

**Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie
der Universität Würzburg**

Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. Norbert Roewer

**Die Rolle der B-Linien gestützten Lungensonographie in der
Differentialdiagnostik der akuten Dyspnoe**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Tim Salinger

aus Haan

Würzburg, Mai 2018

Referent/Referentin: Prof. Dr. Jens-Albert Broscheit

Koreferent: Prof. Dr. Thorsten Walles

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 24.04.2018

Der Promovend ist Arzt

Meiner Familie in Dankbarkeit gewidmet

1	Einleitung	1
1.1	Diagnostik und Therapie der Dyspnoe in der Internistischen Notaufnahme	1
1.2	Die B-Linien gestützte Lungensonographie.....	3
1.3	Ziele der Untersuchung	4
2	Material und Methodik.....	5
2.1	Untersuchungen in der Internistischen Notaufnahme.....	5
2.2	Die Sonographie	6
2.3	Die B-Liniengestützte Lungensonographie.....	6
2.4	Der Fragebogen.....	10
2.5	Ablauf der Untersuchung.....	13
2.5.1	Das Untersuchungsprozedere	13
2.5.2	Das Punktesystem	14
2.6	Die Statistische Auswertung	15
2.7	Das Röntgenbild des Thorax	15
2.7.1	Das Röntgenbild des Thorax bei Kardialer Dekompensation mit Lungenstauung	16
2.7.2	Das Röntgenbild des Thorax bei Chronisch Obstruktiver Lungenerkrankung.....	17
3	Ergebnisteil.....	18
3.1	Patientenkollektiv	18
3.2	Häufigste Vorerkrankungen im Patientenkollektiv	20
3.3	Die B-Liniensonographie	21
3.4	Das Punktesystem.....	21
3.5	Das Röntgenbild des Thorax im Vergleich zur Lungensonographie	27
3.6	Das Ergebnis der B-Liniendiagnostik im Vergleich mit der Entlassungsdiagnose im Arztbrief sowie der Arztdiagnose in der Notaufnahme	30
3.7	Die Verteilung der Punktsommen auf die sechs untersuchten Schallfenster	35
3.8	Die Untersuchungsdauer.....	36
3.9	Fallbeispiele.....	36
3.9.1	Fallbeispiel 1	37
3.9.2	Fallbeispiel 2	41
3.9.3	Fallbeispiel 3	45
4	Diskussion.....	48
4.1	Überprüfung der Fragestellung.....	48
4.2	Betrachtung der Fallbeispiele	54

4.3	Beurteilung der B-Linien gestützten Lungensonographie und Limitationen der vorliegenden Arbeit.....	56
5	Zusammenfassung	59
6	Literaturverzeichnis	61
7	Abbildungsverzeichnis	65
8	Tabellenverzeichnis.....	66

Abkürzungsverzeichnis

2 G-KHK	Zwei-Gefäß Koronare Herzkrankheit
Abb	Abbildung
AI	Aorteninsuffizienz
ANV	Akutes Nierenversagen
B-NHL	B-Non-Hodgkin-Lymphom
CML	Chronische myeloische Leukämie
COPD	Chronische obstruktive Lungenerkrankung
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
DDS	Doppelbasis- Deskriptions-System
ED	Erstdiagnose
EKG	Elektrokardiogramm
EPU	Elektrophysiologische Untersuchung
FEV1	Forciertes expiratorisches Volumen
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
GI	Gastrointestinal
Hb	Hämoglobin
ICR	Interkostalraum
interm	intermittierend
IQR	Interquartilbereich
kard Dekomp	kardiale Dekompensation
l/min	Liter pro Minute
LAE	Lungenarterienembolie
LV-EF	Linksventrikuläre Ejektionsfraktion
NA	Notarzt
NSTEMI	Nicht-ST-Hebungsinfarkt
NYHA	New York Heart Association
PE	Pleuraerguss
pv	Pulmonal- venös

Rö	Röntgen
RR	Blutdruck nach Riva-Rocci
s	Sekunden
SD	Standardabweichung
SPO2	Sauerstoffsättigung
TAA	Tachyarrhythmia absoluta
Tab	Tabelle
VC	Vitalkapazität
VHF	Vorhofflimmern
VT	Ventrikuläre Tachykardie
Z.n.	Zustand nach

1 Einleitung

1.1 Diagnostik und Therapie der Dyspnoe in der Internistischen Notaufnahme

Die Atemnot (Dyspnoe) stellt ein in der Notaufnahme häufig anzutreffendes Symptom dar. Um eine adäquate Behandlung dieses potentiell lebensbedrohlichen Krankheitsbildes zu ermöglichen, muss dessen Ätiologie schnell und sicher erkannt werden.

Zu den häufigsten internistischen Ursachen der akuten Dyspnoe gehören, neben dem Asthmaanfall, die akut exazerbierte Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), sowie die Pneumonie und die akute Linksherzinsuffizienz mit pulmonaler Stauung [1]. Weiterhin müssen eine Lungenembolie, ein Pneumothorax und metabolische Probleme bedacht werden [8]. Die jeweilige Diagnostik und Therapie unterscheidet sich dabei voneinander:

Bei Verdacht auf eine akut kardiale Dekompensation besteht die Diagnostik aus der transthorakalen Echokardiographie in Verbindung mit einem 12-Kanal EKG, einer Blutkontrolle (inkl. Kalium, Natrium, Calcium, Harnstoff, Kreatinin, GFR, Leber-Enzyme, Bilirubin, Ferritin, Schilddrüsenwerte), der Bestimmung des Natriuretischen Peptid Typ B sowie eines Röntgenbildes des Thorax [2]. Zusätzlich wird die Anamnese des Patienten berücksichtigt, die Sauerstoffsättigung ermittelt und der Patient körperlich untersucht. Dazu können Rasselgeräusche über den Lungen auskultatorisch hörbar sein. Die Behandlung der akuten kardialen Dekompensation erfolgt durch die Sicherstellung einer ausreichenden Oxygenierung mittels Sauerstoffgabe über Maske bzw. nicht invasive Beatmungsformen wie CPAP bis hin zur endotrachealen Intubationsnarkose. Dazu werden Diuretika, Opiate sowie bei systolischen Blutdruckwerten über 110mmHg Vasodilatoren wie Nitroglyzerin appliziert. Bei Blutdruckwerten unter 85mmHg ist laut Leitlinien die Gabe von Inotropika wie Dobutamin angedacht [2].

Die Diagnostik und Behandlung der Chronisch obstruktiven Lungenerkrankung stellt sich hingegen völlig anders dar. Zur Diagnose dient neben der Anamnese mit gezielten Fragen nach Husten mit Auswurf, Atemschwierigkeiten und der Exposition gegenüber Tabakrauch vor allem die Lungenfunktionstestung. Dabei haben vor allem das Forcierte Einsekundenvolumen FEV₁, die inspiratorische Vitalkapazität (VC) und die Bestimmung des Verhältnisses FEV₁/VC eine gute Evidenz zum Nachweis einer COPD [3].

Im Akutfall wird die Blutgasanalyse eingesetzt die häufig eine arterielle Hypoxämie sowie Hyperkapnie aufweist. In der körperlichen Untersuchung spricht eine zentrale Zyanose, periphere Ödeme und der Einsatz der Atemhilfsmuskulatur für eine schwere Exazerbation. Dazu kann Fieber auftreten. Im Labor werden BSG, Blutbild, CRP, D-Dimere, Elektrolyte, Kreatinin und der Blutzucker bestimmt. Auskultatorisch kann ein Giemen über den Lungenflügeln bestehen. Die Therapie erfolgt in leichteren Fällen durch die Gabe von β 2-Sympathomimetika bzw. Anticholinergika, in schwereren Fällen auch zusätzlich durch Glukokortikoide und unter Umständen auch Theophyllin.

Im Gegensatz zur kardialen Dekompensation wird bei diesen Formen der Erkrankung in der Regel auf eine Sauerstoffgabe verzichtet, welche erst bei schwerergradig verlaufenden Exazerbationen angewandt wird [3].

Auch eine Pneumonie kann Dyspnoe auslösen. Diese wird vor allem im Röntgenbild des Thorax in zwei Ebenen nachgewiesen. Zusätzlich wird ein Blutbild inklusive Differenzialblutbild angefertigt. Weiterhin erfolgen die Bestimmung des C-reaktiven Proteins bzw. des Procalcitonins und eine Blutgasanalyse. Diese Patienten erhalten frühzeitig ein adäquates Antibiotikum und bei Hypoxämie zusätzlich Sauerstoff [6].

Neben diesen häufigen Erkrankungen, welche ursächlich für Atemnot sein können, gibt es zahlreiche weitere Differenzialdiagnosen die in Betracht gezogen werden müssen. Dabei muss stets die Gesamtsituation des Patienten mit genauer Anamnese und körperlicher Untersuchung beachtet werden.

Bei einigen Patienten bestehen Komorbiditäten, d.h. neben einer Herzinsuffizienz leidet die Person gleichzeitig an einer Chronisch obstruktiven Lungenerkrankung oder einem Asthma bronchiale [7]. Eine schnelle und klare Zuordnung kann hierbei schwierig sein.

Die standartmäßig eingesetzte Auskultation des Thorax ist eine effektive Methode um schnell eine Einschätzung zu ermöglichen, sie ist jedoch untersucherabhängig und führt oft nicht zur richtigen Diagnose [9].

Darüber hinaus benötigen Laboruntersuchungen und Röntgenaufnahmen eine gewisse Zeit und sind in der Regel nicht sofort verfügbar.

1.2 Die B-Linien gestützte Lungensonographie

Eine weitere Möglichkeit in der Differentialdiagnostik bei Dyspnoepatienten kann die Ultraschalluntersuchung der Lunge darstellen. Mithilfe von Artefakten, die bei der Sonographie entstehen, soll dabei der Flüssigkeitszustand der Lungen erhoben werden um die Ursache der Dyspnoe zu bestimmen. Die strahlenförmig verlaufenden Artefakte werden B-Linien genannt und treten vermutlich am Übergang von luftgefüllten Räumen und Flüssigkeiten auf [4]. Durch die Unterscheidung von „trockenen“ zu „feuchten“ Lungen kann bei Patienten mit akuter Dyspnoe die Zahl der möglichen Differentialdiagnosen verringert, und somit eine schnellere Diagnose und damit adäquate Behandlung ermöglicht werden [5]. Es gibt bereits einige Studien zu diesem Thema, wobei die Untersuchungen meist bei stationären Patienten auf Intensivstationen oder in Spezialambulanzen und von im Ultraschall erfahrenen Ärzten mit herkömmlichen Sonographiegeräten durchgeführt wurden [5, 25]. Im Unterschied dazu handelt es sich in dieser Arbeit um einen im Ultraschall zunächst unerfahrenen Anwender, der die Untersuchungen nach Schulungen und mit einem kleinen, tragbaren Sonographiegerät durchführte.

1.3 Ziele der Untersuchung

In dieser Arbeit wird die Lungensonographie mittels B-Linien bei Dyspnoepatienten untersucht. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die folgenden Fragestellungen gelegt:

1. Ist es einem Untersucher mit geringer Erfahrung in der Sonographie möglich das Verfahren der B-Liniengestützten Lungensonographie mit einem portablen Ultraschallgerät in einer internistischen Notaufnahme durchzuführen?
2. Reicht die im Vergleich zu größeren Geräten geringere Auflösung für die Diagnostik der Dyspnoe aus?
3. Kann eine sichere Unterscheidung zwischen kardialen und pulmonalen Dyspnoeursachen aufgrund der B-Liniengestützten Lungensonographie erfolgen?
4. Wie lange dauert die Untersuchung?
5. Wie häufig leiden Dyspnoepatienten gleichzeitig an kardialen und pulmonalen Erkrankungen, die den akuten Zustand erklären könnten?
6. Welche Schallfenster sind für die Diagnostik am wichtigsten?

2 Material und Methodik

2.1 Untersuchungen in der Internistischen Notaufnahme

Im Rahmen dieser Studie wurden in einem Zeitraum von 4 Wochen insgesamt 39 erwachsene Patienten in der internistischen Notaufnahme der Universitätsklinik Würzburg untersucht. Hierbei handelt es sich um ein Krankenhaus der Maximalversorgung mit 1430 Planbetten, davon 246 Planbetten in den Medizinischen Kliniken I und II [10]. In der Internistischen Notaufnahme werden jährlich über 5000 Patienten behandelt [11]. Die Durchführung der Studie wurde von der Ethik-Kommission bei der Medizinischen Fakultät der Julius- Maximilians- Universität Würzburg genehmigt (2017021302).

Die untersuchten Personen kamen zum Teil selbstständig, zum größeren Teil jedoch mit dem Rettungsdienst in die Klinik. Sonographiert wurden hierbei diejenigen Patienten, die über jegliche Art von Atemnot klagten, unabhängig von objektiven Parametern wie der Blutgasanalyse. Instabile, akut gefährdete Personen, die direkt eine Intensivbehandlung benötigten wurden dabei ausgeschlossen.

Die Sonographien wurden durch den Autor selbst durchgeführt. Dieser befand sich zum Zeitpunkt der Studie im klinischen Abschnitt des Studiums. Die Methode der hier durchgeführten Lungensonographie wurde im Rahmen eines Seminars der „Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin“ unter dem Titel „Interdisziplinäres DEGUM-Anwenderseminar Interdisziplinäre Sonographie von Thorax, Trachea und Lunge und für Trauma (E-FAST plus)“ erlernt. Das System zur Interpretation der Sonographie mittels Punktschritte (siehe Kapitel 2.5.2) wurde durch den Autor entwickelt. Des Weiteren absolvierte er eine zweitägige Hospitation in der Zentralen Notaufnahme des Klinikums Frankfurt-am Main (Hoechst), wo er unter Anleitung eines DEGUM Kursleiters Stufe III gezielt die B-Liniengestützte Lungensonographie erlernte. Hierbei wurde das gleiche Gerätemodell genutzt wie später bei der Studie in der Würzburger Notaufnahme. Im Rahmen der Hospitation wurden mindestens 20 Untersuchungen unter

Anleitung durchgeführt. Hiernach war der Autor in der Lage, diese Methode selbstständig und sicher anzuwenden [12].

2.2 Die Sonographie

Bei der Sonographie handelt es sich um eine nicht invasive Untersuchung, die für den Patienten keine Gefahr darstellt und unter Umständen in kurzer Zeit wertvolle Informationen liefern kann. Dabei erzeugt das Ultraschallgerät Schallwellen im Bereich von je nach Gerät 1 – 40 MHz, die vom Schallkopf in den Körper des Patienten gesendet und dort in unterschiedlichem Maße vom jeweiligen Gewebe reflektiert werden. Zu diesen Reflexionen kommt es an Grenzflächen zwischen verschiedenen Gewebsschichten (Impedanzsprünge) [14]. Auf einem Monitor wird dann das aus den einzelnen Schallwellen berechnete Bild angezeigt. Zu den Vorteilen der Sonographie zählen vor allem die Ungefährlichkeit für den Patienten und die gute Verfügbarkeit. Als Nachteil kann eine hohe individuelle Untersucherabhängigkeit gesehen werden.

Die gebräuchlichsten Schallkopftypen sind der Linearschallkopf, der vor allem bei oberflächlich gelegenen Strukturen wie der Schilddrüse eingesetzt wird und hier eine gute Auflösung bietet, der Sektorschallkopf der bei tiefer liegenden Strukturen wie dem Herz beliebt ist, sowie der Konvexschallkopf für die Abdomensonographie [14].

Neben größeren, fest installierten Sonographiegeräten die allenfalls durch Rollen begrenzt mobil sind, werden von der Industrie zunehmend kleinere, tragbare Geräte angeboten die z.T. in eine Kitteltasche passen.

2.3 Die B-Liniengestützte Lungensonographie

Für die Sonographie der Lungen werden nacheinander sechs verschiedene Schallpositionen im Intercostalbereich angelotet und nach dem Vorhandensein von B-Linien gesucht. Diese B-Linien, von einigen Autoren auch als „comet-tail artifact“ bezeichnet [4, 31], erscheinen im Sonographie-Bild als breite Linien die vom schallkopfnahen Bereich senkrecht in die Tiefe verlaufen und sich dabei atemabhängig hin und her verschieben (Abb. 1). Sie treten vor allem bei

Wasseransammlungen in der Lunge auf und können somit ein Hinweis auf ein Lungenödem sein [40], während das Artefakt bei trockenen Zuständen wie bei der exazerbierten COPD nicht bzw. weniger auftritt. Hierbei würde sich das Sonographiebild der Lunge unauffällig zeigen, d.h. es sind im Idealfall mehrere horizontal verlaufende Linien, die jeweils denselben Abstand zueinander haben, sichtbar [41]. Dabei handelt es sich um die Pleuralinie und darunter folgende Spiegelartefakte (Reverberationen) [4] (Abb. 2).

