

Aus der Abteilung für Radiologische Diagnostik
des Bundeswehrkrankenhauses Ulm
Leitender Arzt: Oberstarzt Prof. Dr. med. W. Bähren

Wertigkeit der Computertomographie bei der Diagnostik morphologischer
Lungenveränderungen nach stumpfem Thoraxtrauma sowie des Einflusses dieser
Veränderungen auf die Sauerstoffsättigung und die arterielle Blutgasanalyse

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

vorgelegt von
Andreas Gottschalk
aus Stuttgart

1999

Amtierender Dekan: Prof. Dr. P. Gierschik

1. Berichterstatter: Prof. Dr. W. Bähren

2. Berichterstatter: PD Dr. L. Lampl

Tag der Promotion: 11. 05. 2000

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	05
1. Einleitung und Zielsetzung	06
2. Material und Methoden	08
2.1 Patientengut und Untersuchungszeitraum	08
2.2 Radiologische Bildauswertung	10
2.3 Dokumentation des notärztlichen Datengutes von der Unfallstelle sowie des intensivmedizinischen Datengutes vom Schockraum	16
2.4 Statistische Auswertung	19
3. Ergebnisse	20
3.1 Unfallursachen	20
3.2 Injury Severity Score und Begleitverletzungen	22
3.3 Radiologische Befunde	24
3.3.1 Befunde in der CT und im konventionellen Röntgenbild	24
3.3.2 Vergleich der CT-Befunde mit den entsprechenden konventionellen Röntgenbildern	25
3.3.2.1 Häufigkeiten der Verletzungen	25
3.3.2.2 Sensitivität und Spezifität der radiologischen Unter- suchungsmethoden bei Lungen- bzw. Thoraxverletzungen außer Frakturen	27
3.3.2.3 Übersicht der Sensitivitäten und Spezifitäten	35
3.3.2.4 Sensitivität und Spezifität der radiologischen Unter- suchungsmethoden bei Frakturen im Thoraxbereich	37
3.4 Notärztliche Befunde	44
3.4.1 Punktediagramme zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort und den einzelnen traumatischen Lungenveränderungen	44

	Seite
3.4.2 Multiple Regressionsanalyse zwischen initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort und traumatischen Lungenveränderungen	50
3.5 Intensivmedizinische Befunde	52
3.5.1 Multiple Regressionsanalyse zwischen Sauerstoffsättigung im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen	52
3.5.2 Punktediagramme zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen arterieller Blutgasanalyse im Schockraum und den einzelnen traumatischen Lungenveränderungen	53
3.5.3 Multiple Regressionsanalysen zwischen arterieller Blutgasanalyse im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen	57
4. Diskussion	59
5. Zusammenfassung	72
6. Anhang	74
7. Literaturverzeichnis	81
8. Lebenslauf	90

Abkürzungsverzeichnis:

AIS	=	Abbreviated Injury Scale
a.p.	=	anterior – posterior
ARDS	=	Adult Respiratory Distress Syndrome
BWS	=	Brustwirbelsäule
CT	=	Computertomographie
CT THO	=	Computertomographie des Thorax
EDV	=	Elektronische Datenverarbeitung
et al.	=	und andere
EtCO ₂	=	endexpiratorische Kohlendioxidkonzentration
F_iO₂	=	inspiratorische Sauerstoffkonzentration
GCS	=	Glasgow-Coma-Scale
H.U.	=	Hounsfield Unit
I-Cath	=	Zentraler Venenkatheter
ISS	=	Injury Severity Score
PC	=	Personal Computer
pCO ₂	=	Kohlendioxidpartialdruck
PEEP	=	positive end-expiratory pressure
pO ₂	=	Sauerstoffpartialdruck
pO ₂ / F _i O ₂	=	Horowitz-Quotient
Rö.	=	Röntgen
Rö-Th a.p.	=	Röntgen-Thorax im anterior-posterioren Strahlengang
SaO₂	=	Sauerstoffsättigung
SAR	=	Search and rescue
Spannungspneu.	=	Spannungspneumothorax

Einleitung und Zielsetzung

Trotz stetiger Bemühung die Diagnostik und die Therapie zu verbessern, ist das stumpfe Thoraxtrauma nach wie vor mit einer hohen Letalität behaftet (7, 36, 38, 51). Dies gilt insbesondere dann, wenn das Thoraxtrauma mit anderen schwerwiegenden Verletzungen kombiniert ist (13, 56). Um die Überlebenschancen des Verunglückten zu verbessern, ist es daher entscheidend, so früh wie möglich die richtige Diagnose zu stellen und die Schwere der Verletzung korrekt einzuschätzen, um eine effektive Therapie einleiten zu können. Dabei wird der Notarzt am Unfallort vor eine besondere Problematik gestellt. Da er an der Unfallstelle über keine bildgebende Diagnostik verfügt, muß er allein anhand der gebotenen klinischen Symptomatik das Ausmaß der Thoraxverletzungen einschätzen und sich für eine geeignete Therapieform entscheiden. Dies ist allerdings oft durch schlechte Witterungsverhältnisse, ungünstige örtliche Begebenheiten, Patient ist z.B. im Fahrzeug eingeklemmt, oder auch Lärm erschwert, so daß der Notarzt über eine große praktische Erfahrung verfügen muß (72). Eine technische Hilfe erhält er dabei durch die Pulsoxymetrie (27, 60). Mit ihrer Unterschätzung verfügt der Notarzt über ein weiteres Instrument die vitale Bedrohung der Thoraxverletzungen für den Verunglückten schneller erkennen und den Verlauf während des Transportes besser beurteilen zu können (26, 32, 33).

In der Klinik stehen als zusätzliche diagnostische Verfahren die Sonographie, die arterielle Blutgasanalyse, die konventionelle Thoraxaufnahme und die Computertomographie zur Verfügung. Während Sonographie, arterielle Blutgasanalyse und die Thoraxaufnahme zum Routineprogramm gehören, ist die Computertomographie der Thoraxorgane bisher nicht regelhafter Bestandteil der Diagnostik. Zahlreiche Publikationen der letzten Jahre haben jedoch gezeigt, daß die Computertomographie im Nachweis und in der Beurteilung traumatisch bedingter morphologischer Lungenveränderungen gegenüber der konventionellen Thoraxaufnahme deutlich überlegen ist (1, 9, 11, 14, 17, 31, 39, 41, 42, 44, 46, 47, 49, 51, 57, 62, 67, 69, 71, 73).

Ziel dieser Studie ist es, zu untersuchen, inwieweit eine zusätzliche Computertomographie der Thoraxorgane, im Vergleich zur konventionellen Thoraxaufnahme, Mehraussagen über das Ausmaß und die Schwere von Thoraxverletzungen zuläßt. Zusätzlich soll geprüft werden, ob sich die radiologisch diagnostizierten Thoraxverletzungen in der initialen arteriellen Sauerstoffsättigung am Unfallort, der Sauerstoffsättigung im Schockraum und in

der arteriellen Blutgasanalyse im Schockraum widerspiegeln, und ob anhand dieser Werte Aussagen über die Schwere von Thoraxverletzungen zulässig sind. Damit soll diese Studie dem Notarzt an der Unfallstelle und dem aufnehmenden Intensivmediziner in der Klinik eine Orientierungshilfe bieten, inwieweit er sich von den erhobenen Werten der Pulsoxymetrie und der arteriellen Blutgasanalyse bei der Entscheidung nach der richtigen Therapieform leiten lassen kann. Darüber hinaus soll die diagnostische Bedeutung der Computertomographie beim stumpfen Thoraxtrauma verdeutlicht werden.

2. Material und Methoden

2.1 Patientengut und Untersuchungszeitraum

Innerhalb des Untersuchungszeitraumes vom Oktober 1993 bis Oktober 1996 wurden insgesamt 216 Patienten im Rahmen eines Primäreinsatzes entweder vom SAR-Rettungshubschrauber oder einem Bodennotarzt notärztlich versorgt und in die Notaufnahme des Bundeswehrkrankenhauses Ulm gebracht. Dort erfolgte die weitere Diagnostik und Therapie der Traumapatienten. Dabei handelte es sich in 160 Fällen um Männer (74%) und in 56 Fällen um Frauen (26%). Das Durchschnittsalter betrug 38 Jahre (6 – 97 Jahre).

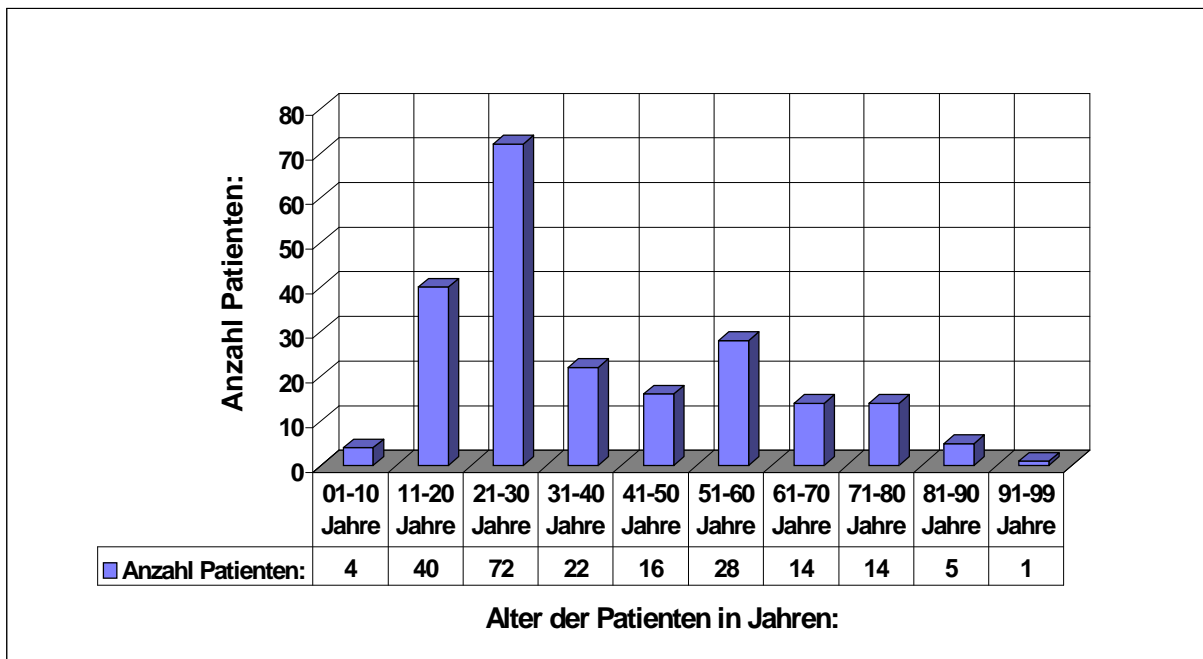


Abb. 1: Altersverteilung der Patienten (Anzahl Patienten = 216)

Da in dieser Dissertation zwei vergleichende Analysen durchgeführt wurden, die unterschiedliche Anforderungen an das jeweilige Vergleichskollektiv stellten, war, neben dem Gesamtkollektiv von 216 Patienten, die Definition von zwei Vergleichskollektiven notwendig.

Das erste Vergleichskollektiv diente der Analyse der beiden radiologischen Untersuchungsmethoden – konventionelle Thoraxaufnahme und Computertomographie. In dieses Kollektiv wurden nur die Patienten aufgenommen, von denen sowohl eine

konventionelle Thoraxaufnahme als auch eine Computertomographie vorlagen. Damit umfaßt das erste Vergleichskollektiv 147 Patienten.

Bei 47 Patienten war nur die konventionelle Thoraxaufnahme angefertigt worden und bei den verbleibenden 22 Patienten stand allein die Computertomographie des Thorax zur Verfügung, da die angefertigte konventionelle Thoraxaufnahme entweder dem Patienten bei der Verlegung in ein anderes Krankenhaus mitgegeben worden war oder im eigenen Haus nicht mehr auffindbar war.

Abbildung 2 zeigt eine Übersicht zur Röntgendiagnostik der 216 Patienten des Gesamtkollektives.

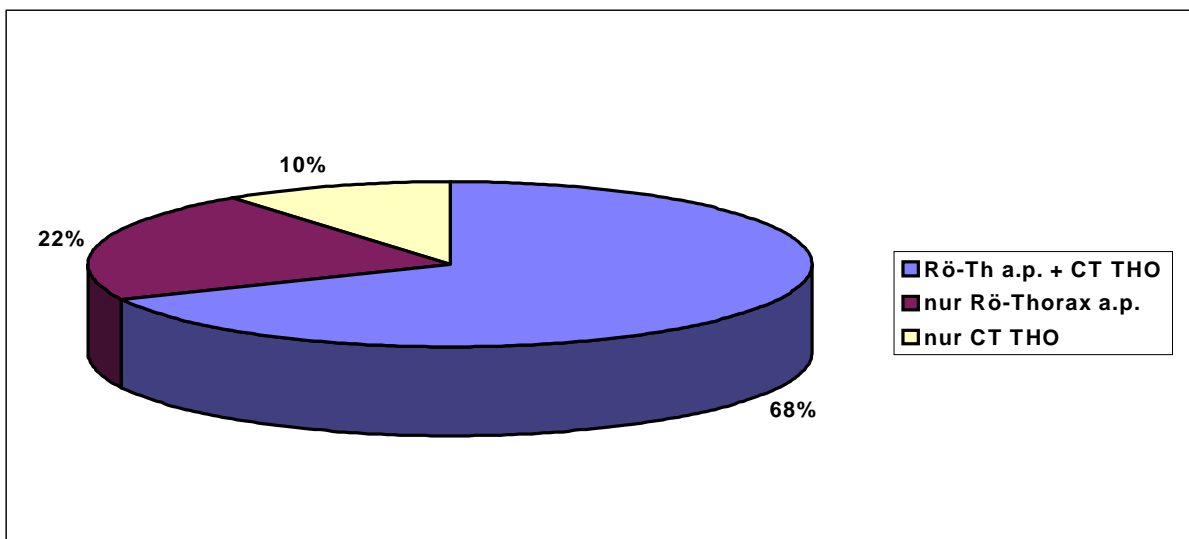


Abb. 2: Übersicht Röntgendiagnostik (Anzahl Patienten = 216)

Das zweite Vergleichskollektiv diente der Untersuchung möglicher Zusammenhänge zwischen traumatisch bedingten morphologischen Lungenveränderungen und der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort bzw. der Sauerstoffsättigung und der arteriellen Blutgasanalyse im Schockraum.

Um ein vergleichbares Patientengut zu erhalten, wurden für diese Analysen nur solche Patienten ausgewertet, die entweder kontrolliert beatmet worden sind oder ohne fremde Unterstützung spontan atmeten. Patienten, die Sauerstoff über eine Nasensonde erhalten hatten, wurden wegen dem, in diesem Fall schwierig zu beurteilenden, Horowitz-Quotienten (pO_2 / FiO_2) aus der Untersuchungsgruppe herausgenommen. Aus diesem Grund verringerte sich hierbei die ursprüngliche Patientenzahl von 216 auf 200.

Weitergehende Erklärungen zur Datengewinnung und -verarbeitung der einzelnen Parameter finden sich weiter unten in den jeweiligen Abschnitten.

2.2 Radiologische Bildauswertung

Nach der primären Versorgung in der Notaufnahme wurde bei 194 Patienten eine konventionelle Thoraxaufnahme im Liegen im a.p.-Strahlengang angefertigt. Dies erfolgte in 58 Fällen als Betaufnahme, mit durchschnittlich 60,9 kV (50,0 – 90,0 kV) und in 136 Fällen auf dem Buckytisch mit durchschnittlich 136 kV (102,0-150,0 kV). Bei 169 Patienten wurde kurz davor oder direkt danach eine Computertomographie des Thorax mit einem Somatom plus (Fa. Siemens) durchgeführt. Dies geschah meist im Anschluß an ein kranielles CT ohne Umlagerung des Patienten als orientierende Thoraxuntersuchung. Die durchschnittliche Schichtenzahl betrug dabei 8 (3 – 23 Schichten). Der zusätzliche Zeitaufwand setzte sich aus der Untersuchungsdauer selbst (Zeitspanne zwischen erster und letzter Thoraxschicht) und einer zusätzlichen Zeitverzögerung (Zeitspanne zwischen letzter kranialer und erster thorakaler Schicht) zusammen, die einerseits durch Rechenzeiten des Computertomographen und andererseits durch notwendige Interventionen der Intensivmediziner bedingt war. Die mittlere Untersuchungsdauer betrug 2 Minuten 7 Sekunden (40 Sekunden – 12 Minuten), die durchschnittliche zusätzliche Zeitverzögerung 2 Minuten 48 Sekunden (30 Sekunden – 15 Minuten). Somit ergab sich für die Computertomographie des Thorax ein zusätzlicher mittlerer Zeitaufwand von 4 Minuten 48 Sekunden (90 Sekunden - 17 Minuten).

Die Zeitdifferenz zwischen der Ankunft des Notarztes an der Unfallstelle und dem Beginn der Röntgendiagnostik lag im Durchschnitt bei 99 Minuten (35 – 363 Minuten). Dabei wurde die Ankunftszeit des Notarztes an der Unfallstelle anhand der Notarztprotokolle ermittelt. Abhängig von der Reihenfolge der radiologischen Diagnostik wurde entweder die Zeit der ersten thorakalen Schicht der Computertomographie oder die Aufnahmezeit der konventionellen Thoraxaufnahme als Beginn der radiologischen Diagnostik definiert.

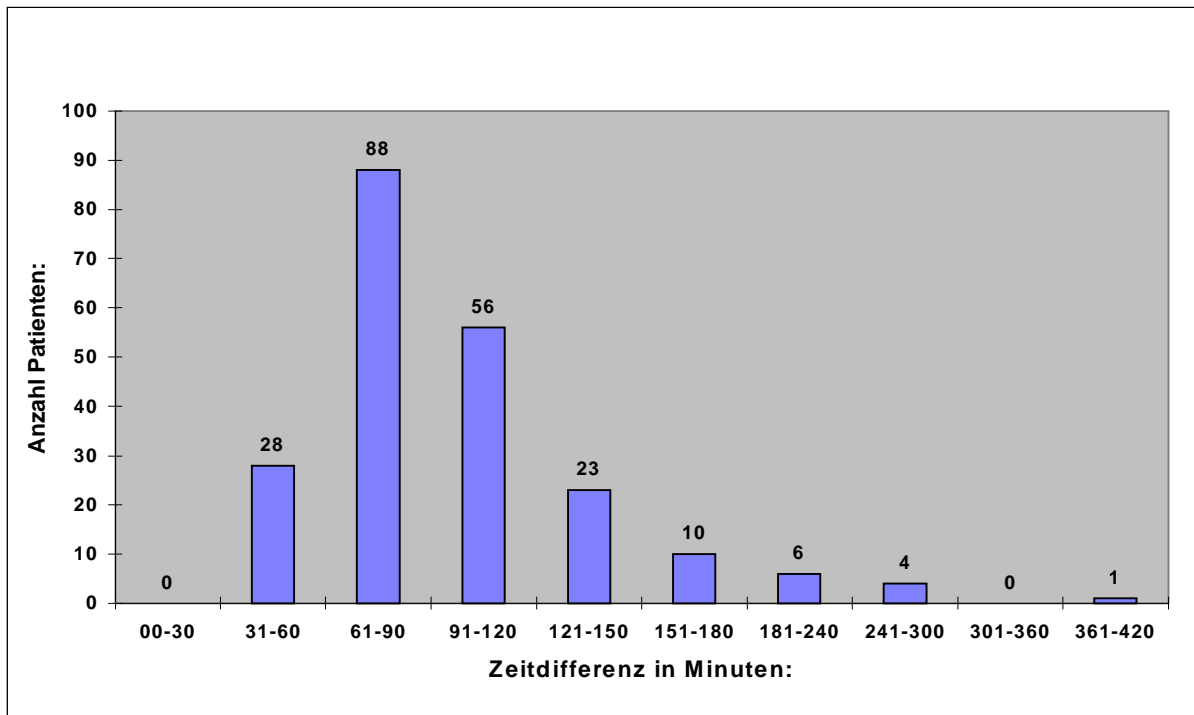


Abb. 3: Zeitdifferenz zwischen der Ankunft des Notarztes an der Unfallstelle und dem Beginn der Röntgendiagnostik in der Klinik (Anzahl Patienten = 216)

Die Auswertung der Computertomographie und der konventionellen Thoraxaufnahme geschah retrospektiv und unabhängig voneinander durch einen Untersucher (Burkhardt Danz, Facharzt für radiologische Diagnostik). Die Beurteilung der Schichten der CT erfolgte im Weichteilfenster (480, 40 H.U.) und im Lungenfenster (2000, -500 H.U.). Gesucht wurde nach Frakturen des thorakalen Skelettsystems, Lungenkontusionen (intrapulmonale Infiltrate mit diffusem interstitiellem und intraalveolärem Verschattungsmuster, teilweise konfluierend und nicht an Lungengrenzen gebunden), Aspirationen (intraalveoläres Infiltrat mit positivem Bronchopneumogramm, Lappen- und Segmentgrenzen einhaltend, häufig Volumenzunahme des betroffenen Bezirkes), Dystelektasen (Verschattung, z.B. eines Segmentes, ohne positives Bronchopneumogramm und mit diskreter Volumenabnahme), Atelektasen (homogene Verschattungen eines zusammenhängenden Lungenabschnittes mit deutlicher Volumenabnahme), Pneumothorax, Spannungspneumothorax, Hämatothorax, Hautemphysem, Mediastinalemphysem, Rupturen der großen Atemwege, Zwerchfellruptur, Aortenruptur und Herztamponade. Die gewonnenen Daten wurden dabei unter Zuhilfenahme eines speziell dafür erstellten Erhebungsbogens (s. Anhang) zur EDV-gestützten Auswertung dokumentiert. Waren in der Röntgendiagnostik Eingriffe von seiten der Intensivmediziner sichtbar, so wurden

diese ebenfalls in dem Erhebungsbogen notiert. Dies beinhaltet zentrale Venenkatheter, Thoraxdrainagen, endotracheale Tuben und Magensonden.

Morphologische Lungenveränderungen wie Lungenkontusion und Dystelektasen wurden anhand der konventionellen Thoraxaufnahme sowohl nach ihrer Lokalisation (Ober-, Mittel-, Unterfeld, rechte und linke Thoraxhälfte) als auch nach ihrer Ausprägung (schwach, mittelstark, stark) beurteilt. Bei Aspirationen und Atelektasen wurde nur die Lokalisation festgehalten.

Bei der Auswertung der CT kam das gleiche Schema zur Anwendung, nur wurde hier die Lokalisation auf Lungensegmente präzisiert. Um die Schwere der Lungenverletzung besser einschätzen zu können, wurde bei Lungenkontusionen und bei Dystelektasen ein Punktesystem entwickelt. Nach diesem System ergab ein leicht befallenes Lungensegment einen Punkt, ein mittelstark befallenes 2 Punkte und ein stark befallenes 3 Punkte. Waren mehrere Lungensegmente betroffen, wurden die Punkte entsprechend addiert. Bei Aspirationen und Atelektasen beschränkte man sich auf die Angabe der betroffenen Lungensegmente, da hier eine entsprechende Einteilung nach Schweregraden nicht möglich war.

Freie Flüssigkeit im Pleuralraum wurde grundsätzlich als Hämatothorax gewertet. Eine spezielle Dichtemessung der Flüssigkeit im CT erfolgte nicht.

Da sich die Einschätzung des Volumens eines Pneumo- bzw. eines Hämatothorax bei der konventionellen Liegendaufnahme recht schwierig gestaltet, wurde versucht eine Möglichkeit zu finden, diese Volumina mit Hilfe der CT auf einfachem und dennoch relativ genauem Weg zu bestimmen. Pneumo- und Hämatothorax wurden so in ihrer maximalen medio-lateralen ($= a$), in ihrer maximalen cranio-caudalen ($= b$) und in ihrer maximalen ventro-dorsalen Ausdehnung ($= c$) vermessen. Als geeignete Formel für die Volumeberechnung wurde ein Viertel eines Rotationselypsoids ausgesucht. Daraus ergibt sich:

$$V = 1/3 \cdot \text{PI} \cdot 0,5 \cdot a \cdot b \cdot c.$$

Anschließend sollte anhand von Regressionsanalysen geprüft werden, ob ein mathematischer Zusammenhang zwischen der maximalen ventro-dorsalen und der maximalen medio-lateralen Ausdehnung existiert. Dazu wurden die gemessenen Werte zuerst in Punktediagramme übertragen. Abbildung 4 und 5 zeigen, daß die Punkte in den beiden Diagrammen relativ eng beieinander liegen und näherungsweise den Verlauf einer Kurve beschreiben.

