 26 % kam es zu einer Behandlungsänderung [74].

Trotz der offensichtlichen Vorteile der GKCT sollte die Indikationsstellung nicht unbedacht erfolgen. Gerade bei jungen Menschen muss der zu erwartende Nutzen die potentiellen Gefahren der Strahlenapplikation überwiegen.

## 2.4 Algorithmen im Schockraum

Die initiale Diagnostik und die Akutbehandlung polytraumatisierter und kritisch erkrankter Patienten stellt eine interdisziplinäre Herausforderung für die beteiligten Fachgebiete Anästhesie, Unfallchirurgie und Radiologie dar. Lebensrettende Eingriffe wie die Anlage von Thoraxdrainagen bei Spannungspneumothorax oder Kontrolle einer Blutungsquelle müssen unverzüglich nach der Ankunft des Patienten im Schockraum erfolgen, weil sich eine Verzögerung der Behandlung negativ auf die Überlebenschancen auswirkt [75-76]. Zur Indikationsstellung und prioritätenorientierten Durchführung von Eingriffen ist eine umfassende, verlässliche, präzise und vor allem zügig durchführbare bildgebende Diagnostik notwendig [41, 56, 77-79].

Um einen möglichst reibungslosen und strukturierten Ablauf der Diagnostik und der Akutbehandlung beim Polytrauma zu gewährleisten, haben sich Algorithmen für alle beteiligten Disziplinen bewährt [1, 10, 21, 41, 43, 78, 80-81]. Zusätzlich wird bei strikter Einhaltung der Algorithmen eine unvollständige Diagnostik vermieden. Dies verringert die Wahrscheinlichkeit von nicht rechtzeitig diagnostizierten und behandelten Verletzungen mit womöglich bleibenden Folgen für den Patienten.

Bei den Algorithmen für die Radiologie muss nicht nur die Art der Bildgebung, sondern auch ihre zeitliche Abfolge definiert werden. Hierfür hat sich in unserer Klinik folgender Algorithmus bewährt, der sich zeitlich am Konzept des Advanced Trauma Life Support (ATLS) des ACS orientiert [41]:

Innerhalb der ersten 5 Minuten nach Eintreffen im Schockraum (Primärphase, primary survey) erfolgt die erste klinische Untersuchung des Patienten. In dieser Phase müssen unmittelbar lebensbedrohliche Zustände wie ein Spannungspneumothorax und massive Blutungen diagnostiziert und behandelt werden. Hierfür haben sich die ABCDE-Prioritäten des ATLS-Konzepts bewährt (siehe **Tabelle 3**, S. 28).

**Tabelle 3:** ABCDE-Prioritäten des ATLS-Konzepts [82].

<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>A</b> airway, c-spine control:<ul style="list-style-type: none"><li>- Tubusfehlage? Atemwegsverlegung? Intubationshindernis?</li><li>- Sicherung der Atemwege unter Immobilisation der HWS.</li></ul></li><li>• <b>B</b> breathing, ventilation:<ul style="list-style-type: none"><li>- Spannungspneu? massiver Hämatothorax? instabiler Thorax?</li><li>- Sauerstoffgabe, Dekompression der Pleura, Beatmung.</li></ul></li><li>• <b>C</b> circulation, hemorrhage control:<ul style="list-style-type: none"><li>- Perikardtamponade? massive Blutung? Hypovolämie?</li><li>- Dekompression Perikard, Blutungskontrolle, Infusionstherapie.</li></ul></li><li>• <b>D</b> disability, neurologic status:<ul style="list-style-type: none"><li>- intrakranielle Blutung? Hirnödem?</li><li>- CT, neurotraumatologische Intervention.</li></ul></li><li>• <b>E</b> exposure and environment:<ul style="list-style-type: none"><li>- weitere Verletzungen?</li><li>- Entkleidung, Schutz gegen Wärmeverlust und ggf. Erwärmung.</li></ul></li></ul>
---

Die Sekundärphase (secondary survey, ca. 5 bis 30 Minuten nach Einlieferung) besteht, nach vorangegangener Stabilisierung des Patienten, aus einer eingehenderen klinischen Untersuchung und weiterer bildgebender Diagnostik wie der GKCT. Hier werden weniger offensichtliche Verletzungen erfasst, die im Rahmen der Primärdiagnostik nicht erkannt werden konnten. Falls durch die im Schockraum durchgeführten Maßnahmen keine Stabilisierung herbeigeführt werden kann, oder die initiale Bildgebung einen lebensbedrohlichen Befund ergibt (z.B. eine massive

intraabdominelle Blutung), wird der Patient ohne weitere Bildgebung sofort in den OP verbracht.

Die Tertiärphase (tertiary survey) beginnt etwa 30 Minuten nach Schocktraumaaufnahme und beinhaltet die abschließende Diagnostik und den folgenden stationären Aufenthalt. Hier erfolgt die definitive Versorgung des Patienten. Bei entsprechender Indikation kann noch weitere Diagnostik wie beispielsweise Kontroll-CTs oder ergänzende MRTs folgen. Voraussetzung ist jedoch, dass alle akut lebensbedrohlichen Zustände zuvor beseitigt wurden. In **Tabelle 4** ist der zeitliche Ablauf noch einmal übersichtlich dargestellt.

**Tabelle 4:** Advanced Trauma Life Support (ATLS), zeitlicher Ablauf [82].

Phase	Zeit	Bildgebung	Therapie
I Primary survey	1-5 Min	FAST, Röntgen Thorax (bei Intubierten)	Stabilisierung, Notfalleingriffe
II Secondary survey	5-30 Min	Ganzkörper-CT, Befundung und Bildnachrekonstruktion	Ausführliche Untersuchung
III	>30 Min	Röntgen der Extremitäten, Zusätzliche CT-Untersuchungen	Definitive Behandlung

## **2.5 Verzögert diagnostizierte Läsionen**

Eine wichtige Voraussetzung für die optimale Therapie des Patienten ist die möglichst frühzeitige Detektion von Verletzungen mit vitaler Bedrohung. Trotz des Einsatzes der GKCT kommt es immer wieder zu verzögert diagnostizierten Läsionen (VDL). Verschiedene Gründe wie beispielsweise Zeitmangel oder komplexe Verletzungsmuster können dazu führen, dass relevante Läsionen erst verzögert diagnostiziert werden. Ein typisches Beispiel hierfür sind Rippenfrakturen.

Das Vorkommen von VDL beim Polytrauma wird in der Literatur zwischen 1,5 und 14 % angegeben [13-18]. Die Zahlen gehen stark auseinander, da sich die Studien im Design und den angewandten Kriterien zum Teil deutlich unterscheiden. Auch die Einteilung in relevante und weniger relevante Verletzungen ist hier von Bedeutung.

Mögliche Faktoren die zur Entstehung von VDL beitragen können sind: Fehlende Ansprechbarkeit des Patienten, zeitlich verzögertes Auftreten klinischer Symptomatik, niedriger Ausbildungsstand des behandelnden Arztes, mangelnde Qualität von klinischer Untersuchung und Röntgenbildern, schlechte Koordination der Behandlungsabläufe und mangelnde Zusammenarbeit der beteiligten Fachdisziplinen untereinander [18, 83-84].