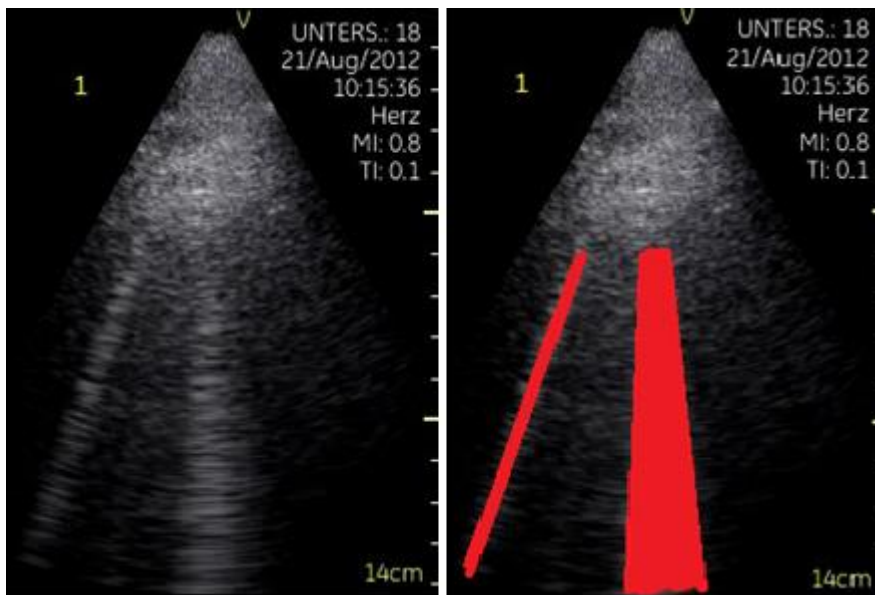


Abbildung 1- Sonographie mit zwei B-Linien

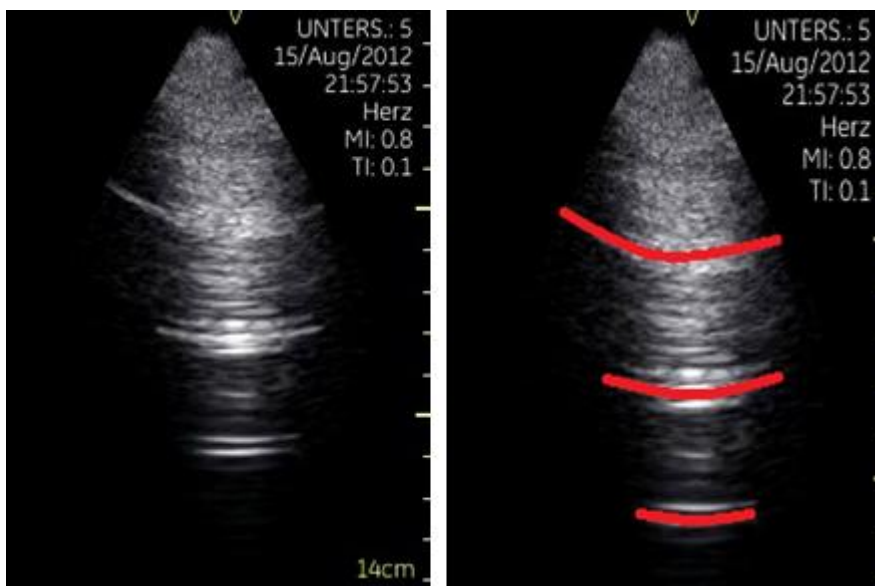


Abbildung 2- Sonographie mit sichtbarer Pleuralinie und darunter folgenden Reverberationen

Eingesetzt wurde ausschließlich das Ultraschallgerät VSCAN der Firma GE-Healthcare (Abb. 3), welches von der Firma kostenlos zur Verfügung gestellt wurde. GE Healthcare hatte dabei zu keinem Zeitpunkt Einfluss auf die Planung, Durchführung oder Auswertung der vorliegenden Untersuchung und war auch nicht anderweitig involviert. Bei dem VSCAN handelt es sich um ein kleines, tragbares Modell, welches in der Kitteltasche transportiert werden kann. Die Maße betragen 135mm x 73mm x 28mm. Das Gewicht liegt inklusive Sonde bei 390g. Der 3,5 Zoll große schwarz-weiß Monitor bietet eine Auflösung von 240 x 320 Pixel [13]. Das Modell verfügt über einen B-Mode und einen Farbdoppler. An das VSCAN fest angeschlossen ist eine Phased-Array Sonde (1,7 – 3,8 MHz). Mit diesem Sektorschallkopf können tief reichende Organe wie das Herz oder die Lunge untersucht werden, während eher oberflächlich liegende Strukturen wie die Karotiden mit dem Gerät nicht darstellbar sind. Aus diesem Grund und wegen der geringen Abmessungen scheint der VSCAN für die Lungensonographie in der Notaufnahme passend. Es lässt sich gut in der linken Hand halten während mit der Rechten der Schallkopf bedient wird.



Abbildung 3- Das tragbare Ultraschallgerät in ausgeschaltetem Zustand mit verbundenem Sektorschallkopf



Abbildung 4- Das eingeschaltete Gerät verfügt über einen 3,5 Zoll schwarz- weiß Monitor und kann in einer Hand gehalten werden

Das Gerät wird durch einfaches Aufklappen des Bildschirms aktiviert und ist innerhalb von 25 Sekunden einsatzbereit (Abb. 4). Es bietet verschiedene voreingestellte Schallmodi, die die Bildeinstellungen verändern. Die besten Ergebnisse ließen sich dabei mit dem Modus Herz bei einer Schalltiefe von 14cm erreichen. Die Akkulaufzeit wird vom Hersteller mit einer Laufzeit von ca. einer Stunde bzw. für bis zu 30 Patienten angegeben. Der VSCAN kann über eine ebenfalls verwendete Docking-Station an einen Computer angeschlossen werden. Mit der VSCAN Gateway Software wurden die durchgeführten Untersuchungen somit in kleinen Videofilmen von wenigen Sekunden archiviert (Abb. 5). Weiterhin konnten einzelne Bilder aus den Filmen separat gespeichert werden.

Die Untersuchungen werden vom VSCAN automatisch in fortlaufender Reihenfolge gespeichert und mit einer Nummer versehen. Weiterhin gibt es die Möglichkeit vor oder während der Untersuchung kleine Sprachnachrichten wie z.B. den Patientennamen aufzunehmen.

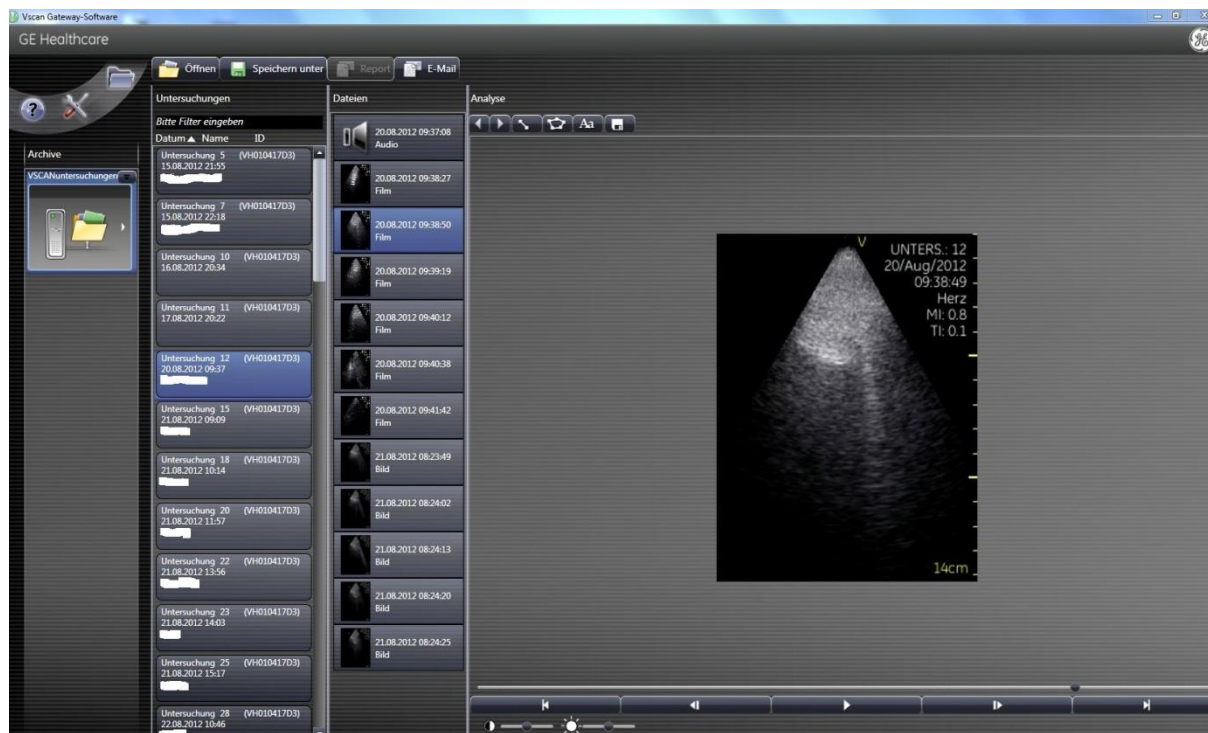


Abbildung 5- Der VSCAN kann mittels Docking-Station an einen Computer angeschlossen werden um mit der VSCAN Gateway Software Untersuchungen zu archivieren [Screenshot der Software in Windows erstellt]

2.4 Der Fragebogen

Für die Untersuchungen wurde ein Fragebogen angefertigt, der es ermöglicht die wichtigsten Werte und Fakten des jeweiligen Patienten schnell zu erheben (Abb. 6). In diesem wird die laufende Nummer der Untersuchung angegeben unter der diese im Sonographiergerät gespeichert wird und somit im Archiv der Gateway Software gefunden werden kann. Weiterhin wird das aktuelle Datum sowie die Uhrzeit, der Patientennamen und dessen Geburtsdatum erfasst. Bei Patienten, die mit einer Einweisung in die Notaufnahme kommen, wird die Verdachtsdiagnose des einweisenden Arztes bzw. bei Übernahme vom Notarzt die Arbeitshypothese aus dem Notarztprotokoll im Fragebogen angegeben. Es folgt eine Tabelle, in welcher das Ergebnis der Lungensonographie festgehalten wird. Dabei wird jeweils die Anzahl der entdeckten B-Linien in sechs verschiedenen, standardisierten Anlotungen vermerkt. Die Dauer der Sonographie in Sekunden, sowie das Vorhandensein von Pleuraergüssen wird ebenfalls festgehalten.

Weitere standardmäßig erhobene Werte sind die arterielle Sauerstoffsättigung, der Blutdruck, der Puls sowie die Körpertemperatur des Patienten. Außerdem sind Felder für die ärztliche Interpretation des EKGs und die Menge des zugeführten Sauerstoffs in l/min. vorgesehen. Des weiteren erfasst wird die aktuelle Anamnese, bereits verabreichte Medikamente sowie das Ergebnis der ärztlichen Auskultation von Lunge und Herz. Abschließend wird vermerkt ob es sich nach der Sonographie um Flüssigkeit in der Lunge handelt oder ob diese trocken erscheint. Die entgültige Diagnose durch das Ärzteteam wird nach Entlassung des Patienten dem Entlassungsbrief entnommen. Das Ergebnis einer Röntgen-Thorax Untersuchung wird unter „Bemerkungen“ auf der Rückseite des Fragebogens angegeben. Hier ist auch Platz für weitere Angaben sowie Vorerkrankungen des Patienten.

Lungensonographie

Laufende Nummer: _____

Datum: _____ Uhrzeit: ____: ____ Gewichtung _____

Patientenname: _____

Vorname: _____ Geb. _____

Verdachtsdiagnose NA/ HA: _____

Fenster	0-1 B-Linie	2 BL	3-5 BL	> 5 BL
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Dauer der Lungensonographie _____ min

Pleuraerguss sichtbar? Rechts _____ links _____

SpO2 _____% RR _____/_____ Puls _____ Temp _____ C

EKG _____

O2 - Gabe _____ l/min

Medikamente Rettungsdienst _____

Anamnese: _____

Auskultation: _____

Verdachtsdiagnose Doktorand _____

Diagnose Arzt _____

Bemerkungen Rückseite _____

Abbildung 6- Der bei den Untersuchungen eingesetzte Fragebogen

2.5 Ablauf der Untersuchung

Bei der Lungensonographie werden zunächst sechs verschiedene Schallfenster untersucht und anschließend mit einem vom Autor entwickelten Punktesystem ausgewertet, auf welches in diesem Kapitel eingegangen wird.

2.5.1 Das Untersuchungsprozedere

Bei der Ultraschalluntersuchung werden jeweils bilateral folgende Punkte angelotet (Abb. 7):

- Medioclavikularlinie kurz oberhalb der Mamille intercostal (3. – 4. ICR)
- Vordere Axillarlinie auf Höhe der Mamille intercostal (4. – 5. ICR)
- Hintere Axillarlinie so dass der Übergang von der Leber bzw. Milz zu Zwerchfell/Lunge dargestellt werden kann

Dabei sollte darauf geachtet werden genug Ultraschallgel zu verwenden und die Anlotungen möglichst Senkrecht zum Körper durchzuführen. Im Idealfall sollte es möglich sein die Pleuralinie mit ihren Reverberationen, bzw. B-Linien darzustellen.

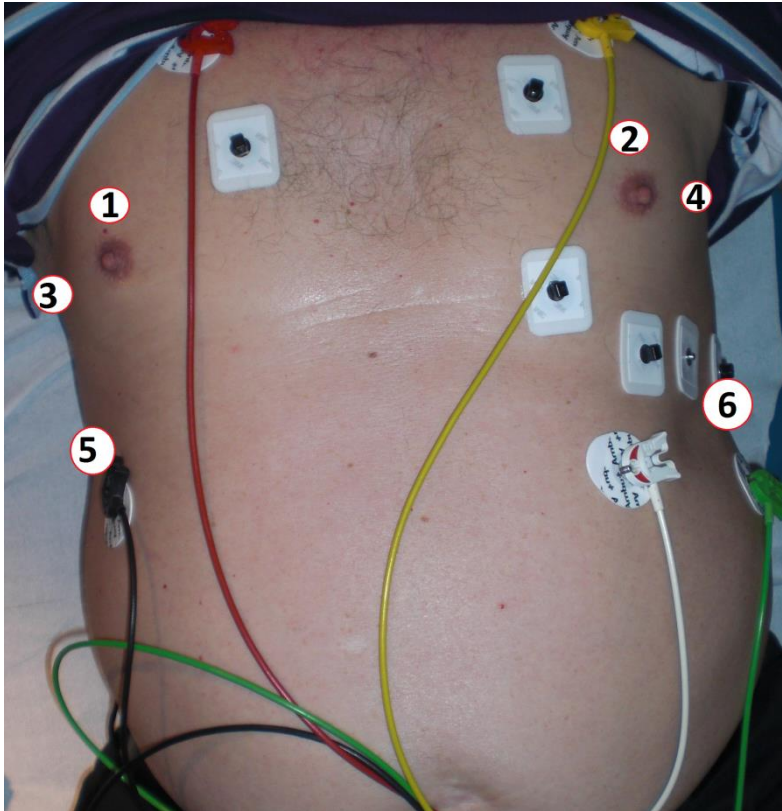


Abbildung 7- Die sechs Schallpunkte beim liegenden Patienten

2.5.2 Das Punktesystem

Von jedem einzelnen Anlotungspunkt wird während der Untersuchung durch Drücken der Record- Taste ein wenige Sekunden dauerndes Video aufgenommen. Die Dauer der gesamten Prozedur kann nach Übertragung der Daten am Computer ausgelesen werden. Auf dem Fragebogen sind die Schallpositionen mit den Ziffern 1-6 angegeben, so dass eine sichere Zuordnung möglich ist. Wichtig ist, dass bei der Sonographie die Reihenfolge eingehalten wird, da die einzelnen Anlotungspunkte nicht direkt im Gerät markiert werden können. In der anschließenden Auswertung wird die Verdachtsdiagnose des Untersuchers mit der Diagnose des Ärzteteams verglichen. Dazu wird der Arztbrief des Patienten nach dessen Entlassung herangezogen. Weiterhin wird die Auswertung des Röntgenbildes vom Thorax durch die Radiologie in Erfahrung gebracht. Für die Anzahl der einzelnen B-Linien in jedem Schallfenster wird ein Punktwert ermittelt [Tab. 1]. Abschließend werden alle Punkte einer Untersuchung aufsummiert.

Tabelle 1- Die Punktwerte bezogen auf die Anzahl von B-Linien

0-1 B-Linie	0 Punkte
2 B-Linien	1 Punkt
3-5 B-Linien	2 Punkte
>5 B-Linien	3 Punkte

2.6 Die Statistische Auswertung

Die Statistische Analyse der Ergebnisse wurde mit der kommerziell erhältlichen Statistiksoftware „SPSS Statistics 23“ der Firma IBM durchgeführt. Hiermit erfolgten die Bestimmung der Mittelwerte, Mediane, Standardabweichungen sowie die Kontrolle auf Signifikanz der Werte.

Um die ermittelten Punktschichten der jeweiligen Krankheitsbilder bzw. Dyspnoeursachen miteinander zu vergleichen und auf Signifikanz hin zu überprüfen wurde in einem ersten Schritt der „Kruskal- Wallis- Test“ als nicht-parametrischer Test angewandt. In einem zweiten Schritt erfolgte dann der Vergleich von jeweils zwei Krankheitsbildern mithilfe des nicht-parametrischen „Mann-Whitney-Testes“.

2.7 Das Röntgenbild des Thorax

Die Interpretation des Röntgenbildes wurde durch das „Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie“ durchgeführt. Der genaue Befund des Patienten konnte anschließend im EDV-System der Klinik in Erfahrung gebracht werden.

Zum Vorgehen bei der Analyse einer Röntgenaufnahme des Thorax gibt es verschiedene Möglichkeiten. Hier sei beispielhaft das Doppelbasis-Deskriptions-System (DDS-System ©) von Prof. Kulke kurz dargestellt. Hierbei wird der Thorax als erste Basis in sechs Deskriptionsbereiche aufgeteilt [15], die nacheinander untersucht werden:

1. Zwerchfell mit Sinus phrenicocostales
2. Lunge, Lungenhilus und Pleura

3. Mediastinum mit Herz und großen Gefäßen
4. Skelettanteile
5. Umgebende Weichteile
6. Fremdmaterialien

Die 2. Basis des DDS-Systems © besteht aus verschiedenen Deskriptionsmerkmalen die pathologische Prozesse darstellen [15]:

1. Aufhellungen
2. Verschattungen
3. Strukturveränderungen
4. Form und Lageveränderungen

Bei einer Pneumonie erscheint im Röntgenbild z.B. im Bereich der Lunge eine Verschattung durch Konsistenzzunahme des Gewebes [16].