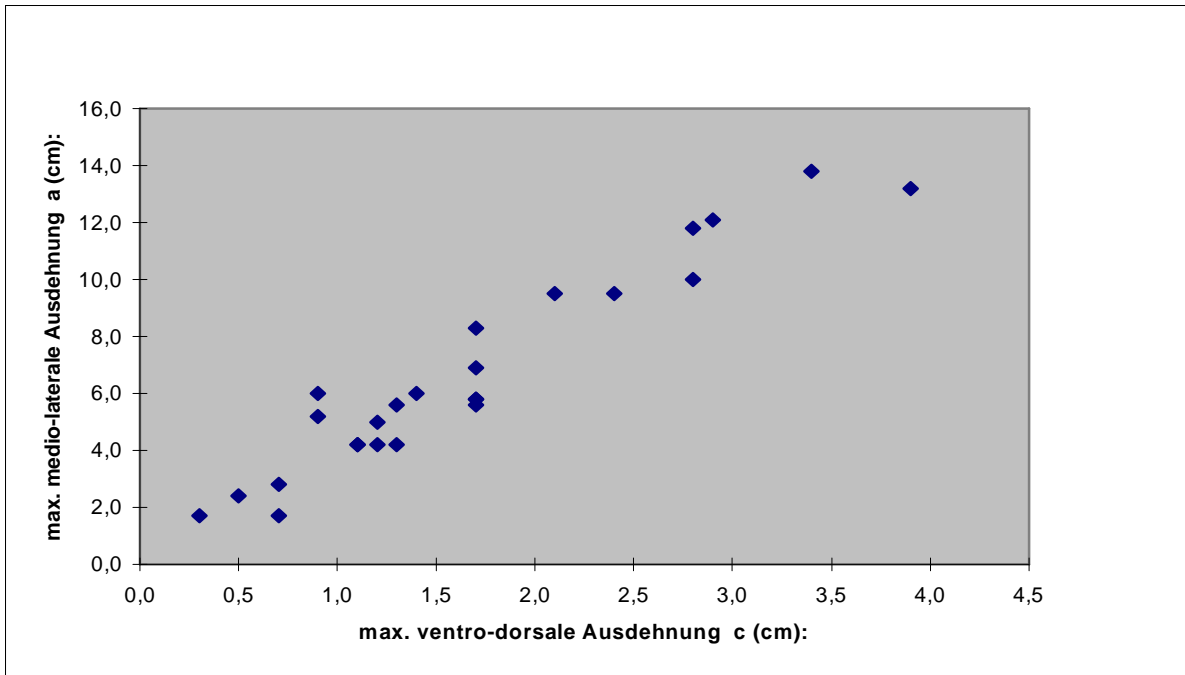


Abb. 4: Pneumothorax – gemessene Werte (Anzahl Einzelmessungen = 30)

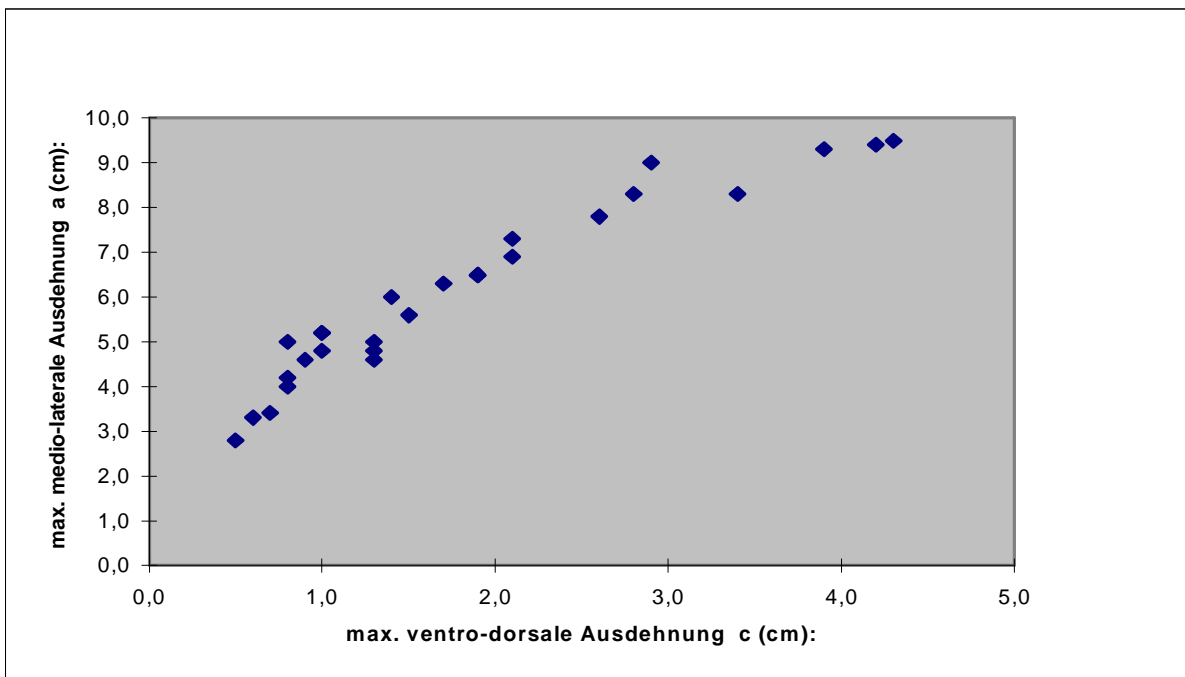


Abb. 5: Hämatothorax – gemessene Werte (Anzahl Einzelmessungen = 30)

Aus diesem Grund erschien es sinnvoll, nach entsprechenden Sättigungsfunktionen zu suchen, um sich bei zukünftigen Volumenberechnungen aus Vereinfachungsgründen auf die Bestimmung von zwei Achsen des Rotationselypsoids beschränken zu können, nämlich auf die maximale cranio-caudale und die maximale ventro-dorsale Ausdehnung von Pneumo- bzw. Hämatothorax. Als geeignete Sättigungsfunktion ergab sich folgende Formel: $f(c) = b_0 \cdot [1 - e^{(-b_1 \cdot c)}]$.

B_0 und b_1 sind als Schätzer für den Regressionskoeffizienten definiert.

In Abbildung 6 und 7 sind die resultierenden Sättigungskurven dargestellt. Während die Sättigungskurve der Pneumothoraces einen fast linearen Anstieg bietet, zeigt die Sättigungskurve der Hämatothoraces einen bogenförmigen Verlauf.

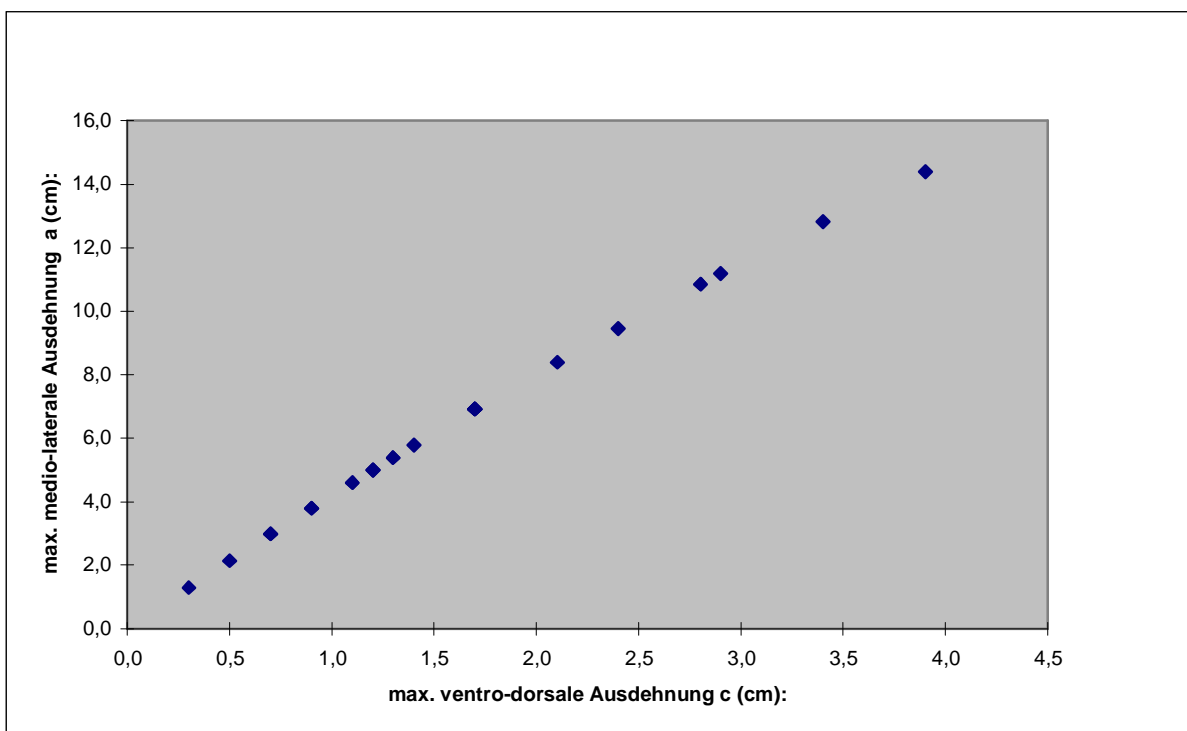


Abb. 6: Pneumothorax – mit Sättigungsfunktion errechnete Werte:

$$f(c) = b_0 \cdot [1 - e^{(-b_1 \cdot c)}] \quad (\text{Anzahl Einzelwerte} = 30)$$

$$b_0 = 46,83394; \quad b_1 = 0,09407 \quad b_0, b_1 = \text{Schätzer für den Regressionskoeffizienten}$$

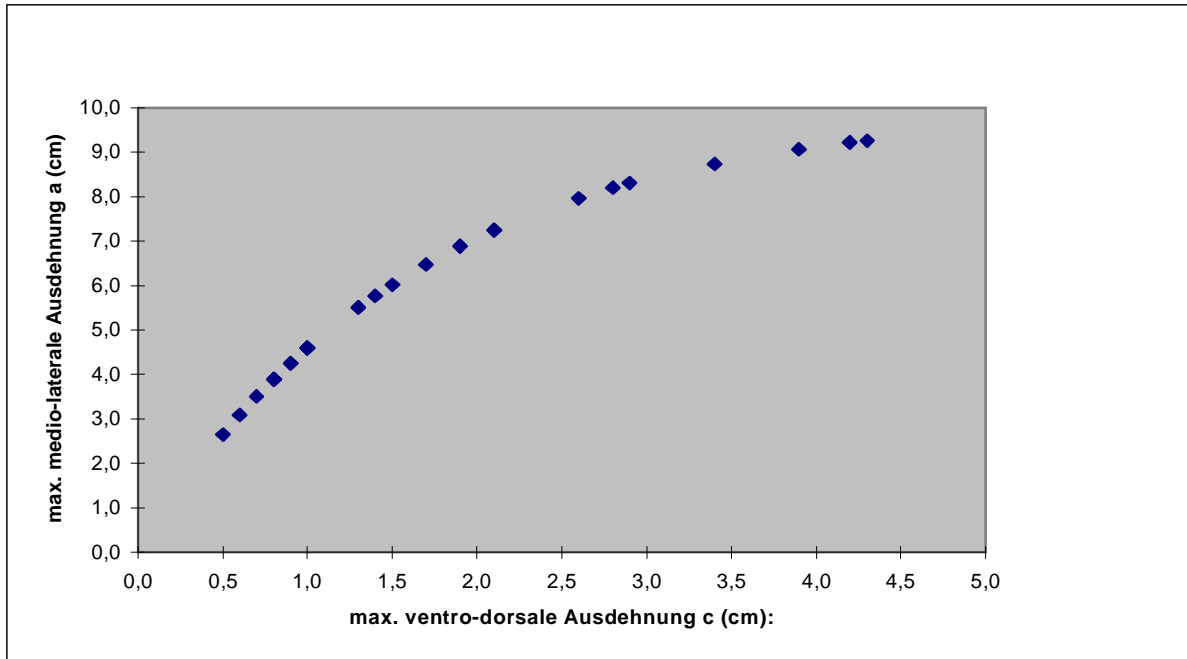


Abb. 7: Hämatothorax – mit Sättigungsfunktion errechnete Werte:

$$f(c) = b_0 \cdot [1 - e^{(-b_1 \cdot c)}] \quad (\text{Anzahl Einzelwerte} = 30)$$

$$b_0 = 9,96725; \quad b_1 = 0,61844 \quad b_0, b_1 = \text{Schätzer für den Regressionskoeffizienten}$$

Durch das Modell werden bei den Pneumothoraces 92 % und bei den Hämatothoraces 95 % der Gesamtvarianz erklärt.

Die Berechnungen der Volumina von Pneumo- und Hämatothorax für die Regressionsanalysen mit den Sauerstoffsättigungen und den Blutgasanalysen erfolgte unter Berücksichtigung dieser Formeln.

Um der Frage nach der Wertigkeit der Computertomographie beim stumpfen Thoraxtrauma auf den Grund gehen zu können, standen uns 147 Patienten zur Verfügung, von denen sowohl eine konventionelle Liegendaufnahme als auch eine CT des Thorax vorlag. Diese 147 Röntgenbilder und die ihnen entsprechenden Computertomographien wurden zu verschiedenen Zeitpunkten und ohne Kenntnis des Ergebnisses der anderen Untersuchungsmethode befundet. Anschließend erfolgte die gemeinsame Auswertung der beiden Untersuchungsverfahren, um anhand der eindeutig mit einer oder beiden Methoden erkennbaren Veränderungen die Diagnose festzulegen. Waren bei einer Verletzungsart alle Diagnosen computertomographisch zu sehen und gleichzeitig in der CT keine falsch positiven Befunde erhoben worden, so wurden die Ergebnisse der konventionellen Thoraxaufnahme direkt in einer 4-Felder-Tafel mit den Ergebnissen der CT verglichen. In allen

anderen Fällen wurden die Ergebnisse dieser beiden radiologischen Untersuchungsmethoden den insgesamt richtig diagnostizierten Befunden gegenübergestellt.

Grundsätzlich wurde unter Anwendung von 4-Felder-Tafeln für jede Thoraxseite getrennt Sensitivität und Spezifität der jeweiligen Untersuchungsmethode ermittelt und eine entsprechende Tabelle erstellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit soll aber nur bei den Verletzungsformen, bei denen sich deutliche Unterschiede im Ergebnis von rechter und linker Thoraxhälfte ergaben, die Tabellen im Ergebnisteil auch separat aufgeführt werden. Wird zu einer Verletzungsart nur eine Tabelle dargestellt, die beide Thoraxseiten zusammenfaßt, so ist davon auszugehen, daß rechte und linke Thoraxhälfte nahezu identische Ergebnisse lieferten. In diesen Tabellen erscheint die Gesamtsumme von 294. Dies entspricht den 294 Thoraxhälften der 147 Patienten.

Bei der Diagnostik von Frakturen im Thoraxbereich wurden nicht nur die einzelnen Thoraxhälften unterschieden, sondern alle Knochen einzeln beurteilt. Dies beinhaltet pro Patient 24 Rippen, 12 Brustwirbel, beide Claviculae und Scapulae sowie das Sternum. Somit ergab sich bei 147 Patienten in den Tabellen 15 und 16 die Gesamtsumme von 6027 Einzelknochen.

2.3 Dokumentation des notärztlichen Datengutes von der Unfallstelle sowie des intensivmedizinischen Datengutes vom Schockraum

Bei den 200 Patienten des zweiten Vergleichskollektives wurde versucht, anhand von Notarztprotokollen die initiale Sauerstoffsättigung zu ermitteln, d.h. die Sauerstoffsättigung, die gemessen worden war, bevor mit einer Therapie begonnen wurde. Dies war bei 113 Patienten möglich. Bei den übrigen Patienten wurde die Sauerstoffsättigung entweder erst nach eingeleiteter Therapie gemessen oder sie ist vom Notarzt nicht dokumentiert worden. Für die Sauerstoffsättigung am Unfallort gelten Werte um 90 % als grenzwertig. Sinkt die Sauerstoffsättigung weiter ab, besteht in der Regel die Indikation zur Beatmung.

Zusätzlich wurde die anfängliche Glasgow-Coma-Scale erfaßt, ein Punkte-Schema zur Bewertung von Hirnfunktionsstörungen nach einem Schädel-Hirn-Trauma (4, 12). Beurteilt werden dabei Augenöffnen, verbale Reaktion auf Ansprache und motorische Reaktion. Unterschreitet die Gesamtpunktzahl den Wert 8, so handelt es sich um eine schwer-

wiegende Störung. Zusätzlich gilt dieser Wert als Grenze für Intubation und Beatmung im Notarztdienst. Tabelle 1 zeigt die genaue Aufschlüsselung der Punktwerte der Glasgow-Coma-Scale. Die Dokumentation der Glasgow-Coma-Scale war insgesamt bei 140 Patienten möglich. Bei den restlichen 60 Patienten war der Wert 52 mal vom Notarzt nicht notiert worden und in 8 Fällen waren die entsprechenden Notarztprotokolle verloren gegangen.

Tab. 1: Glasgow-Coma-Scale (12)

Augenöffnen	Spontanöffnen	4
	Öffnen auf Ansprache	3
	Öffnen auf Schmerzreize	2
	Keine Reaktion	1
Verbale Reaktion	Orientiert	5
	Verwirrt, desorientiert	4
	Unzusammenhängende Worte	3
	Unverständliche Laute	2
	Keine verbale Reaktion	1
Motorische Reaktion	Befolgt Aufforderungen	6
	Gezielte Schmerzabwehr	5
	Massenbewegungen	4
	Beugesynergien	3
	Strecksynergien	2
	Keine Reaktion	1

Alle erhobenen Daten wurden mit Hilfe eines eigens dafür erstellten Erhebungsbogens (s. Anhang) dokumentiert und zu einem späteren Zeitpunkt auf einen PC übertragen. Neben der initialen Sauerstoffsättigung und der Glasgow-Coma-Scale wurden die Unfallzeit, die Zeit des Eintreffens des Notarztes an der Unfallstelle sowie Blutdruck und Puls notiert. Zusätzlich enthält der Erhebungsbogen Angaben darüber, ob der Patient beatmet wurde und mit welchen Parametern die Beatmung erfolgte. Dies beinhaltet Atemminutenvolumen, Atemfrequenz, Atemzeitverhältnis, PEEP (positive end-expiratory

pressure), EtCO₂ (endexpiratorische CO₂-Konzentration) und FiO₂ (inspiratorische Sauerstoffkonzentration).

Die gleichen Angaben wurden nochmals nach Eintreffen im Schockraum und eine Stunde nach Einlieferung in die Klinik erhoben. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse von arteriellen Blutgasanalysen zu diesen Zeitpunkten dokumentiert.

Die intensivmedizinischen Daten der Traumapatienten wurden ab dem Zeitpunkt der Einlieferung in die Klinik im Rahmen einer prospektiven Studie der Abteilung für Anästhesiologie des Bundeswehrkrankenhauses Ulm gewonnen und in einer Datenbank gespeichert. Ein großer Teil, der von uns verarbeiteten Daten, wurde uns freundlicherweise von der Abteilung für Anästhesiologie zur Verfügung gestellt und stammt aus dieser Datenbank. Bei der Hälfte der Traumapatienten fehlten noch die initiale Sauerstoffsättigung und die Glasgow-Coma-Scale am Unfallort sowie in einem Drittel der Fälle die Ergebnisse der arteriellen Blutgasanalyse nach Eintreffen im Schockraum. Diese fehlenden Daten wurden durch Studium von Traumabegleitbögen und Krankenakten aus dem Archiv und den Stationen des Bundeswehrkrankenhauses Ulm ergänzt. Auf diese Weise standen zur statistischen Auswertung 135 Patienten zur Verfügung, bei denen arterielle Blutgasanalysen abgenommen worden waren. Von 194 Patienten lag die Sauerstoffsättigung im Schockraum vor. Bei den restlichen 6 Patienten war dieser Wert in der Krankenakte nicht vermerkt worden.

Aus der Datenbank der Abteilung für Anästhesiologie stammen auch die Werte des Injury Severity Score (ISS) unserer 200 Traumapatienten. Der Injury Severity Score wurde 1974 von Baker et al. entwickelt (3) und ist ein Maß für die Schwere der Verletzungen von Traumapatienten. Im Gegensatz zur Abbreviated Injury Scale (AIS), mit der der Verletzungsgrad einzelner Körperregionen erfaßt wird, berücksichtigt der ISS auch die Auswirkungen kombinierter Verletzungen mehrerer Körperregionen auf die Mortalität. Er kann Werte zwischen 0 und 75 einnehmen und korreliert gut mit der Mortalität dieser Patienten (3, 24).

Die Angaben über Unfallursachen und Begleitverletzungen wurden zum einen den Krankenakten der Traumapatienten und zum anderen der Datenbank der Abteilung für Anästhesiologie entnommen.

2.4 Statistische Auswertung

Sämtliche gewonnenen Daten wurden in einen PC eingegeben und mit Unterstützung des Tabellenkalkulationsprogrammes Excel verarbeitet und ausgewertet.

Zur besseren Veranschaulichung möglicher Zusammenhänge zwischen den traumatisch bedingten morphologischen Lungenveränderungen und den Auswirkungen auf die initiale Sauerstoffsättigung am Unfallort sowie auf die arterielle Blutgasanalyse im Schockraum wurden Punktediagramme erstellt. Bei der Beurteilung der Gasaustauschsituation des Traumapatienten im Schockraum spielt der Horowitz-Quotient eine wichtige Rolle, welcher aus dem Quotienten von arteriellem Sauerstoffpartialdruck und F_iO_2 gebildet wird. Da er die inspiratorische Sauerstoffkonzentration mit berücksichtigt, besitzt er für den Anästhesisten eine größere Aussagekraft als der arterielle Sauerstoffpartialdruck allein (53, 70). Deswegen wurde er von uns in die Auswertung mit aufgenommen.

Da eine extrem niedrige Glasgow-Coma-Scale, z.B. durch negative Beeinflussung des zentralen Atemantriebs, die Auswirkungen von Lungentraumata auf die initiale Sauerstoffsättigung potenzieren kann (33), wurden unsere Patienten bei der Erstellung der Diagramme vom Unfallort in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe umfaßt alle Patienten, die bei Ankunft des Notarztes eine Glasgow-Coma-Scale von 3 bis 7 aufwiesen. In der zweiten Gruppe befinden sich alle Traumatisierten mit Werten von 8 und darüber. Bei der Erstellung der Diagramme des Schockraumes wurde auf die anfängliche Glasgow-Coma-Scale keine Rücksicht mehr genommen, da eine zentrale Atemantriebsstörung bis zur Einlieferung in die Klinik bereits durch eine kontrollierte Beatmung aufgefangen werden kann.

Grundsätzlich kommen nur die Diagramme zur Darstellung, bei denen Anzahl sowie Verteilung der Schweregrade einer Verletzungsart dies sinnvoll erscheinen lassen.

Da anhand der Punktediagramme immer nur eine einzelne Lungenverletzung untersucht werden kann, wurden zusätzlich multiple Regressionsanalysen berechnet, um auch die Auswirkungen mehrerer Lungenverletzungen in ihrem Zusammenspiel beurteilen zu können. Bei diesem mathematischen Verfahren wird das Maß der Abhängigkeit zwischen mehreren unabhängigen Variablen und einer abhängigen Variablen ermittelt. Ferner lassen sich anhand der Berechnungen Aussagen darüber machen, welche unabhängigen Variablen besonders großen Einfluß auf die abhängige Variable ausüben und welche kaum (30).

Die Glasgow-Coma-Scale wurde bei der Auswertung der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort als unabhängige Variable mit berücksichtigt.

3. Ergebnisse

3.1 Unfallursachen

Die häufigste Unfallursache war mit 152 von 216 Patienten erwartungsgemäß der Verkehrsunfall. 27 Patienten kamen durch einen Sturz, zum Teil aus größerer Höhe, zu Schaden. Weitere Unfallursachen waren mit absteigender Häufigkeit Sportunfälle, Arbeitsunfälle, Suizidversuche, Unfälle im Haushalt und Explosionstraumata. Bei 10 Patienten war die Unfallursache entweder nicht mehr nachvollziehbar oder sie ließ sich in keine der genannten Kategorien einordnen.

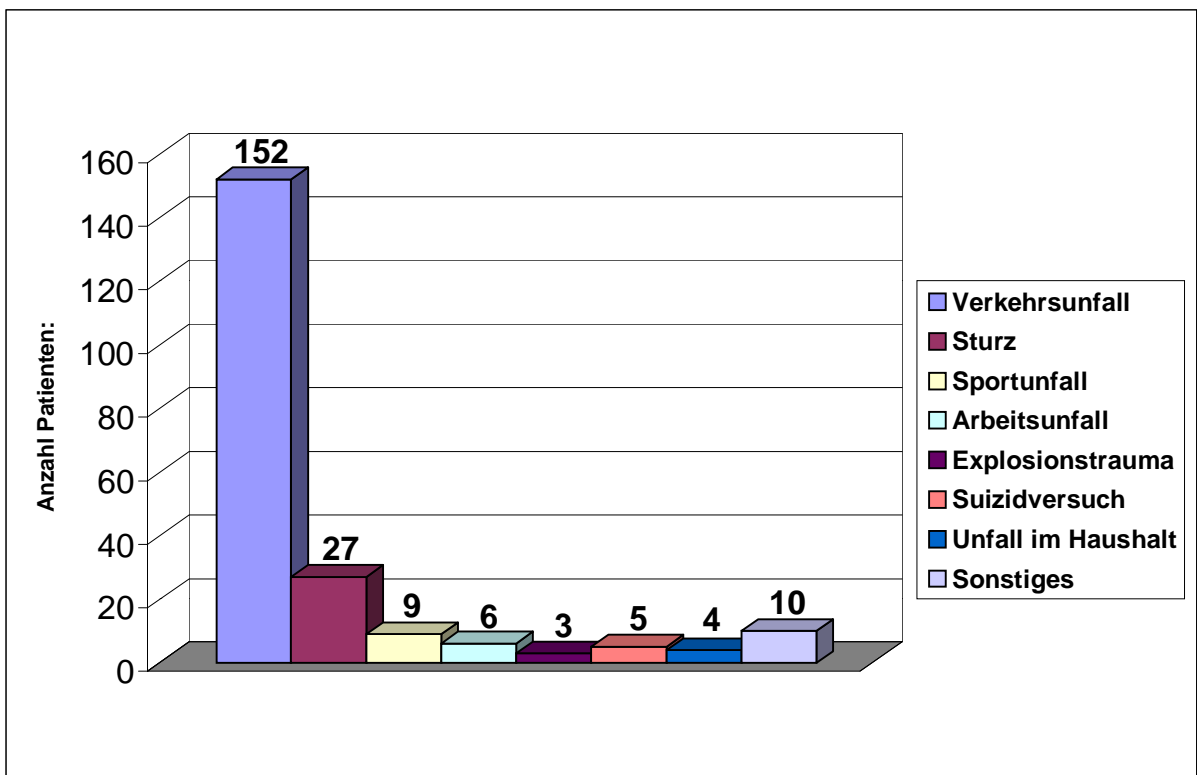


Abb. 8: Häufigkeiten der Unfallursachen (Anzahl Patienten = 216)

Von den insgesamt 152 Patienten, die durch Teilnahme am Straßenverkehr verunglückten, waren 101 Fahrer oder Beifahrer eines Pkw. 27 Patienten kamen mit dem Motorrad zu Schaden, gefolgt von 15 Radfahrern und einem Lkw-Fahrer. Die Fußgänger waren mit insgesamt 8 Patienten vertreten.

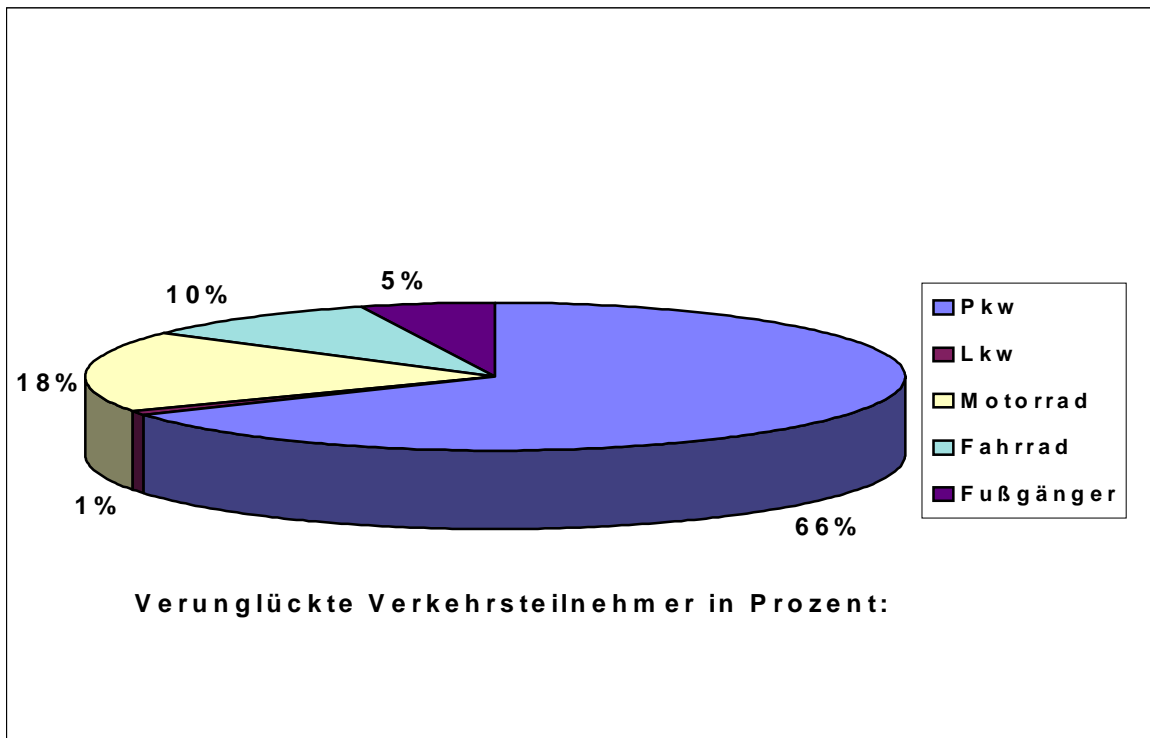


Abb. 9 : Verteilung verunglückter Verkehrsteilnehmer (Gesamtzahl = 152)

3.2 Injury Severity Score und Begleitverletzungen

Die Werte des Injury Severity Score reichten von minimal 1 bis maximal 66. Mit 67 Fällen fand sich am häufigsten ein Injury Severity Score mit Werten zwischen 20 und 29.