## **3 Material und Methoden**

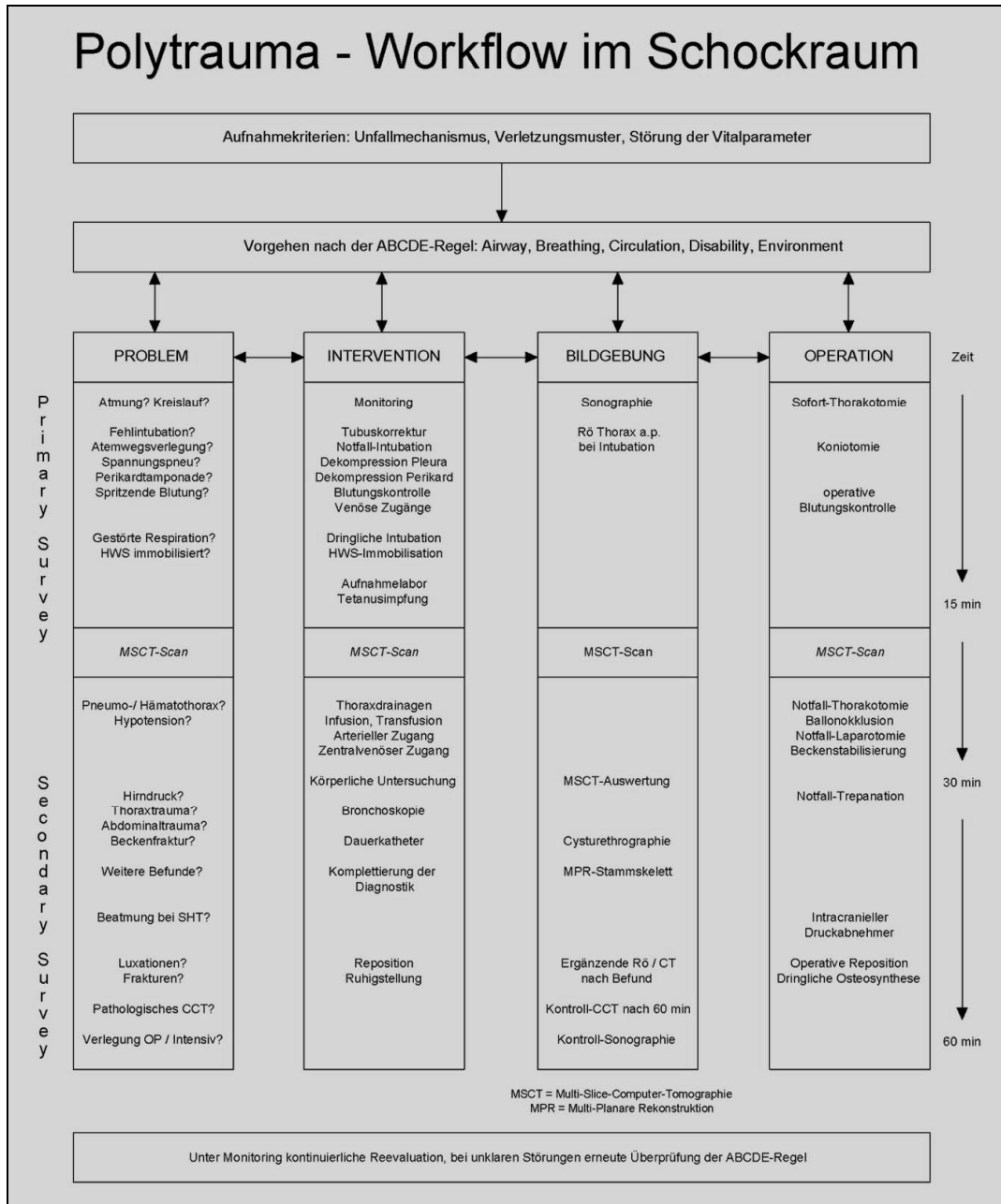
### **3.1 Patientenkollektiv**

Die Auswertung der für die Studie relevanten Daten wurde von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München genehmigt. In der retrospektiven Studie wurden die Akten von Polytraumapatienten im Zeitraum Januar 2003 bis Dezember 2005 ausgewertet. Als Einschlusskriterium wurde der Verdacht auf Polytrauma gemäß o.g. Definition mit Indikation zur radiologischen Untersuchung mittels GKCT definiert.

### **3.2 Untersuchungsablauf / Schockraummanagement**

Die Behandlung im Schockraum erfolgte zunächst in Anlehnung an die ABCDE-Prioritäten des ATLS-Konzepts (siehe **Tabelle 3**, S. 28), entsprach diesen jedoch nicht vollständig. Auf die Anfertigung von Röntgenaufnahmen vor der GKCT wurde beispielsweise grundsätzlich verzichtet (Abgesehen von der Röntgenübersicht des Thorax zur Überprüfung der Tubuslage bei Intubierten). Der von uns angewendete Algorithmus ist in **Abbildung 8** (S. 32) dargestellt.

Abbildung 8: Polytrauma - Workflow im Schockraum [41].

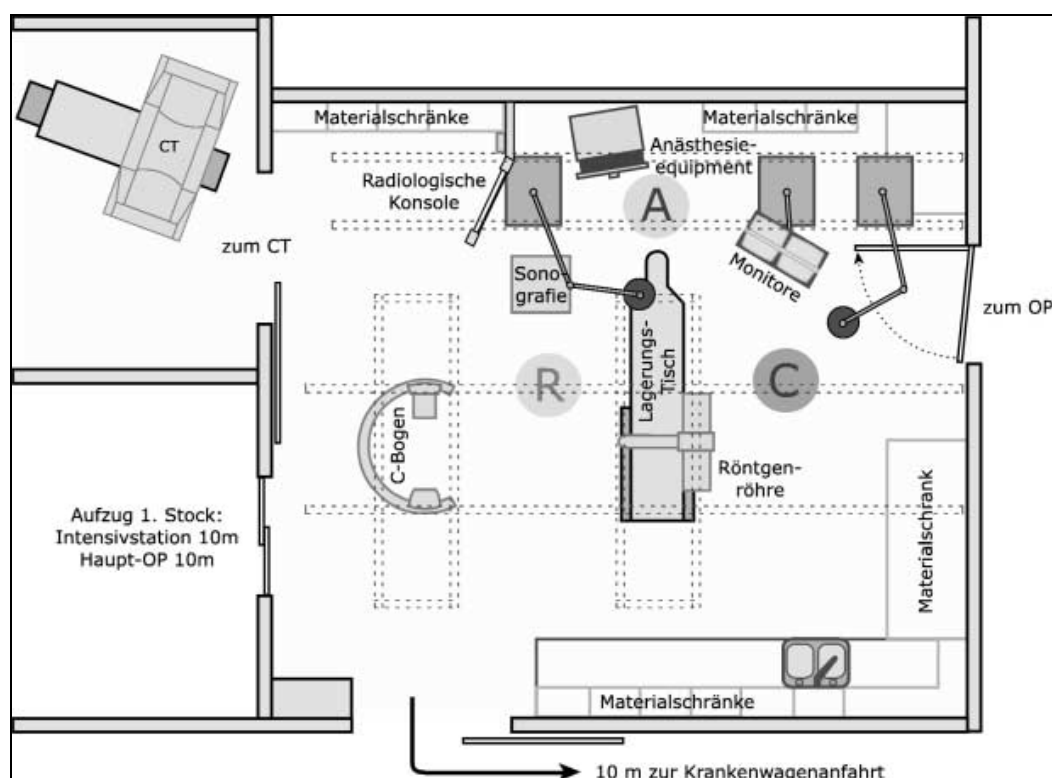




### 3.3 Ganzkörpercomputertomographie - Aquisitionsprotokoll

Sämtliche CT-Untersuchungen wurden an einem 4-Zeilen-CT-Scanner (Somatom Volume Zoom, Siemens Medical Solutions, Erlangen) durchgeführt. Der Ort war das Institut für Klinische Radiologie in der Chirurgischen Klinik Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität München. Der CT-Scanner war zum Zeitpunkt der Studie direkt in einem Nebenraum des Schockraums installiert (siehe **Abbildung 9**).

**Abbildung 9:** Räumliche Verhältnisse im Bereich des Schockraums [85].



Das CT-Untersuchungsprotokoll für diese Studie ist eine Weiterentwicklung des halbautomatischen RUSH-CT, welches im Jahr 2000 eingeführt wurde [86]. Es beinhaltet eine native sequentielle CT des Schädels (CCT) mit gekippter Gantry, sowie eine kontrastmittelverstärkte CT von Thorax und Abdomen (siehe **Tabelle 5**, S. 35). Das jodhaltige Kontrastmittel wurde über eine Kontrastmittelpumpe injiziert. Die

Halswirbelsäule wurde im Rahmen des Thorax-CT mitakquiriert. Durch die Kontrastmittelverstärkung können so neben den knöchernen Verletzungen auch Gefäßläsionen in diesem Bereich sicher diagnostiziert werden. Während der Untersuchung waren Vorschaubilder auf der CT-Konsole sofort verfügbar, um Läsionen schnellstmöglich zu diagnostizieren.

Nach Fertigstellung des Scans wurden aus den thorakalen und abdominellen Datensätzen zusätzliche Bilder von Becken, sowie Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule berechnet (harter Faltungskern, Knochenfenster, 2,5 mm Schichtdicke). Schließlich wurden standardmäßig sowohl koronare als auch sagittale multiplanare Rekonstruktionen berechnet.

**Tabelle 5:** CT-Akquisitionsprotokoll.

1. Planungsscan (Scout)	anterio-posterior	
	Röhrenspannung	120 kV
	Röhrenstrom	40 mAs
2. Schädel	Aquisitionsmodus	sequentiell
	Kollimation	4 x 2,5 mm
	Schichtdicke	2,5 mm (Schädelbasis) 5 mm (Cerebrum)
	Kippung	ca. 25°
	Röhrenspannung	120 kV
	Röhrenstrom	250 mAs
	Scandauer	ca. 18 s
3. Kontrastmittelinjektion	Menge	120 ml
	Flussrate	2,5 ml/s
4. HWS/Thorax	Rotationszeit	0,5 s
	Kollimation	4 x 2,5 mm
	Schichtdicke	5 mm
	Röhrenspannung	120 kV
	Röhrenstrom	160 mAs effektiv, modul.
	Tischvorschub	15 mm
	Delay nach KM	25 s
	Scandauer	ca. 14 s
5. Abdomen/Becken	Rotationszeit	0,5 s
	Kollimation	4 x 2,5 mm
	Schichtdicke	5 mm
	Röhrenspannung	120 kV
	Röhrenstrom	180 mAs effektiv, modul.
	Tischvorschub	10 mm
	Delay nach KM	ca. 70 s
	Scandauer	ca. 21 s

Die Wirbelsäule wurde aus den Thorax- / Abdominaldatensätzen berechnet.  
Zusätzlich zu den axialen Schichten wurden MPRs in 2 Ebenen berechnet.

### 3.4 Verzögert diagnostizierte Läsion - Definition

Als VDL wurden alle Verletzungen definiert, die nicht in dem initialen, validierten GKCT-Befund erwähnt wurden, aber in später verfassten Dokumenten (siehe unten) des Patienten auftauchten. Wurden, entgegen des eigentlichen Algorithmus, Röntgenaufnahmen vor der GKCT angefertigt, blieben die hieraus resultierenden

Befunde unberücksichtigt. Verletzungen der Extremitäten wurden nicht berücksichtigt, sofern sie im initialen CT nicht mit erfasst wurden. Ebenso unberücksichtigt blieben Läsionen, die nicht durch das Trauma bedingt waren (z.B. degenerative Veränderungen, etc.).