2.7.1 Das Röntgenbild des Thorax bei Kardialer Dekompensation mit Lungenstauung

Wenn das Röntgenbild im Stehen angefertigt wurde, kann ein vergrößerter Herzschatten hinweisend auf eine Herzinsuffizienz sein, bei Aufnahmen in Rückenlage zeigt sich der Herzschatten meist vergrößert auch wenn keine Pathologie besteht. Die Lungenhili sind oft verbreitert, verdichtet und haben streifige Ausziehungen. Diese Lungenzeichnung genannten Ausläufer sind bis zur Thoraxwand verfolgbar. Es handelt sich dabei um Lungengefäße die durch eine Stauung verbreitert erscheinen. Zudem können bei Herzinsuffizienz ein- bzw. zweiseitige Pleuraergüsse auftreten. Bei einem einseitigen Pleuraerguss findet sich dieser vornehmlich auf der rechten Seite [17].

Bei chronischer Herzinsuffizienz sind oft sogenannte „Kerly- B-Linien“ sichtbar. Dabei handelt es sich um Lymphspalten in denen sich die Lymphflüssigkeit staut.

Sie stellen sich als schmale, horizontal verlaufende Streifenschatten in den Lungenunterfeldern dar [17].

Die Lungen erscheinen durch das eingelagerte Wasser dichter und weniger strahlendurchlässig als im unauffälligen Befund [18].

2.7.2 Das Röntgenbild des Thorax bei Chronisch Obstruktiver Lungenerkrankung

Die COPD stellt sich im Röntgenbild durch einen Zwerchfelltiefstand dar. Besonders im kaudalen, paramediastinalen Bereich können dichte Streifenschatten imponieren. Die Pulmonalgefäße können im Rahmen der pulmonalarteriellen Hypertonie verbreitert erscheinen. Die Gefäßzeichnung ist eher rarefiziert [19]. Besonders beim weit fortgeschrittenem Befund mit Lungenemphysem sind Zeichen einer Überblähung sichtbar. Die Lunge ist strahlentransparenter, der Thorax stellt sich als Fassthorax mit annähernd waagrecht verlaufenden Rippen dar [20].

3 Ergebnisteil

3.1 Patientenkollektiv

Die Lungensonographie mit der Fragestellung nach dem Vorhandensein von B-Linien konnte bei insgesamt 39 Patienten erfolgreich durchgeführt werden. In Tabelle 2 sind die 39 Patienten mit ihren Fallnummern und der jeweiligen Diagnose dargestellt. Die untersuchten Personen waren im Mittel 75,8 Jahre alt und litten alle an unterschiedlich stark ausgeprägter Dyspnoesyndromatik. Es handelte sich um 28 Männer und 11 Frauen, die durchschnittliche Verweildauer im Krankenhaus betrug 8,69 Tage [Tab. 3].

Tabelle 2- Aufstellung der untersuchten Patienten und deren Krankheitsbildern

Fallnummer	Entlassungs-diagnose im Arztbrief
1	Infektexazerbierte COPD
2	Kardiale Dekompensation mit röntgologisch gesicherter pv-Stauung
3	NSTEMI bei hochgradiger Instent-Restenose
4	Pranoides Syndrom, ED Lymphom
5	Bei Aufnahme hochgradige COPD, kardiale Dekompensation bei Diuretikapause
6	Dyspnoesyndromatik bei geringer pulmonaler Stauung
7	Exazerbierte COPD, Harnwegsinfekt
8	CML, Sympt. Transfusionsbedürftige Anämie
9	COPD Gold II + Kardioresnales Syndrom mit ANV
10	B-NHL
11	2G-KHK, RCA Verschluss
12	Ausschluss Pneumonie, Harnwegsinfekt
13	Kardiale Dekompensation, Hypokaliämie
14	Dekompensierte Herzinsuffizienz mit Dyspnoe, Lungenfibrose,
15	NSTEMI, Pneumonie, bek. COPD
16	Schwäche, Immobilität bei Melanomerkrankung
17	Pneumonie, Vigilanzminderung

Fallnummer	Entlassungs-diagnose im Arztbrief
18	Zentrale LAE, tiefe Beinvenenthrombose
19	Kardiale Dekompensation im Rahmen TAA-Episode
20	Kardiale Dekompensation bei TAA, VHF
21	VHF ED, reduzierte LV-EF von 37%
22	Ausschluss akuter Herzinfarkt, Ausschluss Progress KHK, ausgeprägte Hiatushernie die für Beschwerden verantwortlich sein könnte
23	Kardiale Dekompensation, reduzierte LV-EF von 32%, Kardiale Rekompensation und Ausschluss Progress der KHK
24	Ablation von typischem Vorhofflattern
25	Ausschluss KHK, VHF, Struma nodosa, leichtgradige AI
26	NSTEMI mit kardialer Dekompensation, bek. COPD,
27	Obere GI-Blutung bei Ulcus duodeni, Hb=5.9 g/dl
28	Dyspnoe aktuell nicht objektivierbar
29	Linksführende kardiale Dekompensation, bek. Chron. Bronchitis
30	Pneumogene Sepsis, chron. Niereninsuffizienz IV
31	Kardiale Dekompensation, hochgradige Syst. Herzinsuffizienz, interm. VHF, Ausschluss relevante KHK
32	Slow-VT mit Indikation zur EPU, Ausschluss Cimino Fistel
33	Obere GI-Blutung bei Ulcus duodeni, Hb 6.5, Dyspnoe a.e. nicht kardial
34	Lungenembolie mit Infarktpneumonie
35	Kardiale Dekompensation, hochgradig sympt. Aortenstenose
36	Kardiale Dekompensation + exazerbierte COPD
37	Kardiale Dekompensation bei bek. Kardiorenenal Syndrom Typ II mit AP-Beschwerden
38	Dekompensierte Herzinsuffizienz NYHA III-IV, Adeno-Ca Magen
39	Hypertensive Entgleisung

Tabelle 3- Verweildauer im Krankenhaus bei ausgewählten Krankheitsbildern

Patienten mit akut exazerbierter COPD	9 Tage (n=3)
Patienten mit kardialer Dekompensation	7,69 Tage (n=16)
Pat. mit akut exazerbierter COPD + kard. Dekomp.	10 Tage (n=2)

3.2 Häufigste Vorerkrankungen im Patientenkollektiv

Zu den häufigsten Vorerkrankungen gehörten vor allem die Arterielle Hypertonie (56,41%), die Koronare Herzkrankheit (43,59%) sowie die chronische Niereninsuffizienz (33,33%) [Tab. 4]. Fünf Patienten (12,82%) litten an einer akuten, kardialen Dekompensation mit gleichzeitiger akut exazerbierter COPD (n=2), bzw. bekannter COPD in der Vorgeschichte (n =3). Bei keinem Patienten fand sich ein Pneumothorax, während Pleuraergüsse röntgenologisch bei 15 Patienten nachgewiesen wurden (3x einseitig und 12x beidseitig).

Tabelle 4- Die häufigsten, bekannten Vorerkrankungen in Absolutzahlen und Prozenten

Arterielle Hypertonie	22	56,41%
Koronare Herzkrankheit	17	43,59%
Chronische Niereninsuffizienz	13	33,33%
Adipositas	13	33,33%
Hyperlipoproteinämie	12	30,77%
Vorhofflimmern	9	23,08%
Diabetes Mellitus Typ II	8	20,51%
COPD	7	17,95%
Herzinsuffizienz	5	12,82%

3.3 Die B-Liniensonographie

Die Sonographie der Lunge konnte an 39 Dyspnoe-Patienten durchgeführt werden. Die Handhabung mit dem VSCAN gestaltete sich dabei einfach. Keine einzige Untersuchung musste wegen technischer Schwierigkeiten abgebrochen werden. Bei vier Personen konnten nicht alle sechs Schallfenster beurteilt werden [siehe auch Tab. 5], so lagen in zwei Fällen Pleuraergüsse im Schallfeld, in den zwei anderen Fällen gelang keine Einstellung. Die Untersuchung konnte in der Regel innerhalb von kurzer Zeit nach Aufnahme des Patienten durchgeführt werden. Eine Sonographie (Fallnummer 1) erfolgte jedoch erst am dritten Tag nach der Aufnahme.

3.4 Das Punktesystem

In jedem der sechs Schallfenster wird die ungefähre Zahl der B-Linien ermittelt und dazu eine entsprechende Punktzahl angegeben [siehe auch Tab. 1]. Die höchste Anzahl an B-Linien konnten dabei in Fenster 3 (40 Pkt.) und Fenster 4 (35 Pkt.) gefunden werden [Tab. 5 und 6].

Tabelle 5- Aufgelistet sind alle 39 Untersuchungen mit der Anzahl entdeckter B-Linien in jedem einzelnen Schallfenster (1-6) sowie die Summe der vergebenen Punkte pro Untersuchung und pro Schallfenster

Fallnr.	B-Linien Fenster 1	B-Linien Fenster 2	B-Linien Fenster 3	B-Linien Fenster 4	B-Linien Fenster 5	B-Linien Fenster 6	Punkt- summe/ Fall
1	0-1	2	0-1	0-1	0-1	0-1	1
2	0-1	3-5	3-5	3-5	nicht beruteilbar	nicht beurteilbar	6 (nur aus 1-4)
3	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	12
4	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
5	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	3-5	2
6	3-5	2	3-5	2	3-5	2	9
7	0-1	0-1	0-1	2	0-1	0-1	1
8	0-1	2	2	2	2	2	5
9	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
10	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
11	0-1	2	0-1	0-1	2	0-1	2
12	0-1	0-1	0-1	3-5	0-1	0-1	2
13	2	2	>5	2	>5	2	10
14	2	3-5	3-5	3-5	2	3-5	10
15	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	3-5	2
16	0-1	0-1	0-1	2	0-1	0-1	1
17	0-1	0-1	3-5	0-1	2	3-5	5
18	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
19	>5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	13
20	0-1	3-5	2	3-5	2	0-1	6
21	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	12
22	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	2	1
23	3-5	3-5	3-5	3-5	>5	>5	14
24	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
25	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
26	0-1	0-1	2	0-1	0-1	0-1	1

Ergebnisteil

27	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
28	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0
29	3-5	3-5	3-5	0-1	2	0-1	7
30	3-5	3-5	3-5	2	2	0-1	8
31	3-5	3-5	3-5	3-5	PE, nicht beurteilbar	PE, nicht beurteilbar	8 (nur aus 1-4)
32	0-1	0-1	0-1	2	0-1	3-5	3
33	3-5	3-5	>5	3-5	3-5	3-5	13
34	0-1	0-1	3-5	2	0-1	2	4
35	0-1	3-5	3-5	3-5	0-1	0-1	6
36	0-1	0-1	>5	3-5	2	0-1	6
37	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	12
38	3-5	2	PE	2	PE	3-5	6 (nur aus 1,2,4,6)
39	3-5	3-5	Nicht beurteilbar	Nicht beurteilbar	3-5	3-5	9 (nur aus 1,2,5,6)

Tabelle 6- Die Gesamtzahl der Punktsummen aller Probanden im jeweiligen Schallfenster

Schallfenster	1	2	3	4	5	6
Punkt- summe	27	33	40	35	28	32

In den folgenden Tabellen sind die durchschnittlichen Punktskamen bei ausgewählten, häufig vorgefundenen Krankheitsbildern aufgetragen. Bei den übrigen 17 Patienten fanden sich andere Erkrankungen als Dyspnoeursache [siehe auch Tab. 2].

COPD

Tabelle 7- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktskamen bei COPD

Fall	0-1 B-Linie	2- B-Linien	3-5 B-Linien	>5 B-Linien	Punktskamen
1	5x	1x	-	-	1
7	5x	1x	-	-	1
9	6x	-	-	-	0

Mittelwert= 0,66; Median = 1

Exazerbierte COPD + kardiale Dekompensation

Tabelle 8- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktskamen bei gleichzeitigem Vorliegen von COPD + Kardialer Dekompensation

Fall	0-1 B-Linie	2 B-Linien	3-5 B-Linien	>5 B-Linien	Punktskamen
5	5x	-	1x	-	2
36	3x	1x	1x	1x	6

Mittelwert = 4; Median = 4; SD = 2,8

Pneumonie

Tabelle 9- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktsommen bei Pneumonie

Fall	0-1 B-Linie	2 B-Linien	3-5 B-Linien	>5 B-Linien	Punktsumme
15	5x	-	1x	-	2
17	3x	1x	2x	-	5
30	1x	2x	3x	-	8
34	3x	2x	1x	-	4

Mittelwert = 4,75; Median = 4,5; SD = 2,5

Kardiale Dekompensation

Tabelle 10- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktsommen bei Kardialer Dekompensation

Fall	0-1 B-Linie	2 B-Linien	3-5 B-Linien	>5 B-Linien	Punktsumme
2	1x	-	3x	-	7 (nur aus 1-4)
6	-	3x	3x	-	9
13	-	4x	-	2x	10
14	-	2x	4x	-	10
19	-	-	5x	1x	13
20	2x	2x	2x	-	6
23	-	-	4x	2x	14
26	5x	1x	-	-	1
29	2x	1x	3x	-	7
31	-	-	4x	-	8 (nur aus 1-4)
35	3x	-	3x	-	6
37	-	-	6x	-	12
38	-	2x	2x	-	6 (nur aus 1,2,4,6)

Mittelwert = 8,8; Median = 9,5; SD = 3,9; (ohne Fall 2, 31, 38)

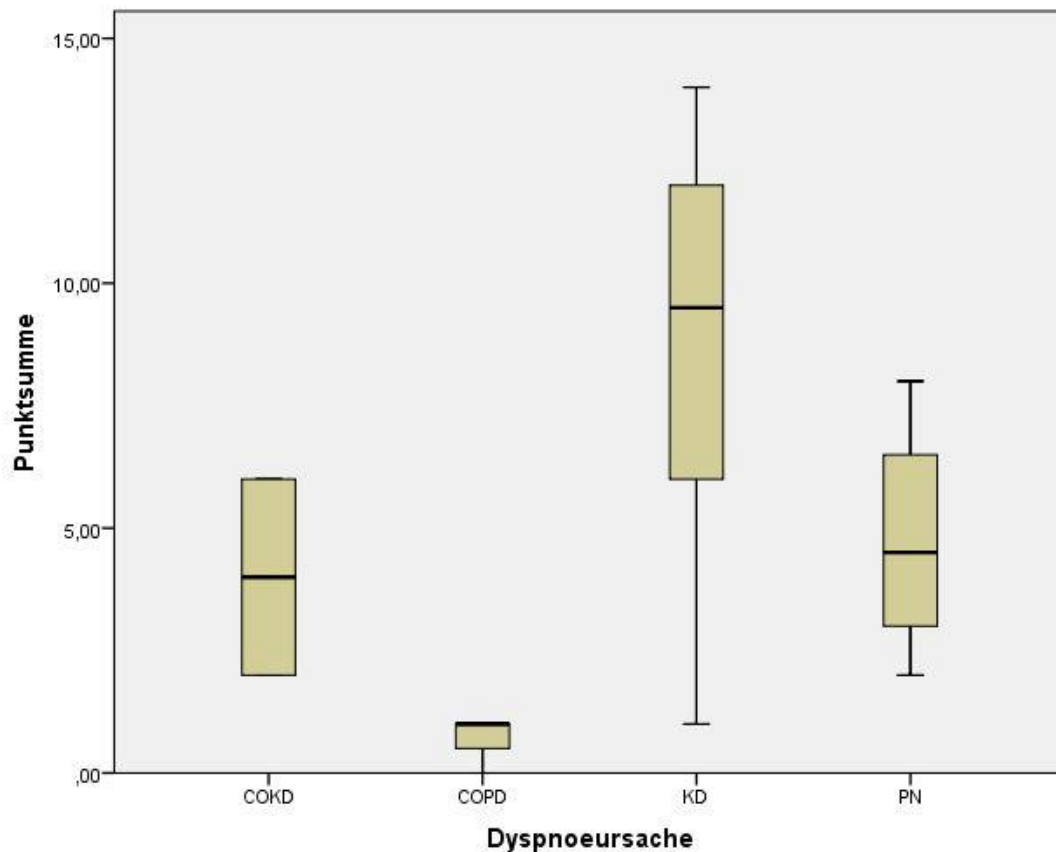


Abbildung 8- Vergleich der durch Lungensonographie ermittelten Punktsummen bei den vier Krankheitsbildern (COKD = COPD + kardiale Dekompensation; COPD = Chronische Obstruktive Lungenerkrankung; KD = kardiale Dekompensation; PN = Pneumonie)

Die ermittelten Punktsummen bei den jeweiligen Erkrankungen unterschieden sich im Kruskal-Wallis Test signifikant voneinander ($p= 0,019$). Im direkten Vergleich zwischen COPD und Kardialer Dekompensation ergaben sich im Mann-Whitney Test ebenso unterschiedliche Punktsummen ($p= 0,14$) [Tab. 7 und 10]. Die Vergleiche zwischen Kardialer Dekompensation und Pneumonie ($p=0,76$), sowie Pneumonie und COPD ($p=0,57$) ergaben keine signifikanten Unterschiede.