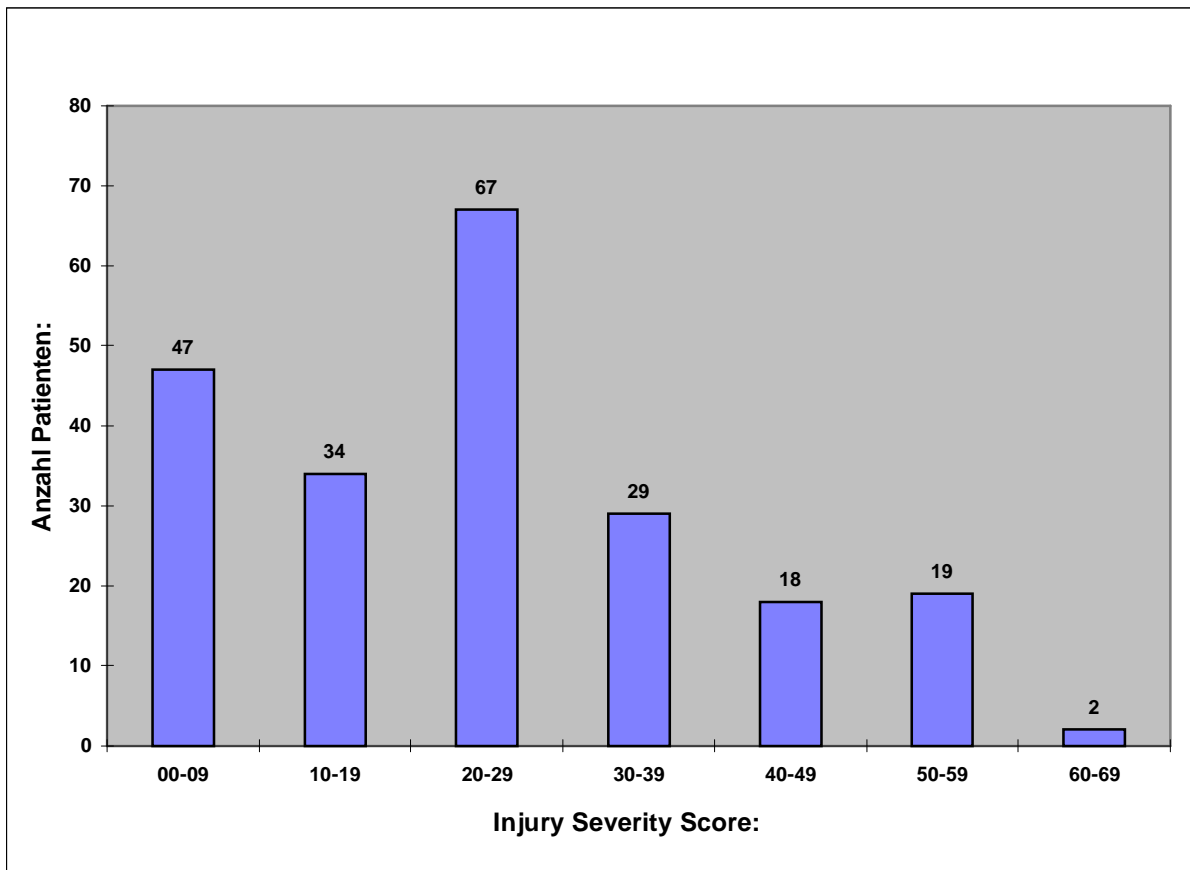


Abb. 10: Verteilung Injury Severity Score (Anzahl Patienten = 216)

Abbildung 11 zeigt das Verhältnis der isolierten Traumata im Vergleich zu den Mehrfachverletzten, die mit insgesamt 148 Patienten klar dominierten. 44 Patienten erlitten ein isoliertes Schädel-Hirn-Trauma und 12 Patienten ein isoliertes Thoraxtrauma. 5 Patienten wiesen isolierte Verletzungen der Extremitäten auf und bei 7 Patienten wurden keine schweren Verletzungen diagnostiziert.

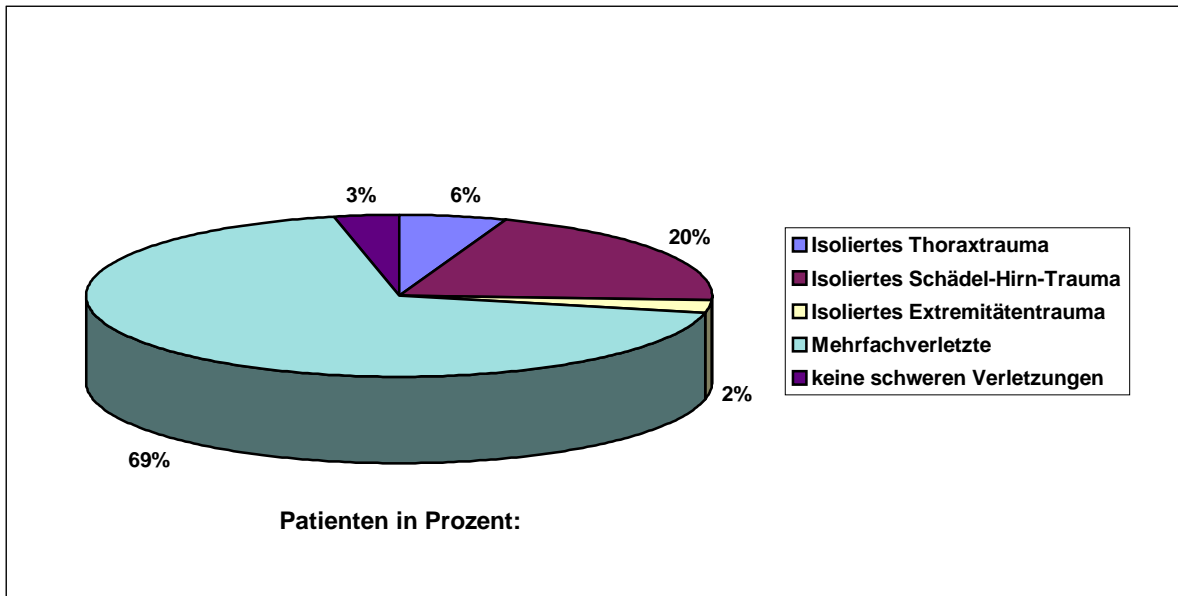


Abb. 11: Verteilung verunglückter Patienten (Anzahl Patienten = 216)

Betrachtet man die einzelnen Verletzungsarten unabhängig davon, ob sie isoliert oder in Kombination auftraten, waren Schädel-Hirn-Verletzungen mit 181 Fällen am häufigsten vertreten, gefolgt von Thoraxverletzungen in 139 Fällen. Daneben traten Verletzungen im Bereich der Extremitäten bei 84, im Bereich des Abdomen bei 34 und im Bereich des Becken bei 28 Patienten auf.

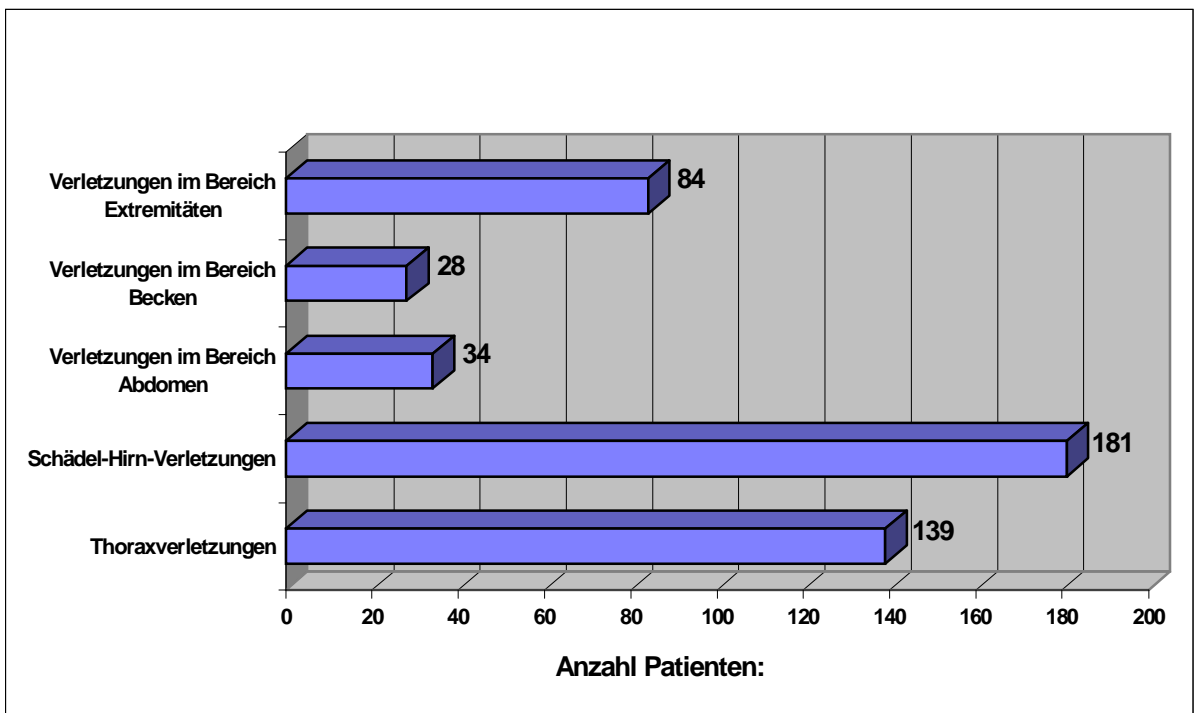


Abb.12: Häufigkeiten der Verletzungsarten (Anzahl Patienten = 216)

3.3 Radiologische Befunde

3.3.1 Befunde in der CT und im konventionellen Röntgenbild

Die radiologischen Befunde aller 216 Traumapatienten ergaben, unabhängig davon, ob von einem Patienten eine konventionelle Thoraxaufnahme bzw. eine Computertomographie einzeln oder kombiniert vorlagen, folgendes Ergebnis.

Zu Beginn der Röntgendiagnostik waren 144 Patienten intubiert, dabei lag der Tubus 6 mal (= 4,2 %) zu tief. 7 Patienten waren tracheotomiert. Thoraxdrainagen waren insgesamt 21 mal auf den Röntgenaufnahmen zu sehen, davon 6 mal zweifach und 2 mal dreifach. 43 Patienten wiesen eine Magensonde auf. Ein zentraler Venenkatheter wurde in 73 Fällen gelegt. 61 mal handelte es sich dabei um einen I-Cath und 12 mal um einen Shaldonkatheter. Die mit Abstand bevorzugte Einstichstelle war mit 59 % die rechte V. subclavia. In 7 Fällen (= 9,6 %) wurde eine Fehllage des zentralen Venenkatheters festgestellt.

Mit 98 und 73 Fällen waren die Dystelektase und die Lungenkontusion die häufigsten morphologischen Lungenveränderungen. Mit absteigender Häufigkeit wurden Hämatothorax, Pneumothorax, Atelektasen und Aspiration beobachtet. Über die genauen Zahlen gibt Abb.13 Aufschluß.

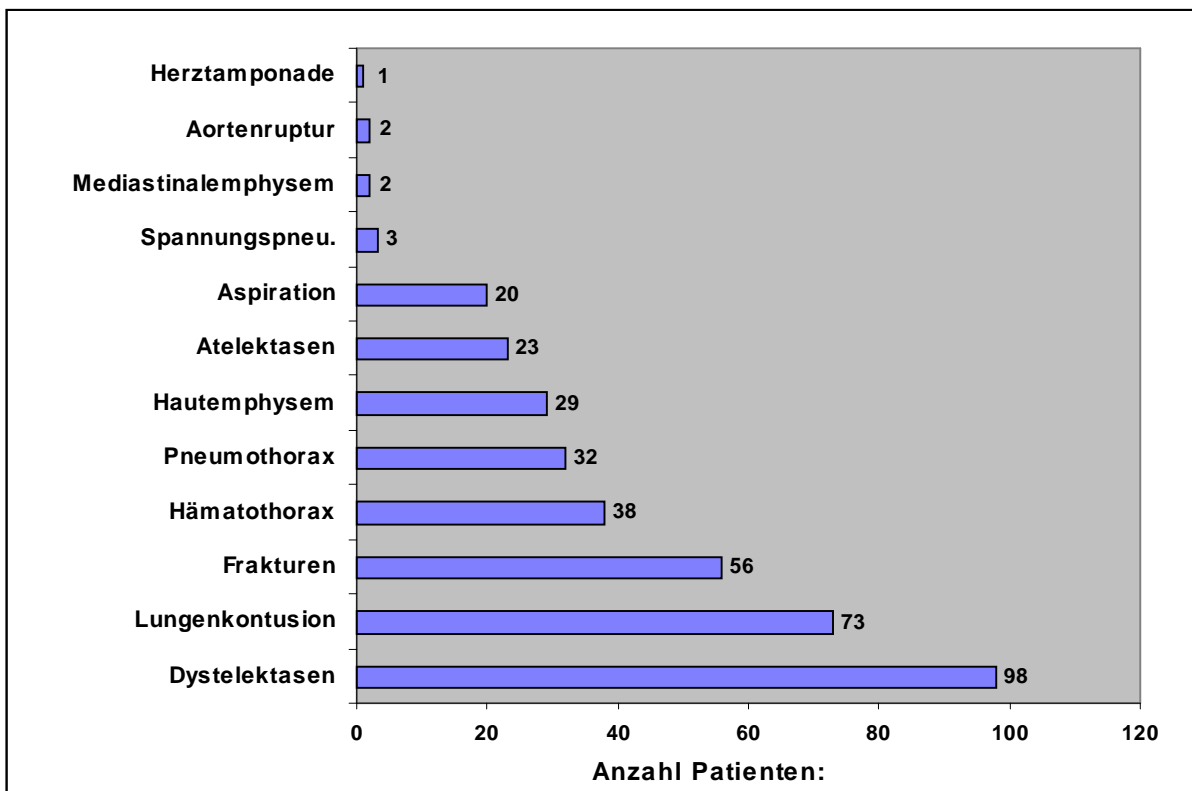


Abb.13: Verteilung der einzelnen Thoraxverletzungen (Anzahl Patienten = 216)

Drei Patienten wiesen einen Spannungspneumothorax auf, zwei eine Aortenruptur und ein Patient eine Herztamponade. In 29 Fällen wurde ein Hautemphysem gefunden.

Insgesamt erlitten 56 Patienten Frakturen. Deutlich im Vordergrund standen dabei die Rippenfrakturen. Daneben wurden Clavicula-, Scapula-, Sternum- und Brustwirbel-frakturen dokumentiert.

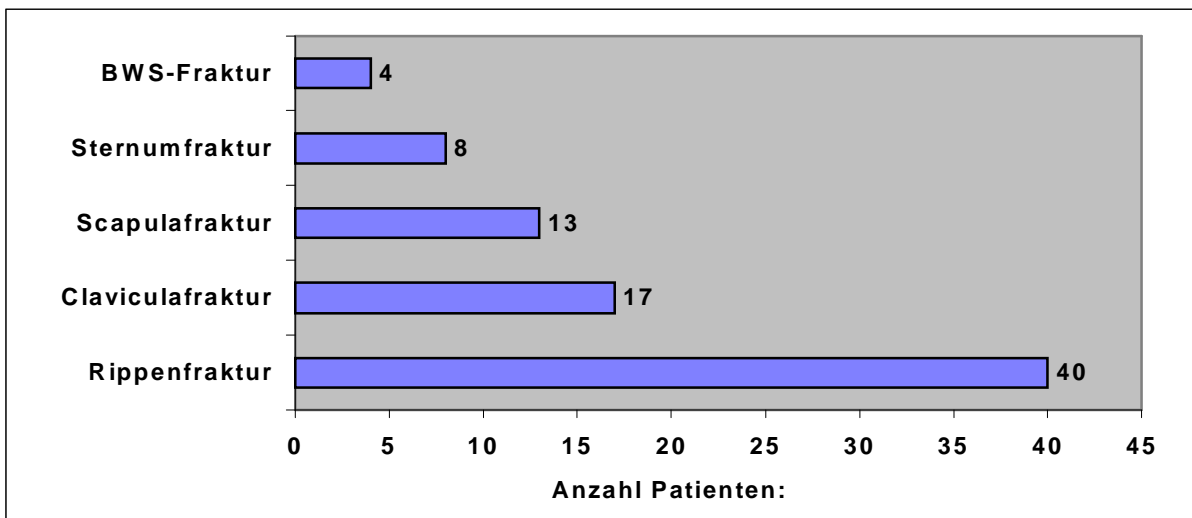


Abb.14: Verteilung der einzelnen Frakturen (Anzahl Patienten mit Frakturen = 56)

3.3.2 Vergleich der CT-Befunde mit den entsprechenden konventionellen Röntgenbildern

3.3.2.1 Häufigkeiten der Verletzungen

Die Abbildungen 15 und 16 zeigen die Verteilung der einzelnen diagnostizierten Thoraxverletzungen bzw. der einzelnen Frakturen von den 147 Patienten, von denen uns sowohl eine konventionelle Liegendaufnahme als auch eine Computertomographie des Thorax vorlag (erstes Vergleichskollektiv).

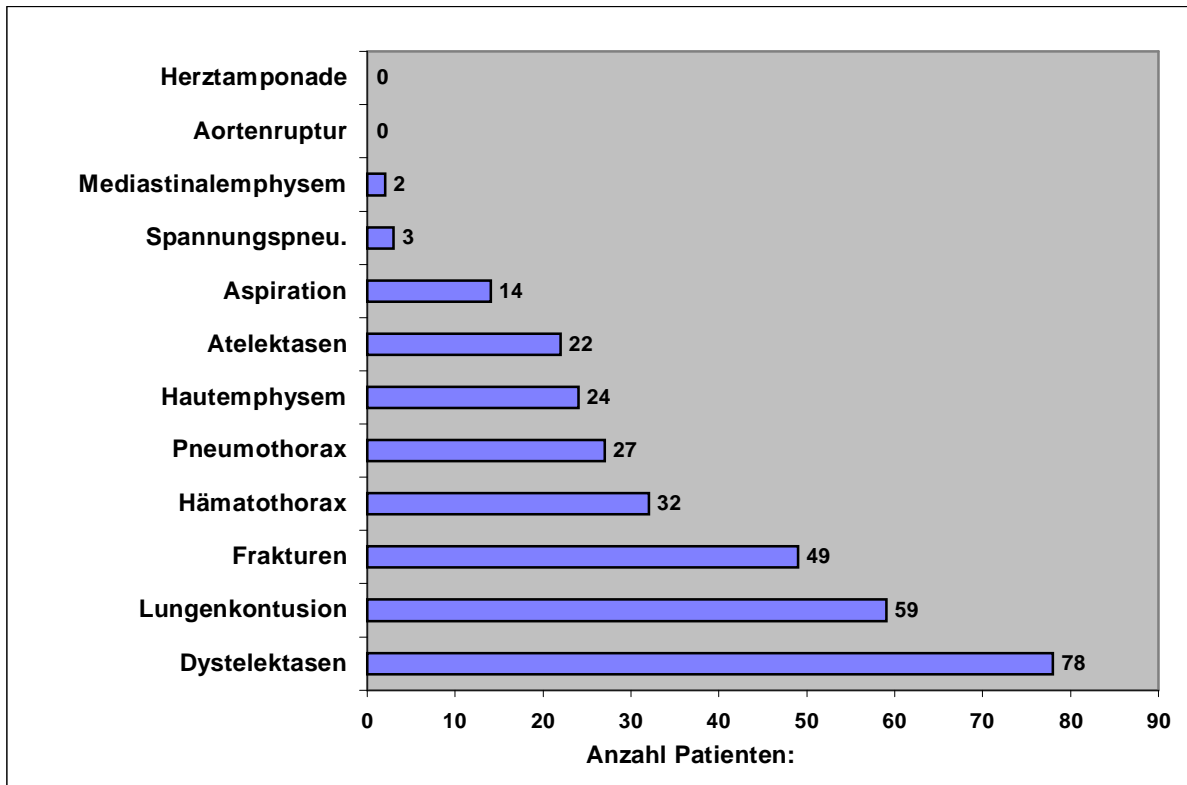


Abb.15: Verteilung der einzelnen Thoraxverletzungen bei Patienten mit Rö-Thorax a.p. und CT Thorax (Anzahl Patienten = 147)

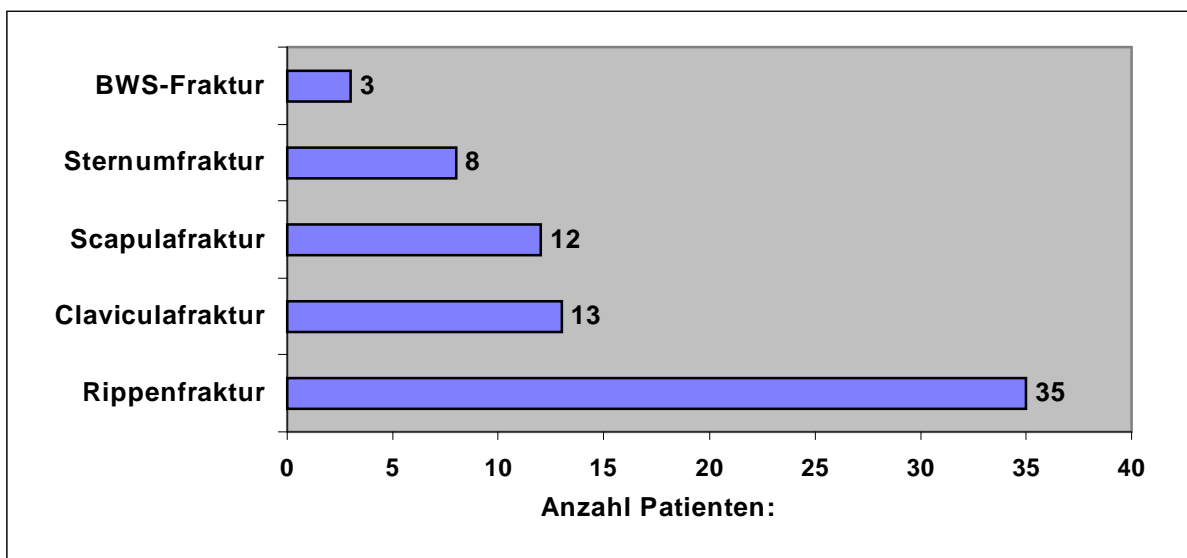


Abb.16: Verteilung der einzelnen Frakturen bei Patienten mit Rö-Thorax a.p. und CT Thorax (Anzahl Patienten mit Frakturen = 49)

3.3.2.2 Sensitivität und Spezifität der radiologischen Untersuchungsmethoden bei Lungen- bzw. Thoraxverletzungen außer Frakturen

In den folgenden 4-Felder-Tafeln werden die Sensitivität und die Spezifität der radiologischen Untersuchungsverfahren bei Thorax- bzw. Lungenverletzungen ermittelt.

Insgesamt 59 der 147 Patienten erlitten eine **Lungenkontusion**. Dabei waren 50 Lungenkontusionen auf der rechten und 30 Lungenkontusionen auf der linken Thoraxseite anzutreffen.

Tab. 2: Lungenkontusion: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax **beider** Thoraxhälften

CT-Thorax \ Rö-Thorax	Lungenkontusion	Keine Lungenkontusion	Summe
Lungenkontusion	43	37	80
Keine Lungenkontusion	13	201	214
Summe	56	238	294

Sensitivität (Rö-Thorax): 53,8 %

Spezifität (Rö-Thorax): 93,9 %

Während durch die Computertomographie alle **Lungenkontusionen** diagnostiziert werden konnten, ließen sich durch die konventionelle Liegendaufnahme 43 der insgesamt 80 kontusionierten Thoraxseiten nachweisen. 13 mal wurde in der Liegendaufnahme ein falsch positiver Befund erhoben.

Computertomographisch wiesen alle 14 Patienten, bei denen pulmonale Verdichtungsbezirke im Sinne von **Aspirationen** entdeckt worden waren, einen positiven Befund auf. Die Aspirationen waren in 8 Fällen auf der rechten und in 10 Fällen auf der linken Seite lokalisiert. Konventionell konnte ein Drittel dieser aspirationsbedingten Verdichtungsbezirke diagnostiziert werden.

Tab. 3: Aspiration: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax **beider** Thoraxhalfen

CT-Thorax \ R�-Thorax	Aspiration	Keine Aspiration	Summe
Aspiration	6	12	18
Keine Aspiration	3	273	276
Summe	9	285	294

Sensitivität (R -Thorax): 33,3 %

Spezifität (R -Thorax): 98,9 %

Der Nachweis von **Dystelektasen** war computertomographisch bei 78 Patienten, dabei 66 mal rechts und 57 mal links, möglich. Dies entspricht der Gesamtzahl der diagnostizierten Dystelektasen. In der konventionellen Aufnahme waren links deutlich mehr als rechts und insgesamt etwa 37 % der Dystelektasen erkennbar. In 15 Fällen wurde bei der a.p.-Aufnahme der Verdacht auf eine Dystelektase geäußert, der in der Computertomographie allerdings nicht verifiziert werden konnte.  ber die genauen Zahlen geben die Tabellen 4 – 6 Aufschluß.

Tab. 4: Dystelektasen: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax der **rechten** Thoraxhälfte

CT-Thorax \ R�-Thorax	Dystelektasen	Keine Dystelektasen	Summe
Dystelektasen	18	48	66
Keine Dystelektasen	4	77	81
Summe	22	125	147

Sensitivität (R -Thorax): 27,3 %

Spezifität (R -Thorax): 95,1 %

Tab. 5: Dystelektasen: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax der **linken** Thoraxhälfte

CT-Thorax \ R�-Thorax	Dystelektasen	Keine Dystelektasen	Summe
Dystelektasen	27	30	57
Keine Dystelektasen	11	79	90
Summe	38	109	147

Sensitivität (R -Thorax): 47,4 %

Spezifität (R -Thorax): 87,8 %

Tab. 6: Dystelektasen: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax **beider** Thoraxhalfen

CT-Thorax \ R�-Thorax	Dystelektasen	Keine Dystelektasen	Summe
Dystelektasen	45	78	123
Keine Dystelektasen	15	156	171
Summe	60	234	294

Sensitivität (R -Thorax): 36,6 %

Spezifität (R -Thorax): 91,2 %

Atelektasen wurden in der Summe bei 22 Patienten diagnostiziert und waren alle in der Computertomographie zu sehen. Konventionell wurden auf der rechten Thoraxseite mehr Atelektasen entdeckt als links. Insgesamt erbrachte die Liegendaufnahme bei knapp einem Fünftel der tatsächlichen Atelektasen einen positiven Befund. Dafür betrug die Spezifität dieser Untersuchungsmethode 100 %. Die Ergebnisse im Einzelnen lassen sich aus den Tabellen 7 – 9 entnehmen.