### **3.5 Auswertung**

Zur Auswertung wurden zunächst alle verfügbaren Patientendaten sämtlicher Schockraumpatienten im Zeitraum vom 1. Januar 2003 bis 31. Dezember 2005 tabellarisch erfasst. Zum Teil fehlende Daten (insbesondere ISS-Werte) konnten mit Hilfe der umfangreichen Tabellen des Polytraumaregisters der DGU komplettiert werden.

Im zweiten Schritt wurden alle primär diagnostizierten Verletzungen erfasst und in einer tabellarischen Übersicht zusammengetragen. Dies erfolgte anhand der endgültigen, validierten Befunde des primären GKCT-Scans. Patienten, bei denen dieser Scan nicht oder nicht vollständig durchgeführt werden konnte, sowie Patienten mit unvollständiger Dokumentation wurden von der Studie ausgeschlossen.

Der dritte Schritt bestand darin, nach Läsionen zu fahnden, die im Befund nicht aufgeführt waren. Hierzu wurden sämtliche verfügbaren Dokumente der Patienten durchsucht. Dazu zählen insbesondere OP-Berichte, Befunde klinischer und apparativer Untersuchungen, sowie Verlegungs- bzw. Entlassungsbriefe. Auf diese Weise gefundene Läsionen wurden gemäß oben genannter Definition für VDL zunächst in eine Gruppe mit VDL und eine Gruppe ohne VDL eingeteilt.

Die so ermittelten ermittelten Patienten mit VDL wurden weiter unterteilt in eine Gruppe mit relevanten VDL und eine Gruppe mit nicht relevanten VDL. Als Kriterium hierfür galt die Behandlungsbedürftigkeit der übersehenen Läsion. Eine nicht dislozierte Rippenfraktur wäre demnach beispielsweise als nicht relevant eingestuft worden, während ein Spannungspneumothorax als relevant gewertet

worden wäre. Die Verletzung wurde jedoch auch als nicht relevant eingestuft, wenn ohnehin bereits die korrekte Behandlung eingeleitet wurde. Dies kann z.B. bei einer übersehenen intrakraniellen Blutung der Fall sein, wenn aufgrund einer anderen Verletzung eine Trepanation zur Entlastung durchgeführt wurde.

Die ermittelten Daten wurden zur Erstellung von Tabellen und Grafiken herangezogen. Für die statistische Auswertung der Daten kam der Mann-Whitney-U-Test unter Verwendung der Statistiksoftware SPSS (SPSS v14.0, SPSS Inc., Chicago, IL) zur Anwendung.

Im letzten Schritt wurden die GKCT-Scans der Patienten mit VDL von einem erfahrenen Radiologen unter Kenntnis aller endgültigen Befunde daraufhin untersucht, ob die Verletzungen auf dem Datensatz sichtbar waren und somit anhand der Untersuchung diagnostizierbar gewesen wären. Auch mögliche Gründe für die verzögerte Diagnosestellung sollten so in Erfahrung gebracht werden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Demographische Daten

Im Zeitraum 1. Januar 2003 bis 31. Dezember 2005 wurden insgesamt 581 Patienten mit Verdacht auf Polytrauma über unseren Schockraum aufgenommen. 206 Patienten wurden von der Studie ausgeschlossen, weil entweder kein GKCT-Scan durchgeführt wurde (n=69), oder weil die Dokumentation im System unvollständig vorlag (n=137). Von den eingeschlossenen 375 Patienten waren 289 männlich (77,1 %) und 86 weiblich (22,9 %). Der im Nachhinein berechnete mittlere ISS betrug 26,4 ( $\pm$  17,1), das Durchschnittsalter lag bei 42,8 Jahren ( $\pm$  17,9 Jahre).

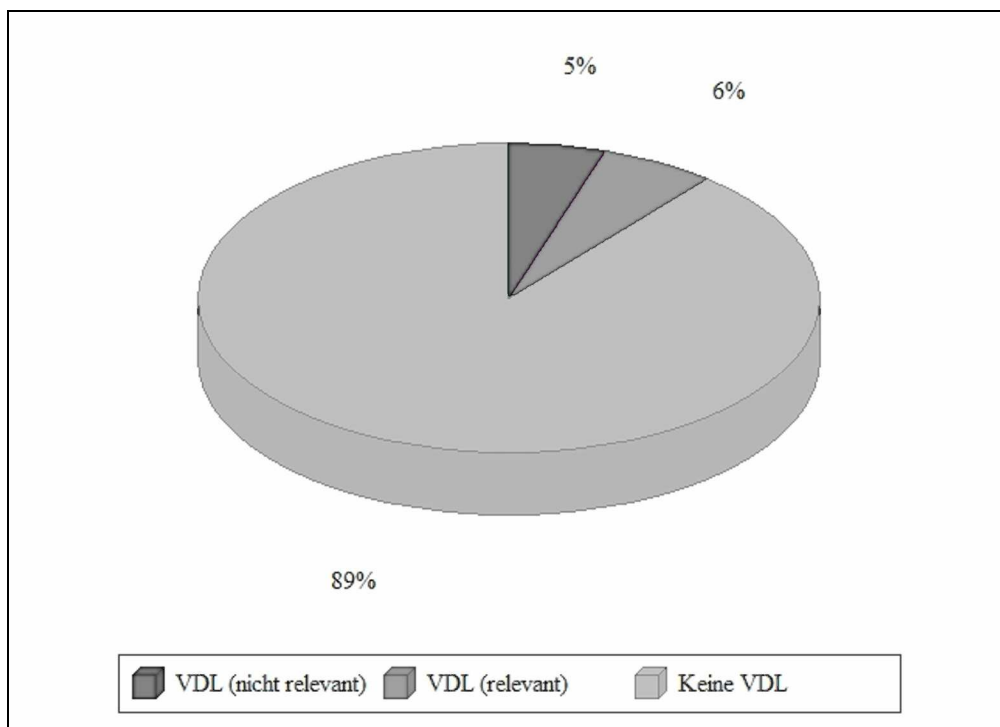
### 4.2 Verzögert diagnostizierte Läsionen

Bei 336 Patienten (89,6 %) wurden sämtliche Verletzungen, die in der erfassten Region lagen, korrekt diagnostiziert und im validierten CT-Befund dokumentiert. 48 Patienten (12,8 %) hatten Verletzungen, die nicht im untersuchten Bereich lagen. Bei 17 Patienten (4,5 %) kam es zu 17 VDL, die als nicht relevant eingestuft wurden. Bei 22 Patienten (5,9 %) wurden 31 Läsionen verzögert diagnostiziert, welche bei sofortiger Erkennung eine andere Behandlungsstrategie erfordert hätten und somit als relevant erachtet wurden. **Abbildung 10** (S. 39) zeigt grafisch die Verteilung der Patienten auf die einzelnen Gruppen. Die Art der Verletzungen im Detail, sowie die absolute Häufigkeit sind in **Tabelle 6** (S. 40) dargestellt.

Die Zweitauswertung der Bilddaten unter Kenntnis aller endgültigen Befunde konnte zeigen, dass 41 von 48 ursprünglich übersehenen Läsionen (85,6 %) diagnostizierbar gewesen wären. Die weiterhin nicht erkannten Läsionen waren Einrisse der Darmschleimhaut (n=2), sowie Kontusionen von Darm (n=3), Pankreas (n=1) und Weichteilen im kleinen Becken (n=1).

Eine Fraktur des Os Sacrum die im initialen CT beschrieben worden war, wurde im Entlassungsbrief nicht erwähnt.

**Abbildung 10:** Häufigkeit von verzögert diagnostizierten Läsionen.



**Tabelle 6:** Auflistung der relevanten und nicht relevanten VDL.

<b>Relevante Verletzungen</b>	<b>Häufigkeit</b>
Beckenringfraktur	3
Darmkontusion	3
Einriss Darmschleimhaut	2
Harnblasenruptur	2
Unterkieferfraktur	2
Schädelbasisfraktur	2
Pneumoperikard / Pneumomediastinum	2
Pneumothorax	1
Pneumatozele	1
Lungenkontusion	1
Sternumfraktur	1
Pankreaskontusion	1
Arterielle Gefäßruptur (Becken)	1
Symphysensprengung	1
Weichteilkontusion (kl. Becken)	1
Akromionfraktur	1
Tuberculum majus Abriss	1
Supraspinatussehnenläsion	1
ACG-Sprengung	1
Wirbelkörperfraktur	1
Hämatotympanon	1
Niereninfarkt	1
<b>Gesamt</b>	<b>31</b>

<b>Nicht relevante Verletzungen</b>	<b>Häufigkeit</b>
Rippenfraktur	5
Wirbelquerfortsatzfraktur	4
Nasenbeinfraktur	2
Venöse Gefäßruptur (Becken)	1
Scapulafraktur	1
Epiduralhämatom*	1
Jochbeinfraktur	1
Diffuser axonaler Schaden*	1
Wirbeldornfortsatzfraktur	1
<b>Gesamt</b>	<b>17</b>

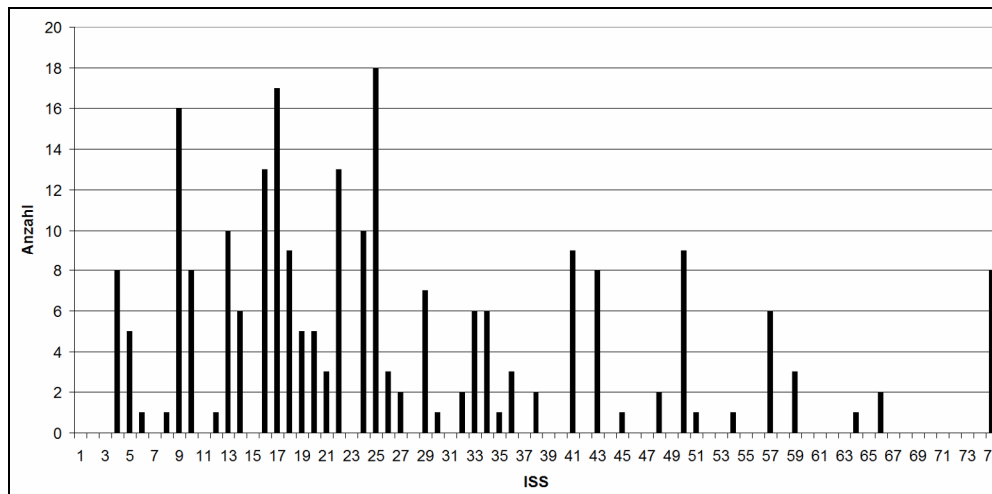
\* Die korrekte Therapie wurde wegen weiterer intrakranieller Verletzungen bereits eingeleitet.



