



Neonatologie: Lungenultraschall Standard

Erik Küng¹, Lisa Habrina¹, Michael Schneider¹,
Tobias Werther¹, & Lukas Aichhorn¹

¹ Medizinische Universität Wien, Comprehensive Center for Pediatrics, Klinische Abteilung für Neonatologie, Pädiatrische Intensivmedizin und Neuropädiatrie, Währinger Gürtel 18-20, 1090 Wien, Österreich

v3

8. Dezember 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Methodik	2
2 Einleitung	3
2.1 Indikationen	3
2.2 Untersucher*innen	4
3 Technik	5
3.1 Schallkopf	5
3.2 Schnittführung	5
4 Durchführung	7
5 Dokumentation	8
5.1 Anamnestische und klinische Angaben	8
5.2 Minimaldokumentation des Lungensonographes	8
5.3 Dokumentation	8
6 Elemente des Lungensonographes	9
6.1 Anatomie	9
6.2 Zeichen	9
6.3 Score	15
6.4 Zwerchfell	17
7 Befunde und deren Darstellung im Lungensonogramm	18
7.1 Physiologische Befunde	18
7.2 Pathologien und deren Darstellung im Lungensonogramm	18
8 Lungensonogramm-gezielte Verfahren	30
8.1 Lungensonogramm-gezielte Surfactant Therapie nach Rodriguez-Fanjul et al. [1]	30
8.2 Lungensonogramm-gezielte Rekrutierung nach Shady et al. [2]	30
8.3 Lungensonogramm-gezielte Bronchoalveoläre Lavage nach Liu et al. [3]	30
8.4 Lungensonogramm-gezielte Punktion	31
8.5 Lungensonogramm bei Katheterlage	31
Literaturverzeichnis	32
Appendix	39
Abkürzungen	40

Kapitel 1

Methodik

Dieses Dokument dient primär zur Festlegung eines Standards zur Durchführung des Lungensonographischen beim Früh- und Neugeborenen. Es werden in regelmäßigen Abständen die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse eingearbeitet, außerdem fließt auch die persönliche Expertise und die Erfahrung von Kolleg*innen, die sich umfassend mit dieser Thematik beschäftigen, ein. An dieser Stelle bedanken wir uns herzlich bei Stefan Reithmayr, dessen Hilfe, Erfahrung und Expertise maßgeblich zur Erstellung dieses Dokuments beigetragen haben, sowie bei Prof. Ulrike Salzer-Muhar, welche den Anstoß zur Durchführung des Lungensonographischen bei Neugeborenen an unserer Klinik gegeben hat.

Es handelt sich um einen integrativen Review der bisher publizierten Literatur (Stand 1.6.2021), inklusive Poster und Präsentationen von relevanten Tagungen und Kongressen sowie Erfahrungen von Expert*innen des Bereichs. Die Inhalte werden nach kritischer Prüfung durch die Autor*innen um klinische Erfahrungen und praktikable Anmerkungen ergänzt.

Kapitel 2

Einleitung

Lungenultraschall ist ein Hilfsmittel zur dynamischen Beurteilung von Lungenerkrankungen und Erkrankungen mit Lungenbeteiligung und kann zur visuellen Unterstützung bei verschiedenen Eingriffen verwendet werden. Die Interpretation des Lungenultraschall-Befundes kann nur unter Berücksichtigung der aktuellen klinischen Situation erfolgen. Erst dann kann eine entsprechende Behandlung eingeleitet oder fortgesetzt werden.

Es handelt sich um eine einfache Untersuchungstechnik, die unter richtiger Anwendung und Kenntnis ihrer Grenzen rasche Antworten auf konkrete Fragen liefern kann.

2.1 Indikationen

- Verdacht auf Respiratory Distress Syndrome [4]
- Akute kardiorespiratorische Verschlechterung [4]
- Verlaufskontrolle nach kardiorespiratorischer Verschlechterung [4]
- Verlaufskontrolle bei Pneumothorax
- Verlaufskontrolle während und nach einer mechanischen Beatmung [4]
- Verlaufskontrolle bei Atelektasen oder Minderbelüftung
- Diagnostik bei erhöhtem Sauerstoffbedarf
- Verlaufskontrolle bei erhöhtem Sauerstoffbedarf
- Persistent Pulmonary Hypertension of the Newborn [5]
- Verlaufskontrolle nach Herz-Operation
- Pränataler Verdacht auf Lungenfehlbildung [4]
- Kontrolle nach ZVK-Anlage
- Vor einem Transport [6]
- Bildgebung bei limitierten Ressourcen (Prälinik)

An einer großen chinesischen NICU hat der Lungenultraschall seit 2017 das Röntgen in der Routinediagnostik bei Verdacht auf pulmonale Erkrankung bei Neu- und Frühgeborenen komplett abgelöst [7].

2.2 Untersucher*innen

Insgesamt sind mindestens 30 Lungensonographien (25 unter Supervision) ausreichend, um eine Interrater-Reliabilität und Übereinstimmung mit dem Röntgen zu gewährleisten [8]. Die Interrater-Reliabilität ist hoch [8, 9], auch zwischen unerfahrenen (6 Monaten), mäßig erfahrenen (1 Jahr) und erfahrenen (5 Jahre) Anwender*innen [9]. Die Anwendung eines nicht-linearen Schallkopfes führt zu einer schlechteren Interrater-Reliabilität [9].

Kapitel 3

Technik

3.1 Schallkopf

Die Verwendung eines Linearschallkopfes mit einer Frequenz von zumindest 7,5 MHz [10], 9 MHz [4] oder 10 MHz [11] wird empfohlen.

Ist kein Linearschallkopf verfügbar, kann ein hochfrequenter Konvexschallkopf mit zumindest 8 MHz verwendet werden [4]. Die Verwendung eines nicht-linearen Schallkopfes führt zu einer geringeren Interrater-Reliabilität, vor allem bei unerfahrenen Anwender*innen [9].

Der Schallkopf muss vor und nach jeder Untersuchung entsprechend den lokal gültigen Richtlinien desinfiziert werden [4].

Ein akzeptables Preset ist „Bewegungsapparat Oberfläche“, „Small Parts“ oder ein Programm zur Darstellung von Muskeln. Es sollen keine Software-Filter verwendet werden, denn dadurch können die gesuchten Artefakte vermindert werden.

3.1.1 Empfohlene Einstellungen

- „Lunge“/„Small Parts“/„Bewegungsapparat Oberfläche“/„Oberfläche“
- 4-5 cm Tiefe
- Drücke Focus Zone Knopf um 1-2 Fokusse zu haben. Fokus auf Pleuralinie.
- Aktiviere CRI Knopf (Crossbeam) auf Level 2 um Kontrast und Auflösung zu verbessern.
- Deaktiviere Harmonics, Speckle Reduction, Sono-CT und XRES

3.2 Schnittführung

Die gesamte Untersuchung kann in Rückenlage durchgeführt werden [4, 10], auch die posterioren Areale lassen sich so mit leichtem Aufkippen evaluieren. Hierfür kann aber auch die Seitenlage gewählt werden, sofern dies von der/dem Patient*in toleriert wird. Die Untersuchung ist auch in Bauchlage möglich. Direkt nach dem Lagewechsel kommt es zu falsch hohen Scores, die sich nach 1 h angleichen [12].