Tab. 7: Atelektasen: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax der **rechten** Thoraxhälfte

CT-Thorax \ R�-Thorax	Atelektasen	Keine Atelektasen	Summe
Atelektasen	4	9	13
Keine Atelektasen	0	134	134
Summe	4	143	147

Sensitivität (R -Thorax): 30,8 %

Spezifität (R -Thorax): 100 %

Tab. 8: Atelektasen: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax der **linken** Thoraxhälfte

CT-Thorax \ R�-Thorax	Atelektasen	Keine Atelektasen	Summe
Atelektasen	1	12	13
Keine Atelektasen	0	134	134
Summe	1	146	147

Sensitivität (R -Thorax): 7,7 %

Spezifität (R -Thorax): 100 %

Tab. 9: Atelektasen: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax **beider** Thoraxhälften

CT-Thorax \ R�-Thorax	Atelektasen	Keine Atelektasen	Summe
Atelektasen	5	21	26
Keine Atelektasen	0	268	268
Summe	5	289	294

Sensitivität (R -Thorax): 19,2 %

Spezifität (R -Thorax): 100 %

Die Computertomographie ergab bei allen 27 Patienten mit **Pneumothoraces**, insgesamt 16 positive Befunde auf der rechten und 14 auf der linken Thoraxseite, die richtige Diagnose. Konventionell konnten 13 der 30 Pneumothoraces erkannt werden.

Tab.10: Pneumothorax: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax der **rechten** Thoraxhälfte

CT-Thorax \ Rö-Thorax	Pneumothorax	Kein Pneumothorax	Summe
Pneumothorax	8	8	16
Kein Pneumothorax	1	130	131
Summe	9	138	147

Sensitivität (Rö-Thorax): 50,0 %

Spezifität (Rö-Thorax): 99,2 %

Tab.11: Pneumothorax: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax der **linken** Thoraxhälfte

CT-Thorax \ Rö-Thorax	Pneumothorax	Kein Pneumothorax	Summe
Pneumothorax	5	9	14
Kein Pneumothorax	0	133	133
Summe	5	142	147

Sensitivität (Rö-Thorax): 35,7 %

Spezifität (Rö-Thorax): 100 %

Tab.12: Pneumothorax: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax **beider** Thoraxhalfen

CT-Thorax \ R�-Thorax	Pneumothorax	Kein Pneumothorax	Summe
Pneumothorax	13	17	30
Kein Pneumothorax	1	263	264
Summe	14	280	294

Sensitivität (R -Thorax): 43,3 %

Spezifität (R -Thorax): 99,6 %

In der Summe wurden bei 32 von 147 Patienten 39 **Hämatothoraces** nachgewiesen. 20 davon waren auf der rechten und 19 auf der linken Thoraxseite lokalisiert. Während mit Hilfe der Computertomographie in fast 80 % der Fälle der Nachweis gelang, war in der Liegendaufnahme in 23 von 39 Fällen die Diagnose möglich. In 2 Fällen wurde konventionell ein Hämatothorax vermutet, der sich aber computertomographisch nicht bestätigte.

Tab.13: Hämatothorax: Vergleich der Befunde von R -Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Hämatothoraces **beider** Thoraxhalfen

Gesamt \ R�-Thorax	Hämatothorax	Kein Hämatothorax	Summe
Hämatothorax	23	16	39
Kein Hämatothorax	2	253	255
Summe	25	269	294

Sensitivität (R -Thorax): 59,0 %

Spezifität (R -Thorax): 99,2 %

Tab.14: Hämatothorax: Vergleich der Befunde von CT-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Hämatothoraces **beider** Thoraxhälften

Gesamt \ CT-Thorax	Hämatothorax	Kein Hämatothorax	Summe
Hämatothorax	31	8	39
Kein Hämatothorax	0	255	255
Summe	31	263	294

Sensitivität (CT-Thorax): 79,5 %

Spezifität (CT-Thorax): 100 %

In allen 3 Fällen wurde ein **Spannungspneumothorax** computertomographisch richtig erkannt, während dieser Befund in der konventionellen Aufnahme einmal erhoben werden konnte.

Ferner waren in der Computertomographie 2 **Mediastinalemphyseme** nachweisbar, von denen in der Liegendaufnahme eines zu sehen war. Bei einem Patienten wurde konventionell ein Mediastinalemphysem vermutet, das computertomographisch allerdings ausgeschlossen werden konnte.

Wegen der geringen Fallzahlen wurde bei diesen beiden Verletzungsformen auf die Darstellung einer 4-Felder-Tafel verzichtet.

Hautemphyseme waren in 26 Fällen nachweisbar. Diese konnten alle erfolgreich in der Computertomographie diagnostiziert werden. In der konventionellen Aufnahme wurden dagegen knapp 60 % der Hautemphyseme entdeckt. Tabelle 15 gibt über die genauen Zahlen Auskunft.

Tab.15: Hautempysem: Vergleich der Befunde von CT und Rö-Thorax **beider** Thoraxhalfen

CT-Thorax \ R�-Thorax	Hautempysem	Kein Hautempysem	Summe
Hautempysem	15	11	26
Kein Hautempysem	0	268	268
Summe	15	279	294

Sensitivität (R -Thorax): 57,7 %

Spezifität (R -Thorax): 100 %

3.3.2.3 Übersicht der Sensitivitäten und Spezifitäten

Nach der Darstellung der einzelnen 4-Felder-Tafeln zur Bestimmung der Sensitivität und Spezifität der radiologischen Untersuchungsmethoden bei bestimmten Lungen- bzw. Thoraxverletzungen, möchten nun die Abbildungen 17 und 18 abschließend eine Übersicht dazu liefern.

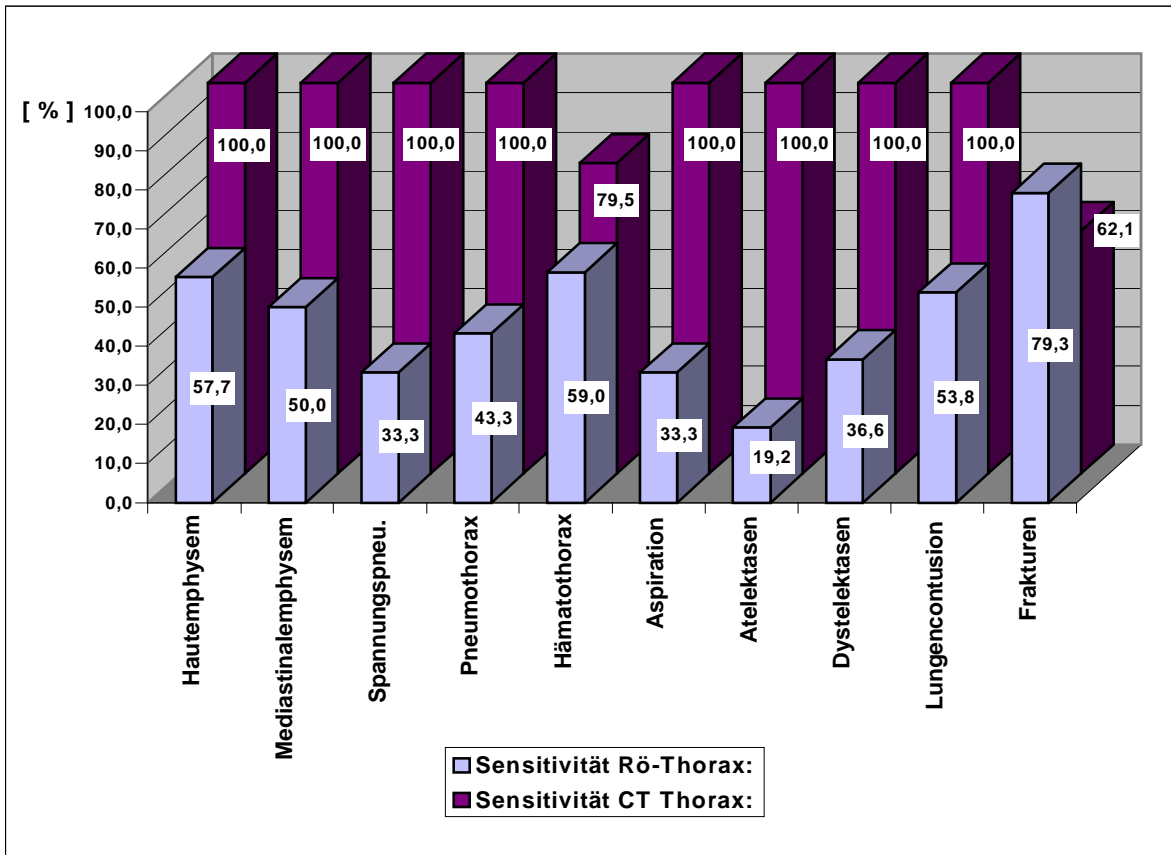


Abb.17: Sensitivitäten der einzelnen Thoraxverletzungen (Anzahl Patienten = 147)

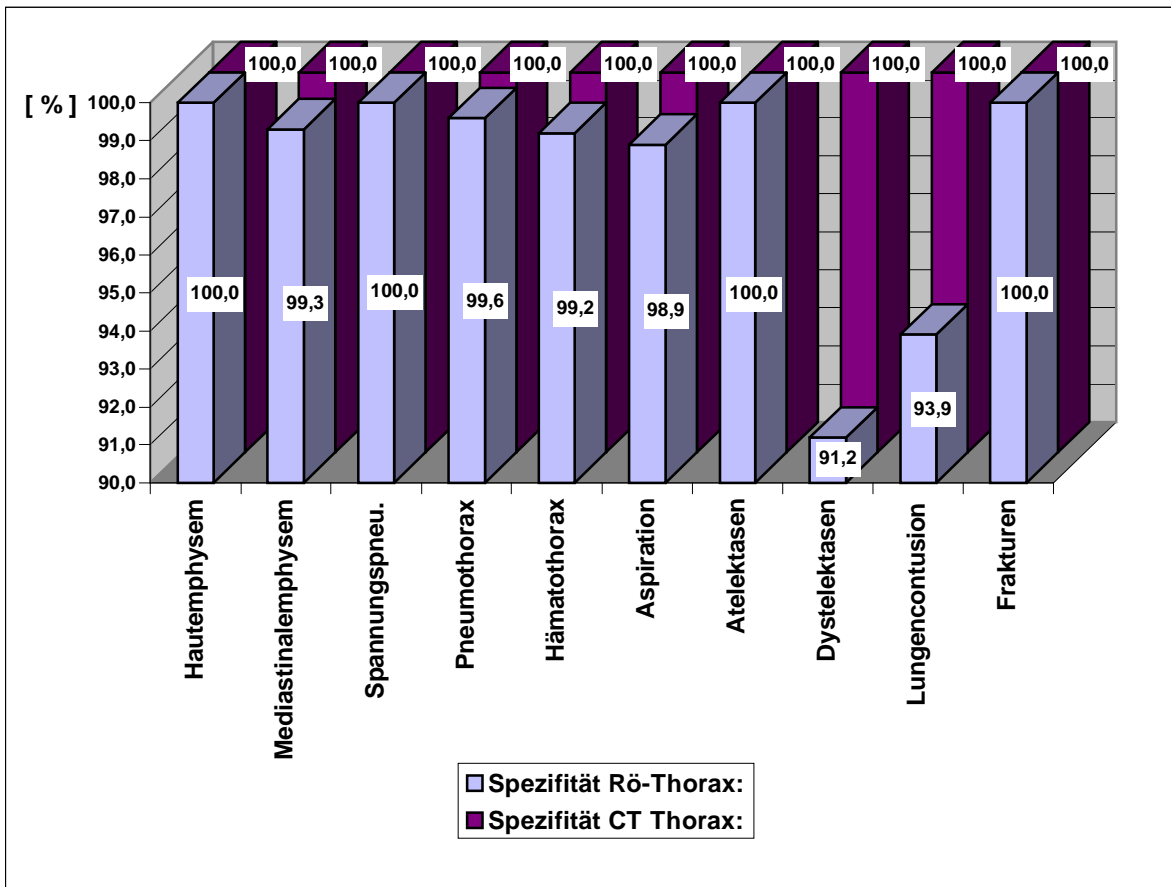


Abb.18: Spezifitäten der einzelnen Thoraxverletzungen (Anzahl Patienten = 147)

3.3.2.4 Sensitivität und Spezifität der radiologischen Untersuchungsmethoden bei Frakturen im Thoraxbereich

Bevor die Ergebnisse einzeln aufgeschlüsselt werden, zeigen die Tabellen 16 und 17 die Sensitivität und die Spezifität der konventionellen Liegendaufnahme und der Computertomographie, wie sie sich darstellt, wenn alle Frakturen im Thoraxbereich zusammengefaßt betrachtet werden. Von den insgesamt 6027 Einzelknochen der 147 Patienten waren 169 als frakturiert diagnostiziert worden. In 134 Fällen konnte dieser Nachweis auch in der konventionellen Liegendaufnahme erbracht werden. Mit Hilfe der Computertomographie gelang bei 105 Frakturen die Diagnose.

Tab.16: Frakturen im Thoraxbereich: Vergleich der Befunde von Röntgen-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Frakturen im Thoraxbereich

Gesamt \ Röntgen-Thorax	Frakturen	Keine Frakturen	Summe
Frakturen	134	35	169
Keine Frakturen	0	5858	5858
Summe	134	5893	6027

Sensitivität (Röntgen-Thorax): 79,3 %

Spezifität (Röntgen-Thorax): 100 %

Tab. 17: Frakturen im Thoraxbereich: Vergleich der Befunde von CT-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Frakturen im Thoraxbereich

Gesamt \ CT-Thorax	Frakturen	Keine Frakturen	Summe
Frakturen	105	64	169
Keine Frakturen	0	5858	5858
Summe	105	5922	6027

Sensitivität (CT-Thorax): 62,1 %

Spezifität (CT-Thorax): 100 %

In der Summe erlitten 35 Patienten aus unserem Untersuchungsgut **Rippenfrakturen**. Dabei waren 69 Rippen auf der rechten und 64 auf der linken Seite frakturiert. Die Tabellen 18 bis 20 veranschaulichen die Resultate der Beurteilung der einzelnen Rippen in 147 Liegendaufnahmen. Von 133 frakturierten Rippen konnten konventionell 112, das entspricht fast 85 %, nachgewiesen werden. Dabei war die Erkennungsrate auf der rechten Seite deutlich besser als auf der linken.

Tab.18: Rippenfrakturen: Vergleich der Befunde von Rö-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Rippenfrakturen der **rechten** Thoraxhälfte

Gesamt \ Rö-Thorax	Rippenfraktur	Keine Rippenfraktur	Summe
Rippenfraktur	64	5	69
Keine Rippenfraktur	0	1695	1695
Summe	64	1700	1764

Sensitivität (Rö-Thorax): 92,8 %

Spezifität (Rö-Thorax): 100 %

Tab.19: Rippenfrakturen: Vergleich der Befunde von R -Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Rippenfrakturen der **linken** Thoraxhälfte

Gesamt \ R�-Thorax	Rippenfraktur	Keine Rippenfraktur	Summe
Rippenfraktur	48	16	64
Keine Rippenfraktur	0	1700	1700
Summe	48	1716	1764

Sensitivität (R -Thorax): 75,0 %

Spezifität (R -Thorax): 100 %

Tab.20: Rippenfrakturen: Vergleich der Befunde von R -Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Rippenfrakturen **beider** Thoraxhälften

Gesamt \ R�-Thorax	Rippenfraktur	Keine Rippenfraktur	Summe
Rippenfraktur	112	21	133
Keine Rippenfraktur	0	3395	3395
Summe	112	3416	3528

Sensitivität (R -Thorax): 84,2 %

Spezifität (R -Thorax): 100 %

In der Computertomographie waren deutlich weniger **Rippenfrakturen** nachweisbar als in der konventionellen Liegendaufnahme. Etwas mehr als 60 % der frakturierten Rippen konnten computertomographisch diagnostiziert werden. Die Tabellen 21 bis 23 zeigen das gesamte Zahlenmaterial.

Tab.21: Rippenfrakturen: Vergleich der Befunde von CT-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Rippenfrakturen der **rechten** Thoraxhälfte

Gesamt \ CT-Thorax	Rippenfraktur	Keine Rippenfraktur	Summe
Rippenfraktur	37	32	69
Keine Rippenfraktur	0	1695	1695
Summe	37	1727	1764

Sensitivität (CT-Thorax): 53,6 %

Spezifität (CT-Thorax): 100 %

Tab.22: Rippenfrakturen: Vergleich der Befunde von CT-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Rippenfrakturen der **linken** Thoraxhälfte

Gesamt \ CT-Thorax	Rippenfraktur	Keine Rippenfraktur	Summe
Rippenfraktur	45	19	64
Keine Rippenfraktur	0	1700	1700
Summe	45	1719	1764

Sensitivität (CT-Thorax): 70,3 %

Spezifität (CT-Thorax): 100 %

Tab.23: Rippenfrakturen: Vergleich der Befunde von CT-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Rippenfrakturen **beider** Thoraxhälften

Gesamt \ CT-Thorax	Rippenfraktur	Keine Rippenfraktur	Summe
Rippenfraktur	82	51	133
Keine Rippenfraktur	0	3395	3395
Summe	82	3446	3528

Sensitivität (CT-Thorax): 61,7 %

Spezifität (CT-Thorax): 100 %

Claviculafrakturen wurden bei 13 von 147 Patienten vorgefunden. In der konventionellen Liegendaufnahme konnte in allen 13 Fällen ein richtig positiver Befund erhoben werden, so daß sich eine Sensitivität von 100 % ergab. Bei der Computertomographie entgingen 7 Claviculafrakturen der Diagnostik.

Tab.24: Claviculafrakturen: Vergleich der Befunde von CT-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Claviculafrakturen **beider** Thoraxhälften

Gesamt \ CT-Thorax	Claviculafraktur	Keine Claviculafraktur	Summe
Claviculafraktur	6	7	13
Keine Claviculafraktur	0	281	281
Summe	6	288	294

Sensitivität (CT-Thorax): 46,2 %

Spezifität (CT-Thorax): 100 %

Bei der Entdeckung von **Scapulafrakturen** zeigte sich die konventionelle Aufnahme-technik nicht ganz so überlegen, wie dies bei der Diagnostik von Claviculafrakturen der Fall war. Insgesamt konnten bei 12 von 147 Patienten 12 Scapulafrakturen nachgewiesen werden, von denen sich 4 der konventionellen Diagnostik entzogen. Computertomographisch wurde in 50 % der Fälle ein falsch negativer Befund erhoben. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 25 und 26 festgehalten.

Tab.25: Scapulafrakturen: Vergleich der Befunde von Rö-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Scapulafrakturen **beider** Thoraxhälften

Gesamt \ Rö-Thorax	Scapulafraktur	Keine Scapulafraktur	Summe
Scapulafraktur	8	4	12
Keine Scapulafraktur	0	282	282
Summe	8	286	294

Sensitivität (Rö-Thorax): 66,7 %
 Spezifität (Rö-Thorax): 100 %

Tab.26: Scapulafrakturen: Vergleich der Befunde von CT-Thorax mit den insgesamt diagnostizierten Scapulafrakturen **beider** Thoraxhälften

Gesamt \ CT-Thorax	Scapulafraktur	Keine Scapulafraktur	Summe
Scapulafraktur	6	6	12
Keine Scapulafraktur	0	282	282
Summe	6	288	294

Sensitivität (CT-Thorax): 50,0 %
 Spezifität (CT-Thorax): 100 %

Acht Patienten hatten **Sternumfrakturen** erlitten. Die Computertomographie hatte in allen 8 Fällen einen richtig positiven Befund zum Ergebnis, so daß eine Sensitivität von 100 % resultierte. In der konventionellen Liegendaufnahme konnte der Nachweis von Sternumfrakturen nicht geführt werden.

In 3 Fällen hatten sich Patienten **Frakturen der Brustwirbelsäule** zugezogen. Während in der Computertomographie diese 3 Frakturen zu sehen waren, gelang in der konventionellen Liegendaufnahme lediglich einmal die Diagnose.

Aufgrund der geringen Fallzahl und des eindeutigen Ergebnisses bei Frakturen des Sternums und der Brustwirbelsäule wurde auf die Ausarbeitung von 4-Felder-Tafeln verzichtet.

Abbildung 19 zeigt die berechneten Sensitivitäten der konventionellen Liegendaufnahme und der Computertomographie bei Frakturen im Thoraxbereich noch einmal im Überblick.

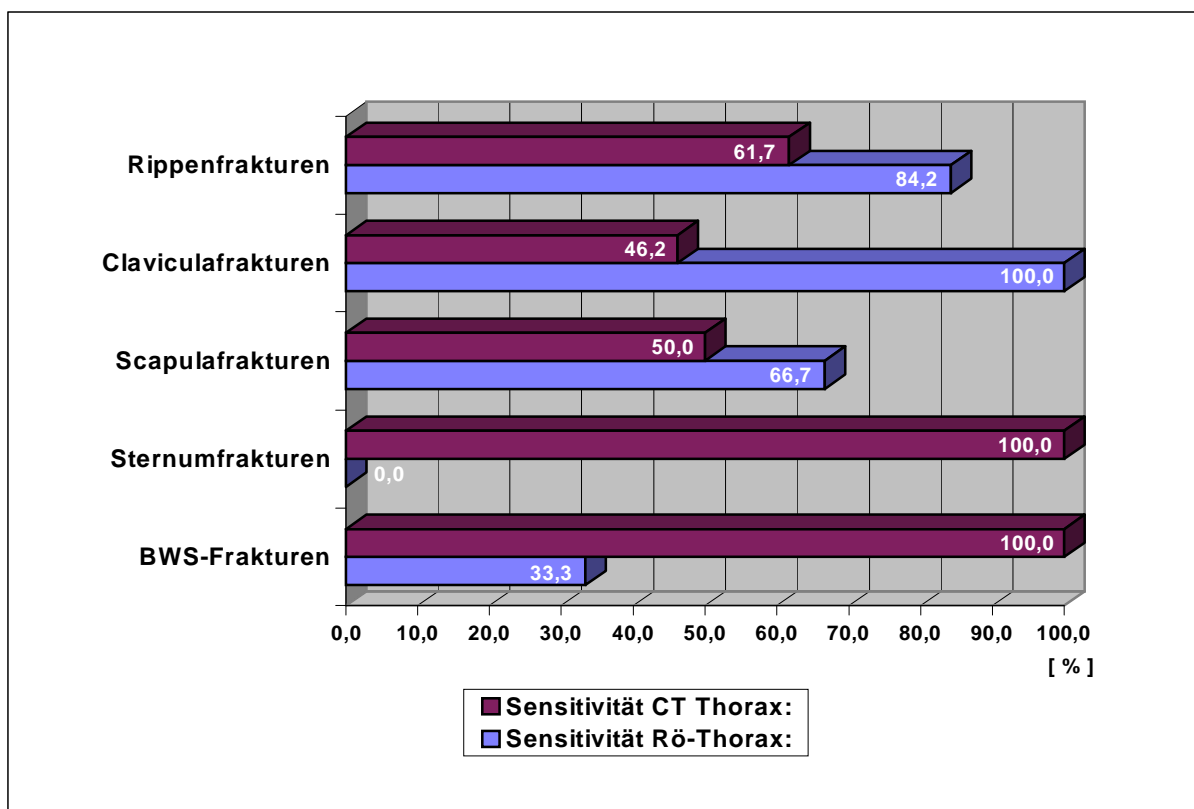


Abb.19 : Sensitivitäten der einzelnen Frakturarten im Thoraxbereich
(Anzahl Patienten mit Frakturen = 49)

3.4 Notärztliche Befunde

3.4.1 Punktediagramme zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort und den einzelnen traumatischen Lungenveränderungen

Bevor zu einem späteren Zeitpunkt die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse vorgestellt werden, verdeutlichen die folgenden Schaubilder die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Lungenveränderungen und der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort.

Zu Beginn werden die Diagramme der Patientengruppe mit einer Glasgow-Coma-Scale zwischen 3 und 7 gezeigt. Bei diesen muß die zusätzliche Überlagerung durch eine zentrale Eintrübung berücksichtigt werden.

Abbildung 20 stellt die Schwere der Lungenkontusionierungen, berechnet nach unserem Punktesystem, der initialen Sauerstoffsättigung gegenüber. Dabei ergibt sich eine Punktwolke. Erst bei deutlich steigender Kontusionierung tendieren die Werte der Sauerstoffsättigung nach unten. Allerdings liegen in diesem Bereich Überschneidungen mit anderen Lungenverletzungen vor.

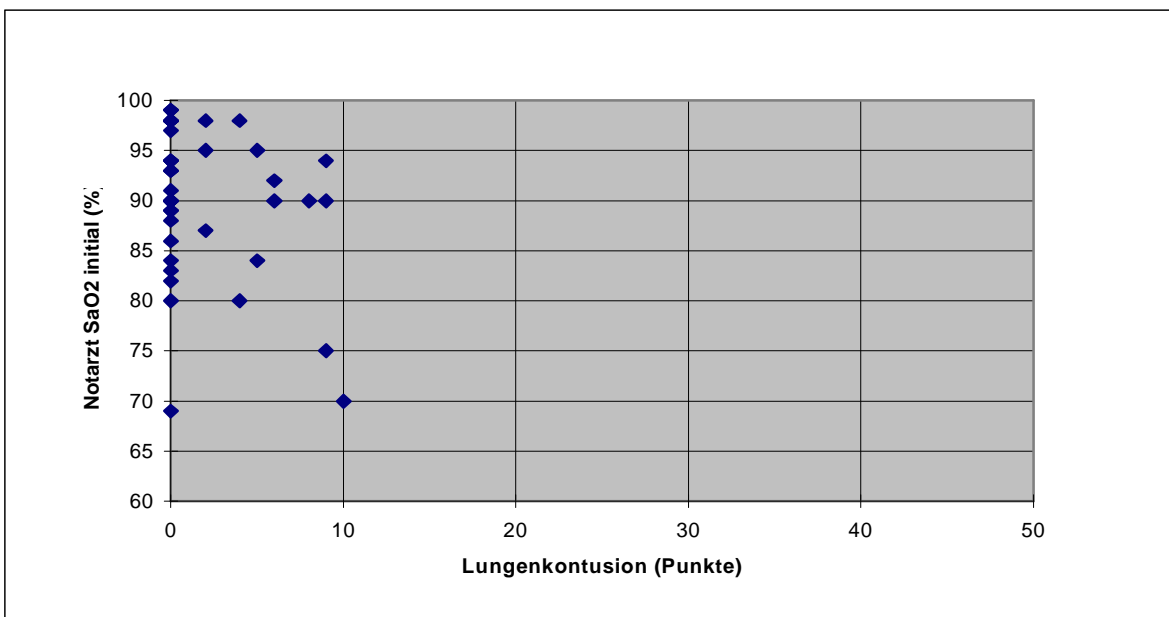


Abb.20: Zusammenhang zwischen Lungenkontusionspunkten und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 3 – 7.

(Anzahl Patienten = 41)

Ein ähnliches Bild liefert uns Abbildung 21. Hier wird der Zusammenhang zwischen Punktwerten von Dysteletasen und der initialen Sauerstoffsättigung untersucht. Doch wiederum ist eine Punktwolke zu sehen, die keinen eindeutigen Trend erkennen läßt.