### 4.3 Verletzungsschwere

Die gruppierte Verteilung der ISS-Werte ist in **Abbildung 11** dargestellt.

**Abbildung 11:** Gruppierte Verteilung der ISS-Werte.



Der durchschnittliche ISS-Wert der Gruppe mit nicht relevanten VDLs wurde verglichen mit dem der Gruppe ohne VDLs, wobei sich kein signifikanter Unterschied zeigte ( $p=0,738$ ). Im Gegensatz dazu lag der durchschnittliche ISS der Patienten mit relevanten VDLs signifikant höher als bei den Patienten ohne VDLs ( $p=0,002$ ) (siehe **Tabelle 7**).

**Tabelle 7:** Durchschnittliche ISS-Werte mit Standardabweichung (SD).

VDL-Gruppe	n	%	Ø ISS (SD)	p*
Pat ohne VDL	336	89,6	25,5 (± 17,2)	-
Pat mit VDL (Irrelevant)	17	4,5	24,2 (± 13,5)	0,738
Pat mit VDL (Relevant)	22	5,9	37,9 (± 15,6)	0,002
Alle Patienten	375	100	26,4 (± 17,1)	

\* = verglichen mit der Gruppe ohne VDL

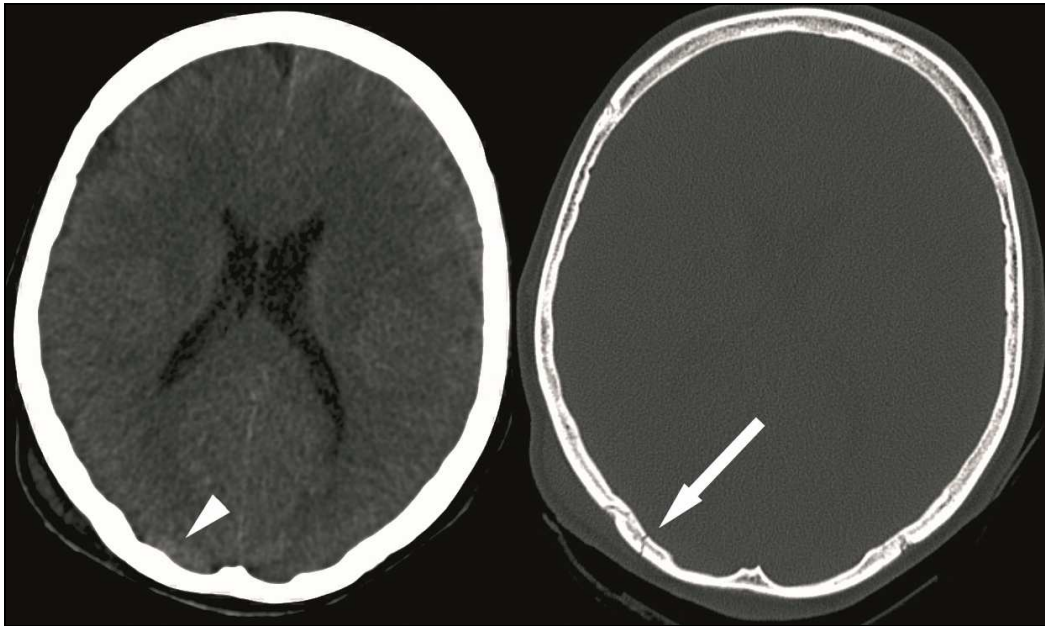
## 5 Diskussion

Verglichen mit den Ergebnissen bezüglich VDL aus anderen Studien, welche zwischen 1,5 % und 14 % liegen, befindet sich die Rate an verzögert diagnostizierten Läsionen mit klinischer Relevanz in unserer Studie im mittleren Drittel des Bereichs. Die meisten übersehenen Verletzungen waren Frakturen, was ebenfalls gut mit den Ergebnissen anderer Studien korreliert [14, 18, 84, 87-93].

Übersehene Frakturen einzelner Rippen (n=5), Wirbelquerfortsätze (n=4) und des Nasenbeins (n=2), machten den größten Teil der Gruppe mit VDL ohne klinische Relevanz aus (siehe **Tabelle 6**, S. 40). Scheinbar werden derartige Verletzungen häufig dann übersehen, wenn die Patienten gleichzeitig noch schwerwiegendere oder lebensbedrohliche Verletzungen zeigen.

Ein epidurales Hämatom, das im initialen CT übersehen wurde, blieb ohne Konsequenz, da der Patient aufgrund einer intrakraniellen Blutung auf der kontralateralen Seite ohnehin kraniotomiert wurde (siehe **Abbildung 12**, S. 43 und **Abbildung 13**, S. 44). Weshalb die Verletzung ursprünglich nicht beschrieben worden war, ließ sich retrospektiv nicht mehr eruieren.

**Abbildung 12:** VDL – Epidurales Hämatom, Initialbefund.



Beispiel für eine übersehene Verletzung: Transversalschnitte durch den Schädel einer 42-jährigen Patientin (Z.n. Verkehrsunfall mit stumpfem Trauma). Das linke Bild zeigt ein kleines Epiduralhämatom (Pfeilspitze) welches im initialen CT-Befund nicht beschrieben war, obwohl die Fraktur des Schädels (rechtes Bild, Pfeil) in der selben Region korrekt erkannt wurde. Es bestanden außerdem eine Subarachnoidal- und Subduralblutung im Bereich der linken Hemisphäre.

Eine weitere nicht beschriebene Läsion aus dieser Gruppe war ein diffuser axonaler Schaden bei einem Patienten, der ebenfalls intrakranielle Blutungen aufwies. Diese Verletzung wurde erst nachträglich durch eine MRT des Schädels diagnostiziert, nachdem der Patient durch eine erheblich verzögerte Aufwachreaktion mit neurologischen Defiziten auffällig wurde.

**Abbildung 13:** VDL – Epidurales Hämatom, Kontrolle.

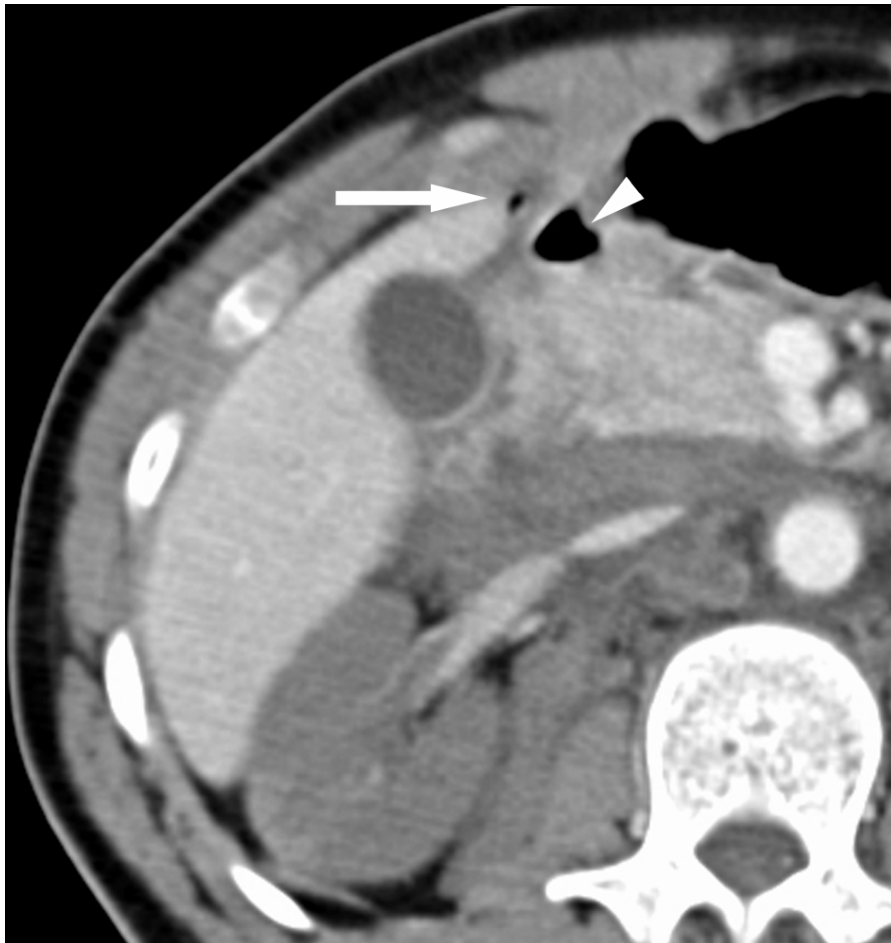


Selbe Patientin wie in **Abbildung 12** (S. 43), Kontrollaufnahme nach 73 Minuten. Zwischenzeitlich wurde eine Hirndrucksonde im Vorderhorn des rechten Seitenventrikels platziert. In dem zugehörigen CT-Befund wurden sowohl die Progredienz der okzipitalen Epiduralblutung (Pfeilspitze), als auch die Subdural- und Subarachnoidalblutungen (Pfeile) korrekt beschrieben. Wegen steigenden Hirndruckes erfolgte im Verlauf eine linksseitige Trepanation.