3.5 Das Röntgenbild des Thorax im Vergleich zur Lungensonographie

In 35 Fällen wurde bei der Aufnahme des Patienten ein Röntgenbild des Thorax durchgeführt. Das entspricht 89,7% aller untersuchten Personen. Im Vergleich mit dem Ergebnis des Röntgen und der Lungensonographie zeigte sich eine Übereinstimmung von 82,9% (29 von 35). In 45,7% (16 von 35) der Fälle zeigte sich im Thorax Röntgen eine sichtbare Stauung [Tab. 11]. Die Patienten sind wiederum entsprechend ihrer Fallnummern aufgetragen. Die Fallnummern 18, 24, 32 und 34 fehlen in der Aufstellung, da bei ihnen kein Röntgenbild durchgeführt worden ist.

Tabelle 11- Die Ergebnisse der Lungensonographie im Vergleich zu der Röntgendiagnostik (zur einfacheren Zuordnung zu den einzelnen Fällen wurden die Patienten entsprechend ihrer Fallnummern aufgelistet)

Fallnummer	Lungenstauung in der Sonographie	Punktsumme	Lungenstauung im Röntgenbild des Thorax
1	Nein	1	Nein
2	Ja	6 (nur aus 1-4)	Ja
3	Ja	12	Ja
4	Nein	0	Nein
5	Nein	2	Nein
6	Ja	9	Nein
7	Nein	1	Nein
8	Nein	5	Nein
9	Nein	0	Nein
10	Nein	0	Nein
11	Nein	2	Nein
12	Nein	2	Ja
13	Ja	10	Ja
14	Ja	10	Ja
15	Nein	2	Nein
16	Nein	1	Ja
17	Nein	5	Nein

Fallnummer	Lungenstauung in der Sonographie	Punktsumme	Lungenstauung im Röntgenbild des Thorax
19	Ja	13	Ja
20	Ja	6	Nein
21	Ja	12	Ja
22	Nein	1	Nein
23	Ja	14	Ja
25	Nein	0	Nein
26	Nein	1	Nein
27	Nein	0	Nein
28	Nein	0	Nein
29	Ja	7	Ja
30	Ja	8	Nein
31	Ja	8 (nur aus 1-4)	Ja
33	Ja	13	Ja
35	Ja	6	Nein
36	Ja	6	Ja
37	Ja	12	Ja
38	Ja	6 (nur aus 1,2,4,6)	Ja
39	Ja	9 (nur aus 1,2,5,6)	Ja

Tabelle 12- Vergleich der mittleren Punktsumme bei radiologisch gesicherter Lungenstauung und nicht vorhandener Lungenstauung im Röntgenbild des Thorax

Diagnose im Röntgenbild des Thorax	Median der Punktsumme in der Sonographie
Lungenstauung	9,5
Keine Lungenstauung	1

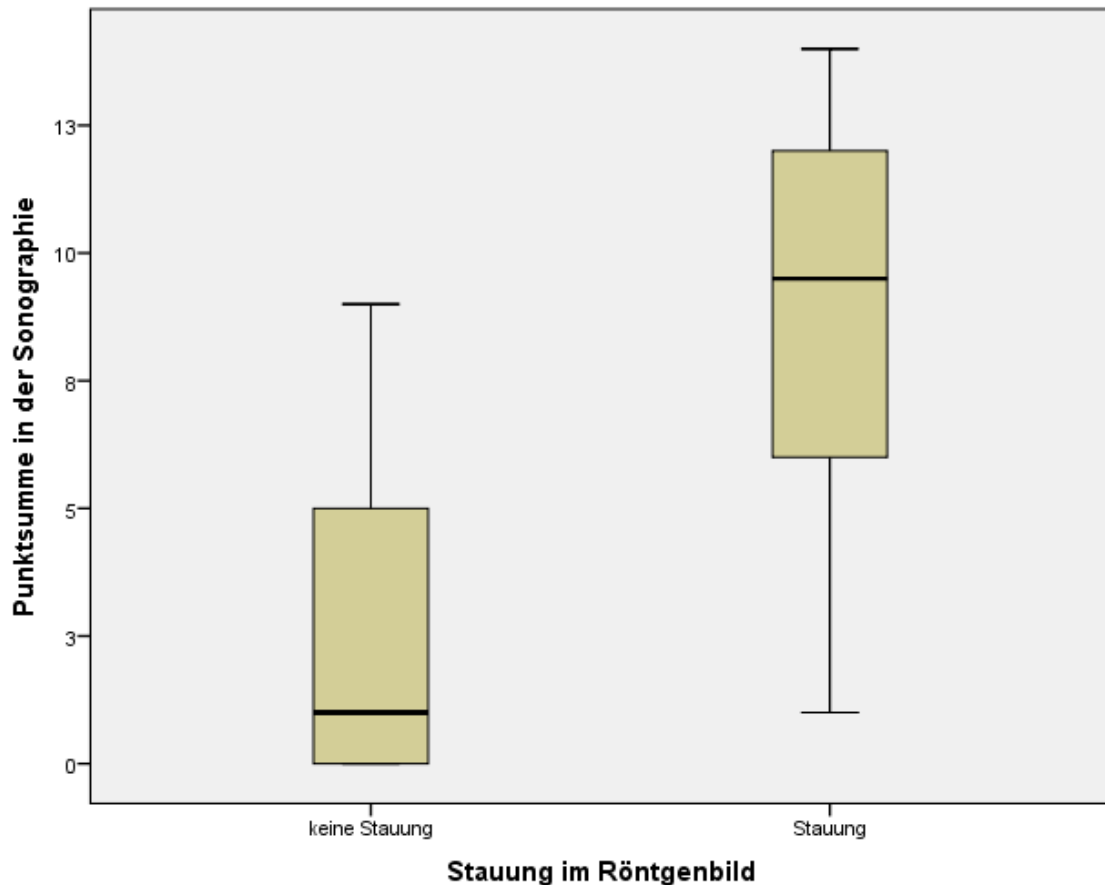


Abbildung 9- Vergleich der in der Sonographie ermittelten Punktsommen mit den Ergebnissen der Röntgenuntersuchung des Thorax

Im Mittel ergaben sich aus den Untersuchungen Punktsommen von 8,8 (Median 9,5; IQR 6-12; SD 3,9), bei im Röntgenbild nachgewiesener Lungenstauung und 2,6 (Median 1; IQR 0-5; SD 2,9), bei nicht nachgewiesener pv- Stauung im Röntgenbild des Thorax. Dieser Unterschied zeigte sich im Mann-Whitney Test als signifikant ($p < 0.001$).

Eine pv- Stauung wurde ab einem Punktwert von 6 als in der Sonographie gegeben befunden. In 14 von 16 Fällen wurde die im Röntgenbild beschriebene pulmonale Stauung im Sonographiebild richtig erkannt (Sensitivität = 87,5%; 95% Konfidenzintervall 60,4% bis 97,8%).

In 19 Fällen war das Röntgenbild des Thorax negativ bezüglich einer Stauungskomponente. Hiervon wurden 15 Fälle in der Sonographie als ebenfalls negativ erkannt (Spezifität = 78,98%; 95% Konfidenzintervall 53,9% bis 93%).

Damit ergaben sich ein positiver prädiktiver Wert von 77,8% (95% Konfidenzintervall 51,9% bis 92,6%), sowie ein negativer prädiktiver Wert von 88,2% (95% Konfidenzintervall 62,2% bis 97,9%).

Bei vier Patienten wurde kein Röntgenbild des Thorax angefertigt. In zwei Fällen wurde eine Computertomographie durchgeführt in der jeweils eine Lungenarterienembolie nachgewiesen wurde. In allen vier Fällen zeigten sich in der Sonographie keine Auffälligkeiten im Sinne von vermehrten B-Linien.

Entfernt man die Fallnummern 2, 31, 38 und 39, bei denen nicht alle sechs Schallfenster einsehbar waren und die Punktschallsummen somit am ehesten zu niedrig dargestellt sind aus der Analyse, so ergeben sich noch größere Unterschiede (Stauung vorhanden: Mittelwert 9,3; Median 11; IQR 6,25–12,75 ; SD 4,4; sowie keine Stauung vorhanden: Mittelwert 2,6; Median 1; IQR 0-5; SD 2,9; $P < 0.001$).

Pleuraergüsse wurden im Röntgenbild des Thorax bei insgesamt 15 Patienten nachgewiesen. Hiervon fielen 8 Fälle auf Patienten mit kardialer Dekompensation in der Entlassungsdiagnose (1x einseitig, 7x beidseitig) und 1 Fall auf einen Patienten mit exacerbiertes COPD (einseitig). Bei Patienten mit Pneumonie fand sich in einem Fall ein beidseitiger Pleuraerguss. Die übrigen fünf Fälle setzten sich zusammen aus: 2x Lymphomkrankung, 1x CML, 1x GI-Blutung und 1x Hypertensive Entgleisung.

3.6 Das Ergebnis der B-Liniendiagnostik im Vergleich mit der Entlassungsdiagnose im Arztbrief sowie der Arztdiagnose in der Notaufnahme

Im Vergleich der Ergebnisse der Lungensonographie mit den Abschlussdiagnosen im Arztbrief ergaben sich für das richtige Erkennen der Kardialen Dekompensation eine Sensitivität von 83,3% (15 von 18 richtig erkannt, 95% Konfidenzintervall 57,7% bis 95,6%). Die Spezifität lag bei 88,9%

Ergebnisteil

(16 von 18 als richtig negativ erkannt, 95% Konfidenzintervall 63,9% bis 98,1%). Damit ergaben sich in diesem Vergleich ein positiver prädiktiver Wert von 88,2% (95% Konfidenzintervall 62,2% bis 97,9%) bei einem negativem prädiktiven Wert von 84,2% (95% Konfidenzintervall 59,5% bis 95,8%). Der Cohen-Kappa-Koeffizient für die Übereinstimmung von Lungensonographie und Abschlussdiagnose betrug 0,72. Zu beachten ist hierbei, dass drei Fälle nicht mit einberechnet wurden, da die Abschlussdiagnosen im Arztbrief nicht eindeutig interpretiert werden konnten (Fallnummern 9, 32 und 33).

Tabelle 13- Das Ergebnis der B-Liniendiagnostik im Vergleich mit der Entlassungsdiagnose im Arztbrief sowie der Arztdiagnose in der Notaufnahme

Fallnummer	Lungenstauung in der Sonographie	Punktsumme der Sonographie	Entlassungsdiagnose im Arztbrief	Diagnose des Aufnahmearztes	Übereinstimmung Sono/ Diagnose
1	Nein	1	Infektexazerbierte COPD	Keine Stauung	Ja
2	Ja	6 (nur aus 1-4)	Kardiale Dekompensation mit röntgologisch gesicherter pv-Stauung	Vermutlich gestaut	Ja
3	Ja	12	NSTEMI bei hochgradiger Instent-Restenose	Prä-Lungenödem	Ja
4	Nein	0	Pranoides Syndrom, ED Lymphom	Keine Stauung	Ja
5	Nein	2	Bei Aufnahme hochgradige COPD, kardiale Dekompensation bei Diuretikapause	Eher keine Stauung	Nein
6	Ja	9	Dyspnoesymptomatik bei geringer pulmonaler Stauung	pv- Stauung möglich	Ja
7	Nein	1	Exazerbierte COPD, Harnwegsinfekt	Keine Stauung	Ja

Ergebnisteil

Fallnummer	Lungenstauung in der Sonographie	Punktsumme der Sonographie	Entlassungsdiagnose im Arztbrief	Diagnose des Aufnahmearztes	Übereinstimmung Sono/ Diagnose
8	Nein	5	CML, Sympt. Transfusionsbedürftige Anämie	Nicht gestaut	Ja
9	Nein	0	COPD Gold II + Kardiorenales Syndrom mit ANV	Gestaut	?
10	Nein	0	B-NHL	Keine kardiale Dekompensation	Ja
11	Nein	2	2G-KHK, RCA Verschluss	Keine Stauung	Ja
12	Nein	2	Ausschluss Pneumonie, Harnwegsinfekt	Keine Stauung	Ja
13	Ja	10	Kardiale Dekompensation, Hypokaliämie	Stauung	Ja
14	Ja	10	Dekompensierte Herzinsuffizienz mit Dyspnoe, Lungenfibrose,	Stauung	Ja
15	Nein	2	NSTEMI, Pneumonie, bek. COPD	Keine Stauung	Ja
16	Nein	1	Schwäche, Immobilität bei Melanomerkrankung	Im Rö-TX Stauung	Nein
17	Nein	5	Pneumonie, Vigilanzminderung	Keine Stauung	Ja
18	Nein	0	Zentrale LAE, tiefe Beinvenenthrombose	Keine Stauung	Ja
19	Ja	13	Kardiale Dekompensation im Rahmen TAA-Episode	Gestaut	Ja
20	Ja	6	Kardiale Dekompensation bei TAA, VHF	Keine Stauung bei Aufnahme, 2 Tage später 20mg Lasix > Besserung	Nein
21	Ja	12	VHF ED, reduzierte LV-EF von 37%	Gestaut	Ja

Ergebnisteil

Fallnummer	Lungenstauung in der Sonographie	Punktsumme der Sonographie	Entlassungsdiagnose im Arztbrief	Diagnose des Aufnahmearztes	Übereinstimmung Sono/ Diagnose
22	Nein	1	Ausschluss akuter Herzinfarkt, Ausschluss Progress KHK, ausgeprägte Hiatushernie die für Beschwerden verantwortlich sein könnte	Keine Stauung	Ja
23	Ja	14	Kardiale Dekompensation, reduzierte LV-EF von 32%, Kardiale Rekompensation und Ausschluss Progress der KHK	Gestaut	Ja
24	Nein	0	Ablation von typischem Vorhofflattern	Keine Stauung	Ja
25	Nein	0	Ausschluss KHK, VHF, Struma nodosa, leichtgradige AI	Keine Stauung	Ja
26	Nein	1	NSTEMI mit kardialer Dekompensation, bek. COPD,	keine Stauung, in Aufnahme wohl v.a. Rechtsführende Dekompensation mit peripheren Ödemen	Nein
27	Nein	0	Obere GI-Blutung bei Ulcus duodeni, Hb=5.9 g/dl	Keine Stauung	Ja
28	Nein	0	Dyspnoe aktuell nicht objektivierbar	Keine Stauung	Ja
29	Ja	7	Linksführende kardiale Dekompensation, bek. Chron. Bronchitis	Stauung	Ja
30	Ja	8	Pneumogene Sepsis, chron. Niereninsuffizienz IV	Eher Pneumonie	Nein

Fallnummer	Lungenstauung in der Sonographie	Punktsumme der Sonographie	Entlassungsdiagnose im Arztbrief	Diagnose des Aufnahmearztes	Übereinstimmung Sono/ Diagnose
31	Ja	8 (aus 1-4)	Kardiale Dekompensation, hochgradige Syst. Herzinsuffizienz, interm. VHF, Ausschluss relevante KHK	Gestaut	Ja
32	Nein	3	Slow-VT mit Indikation zur EPU, Ausschluss Cimino Fistel	Unklar, kein Röntgen durchgeführt	?
33	Ja	13	Obere GI-Blutung bei Ulcus duodeni, Hb 6.5, Dyspnoe a.e. nicht kardial	Stauung (mäßige pv-Stauung im Rö.)	?
34	Nein	4	Lungenembolie mit Infarktpneumonie	Keine Stauung	Ja
35	Ja	6	Kardiale Dekompensation, hochgradig sympt. Aortenstenose	Unklar	Ja
36	Ja	6	Kardiale Dekompensation + exazerbierte COPD	Zunächst unklar, im Rö. Dann ausgeprägte Stauung > Diuretika + Trinkbegrenzung	Ja
37	Ja	12	Kardiale Dekompensation bei bek. Kardioresalen Syndrom Typ II mit AP-Beschwerden	Beginnendes Lungenödem, Diuretikagabe bereits durch NA	Ja
38	Ja	6 (1,2,4,6)	Dekompensierte Herzinsuffizienz NYHA III-IV, Adeno-Ca Magen	Gestaut, Flüssigkeitsrestriktion verordnet	Ja
39	Ja	9(1,2,5,6)	Hypertensive Entgleisung	Stauung, Lasix gegeben	Ja

3.7 Die Verteilung der Punktsommen auf die sechs untersuchten Schallfenster

Bei Betrachtung der aufsummierten Punktsommen in den jeweiligen Schallfenstern ergaben sich für die Fenster 3 und 4 die höchsten Werte [Tab. 6]. Dabei verfügten Patienten mit einer COPD über im Mittel 0,33 Punkte (Median = 0; SD = 0,57) während Patienten mit Kardialer Dekompensation im Mittel 3,4 Punkte hatten (Median = 4; SD = 0,99). Dieser Unterschied ist signifikant ($p=0,004$).

3.8 Die Untersuchungsdauer

Im Schnitt dauerte die komplette Lungensonographie einschließlich der Zeit für das speichern von Videos 143 Sekunden. Die längste Untersuchung betrug 294 Sekunden, die kürzeste 71 Sekunden (Median 134 s; SD = 48,2 s) (Abb. 10).