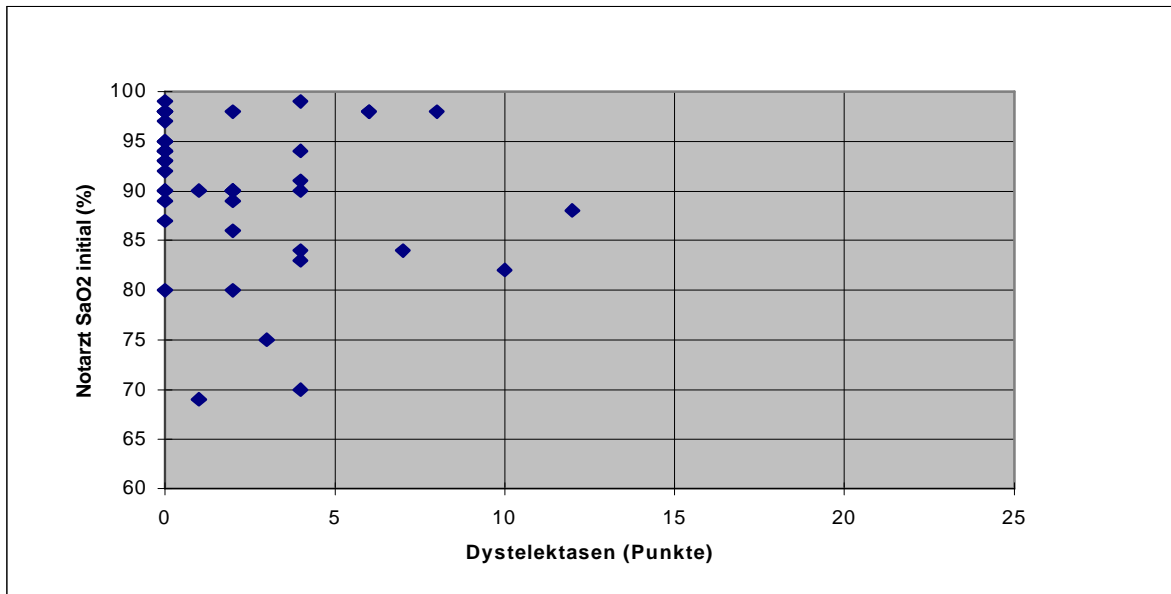


Abb.21: Zusammenhang zwischen Dysteletasenpunkten und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 3 – 7. (Anzahl Patienten = 41)

Ganz anders präsentiert sich dagegen Abbildung 22. Bereits ab 3 Lungensegmenten mit Atelektasen sinkt die initiale Sauerstoffsättigung deutlich ab und erreicht Werte unterhalb der 90 %.

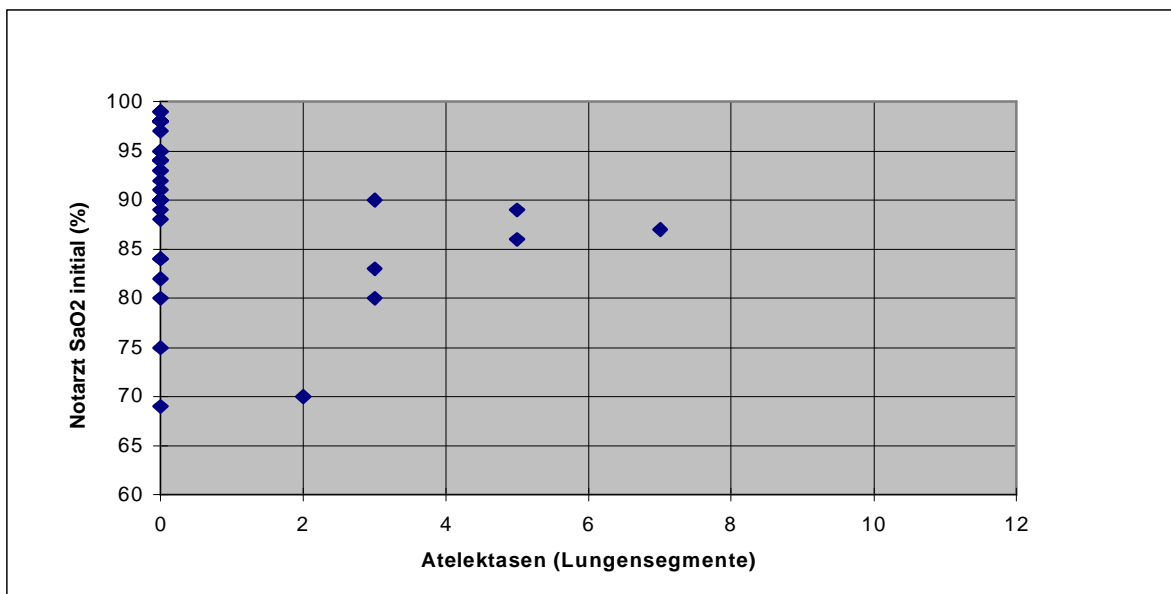


Abb.22: Zusammenhang zwischen Atelektasen in Lungensegmenten und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 3 – 7. (Anzahl Patienten = 41)

Abbildung 23 zeigt die Auswirkungen des Pneumothorax. Die Sauerstoffsättigung sinkt bereits bei einem Pneumothorax mit einem Volumen von ca. 250 ml sehr schnell auf 90 % und darunter ab. Dabei gilt es aber zu berücksichtigen, daß es sich bei diesen Patienten um Mehrfachverletzungen handelt.

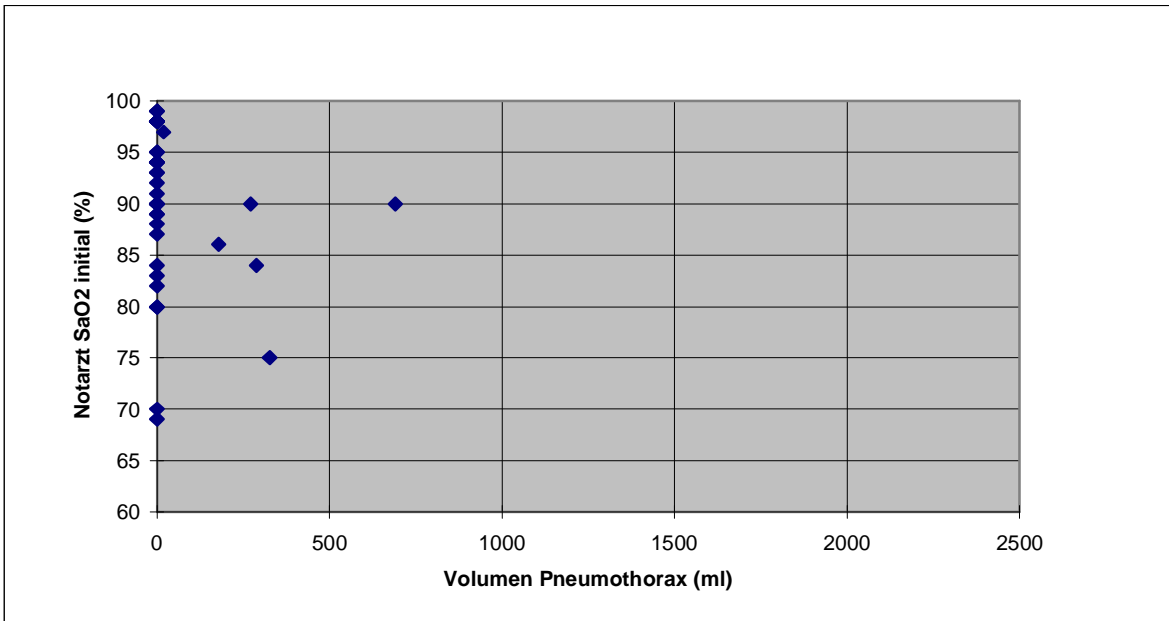


Abb.23: Zusammenhang zwischen Volumen Pneumothorax in ml und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 3 – 7.
(Anzahl Patienten = 41)

Das nächste Schaubild enthält bereits Patienten mit einer Glasgow-Coma-Scale von mindestens 8, d.h. hier kommen mehr die morphologischen Lungenveränderungen selbst zum Ausdruck und werden weniger stark von zentralen Einflüssen überlagert. Aus Abbildung 24 läßt sich ersehen, daß sehr hohe Punktwerte bei der Lungenkontusion zu einer drastischen Absenkung der initialen Sauerstoffsättigung führen.

Direkt im Anschluß verdeutlicht Abbildung 25 die Folgen von Dystelektasen. Hierbei streuen die Werte wieder sehr stark.

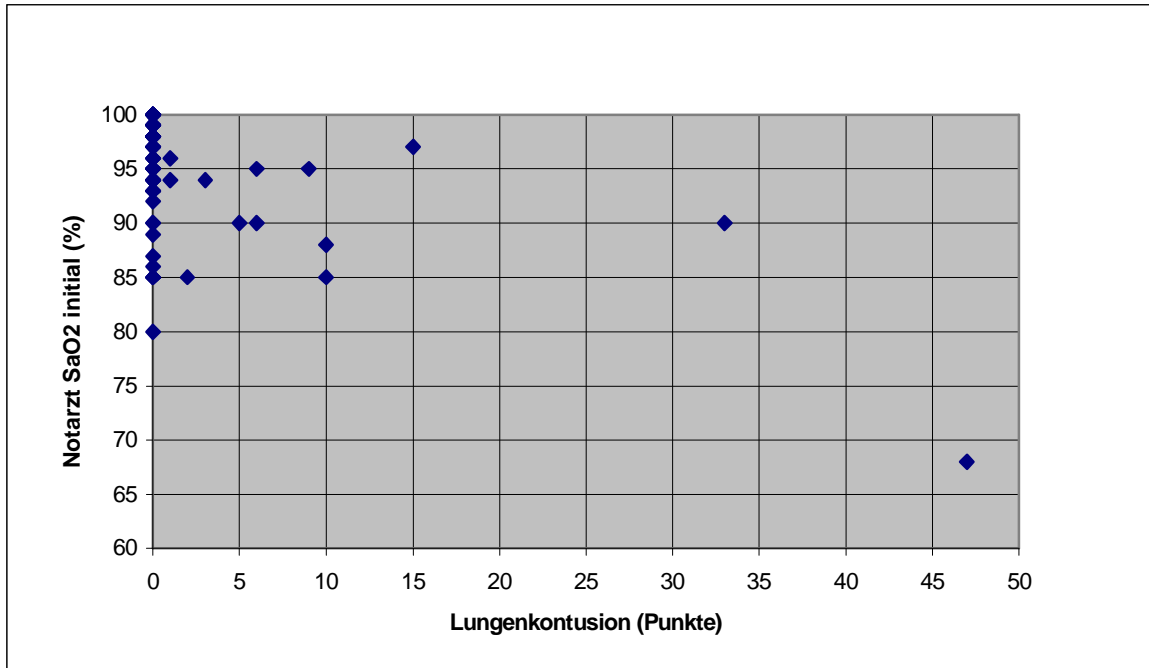


Abb.24: Zusammenhang zwischen Lungenkontusionspunkten und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 8 – 15.

(Anzahl Patienten = 72)

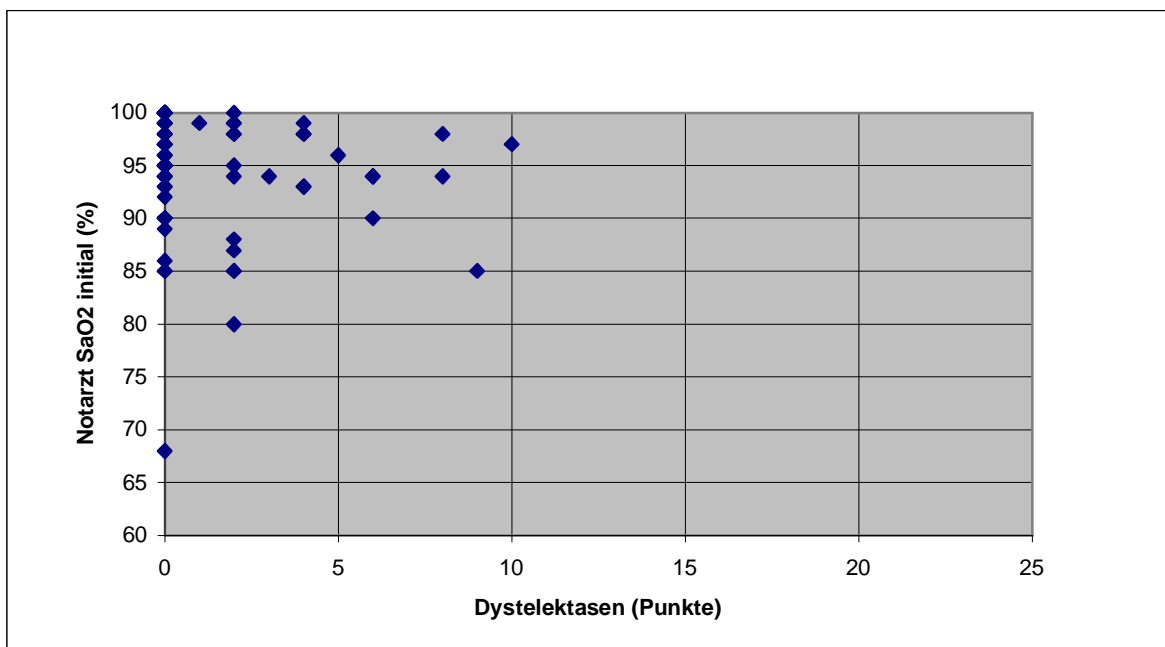


Abb.25: Zusammenhang zwischen Dystelektasenpunkten und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 8 – 15.

(Anzahl Patienten = 72)

Abbildung 26 veranschaulicht deutlich die schwerwiegende Beeinträchtigung der Lungenfunktion und damit des Gasaustausches bei Atelektasen. Mit steigender Anzahl der kollabierten Segmente fällt auch die Sauerstoffsättigung immer weiter ab.

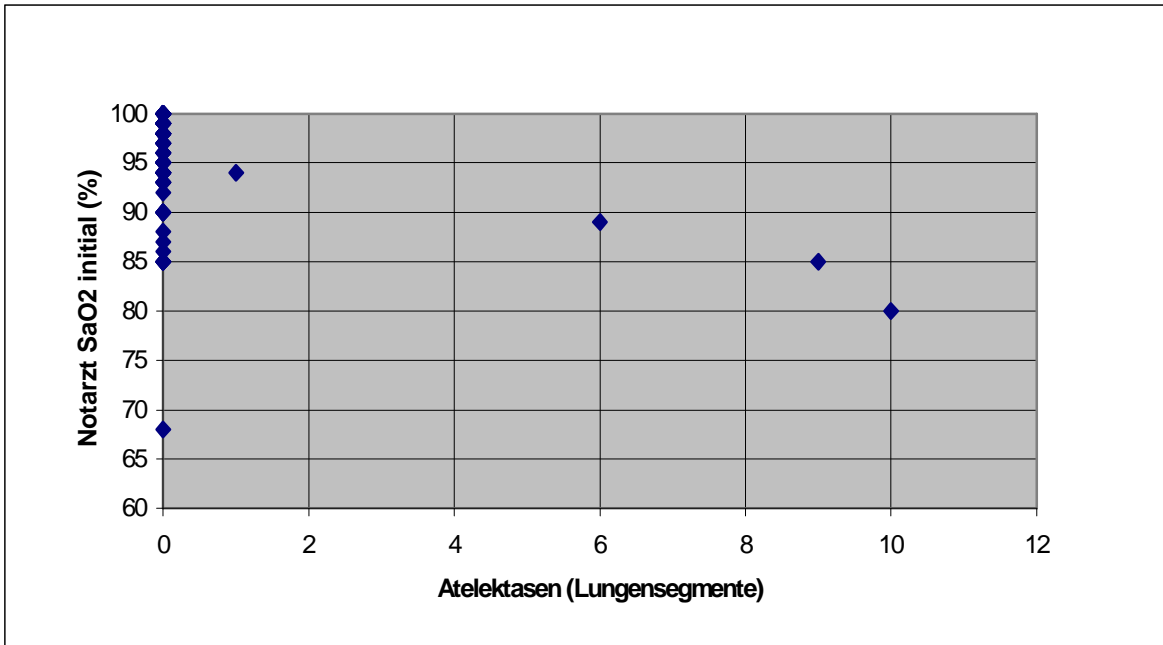


Abb.26: Zusammenhang zwischen Atelektasen in Lungensegmenten und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 8 – 15.

(Anzahl Patienten = 72)

Zum Schluß soll Abbildung 27 die resultierenden Sauerstoffsättigungen bei Patienten mit Hämatothoraces zeigen. Allerdings muß auch hier berücksichtigt werden, daß Hämatothoraces fast ausschließlich als Begleitverletzung zu anderen Thoraxverletzungen vorkommen, und der Sauerstoffsättigungsabfall daher nur zu einem Teil durch die Flüssigkeitsansammlung selbst bedingt ist. Wie groß dieser Teil ist, wird im nächsten Kapitel mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse verdeutlicht.

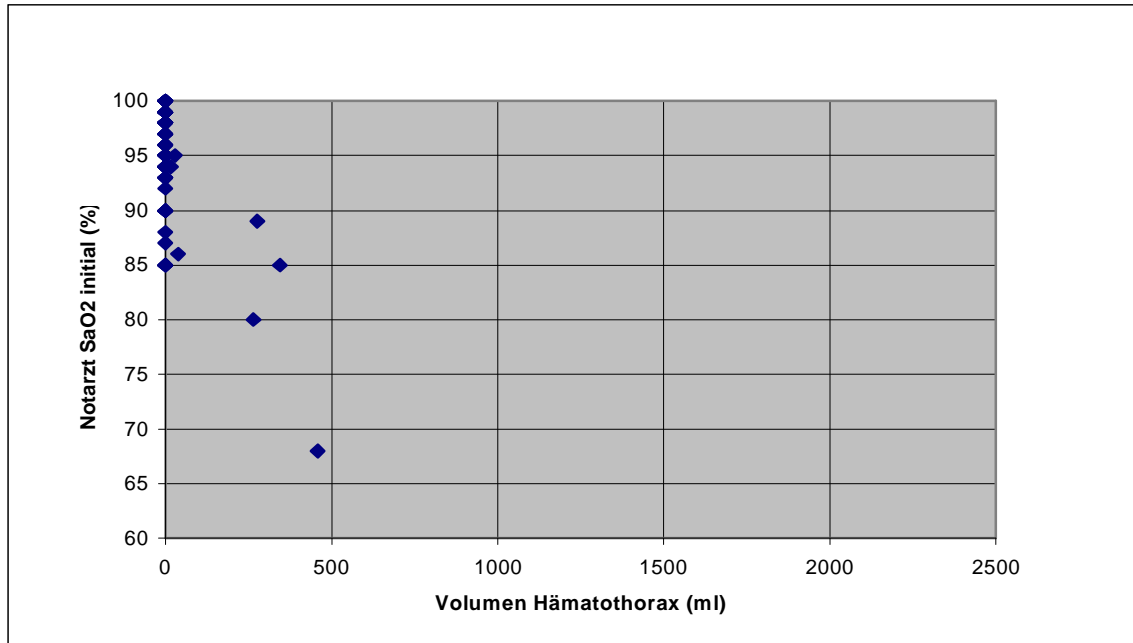


Abb.27: Zusammenhang zwischen Volumen Hämatothorax in ml und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 8 – 15.

(Anzahl Patienten = 72)

3.4.2 Multiple Regressionsanalyse zwischen initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort und traumatischen Lungenveränderungen

Bevor auf die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse näher eingegangen werden soll, liefert Tabelle 27 einen Überblick zu den Lungenverletzungen und diversen statistischen Daten des insgesamt 200 Patienten umfassenden zweiten Vergleichskollektives.

Innerhalb dieses Kollektives hatten 66 Patienten Lungenkontusionen und 19 Patienten Aspirationen erlitten. In 85 Fällen waren Dystelektasen und in 23 Fällen Atelektasen nachweisbar. Bei 30 Patienten wurden Pneumothoraces diagnostiziert. Hämatothoraces waren in 34 Fällen feststellbar.

Zusätzlich wurde in Tabelle 27 die Glasgow-Coma-Scale aufgenommen, deren Ermittlung in 140 Fällen möglich war.

Tab.27: Variablen der multiplen Regressionsanalyse

Variable	Anzahl Patienten	Min.	Median	Max.	Mittelwert	Standardabweichung
Lungenkontusion Punkte	66	1	5,5	47	8,1	8,38
Aspiration Lungensegmente	19	1	3,0	12	3,9	3,43
Dystelektasen Punkte	85	1	4,0	20	4,6	3,51
Atelektasen Lungensegmente	23	1	5,0	10	4,9	2,88
Pneumothorax Volumen in ml	30	2	133,0	2136	366,5	500,74
Hämatothorax Volumen in ml	34	1	25,5	1736	155,2	318,44
Glasgow-Coma-Scale	140	3	12,0	15	10,0	4,88

Tabelle 28 beinhaltet die statistischen Daten der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort.

Tab.28: Initiale Sauerstoffsättigung am Unfallort

Variable	Anzahl Patienten	Min.	Median	Max.	Mittelwert	Standard-abweichung
SaO₂ initial (%)	113	68	94,0	100	92,8	6,72

Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zeigt Tabelle 29. Bei einer Güte der Anpassung von $r^2 = 0,44$ ließ sich eine signifikante Abhängigkeit der initialen Sauerstoffsättigung von der Glasgow-Coma-Scale und der Lungenkontusion feststellen. Ebenfalls signifikant war die Abhängigkeit von den Atelektasen und noch signifikant die der Dystelektasen. Bei Aspiration, Pneumothorax und Hämatothorax war keine signifikante Abhängigkeit der initialen Sauerstoffsättigung erkennbar.

Tab.29: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zwischen der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort und traumatischen Lungenveränderungen sowie der Glasgow-Coma-Scale

Variablen	Regressionskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit p
Glasgow-Coma-Scale	0,419005	0,0002
Lungenkontusion Punkte	- 0,408742	0,0001
Aspiration Lungensegmente	- 0,464032	0,2457
Dystelektasen Punkte	- 0,401777	0,0375
Atelektasen Lungensegmente	-1,134398	0,0056
Pneumothorax	-0,001145	0,6989
Hämatothorax	-0,007055	0,6196

Güte der Anpassung r^2 : 0,44

3.5 Intensivmedizinische Befunde

3.5.1 Multiple Regressionsanalyse zwischen Sauerstoffsättigung im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen

Aus Tabelle 30 lassen sich die ermittelten Werte der Sauerstoffsättigung aus dem Schockraum entnehmen.

Tab. 30: Sauerstoffsättigung im Schockraum

Variable	Anzahl Patienten	Min.	Median	Max.	Mittelwert	Standardabweichung
SaO₂ initial (%)	194	72,0	100	100	98,2	3,84

Da die Güte der Anpassung bei dieser multiplen Regressionsanalyse nur noch 0,28 betrug, darf man bei dieser Auswertung nicht mehr von signifikanten Abhängigkeiten sprechen. Dennoch läßt sich anhand der Ergebnisse ein gewisser Trend beschreiben. Während bei der Regressionsanalyse der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort neben den Atelektasen auch die Lungenkontusionen und die Dystelektasen einen großen Einfluß ausübten, stehen bei der Sauerstoffsättigung im Schockraum allein die Atelektasen im Vordergrund.

Tab. 31: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zwischen der Sauerstoffsättigung im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen

Variablen	Regressionskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit p
Lungenkontusion Punkte	- 0,069065	0,1029
Aspiration Lungensegmente	- 0,265003	0,1533
Dystelektasen Punkte	0,093547	0,2474
Atelektasen Lungensegmente	- 1,012557	0,0001
Pneumothorax	0,000532	0,7265
Hämatothorax	- 0,003034	0,1112

Güte der Anpassung r^2 : 0,28

3.5.2 Punktediagramme zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen arterieller Blutgasanalyse im Schockraum und den einzelnen traumatischen Lungenveränderungen

Die folgenden Punktediagramme zeigen die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Lungenverletzungen und den Werten des Horowitz-Quotienten im Schockraum, der als besonders aussagekräftiger Parameter ausgewählt wurde.

Abbildung 28 stellt den Horowitz-Quotienten in Abhängigkeit von Lungenkontusionspunkten dar. Dabei streuen die Punkte bei den leichteren Lungenkontusionen sehr stark. Ab Werten von 20 Lungenkontusionspunkten sinkt der Horowitz-Quotient unter die kritische Marke von 200.

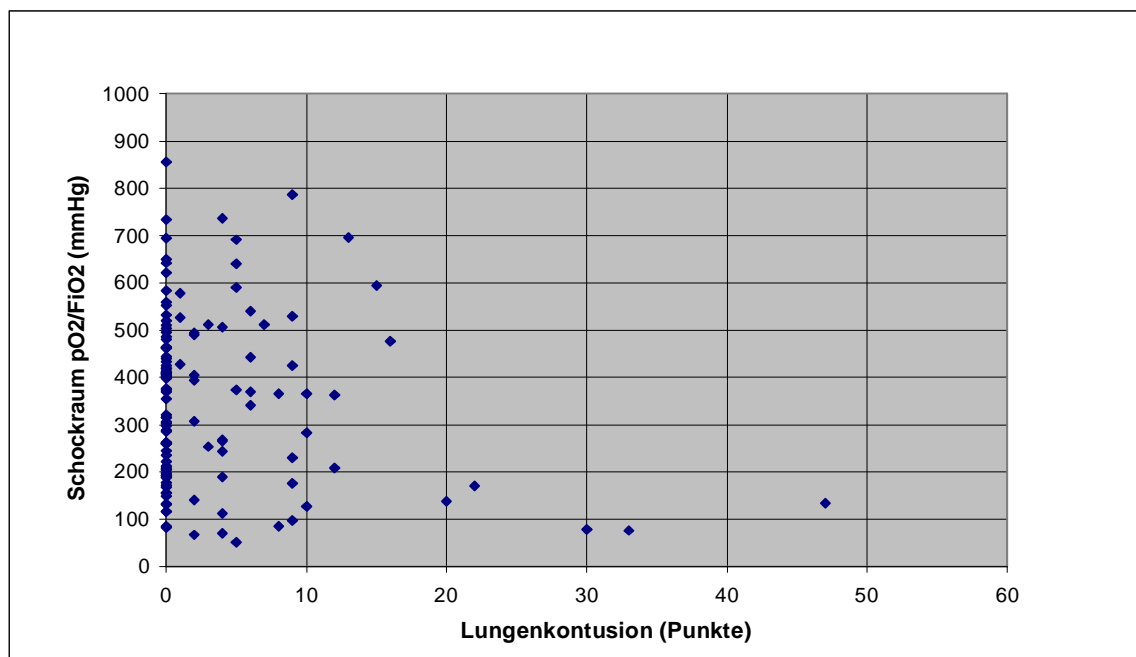


Abb.28: Zusammenhang zwischen Lungenkontusionspunkten und dem Horowitz-Quotienten im Schockraum (Anzahl Patienten = 135)

In Abbildung 29 werden die Auswirkungen von Aspirationen auf den Horowitz-Quotienten dargestellt. Bereits bei 4 Lungensegmenten mit Aspirationen finden sich deutlich erniedrigte Werte.