Auch in der Gruppe mit relevanten VDL machten Frakturen den größten Teil der übersehenen Verletzungen aus (n=10). Im Gegensatz zur anderen Gruppe hatten diese

Verletzungen jedoch Auswirkungen auf die Behandlungsstrategie, weswegen sie als relevant erachtet wurden. **Abbildung 14** zeigt eine Duodenalruptur, die initial übersehen wurde. Bei der Zweitauswertung konnte gezeigt werden, dass die Läsion erkennbar gewesen wäre (freie Luft ventrolateral des Duodenums).

**Abbildung 14:** VDL – Duodenalruptur.



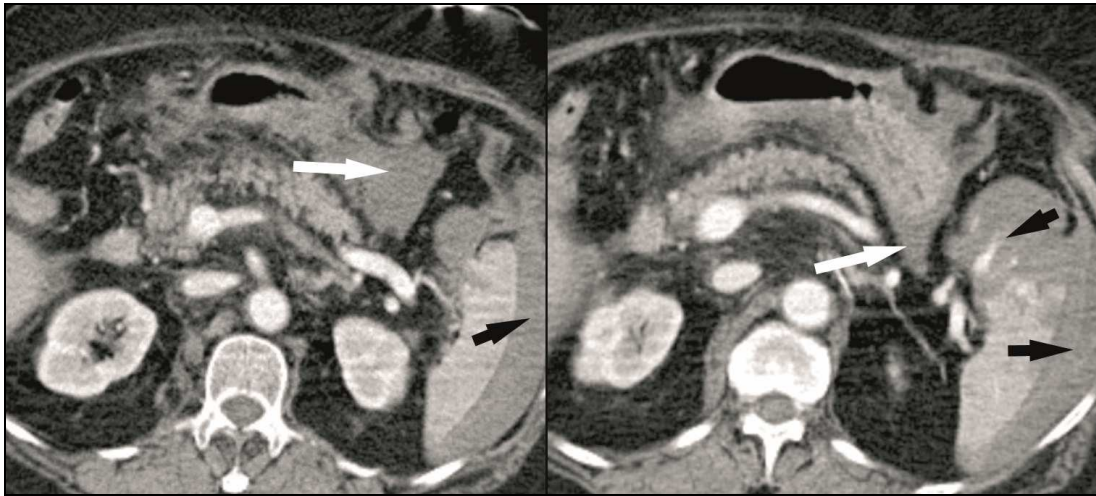
Transversalschnitt durch den rechten Oberbauch eines 28-jährigen Bauarbeiters. Der Patient wurde von einem Stapel herabfallender Holzbretter getroffen und erlitt eine viertgradige Laceration der Leber, eine Verletzung der rechten Nierenarterie und ein retroperitoneales Hämatom. Die kleine Ansammlung freier Luft (Pfeil) in direkter Nähe des Duodenums (Pfeilspitze) wurde in der CT-Untersuchung übersehen. Im Rahmen der operativen Versorgung wurde die Ruptur der pars descendens des Duodenums entdeckt.

14 % der Ursprünglich übersehenen Läsionen blieben trotz erneuter Auswertung der Bilddaten nicht diagnostizierbar. Die meisten dieser Fälle waren oberflächliche Schleimhautverletzungen des Dick- oder Dünndarms ohne Eröffnung oder Zerstörung der Darmwand. Sie wurden als VDL gewertet, obwohl ihre Diagnose mittels CT per se nicht möglich ist. Durch Laparotomien, die wegen anderer Verletzungen indiziert waren, konnten sie dennoch erkannt werden. Letztendlich bleibt unklar, ob die übersehenen Läsionen auch ohne jegliche Therapie überhaupt eine klinische Relevanz gehabt hätten. Dennoch mussten sie gemäß unserer Definition als relevant eingestuft werden.

Allgemein lässt sich sagen, dass Darmverletzungen in CT-Untersuchungen häufig nicht diagnostiziert werden können, insbesondere dann, wenn sie geringen Ausmaßes sind. Wichtig ist die Detektion von freier intraabdomineller Luft als indirekten Hinweis auf eine Perforation [94]. In Abhängigkeit von Scan-Protokollen und CT-Scannern liegt die Erfassungsrate von Darmverletzungen derzeit zwischen 69 % und 95 % [94-95]. In einigen Häusern ist es üblich, orales Kontrastmittel zur Dehnung der Darmschlingen einzusetzen, die diagnostische Sicherheit wird dadurch allerdings nicht notwendigerweise verbessert [96]. Da keine der Darmverletzungen von weiterer therapeutischer Relevanz war, hätte auch in unserer Studie eine orale Kontrastmittelapplikation nicht dazu beitragen können, die Rate an nicht relevanten VDL zu senken. Von den relevanten VDL wären möglicherweise die Kolonruptur und die Duodenalruptur diagnostiziert worden, wodurch eine Senkung der Rate um 0,5 % auf insgesamt 5,4 % erreicht worden wäre. Die meisten unserer Patienten waren allerdings Schwerverletzte mit einem mittleren ISS von 27, weswegen eine routinemäßige Gabe von oralem Kontrastmittel aus zeitlichen Gründen nicht akzeptabel erschien.

Eine weitere Verletzung, die auch bei der Zweitauswertung nicht korrekt erkannt wurde, war eine Pankreaskontusion mit oberflächlichen Blutungen nach stumpfem Abdominaltrauma (siehe **Abbildung 15**, S. 47).

**Abbildung 15:** VDL – Pankreaskontusion.



Transversalschnitt durch den Oberbauch einer 70-jährigen Patientin mit stumpfem Abdominaltrauma bei Z.n. Verkehrsunfall. Es bestanden eine zweitgradige Verletzung der Milz (schwarze Pfeile), Rupturen mehrerer peripherer Mesenterialarterien und eine Ruptur des Ileums. Ansammlungen freier Flüssigkeit wurden beschrieben in der Bursa omentalis (weiße Pfeile) und weiteren Abschnitten des Abdomens die auf den vorliegenden Schichten nicht abgebildet sind. Aufgrund der intraperitonealen Blutungen wurde die Indikation zur Laparotomie gestellt. Im Zuge der operativen Inspektion der Peritonealhöhle wurde eine Kontusion des Pankreas mit zwei kleinen Blutungsarealen gefunden und durch Umstechung versorgt. Letztgenannte Verletzung konnte weder bei der Erst-, noch bei der Zweitauswertung der Bilddaten erkannt werden.

Erfreulicherweise trat während unserer Studie keine übersehenen Läsionen auf, die zu ernsthaften Konsequenzen für den Patienten geführt hätten.

Der direkte Vergleich der ermittelten Ergebnisse gestaltet sich schwierig, da für verzögert diagnostizierte Läsionen in den verschiedenen Studien sehr unterschiedliche Kriterien angewendet wurden. Biffl et al. legten beispielsweise zwei Kriterien zu Grunde, von denen eines erfüllt sein musste, um die entsprechende Läsion als verzögert einzustufen: 1. Die Verletzung wurde mit mehr als 24 Stunden Verzögerung

diagnostiziert. 2. Die Verletzung wurde im Rahmen der “Dritten Traumauntersuchung” (Tertiary Trauma Survey) festgestellt, welche bei allen Traumapatienten des Rhode Island Hospital routinemäßig durchgeführt wird. Mit Sicherheit stellen diese Kriterien eine gute Entscheidungsgrundlage dar. Das Kriterium der 24 Stunden Verzögerung ist jedoch ausschließlich in prospektiven Studien zu erheben, was durch unseren retrospektiven Studienansatzes nicht möglich ist [14].

Pehle et al. hingegen definieren keine exakte Zeitspanne, nach der eine Verletzung als verzögert erkannt gilt. Vielmehr wurden alle Läsionen eingeschlossen, die ab dem Zeitpunkt der Verlegung des Patienten auf die (Intensiv-)Station festgestellt wurden. Dieser Ansatz ermöglicht auch eine retrospektive Evaluation, jedoch ist es von besonderer Wichtigkeit, dass eine exakte Dokumentation durchgeführt wird. Auch Buduhan et al. und Houshian et al. haben diese Vorgehensweise gewählt. Die Vergleichbarkeit mit unserer Studie ist hier schon wesentlich besser, leider wird jedoch nicht genau darauf eingegangen, welche Dokumente zur Evaluation herangezogen wurden. In unserer Studie wurden alle verfügbaren Dokumente über den Patienten verwendet. Außerdem sind wir vom zeitlichen Aspekt unabhängig, da wir keine feste Grenze definiert haben. Die Wahrscheinlichkeit, dass hierbei eine VDL nicht erfasst wird, ist offensichtlich deutlich geringer [18, 87-88].