Die Schnittführung erfolgt in der Sagittalebene orthogonal auf den Thorax und die Rippen (vertikal) in mindestens sechs anatomischen Arealen. Abgesehen von der Schnittführung ist darauf zu achten, dass jedes Lungenareal mindestens einmal mit dem Ultraschall eingesehen wird, manche Veränderungen

demaskieren sich allerdings erst bei Inspiration oder Expiration.

Es gilt besonders in den lateralen und posterioren Arealen darauf zu achten, dass der Schallkopf möglichst genau orthogonal zur Pleura geführt wird. Bei schiefem Schnitt kommt es zu einer falsch verdickten Pleura bis hin zu kofluierenden B-Lines und Debris Sign.

Bei Auffälligkeiten wird der Schallkopf um 90° gedreht, um diese in der Transversalebene (horizontal) darzustellen und zu verifizieren. Auffälligkeiten werden in mindestens zwei Ebenen dargestellt.

Kapitel 4

Durchführung

4.0.1 Thorakale Schnitte

Die Durchführung einer Untersuchung benötigt im Median 2 Minuten [1].

6-Regionen Methode [4, 10]

- Rechts posterior: rechts paravertebral bis hintere Axillarlinie
- Rechts lateral: rechts hintere bis vordere Axillarlinie
- Rechts anterior: rechts vordere Axillarlinie bis parasternal
- Links anterior: links parasternal bis vordere Axillarlinie
- Links lateral: links vordere bis hintere Axillarlinie
- Links posterior: links hintere Axillarlinie bis paravertebral

12-Regionen Methode [4]

Jeder Schnitt aus der 6-Region Methode wird durch die Mamillen-Ebene in einen kranialen und einen kaudalen Schnitt aufgeteilt [4].

4.0.2 Transabdominelle Schnitte

Die Lungenbasen können über transabdominelle Schnitte in der Sagittal- oder Transversalebene dargestellt werden. Es werden die Leber oder die Milz als Schallfenster genutzt um die *Pars diaphragmatica* zu beurteilen.

Kapitel 5

Dokumentation

5.1 Anamnestische und klinische Angaben

Lungenultraschall ist eine Hilfestellung für klinische Fragestellungen. Dementsprechend sollen Informationen, welche für eine Diagnosefindung/klinische Fragestellung oder den klinischen Zustand relevant sind, dokumentiert werden: Alter, SSW, Gewicht, Beatmungsform (HFNC, nCPAP, NIV, CV, HFOV), vorhergehende Intervention (LISA, INSURE, Herzkatheter, Ductusligatur, Herz-OP, Bauch-OP, Drain-Anlage, Intubation) und die Indikation für die Untersuchung.

5.2 Minimaldokumentation des Lungenultraschalls

Es werden mindestens 6 Abschnitte mit je mindestens einem B-Bild und entsprechender Beschriftung dokumentiert. Ist der Thorax des Kindes zu groß für den Schallkopf müssen die Abschnitte auf 2 Schnittbilder (kranial und kaudal) entsprechend der 12-Regionen Methode (siehe Kapitel 4.0.1) aufgeteilt und entsprechend beschriftet werden,.

5.3 Dokumentation

Um Transparenz und Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, werden, zusätzlich zu der Minimaldokumentation, alle für eine Diagnose spezifischen Merkmale dokumentiert. Auffälligkeiten werden in zwei Ebenen (idealerweise in Sagittalebene und Transversalebene; entspricht vertikal und horizontal) dokumentiert. Ist die Größe einer Auffälligkeit relevant, wird diese in zwei Ebenen in ihrer jeweils maximalen Ausdehnung vermessen und dokumentiert, um Verlaufskontrollen zu ermöglichen. Am besten eignet sich zur Dokumentation die Verwendung von Video Loops mit mindestens 3s Dauer.

Kapitel 6

Elemente des Lungenschalls

6.1 Anatomie

Der Thorax besteht aus Haut, subkutanem Gewebe sowie Muskeln über und zwischen den Rippen. Unter den Rippen ist die parietale und viszerale Pleura, die bei jedem Atemzug/Atemhub aneinander gleiten. Viele interlobuläre Septen liegen in der viszeralen Pleura und trennen die einzelnen Loben, die aus vielen luftgefüllten Acini bestehen. [11]

6.2 Zeichen

6.2.1 Pleuralinie

Die Pleuralinie ist eine leicht gebogene, echoreiche, glatte [4, 10, 11] und dünne Linie (Abbildung 6.1). Sie entsteht durch Reflexion bedingt durch die unterschiedlichen akustischen Impedanzen von Pleura und Lungengewebe [4]. Die Rippen bilden runde echoarme Areale wenn sie noch nicht verknöchert sind, bzw einen Schall-Schatten wenn sie verknöchert sind [13], mit dazwischen liegender Pleura: das „Bat-Sign“. Das Bat-Sign garantiert die richtige Position des Schallkopfes. Bei Neugeborenen ist dieses in den anterioren Lungenabschnitten aufgrund der knorpeligen und somit nicht schalldichten Rippenanteile oft schwächer darstellbar [11].

Die Pleuralinie entsteht im Median nach den ersten 4 Atemzügen eines Neugeborenen. Die Lunge ist zu Beginn kollabiert und füllt sich mit jedem Atemzug mit Luft [14]. Nach dieser initialen Belüftung besteht weiterhin vermehrt interstitielle Flüssigkeit, sichtbar als vermehrte B-Lines bis hin zur weißen Lunge, diese vermehrte interstitielle Flüssigkeit wird typischerweise bis zur 4. Lebensstunde resorbiert [15].



Abbildung 6.1: Zeichnung einer Pleuralinie.



Abbildung 6.2: Zeichnung eines Lungslidings.

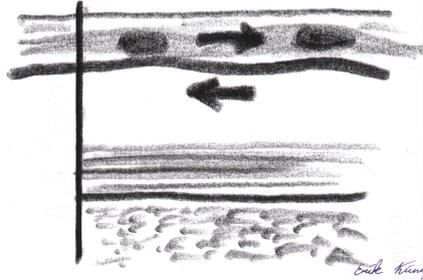


Abbildung 6.3: Zeichnung eines Seashore Signs.

Es wird der Zustand der Pleuralinie beurteilt: normal (dünn und glatt, englisch oft „regular“), verdickt, rau (englisch oft „irregular“).

Pleuradicke

Die genaue Dicke der Pleura ist abhängig vom Fettanteil des Gewebes (Body Mass Index), da dieser einen Einfluss auf die akustische Impedanz des Gewebes hat, und der Frequenz des Schallkopfes [16]. Bei gesunden Neu- und Frühgeborenen ist die Pleuradicke <1 mm in den ersten 24 h [17]. In der klinischen Praxis ist die Pleuradicke sehr variabel und insbesondere vom Winkel des Schallkopfs zur Pleuralinie abhängig.

6.2.2 Lungsliding

Lungsliding ist das Gleiten der viszeralen an der parietalen Pleura während eines Atemzugs/Atemhubs [4, 10, 11, 13] (Abbildung 6.2). Die Thoraxwand bewegt sich nicht oder in entgegengesetzter Richtung zum Lungsliding [13]. Dieses dynamische Phänomen zeigt sich als Bewegung der Z-Lines (Kapitel 6.2.7) und schließt einen Pneumothorax aus. Das Lungslidings ist an den Lungenbasen deutlich stärker ausgeprägt und nimmt Richtung Apex zunehmend ab [13]. Die Abwesenheit von Lungsliding ist immer pathologisch [4].