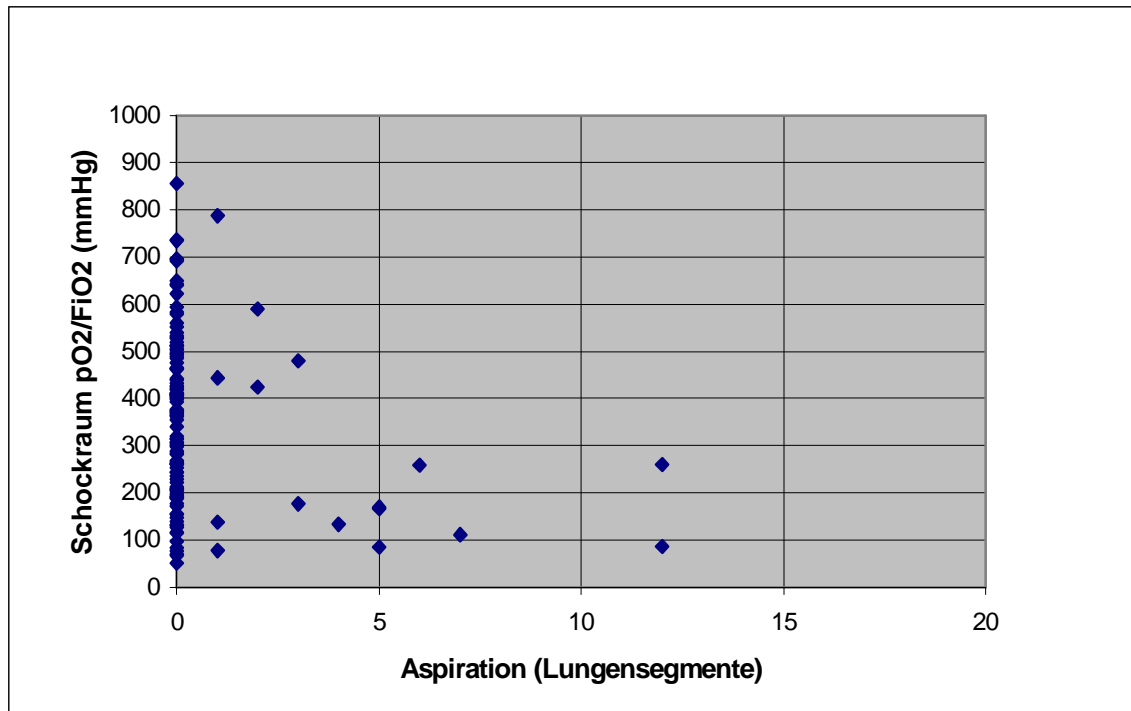


Abb.29: Zusammenhang zwischen Aspirationen in Lungensegmenten und dem Horowitz-Quotienten im Schockraum (Anzahl Patienten = 135)

Atelektasen zeigen ebenfalls großen Einfluß auf den Horowitz-Quotienten. Ab 7 betroffenen Lungensegmenten sind in Abbildung 30 nur noch Werte unter 200 zu finden.

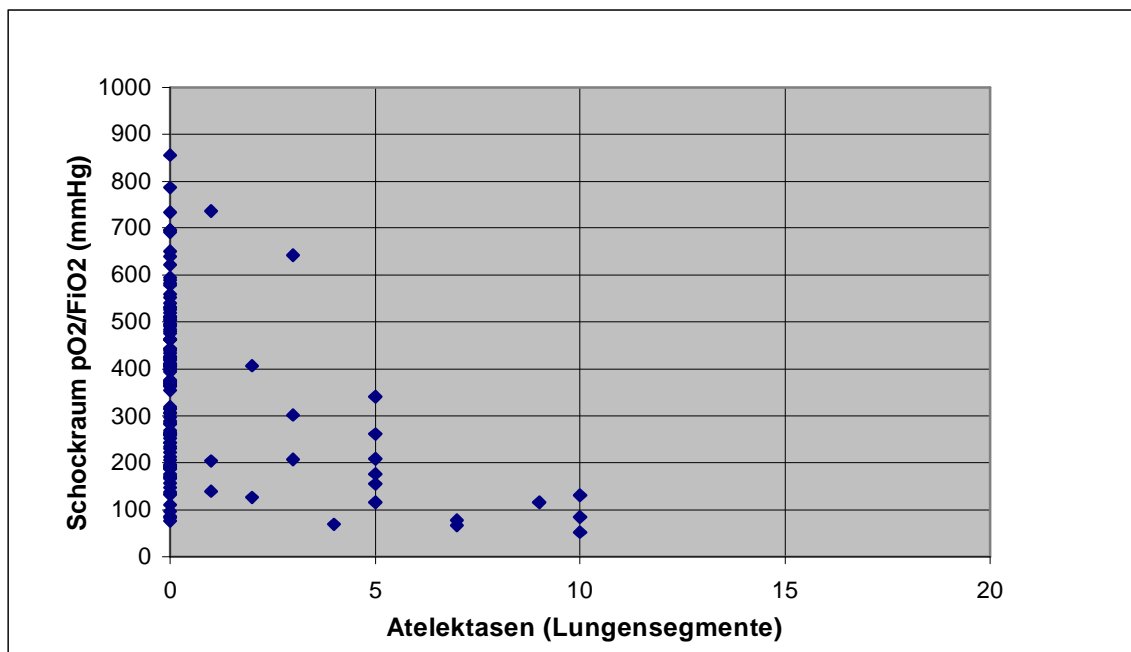


Abb.30: Zusammenhang zwischen Atelektasen in Lungensegmenten und dem Horowitz-Quotienten im Schockraum (Anzahl Patienten = 135)

Abbildung 31 veranschaulicht die Folgen von Dystelektasen. Als Ergebnis findet sich eine breit gestreute Punktwolke, die keinen klaren Trend erkennen läßt.

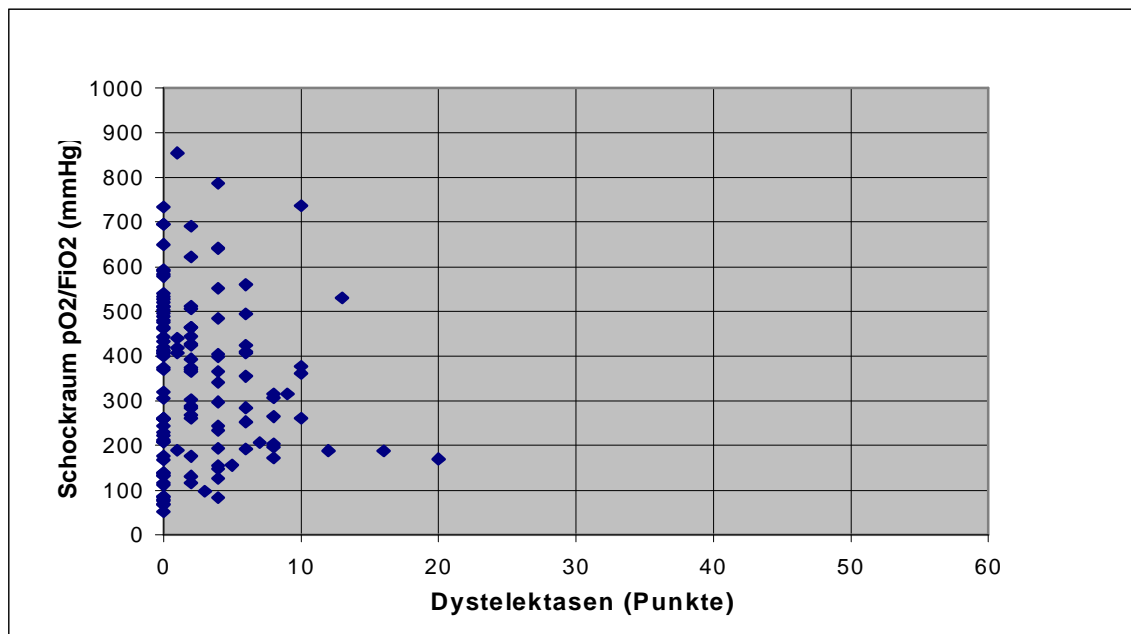


Abb.31: Zusammenhang zwischen Dystelektasenpunkten und dem Horowitz-Quotienten im Schockraum (Anzahl Patienten = 135)

Abschließend bieten die Abbildungen 32 und 33 eine Übersicht zu den Zusammenhängen zwischen den Volumina von Pneumo- bzw. Hämatothorax und dem Horowitz-Quotienten im Schockraum. Bei größeren Volumina lassen sich auch hier Horowitz-Quotienten unter 200 nachweisen. Allerdings handelt es sich dabei fast ausschließlich um Patienten mit kombinierten Lungenverletzungen.

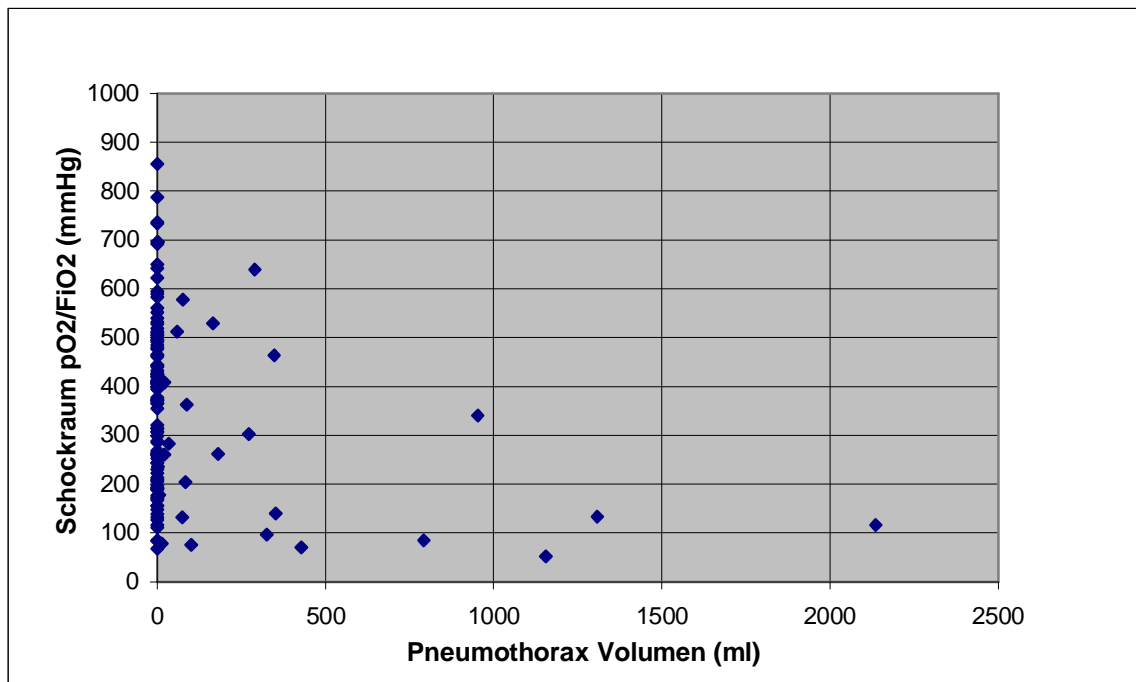


Abb.32: Zusammenhang zwischen Volumen Pneumothorax in ml und dem Horowitz-Quotienten im Schockraum (Anzahl Patienten = 135)

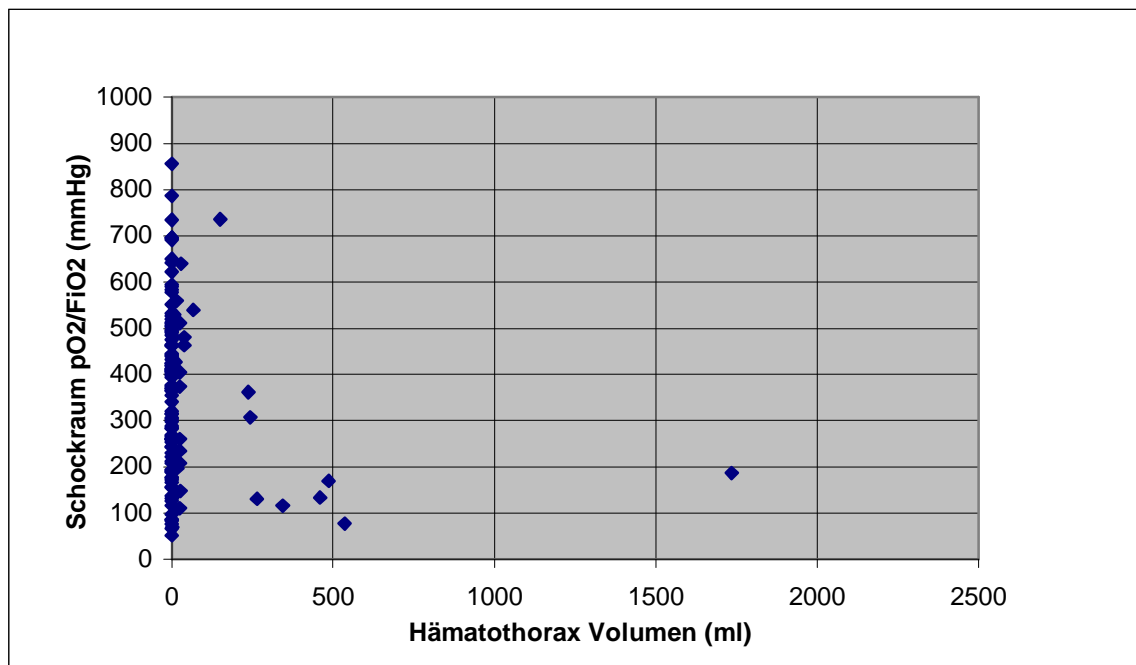


Abb.33: Zusammenhang zwischen Volumen Hämatothorax in ml und dem Horowitz-Quotienten im Schockraum (Anzahl Patienten = 135)

3.5.3 Multiple Regressionsanalysen zwischen arterieller Blutgasanalyse im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen

Tabelle 32 bietet eine Übersicht zu den gewonnenen Daten der arteriellen Blutgasanalyse im Schockraum.

Tab. 32: Arterielle Blutgasanalyse im Schockraum

Variable	Anzahl Patienten	Min.	Median	Max.	Mittelwert	Standardabweichung
Horowitz – Quotient PO₂ / FiO₂ (mmHg)	135	52,0	363,7	855,3	351,9	179,60
PO₂ (mmHg)	135	52,0	185,0	640,0	223,8	133,10
PCO₂ (mmHg)	135	18,7	36,0	86,8	36,7	8,65

Im Gegensatz zur multiplen Regressionsanalyse der Sauerstoffsättigung im Schockraum, bei der allein die Atelektasen im Vordergrund standen, zeigt sich bei der arteriellen Blutgasanalyse im Schockraum nicht nur eine Abhängigkeit von den Atelektasen, sondern auch von den Aspirationen. Die Lungenkontusionen, die an der Unfallstelle einen großen Einfluß zeigten, kommen hier kaum noch zum Tragen. Allerdings handelt es sich hierbei nicht um signifikante Ergebnisse, da die Güte der Anpassung zu gering ist. Es lassen sich also anhand der Tabellen 33 bis 35 nur gewisse Trends beschreiben.

Tab.33: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zwischen dem Horowitzquotienten (pO₂ / F_iO₂) im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen

Variablen	Regressionskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit p
Lungenkontusion Punkte	- 3,508623	0,1837
Aspiration Lungensegmente	- 22,103633	0,0152
Dystelektasen Punkte	- 7,920260	0,1290
Atelektasen Lungensegmente	- 34,049450	0,0004
Pneumothorax	-0,003153	0,9675
Hämatothorax	-0,028483	0,7972

Güte der Anpassung r²: 0,21

Tab.34: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zwischen dem arteriellen Sauerstoffpartialdruck (pO_2) im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen

Variablen	Regressionskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit p
Lungenkontusion Punkte	- 1,662629	0,3524
Aspiration Lungensegmente	- 14,355289	0,0199
Dystelektasen Punkte	- 2,655884	0,4491
Atelektasen Lungensegmente	- 18,506360	0,0041
Pneumothorax	- 0,002548	0,9615
Hämatothorax	- 0,016969	0,8220

Güte der Anpassung r^2 : 0,14

Tab.35 : Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse zwischen dem arteriellen CO_2 - Partialdruck (pCO_2) im Schockraum und traumatischen Lungenveränderungen

Variablen	Regressionskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit p
Lungenkontusion Punkte	0,138600	0,2209
Aspiration Lungensegmente	1,088780	0,0054
Dystelektasen Punkte	0,206386	0,3527
Atelektasen Lungensegmente	1,152463	0,0047
Pneumothorax	- 0,005192	0,1215
Hämatothorax	0,005822	0,2237

Güte der Anpassung r^2 : 0,16

4. Diskussion

Obwohl in den letzten Jahren viele Anstrengungen unternommen wurden, sowohl die notärztliche als auch die klinische Versorgung von Traumapatienten zu verbessern, bedeutet das Thoraxtrauma für den Verunglückten immer noch ein Letalitätsrisiko von bis zu 25% (7, 36, 38, 51). Dabei ist die Sterblichkeit des oft unterschätzten stumpfen Thoraxtraumas höher als die Sterblichkeit des penetrierenden Thoraxtraumas, da das stumpfe Trauma meist mit einer größeren Gewalteinwirkung einhergeht (6).

In unserer Studie war der Verkehrsunfall mit Abstand die häufigste Unfallursache. Ein Achtel der Patienten war durch einen Sturz aus großer Höhe zu Schaden gekommen. Weitere Unfallursachen wie Sportunfälle, Arbeitsunfälle, Suizidversuche und Unfälle im Haushalt spielten eher eine untergeordnete Rolle. Diese Ergebnisse decken sich mit den Angaben in der Literatur (1, 8, 16, 33, 44, 46, 52, 76).

Bei den Verkehrsunfällen waren erwartungsgemäß die Pkw – Insassen am stärksten vertreten, gefolgt von den Motorrad- und Fahrradfahrern. Lkw – Fahrer und Fußgänger verunglückten vergleichsweise wenig. Ähnliche Zahlen fanden sich in anderen Studien, allerdings waren hier die Fußgänger häufiger an den Verkehrsunfällen beteiligt (46, 52, 76).

Die Auswertung des Injury Severity Score unserer Patienten ergab einen Durchschnittswert von 26. Über 80 % der Patienten hatten einen Injury Severity Score zwischen 0 und 40. Dies entspricht den Angaben zweier vergleichbarer Studien (14, 47).

Isolierte Thoraxtraumen finden sich in weniger als 20 % der Fälle (1, 16, 21). Stattdessen überwiegen deutlich die Mehrfachverletzten, so auch in unserer Untersuchung. Bei den Begleitverletzungen ist das Schädel-Hirn-Trauma zahlenmäßig am stärksten vertreten (1, 16, 21, 22, 42, 45, 76). Am zweithäufigsten ließen sich in unserer Studie Verletzungen im Bereich der Extremitäten nachweisen, gefolgt von Verletzungen im Bereich Abdomen und Becken. Diese Reihenfolge ließ sich ebenfalls anhand der Literatur bestätigen (1, 21, 22, 42, 74, 76).

Die häufigste intrathorakale Verletzungsart in unserem Patientengut war die Dystelektase. In abnehmender Reihenfolge folgten Lungenkontusion, Hämatothorax, Pneumothorax, Atelektasen, Aspiration und Spannungspneumothorax. Bei den Frakturen waren die Rippenfrakturen am zahlreichsten vertreten. Bei ca. 6 % der Patienten konnten Clavicula- und Scapulafrakturen diagnostiziert werden. In der Literatur ist die Lungenkontusion die mit Abstand am häufigsten diagnostizierte intrathorakale Verletzung (9, 14, 33, 37, 45, 58, 61, 71, 74). Die zweithäufigsten Befunde sind Hämato- und Pneumothorax. In 3 Studien

wurden ebenfalls die Rippenfrakturen als häufigste Frakturart beim Thoraxtrauma angegeben (33, 71, 74). Die Tatsache, daß bei unserem Patientenkollektiv die Dystelektasen zahlenmäßig so deutlich hervortreten, ist wahrscheinlich darin begründet, daß mit Hilfe der Computertomographie auch sehr diskrete Befunde in den postero-basalen Lungenabschnitten erfaßt wurden. Diese diskreten Dystelektasen wurden vermutlich von den anderen Autoren entweder nicht diagnostiziert oder nicht als Lungentrauma gewertet.

Die Computertomographie ist gegenüber der konventionellen Liegendaufnahme anerkanntermaßen die sensitivere Methode, Lungenkontusionen zu diagnostizieren. Schild (62) hat in einer experimentellen Studie an Hunden nachgewiesen, daß direkt nach Gewalteinwirkung 100 % der Kontusionen in der Computertomographie zu sehen waren. Hingegen gelang der Nachweis anhand des konventionellen Röntgenbildes nur in 37,5 % und darüber hinaus wurden die Lungenkontusionen oft in ihrem Ausmaß unterschätzt. In der Literatur fanden sich einige Studien zur radiologischen Diagnostik der Lungenkontusion. Dabei schwanken die Werte für die Sensitivität der konventionellen Liegendaufnahme zwischen 35 % und 79 % (1, 9, 14, 39, 42, 44, 47, 49, 71). In unserem eigenen Kollektiv ergab sich für die konventionelle Liegendaufnahme eine Sensitivität von 53,8 %. Dies bestätigt die Aussagen von Schild (62). Die Spezifität betrug bei der a.p.-Aufnahme 93,9 %. In den Fällen, in denen ein falsch positiver Befund erhoben wurde, wurden meist fälschlicherweise Aspirationen oder Atelektasen als Lungenkontusionen diagnostiziert.

Der Nachweis von Aspirationen gelang mit Hilfe der konventionellen Liegendaufnahme in genau einem Drittel der Fälle. In der Literatur ergaben sich Werte zwischen 20 % und 50 % (1, 9, 57), so daß unsere Werte etwa in der Mitte der Literaturangaben liegen. Manche Aspirationen waren auf den konventionellen Aufnahmen übersehen worden, andere wurden als Lungenkontusionen oder Dystelektasen gewertet. In den 3 Fällen, in denen ein falsch positiver Befund erhoben worden war, wurden Dystelektasen als Aspirationen diagnostiziert.

Die radiologische Diagnostik von Dystelektasen anhand der Liegendaufnahme ergab für die rechte und linke Thoraxhälfte unterschiedliche Sensitivitäten, nämlich 27,3 % und 47,4 %. Insgesamt berechnete sich somit eine Sensitivität von 36,6 %. Andere Studien hatten Werte zwischen 43 % und 76 % zum Ergebnis (1, 9, 42). Ein Erklärungsversuch für die schlechte Erkennungsrate bei unserem Kollektiv ist die Tatsache, daß einige Patienten sehr diskrete Befunde aufwiesen, vor allem in den postero-basalen Segmenten, die die Computertomographie noch zu erfassen vermag, die sich in der konventionellen Aufnahme

aber nicht darstellen. Diese Dystelektasen entgehen der konventionellen Diagnostik, da sie zum einen vom Herzschatten überdeckt und zum anderen vom Zwerchfell überlagert werden können. Bei den falsch positiven Befunden handelte es sich um Atelektasen, die in der konventionellen Aufnahme als Dystelektasen gewertet worden waren.

Konventionell konnten 19,2 % der Atelektasen unserer Patienten in der Liegendaufnahme nachgewiesen werden. Dabei betrug die Sensitivität der rechten Thoraxhälfte 30,8 % und die Sensitivität der linken Thoraxhälfte 7,7 %. Dies liegt in der schlechteren Beurteilbarkeit der linken Thoraxhälfte durch Überlagerungen mit dem Herzschatten begründet. Teilweise wurden Atelektasen konventionell nicht erkannt, teilweise wurden sie als Lungenkontusionen oder Dystelektasen diagnostiziert. Falsch positive Befunde wurden nicht erhoben. Laut Literatur bewegt sich die Sensitivität der Liegendaufnahme bei Atelektasen zwischen 12,5 % und 76 % (1, 9, 39, 42, 44, 47, 57, 69, 73).

Die Diagnose eines Pneumothorax in der Liegendaufnahme ist oft erschwert, da sich die Luft im ventralen Pleuralraum zwischen der Lungenvorderfläche und der vorderen Thoraxwand ansammelt. Dadurch fehlt der typische apikale lungenzeichnungsfreie Raum (19). Die Computertomographie ist deswegen mit ihrer axialen Schichtführung im Nachweis von Pneumothoraces deutlich überlegen (25, 31). Die Angaben über die Sensitivität der konventionellen Liegendaufnahme liegen zwischen 33,3 % und 71 % (11, 17, 39, 41, 42, 44, 46, 49, 51, 57, 67, 68, 73, 77). Bei unseren Patienten gelang die Diagnose konventionell in 43,3 % der Fälle. Dabei auf der rechten Thoraxhälfte etwas häufiger (50,0 %) als auf der linken Thoraxhälfte (35,7 %).

Schwierig gestaltet sich oft der Nachweis eines Hämatothorax in der Liegendaufnahme, da sich die freie Flüssigkeit diffus im dorsalen Thoraxraum verteilt und sich somit nur als sehr diskrete, nicht sicher erkennbare Transparenzminderung darstellt. Ganz besonders gilt dies, wenn beide Thoraxhälften betroffen sind. Die Mengenangabe, ab welcher ein Hämatothorax in der Liegendaufnahme nachweisbar sein soll, liegen je nach Autor zwischen 150 ml und mehreren 100 ml (20, 22, 29). Die Sensitivität der konventionellen a.p.-Aufnahme schwankt in der Literatur zwischen 12 % und 76 % (39, 42, 44, 49, 51, 57, 73). In der eigenen Studie gelang uns die Diagnose konventionell in 59,0 % der Fälle. Trotz der technischen Überlegenheit der Computertomographie konnten mit ihrer Hilfe nur 79,5 % der Hämatothoraces entdeckt werden. Die restlichen Hämatothoraces wurden aufgrund ihrer hochapikalen Lokalisation und der dort nicht durchgeführten Schichtführung computertomographisch nicht dargestellt und entgingen somit der Diagnostik.

In unserem Patientengut waren der Spannungspneumothorax mit 3 Fällen und das Mediastinalemphysem mit 2 Fällen eher seltene Verletzungsformen. Computertomographisch war der Nachweis immer möglich. Dagegen gelang die Diagnose anhand der Liegendaufnahme jeweils in nur einem Fall. Da der Spannungspneumothorax ein sehr dynamisches Krankheitsbild darstellt, daß sich in seinem Ausmaß rasch verändern kann, waren die restlichen beiden Spannungspneumothoraces während der konventionellen Diagnostik eventuell noch nicht so deutlich ausgeprägt. Die Nachweisrate von Mediastinalemphysemen in der a.p.-Aufnahme wird in der Literatur mit 50 % bis 100 % angegeben (1, 9, 47, 57).

Hautemphyseme konnten konventionell in 57,7 % der Fälle korrekt befundet werden. Der Rest entging der Liegendaufnahme. Allerdings handelte es sich dabei teilweise um sehr diskrete Befunde. In anderen Studien fanden sich Angaben zur Sensitivität der Liegendaufnahme bei Hautemphysemen zwischen 38 % und 100 % (1, 9, 47, 57, 73).

Während die Computertomographie in der Diagnose traumatisch bedingter morphologischer Lungenveränderungen der konventionellen Liegendaufnahme deutlich überlegen ist, verhält sich dies beim Nachweis von Frakturen im Thoraxbereich etwas anders. Bedingt durch die orientierende Schichtführung der Computertomographie können Frakturen, vor allem Rippenfrakturen, leicht übersehen werden. Vorteile bringt die computertomographische Darstellung des Thorax bei der Suche und der Beurteilung von Sternum- und Brustwirbelfrakturen. Je nach Autor bewegen sich die Erkennungsraten für Frakturen im Thoraxbereich bei konventioneller Aufnahmetechnik zwischen 53 % (46) und deutlich über 90 % (1, 9). Für die Computertomographie ergeben sich Zahlen von 38 % bis 44 % (1, 9, 46). In unserer Studie waren die Diagnosen konventionell in 79,3 % der Fälle und computertomographisch in 62,1 % der Fälle möglich.