Agostini et al. betrachten das Thema ausschließlich aus radiologischer Sicht. Zwei erfahrene Radiologen führten hierbei innerhalb von 12 Stunden eine Zweitauswertung der Polytraumascans durch. Die Zweitbefunder hatten beide keinerlei Kenntnis über die bereits erhobenen Befunde [97]. Negativ ist hierbei jedoch sicher das fehlende Feedback durch Kliniker, Operateure, etc. Auch nach der Zweitauswertung können schließlich weitere Verletzungen vorliegen, die nicht korrekt erkannt wurden. Auch



dies konnte in unserer Studie aufgrund der Durchsicht sämtlicher Patientendokumente weitestgehend ausgeschlossen werden.

Die Art und der Ablauf der primären Bildgebung spielen eine sehr wichtige Rolle in der Diagnostik bei Schwerverletzten. Auch hierbei gibt es jedoch deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Kliniken. Während die meisten Traumazentren heutzutage standardmäßig die GKCT einsetzen, ist dies noch nicht in allen Häusern der Fall. Hoff et al. und Pehle et al. setzen beispielsweise weiterhin zunächst auf die konventionelle Röntgendiagnostik und den Ultraschall. Erst für spezielle Fragestellungen oder bei unklaren Befunden kommt ergänzend die selektive Computertomographie zum Einsatz [18, 84]. Aufgrund der schnelleren und akurateren Diagnostik, sowie der nachgewiesenermaßen höheren Überlebensrate schwerverletzter Patienten, die bereits initial mittels GKCT untersucht werden, wird dies jedoch heutzutage von vielen Fachleuten als sehr kritisch eingestuft [9, 11, 37, 50-51].

Relevante übersehene Verletzungen wurden häufiger bei Patienten mit höheren ISS-Werten beobachtet (siehe **Tabelle 7**, S. 41). Auch diese Erkenntnis deckt sich mit den Ergebnissen anderer aktueller Studien zum Thema [18, 87-88]. Da bei steigendem ISS auch die Schwere der Verletzungen zunimmt, ist es nur logisch, dass eine übersehene Läsion bei diesen Patienten auch eher relevant ist. Hohe ISS-Werte gehen außerdem häufig mit einer höheren Anzahl von Verletzungen einher, wodurch die Wahrscheinlichkeit steigt, eine davon zu übersehen.

Die größte Einschränkung bei der Bewertung dieser Studie besteht wohl im retrospektiven Design. Es ergeben sich daraus einige Probleme: Es lässt sich letztlich nicht ausschließen, dass einige der "verzögert diagnostizierten Läsionen" vom diensthabenden Radiologen zwar erkannt, aber nur mündlich an den zuständigen Unfallchirurgen mitgeteilt, beim späteren Anfertigen des endgültigen Befundes jedoch

nicht erwähnt wurden. Außerdem ließ sich die exakte Zeit die bis zur Diagnosestellung verstrichen war, in den meisten Fällen nicht mehr rekonstruieren. Auch die Methode, die letztlich zur Diagnosestellung führte, entgeht den Möglichkeiten der Studie zumeist.

Agostini et al. und weitere sind der Meinung, dass eine routinemäßige Zweitauswertung der Bilddaten zur Verbesserung der diagnostischen Sicherheit bei schwerverletzten Patienten beitragen kann [97]. Auch wir teilen diese Meinung, wenngleich dieser Punkt in der vorliegenden Studie nicht explizit untersucht wurde. Eine routinemäßige Reevaluation sollte zum Standardablauf bei Schwerverletzten gehören, insbesondere wenn der Patient viele Einzelverletzungen und/oder einen hohen ISS-Wert zeigt.

## 6 Zusammenfassung

Unfälle mit schwerverletzten Patienten stellen eine besondere Herausforderung für das Gesundheitssystem dar. Überlebenswahrscheinlichkeit, Outcome und Liegezeit werden entscheidend durch den Zeitpunkt der Diagnosestellung beeinflusst. Eine zügige und vollständige Detektion aller relevanten Verletzungen ist daher von besonderer Wichtigkeit. Die Ganzkörpercomputertomographie (GKCT) ist dem konventionellen Röntgen und der Sonographie hinsichtlich Geschwindigkeit, Sensitivität und Spezifität in der Diagnostik deutlich überlegen, weshalb viele Fachleute ihren primären Einsatz befürworten. Erwartungsgemäß steigt auch das Gesamtüberleben wenn Schwerverletzte primär mit der GKCT untersucht werden.

Trotz der hohen diagnostischen Sicherheit der GKCT kommt es immer wieder zu verzögert diagnostizierten Läsionen (VDL). In unserer Studie wurde eine Verletzung dann als verzögert gewertet, wenn sie nicht im validierten Befund der primären GKCT-Untersuchung auftauchte, wohl aber in einem der später verfassten Dokumente. Des weiteren wurde unterschieden, ob es sich um eine relevante Verletzung (die eine Therapieänderung zur Folge gehabt hätte) oder um eine nicht relevante Verletzung handelte.

375 Patienten wurden in die Studie eingeschlossen (Mittlerer ISS  $26,4 \pm 17,1$ ). Bei 336 Patienten (89,6 %) wurden sämtliche Verletzungen, die in der erfassten Region lagen, korrekt diagnostiziert. 48 Patienten (12,8 %) hatten Verletzungen, die nicht im untersuchten Bereich lagen und somit nicht gewertet wurden. Bei 17 Patienten (4,5 %) kam es zu 17 VDL, die mangels Behandlungsbedürftigkeit als nicht relevant eingestuft wurden. Bei 22 Patienten (5,9 %) wurden 31 Läsionen verzögert diagnostiziert, welche bei sofortiger Erkennung eine andere Behandlungsstrategie erfordert hätten und somit als relevant erachtet wurden (siehe **Abbildung 10**, S. 39).

Die Art der Verletzungen im Detail, sowie die absolute Häufigkeit sind in der **Tabelle 6** (S. 40) dargestellt.

Es stellte sich heraus, dass VDL signifikant häufiger auftreten, wenn die Patienten einen hohen ISS oder viele Einzelverletzungen haben (siehe **Tabelle 7**, S. 41).

Unter Kenntnis der endgültigen Befunde erfolgte durch einen erfahrenen Radiologen eine zweite Auswertung der Bilddaten. Hierbei konnte gezeigt werden, dass 41 von 48 ursprünglich übersehenen Läsionen (85,6 %) diagnostizierbar gewesen wären.

Wie Agostini et al. und weitere sind wir der Meinung, dass eine routinemäßige Zweitauswertung der Bilddaten zur Verbesserung der diagnostischen Sicherheit bei schwerverletzten Patienten beitragen kann. Eine routinemäßige Reevaluation sollte zum Standardablauf bei Schwerverletzten gehören. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Patient viele Einzelverletzungen und/oder einen hohen ISS-Wert zeigt.

## 7 Abkürzungen

AAAM	Association for the Advancement of Automotive Medicine
AAST	Association for the Surgery of Trauma
ACG	Akromioclaviculargelenk
ACS	American College of Surgeons
AIS	Abbreviated Injury Scale
ASCOT	A Severity Classification of Trauma
ATLS	Advanced Trauma Life Support
BWS	Brustwirbelsäule
CCT	cranielle Computertomographie
CT	Computertomographie
CR	Konventionelle Radiographie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DIVI	Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
GCS	Glasgow Coma Scale
GKCT	Ganzkörpercomputertomographie
HWS	Halswirbelsäule
ISS	Injury Severity Score
KM	Kontrastmittel
LWS	Lendenwirbelsäule
MPR	Multiplanare Rekonstruktion
MRT	Magnetresonanztomographie
MSCT	Mehrschichtcomputertomographie
NISS	New Injury Severity Score
OIS	Organ Injury Scale
RISC	Revised Injury Severity Classification
RTS	Revised Trauma Score
SD	Standardabweichung
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
T-RTS	Triage Revised Trauma Score
TRISS	Trauma and Injury Severity Score
TS	Trauma Score
VDL	Verzögert diagnostizierte Läsion

## 8 Tabellen

<b>Tabelle 1:</b> Faktoren für die Verdachtsdiagnose Polytrauma [21].	7
<b>Tabelle 2:</b> AIS und OIS am Beispiel der Leber [28, 31].	10
<b>Tabelle 3:</b> ABCDE-Prioritäten des ATLS-Konzepts [82].	28
<b>Tabelle 4:</b> Advanced Trauma Life Support (ATLS), zeitlicher Ablauf [82].	29
<b>Tabelle 5:</b> CT-Akquisitionsprotokoll.	35
<b>Tabelle 6:</b> Auflistung der relevanten und nicht relevanten VDL.	40
<b>Tabelle 7:</b> Durchschnittliche ISS-Werte mit Standardabweichung (SD).	41

## 9 Abbildungen

<b>Abbildung 1:</b> Letalität bezogen auf den ISS [23].	12
<b>Abbildung 2:</b> Standardschnitte für die FAST [37].	16
<b>Abbildung 3:</b> Beispiele für freie Flüssigkeit in der FAST.	17
<b>Abbildung 4:</b> 3. CT-Generation mit breitem Strahlenfächer [46].	20
<b>Abbildung 5:</b> Spiral-CT, schematische Darstellung [49].	21
<b>Abbildung 6:</b> Instabile Kompressionsfraktur des BWK 7 [11].	23
<b>Abbildung 7:</b> In der Röntgenübersicht okulter Hämato-pneumothorax [11].	24
<b>Abbildung 8:</b> Polytrauma - Workflow im Schockraum [41].	32
<b>Abbildung 9:</b> Räumliche Verhältnisse im Bereich des Schockraums [85].	33
<b>Abbildung 10:</b> Häufigkeit von verzögert diagnostizierten Läsionen.	39
<b>Abbildung 11:</b> Gruppierte Verteilung der ISS-Werte.	41
<b>Abbildung 12:</b> VDL – Epidurales Hämatom, Initialbefund.	43
<b>Abbildung 13:</b> VDL – Epidurales Hämatom, Kontrolle.	44
<b>Abbildung 14:</b> VDL – Duodenalruptur.	45
<b>Abbildung 15:</b> VDL – Pankreaskontusion.	47