Seashore Sign

Das Seashore Sign entspricht dem Sandy Beach Sign. Im M-Mode zeigen sich parallele Linien im Bereich oberhalb der Pleura („Sea“) und ein Rauschen unterhalb der Pleura („Shore“) (Abbildung 6.3). erinnert an ein Piktogramm eines Strandes, daher Seashore Sign. Es ist ein Zeichen einer gesunden Lunge. [4, 11, 13]

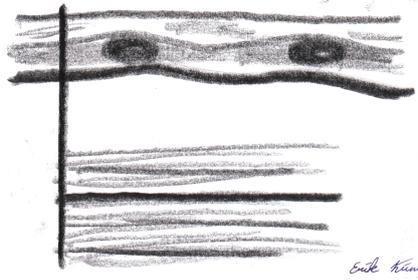


Abbildung 6.4: Zeichnung eines Stratosphere Signs.

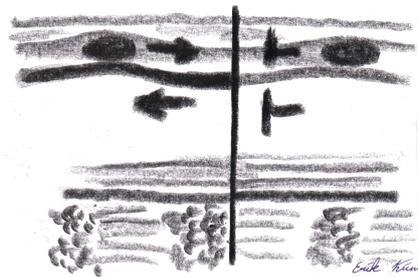


Abbildung 6.5: Zeichnung eines Lungenpunkts.

Stratosphere Sign

Das Stratosphere Sign entspricht dem Barcode Sign. Im M-Mode zeigen sich parallele Linien im Bereich oberhalb und unterhalb der Pleura [4, 11] (Abbildung 6.4). Erinnert an ein Piktogramm eines Himmels, daher „Stratosphere Sign“. Es entspricht dem Fehlen des Lungslidings und ist typisch für das Vorliegen eines Pneumothorax, kann aber auch bei einer CPAM, einer Pneumatocele, einer ausgeprägten Überblähung oder einem interstitiellen Emphysem vorkommen.

Lungenpunkt

Der Punkt im B-Mode und M-Mode zwischen Lungsliding und keinem Lungsliding; an dem sich Lungsliding und kein Lungsliding mit jedem Atemzug/Atemhub abwechseln [4, 10] (Abbildung 6.5). Im M-Mode der Wechsel zwischen Stratosphere Sign und Seashore Sign. Dieser Punkt wandert mit jedem Atemzug/Atemhub, da sich die Lunge in das Pneumothorax-Areal vorschiebt. Am besten wird der Lungenpunkt in der Transversalebene (horizontal) dargestellt um die Lagebeziehung zur vorderen, mittleren und hinteren Axillarlinie zu erleichtern.

6.2.3 Lungenpuls

Der Lungenpuls ist ein Pulsieren der Pleura (ähnlich dem Lungsliding von deutlich geringerer Amplitude) oder Konsolidierung synchron mit der Herzfrequenz, das nicht dem Lungsliding entspricht [4, 18]. Im M-Mode zeigen sich parallele Linien im Bereich oberhalb der Pleura. Unterhalb der Pleura zeigen sich ebenso parallele Linien welche synchron mit der Herzfrequenz unterbrochen sind [18].

Ein Lungenpuls ist ein Zeichen einer kompletten Atelektase [10].

Aufgrund der relativen Nähe zum Herzen ist dieses Zeichen bei Neonaten schwer verwertbar.



Abbildung 6.6: Zeichnung von A-Lines.



Abbildung 6.7: Zeichnung von B-Lines.

6.2.4 A-Line

A-Lines sind horizontale, hyperechogene, äquidistante, glatte Linien unterhalb der Pleuralinie [4, 10, 11, 19] (Abbildung 6.6). Es handelt sich um Reverberationsartefakte die durch repetitiv reflektierte Schallwellen zwischen Schallkopf, hyperechogener Linie z.B. subkutan [13, 16] und Pleura entstehen [4, 10, 11, 16]. Durch die vervielfachte Zeit, die die Ultraschallwellen aufgrund der Reverberationen für die Rückkehr benötigen, errechnet das Gerät die A-Lines als gespiegelte Pleuralinie äquidistant (vervielfacht) unterhalb der Pleuraebene.

6.2.5 B-Line

B-Lines sind diskrete Laser-ähnliche vertikale hyperechogene Ring-Down-Artefakte [16], die von der Pleuralinie entstehen, zum Boden des Bildschirms ziehen ohne zu verblassen und sich mit dem Lungsliding synchron mitbewegen [4, 10, 13, 19, 20] (Abbildung 6.7). Sie verdecken die A-Lines. B-Lines kommen physiologisch vor und sind ein Zeichen für interstitielle Flüssigkeit im interstitiellen oder alveolären Compartment [13]. Am 1. Lebenstag kommt es physiologisch zu vermehrten B-Lines [21], die allerdings binnen 24 h weniger werden [13, 21] und üblicherweise bis zum 3. Lebenstag verschwinden [13]. Die physiologischen B-Lines postnatal finden sich vor allem posterior [22] und basal [21, 22].

Septal Rockets

3-4 B-Lines pro Intercostalraum (ICR). Dies korreliert mit verdickten subpleuralen interlobulären Septen [23].

Glass Rockets

5-12 B-Lines pro Intercostalraum. Korreliert mit „ground-glass opacities“ im CT. Ein Zeichen für ein schweres Interstitielles Syndrom [16, 23].

Konfluierende B-Lines

Gesamter Intercostalraum mit B-Lines ausgefüllt [4]. Ein Zeichen für interstitielles Syndrom [4], alveoläres Syndrom, Bronchiolitis, transitorische Tachypnoe des Neugeborenen und Respiratory Distress Syndrome.

Weißer Lunge („White Lung“)

Als weiße Lunge bezeichnet man konfluierende B-Lines in allen Arealen [4, 10]. Ein Zeichen für interstitielles Syndrom, alveoläres Syndrom, eine beginnende transitorische Tachypnoe des Neugeborenen [4] oder Respiratory Distress Syndrome.

6.2.6 E-Line

E-Lines sind diskrete Laser-ähnliche vertikale hyperechogene Ring-Down-Artefakte [16], die **oberhalb** der Pleuralinie entstehen, zum Boden des Bildschirms ziehen ohne zu verblassen [24]. Sie sind ein Zeichen für Weichteilemphysem [24].

6.2.7 Z-Line

Z-Lines sind Ring-Down-Artefakte [16] und entsprechen den „Comet Tail Artefacts“ [13], die von der Pleuralinie entstehen, aber mit geringerer Echogenität als die Pleuralinie und unscharfer Begrenzung imponieren und nach kurzer Distanz verschwinden [19]. Sie verdecken nicht die A-Lines [13, 25]. Sie haben keinen Krankheitswert.

6.2.8 Still Lung Point

Der Still Lung Point ist ein Punkt im parasternalen Transversalschnitt. Ein Punkt im B-Mode und M-Mode zwischen Lungsliding und keinem Lungsliding; an dem sich Lungsliding und kein Lungsliding mit jedem Atemzug/Atemhub abwechseln. Der Still Lung Point wandert nicht mit jedem Atemzug/Atemhub, im Gegensatz zum Lungenpunkt, und ist ein Zeichen für Pneumomediastinum [26].

6.2.9 Double Lung Point

Der Double Lung Point bezeichnet konfluierende B-Lines in den inferioren Lungenfeldern und weniger konfluierende B-Lines in den superioren Lungenfeldern; uni- oder bilateral [10, 20, 27]. Der Double Lung Point ist typisch für das Vorliegen einer transitorischen Tachypnoe des Neugeborenen und kommt beim Respiratory Distress Syndrome **nicht** vor.