Als schnell verfügbare und aussagekräftige Untersuchungsmethode für die Diagnostik von Rippenfrakturen hat sich in unserer Studie die konventionelle Liegendaufnahme erwiesen. Besonders bei der Beurteilung von therapielevanten Rippenserienfrakturen bietet die konventionelle Aufnahmetechnik Vorteile gegenüber der orientierenden Computertomographie, da sie exaktere Aussagen über die Lokalisation sowie das Ausmaß der Rippenfrakturen zuläßt. Weil es sich bei diesem Patientengut meistens um Schwer- und Polytraumatisierte handelt, wirken sich Überlagerungen durch notärztliches Instrumentarium, wie z.B. Vakuummatratze, Beatmungsschläuche, Drainagen u.a., sowie morphologische Lungenveränderungen allerdings oft erschwerend auf die Befundung der a.p.-Aufnahme aus. Besonders bei Schwer- und Polytraumatisierten bedeutet Zeit meist einen

begrenzenden Faktor, so daß man sich bei der Anfertigung der sequentiellen Computertomographien des Thorax oft auf Übersichtsschichten beschränken mußte. Dies erschwerte dem Radiologen zusätzlich die Arbeit bei der Suche und der Beschreibung von Rippenfrakturen. So konnten 84,2 % der Rippenfrakturen unserer Patienten konventionell (Sensitivität rechts 92,8 % und links 75,0 %) und 61,7 % computertomographisch (Sensitivität rechts 53,6 % und links 70,3 %) diagnostiziert werden. In anderen Studien schwanken die Zahlen bei der konventionellen Diagnostik der Rippenfrakturen zwischen 57 % und 88 % und bei der computertomographischen zwischen 17 % und 77 % (46, 47, 51, 57, 64).

Claviculafrakturen konnten gänzlich in der Liegendaufnahme diagnostiziert werden. Aus Gründen der Schichtenführung gelang dies mit Hilfe der Computertomographie nur in 46,2 % der Fälle. Zwei Autoren geben für die konventionelle Aufnahme Werte von 78 % bzw. 100 % und für die Computertomographie Werte von 11 % bzw. 0 % an (46, 47).

Der Nachweis von Scapulafrakturen war bei uns konventionell in 66,7 % und computertomographisch in 50 % der Fälle möglich. In der Literatur liegen die Erkennungsraten für die Liegendaufnahme zwischen 36 % und 100 % und für die Computertomographie zwischen 50 % und 64 % (41, 46, 47).

Durch Überlagerung mit dem Herzen und den anderen Organen des Mediastinums ist die Fraktur des Sternums anhand der Liegendaufnahme praktisch nicht zu diagnostizieren. Mit Hilfe der Computertomographie hingegen gelingt die Diagnose gut. So wurden alle 8 Sternumfrakturen in unserem Kollektiv ausschließlich computertomographisch entdeckt. In zwei Studien bestätigte sich unser Ergebnis. Konventionell waren dort Sternumfrakturen ebenfalls nicht nachweisbar, sondern nur in der Computertomographie zu sehen (46, 57).

Eine vergleichbare Situation zeigt sich bei der Beurteilung von Frakturen der Brustwirbelsäule. Auch hier stellt sich die Liegendaufnahme als nicht aussagekräftige Untersuchungsmethode dar. Während bei unseren Patienten wenigstens in einem Fall konventionell der Frakturachweis eines Brustwirbels gelang, entgingen in der Literatur alle Frakturen der Brustwirbelsäule der a.p.-Aufnahme (46, 47, 57). Besonders wertvoll erweist sich die Computertomographie bei der Beurteilung der Stabilität von Brustwirbelfrakturen.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß die Computertomographie der konventionellen Liegendaufnahme bezüglich Diagnose und Beurteilung des Ausmaßes von Thoraxverletzungen, mit Ausnahme der Rippen-, Scapula- und Claviculafrakturen, deutlich überlegen ist. Doch die Computertomographie hat auch Nachteile. Sie bedeutet einen

zusätzlichen Zeitaufwand, der den Schwertraumatisierten gefährden kann. Ferner kann sich die Umlagerung auf die CT-Gantry bei schweren Extremitätenverletzungen oder bei instabilen Wirbelsäulenverletzungen als problematisch erweisen und es kann bei sehr schlechter Lungenfunktion aufgrund des Transportweges zu Verlegungsproblemen mit einer akuten Verschlechterung der respiratorischen Situation kommen (18). Aus letzterem Grund wurde von Heijstraten (31) gefordert, einen Computertomographen in der unmittelbaren Nähe des Schockraumes zu plazieren. Die Frage, ob der unbestrittene Mehrgewinn an Information durch die Computertomographie des Thorax auch zu entscheidenden Therapieänderungen führt, ist nicht unumstritten. Die große Mehrheit der Autoren sprach sich aber für eine routinemäßig durchgeführte Computertomographie aus, da sie häufig zu klinischen Konsequenzen führe (9, 44, 62, 65, 71). Die häufigsten Therapieänderungen waren die Lagekorrektur von Thoraxdrainagen bei Pneumo- und Hämatothorax, Veränderungen des operativen Vorgehens, z.B. bei der Versorgung von Frakturen langer Röhrenknochen zur Vermeidung eines ARDS bei Lungenkontusion, und die Bronchoskopie bei der Diagnose von Atelektasen und Aspirationen. Besondere Beachtung sollten auch kleine Pneumothoraces finden, die sich in der konventionellen Liegendaufnahme oft ihrer Entdeckung entziehen, sich aber bei maschineller Beatmung, z.B. im Rahmen einer notwendigen Operation, bis hin zum Spannungspneumothorax entwickeln können und damit den Patienten massiv vital gefährden (1, 7, 25, 63). Zwei Autoren sprachen sich dennoch gegen die routinemäßig durchgeführte Computertomographie des Thorax aus, da sie ihrer Meinung nach hauptsächlich klinisch nicht relevante Mehrinformationen liefere und deswegen bestimmten Ausnahmesituationen vorbehalten bleiben sollte (8, 64).

Aufgrund unserer eigenen Ergebnisse halten wir die routinemäßig durchgeführte Computertomographie des Thorax bei Traumapatienten mit Verdacht auf Beteiligung des Thorax für wichtig und gerechtfertigt, da sich daraus therapierrelevante Erkenntnisse ergeben. So kann z.B. die Frage nach der Indikation einer Bronchoskopie geklärt werden, da die Computertomographie eine bessere Unterscheidung von Lungenkontusionen und Aspirationen bzw. Atelektasen zuläßt, als dies bei der konventionellen Aufnahmetechnik der Fall ist. Außerdem gelingt mit Hilfe der Computertomographie der schnellere Nachweis von Lungenkontusionen, so daß die prognoseentscheidende Indikation zur Beatmungstherapie früher gestellt werden kann. Ganz besonders dann, wenn aus anderer Indikation sowieso schon eine Computertomographie des Schädels oder des Abdomens durchgeführt wird, sollten auch Thoraxschichten angefertigt werden, da sich in diesem Fall

der zusätzliche Zeitaufwand auf ein Minimum reduziert. Darüber hinaus verkürzen die mittlerweile weit verbreiteten Spiral-CT die Untersuchungszeiten zusätzlich. Gleichzeitig bieten sie den Vorteil, von Jugulum bis zur unteren Thoraxapertur die Thoraxorgane lückenlos zu erfassen (2, 54, 59). Trotz aller Vorteile der Computertomographie, verliert die konventionelle Thoraxaufnahme dennoch nicht ihre Berechtigung, da sie eine schnell verfügbare, aussagekräftige und kostengünstige Methode zur Lagebeurteilung von Endotrachealtuben, Magensonden und zentralen Venenkathetern darstellt.

Der Notarzt an der Unfallstelle verfügt weder über eine konventionelle Aufnahme noch über eine Computertomographie, so daß sich die präklinische Diagnostik von Brustkorbverletzungen auf Anamnese, Inspektion, Palpation, Auskultation und Perkussion beschränkt. Laute Umgebungsgeräusche, wie z.B. an einer Autobahn, erschweren Auskultation und Perkussion an der Unfallstelle aber oft erheblich (72). Auch die Zyanose kann trotz erheblicher Sauerstoffuntersättigung des Blutes bei ausgeprägter Anämie fehlen, da für ihre Ausbildung Werte an reduziertem Hämoglobin oberhalb von etwa 5 g/dl notwendig sind (23). Aus den genannten Gründen stellt die Pulsoxymetrie eine deutliche Erleichterung und wichtige Erweiterung der präklinischen Diagnostik dar. Denn bei Thoraxtraumatisierten wird die Schwere des Verletzungsbildes und seine Auswirkungen auf die Oxygenierung am häufigsten unterschätzt (60). Wie unzureichend die Überwachung einer Beatmung ausschließlich nach rein klinischen Aspekten ist, zeigt eindrucksvoll eine Studie von Kehrberger (40). Blutgasanalysen ergaben nach präklinischer kontrollierter Beatmung durch den Notarzt, daß 42 % der Patienten einen $pO_2 < 80$ mmHg (25 % der Patienten < 60 mmHg) aufwiesen, und eine beabsichtigte Normoventilation lediglich in 10 % der Fälle tatsächlich erreicht worden war. Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit nach apparativen Monitoringverfahren, die eine objektive Beurteilung von Oxygenation und Ventilation erlauben. Die Pulsoxymetrie bietet ein Verfahren zur kontinuierlichen, nichtinvasiven Überwachung der Sauerstoffsättigung des Hämoglobins an und damit die Möglichkeit akute Änderungen des Sauerstoffgehaltes im Blut schnell und zuverlässig messen zu können (32). Dabei sind bei einer hypoxischen Hypoxämie Werte der Sauerstoffsättigung unter 90 % als fakultativ und Werte unter 75 % als obligatorisch therapiebedürftig anzusehen (27). Bei der Klärung der Frage, ob sich bei einem Notfallpatienten die Indikation zur Intubation und zur Beatmung stellt, darf sich der Notarzt allerdings nicht allein auf die Meßwerte der Pulsoxymetrie verlassen. Hier spielen nach wie vor klinische Zeichen eine entscheidende Rolle. Die

Pulsoxymetrie kann dabei nur eine weitere Entscheidungshilfe anbieten. Indikationen zur Intubation sind z.B. schwere Hypoxämie und Hyperkapnie ($pO_2 < 60$ mmHg, $pCO_2 > 50$ mmHg), schlechte periphere Sauerstoffsättigung ($SaO_2 < 85$ %), stark erhöhte Atemfrequenz, instabiler Thorax, schwere Schockzustände, Schädel-Hirn-Trauma, Atemwegsverbrennungen und physische Erschöpfung wegen exzessiver Atemarbeit (7, 43, 48). Dafür ist die Pulsoxymetrie zur Durchführung einer effektiven Therapiekontrolle und – dosierung unerlässlich (26). Mit ihrer Hilfe läßt sich beim spontan atmenden Patienten der benötigte Sauerstoff-Flow und beim beatmeten Patienten das geeignete Beatmungsmuster ermitteln. Doch die Pulsoxymetrie hat auch ihre Grenzen. Für eine zuverlässige Messung der Sauerstoffsättigung ist eine ausreichende Restperfusion der Gefäße notwendig. Ferner können Bewegungsartefakte, Pulsationen im venösen System und Interferenzen mit Dyshämoglobinen und Farbstoffen zu fehlerhaften Meßwerten führen (66).

In unserer Studie wurden die Auswirkungen der verschiedenen Thoraxverletzungen auf die initiale Sauerstoffsättigung am Unfallort untersucht. Zuerst wurden Punktediagramme zu den einzelnen pathologischen Veränderungen der Thoraxorgane erstellt. Ein Problem dabei war die Tatsache, daß die meisten Thoraxverletzungen nicht isoliert, sondern meistens im Verbund mit anderen Thoraxorganschädigungen auftraten. Hätte man nur isolierte Verletzungsarten in die Punktediagramme aufgenommen, wären die Fallzahlen für eine statistische Analyse zu gering gewesen. Bei Aufnahme thorakaler Kombinationsverletzungen in die Analyse erschweren die Überschneidungen zwischen den pathologisch – anatomischen Schädigungsaspekten die Interpretation der Diagramme. Dennoch liefern die Schaubilder einen Überblick, ob die Werte der Sauerstoffsättigung völlig streuen, oder ob sich eine Verletzungsart so deutlich in der Sauerstoffsättigung abzeichnet, daß sie ab einem gewissen Ausmaß diesen Wert unter eine kritische Höhe zu senken vermag. Durch den Umstand, daß die Fallzahl an schweren Thoraxverletzungen, die eine deutliche Veränderung der Sauerstoffsättigung bewirken, im zweiten Vergleichskollektiv gering ist, wird die Aussagekraft der Punktediagramme gemindert. Aus diesem Grund sind in Zukunft weitere Analysen mit höheren Fallzahlen an schweren Thoraxorganschädigungen anzustreben.

Bei der Untersuchung der Patienten mit pulmonalen Kontusionen ließ sich kein klarer Zusammenhang zwischen radiologisch nachgewiesener Lungenschädigung und initialer Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 3 – 7 darstellen. Zwar tendierten die Werte der Sauerstoffsättigung bei zunehmendem Ausmaß der pulmonalen Kontusion nach unten, jedoch lagen Überschneidungen mit anderen Lungen-

verletzungen vor, so daß bei Kontusionswerten bis 10 Punkte und einer Glasgow-Coma-Scale zwischen 3 und 7 nicht von einer eindeutigen Beeinflußung allein durch die Lungenkontusion ausgegangen werden kann.

Ein vergleichbares Ergebnis ergab die Beurteilung der Dystelektasen. Es war kein direkter Zusammenhang zwischen der Verletzungsfolge Minderbelüftung von Lungenabschnitten und Senkung der initialen Sauerstoffsättigung darstellbar. Am ehesten ist das mit dem geringeren Schweregrad dieser Ventilationsstörung zu begründen.

Atelektasen zeigten dagegen bereits ab 3 betroffenen Lungensegmenten eine deutliche Beeinträchtigung der Sauerstoffsättigung, so daß man bei Atelektasen eine ursächliche Wirkung bei der Hypoxämieentstehung annehmen kann.

Bei Pneumothoraces mit einem Volumen von etwa 250 ml und einer Glasgow-Coma-Scale von 3 - 7 fanden sich bereits deutlich erniedrigte Sättigungswerte. Allerdings sind diese Störungen des Gasaustausches eher auf Überschneidungen mit anderen Lungenverletzungen, wie z.B. begleitenden Kompressionsatelektasen, zurückzuführen, so daß die Pneumothoraces alleine nicht hauptsächlich dafür verantwortlich gemacht werden können.

Anschließend wurden die Thoraxverletzungen hinsichtlich ihres Einflusses auf die initiale Sauerstoffsättigung am Unfallort bei einer Glasgow-Coma-Scale von 8 – 15 untersucht, so daß eine Überlagerung durch zentrale Einflüsse nun weniger zum Tragen kam.

Hohe Kontusionswerte gingen mit einer deutlichen Absenkung der Sauerstoffsättigung einher. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit den Ergebnissen einer Studie von Helm et al. (33), bei der sich signifikant erniedrigte Sauerstoffsättigungswerte bei Lungenkontusion am Unfallort fanden. Allerdings ist in der vorliegenden Untersuchung die Fallzahl der schweren Kontusionen gering, so daß die Ergebnisse mit Zurückhaltung zu interpretieren sind.

Bei den Dystelektasen war eine breit gestreute Punktwolke zu finden, die sich durch den geringen Schweregrad der Dystelektasen und durch Überlagerung mit anderen Thoraxverletzungen begründen läßt.

Die Atelektasen ließen einen deutlichen Einfluß auf die initiale Sauerstoffsättigung am Unfallort erkennen. Dieses Ergebnis konnte später durch die multiple Regressionsanalyse bestätigt werden.

Bereits relativ kleine Hämatothoraces zeigten einen deutlichen Abfall der Sauerstoffsättigung. Allerdings ergab die Analyse der radiologischen Befunde, daß es sich hierbei um Überschneidungen mit anderen schwerwiegenden Lungenverletzungen handelt. Deswegen

dürfen die Auswirkungen auf die Sauerstoffsättigung nicht allein auf die Hämatothoraces bezogen werden.

Präzisere Angaben über die Einflußnahme von den verschiedenen Thoraxverletzungen auf die initiale Sauerstoffsättigung am Unfallort sind mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse möglich. Bei diesem mathematischen Verfahren läßt sich der Einfluß mehrerer Variablen gleichzeitig untersuchen, so daß Überschneidungen automatisch mit berücksichtigt werden.

Helm (33) beschrieb in seiner Studie den signifikanten Einfluß von Lungenkontusionen und der Glasgow-Coma-Scale auf die initiale Sauerstoffsättigung. Aspirationen ergaben bei ihm keine weitere Absenkung der Sauerstoffsättigung.

Diese Studie läßt sich mit unseren eigenen Ergebnissen größtenteils in Einklang bringen. Auch bei unseren Patienten zeigten die Glasgow-Coma-Scale und die Lungenkontusion signifikanten Einfluß auf die initiale Sauerstoffsättigung, während Aspiration, Pneumo- und Hämatothorax praktisch keine Rolle spielten. Allerdings war im Gegensatz zur Studie von Helm auch eine signifikante Beeinträchtigung der Sauerstoffsättigung durch Atelektasen und eine noch signifikante durch Dystelektasen nachweisbar.

Aufgrund dieser Ergebnisse ist bei deutlich erniedrigter Sauerstoffsättigung am Unfallort die Indikation zur Intubation großzügig zu stellen und möglichst schnell eine effektive Beatmungstherapie unter Pulsoxymetriekontrolle einzuleiten, um kollabierte Lungenabschnitte wieder zu belüften und die Prognose bei schwerer Lungenkontusion durch die Beatmungstherapie zu verbessern. Eine Studie von David et al. (10) konnte zeigen, daß schwere Lungenfunktionsstörungen bei sehr schweren Polytraumen schon am Unfallort nachweisbar sind und sich die Blutgaswerte durch Intubation und kontrollierte Beatmung bereits bis zur Einlieferung in die Klinik verbessern ließen. Dies unterstreicht nochmals die Forderung nach frühzeitiger Intubation am Unfallort.

Eine multiple Regressionsanalyse der Sauerstoffsättigung unserer Patienten nach Aufnahme in die Klinik hatte zum Ergebnis, daß die Auswirkungen der Lungenkontusionen und der Dystelektasen auf die Sauerstoffsättigung zu diesem Zeitpunkt keine entscheidende Rolle mehr spielten. Stattdessen bewirkten jetzt allein die Atelektasen eine deutliche Erniedrigung der Sauerstoffsättigung. Dies stellt eine Indikation zur schnellen Bronchoskopie dar, um die Atemwege wieder frei zu bekommen (23, 28, 75).

In der Klinik bietet sich die Möglichkeit einer weiteren diagnostischen Methode – die arterielle Blutgasanalyse. Damit verfügt der Kliniker über aussagekräftige Werte zur Beurteilung der Situation des Gasaustausches in der Lunge.

Während niedrige Werte der Glasgow-Coma-Scale am Unfallort einen signifikanten Anstieg des $p\text{CO}_2$ und einen deutlichen Abfall des $p\text{O}_2$ bewirken, ändert sich diese Situation bei Intubation und Beatmung des komatösen Patienten bis zur Klinikaufnahme entscheidend. Bei Klinikaufnahme läßt sich kein Zusammenhang mehr zwischen $p\text{CO}_2$ und initialer Glasgow-Coma-Scale feststellen. Beim $p\text{O}_2$ kehrt sich bei Patienten mit niedrigen GCS-Werten durch adäquate Therapie die ursprünglich positive Beziehung zwischen $p\text{O}_2$ und GCS bis zur Klinikaufnahme um, in einen negativen Zusammenhang beider Größen (50).

Die Normwerte für den arteriellen Sauerstoffpartialdruck liegen bei jungen Patienten zwischen 90 mmHg und 100 mmHg. Dieser Normwert verringert sich mit steigendem Alter immer weiter, bis er schließlich bei Patienten über 60 Jahren zwischen 60 mmHg und 75 mmHg liegt (5). Eine weitere sehr aussagekräftige Größe stellt der Horowitzquotient ($p\text{O}_2 / F_i\text{O}_2$) dar, da er die inspiratorische Sauerstoffkonzentration mit berücksichtigt. Darüber hinaus bildet der Horowitzquotient ein gutes Maß für die intrapulmonale Shuntbildung (53). In einer Studie von Trentz et al. (70) wurde gezeigt, daß sich bei Polytraumatisierten mit und ohne Thoraxtrauma signifikante Unterschiede des Horowitzquotienten bei Klinikaufnahme und im weiteren Verlauf ergaben.

Die Zusammenhänge zwischen Thoraxverletzungen und dem Horowitzquotienten bei Aufnahme in den Schockraum wurden in Punktediagrammen dargestellt.

Ab Werten von 20 Kontusionspunkten fiel der Horowitzquotient unter die kritische Grenze von 200. Allerdings liegen hier teilweise Überschneidungen mit anderen Lungenverletzungen vor und die Fallzahl der schweren Lungenkontusionen ist gering, so daß man vorsichtig mit der Interpretation sein muß. In der Literatur finden sich unterschiedliche Aussagen zu den Auswirkungen der Lungenkontusion auf die Blutgasanalyse. Inthorn (37) beschreibt bei seinen Patienten mit Lungenkontusion in 56 % der Fälle einen Abfall des $p\text{O}_2$ unter 60 mmHg, entsprechend einem Absinken der Sauerstoffsättigung unter 90 %, bei Aufnahme in die Klinik. Castelli (7) und Hartel (29) halten fest, daß das röntgenologische Ausmaß der Lungenverschattungen nicht immer mit den funktionellen Parametern korreliert. Während die Sauerstoffsättigung und die arterielle Blutgasanalyse sehr empfindlich auf Gasaustauschstörungen reagieren, dauert es oft Stunden bis sich ein entsprechendes Korrelat in der Röntgenaufnahme zeigt. Calhoon (6) weist darauf hin, daß

sich bei Rippenfrakturen hinter einem ansonsten unauffälligem Röntgenbild, bei einem arteriellen pO_2 unter 60 mmHg und einem pCO_2 über 45 mmHg, eine bisher unerkannte Lungenkontusion verstecken kann. Erickson (15) experimentierte mit Affen und konnte nachweisen, daß es direkt nach Kontusionierung der Lunge zu einem Abfall des arteriellen pO_2 unter 60 mmHg kommt. Allerdings erholte sich der Sauerstoffpartialdruck der Affen unter Intubation und Beatmungstherapie innerhalb der nächsten 2 Stunden und erreichte wieder normale Werte. Hoff (34) und Kollmorgen (43) berichten in ihren Veröffentlichungen, daß ein initialer Horowitzquotient unter 250 bei Klinikaufnahme und Lungenkontusion mit einer wesentlich schlechteren Prognose einhergeht, als bei Patienten mit Lungenkontusion und Werten über 250.

Die Aspirationen zeigten bereits ab 4 betroffenen Lungensegmenten durchweg einen Horowitzquotienten unter 300. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der multiplen Regressionsanalyse der Blutgasanalyse im Schockraum.

Auch die Atelektasen führten zu einem zügigen Absinken des Horowitzquotienten. Das Punktediagramm läßt sich ebenfalls mit den Ergebnissen der multiplen Regressionsanalyse vereinbaren.

Die Dystelektasen streuten sehr stark in ihrem Punktediagramm, so daß nicht von einer wesentlichen Beeinflußung des Horowitzquotienten durch selbige auszugehen ist.

Pneumo- und Hämatothoraces zeigten bei hohen Volumina Werte des Horowitzquotienten unter 200. Allerdings waren diese durchweg mit anderen schwerwiegenden Lungenverletzungen kombiniert und können somit nicht allein ursächlich dafür verantwortlich gemacht werden.

Die multiple Regressionsanalyse der arteriellen Blutgasanalyse im Schockraum erbrachte sowohl für den Horowitzquotienten als auch für pO_2 und pCO_2 das gleiche Ergebnis. Nur noch Aspirationen und vor allem die Atelektasen zeigten einen Einfluß auf die Blutgasanalyse, wobei der Einfluß auf den Horowitzquotienten am größten war. Da die Güte der Anpassung bei dieser Regressionsanalyse relativ gering war, darf man zwar nicht von signifikanten Ergebnissen sprechen, aber dennoch läßt sich ein Trend beschreiben. Ein Problem sind die kleinen Fallzahlen an schweren Thoraxtraumen. Man bräuchte ein deutlich größeres Patientengut, um signifikante Ergebnisse zu erhalten.

Dennoch läßt sich anhand unserer Ergebnisse eine Forderung an die Therapie von Thoraxtraumatisierten stellen. Wenn Aspirationen und Atelektasen im Schockraum hauptsächlich für ein Absinken des Horowitzquotienten verantwortlich gemacht werden können, dann muß als logische Konsequenz die frühe therapeutische Bronchoskopie gefordert werden.

Bisher war man eher vorsichtig mit einer frühzeitigen Bronchoskopie, da man davon ausging, daß die Lungenkontusionen auch im Schockraum noch eine zentrale Rolle spielen, und man durch die Bronchoskopie eher eine Verschlechterung der respiratorischen Situation des Traumapatienten befürchtete. Dies scheint aber nicht der Fall zu sein. An dieser Stelle sei noch einmal auf die Forderung einer frühen Computertomographie des Thorax hingewiesen, um eine sichere Differenzierung zwischen Lungenkontusionen und Aspirationen bzw. Atelektasen zu ermöglichen.

In der Literatur finden sich unterschiedliche Ansichten bezüglich Indikation und Risiken der Bronchoskopie. Die meisten Autoren halten die Bronchoskopie aber für eine problemlos durchführbare und risikoarme Untersuchungsmethode (14, 28, 75). Weiter stellen Aspiration, Atelektase und Verlegung der Atemwege absolute Indikationen zu Bronchoskopie der Atemwege dar (23, 28, 75). Während Regel (55) auch eine Indikation der Bronchoskopie in der Diagnostik von Lungenkontusionen sieht, hält Hähnel (28) diese zur bloßen Festlegung einer Lungenkontusion für nicht indiziert. Nur ein Autor berichtet über massive pO_2 -Abfälle und pCO_2 -Anstiege im Rahmen von Bronchoskopien (35).

Unserer Meinung nach führt die frühe Bronchoskopie des Traumapatienten mit Thoraxbeteiligung mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Verbesserung der respiratorischen Situation. Um diese Frage endgültig zu klären, sollten sich aber weitere Studien mit größeren Fallzahlen anschließen, um signifikante Ergebnisse zu erhalten.

5. Zusammenfassung

Von Oktober 1993 bis Oktober 1996 wurden insgesamt 216 Patienten im Rahmen eines Primäreinsatzes entweder vom SAR-Rettungshubschrauber oder einem Bodennotarzt notärztlich versorgt und in die Notaufnahme des Bundeswehrkrankenhauses Ulm gebracht.