## 10 Literatur

1. Mutschler W., et al., *Interdisziplinäre Schockraumversorgung: Die Aufgaben der Radiologie aus unfallchirurgischer Sicht*. Radiologe, 2002. **42**(7): p. 506-514.
2. Nast-Kolb D., et al., *Management des Polytraumas*. Chirurg, 2006. **77**(9): p. 861-872.
3. Kühne C.A., et al., *Polytraumaversorgung in Deutschland. Eine Standortbestimmung*. Unfallchirurg, 2006. **109**(5): p. 357-366.
4. Ertel W., et al., *Die Bedeutung der Ganzkörperinflammation bei 1278 Traumapatienten*. Unfallchirurg, 1998. **101**(7): p. 520-526.
5. *Jahresbericht des Traumaregisters der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie - 2002*. [www.traumaregister.de](http://www.traumaregister.de) (21.08.2011).
6. Regel G., et al., *Rehabilitation und Reintegration polytraumatisierter Patienten*. Unfallchirurg, 1993. **96**: p. 341-349.
7. Branney S.W., et al., *Quantitative sensitivity of ultrasound in detecting free intraperitoneal fluid*. J Trauma, 1995. **39**(2): p. 375-380.
8. Platzer P., et al., *Clearing the cervical spine in critically injured patients: a comprehensive C-spine protocol to avoid unnecessary delays in diagnosis*. Eur Spine J, 2006. **15**(12): p. 1801-1810.
9. Huber-Wagner S., et al., *Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study*. Lancet, 2009.
10. Boehm T., et al., *Einsatz der Mehrschicht-Spiral-CT beim traumatologischen Notfall und ihre Auswirkungen auf den Untersuchungs- und Behandlungsalgorithmus*. Rofo, 2004. **176**(12): p. 1734-1742.
11. Albrecht T., et al., *Die Rolle der Ganzkörper-Spiral-CT bei der Primärdiagnostik polytraumatisierter Patienten - Vergleich mit konventioneller Radiographie und Abdomensonographie*. Rofo, 2004. **176**(8): p. 1142-1150.
12. Becker C.D., et al., *The trauma concept: the role of MDCT in the diagnosis and management of visceral injuries*. Eur Radiol, 2005. **15 Suppl 4**: p. D105-109.
13. Lindner T., et al., *Schockraumdiagnostik: Initiale Diagnostik beim stumpfen Abdominaltrauma*. Unfallchirurg, 2004. **107**(10): p. 892-902.
14. Biffil W.L., et al., *Implementation of a tertiary trauma survey decreases missed injuries*. J Trauma, 2003. **54**(1): p. 38-44.
15. Blackbourne L.H., et al., *Secondary ultrasound examination increases the sensitivity of the FAST exam in blunt trauma*. J Trauma, 2004. **57**(5): p. 934-938.

16. Enderson B.L., et al., *The tertiary trauma survey: a prospective study of missed injury*. J Trauma, 1990. **30**(6): p. 666-670.
17. Metak G., et al., *Übersehene Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparats beim Polytrauma – eine retrospektive Studie*. Zentralbl Chir, 1994. **119**(2): p. 88-94.
18. Pehle B., et al., *Die Bedeutung von verzögert diagnostizierten Läsionen bei Polytraumatisierten. Eine Studie an 1187 Schockraumpatienten*. Unfallchirurg, 2006. **109**(11): p. 964-976.
19. Tscherne H., et al., *Die Belastbarkeit Mehrfachverletzter und ihre Bedeutung für die operative Versorgung*. Langenbecks Arch Chir, 1984. **364**: p. 71-77.
20. *Prähospitales Management von Traumapatienten - Grundlagen*. [http://www.ingoblank.de/PDF-Dateien/MSK\\_D.PDF](http://www.ingoblank.de/PDF-Dateien/MSK_D.PDF) (21.08.2011).
21. Nast-Kolb D., et al., *Algorithmus für das Schockraummanagement beim Polytrauma*. Unfallchirurg, 1994. **97**(6): p. 292-302.
22. Teasdale G., et al., *Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale*. Lancet, 1974. **2**(7872): p. 81-84.
23. Oestern H.J., *Das Polytrauma, Präklinisches und klinisches Management*. 2008: Urban & Fischer.
24. Boyd C.R., et al., *Evaluating trauma care: the TRISS method. Trauma Score and the Injury Severity Score*. J Trauma, 1987. **27**(4): p. 370-378.
25. Champion H.R., et al., *A revision of the Trauma Score*. J Trauma, 1989. **29**(5): p. 623-629.
26. Jennett B., et al., *Aspects of coma after severe head injury*. Lancet, 1977. **1**(8017): p. 878-881.
27. Moore E.E., et al., *Organ injury scaling. III: Chest wall, abdominal vascular, ureter, bladder, and urethra*. J Trauma, 1992. **33**(3): p. 337-339.
28. Moore E.E., et al., *Organ injury scaling: spleen and liver (1994 revision)*. J Trauma, 1995. **38**(3): p. 323-324.
29. Moore E.E., et al., *Organ injury scaling, II: Pancreas, duodenum, small bowel, colon, and rectum*. J Trauma, 1990. **30**(11): p. 1427-1429.
30. Moore E.E., et al., *Organ injury scaling. IV: Thoracic vascular, lung, cardiac, and diaphragm*. J Trauma, 1994. **36**(3): p. 299-300.
31. Moore E.E., et al., *Organ injury scaling: spleen, liver, and kidney*. J Trauma, 1989. **29**(12): p. 1664-1666.
32. Reichel M., et al., *Beurteilung der Prognose des polytraumatisierten Patienten mit stumpfem Bauchtrauma anhand verschiedener gebräuchlicher Traumascores*. Unfallchirurgie, 1992. **18**(2): p. 75-79.
33. Baker S.P., et al., *The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care*. J Trauma, 1974. **14**(3): p. 187-196.



34. Osterwalder J.J., et al., *Qualitätsbeurteilung der Versorgung von Mehrfachverletzten mittels ISS, TRISS oder ASCOT?* Schweiz Med Wochenschr, 2000. **130**(14): p. 499-504.
35. Osler T., et al., *A modification of the injury severity score that both improves accuracy and simplifies scoring.* J Trauma, 1997. **43**(6): p. 922-926.
36. Champion H.R., et al., *A new characterization of injury severity.* J Trauma, 1990. **30**(5): p. 539-546.
37. Körner M., et al., *Current Role of Emergency US in Patients with Major Trauma.* Radiographics, 2008. **28**(1): p. 225-242.
38. Ballard R.B., et al., *An algorithm to reduce the incidence of false-negative FAST examinations in patients at high risk for occult injury. Focused Assessment for the Sonographic Examination of the Trauma patient.* J Am Coll Surg, 1999. **189**(2): p. 145-151.
39. Hauser H.B., *Radiological emergency management of multiple trauma patients.* Emerg Radiol, 1999. **6**: p. 61-69.
40. Bakker J., et al., *Sonography as the primary screening method in evaluating blunt abdominal trauma.* J Clin Ultrasound, 2005. **33**(4): p. 155-163.
41. Kanz K.G., et al., *Prioritätenorientiertes Schockraummanagement unter Integration des Mehrschichtspiralcomputertomographen.* Unfallchirurg, 2004. **107**(10): p. 937-944.
42. Freshman S.P., et al., *Secondary survey following blunt trauma: a new role for abdominal CT scan.* J Trauma, 1993. **34**(3): p. 337-341.
43. Häuser H., et al., *Der traumatologische Notfall im Schockraum. Analyse des Spektrums und des Zeitbedarfs der bildgebenden Diagnostik.* Unfallchirurg, 1998. **101**(2): p. 129-136.
44. *Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, Polytrauma - 2002.* <http://www.dgu-online.de/de/leitlinien/polytrauma.jsp> (21.08.2011).
45. Geijer M., et al., *MDCT in the evaluation of skeletal trauma: principles, protocols, and clinical applications.* Emerg Radiol, 2006. **13**(1): p. 7-18.
46. *wissen.de*  
[http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/gesundheit/medizin/index.page=4239948,chunk=img\\_0.html](http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/gesundheit/medizin/index.page=4239948,chunk=img_0.html) (21.08.2011).
47. Gerhardt P., *Grundlagen, Technik und Aussagekraft der Computertomographie. Indikation und Leistungsfähigkeit.* Langenbecks Arch Chir, 1982. **358**: p. 287-293.
48. *Die Geschichte der Computertomographie - von Godfrey Hounsfield zum 32-Zeiler.* <http://www.radiologie.de/hintergruende-und-fakten/geschichte-der-radiologie/computertomographie/computertomographie-2.html> (21.08.2011).
49. Galanski M., *Ganzkörper-Computertomographie.* Vol. 1. 2005: Thieme Verlag, Stuttgart.