6.2.10 Konsolidierung

Konsolidierung bezeichnet eine subpleurale echoarme („tissue-like density“) Region (Abbildung 6.8). [4, 28] Konsolidierung beschreibt das Bild, nicht die Ursache. Eine Konsolidierung kann aufgrund von verschiedenen Pathologien (Pneumonie, Atelektase, Mekoniumaspiration, Lungenödem, Lungenblutung, Brochopulmonale Dysplasie, Bronchiolitis, Lungenembolie, Contusion, Tumor, Ertrinken etc.) entstehen [23]. Um Lungengewebe vom Thymus, der Leber, der Milz, oder im Rahmen einer Konsolidierung von

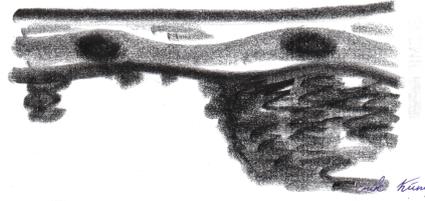


Abbildung 6.8: Zeichnung von Konsolidierungen.

einer Konsolidierung anderen Ursprungs (z.B.: Tumor) zu unterscheiden, wird der Fluss der Gefäße im Farbdoppler dargestellt. Im Lungengewebe spalten sich die Gefäße „baumförmig“ auf [13].

Shred Sign

Shred Sign bezeichnet eine hyperechogene unregelmäßige Grenze zwischen belüfteter Lunge und Konsolidierung [4].

Debris Sign

Als Debris Sign werden zusammenhängende kleine Konsolidierungen, wie Sandklumpen bezeichnet, die ein Zeichen für die Entwicklung einer BPD darstellen. Ist das Debris Sign vorhanden liegt die OR für eine BPD bei 21.82 (95 % CI: 2,63-181,11) [29].

6.2.11 Aerobronchogramm

Aerobronchogramm beschreibt mit Luft gefüllte Bronchien in der Konsolidierung. Ist ein Aerobronchogramm vorhanden, schließt dies eine Obstruktion der Luftwege aus [13].

Statisches Aerobronchogramm

Ein statisches Aerobronchogramm beschreibt stehende Luftbläschen in den Bronchien einer Konsolidierung. Statische Aerobronchogramme können bei Atelektasen und Pneumonien vorkommen.

Dynamisches Aerobronchogramm

Ein dynamisches Aerobronchogramm beschreibt die Bewegung von Luftbläschen in den Bronchien einer Konsolidierung. Dynamische Aerobronchogramme kommen bei Pneumonien vor [30]. Das Vorhandensein eines dynamischen Aerobronchogramms spricht für inflammatorisches Geschehen im Lungengewebe.

6.2.12 Fluidobronchogramm

Stehende Flüssigkeit in den Bronchien wird als statisches Fluidobronchogramm bezeichnet. Es kommt bei obstruktiven Atelektasen vor, da die Flüssigkeit die Luftzufuhr stoppt. Bewegende Flüssigkeit in den Bronchien wird als dynamisches Fluidobronchogramm bezeichnet und nur beschreibend verwendet.

6.2.13 Jellyfish Sign

Bei einem Pleuraerguss kann das basale Ende des angrenzenden Lungenlappens konsolidiert sein und mit der Atmung synchron schwimmen, einer Qualle ähnlich. Dies wird Jellyfish Sign genannt und findet sich bei größeren Pleuraergüssen [31].

6.2.14 Sinusoid Sign

Wird ein M-Mode in den Pleuraerguss gelegt, ergibt sich unterhalb der Pleuralinie eine echoreiche sinusoidale Linie, darüber ein echoarmes Areal begrenzt durch die Pleuralinie [31]. Dieses Zeichen ist spezifisch für einen Pleuraerguss [31].

6.2.15 Mirrored Ribs

Bei einem Pneumothorax kommt es zu einem höheren Impedanzunterschied zwischen *Pleura parietalis* und Luft im Pleuraspalt. Es kommt zu verstärkten Spiegelartefakten. Sind die Rippen noch nicht verknöchert werden sie als „Long Line Reverberation Artefact“ fälschlich unterhalb der Pleuralinie dargestellt. Dies wird als Mirrored Ribs bezeichnet und ist ein Zeichen für Pneumothorax [32].

6.2.16 Plankton Sign

Das Plankton Sign beschreibt langsam schwimmende echoreiche Partikel ähnlich einem Piktogramm von Plankton. Die Bewegungen sind synchron der Atmung oder dem Herzschlag [31].

6.3 Score

Die Erhebung des LUS-Scores (siehe Tabelle 6.1) [33,34] erfolgt pro thorakalem oder transabdominalem Schnitt und wird für die gesamte Lunge dann addiert. Die Höhe des Scores korreliert mit molekularer sowie zellulärer Entzündung [35], der histologischen Veränderung und den intrapulmonalen Shunts bei nARDS [36], der postnatalen pulmonalen Flüssigkeitsresorption [22], dem Oxygenierungs-Index [34, 37], dem Surfactantbedarf [34, 38], der Notwendigkeit der Beatmung [39], dem Sauerstoffbedarf und der Länge des stationären Aufenthalts bei akuter Bronchiolitis [40, 41]. Eine Normwerttabelle findet sich in Tabelle 6.2.

Die Problematik eines semiquantitativen Scores wird regelmäßig thematisiert [42], ändert allerdings nichts an den beschriebenen Korrelationen.

2020 wurde von Girona-Alarcón [43] eine Adaptation für Kinder nach Herz-Operation vorgestellt, siehe Tabelle 6.1.

2021 wurde von Szymański et al. [44] eine Adaptation vorgestellt, die den Score um eine Stufe erweitert, siehe Tabelle 6.1.

6.3.1 Score und verschiedene Erkrankungen

Der LUS Score kann für die Vorhersage von Surfactant oder Beatmung bei Respiratory Distress Syndrome und die Entstehung einer Bronchopulmonale Dysplasie verwendet werden. Meist werden dafür zwei anteriore und ein lateraler Schnitt pro Seite verwendet. Von Loi et al. wurde propagiert, dass der LUS Score durch das Gestationsalter dividiert werden sollte, um so eine höhere Genauigkeit zu erzeugen [45].

Eine genauere Auflistung der Möglichkeiten eine Bronchopulmonale Dysplasie vorherzusagen findet sich in Kapitel 7.2.3 und um Surfactantbedarf oder Beatmung bei Respiratory Distress vorherzusagen in Kapitel 7.2.14.

Das Ausmaß der pulmonalen Überflutung bei einem hämodynamisch signifikantem PDA lässt sich mithilfe des Scores quantifizieren [46]. Der Score korreliert mit der Länge des Aufenthalts [46] und dem Durchmesser des PDA [46, 47] sowie der LA/AO Ratio [47]. Ist der Score >9 besteht ein PDA mit einer Sensitivität von 93,75 % und einer Spezifität von 50,95 % [47]. Ist der Score >9 werden 93,75 % der Patient*innen mit PDA richtig erkannt, allerdings nur 50,95 % der Patient*innen ohne

Tabelle 6.1: LUS-Score nach Brat et al. [34], Taveira et al. [33] und Perri et al. [38]. Sowie modifiziert nach Girona-Alarcón et al. [43] und Szymański et al [44].