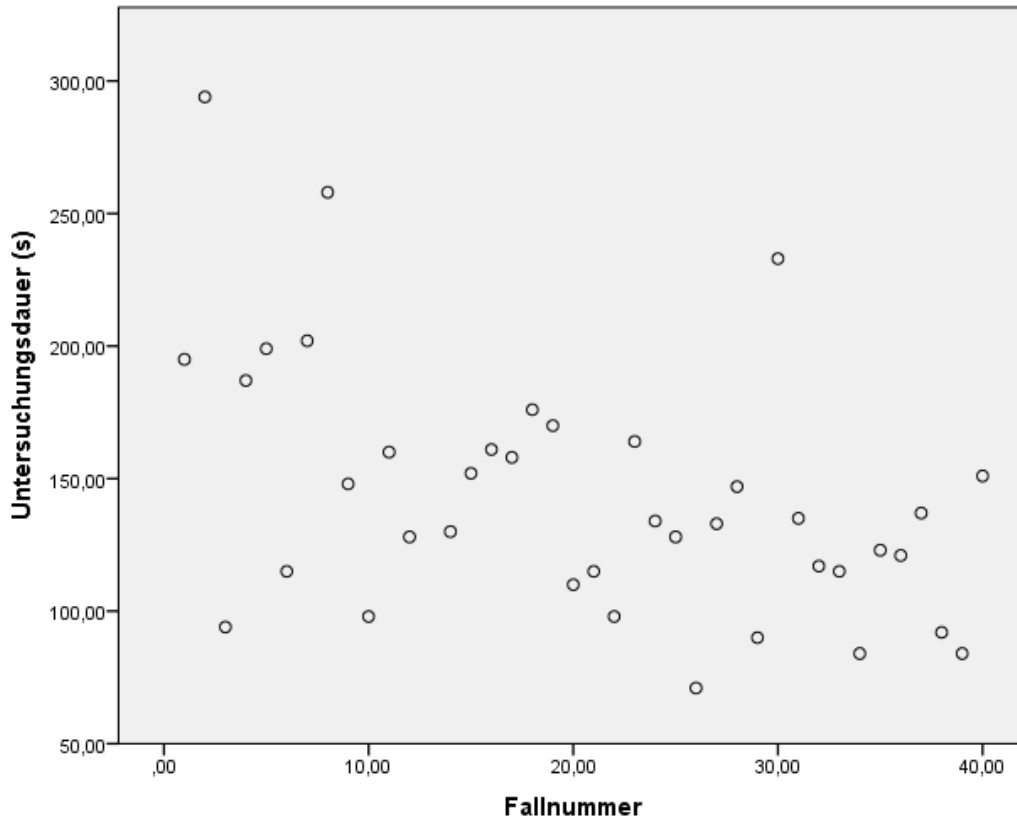


Abbildung 10- Die Untersuchungsdauer in Sekunden für die jeweilige Fallnummer

3.9 Fallbeispiele

Im Folgenden sind drei Patienten, die im Rahmen der Studie untersucht wurden, dargestellt. Anhand der beigefügten Sonographiebilder kann der Unterschied in der Lungensonographie-Diagnostik zwischen der Kardialen Dekompensation und der COPD gezeigt werden.

3.9.1 Fallbeispiel 1

Fallnummer 3

Geburtsjahr 1930, männlich

Verdachtsdiagnose durch den Notarzt: Verdacht auf Stent-Verschluss, Prä-Lungenödem

- SPO₂ unter 6 l O₂ /min: 87%
- RR: 170/100
- Puls: 100/min
- Körpertemperatur: 36,6 C

Das EKG zeigt einen Sinusrhythmus mit vorbekanntem Rechtsschenkelblock.

Durch den Rettungsdienst erhielt der Patient: Heparin 5000 IE., Lasix 40mg, Morphin 2mg.

Der Patient berichtet über einen seit einigen Stunden bestehenden retrosternalen Druck und Husten. Der letzte Krankenhausaufenthalt liegt 3 Monate zurück, hierbei wurden Stents gesetzt.

In der Auskultation zeigen sich über der Lunge grobblasige Rasselgeräusche sowie ein expiratorisches Giemen. Vom aufnehmenden Arzt erhält er Atrovent zur Inhalation.

Im Röntgenbild des Thorax wird eine chronische Stauung ohne Erguss oder Pneumonie beschrieben.

Die Lungensonographie zeigt über allen 6 Schallfenstern B-Linien, die Untersuchung dauert 90 Sekunden. Es ergibt sich eine Punktsumme von 12 (Abb. 11). Dies spricht für den Nachweis einer Stauungskomponente und stimmt insofern mit dem Ergebnis der Röntgenuntersuchung des Thorax überein.

In der Vorgeschichte ist eine KHK sowie ein Hyperparathyreoidismus bekannt.



Abbildung 11- Die sechs Schallpositionen aus dem Fallbeispiel 1 sind dargestellt. Es handelt sich dabei um Standbilder, die jeweils aus den bei der Untersuchung aufgenommenen Filmen entnommen wurden. Die Pfeile markieren die B-Linien. In Schallfenster 5 sind die zahlreichen B-Linien so eng aneinander, dass sie nur im dynamischen Film durch ihre Bewegungen gut sichtbar sind. Schallfenster 6 zeigt die Abgrenzung von Milz (M) und Zwerchfell mit darüberliegender Lunge. Auch hier sind die zahlreichen B-Linien im Standbild nur schwer zu erkennen.

Das Troponin (high sensitiv) ist mit 157,5 pg/ml erhöht. Der Patient erhält am darauffolgenden Tag wiederum Lasix und kann nach neun Tagen entlassen werden. Die Entlassungsdiagnose lautete: NSTEMI bei hochgradiger, proximaler Instent-Restenose. Am vierten Tag im Krankenhaus erfolgt eine weitere Lungensonographie bei dem Patienten, der inzwischen auf der Normalstation liegt (Abb. 12). Hierbei äußert er, dass es ihm inzwischen bereits deutlich besser ginge und er keine Beschwerden mehr verspüre. Die Untersuchung zeigt nun eine deutliche Verringerung der B-Linien (Punktsomme 2) und damit keinen Nachweis einer pv- Stauungskomponente mehr. Das Sonographiebild der Lungen zeigt nun vielmehr nahezu den Normalzustand beim Gesunden und spricht für eine gelungene Rekompensation des Patienten (Abb. 12).

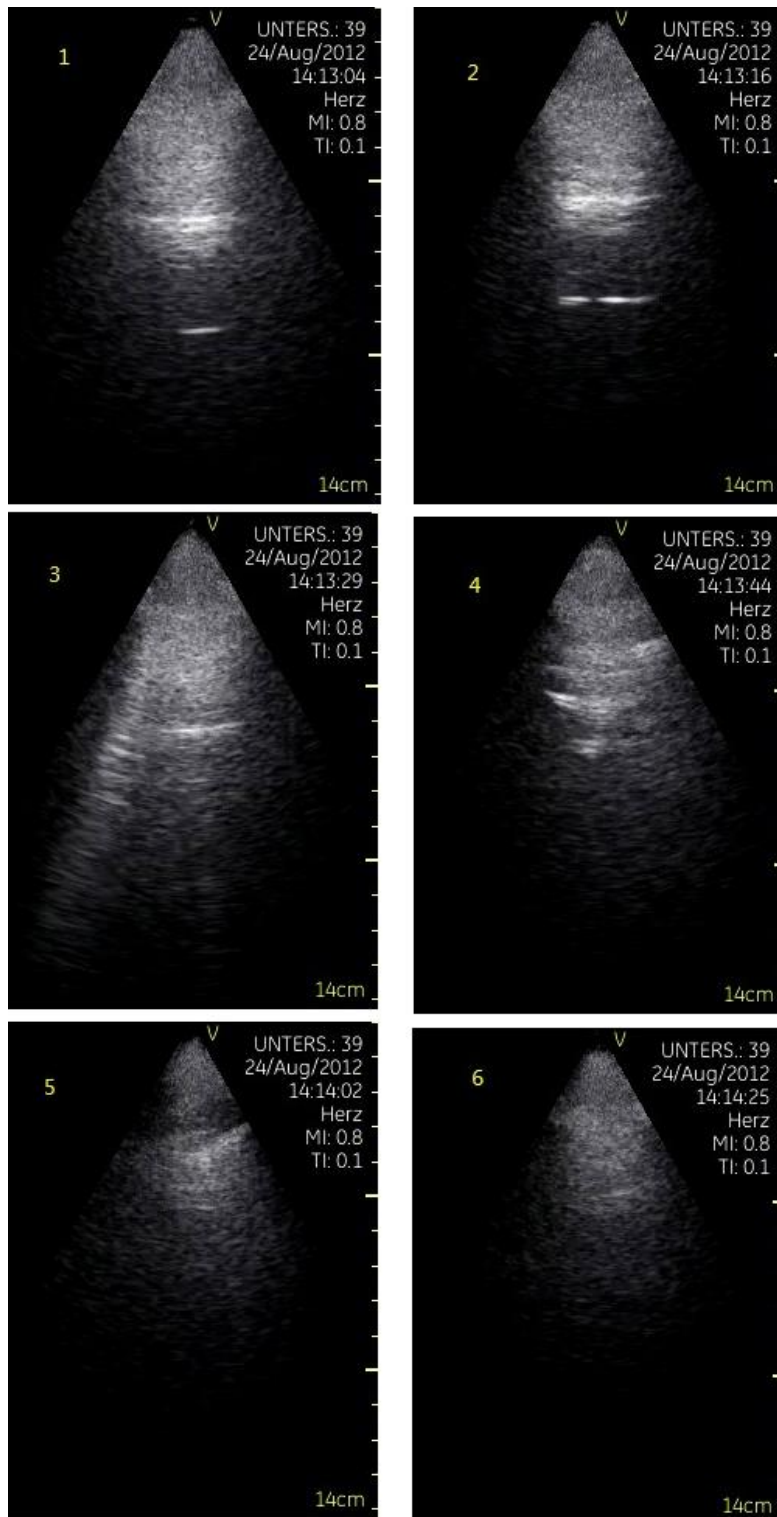


Abbildung 12- Erneute Untersuchung des Patienten am 4. Tag auf der Normalstation. In den Schallfenstern 3 und 4 konnten jeweils zwei B-Linien gefunden werden. In allen vier anderen Schallfenstern waren keine B-Linien mehr auszumachen. Besonders in den Fenstern 1 und 2 ist die Pleuralinie mit der darunter parallel verlaufenden Reverberation sichtbar.

3.9.2 Fallbeispiel 2

Fallnummer 19

Geburtsjahr 1930, weiblich

Verdachtsdiagnose durch den Notarzt: Tachyarrhythmie

- SPO2: 95% unter Raumluft
- RR: 131/98
- Puls: um 100/min
- Körpertemperatur: 37,7 C

Das EKG zeigt einen vorbekannten Linksschenkelblock sowie eine Tachyarrhythmia absoluta.

Vom Rettungsdienst erhielt die Patientin bereits 500-ml Ringerlösung sowie 3mg Diazepam intravenös. Sie berichtet seit vier Tagen Herzrasen mit unregelmäßigem Pulsschlag sowie ein thorakales Engegefühl zu haben. Zusätzlich wird eine zunehmende Belastungsdyspnoe angegeben. In der körperlichen Untersuchung fallen in der Auskultation der Lunge beidseits basal betonte, feuchte Rasselgeräusche auf. Noch vor Anfertigung des Röntgenbildes erhält die Patientin vom Aufnahmearzt 40 mg Lasix i.v..

Das im Verlauf angefertigte Röntgenbild des Thorax zeigt ein global vergrößertes Herz, Zeichen der pv- Stauung sowie kleine Pleuraergüsse beidseits basal.

In der zuvor durchgeführten Lungensonographie zeigen sich in allen sechs Schallfenstern zahlreiche B-Linien (Punktsumme 13) und damit genau wie im Röntgenbild der Zustand einer pv-Stauung (Abb. 13). Die Untersuchung dauert 110 Sekunden.

Die Patientin hat in der Vorgeschichte ein bekanntes Vorhofflimmern.

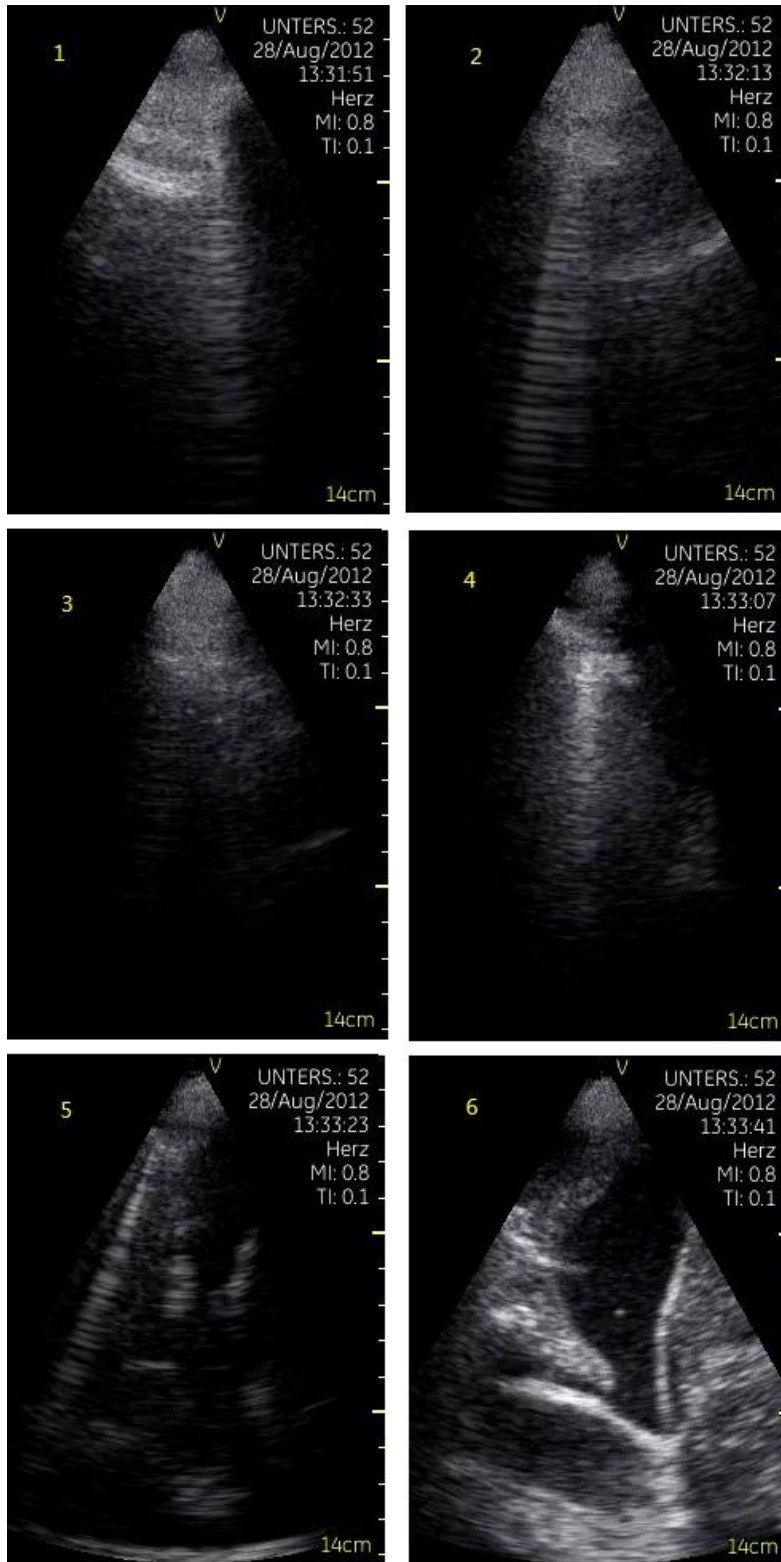


Abbildung 13- Fallbeispiel 2 In Schallfenster 1 zeigen sich mehr als 5, in den weiteren Fenstern jeweils 3-5 B-Linien. In 5 und 6 fallen beidseits Pleuraergüsse auf.

Am vierten Tag im Krankenhaus erfolgt eine weitere Sonographie der Lunge. Die Patientin fühlt sich subjektiv deutlich besser, die Dyspnoe ist kaum noch vorhanden. Die Punktsumme beträgt nun noch 2 und zeigt damit eine gelungene Rekompensation (Abb. 14).

Nach sieben Tagen Aufenthalt im Krankenhaus kann die Patientin entlassen werden. Die Abschlussdiagnose lautet: „Kardiale Dekompensation im Rahmen einer TAA-Episode“.