50. Löw R., et al., *Ganzkörper-Spiral-CT zur Primärdiagnostik polytraumatisierter Patienten unter Notfallbedingungen*. Rofo, 1997. **166**(5): p. 382-388.
51. Mutze S., et al., *Helical CT examination of multiple trauma patients in a digitized radiology department*. Emergency Radiology, 1999. **6**(2): p. 77-80.
52. Berne J.D., et al., *Helical computed tomographic angiography: an excellent screening test for blunt cerebrovascular injury*. J Trauma, 2004. **57**(1): p. 11-19.
53. Ma O.J., et al., *Prospective analysis of the effect of physician experience with the FAST examination in reducing the use of CT scans*. Emerg Med Australas, 2005. **17**(1): p. 24-30.
54. Abu-Zidan Fm S.M., *Blunt abdominal trauma: comparison of ultrasonography and computed tomography in a district general hospital*. Australas Radiol, 1999. **43**(4): p. 440-443.
55. Klöppel R., et al., *Frühes klinisches Management nach Polytrauma mit 1- und 4-Schicht-Spiral-CT*. Radiologe, 2002. **42**(7): p. 541-546.
56. Linsenmaier U., et al., *Radiologische Diagnostik beim Polytrauma: Interdisziplinäres Management*. Rofo, 2001. **173**(6): p. 485-493.
57. Marmery H., et al., *Multidetector-row computed tomography imaging of splenic trauma*. Semin Ultrasound CT MR, 2006. **27**(5): p. 404-419.
58. Matthes G., et al., *Blunt liver injuries in polytrauma: results from a cohort study with the regular use of whole-body helical computed tomography*. World J Surg, 2003. **27**(10): p. 1124-1130.
59. Poletti P.A., et al., *Traumatic injuries: role of imaging in the management of the polytrauma victim (conservative expectation)*. Eur Radiol, 2002. **12**(5): p. 969-978.
60. Rieger M., et al., *Moderne CT-Diagnostik des akuten Thorax- und Abdominaltraumas*. Radiologe, 2002. **42**(7): p. 556-563.
61. Resnik C.S., et al., *Diagnosis of pelvic fractures in patients with acute pelvic trauma: efficacy of plain radiographs*. AJR Am J Roentgenol, 1992. **158**(1): p. 109-112.
62. Wedegartner U., et al., *Multislice CT (MSCT) in der Detektion und Klassifikation von Becken- und Azetabulumfrakturen*. Rofo, 2003. **175**(1): p. 105-111.
63. Buckwalter K.A., et al., *Musculoskeletal imaging with multislice CT*. AJR Am J Roentgenol, 2001. **176**(4): p. 979-986.
64. Mann F.A., et al., *Evidence-based approach to using CT in spinal trauma*. Eur J Radiol, 2003. **48**(1): p. 39-48.
65. Philipp M.O., et al., *Three-dimensional volume rendering of multidetector-row CT data: applicable for emergency radiology*. Eur J Radiol, 2003. **48**(1): p. 33-38.

66. Körner M., et al., *Multidetektor-CT zur Diagnostik traumatologischer Notfälle*. Der Radiologe, 2009. **49**(6): p. 510-515.
67. Wedegartner U., et al., *Radiologische Bildgebung beim Polytrauma: Dosisvergleich von Ganzkörper-MSCT und konventionellem Röntgen mit organspezifischer CT*. Rofo, 2004. **176**(7): p. 1039-1044.
68. Ptak T., et al., *Radiation dose is reduced with a single-pass whole-body multi-detector row CT trauma protocol compared with a conventional segmented method: initial experience*. Radiology, 2003. **229**(3): p. 902-905.
69. Fanucci E., et al., *Whole body 16-row multislice CT in emergency room: effects of different protocols on scanning time, image quality and radiation exposure*. Emerg Radiol, 2007. **13**(5): p. 251-257.
70. Hurwitz L.M., et al., *Radiation dose from contemporary cardiothoracic multidetector CT protocols with an anthropomorphic female phantom: implications for cancer induction*. Radiology, 2007. **245**(3): p. 742-750.
71. Tien H.C., et al., *Radiation exposure from diagnostic imaging in severely injured trauma patients*. J Trauma, 2007. **62**(1): p. 151-156.
72. Brenner D.J., et al., *Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening*. Radiology, 2004. **232**(3): p. 735-738.
73. Salim A., et al., *Whole body imaging in blunt multisystem trauma patients without obvious signs of injury: results of a prospective study*. Arch Surg, 2006. **141**(5): p. 468-475.
74. Self M.L., et al., *The benefit of routine thoracic, abdominal, and pelvic computed tomography to evaluate trauma patients with closed head injuries*. Am J Surg, 2003. **186**(6): p. 609-614.
75. Clarke J.R., et al., *Time to laparotomy for intra-abdominal bleeding from trauma does affect survival for delays up to 90 minutes*. J Trauma, 2002. **52**(3): p. 420-425.
76. Cowley R.A., *The resuscitation and stabilization of major multiple trauma patients in a trauma center environment*. Clin Med, 1976. **83**: p. 16-22.
77. Kanz K.G., et al., *Standardisierte Bewertung von Unfallverletzten: Anforderungen an die bildgebende Diagnostik*. Radiologe, 2002. **42**(7): p. 515-521.
78. Linsenmaier U., et al., *Strukturierte radiologische Diagnostik beim Polytrauma*. Radiologe, 2002. **42**(7): p. 533-540.
79. Novelline R.A., et al., *Helical CT in emergency radiology*. Radiology, 1999. **213**(2): p. 321-339.
80. Kanz K.G., et al., *Entwicklung von klinischen Algorithmen für die Qualitätssicherung in der Polytraumaversorgung*. Unfallchirurg, 1994. **97**(6): p. 303-307.
81. Wurmb T., et al., *Der Würzburger Schokraumalgorithmus. Gesamtkonzept und erste Ergebnisse einer "sliding-gantry-basierten" Computertomographiediagnostik*. Anaesthesist, 2005. **54**(8): p. 763-772.

82. Bouillon B., et al., *Die Bedeutung des Advanced Trauma Life Support ® (ATLS ®) im Schockraum.* Unfallchirurg, 2004. **107**(10): p. 844-850.
83. Deane S.A., et al., *The management of injuries—a review of deaths in hospital.* Aust N Z J Surg, 1988. **58**(6): p. 463-469.
84. Hoff W.S., et al., *Formalized radiology rounds: the final component of the tertiary survey.* J Trauma, 2004. **56**(2): p. 291-295.
85. Krötz M., et al., *Interdisziplinäre Schockraumversorgung: Personelle, apparative und räumlich-logistische Konzepte in 3 Traumakrankenhäusern in Europa.* Radiologe, 2002. **42**(7): p. 522-532.
86. Linsenmaier U., et al., *New method for fast spiral CT of trauma patients—RUSH CT.* Emerg Radiol, 2000. **7**: p. 135-141.
87. Buduhan G., et al., *Missed injuries in patients with multiple trauma.* J Trauma, 2000. **49**(4): p. 600-605.
88. Houshian S., et al., *Missed injuries in a level I trauma center.* J Trauma, 2002. **52**(4): p. 715-719.
89. Gales H., et al., *Is there a role for planned serial chest radiographs and abdominal ultrasound scans in the resuscitation room following trauma?* Ann R Coll Surg Engl, 2006. **88**(6): p. 535-539.
90. Brooks A., et al., *Missed injury in major trauma patients.* Injury, 2004. **35**(4): p. 407-410.
91. Okello C.R., et al., *Missed injuries: a Ugandan experience.* Injury, 2007. **38**(1): p. 112-117.
92. Platzer P., et al., *Delayed or missed diagnosis of cervical spine injuries.* J Trauma, 2006. **61**(1): p. 150-155.
93. Tadros A.M.A., et al., *Causes of delayed diagnosis of scapular fractures.* Injury, 2008. **39**(3): p. 314-318.
94. Brofman N., et al., *Evaluation of bowel and mesenteric blunt trauma with multidetector CT.* Radiographics, 2006. **26**(4): p. 1119-1131.
95. Jacobs J.E., et al., *CT of GI trauma.* Crit Rev Comput Tomogr, 2004. **45**(3): p. 157-180.
96. Stuhlfaut J.W., et al., *Blunt abdominal trauma: performance of CT without oral contrast material.* Radiology, 2004. **233**(3): p. 689-694.
97. Agostini C., et al., *[Value of double reading of whole body CT in polytrauma patients].* J Radiol, 2008. **89**(3 Pt 1): p. 325-330.

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die darin angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Ferner erkläre ich, dass diese Arbeit bisher von mir weder an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, noch an einer anderen wissenschaftlichen Einrichtung zum Zwecke der Promotion eingereicht wurde.

-----  
Oliver Glücks

## **11 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Als erstes sei genannt Herr Prof. Dr. med. Dr. h. c. Maximilian Reiser für die Überlassung des Themas, wodurch meine Arbeit überhaupt erst ermöglicht wurde.

Außerdem möchte ich Herrn PD Dr. Ulrich Linsenmaier danken, der durch seine Mitbetreuung und sein stetiges Interesse am Fortschreiten der Arbeit eine große Hilfe war.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. Markus Körner für seinen kompetenten Rat und seine Geduld.

Vielen Dank meiner lieben Mutter für die Ermöglichung meines Medizinstudiums und die stetige Unterstützung.

Danke Rainer für deine Hilfe in allen Lebenslagen.

Und danke liebe Sabrina für Dein immerwährendes Verständnis, deine Liebe und dafür, dass es Dich gibt.

VIELEN DANK