Score	Beschreibung
Brat et al. (aktueller Standard)	
0	Eine normale Pleura mit horizontalen Reverberationen der A-Lines
1	3 B-Lines oder mehr pro ICR bei dünner regulärer Pleura
2	Konfluierende B-Lines bei einer dicken Pleura mit oder ohne kleinen Konsolidierungen
3	Eine dicke raue Pleura mit Konsolidierungen
Szymański et al.	
0	Eine normale Pleura mit horizontalen Reverberationen der A-Lines (A-Profil)
1	3 B-Lines oder mehr pro ICR bei dünner regulärer Pleura (B-Profil)
2	Konfluierende B-Lines bei einer dicken Pleura „Weiße Lunge“
3	„Weiße Lunge“ mit „Fluid Alveogramm“, kleinen Konsolidierungen (entspricht Debris Sign)
4	Eine dicke raue Pleura mit Konsolidierungen
LUCAS - Girona-Alarcón et al.	
0	A-Lines ohne B-Lines
1	Bis zu 2 B-Lines pro ICR
2	3-7 B-Lines pro ICR
3	Konfluierende B-Lines oder >7 B-Lines pro ICR
4	Pleuraerguss
LUCAS - Scoring bei 6 Regionen	
0-5	Normal
6-9	Mildes Lungenödem
10-14	Moderates Lungenödem
>14	Schweres Lungenödem

Tabelle 6.2: LUS-Score Normwerte [22] für den Score von Brat et al. [34]

Gesunde Neugeborene						
Alter	Regionen	Median (Quartiles)	n (Mittelw. SSW)	Typ	Quelle	
<3 h	12	8 (7-11)	66 (38,75)	OS	[22]	
6 h	12	2 (0-4)	66 (38,75)	OS	[22]	
24 h	12	1 (0-2)	66 (38,75)	OS	[22]	

Tabelle 6.3: Normwerte für Diaphragmatic Shortening Fraction (DSF), minimale (TIT) und maximale (TET) Diaphragma Dicke in den ersten 24 h in Neu- (NG) und Frühgeborenen (FG) [49].

Parameter	NG	FG
Rechts		
TIT (mm)	2,6 (2,2-3,2)	1,6 (1,5-1,9)
TET (mm)	1,9 (1,6-2,4)	1,2 (1,1-1,4)
DSF (%)	24 (15-37)	33 (24-46)
Links		
TIT (mm)	2,6 (1,9-3,2)	1,6 (1,3-2,1)
TET (mm)	1,9 (1,6-2,4)	1,2 (1,1-1,6)
DSF (%)	32 (15-40)	32 (26-39)

PDA richtig ohne PDA erkannt. Das bedeutet, ist der Score ≤ 9 ist ein PDA sehr unwahrscheinlich. Ist der Score aber >9 kann der erhöhte Score immer noch eine andere Ursache haben. Dementsprechend eignet sich der Score in dieser Hinsicht lediglich als Screening-Parameter.

6.3.2 Score und Weaning

In 80 intubierten Neonaten (mittlere SSW 34) konnte der Extubationserfolg mit einer Sensitivität von 83 % und einer Spezifität von 88 % bei einem Score ≤ 4 vor und mit einer Sensitivität von 89 % und einer Spezifität von 90 % bei einem Score von ≤ 6 , 6 h nach Extubation vorhersagen [48]. Es wurde eine 6-Regionen Methode mit zwei anterioren (kranial und kaudal) und einem lateralen Schnitt verwendet [48].

6.4 Zwerchfell

6.4.1 Zwerchfellekkursion

Die Zwerchfellekkursion erlaubt Rückschlüsse auf die Atemanstrengung und das Tidalvolumen. Insbesondere eine einseitige Verminderung oder paradoxe Bewegungen können auf eine Zwerchfellparese hinweisen.

Es wird mit dem linearen Schallkopf im subcostalen Transversalschnitt der M-Mode senkrecht auf das Zwerchfell gelegt und die Differenz in der sinusoiden Kurve rechts und links gemessen.

6.4.2 Diaphragmatic Shortening Fraction (DSF) nach Alonso et al [49].

Es wird der Schallkopf zwischen vorderer und hinterer Axillarlinie zwischen 8. und 9. Rippe senkrecht auf die Pleura (sagittal/vertikal) angelegt. Es ergeben sich zwei echogene Linien, die nähere zum Schallkopf entspricht der parietalen Pleura, die tiefer gelegene entspricht dem Peritoneum. Das Diaphragma/Zwerchfell ist die weniger echogene Struktur in der Mitte der beiden Linien. Im M-Mode wird die minimale (TET) und die maximale Dicke (TIT) während eines Atemzyklus dreimalig gemessen und mit folgender Formel berechnet:

$$DSF(\%) = \frac{TIT - TET}{TET} \times 100$$

Sowohl die TIT, als auch die TET sind höher bei reifen Neugeborenen im Vergleich zu Frühgeborenen, allerdings ist die DSF gleich. Normwerte für die ersten 24 h sind in Tabelle 6.3.

Kapitel 7

Befunde und deren Darstellung im Lungenultraschall

7.1 Physiologische Befunde

- Glatte, gerade Pleuralinie [4]
- Glatte, gerade A-Lines [4]
- 0-2 B-Lines pro Intercostalraum [4]. Insbesondere in den ersten Lebenstagen sind auch deutlich mehr B-Lines pro Intercostalraum physiologisch [21], diese werden in den ersten 24 h weniger [13, 21] und verschwinden üblicherweise bis zum 3. Lebenstag [13].
- Lungsliding [4]
- Seashore Sign [4]
- Bei Neonaten: Lungenpuls

7.2 Pathologien und deren Darstellung im Lungenultraschall

Artefakte können physiologisch oder pathologisch sein. Die Darstellung von gewebsartigen/tatsächlichen Strukturen ist im Lungenultraschall immer pathologisch, da eine gut belüftete Lunge ausschließlich Artefakte erzeugt. Es können nur Pathologien beurteilt werden, die einen Bezug zur Pleura haben. Zentrale Konsolidierungen, zentrale Pneumonien oder Raumforderungen (z.B. CPAM, Lungensequester) können nicht beurteilt werden.

7.2.1 Alveoläre Pneumonie (PMN)

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungenultraschall hilfreich in der Erkennung einer Pneumonie [50]. Lungenultraschall ist effektiv in der Diagnose einer Pneumonie mit einer Sensitivität von 96 % (95 % CI: 94-97 %) und einer Spezifität von 93 % (95 % CI: 90-96 %) in einem Systematic Review mit Meta Analyse [51].

Merke: Diese Punkte sind bei klinischer Verdachtsdiagnose hinweisend auf eine Pneumonie.

- Konsolidierungen (Hepatisierung) mit dynamischem Aerobronchogramm (baumförmig oder linear) und irregulären Grenzen („Shred Sign“) [4, 52, 53, 54, 55]. Vorhandensein eines dynamischen Aerobronchogramms spricht für inflammatorisches Geschehen im Lungengewebe.
- Dicke, raue Pleuralinie mit teilweise sehr groben Arealen, Unterbrechungen bis hin zur Abwesenheit einer Pleuralinie [4, 52]
- Lungenödem, die Anwesenheit von drei oder mehr B-Lines pro Intercostalraum bis hin zur „White Lung“ [4, 52, 53] in der Umgebung der Konsolidierung.
- Lungenpuls in betroffenem Areal [54]
- Pleuraerguss lokal oder basal [4, 55]

Ventilator Associated Pneumonia (VAP)

Lungenultraschall kann in der Erkennung der VAP verwendet werden. Ein Multiparameter Score von Tumor et al. [55] inkludiert Lungenultraschall und erreicht so eine sehr hohe Genauigkeit (AUC 0,91 % und 0,97 %). Hierfür wurden folgende Zeichen verwendet:

- Konsolidierung >0,5 cm [55]
- Pleuraerguss [55]
- Baumförmiges oder lineares dynamisches Aerobronchogramm [55]

7.2.2 Atelektase (Neonatal Pulmonary Atelectasis, NPA)

Lungenultraschall für Neonatal Pulmonary Atelectasis verfügt über eine Sensitivität von 100 % und eine Spezifität von 100 % [28].