Bei 147 Patienten war sowohl eine konventionelle Liegendaufnahme als auch eine Computertomographie des Thorax angefertigt worden. Die Befunde dieser radiologischen Aufnahmen wurden nochmals retrospektiv von einem Facharzt für Radiologie erhoben und anschließend die beiden Methoden auf ihre Sensitivität und Spezifität überprüft. Dabei zeigte sich die Computertomographie im Nachweis und in der Beurteilung traumatisch bedingter morphologischer Lungenveränderungen gegenüber der Liegendaufnahme deutlich überlegen. So entgingen Atelektasen zu über 80 %, Aspiration und Dystelektasen zu über 60 % und Lungenkontusionen zu über 45 % konventionell der Diagnostik. Nur 43 % der Pneumothoraces und 59 % der Hämatothoraces wurden in der Liegendaufnahme entdeckt. Dafür bietet die konventionelle Röntgenaufnahme Vorteile bei der Diagnose von Rippen-, Scapula- und Claviculafrakturen.

Als klinische Konsequenz sollte bei Traumapatienten mit Verdacht auf Thoraxbeteiligung routinemäßig eine Computertomographie des Thorax durchgeführt werden, um frühzeitig morphologische Lungenveränderungen, wie Lungenkontusion, Aspiration und Atelektasen, diagnostizieren und differenzieren zu können. Mit Hilfe dieser diagnostischen Zusatzinformationen kann über die Indikation wichtiger therapeutischer Maßnahmen, wie z.B. die Bronchoskopie bei Aspiration und Atelektasen oder die frühe Beatmungstherapie bei Lungenkontusion, schneller und mit einem höheren Sicherheitsgrad entschieden werden. Ferner gelingt mit der Computertomographie der Nachweis von kleinen ventral gelegenen Pneumothoraces, die sich in der konventionellen Liegendaufnahme meist der Diagnostik entziehen und so bei eingeleiteter Überdruckbeatmung zur Entwicklung eines Spannungspneumothorax führen können. Dennoch behält die konventionelle Thoraxaufnahme auch in Zukunft ihre Berechtigung in der Notfalldiagnostik von Traumapatienten, da sie eine zuverlässige Untersuchungsmethode zur Beurteilung von Rippenserienfrakturen sowie zur Lagekontrolle von Endotrachealtuben, Magensonden und zentralen Venenkathetern darstellt.

Im zweiten Teil der Studie wurden mögliche Zusammenhänge zwischen traumatisch bedingten morphologischen Lungenveränderungen und der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort überprüft. Dabei wurde die initiale Glasgow-Coma-Scale als zusätzliche

Einflußgröße bei den Berechnungen berücksichtigt. Es zeigten sich signifikante Beeinträchtigungen der initialen Sauerstoffsättigung durch Lungenkontusionen und Atelektasen, sowie noch signifikante durch Dystelektasen. Darüber hinaus war ein signifikanter Zusammenhang zwischen der initialen Sauerstoffsättigung am Unfallort und der initialen Glasgow-Coma-Scale nachweisbar.

Aufgrund dieser Ergebnisse sollte bei deutlich erniedrigter Sauerstoffsättigung am Unfallort die Indikation zur Intubation großzügig gestellt und eine Beatmungstherapie unter Pulsoxymetriekontrolle möglichst schnell eingeleitet werden. Dadurch lassen sich kollabierte Lungenabschnitte wieder belüften und die Prognose des Traumapatienten mit ausgeprägter Lungenkontusion wird deutlich verbessert.

Abschließend wurden mögliche Einflußnahmen der morphologischen Lungenveränderungen auf die Sauerstoffsättigung sowie die arterielle Blutgasanalyse im Schockraum untersucht. Hierbei konnte bei unserem Patientenkollektiv nachgewiesen werden, daß im Schockraum allein die Atelektasen maßgeblich zu einer Erniedrigung der Sauerstoffsättigung führen. Dagegen zeigten bei der arteriellen Blutgasanalyse neben den Atelektasen auch die Aspirationen einen deutlichen Einfluß. Am ausgeprägtesten waren diese Veränderungen beim Horowitzquotienten (pO_2 / FiO_2) feststellbar.

Da sowohl die Atelektasen als auch die Aspirationen absolute Indikationen zur Bronchoskopie darstellen, empfehlen wir bei einem massiven Absinken des Horowitzquotienten die frühzeitige Durchführung selbiger, um verlegte Atemwege zu rekanalisieren und somit den Gasaustausch in bisher kollabierten Lungenabschnitten wieder zu ermöglichen. Da bei Lungenkontusionen keine Bronchoskopie indiziert ist, möchten wir nochmals die Wichtigkeit der frühen Computertomographie bei Traumapatienten mit Thoraxbeteiligung betonen, um eine sichere Unterscheidung zwischen Lungenkontusion und Aspiration bzw. Atelektasen zu ermöglichen. Die therapeutische Bedeutung des Zugewinns an Informationen durch die Computertomographie rechtfertigt die Belastung des Traumapatienten durch den zusätzlichen Zeitaufwand, zumal sich dieser in der Zukunft durch moderne Techniken, wie z.B. das Spiral-CT, noch weiter verringern wird.

6. Anhang

Erhebungsbögen zur Dokumentation der radiologischen, notärztlichen und intensivmedizinischen Daten

Patient: Name, Vorname : _____

Geschlecht : (m)/(w)

Geburtsdatum : ____/____/____

Unfalldatum : ____/____/____

Unfalluhrzeit : ____:____

Unfallursache : _____

Zeitspanne bis
zur bildgebenden Diagnostik: ____ (h) ____ (min)

Begleitverletzungen : _____

Massnahmen: *Intubiert* (ja)/(nein)

Drainagen (ja)/(nein)

Lokalisation: _____

Magensonde (ja)/(nein)

I-CATH (ja)/(nein)

Liegendaufnahme Thorax: 1. Bucky-Aufnahme (____ kV)

Datum : ____/____/____

Uhrzeit : ____:____

2. Betaufnahme (____ kV)

Datum : ____/____/____

Uhrzeit : ____:____

Frakturen :

1. Rippen (ja)/(nein) Anzahl: _____

Rechts: _____

Links : _____

2. Wirbel (ja)/(nein) Anzahl: _____

Welche: _____

3. Sternum (ja)/(nein)

4. Scapula (ja)/(nein) (re)/(li)

5. Clavicula (ja)/(nein) (re)/(li)

Thorax :***Lungencontusion*** (ja)/(nein)

Wieviele Lungenlappen insgesamt betroffen: _____

Rechts: _____

Links : _____

Aspiration (ja)/(nein)

Wieviele Lungenlappen insgesamt betroffen: _____

Rechts: _____

Links : _____

Pneumothorax (ja)/(nein) (re)/(li)

Geschätztes Volumen gesamt: _____(ml)

Cranio-caudal: _____(cm) Max.Dicke: _____(cm)

Spannungspneumothorax (ja)/(nein)

Verschiebung in mm: _____ Richtung: _____

Hämatothorax (ja)/(nein) (re)/(li)

Geschätztes Volumen gesamt: _____(ml)

Cranio-caudal: _____(cm) Max.Dicke: _____(cm)

Dystelektasen (ja)/(nein)

Wieviele Lungenlappen betroffen: _____

Rechts: _____

Links : _____

Atelektasen (ja)/(nein)

Wieviele Lungenlappen betroffen: _____

Rechts: _____

Links : _____

Mediastinalemphysem (ja)/(nein)

Cranio-caudal: _____(cm) Max.Dicke: _____(cm)

Hautemphysem (ja)/(nein) (re)/(li)

Cranio-caudal: _____(cm) Max.Dicke: _____(cm)

Ruptur der grossen Atemwege (ja)/(nein)

Ort der Ruptur: _____

Aortenruptur (ja)/(nein)**Zwerchfellruptur** (ja)/(nein) (re)/(li)**Herztamponade** (ja)/(nein)**Oesophagusverletzung** (ja)/(nein)

Computertomographie : Datum der Aufnahme : ____/____/____

Uhrzeit : ____:____

Zeitaufwand für Aufnahmen : ____ (min) ____ (s)

Schichtenzahl: ____ Extra : ____ (min) ____ (s)

Frakturen : 1. Rippen (ja)/(nein) Anzahl: ____

Rechts: _____

Links : _____

2. Wirbel (ja)/(nein) Anzahl: ____

Welche: _____

3. Sternum (ja)/(nein)

4. Scapula (ja)/(nein) (re)/(li)

5. Clavicula (ja)/(nein) (re)/(li)

Thorax : *Lungencontusion* (ja)/(nein)

Wieviele Lungensegmente insgesamt betroffen: ____

Rechts: _____

Links : _____

Aspiration (ja)/(nein)

Wieviele Lungensegmente insgesamt betroffen: ____

Rechts: _____

Links : _____

Pneumothorax (ja)/(nein) (re)/(li)

Geschätztes Volumen gesamt: ____ (ml)

Cranio-caudal: ____ (cm) Max.Dicke: ____ (cm)

Spannungspneumothorax (ja)/(nein)

Verschiebung in mm: ____ Richtung: ____

Hämatothorax (ja)/(nein) (re)/(li)

Geschätztes Volumen gesamt: _____(ml)

Cranio-caudal: _____(cm) Max.Dicke: _____(cm)

Dystelektasen (ja)/(nein)

Wieviele Lungensegmente betroffen: _____

Rechts: _____

Links : _____

Atelektasen (ja)/(nein)

Wieviele Lungensegmente betroffen: _____

Rechts: _____

Links : _____

Mediastinalemphysem (ja)/(nein)

Cranio-caudal: _____(cm) Max.Dicke: _____(cm)

Hautemphysem (ja)/(nein) (re)/(li)

Cranio-caudal: _____(cm) Max.Dicke: _____(cm)

Ruptur der grossen Atemwege (ja)/(nein)

Ort der Ruptur: _____

Aortenruptur (ja)/(nein)

Zwerchfellruptur (ja)/(nein) (re)/(li)

Herztamponade (ja)/(nein)

Oesophagusverletzung (ja)/(nein)

Patienten-Nr. : _____
 Name : _____
 Vorname : _____
 Geb.-Datum : _____
 Unfalldatum : _____
 Unfallzeit : _____

Eintreffen des Notarztes: _____

Beatmung (ja / nein)

SAO2 : _____
 RR : _____
 Puls : _____
 AMV : _____
 AF : _____
 AZV : _____
 Peep : _____
 EtCO2 : _____
 FiO2 : _____
 GCS : _____

Uhrzeit Schockraum: _____

Intensiv (1h): _____

Beatmung (ja / nein)

SAO2 : _____
 RR : _____
 Puls : _____
 AMV : _____
 AF : _____
 AZV : _____
 Peep : _____
 EtCO2 : _____
 FiO2 : _____
 GCS : _____

Beatmung (ja / nein)

SAO2 : _____
 RR : _____
 Puls : _____
 AMV : _____
 AF : _____
 AZV : _____
 Peep : _____
 EtCO2 : _____
 FiO2 : _____
 GCS : _____

pO2 : _____
 pCO2 : _____
 pH : _____
 BE : _____

pO2 : _____
 pCO2 : _____
 pH : _____
 BE : _____

Bemerkungen:

7. Literaturverzeichnis

1. Bähren W., Biehl C.: Wertigkeit des orientierenden Thorax-CT im Vergleich zur Thoraxaufnahme bei schwer-polytraumatisierten Patienten. *Röntgenpraxis* 43: 164-169 (1990)
2. Bahner M.L.: Methoden in der Medizin: Spiral-Computertomographie. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 120: 969-970 (1995)
3. Baker S.P., O'Neill B., Haddon W., Long W.B.: The Injury Severity Score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J. Trauma* 14: 187-196 (1974)
4. Bein T., Täger K.: Score-Systeme in der Notfallmedizin. *Anaesthesiol. Intensivmed. Notf. Med. Schmerzther.* 28: 222-227 (1993)
5. Blair E.: Pulmonary barriers to oxygen transport in chest trauma. *Am. Surg.* 42: 55-61 (1976)
6. Calhoon J.H., Grover F.L., Trinkle J.K.: Chest trauma. *Clin. Chest Med.* 13: 55-67 (1992)
7. Castelli I., Schläpfer R., Stulz P.: Das Thoraxtrauma. *Anaesthesist* 44: 513-530 (1995)
8. Chan O., Hiorns M.: Chest trauma. *Eur. J. Radiol.* 23: 23-34 (1996)
9. Danz B., Biehl Ch., Bähren W.: Zur Akutdiagnostik therapierelevanter Thoraxverletzungen bei schwer- und polytraumatisierten Patienten. *RöFo Fortschr. Geb. Röntgenstr. Neuen Bildgebenden Verfahren* 164: 269-274 (1996)
10. David A., Eitenmüller J., Muhr G.: Präklinische Versorgung von Thoraxverletzungen – Möglichkeiten und Grenzen. *Hefte Unfallheilkd.* 223: 108-112 (1992)

11. Dinkel E., Uhl H., Reinbold W.D., Wimmer B., Wenz W.: Computertomographie beim Thoraxtrauma. *Radiologe* 27: 391-397 (1987)
12. Dotzer F.: Notfalluntersuchung – Wettlauf mit der Zeit. *Fortschr. Med.* 108: 18-21 (1990)
13. Dougall A.M., Paul M.E., Finley R.: Chest trauma – Current morbidity and mortality. *J. Trauma* 17: 547 (1977)
14. Dresing K., Sievers K.W., Obertacke U., Reicke B., Schmit-Neuerburg K.-P.: Primär- und Verlaufsdiagnostik nach Thoraxtrauma und Lungenkontusion. *Zentralbl. Chir.* 119: 690-701 (1994)
15. Erickson D.R., Shinozaki T., Beekman E., Davis J.H.: Relationship of arterial blood gases and pulmonary radiographs to the degree of pulmonary damage in experimental pulmonary contusion. *J. Trauma* 11: 689-694 (1971)
16. Franke A., Franke K.: Epidemiologie der Thoraxverletzungen. *Zentralbl. Chir.* 106: 882-895 (1981)
17. Freyschmidt J.: Radiologische Diagnostik beim Thoraxtrauma. *Röntgen-Bl.* 42: 311-316 (1989)
18. Gahr R.H., Hasse F.M., Nürnberger H.R.: Die Wertigkeit der Thorax-Computertomographie in der Intensivdiagnostik des stumpfen Thoraxtraumas. *Z. Unfallchir. Vers. Med.* 83: 111-116 (1990)
19. Galanski M., Hartenauer U., Krumme B.: Röntgendiagnostik des Pneumothorax auf Intensivstationen. *Radiologe* 21: 459-462 (1981)
20. Glinz W.: Thoraxverletzung im Röntgenbild. *Hefte Unfallheilkd.* 158: 333-337 (1982)
21. Glinz W.: Priorities in diagnosis and treatment of blunt chest injuries. *Injury* 17: 318-321 (1986)

22. Glinz W.: Stellenwert der bildgebenden Verfahren bei Diagnose und Therapie von schweren Thoraxverletzungen. *Radiologe* 27: 381-390 (1987)
23. Goeckenjan G.: Notfalldiagnostik bei akuter respiratorischer Insuffizienz. *Dtsch. Med. Wochenschr.* 111: 824-826 (1986)
24. Greenspan L., McLellan B. A., Greig H.: Abbreviated Injury Scale and Injury Severity Score: a scoring chart. *J. Trauma* 25: 60-64 (1985)
25. Groskin S. A.: Selected topics in chest trauma. *Radiology* 183: 605-617 (1992)
26. Gust R., Walz Th., Frobenius H., Krier C.: Adäquate respiratorische Therapie beim Polytrauma in der prähospitalen Phase durch pulsoxymetrisches Monitoring. *Anaesthesiol. Intensivmed. Notf. Med. Schmerzther.* 24: 221-225 (1989)
27. Gust R., Krier C.: Pulsoxymetrie - Technische Möglichkeiten und Grenzen. *Rettungsdienst* 14: 293-296 (1991)
28. Hähnel J., Konrad F., Kogel H.: Bronchoskopie zur Erstversorgung nach schwerem Thoraxtrauma – grundsätzlich indiziert ? *Anaesthesist* 41: 408-413 (1992)
29. Hartel W., Radomsky J.: Sofortmaßnahmen bei thoraxtraumatologischem Notfall. *Dtsch. Aerzteblatt* 80: 25-36 (1983)
30. Hartung J., Elpelt B.: *Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik.*, Oldenbourg, München Wien, S. 81-118, (1986)
31. Heijstraten F.M.J.: Radiology in chest trauma patients. *Eur. J. Radiol.* 5: 177-185 (1992)
32. Helm M., Lampl L., Forstner K., Maier B., Tisch M., Bock K.H.: Respiratorische Störungen beim Traumapatienten. *Unfallchirurg* 94: 281-286 (1991)

33. Helm M., Hauke J., Eßer M., Lampl L., Bock K.H.: Notärztliche Diagnostik bei stumpfem Thoraxtrauma. *Chirurg* 68: 606-612 (1997)
34. Hoff S.J., Shotts S.D., Eddy V.A., Morris J.A.: Outcome of isolated pulmonary contusion in blunt trauma patients. *Am. Surg.* 60: 138-142 (1994)
35. Hoffmann P., Schockenhoff B., Gahr R., Imhoff M.: Bronchoskopie bei Lungenkontusion – sinnvoll oder gefährlich ? *Anaesthesist* 38 (Suppl.1): 342 (1989)
36. Holch M., Otte D., Laas J., Kant C.-J.: Das schwere Thoraxtrauma: Unter welchen Unfall- und Rettungsbedingungen ist es noch therapierbar ? *Helv. Chir. Acta* 57: 269-271 (1990)
37. Inthorn D., Huf R.: Das Thoraxtrauma beim Mehrfachverletzten. *Anaesthesiol. Intensivmed. Notf. Med. Schmerzther.* 27: 498-501 (1992)
38. Kang E.-Y., Müller N.L.: CT in blunt chest trauma: pulmonary, tracheobronchial, and diaphragmatic injuries. *Semin. Ultrasound CT MRI* 17: 114-118 (1996)
39. Karaaslan T., Meuli R., Androux R., Duvoisin B., Hessler C., Schnyder P.: Traumatic chest lesions in patients with severe head trauma: a comparative study with computed tomography and conventional chest roentgenograms. *J. Trauma* 39: 1081-1086 (1995)
40. Kehrberger E., Hörtling H.: Blutgasanalysen nach präklinischer kontrollierter Beatmung durch den Notarzt. *Notarzt* 5: 2-4 (1989)
41. Kerns S.R., Gay S.B.: CT of blunt chest trauma. *Am. J. Roentgenol.* 154: 55-60 (1990)
42. Khodadadyan C., Hoffmann R., Neumann K., Vogl T., Pappert D., Südkamp N.P.: Diagnostische Aussagekraft der Thorax-Computertomographie beim schweren Thoraxtrauma. *Chirurg* 66: 1097-1104 (1995)

43. Kollmorgen D.R., Murray K.A., Sullivan J.J., Mone M.C., Barton R.G.: Predictors of mortality in pulmonary contusion. *Am. J. Surg.* 168: 659-664 (1994)
44. Kunisch – Hoppe M., Bachmann G., Hoppe M., Weimar B., Bauer T., Zickmann B., Rau W.S.: Computertomographische Quantifizierung pleuropulmonaler Läsionen beim schweren Thoraxtrauma. *RöFo Fortschr. Geb. Röntgenstr. Neuen Bildgebenden Verfahren* 167: 453-457 (1997)
45. LoCicero J., Mattox K.L.: Epidemiology of chest trauma. *Surg. Clin. North Am.* 69: 15-19 (1989)
46. Marts B., Durham R., Shapiro M., Mazuski J. E., Zuckerman D., Sundaram M., Luchtefeld W.B.: Computed tomography in the diagnosis of blunt thoracic injuries. *Am. J. Surg.* 168: 688-692 (1994)
47. McGonigal M.D., Schwab C.W., Kauder D.R., Miller W.T., Grumbach K.: Supplemental emergent chest computed tomography in the management of blunt torso trauma. *J. Trauma* 30: 1431-1435 (1990)
48. Nötel U.: Beatmung am Notfallort und auf dem Transport. *Z. Aerztl. Fortbild. (Jena)* 78: 611-613 (1984)
49. Pillgram-Larsen J., Loevstakken K., Hafsahl G., Solheim K.: Initial axial computerized tomography examination in chest injury. *Injury* 24: 182-184 (1993)
50. Pfenninger E.: Untersuchungen der Blutgase am Unfallort und bei Klinikaufnahme. In Pfenninger E. (Hrsg) *Das Schädel-Hirn-Trauma, Anaesthesiologie und Intensivmedizin* Bd 203, Springer, Berlin Heidelberg New York, S.24-30 (1988)
51. Poole G.V., Morgan D.B., Cranston P.E., Muakkassa F.F., Griswold J.A.: Computed tomography in the management of blunt thoracic trauma. *J. Trauma* 35: 296-302 (1993)

52. Prange C.H., Kühr J.: Thoraxverletzungen bei Verkehrsunfällen und Nichtverkehrsunfällen. Zentralbl. Chir. 115: 593-601 (1990)
53. Prentice D., Ahrens T.: Pulmonary complications of trauma. Crit. Care Nurs. Q. 17: 24-33 (1994)
54. Prokop M., Schaefer-Prokop C., Galanski M.: Spiral-CT der Lunge. Radiologe 36: 457-469 (1996)
55. Regel G., Sturm J.A., Neumann C., Bosch U., Tscherne H.: Bronchoskopie der Lungenkontusion bei schwerem Thoraxtrauma. Unfallchirurg 90: 20-26 (1987)
56. Regel G., Sturm J.A.: Bedeutung der Lungenkontusion für die Letalität nach Polytrauma. Hefte Unfallheilkd. 223: 402 (1992)
57. Rhea J.T., Novelline R.A., Lawrason J., Sacknoff R., Oser A.: The frequency and significance of thoracic injuries detected on abdominal CT scans of multiple trauma patients. J. Trauma 29: 502-505 (1989)
58. Rio F.G., Granados S., Garcia J.M.P., Alvarez-Sala R., Villasante C.: Bilateral diffuse infiltrate masking a cavity after blunt chest trauma. Chest 106: 1575-1576 (1994)
59. Röhnert W., Weise R.: Spiral-CT beim Thoraxtrauma. Röntgenpraxis 50: 202-206 (1997)
60. Röse B., Holch M.: Pulsoxymetrie im Luftrettungsdienst: präklinische Verwendbarkeit, therapeutische Konsequenzen. Rettungsdienst 14: 288-292 (1991)
61. Roschek H., Marohl K., Albrecht K., Krönig W.: Die Bedeutung von Thoraxtraumen als alleinige oder Mitverletzung bei Polytraumen. Unfallchirurg 91: 422-427 (1988)
62. Schild H., Strunk H., Stoerkel S., Hein K., Weitz M., Doll G., Weber W., Lorenz J., Halbsguth A.: Computertomographie der Lungenkontusion. RöFo Fortschr. Geb. Röntgenstr. Neuen Bildgebenden Verfahren 145: 519-526 (1986)

63. Schindler G., Lazarus G.: CT des Thorax beim Polytrauma. Hefte Unfallheilkd. 223: 55-60 (1992)
64. Smejkal R., O'Malley K.F., David E., Cernaianu A.C., Ross S.E.: Routine initial computed tomography of the chest in blunt torso trauma. Chest 100: 667-669 (1991)
65. Stiletto R., Bötzel Th., Brück E., Gotzen L.: Intensivmedizinische Behandlungsstrategien bei Patienten mit schweren Thoraxtraumen und Lungenkontusionen. Anaesthesiol. Intensivmed. Notf. Med. Schmerzther. 32: 241-242 (1997)
66. Striebel H.W., Kretz F.J.: Funktionsprinzip, Zuverlässigkeit und Grenzen der Pulsoximetrie. Anaesthesist 38: 649-657 (1989)
67. Tagliabue M., Casella T.C., Zincone G.E., Fumagalli R., Salvini E.: CT and chest radiography in the evaluation of adult respiratory distress syndrome. Acta Radiol. 35: 230-234 (1994)
68. Tocino I.M., Miller M.H., Frederick P.R., Lee Bahr A., Thomas F.: CT detection of occult pneumothorax in head trauma. Am. J. Roentgenol. 143: 987-990 (1984)
69. Toombs B.D., Sandler C.M., Lester R.G.: Computed tomography of chest trauma. Radiology 140: 733-738 (1981)
70. Trentz O.A., Hempelmann G., Trentz O., Mellmann J., Stender H.-St., Oestern H.-J.: Hämodynamik, Gasaustausch und radiologische Lungenbefunde bei Mehrfachverletzten mit stumpfem Thoraxtrauma. Anaesthesist 29: 468-474 (1980)
71. Trupka A., Kierse R., Waydhas C., Nast-Kolb D., Blahs U., Schweiberer L., Pfeifer K.-J.: Schockraumdiagnostik beim Polytrauma – Wertigkeit der Thorax CT. Unfallchirurg 100: 469-476 (1997)
72. Vock B.: Das Thoraxtrauma in der Prähospitalphase. Akt. Traumatol. 19: 17-21 (1989)

73. Wagner R.B., Crawford W.O., Schimpf P.P.: Classification of parenchymal injuries of the lung. *Radiology* 167: 77-82 (1988)
74. Wagner W., Walther M., Bartsch M., Parth R., Pfeiffer F., Dörnhöfer T., Beck H.: Fallstudie: Das Thoraxtrauma. *Rettungsdienst* 4: 242-246 (1994)
75. Wanner K., Knopp W., Breitfuß H.: Die Bronchoskopie beim schweren Thoraxtrauma. *Hefte Unfallheilkd.* 223: 271-273 (1992)
76. Wenz W., Klöhn I., Wolfart W.: Röntgendiagnostik beim Thoraxtrauma. *Radiologe* 19: 201-213 (1979)
77. Wolfman N.T., Gilpin J.W., Bechtold R.E., Meredith J.W., Ditesheim J.A.: Occult pneumothorax in patients with abdominal trauma: CT studies. *J. Comput. Assisted Tomogr.* 17: 56-59 (1993)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dr. med. W. Bären für die Überlassung des Themas bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. B. Danz für die hervorragende und verständnisvolle Betreuung, ohne dessen persönlichen Einsatz die Erstellung dieser Dissertation nicht möglich gewesen wäre.

Herrn Dr. med. M. Helm danke ich für die freundliche Bereitstellung der intensivmedizinischen Daten.

8. Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name und Vorname: Gottschalk, Andreas
 Geburtsdatum: 23. Mai 1972
 Geburtsort: Stuttgart - Bad Cannstatt
 Konfession: evangelisch
 Familienstand: ledig
 Eltern: Gerhard Gottschalk, techn. Angestellter i.R.
 Helga Gottschalk, geb. Steuer, Verkäuferin
 Geschwister: Rainer Gottschalk
 Anschrift: Weinbergweg 99
 89075 Ulm

Schulbildung:

1978 - 1982 Grundschule Stuttgart - Zuffenhausen
 1982 - 1987 Friedrich - Porsche Gymnasium Stuttgart
 1987 - 1991 Ferdinand - Abel Gymnasium Vaihingen / Enz
 19.06.91 Abitur

Beruflicher Werdegang:

01.07.1991 Einberufung zur Bundeswehr als Grundwehrdienstleistender
 01.11.1991 Ernennung zum Zeitsoldat auf 2 Jahre
 01.01.1993 Ernennung zum Sanitätsoffizieranwärter
 Oktober 1993 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Universität Ulm
 05.09.1995 Physikum
 29.08.1996 1.Staatsexamen
 30.03.1999 2.Staatsexamen
 26.04.2000 3.Staatsexamen