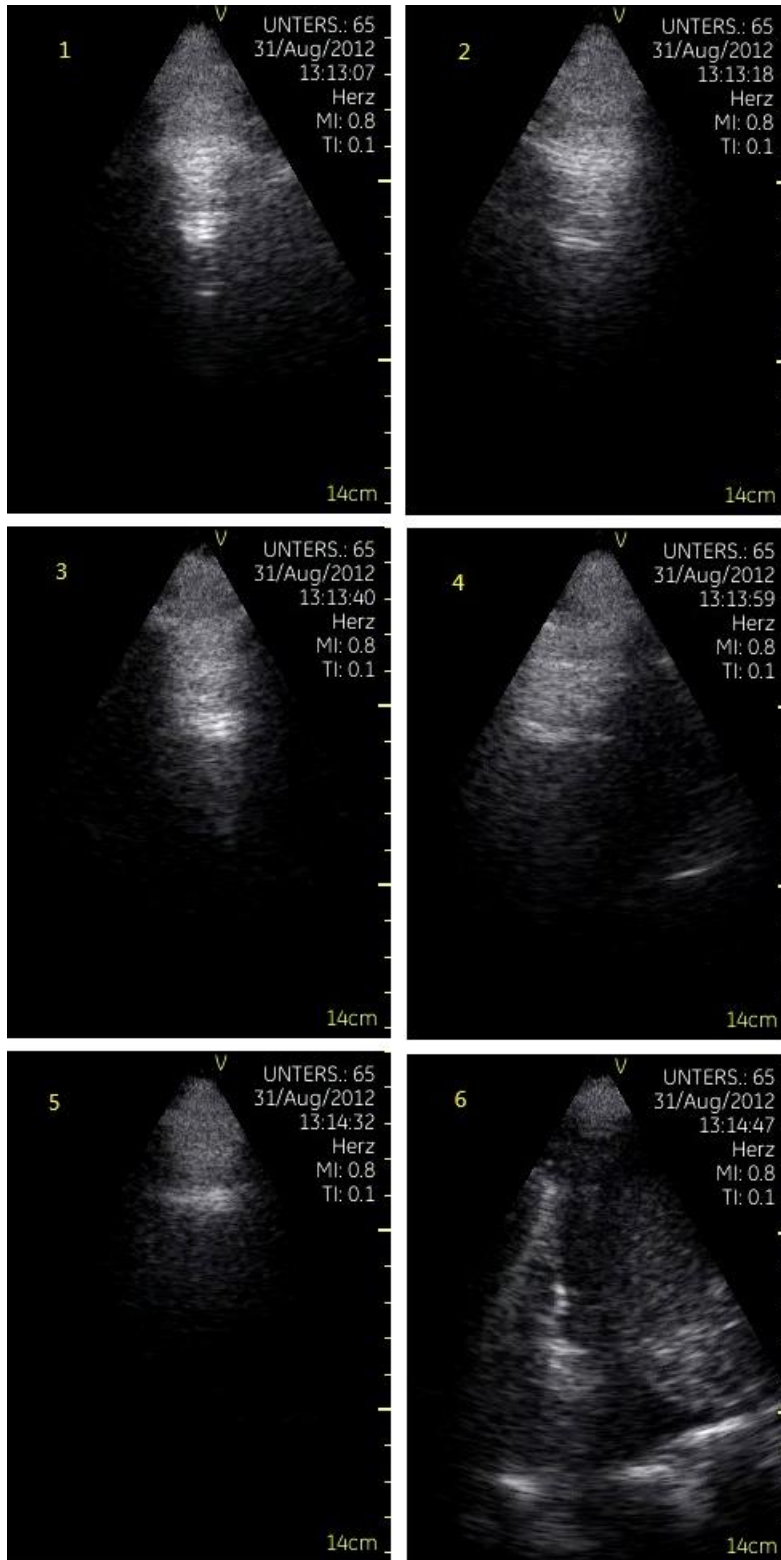


Abbildung 14- Am 4. Krankenhaustag finden sich in der Sonographie kaum noch B-Linien. In Schallfenster 4 beträgt die Anzahl noch 1, in 5 und 6 jeweils 2. Der Pleuraerguss in Fenster 6 ist noch vorhanden. Die Punktsomme beträgt nun nur noch 2.

3.9.3 Fallbeispiel 3

Fallnummer 1

Geburtsjahr 1932, männlich

Verdachtsdiagnose Notarzt: Ausschluss ACS/Asthma Cardiale, V.a. Atemwegsinfekt

- SPO2 unter 2l/min O2-Gabe: 93%
- RR: 120 syst.
- Puls: 67/min
- Körpertemperatur: 37,9 C

Schrittmacher-EKG

Durch den Rettungsdienst erhielt der Patient 2 Hübe Berotec-Spray sowie eine Ringer-Infusion.

Er gibt seit zwei bis drei Tagen bestehende, progrediente Dyspnoe in Ruhe mit thorakalem Druckgefühl an. Weiterhin bestünde produktiver Husten sowie Wadenkrämpfe. In der Auskultation der Lunge findet sich ein verschärftes Atemgeräusch mit Giemen und Brummen.

Der Patient erhält kein Lasix.

Im durchgeführten Röntgenbild des Thorax zeigt sich keine Stauung und kein Infiltrat. Auf der rechten Seite besteht ein Pleuraerguss.

In der Lungensonographie (hier aus organisatorischen Gründen erst am dritten Tag nach Aufnahme möglich) zeigen sich kaum B-Linien, die Punktsumme beträgt lediglich 1. Dies spricht dafür, dass dieser Patient, im Gegensatz zu den zuvor genannten, nicht an einer kardialen Dekompensation mit pv- Stauung leidet, sondern eher an einer pulmonalen Dyspnoeursache. Die hierbei in der Lungensonographie nachgewiesene „trockene Lunge“ lässt dabei vor allem an eine COPD denken.

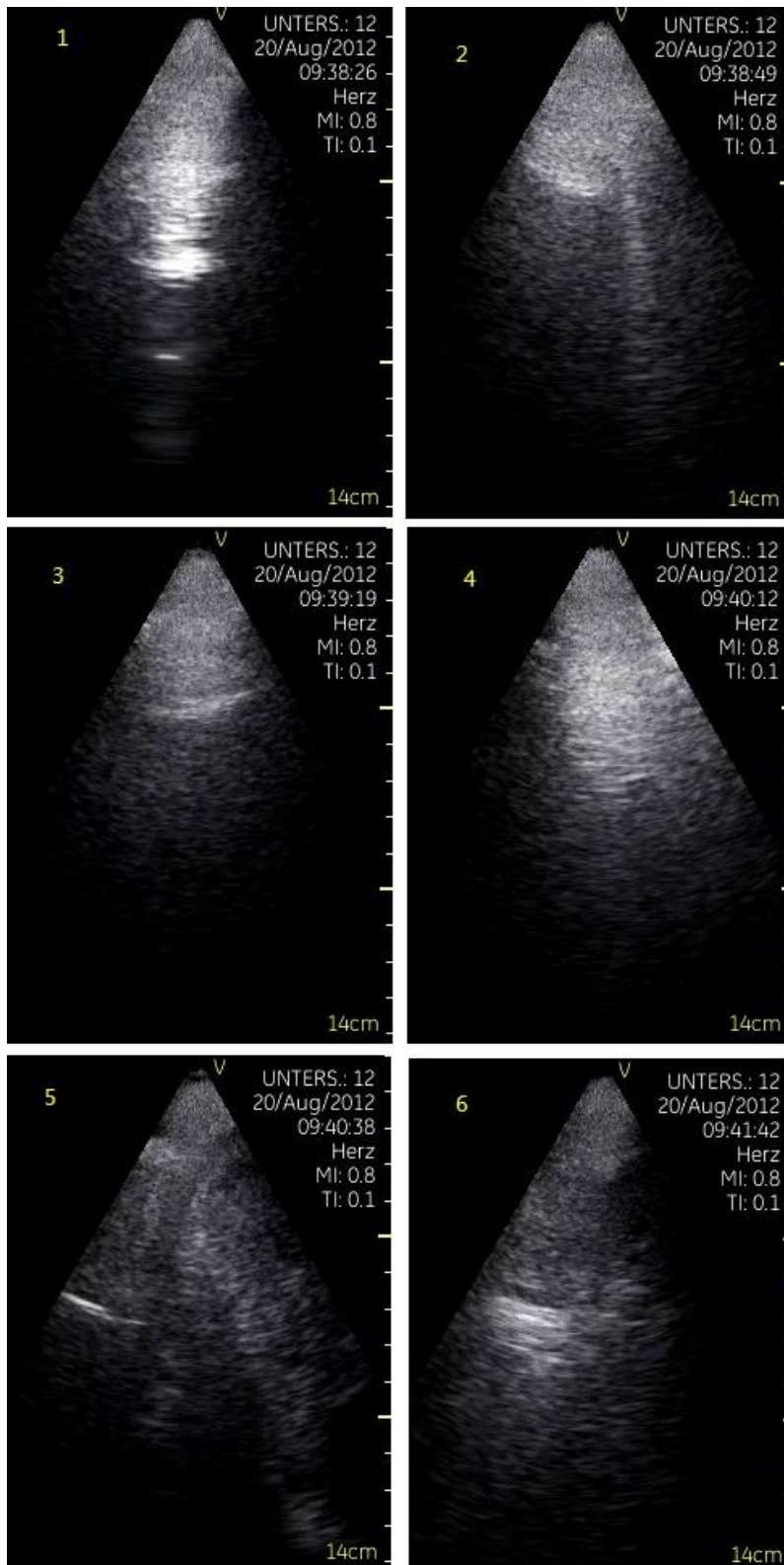


Abbildung 15- Fallbeispiel 3 In Schallfenster 2 zeigen sich 2 B-Linien (hier 1 sichtbar), in den anderen Fenstern finden sich jeweils 0-1 B-Linie. Die Punktsumme beträgt 1. In 5 kann am rechten Bildrand Lebergewebe erkannt werden. Im bewegten Bild zeigt sich hier ein Pleuraerguss.

Die Untersuchung dauert 195 Sekunden (Abb. 15). Es besteht nach wie vor Ruhedyspnoe und der Patient erhält Sauerstoff über eine Nasensonde.

In der Vorgeschichte findet sich eine systolische Herzinsuffizienz bei 2-Gefäß-KHK sowie Z.n. kardialer Dekompensation.

Der Patient kann nach fünf Tagen entlassen werden. Die Abschlussdiagnose lautet: Infektexazerbierte COPD.

4 Diskussion

Im Folgenden erfolgt die Diskussion der in der Zielsetzung aufgestellten sechs Fragestellungen. Gleichzeitig wird ein Vergleich mit vorbestehender Literatur zum Thema Lungensonographie durchgeführt. Da gerade in der Notfallmedizin Fallbeispiele häufig Anwendung finden, wurden auch in dieser Untersuchung drei Fallbeispiele behandelt, deren Diskussion anschließend erfolgt.

4.1 Überprüfung der Fragestellung

Zu Beginn wird die Frage nach der Anwendbarkeit des Verfahrens durch den in der Sonographie Ungeübten diskutiert (1). Es folgt die Betrachtung der, im Vergleich zu etablierten Sonographiegeräten, geringeren Auflösung des hier verwendeten Geräts (2). Inwieweit eine sichere Unterscheidung zwischen kardialen und pulmonalen Dyspnoeursachen möglich ist, wird im nächsten Schritt dargelegt (3). Anschließend erfolgt in Schritt (4) die Untersuchungsdauer. In Schritt (5) wird dann auf die Frage nach dem gleichzeitigen Auftreten von kardialen und pulmonalen Erkrankungen bei Patienten mit akuter Dyspnoe eingegangen. Abschließend erfolgt eine Betrachtung der Verteilung von B-Linien auf die einzelnen Fenster, mit der Frage nach dem wichtigsten Schallfenster (6).

1. Ist es einem Untersucher mit geringer Erfahrung in der Sonographie möglich das Verfahren der B-Linien gestützten Lungensonographie mit einem portablen Ultraschallgerät in einer internistischen Notaufnahme durchzuführen?

Die für die hier vorliegende Studie durchgeführten Untersuchungen erfolgten im Grunde nach den von Lichtenstein et al begründeten Grundlagen der Lungensonographie [5]. Im Unterschied hierzu wurden jedoch andere Schallfenster (Abb. 7) benutzt. So wurde der Thorax beim auf der Untersuchungsfläche bzw. im Bett liegenden Patienten in drei verschiedenen Höhen geschallt, während Lichtenstein sich auf jeweils drei Zonen von anterior über lateral nach posterolateral konzentrierte.

Das vom Autor eingesetzte Verfahren wurde in einem DEGUM- Kurs zur Lungensonographie gelehrt (s.o). Durch die Untersuchung der Schallfenster 5 und 6 war es möglich etwaige Pleuraergüsse zu detektieren. Weitere Unterschiede bestanden in der Wahl der Sonographiegeräte. So wurde in der hier vorliegenden Arbeit der VSCAN der Firma GE Healthcare (Abb. 3 und 4), und damit ein kleines, mobiles Gerät das in der Kitteltasche Platz findet, benutzt. Dieses ist mit einem Sektorschallkopf ausgestattet. In der Arbeit von Lichtenstein fand ein stationäres Gerät mit Konvexschallkopf Verwendung. Weiterhin untersuchte der Autor Patienten, die in der Notaufnahme aufgenommen wurden. Diese litten zwar an unterschiedlich stark ausgeprägter Dyspnoe, waren jedoch kardiovaskulär soweit stabil, dass sie keine Intensivbehandlung benötigten. Im Unterschied hierzu handelte es sich bei den von Lichtenstein et al untersuchten Personen um Intensivpatienten [5]. Auch die meisten anderen Autoren, die sich in der Vergangenheit mit dem Thema Lungensonographie auseinandergesetzt haben, nutzten diesen auf Intensivstationen [4, 5, 28].

Die Anwendung der Lungensonographie in der täglichen Routine der Notaufnahme gelang problemlos. Nach einer kurzen Schulung in einem zweitägigen Kurs (s.o.), sowie einer Hospitation mit der Möglichkeit die B-Linien gestützte Lungensonographie weiter zu vertiefen, konnte der Autor das Verfahren bei allen Dyspnoepatienten durchführen. Zuvor wurde bereits in anderen Arbeiten gezeigt, dass diese Form der Lungendiagnostik nach kurzer Schulung leicht anzuwenden ist und im Ergebnis Anfänger in diesem Verfahren mit Erfahrenen mithalten können [32, 33, 24]. In der hier vorliegenden Untersuchung gibt es zwar keinen direkten Vergleich zwischen neu geschulten Anwendern und den darin bereits Erfahrenen, jedoch zeigt sich eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse mit den konventionell erhobenen Diagnosen. Somit lässt sich sagen, dass die B-Linien gestützte Lungensonographie mittels mobilen Ultraschallgeräts bereits nach kurzer Schulung sicher angewendet werden kann und keine weitreichenden Vorerfahrungen in der Sonographie vorliegen müssen.

2. Reicht die im Vergleich zu größeren Geräten geringere Auflösung für die Diagnostik der Dyspnoe aus?

Bei Sichtung der vorhandenen Literatur zum Thema B-Liniendiagnostik fällt auf, dass die meisten Untersuchungen mit regulären Sonographiegeräten durchgeführt worden sind. Bereits 1982 entdeckte eine Gruppe von US-amerikanischen Ärzten um den Radiologen Marvin C. Ziskin an der Temple University in Philadelphia das sogenannte „comet tail artifact“. Bei der Ultraschall-Untersuchung eines Patienten der eine abdominelle Schussverletzung mit einer Schrotflinte erlitten hatte, zeigten sich jeweils distal der im Bauch verstreut liegenden Geschosse kometenartig verlaufende Linien [21]. Dabei handelte es sich um ein Artefakt distal einer stark reflektierenden Struktur, die auftritt wenn ein ausgeprägter akustischer Impedanzunterschied zwischen der Struktur und deren Umgebung besteht [22].

Dieses Artefakt konnte auch in der Sonographie der Lunge nachgewiesen werden [21, 23]. Dabei bestanden neben kurzen Kometenartefakten auch langgezogene, die bis zum Rand des Ultraschallmonitors reichten.

In der Folgezeit wurden weitere Studien zu der Thematik veröffentlicht und es wurde ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten des Artefakts und dem Vorhandensein eines Lungenödems ermittelt [4, 5, 25]. Diese Untersuchungen erfolgten mit nicht mobilen Sonographiegeräten mit Konvexschallkopf und zumeist bei Patienten auf der Intensivstation. Einen Sektorschallkopf, wie er in der hier vorliegenden Arbeit angewendet wurde, hielten frühere Autoren wegen der im Vergleich zum Konvexschallkopf niedrigeren Auflösung für ungeeignet [5].

Im Gegensatz dazu gibt es einige Untersucher die ebenfalls einen kardialen Sektorschallkopf sowie ein tragbares Sonographiegerät benutzten. Dieses hatte jedoch im Vergleich zum VSCAN noch die Größe eines Notebooks. Daneben wurden in der selben Studie Patienten mit einem stationären Gerät untersucht. Im Ergebnis ergaben sich für beide Gruppen ähnliche Ergebnisse. Die Autoren folgerten daraus, dass die Lungensonographie eine einfache Möglichkeit sei um schnell Aussagen über den Lungenwasserstatus eines Patienten zu erhalten.

Von Vorteil sahen sie die gute Durchführbarkeit direkt am Patientenbett [29]. Blanco et Cianciulli untersuchten in einer aktuellen Arbeit den Nachweis des Lungenödems bei kritisch kranken Patienten und nutzten neben voll ausgestatteten, klassischen Sonographiegeräten auch ein tragbares Gerät [35]. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass sich durchaus auch einfachere, tragbare Geräte zum B-Linien Nachweis eignen, da es sich bei dieser Form der Diagnostik um ein unkompliziertes, einfaches Verfahren handelt.

Ebenfalls einen kardialen Sektorschallkopf verwendeten Gargani et al 2007. Sie führten den Lungensonoschall an Patienten durch, die mit akuter Dyspnoe (NYHA II – IV) aufgenommen wurden. Gleichzeitig wurden die NT-proBNP- Werte bestimmt. Die Autoren bewerteten die Richtigkeit der Lungensonographie zur Detektion einer kardial bedingten Dyspnoe als hoch ein. Sie schlugen die Methode vor allem für die Notfallsituation vor. Sie sei leicht durchführbar und man könne einen schnellen Nachweis von Lungenwasser erhalten. Die Bestimmung des Natriuretischen Peptides hielten sie aber für die stärkere Methode in der Differenzialdiagnose der akuten Atemnot [30].

Die hier vorliegende Arbeit zeigt dass die Lungensonographie mit kleinem, tragbarem und mit Sektorschallkopf ausgestattetem Sonographiegerät durchaus möglich ist und zu verwertbaren Ergebnissen führt. Die im Vergleich zu größeren Geräten, die mit Konvexschallköpfen ausgestattet sind, geringere Auflösung erscheint hierbei nicht nachteilig. Offen bleibt die Frage ob eine geringere Auflösung nicht sogar zu zusätzlicher Artefaktbildung beitragen könnte und somit pulmonale Stauungszustände noch eher zu erkennen wären. Da in der vorliegenden Arbeit ausschließlich das VSCAN genutzt wurde, konnte nicht untersucht werden ob sich die Ergebnisse auch mit anderen Sonographiegeräten bestätigen lassen. Dazu wäre ein direkter Vergleich mit einem zweiten, stationären Sonographiegerät notwendig. Unter Umständen wäre die hier vorgenommene Punkteverteilung bzw. Punktschwere ab der eine pv- Stauung als gegeben angesehen wird bei einem Gerät mit höherer Auflösung nicht eins zu eins übertragbar.