- Großflächige Konsolidierung mit glatten Grenzen zu anderem Lungengewebe (Spezifität 100 %) [4, 28]
- Abwesenheit von Lungsliding in betroffenem Areal [4, 28]
- **Möglich:** Vorhandensein eines Aerobronchogramms [28]; bei Vorhandensein eines dynamischen Aerobronchogramms spricht dies für ein inflammatorisches Geschehen DD: Pneumonie;
- **Möglich, bei Neonaten sehr unvalide:** Lungenpuls [28] bei kompletter Atelektase [4, 10, 52]
- **Möglich:** Im Farbdoppler zeigt sich der Blutfluss der Gefäße in betroffenem Areal [4]

In einem Case Report beschreiben Liu et al. die erfolgreiche Therapie einer Atelektase mittels Bronchoalveolärer Lavage solange bis die Zeichen im Lungenultraschall nicht mehr auffindbar waren [56].

Radiologische Einteilung

Atelektasen können je nach Vorhandensein eines Korrelats im Thoraxröntgen (CXR) in Focal Type Atelectasis (FTA) und Occult Lung Atelectasis (OLA) eingeteilt werden. Focal Type Atelectasis ist eine Neonatal Pulmonary Atelectasis im Lungenultraschall mit Korrelat im Thoraxröntgen. Occult Lung Atelectasis ist eine Neonatal Pulmonary Atelectasis im Lungenultraschall ohne Korrelat im Thoraxröntgen.

Focal Type Atelectasis (FTA) Neonatal Pulmonary Atelectasis mit Korrelat im Thoraxröntgen.

- Konsolidierung mit klaren Grenzen [28]
- **Möglich:** Aerobronchogramm [28]

Occult Lung Atelectasis (OLA) Neonatal Pulmonary Atelectasis ohne Korrelat im Thoraxröntgen.

- Kleinflächige Konsolidierung mit punktuellm Aerobronchogramm [28]
- Abnormale Pleuralinie und Abwesenheit von A-Lines im Bereich der Atelektase [28]
- Normale Pleuralinie, A-Lines und Lungsliding in Bereichen ohne Atelektase [28]

Pathognomonische Einteilung

Atelektasen können nach ihrer Ursache in Kompressionsatelektasen und obstruktive Atelektasen unterteilt werden

Kompressionsatelektase (KAT)

- Zentral statisches Aerobronchogramm
- Gleichzeitiger Pleuraerguss

Obstruktive Atelektase (OAT)

- Initial statisches Aerobronchogramm [30].

7.2.3 Bronchopulmonale Dysplasie (BPD)

Cave: Ein Drittel der Patient*innen mit BPD-Zeichen haben eine andere zugrunde liegende Diagnose: Pneumonie, Atelektase oder Lungenödem [57].

- Bilaterale Veränderungen der Pleura und der Lunge [11]
- Ein inhomogenes Bild mit verdickter Pleura, kleinen Konsolidierungen [11] neben Arealen mit A-Lines.
- Vermehrte und konfluierende B-Lines (mehr als 2 pro ICR) bis hin zur „White Lung“ [11]
- Verdickte Pleura mit isolierten kleinen Konsolidierungen
- Erhöhte Echogenität im Bereich der Lungenbasen am Zwerchfell im transabdominellen Schnitt [58]
- Debris Sign [29]

Überblähung „Overdistension“

Bei ausgeprägter Hyperinflation eines Areals kann es in diesem Areal zu einem verschwinden des Lungslidings kommen [59]. Es gibt allerdings kein sicheres Lungenultraschall Zeichen für Overdistension.

Vorhersage einer BPD

Die verschiedenen Möglichkeiten die Entwicklung einer BPD im Lungenultraschall vorherzusehen sind in Tabelle 7.1 aufgelistet.

Tabelle 7.1: Verschiedene Kriterien (Echogenität des Zwerchfells (Zw), Score (Anzahl der Schnitte und Lokalisation anterior und lateral (a+l)) im Lungentraschall um die Entstehung einer Bronchopulmonalen Dysplasie (BPD) an einem Zeitpunkt (T), Lebenstag (LT), Lebenswochen (LW)) mit entsprechender Sensitivität (Sen), Spezifität (Spe), negativen prädiktivem Wert (NPV) und positivem prädiktivem Wert (PPV) vorherzusagen und den Charakteristika der Patient*innen (Anzahl und mittlere/mediane SSW) der Studien (Observational Study (OS), Retrospektive Studie (RS)) und ihren Quellen.

Kriterium (Regionen)	T	BPD Definition	Sen (%)	Spe (%)	NPV (%)	PPV (%)	n (Mittelw. SSW)	Typ	Quelle
LUS Score >6 (6)	1. LT	28d O ₂ /36 SSW & CPAP/O ₂	80	71,4	90,9	50	64 (27,4; 29,5 SSW)	OS	[60]
LUS Score ≥8 (8)	7. LT	28d O ₂ /36 SSW & CPAP/O ₂	90	81			42 (29,5; 27 SSW)	OS	[61]
LUS Score >8 (6, a+l)	7. LT	28d O ₂ /36 SSW & CPAP/O ₂	70	79			298 (26; 29 SSW)	OS	[62]
LUS Score ≥5 (8)	7. LT	28d O ₂ /36 SSW & CPAP/O ₂	90	81			42 (29,5; 27 SSW)	OS	[61]
LUS Score ≥8 (8)	7. LT	36 SSW & CPAP/O ₂	93	91			42 (29,5; 27 SSW)	OS	[61]
$LUS_{GA}Score >0,23$ (6, a+l)	7. LT	36 SSW & CPAP/O ₂	71	74	54	73	147 (27,1 SSW)	OS	[45]
Echogenität Zw	9. LT	28. LT & HMD	100	50	100	43	59 (29,27 SSW)	OS	[58]
$LUS_{GA}Score >0,31$ (6, a+l)	14. LT	36 SSW & CPAP/O ₂	66	81	77	71	147 (27,1 SSW)	OS	[45]
LUS Score >5 (6)	2. LW	28d O ₂ / 36. SSW & CPAP/O ₂	73.7	100	78,3	100	64 (27,4; 29,5 SSW)	OS	[60]
Echogenität Zw	18. LT	28. LT & O ₂	100	95,2			105 (29,1; 32,7 SSW)	OS	[63]
LUS Score >6 (8)	2-8. LW	36. SSW & CPAP/O ₂	76	97	88	97	27 (26; 28 SSW)	RS	[64]
LUS Score ≥4 (8)	28. LT	28d O ₂ /36 SSW & CPAP/O ₂	95	86			42 (29,5; 27 SSW)	OS	[61]
LUS Score ≥6 (8)	28. LT	36 SSW & CPAP/O ₂	85	82			42 (29,5; 27 SSW)	OS	[61]

7.2.4 Bronchiolitis

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungenultraschall hilfreich eine virale Bronchiolitis zu beschreiben aber nicht die Ursache zu diagnostizieren [50].

- Verdickte, raue Pleuralinie [50, 53]
- Mehr als 2 B-Lines pro ICR [23, 50, 53, 65]
Die Ausdehnung der B-Lines korreliert mit der Schwere der Erkrankung und dem Sauerstoffbedarf [65].
- **Möglich:** Konsolidierungen verschiedener Größe [50, 53, 65] vor allem paravertebral und posterior [65] aber meist kleiner als bei Pneumonien (<1 cm). Die Ausdehnung der Konsolidierungen korreliert mit der Schwere der Erkrankung und dem Sauerstoffbedarf [65].

Score und Bronchiolitis

Der Lungenultraschall Score nach Brat et al. [34] mit dem Sauerstoffbedarf, der Schwere und der Länge des Krankenhausaufenthalts korreliert [40, 41].

COVID-19

Die Zeichen bei einer SARS-CoV-2 Infektion (COVID-19) entsprechen diesen Befunden [66, 67, 68]. Der Lungenultraschall kann die Zeichen einer COVID-19 Infektion bei Neu- und Frühgeborenen erkennen [67, 68], insbesondere auch bei Kindern ohne pulmonale Symptomatik [69]. Und eignet sich auch als Verlaufskontrolle im ambulanten Setting. Der Lungenultraschallbefund bei einer Bronchiolitis korreliert mit dem Sauerstoffbedarf und der Schwere der Erkrankung [65].

7.2.5 Lungenödem (LOE)

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungenultraschall hilfreich um ein Lungenödem zu erkennen [50]. Lungenultraschall kann nicht zwischen kardiogenem und nicht-kardiogenem Lungenödem unterscheiden [50]. Das Lungenödem ist ein gradueller Prozess. Bis zu 2 B-Lines pro ICR sind physiologische Flüssigkeit im Interstitium und in den interlobulär Räumen. Wird die interstitielle Flüssigkeit mehr, kommt es zu mehr B-Lines (Interstitielles Syndrom). Ist das interstitielle Compartment mit Flüssigkeit gefüllt (Schweres Interstitielles Syndrom) und es kommt zu weiterer Flüssigkeitsansammlung, tritt dies in das alveoläre Compartment über (Alveoläres Syndrom). Nimmt die Flüssigkeit weiter zu, kommt es zu einem Pleuraerguss.

Interstitielles Syndrom (INS)

- 3 B-Lines oder mehr pro ICR in allen Arealen (z.B. bei PDA, VSD) [10, 46, 52, 70]
- **Oder:** Zwei oder mehr angrenzende Intercostalräume mit konfluierende B-Lines [4].

Schweres Interstitielles Syndrom

- Glass Rockets: 5-12 B-Lines/ICR [23]
- **Oder:** „White Lung“ [4]

7.2.6 Alveolar Syndrome (ALS)

- Zwei oder mehr angrenzende Intercostalräume mit konfluierende B-Lines [4, 23]
- Raue, verdickte Pleuralinie

7.2.7 Lungensequester (BPS)

- Konsolidierung im betroffenen Bereich der Läsion [71, 72]
- Abwesenheit der Pleuralinie im betroffenen Bereich [71, 72]
- Abnormales „Feeding Vessel“ [71, 72]

7.2.8 Lungenblutung (Pulmonary Hemorrhage of the Newborn, PHN)

- Abnormale Pleuralinie [4]
- Shred sign [4]
- Konsolidierungen mit Aerobronchogramm [4]
- Pleuraerguss ein-, oder beidseitig [4]

7.2.9 Mekoniumaspirationssyndrom (MAS)

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungensonographie hilfreich in der Erkennung der Mekoniumaspiration [50].

- Vorliegen von heterogenen Veränderungen in beiden Lungen [4, 10, 73]
- Konsolidierungen (Hepatisierung) mit Aerobronchogramm und irregulären Grenzen [4, 10, 73]
- B-Lines und Konsolidierungen mit dazwischen ausgesparten Arealen [4, 10, 73]

In einem Case Report beschreiben Liu et al. die erfolgreiche Therapie einer Mekoniumaspiration mittel Bronchoalveolärer Lavage solange bis die Zeichen im Lungensonographie nicht mehr auffindbar waren [56].

7.2.10 Neonatal Acute Respiratory Distress Syndrome (nARDS)

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungensonographie hilfreich in der semi-quantitativen Analyse der Lungenbelüftung und im Management des nARDS [50]. Diese Empfehlung deckt sich mit den Erkenntnissen aus Tiermodellen [36].

- Bilaterale diffuse Areale mit Konsolidierungen und vermehrten B-Lines [50]
- Abnormale (verdickte, raue) Pleuralinie [50]
- Pleuraerguss [50]



Abbildung 7.1: Zeichnung eines Pleuraergusses.

7.2.11 Pleuraerguss

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungenultraschall hilfreich in der Erkennung eines Pleuraergusses [50]. Eine Ultraschall-gezielte Punktion reduziert die Wahrscheinlichkeit für Komplikationen [50]. Ein echoarmes oder echoreiches Areal zwischen parietaler und viszeraler Pleura (Abbildung 7.1) [8]. Nur ein Thorax-Drain gibt eine sichere Diagnose, der Schallbefund kann Hinweise liefern [31].

- Jellyfish Sign [31]
- Sinusoid Sign [31]

Transsudat

- Immer echoarm [31]

Exsudat

Bei Hämatothorax, bei Fibrin oder Pus.

- Echoarm bis echoreich oder mit echoreichen schwimmenden Partikeln (Plankton Sign, Kapitel 6.2.16) oder Septierungen [31].

Purulenter Erguss:

- Echoreich [31]
- **Möglich:** feine echoreiche Septierungen [31].
- **Möglich:** multiple echoreiche Alveoli ähnlich einer Honigwabe [31].
- **Möglich:** Plankton sign: Langsam schwimmende echoreiche Partikel ähnlich einem Piktogramm von Plankton. Die Bewegungen sind synchron der Atmung oder dem Herzschlag [31].
- **Möglich:** Bei Pneumokokken ist der Erguss durch eine echoreiche Wand begrenzt [31].

Hämatothorax

- Echoreich mit Plankton Sign: Langsam schwimmende echoreiche Partikel ähnlich einem Piktogramm von Plankton. Die Bewegungen sind synchron der Atmung oder dem Herzschlag [31].

7.2.12 Pneumothorax (PTX)

Die erste Beschreibung des Ultraschalls zur Diagnose des Pneumothorax in Menschen geht auf Wernecke et al 1987 zurück [74], der bereits die Abwesenheit des Lungslidings und die Abwesenheit von B-Lines beschreibt.

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungensultraschall hilfreich in der effektiven Erkennung eines Pneumothorax [50]. Lungensultraschall ist effizient in der Diagnose des Pneumothorax [75, 76] und dem Thoraxröntgen zumindest ebenbürtig [75, 76] mit einer Sensitivität von 82,9-99 % (95 % CI: 78,3-98 % bis 86,9-100 %) und einer Spezifität von 98-98,2 % (95 % CI: 94-97 % bis 99 %) wenn das Thoraxröntgen als Referenz verwendet wird, in zwei Systematic Reviews mit Meta-Analysen [75, 76]. Es existiert eine retrospektive Studie die die Effektivität des Lungensultraschalls und des Thoraxröntgens mit der Computertomographie oder der Aspiration von Luft verglichen hat. In dieser Studie war Lungensultraschall dem Thoraxröntgen in der Diagnose des Pneumothorax überlegen [77].