3. Kann eine sichere Unterscheidung zwischen kardialen und pulmonalen Dyspnoeursachen aufgrund der B-Linien gestützten Lungensonographie erfolgen?

Bei Betrachtung der Ergebnisse wird klar, dass mithilfe der B-Linien gestützten Lungensonographie eine Unterscheidung zwischen Patienten mit kardialen und Patienten mit pulmonalen Dyspnoeursachen grundsätzlich möglich ist. Die sichere Unterscheidung zwischen kardialer Dekompensation und einer Pneumonie stellt sich dabei schwieriger dar, als die Unterscheidung zwischen kardialer Dekompensation und COPD. Dies liegt vor allem daran, dass sowohl bei der Kardialen Dekompensation mit Flüssigkeitsbildung in der Lunge, als auch bei einer ausgeprägten Pneumonie B-Linien-Artefakte in der Sonographie darstellbar sind. Tendenziell treten diese bei kardialen Dyspnoeursachen zwar häufiger auf, eine sichere Unterscheidung ist aber nicht immer einfach. Ein Hinweis kann die Verteilung der B-Linien geben. Diese sind bei der Pneumonie eher lokal zu finden, während in allen sechs Schallfenstern auftretende B-Linien eher für die kardiale Dekompensation mit pv- Stauung sprechen. Somit muss neben der Ultraschalldiagnostik auch immer das gesamte klinische Erscheinungsbild und die Anamnese des Patienten mit bedacht werden. Die Differenzierung zwischen Kardialer Dekompensation und COPD gelingt hingegen sicherer, wobei es auch hierbei zu Fehldiagnosen kommen kann. Damit werden ähnliche Ergebnisse wie in früheren Untersuchungen ermittelt. So führten Prosen et al 2011 eine Untersuchung durch, in der die Differenzierung von akuter Herzinsuffizienz und pulmonalen Dyspnoeursachen mittels Lungensonographie und NTproBNP- Bestimmung in der Präklinik bzw. Notaufnahme durchgeführt wurde. Auch hierbei ließ sich die Sonographie stets anwenden. Die Autoren folgerten eine gute Eignung der Lungensonographie, einzeln oder in Verbindung mit NT-proBNP-Werten in der Differenzierung von Luftnot in der Präklinik [31].

4. Wie lange dauert die Untersuchung?

Die Durchführungsdauer der Sonographie wurde bei den einzelnen Untersuchungen bestimmt. Dabei muss beachtet werden, dass die reine Untersuchungszeit deutlich niedriger liegt, da in der hier ermittelten Zeit auch die Dauer der jeweiligen Speicherung der Bilder mit eingerechnet ist (s.o.). Somit erklärt sich die Differenz in der Untersuchungsdauer zu Studien anderer Autoren, bei denen sich die Lungensonographie in kürzerer Zeit durchführen ließ. So ermittelten Prosen et al Untersuchungszeiten von unter einer Minute [31]. Dennoch war es auch in der hier durchgeführten Untersuchung möglich, die Sonographie in der Regel in kurzer Zeit durchzuführen [Tab. 15]. Deutlich wird der Zeitvorteil vor allem im Vergleich zu anderen diagnostischen Maßnahmen, wie der Röntgenuntersuchung des Thorax, für die der Patient meist in andere Räumlichkeiten verbracht werden muss. Im Gegensatz hierzu kann die Lungensonographie mit mobilem Gerät direkt am Patientenbett durchgeführt werden und das Ergebnis liegt nach wenigen Minuten vor.

5. Wie häufig leiden Dyspnoepatienten gleichzeitig an kardialen und pulmonalen Erkrankungen, die den akuten Zustand erklären könnten?

Bei der akuten Dyspnoe handelt es sich um ein häufig anzutreffendes Krankheitsbild. Ebenso sind kardiale und pulmonale Erkrankungen häufig. Daher erscheint es nicht verwunderlich, dass viele Herzinsuffizienzpatienten beispielsweise gleichzeitig an pulmonalen Erkrankungen leiden.

Studien über die Prävalenz von COPD bei Patienten mit Herzinsuffizienz ermitteln Werte von bis zu 52% [34]. Eine mögliche Ursache wird in den gemeinsamen Risikofaktoren, nämlich der systemischen Inflammation und dem Nikotinkonsum vermutet [34]. Auch in der hier vorliegenden Arbeit finden sich Patienten, die mit akuter Dyspnoesymptomatik aufgenommen wurden und bei denen neben kardialen Grunderkrankungen als Dyspnoeursache auch eine vorbekannte COPD infrage kommt (siehe auch Fallbeispiel 3) . Nicht zuletzt in diesen Fällen erscheint die Lungensonographie mit der Frage nach dem

Vorhandensein von B-Linien als interessantes Diagnostikinstrument zur Ermittlung der Dyspnoeursache.

6. Welche Schallfenster sind für die Diagnostik am wichtigsten?

Die meisten B-Linien konnten bei der Sonographie in den Schallfenstern 3 und 4 gefunden werden. Gleichzeitig konnten diese bei den Untersuchungen sehr leicht und schnell eingesehen werden, während die Schallfenster 5 und 6 in einigen Fällen nicht sicher einzusehen waren, weil beispielsweise ausgedehnte Pleuraergüsse vorlagen. Bei Betrachtung von ausschließlich Schallfenster 3 und 4 ergeben sich ebenfalls gute Unterscheidungsmöglichkeiten von Kardialer Dekompensation und COPD. Es wäre denkbar im Notfall zunächst einen Blick auf diese beiden Schallbereiche vorzunehmen. Dennoch hat sich gezeigt, dass die Unterscheidung zwischen Pneumonie und Kardialer Dekompensation nicht immer einfach ist. Hier kann sich ein Hinweis ergeben wenn bei der Pneumonie z.B. nur einzelne Schallfenster betroffen sind, während bei einer ausgeprägten Kardialen Dekompensation mit pv. Lungenstauung B-Linien in der gesamten Lunge nachzuweisen sind. Daher sollte in der Regel die komplette Untersuchung durchgeführt werden.

4.2 Betrachtung der Fallbeispiele

Die zuvor im Ergebnisteil dargestellten drei Fallbeispiele (siehe 3.9) zeigen den Einsatz der B - Liniengestützten Lungensonographie innerhalb der durchgeführten Studie. In den Fallbeispielen 1 und 2 konnte gezeigt werden, wie die in der Sonographie ermittelte Punktschwere jeweils nach Rekompensation und subjektiver Beschwerdebesserung des Patienten deutlich abgenommen hat. In der Aufnahmesituation konnte mittels kurzer Suche nach B-Linien die akute Dyspnoeursache dem kardialen Ursprung zugeordnet werden und nach einer Röntgenkontrolle schnell behandelt werden. Röhrig et al beschrieben in einem Fallbeispiel ebenfalls einen Patienten, der an akuter Luftnot litt, bei dem jedoch durch den Notarzt die Verdachtsdiagnose COPD gestellt wurde [36]. In der bei Aufnahme unmittelbar durchgeführten Lungensonographie fanden sich dann

aber wohl multiple B-Linien, so dass die Diagnose kardiales Lungenödem gestellt werden konnte und der Patient im Folgenden rekompensiert wurde. Auch bei diesen Autoren kam es im Verlauf der Rekompensation zu einer Abnahme der B-Linien. Das Nachlassen der B-Linienzahl bei klinischer Besserung nach kardialer Dekompensation wurde auch in einem weiteren Fallbeispiel beschrieben [12]. Als Ursache der kardialen Dekompensation im Fall von Röhrig et al wurde ein NSTEMI ermittelt. Sie beschrieben weiterhin, dass der Befund des Thorax Röntgenbildes die Ausprägung des Lungenödems deutlich unterschätzt hat und führten dies auf eine Überblähung der Lunge bei bekannter COPD zurück [36]. Auch in der hier vorliegenden Arbeit zeigten sich die Punktschichten, und damit die Anzahl an detektierten B-Linien, bei Patienten die gleichzeitig an einer kardialen Dekompensation und einer COPD litten niedriger, als bei Patienten deren Dyspnoeursache ausschließlich kardial begründet war [Tab. 7 und 9].

Fallbeispiel 3 zeigt hingegen einen Dyspnoepatienten mit primär pulmonaler Ursache, nämlich einer akut exazerbierten COPD. Im Gegensatz zu den ersten beiden Beispielen war die durch Lungensonographie ermittelte Punktschicht mit 1 deutlich geringer. Dies sprach gegen ein kardiales Problem mit Rückstauung von Flüssigkeit als Dyspnoeursache und für eine exazerbierte COPD [25]. Zudem zeigt das Beispiel die teilweise schwierige Differentialdiagnostik der Luftnot. Die notärztliche Einweisungsdiagnose lautete: „Ausschluss ACS/Asthma Cardiale, V.a. Atemwegsinfekt“. Zusätzlich hatte der Patient einen im EKG erkennbaren Herzschrittmacher. In der Vorgeschichte waren außerdem eine Systolische Herzinsuffizienz, eine 2-G- KHK sowie ein Z.n. kardialer Dekompensation bekannt. Darüber hinaus gab der Patient ein thorakales Engegefühl an. Zur Auswahl standen bei diesem Patienten neben pulmonalen also vor allem auch kardiale Dyspnoeursachen. Es ist bekannt, dass Patienten mit COPD häufig zusätzlich an kardialen Komorbiditäten leiden [26], umgekehrt findet sich bei großen Anteilen von Herzinsuffizienz Patienten eine COPD [34]. Gerade solche Patienten, die gleichzeitig an verschiedenen Komorbiditäten erkrankt sind, die den akuten Zustand erklären könnten dabei aber jeweils einer unterschiedlichen Behandlung bedürfen, könnten von einer schnellen Differentialdiagnostik mittels

Lungensonographie profitieren. Letztendlich wurde nach Röntgenuntersuchung und Auskultation, bei zudem erhöhter Körpertemperatur, die Diagnose einer exazerbierten COPD gestellt und das Ergebnis der Sonographie somit bestätigt.

Einen ähnlichen Fall beschrieben Aichinger und Zechner in einem Kongressbeitrag: Ein Patient mit bekannter Herzinsuffizienz und gleichzeitig bestehender COPD wurde präklinisch durch einen Notarzt wegen akuter Dyspnoe untersucht. Es fanden sich mit verlängertem Expirium sowie trockenen Rasselgeräuschen und Beinödemen gleichzeitig Anzeichen für beide Erkrankungen. In der durchgeführten Lungensonographie konnte ein Lungenödem ausgeschlossen werden, der Patient wurde erfolgreich mit Salbutamol und Prednisolon behandelt [42]. Auch in diesem Fall konnte durch die Nutzung der B-Linien gestützten Lungensonographie die Diagnose gestellt werden.

Diese drei Fälle zeigen exemplarisch, dass besonders die Unterscheidung zwischen kardialen und pulmonalen Dyspnoeursachen mithilfe der B-Linien gestützten Lungensonographie möglich ist.

4.3 Beurteilung der B-Linien gestützten Lungensonographie und Limitationen der vorliegenden Arbeit

Die Untersuchungen des Autors dieser Arbeit kommen insgesamt zu ähnlichen Ergebnissen wie die vorberschiebenen Untersuchungen zu der Thematik. Im Gegensatz zu den meisten anderen Studien wurde im Rahmen dieser Arbeit ein kleines, tragbares Sonographiegerät mit einem Sektorschallkopf genutzt. Zum Zeitpunkt der Durchführung war der Untersucher im Ultraschall größtenteils unerfahren. Die vorhandenen Erfahrungen begrenzten sich auf einen zweitägigen Kurs, in dem neben der Lungensonographie auch die Notfallsonographie des Abdomens (FAST) sowie die Ultraschalldiagnostik des Pneumothorax und der Trachea gelehrt wurden. Nachfolgend hospitierte er zwei Tage in der Notaufnahme des Krankenhauses Frankfurt Hoechst. Hierbei konnte der Autor seine Kenntnisse in der B-Liniensonographie an verschiedenen

Patienten unter professioneller Anleitung eines DEGUM-Ausbilders vertiefen. Trotz dieser relativ kurzen Schulung und mit nur wenig klinischer Erfahrung als Medizinstudent im klinischen Abschnitt war es möglich, die Lungensonographie bezüglich der B-Liniendiagnostik sicher durchzuführen. Dies spricht für die leichte Erlernbarkeit und Durchführbarkeit dieser Methode. Die Untersuchungen gingen schnell und waren problemlos in der täglichen Routine einer großen, internistischen Notaufnahme anwendbar. Durch die kurze Untersuchungsdauer wurde die Versorgung und weitere Diagnostik der Patienten nicht verzögert. Die Ultraschalluntersuchung hat keine Nebenwirkungen und kann nach der Erfahrung des Autors bereits durch unerfahrene Sonographierer nach einer kurzen Schulung eingesetzt werden. Dabei ist die Untersuchung mit einem mobilen Gerät direkt am Patientenbett möglich. Somit erhält der Anwender deutlich schneller Hinweise zur weiteren Differenzialdiagnostik zwischen kardialer Dekompensation und pulmonalen Ursachen der akuten Luftnot. Dies ist auch von Vorteil, wenn eine Röntgenuntersuchung aufgrund des Patientenzustandes nicht sofort möglich ist, beispielsweise bei Verdacht auf einen akuten Herzinfarkt bei dem ein Transport in die Röntgenabteilung nur unter ärztlicher Überwachung möglich ist. Zudem verstärkt sich die Luftnot bei Dyspnoepatienten häufig in liegender Position [37], während die Lungensonographie auch leicht beim sitzenden Patienten durchgeführt werden kann [38].

Neben der schnellen und leichten Durchführbarkeit sprechen die guten Ergebnisse für den schnellen Check nach B-Linien. Die Ergebnisse zeigen dass es sich auch bei der Untersuchung mit einem kleinen, mobilen Gerät mit begrenzter Auflösung um ein Verfahren handelt, welches ein relativ verlässliches Instrument zur Beurteilung des Flüssigkeitszustandes der Lungen darstellt. Betrachtet man die durchschnittlichen Punktskizzen bezogen auf verschiedene Krankheitsbilder, wird die Differenzierung zwischen diesen mittels Lungensonographie deutlich [Tab. 6- 9].

Bei Betrachtung der Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Sonographie mit den Ergebnissen des Arztbriefes ergaben sich in einigen Fällen Unklarheiten. So

wurde in zwei Fällen eine im Röntgenbild diagnostizierte Lungenstauung in der Sonographie nicht nachgewiesen. Interessanterweise wurde diese Stauung in beiden Fällen im Entlassbrief nicht in die Abschlussdiagnose aufgenommen (siehe Fallnummern 12 und 16 [Tab. 12]) und es handelte sich nicht primär um Herz- oder Lungenerkrankungen. In einem Fall wurde der Patient bei Aufnahme als nicht pv gestaut angesehen. Das Röntgenbild zeigte sich diesbezüglich negativ. Im Widerspruch dagegen stand die Lungensonographie, die mit einer Punktschätzung von 6 für eine Stauungskomponente sprach und in dieser Arbeit als falsch positiv gewertet wurde. Dem Patienten wurde jedoch zwei Tage später Lasix verabreicht, woraufhin eine Besserung seiner Dyspnoesyndromatik eintrat. In der Abschlussdiagnose im Arztbrief wurde eine „Kardiale Dekompensation bei TAA und VHF“ eingetragen. In einem anderen Fall erbrachte die Sonographie mit einer Punktschätzung von 8 eine Lungenstauung, während im Röntgenbild keine Stauung festgestellt wurde und die Abschlussdiagnose „Pneumogene Sepsis, chron. Niereninsuffizienz IV“ lautete. Daher stellt sich die Frage ob in einzelnen Fällen die B-Linien gestützte Sonographie eine Stauungskomponente schon vor der Röntgenuntersuchung darstellen könnte. Gleichzeitig zeigt sich auch die Gefahr der Verwechslung mit einer Pneumonie.

Wie weiter oben erwähnt, leidet ein hoher Anteil der Patienten die in einer internistischen Notaufnahme aufgenommen werden gleichzeitig an verschiedenen Erkrankungen. So haben viele Herzinsuffizienzpatienten gleichzeitig eine COPD und umgekehrt. Gerade wegen dieser häufigen Komorbiditäten bei Dyspnoepatienten stellt sich die Frage nach der Ätiologie im akuten Fall. Die Röntgenuntersuchung des Thorax sollte hierbei nach Auffassung des Autors nicht durch die Lungensonographie ersetzt werden, da es sich hierbei um ein etabliertes Diagnostikinstrument handelt, welches im Gegensatz zur schnellen Ultraschalluntersuchung auch noch viele weitere Befunde liefern kann, wie den Nachweis etwaiger Verletzungen, der Herzgröße oder einer Pneumonie, die auch immer zur Differentialdiagnose bei akuter Luftnot zählen muss [39]. Vielmehr sieht er in der Sonographie mit der Frage nach dem Vorhandensein von B-Linien eine erste, schnell und leicht durchführbare Methode, die dem aufnehmenden Arzt einen ersten Eindruck zur Dyspnoeursache liefern kann und

dadurch eine schnelle Behandlung, wie z.B. die Gabe von Diuretika bei kardialer Stauung ermöglicht.

Limitationen dieser Arbeit finden sich in der Tatsache, dass es nur einen Untersucher gab und es sich mit einer Anzahl von 39 Patienten um eine überschaubare Probandenanzahl handelte. Durch größere Fallzahlen könnten insbesondere die Möglichkeiten zur Abgrenzung der Pneumonie von der COPD bzw. der kardialen Dekompensation untersucht werden. Zudem konnten keine instabilen Personen eingeschlossen werden, da diese direkt auf die Medizinische Intensivstation aufgenommen wurden und damit in der Notaufnahme nicht für eine Untersuchung zur Verfügung standen. Interessant wären große, multizentrische Studien mit verschiedenen Untersuchern und höheren Fallzahlen, in denen insbesondere die COPD stärker repräsentiert werden würde. Auch eine Untersuchung im Rettungsdienst durch Rettungsassistenten, die im Umgang mit der Lungensonographie geschult wurden könnte deren Anwendungsmöglichkeiten erweitern. Dass die B-Liniendiagnostik durch Rettungsdienstpersonal nach kurzer Ausbildung anwendbar ist, konnte am Beispiel des Autors und dem einer ebenfalls im Rettungsdienst tätigen Kommilitonin gezeigt werden und wurde von diesen in einer Veröffentlichung beschrieben [12].

Zusammenfassend sprechen die hier vorliegenden Ergebnisse dafür, dass es sich bei der B-Linien gestützten Lungensonographie mit mobilem Sonographiegerät und Sektorschallkopf, um eine leicht zu erlernende und schnell durchführbare, sowie verlässliche Methode in der Differenzialdiagnostik der akuten Dyspnoe handelt. Patienten mit kardialer Dekompensation können hierdurch diagnostiziert werden.

5 Zusammenfassung

Die akute Dyspnoe ist ein häufiger Aufnahmegrund für Patienten in einer internistischen Notaufnahme. Die für eine schnelle Behandlung notwendige Differenzierung zwischen pulmonalen Ursachen wie einer akut exazerbierten COPD und kardialen Ursachen wie der akuten, dekompensierten

Herzinsuffizienz ist dabei initial oftmals nicht sicher möglich. Weit verbreitet in der Diagnostik ist das Röntgenbild des Thorax, welches jedoch einige Zeit in Anspruch nimmt und oftmals nicht unmittelbar nach Aufnahme durchgeführt werden kann. Weitere Instrumente, wie die körperliche Untersuchung und genaue Anamnese sind wichtig, oft aber auch nicht eindeutig. Nicht zuletzt leiden zahlreiche Patienten an mehreren Krankheiten gleichzeitig. Insbesondere bei COPD- Patienten zeigen sich häufig gleichzeitig auch kardiale Symptomatiken.

Eine Möglichkeit zur schnellen Differenzierung zwischen pulmonalen und kardialen Dyspnoeursachen stellt die Lungensonographie mit der Frage nach dem Vorhandensein und der Anzahl von B-Linien dar. Dabei handelt es sich um Ultraschallartefakte, die vermutlich an den Grenzflächen von Wasser und Luft entstehen und ein Hinweis auf Flüssigkeit in der Lunge darstellen. In der hier vorliegenden Untersuchung konnten durch den Autor in der internistischen Notaufnahme der Universitätsklinik Würzburg 39 Patienten, die mit einer Dyspnoesympptomatik aufgenommen wurden, mittels Lungensonographie untersucht werden. Dafür wurde ein kleines, tragbares Gerät mit Sektorschallkopf benutzt. Die Ergebnisse der Lungensonographie wurden mit den Ergebnissen der Röntgenbilder und der Abschlussdiagnose im Entlassbrief verglichen. Es zeigte sich, dass Patienten mit pulmonaler Dyspnoeursache in der Regel keine bzw. nur sehr vereinzelt auftretende B-Linien aufweisen, während kardial dekompensierte Patienten meist zahlreiche und in verschiedenen Schallpositionen vorkommende Artefakte zeigen.

Daneben handelt es sich bei der Lungensonographie um eine leicht zu erlernende, schnell und einfach durchführbare Methode, die schon in der internistischen Notaufnahme direkt beim Patienten anwendbar ist.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Fedullo A,J, Swinburne A,J, McGuire-Dunn C (1986). "Complaints of breathlessness in the emergency department. The experience at a community hospital." N Y State J Med 86(1): 4-6.
- [2] McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Böhm M, Dickstein K, Falk V et al. (2012) ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012, European Heart Journal 33:1787-1847
- [3] Vogelmeier C, Buhl R, Crièe C.P, Gillissen A, Kardos P, Köhler D, Magnussen H et al. (2007) Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin zur Diagnostik und Therapie von Patienten mit chronisch-obstruktiver Bronchitis und Lungenemphysem (COPD). Pneumologie 61:e1-e40
- [4] Lichtenstein D, Meziere G, Biderman P, Gepner A, Barre O (1997) The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar- interstitial syndrome. Am J Respir Crit Care Med 156:1640-1646
- [5] Lichtenstein D, Mezière G (2008) Relevance of Lung ultrasound in the Diagnosis of Acute Respiratory Failure- The BLUE Protocol. Chest 134 (1): 117-125
- [6] Leitlinie der Paul-Ehrlich-Gesellschaft für Chemotherapie, der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin, der Deutschen Gesellschaft für Infektiologie und des Kompetenznetzwerks CAPNETZ - Epidemiologie, Diagnostik, antimikrobielle Therapie und Management von erwachsenen Patienten mit ambulant erworbenen tiefen Atemwegsinfektionen (akute Bronchitis, akute Exazerbation einer chronischen Bronchitis, Influenza und andere respiratorische Virusinfektionen) sowie ambulant erworbener Pneumonie Stand 2009
- [7] Freixa, X., Portillo K, Parè C, Garcya Aymerich J (2013). "Echocardiographic abnormalities in patients with COPD at their first hospital admission." Eur Respir J 41(4): 784-791.
- [8] Bingisser R (2009). Algorithms and protocols for acute dyspnea in the Emergency Department. Ther Umsch. 66(9): 632-634.
- [9] Mangione S, Nieman LZ (1999) Pulmonary Auscultatory Skills During Training in Internal Medicine and Family Practice, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol. 159, No. 4 (1999), pp. 1119-1124.
- [10] Universitätsklinikum Würzburg - Geschäftsbericht 2012

- [11] <http://www.medizin1.ukw.de/stationaere-patientenversorgung/stationen-der-intensivmedizin/internistische-notaufnahme-und-notaufnahmestation.html> Abruf am 1.11.2013
- [12] Blum S, Heringer F, Walcher F, Salinger T, Broscheit J, Seibel A, Dinse-Lambracht A, Campo Dell'Orto M, Breitzkreutz R, Ultraschall-basierte B-Linien-Diagnostik bei Luftnot : Geeignet für den Rettungsdienst? Rettungsdienst 36 (9-2013),S. 63-67
- [13] Internetseite von GE- Healthcare <https://vscan.gehealthcare.com/> Abruf am 1.11.2013
- [14] Sono Grundkurs - Ein Arbeitsbuch für den Einstieg von Matthias Hofer 6. Auflage S. 6 ff. Thieme Verlag
- [15] Kulke H. M (2014) Die Bedeutung des Röntgenbildes des Thorax – von der Deskription zur Diagnose Zentralbl Chir 2014; 139: 114–119 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York · ISSN 0044-409X
- [16] Röntgendiagnostik von Thoraxerkrankungen: Von der Deskription zur Diagnose von H. M. Kulke 1. Auflage De Gruyter 2013
- [17] Röntgendiagnostik von Thoraxerkrankungen: Von der Deskription zur Diagnose von H. M. Kulke 1. Auflage S. 162 ff. De Gruyter 2013
- [18] Squire`s Radiologie - Grundlagen der klinischen Diagnostik von Robert A. Novelline 2. Auflage S. 183-185 Schattauer
- [19] Röntgendiagnostik von Thoraxerkrankungen: Von der Deskription zur Diagnose von H. M. Kulke 1. Auflage S. 100 De Gruyter 2013
- [20] Kurzlehrbuch Innere Medizin von H.-W. Baenkler et. al. 2. Auflage S.161 Thieme
- [21] Ziskin MC, Thickman DI, Goldenberg NJ, Lapayowker MS, Becker JM (1982) The comet tail artifact. J Ultrasound Med 1(1):1-7
- [22] Thickman DI, Ziskin MC, Goldenberg NJ, Linder BE (1983) Clinical manifestations of the comet tail artifact. J Ultrasound Med 2(5):225-30
- [23] Targhetta R, Chavagneux R, Balmes P, Lemerre C, Mauboussin JM, Bourgeois JM, Pourcelot L (1994) Sonographic lung surface evaluation in pulmonary sarcoidosis: preliminary results. J Ultrasound Med 13(5):381-8
- [24] Chiem A, Chan C, Ander D, Kobylivker A, Manson W (2015) Comparison of Expert and Novice Sonographers` Performance in Focused Lung Ultrasonography in Dyspnea (FLUID) to Diagnose Patients With Acute Heart Failure Syndrome. Acad Emerg Med. 2015, 22(5):564-73

- [25] Lichtenstein D, Mezière G (1998) A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive Care Med* (1998) 24:1331-1334
- [26] Frei A, Muggensturm P, Putcha N, Siebling L, Zoller M, Boyd C, Riet G, Puhan M (2014) Five comorbidities reflected the health status in patients with chronic obstructive pulmonary disease: the newly developed COMCOLD index. *Journal of Clinical Epidemiology* 2014 67;904-911
- [27] Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby J (2004) Comparative Diagnostic Performances of Auscultation, Chest Radiography, and Lung Ultrasonography in Acute Respiratory Distress Syndrome. *Anesthesiology* 2004; 100:9- 15
- [28] Copetti R, Soldati G, Copetti P (2008) Chest sonography: a usefull tool to differentiate acute cardiogenic pulmonary edema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovascular Ultrasound* 2008; 6:16
- [29] Zoltan J, Simonetta M, Vincenzo C, Eustachio A, Gaetano M, Massimo M, Eugenio P (2004) Usefulness of Ultrasound Lung Comets as a Nonradiologic Sign of Extravascular Lung Water. *Am J Cardiol* 2004;93:1265-1270
- [30] Gargani L, Frassi F, Soldati G, Tesorio P, Gheorghide M, Picano E (2007) Ultrasound lung comets for the differential diagnosis of acute cardiogenic dyspnoea: A comparison with natriuretic peptides. *European Journal of Heart Failure* 10 (2008) 70-77
- [31] Prosen G, Klemen P, Strnad M, Grmec S (2011) Combination of lung ultrasound (a comet- tail sign) and N-terminal pro-brain natriuretic peptide in differentiating acute heart failure from chronic obstructive pulmonary disease and asthma as cause of acute dyspnea in prehospital emergency setting. *Critical Care* 2011; 15:R114
- [32] Bedetti G, Gargani L, Corbisiero A, Frassi F, Poggianti E, Mottola G (2006) Evaluation of ultrasound lung comets by hand-held echocardiography. *Cardiovascular Ultrasound* 2006, 4:34
- [33] Noble V, Lamhaut L, Capp R, Bosson N, Liteplo A, Marx J-S, Carli P (2009) Evaluation of a thoracic ultrasound training module for the detection of pneumothorax and pulmonary edema by prehospital physician care providers. *BMC Medical Education* 2009, 9:3
- [34] Güder G, Brenner S, Störk S, Hoes A, Rutten F (2014) Chronic obstruktive pulmonary disease in heart failure: accurate diagnosis and treatment. *European Journal of Heart Failure* 2014, 16, 1273-1282
- [35] Blanco P, Cianciulli T (2016) Pulmonary Edema Assessed by Ultrasound: Impact in Cardiology and Intensive Care Practice. *Echocardiography* 2016, n/a

- [36] Röhrig S, Seibel A, Breitzkreutz R (2013) Respiratorisches Versagen in der Akut- und Intensivmedizin - Was kann die Lungensonographie leisten? Clinotel-Journal 2013, Artikel-ID #009
- [37] Mebazaa A, Pang P, Tavares M, Collins S, Storrow A, Laribi S, Andre S, Courtney D, Hasa J, Spinar J, Masip J, Peacock W, Sliwa K, Gayat E, Filippatos G, Cleland J, Gheorghiuade M (2009) The impact of early standart therapy on dyspnoea in patients with acute heart failure: the URGENT-dyspnoea study. European Heart Journal 2010, 31, 832-841
- [38] Frasure S, Matilsky D, Siadecki S, Platz E, Saul T, Lewiss R (2014) Impact of patient positioning on lung ultrasound findings in acute heart failure. Eur Heart J Acute Cardiovasc Care 2015 4(4):326-32
- [39] Prekker M, Feemster L, Hough C, Carlbom D, Crothers K, Au D, Rea T, Seymour C (2014) The Epidemiology and Outcome of Prehospital Respiratory Distress. Acad Emerg Med. 2014, 21(5): 543-550
- [40] Picano E, Gargani L (2012) Ultrasound lung comets: the shape of lung water. European Journal of Heart Failure 2012 14, 1194-1196
- [41] Liteplo A, Marill K, Villen T, Miller R, Murray A, Croft P, Capp R, Noble V (2009) Emergency Thoracic Ultrasound in the Differentiation of the Etiology of Shortness of Breath (ETUDES): Sonographic B.lines and N-terminal Pro-brain-type Natriuretic Peptide in Diagnosing Congestive Heart Failure. Academic Emergency Medicine 2009 16, Issue 3
- [42] Aichinger G, Zechner PM (2009) Lungensultraschall in der Differenzialdiagnostik der akuten Atemnot im Notarztdienst. Fall 2. Ultraschall in Med 2009; 30-K5_01

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1- Sonographie mit zwei B-Linien	7
Abbildung 2- Sonographie mit sichtbarer Pleuralinie und darunter folgenden Reverberationen	7
Abbildung 3- Sonographie mit sichtbarer Pleuralinie und darunter folgenden Reverberationen	8
Abbildung 4- Das eingeschaltete Gerät verfügt über einen 3,5 Zoll schwarz- weiß Monitor und kann in einer Hand gehalten werden	9
Abbildung 5- Der VSCAN kann mittels Docking-Station an einen Computer angeschlossen werden	10
Abbildung 6- Der bei den Untersuchungen eingesetzte Fragebogen	12
Abbildung 7- Die sechs Schallpunkte beim liegenden Patienten.....	14
Abbildung 8- Vergleich der durch Lungensonographie ermittelten Punktsommen bei den vier Krankheitsbildern.....	26
Abbildung 9- Vergleich der in der Sonographie ermittelten Punktsommen mit den Ergebnissen der Röntgenuntersuchung des Thorax	29
Abbildung 10- Die Untersuchungsdauer in Sekunden für die jeweilige Fallnummer	36
Abbildung 11- Die sechs Schallpositionen aus dem Fallbeispiel 1 sind dargestellt.....	38
Abbildung 12- Erneute Untersuchung des Patienten am 4. Tag auf der Normalstation	40
Abbildung 13- Fallbeispiel 2 In Schallfenster 1 zeigen sich mehr als 5, in den weiteren Fenstern jeweils 3-5 B-Linien. In 5 und 6 fallen beidseits Pleuraergüsse auf.	42
Abbildung 14- Am 4. Krankenhaustag finden sich in der Sonographie kaum noch B-Linien	44
Abbildung 15- Fallbeispiel 3.....	46

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1- Die Punktwerte bezogen auf die Anzahl von B-Linien.....	15
Tabelle 2- Aufstellung der untersuchten Patienten und deren Krankheitsbildern	18
Tabelle 3- Verweildauer im Krankenhaus bei ausgewählten Krankheitsbildern.....	20
Tabelle 4- Die häufigsten, bekannten Vorerkrankungen in Absolutzahlen und Prozenten.....	21
Tabelle 5- Aufgelistet sind alle 39 Untersuchungen mit der Anzahl entdeckter B-Linien in jedem einzelnen Schallfenster (1-6) sowie die Summe der vergebenen Punkte pro Untersuchung und pro Schallfenster	22
Tabelle 6- Die Gesamtzahl der Punktsommen aller Probanden im jeweiligen Schallfenster.....	23
Tabelle 7- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktsommen bei COPD	24
Tabelle 8- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktsommen bei gleichzeitigem Vorliegen von COPD + Kardialer Dekompensation.....	24
Tabelle 9- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktsommen bei Pneumonie.....	25
Tabelle 10- Die Anzahl von B-Linien und die daraus errechneten Punktsommen bei Kardialer Dekompensation.....	25
Tabelle 11- Die Ergebnisse der Lungensonographie im Vergleich zu der Röntgendiagnostik (zur einfacheren Zuordnung zu den einzelnen Fällen wurden die Patienten entsprechend ihrer Fallnummern aufgelistet).....	27
Tabelle 12- Vergleich der mittleren Punktsomme bei radiologisch gesicherter Lungenstauung und nicht vorhandener Lungenstauung im Röntgenbild des Thorax ...	28
Tabelle 13- Das Ergebnis der B-Liniendiagnostik im Vergleich mit der Entlassungsdiagnose im Arztbrief sowie der Arzt diagnose in der Notaufnahme	31

Danksagung

Danken möchte ich insbesondere Herrn Prof. Dr. Broscheit für die gute Betreuung und freundliche Überlassung des Dissertationsthemas.

Ebenfalls Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Weidemann und Herrn Prof. Dr. Ertl für die Schaffung der Möglichkeit, die notwendigen Untersuchungen in der internistischen Notaufnahme der Universitätsklinik Würzburg durchzuführen.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich beim Team der Studentischen Statistischen Beratung, das mir bei der Erhebung der Statistiken für diese Arbeit beratend zur Seite stand.

Insbesondere danke ich ganz herzlich meinen Eltern, die mir das Studium und diese Laufbahn erst ermöglicht haben und mir immer geduldig mit Rat und Tat zur Seite stehen.

Dank gilt nicht zuletzt auch meiner Partnerin und meinen Freunden für ihre Unterstützung und die Korrekturlesung dieser Arbeit.