Lungensultraschall zur Diagnose eines Pneumothorax bei Neonaten kann auch in der Reanimationssituation verwendet werden [78]. Hier ist es empfehlenswert die Ventilationsphase für die Untersuchung zu verwenden, da hier auch das Lungsliding beurteilt werden kann. In Reanimationssituationen ist der Lungensultraschall schwer zu interpretieren [78].

- Abwesenheit von Lungsliding [4, 11, 75, 79, 80]
Sensitivität: 82,1 % (95 % CI: 71,7-89,8 %), Spezifität 100 (95 % CI: 97,6-100 %) [75]
Sensitivität: 100 %, Spezifität 100 % [77]
- „Stratosphere Sign“ im M-Mode [4, 11, 80]
- Abwesenheit eines Lungensultraschalls [11, 77]
Sensitivität: 100 %, Spezifität: 100 % [77]
Dieses Zeichen ist bei Neu- und Frühgeborenen schwer verwertbar. Ein Lungensultraschall kann auch bei einem Spannungspneumothorax vorhanden sein [78].
- Lungensultraschallpunkt [4, 10, 11, 75, 79, 80]
Sensitivität: 87,2 % (95 % CI: 77,7-93,7 %), Spezifität: 99,4 (95 % CI: 96,5-100 %) [75]
Sensitivität: 94,28 %, Spezifität: 100 % [77]
- Abwesenheit von B-Lines in betroffenem Areal [4, 11, 79, 80]
Sensitivität: 100 %, Spezifität 100 % [77]
- Mirrored Ribs: Zumindest eine klare Spiegelung von zumindest einer Rippe und intercostalen Strukturen im B-Mode [32].

Vorgehen nach Liu et al. [80]

1. Identifiziere Pleuralinie, A-lines und B-lines im B-Mode
2. Identifiziere Lungsliding und Lungensultraschallpunkt
3. Identifiziere Stratosphere Sign im M-Mode

Quantifizierung und Größe

In Erwachsenen korreliert die Lage des Lungensultraschallpunktes mit der Größe des Pneumothoraxes gemessen im CT, dies ist dem Thoraxröntgen und einer klassischen Einteilung überlegen. Volpicelli et al. zeigten, dass hinter der mittleren Axillarlinie (entspricht $\geq 30\%$ kollabierte Lunge) die beste anatomische

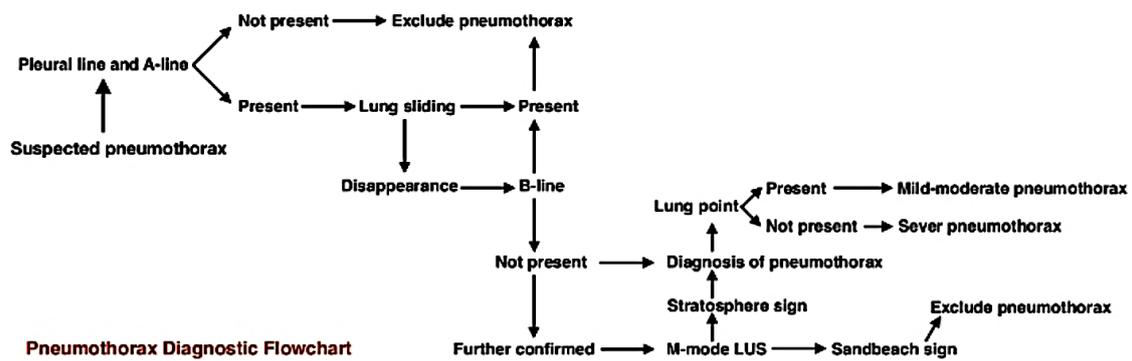


Abbildung 7.2: Diagnose Flowchart Pneumothorax nach Liu et al. [80]

Tabelle 7.2: Einteilung der Größe des Pneumothorax mittels Lungenultraschalls (LUS) nach Position des Lungenpunktes (LP) im Verhältnis zur mittleren Axillarlinie (MAL) verglichen zur Einteilung in der Computertomografie (CT) nach Volpicelli et al [83] und nach Liu et al [80].

Volpicelli et al. [83]		
Lungenkollaps im CT (%)	Lungenpunkt Position im LUS	Predictive value (95 % CI)
Class 1 (≤ 10)	anterior der MAL	78,1 (59,7–90,9)
Class 2 (11 – 29)	auf MAL	88,5 (69,8–97,6) - 97,5 (86,6–99,9)
Class 3 (≥ 30)	posterior der MAL	50 (26,0-74,0)
Liu et. al. [80]		
Kategorie	Definition	
Mild PTX	PTX Zeichen anterior. Kein Lungsliding in $<50\%$ des Lungenflügels	
Moderate PTX	PTX Zeichen anterior und lateral. Kein Lungsliding in $>50\%$ des Lungenflügels	
Severe PTX	PTX Zeichen anterior. Kein Lungenpunkt darstellbar	

Grenze zwischen großem und kleinem Pneumothorax darstellt, siehe Tabelle 7.2.

Wird ein Pneumothorax mit einer kollabierten Lunge von $\leq 15\%$ konservativ behandelt, kommt es zu keinem Airleak und einer sehr niedrigen Rückfallrate, deutlich weniger als in interventionell therapierten Fällen [81, 82]. Diese Größe korreliert in der Einteilung mittels Position des Lungenpunktes vor der mittleren Axillarlinie. Bei V.a. großen Pneumothorax anhand der Zeichen im Lungenultraschall aber völliger klinischer Stabilität ist vor einer Punktion differentialdiagnostisch an einen Lungensequester oder eine andere kongenitale Fehlbildung (CPAM) zu denken und diese abzuklären. Auch eine ausgeprägte Überblähung oder ein interstitielles Emphysem können zu stark abgeschwächtem Lungsliding führen [59]. Der Ultraschallbefund alleine ist keine Indikation für eine Drainage.

Eine Einteilung nach Liu et al. orientiert sich nur an den Lungenultraschallzeichen, siehe Tabelle 7.2.

Dynamische Beurteilung

Zur Bestimmung des Größenverlaufs wird pro ICR der Lungenpunkt mit einem Stift auf der Haut markiert. Im Verlauf (z.B. nach einer Stunde) erfolgt eine Kontrolle ob der Lungenpunkt nach dorsal oder ventral gewandert ist.

Diese Methode ist noch nicht validiert, scheint aber effizient zu sein und ist im Tiermodell bereits untersucht [84].

Ultraschallgezielte Pleurapunktion nach Liu et al. [80]

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungenultraschall hilfreich für die Anlage einer Thoraxdrainage oder bei einer Pleurapunktion bei einem Spannungspneumothorax. Ultraschall sollte vor der Anlage einer Drainage oder Punktion verwendet werden um die Lungengrenzen und abdominelle Organe abzugrenzen und Verletzungen zu verhindern [50]. Das Kind wird in Rücken-, Seiten-, oder Bauchlage gebracht, je nachdem wo sich der Pneumothorax befindet. Eine „Oberkörper hoch“ Lagerung hilft um mehr Luft zu aspirieren. Besteht ein Severe Pneumothorax, muss die Pleurapunktion sofort durchgeführt werden. Mild Pneumothorax benötigt meist keine Therapie. Bei Moderatem Pneumothorax sollte die Pleurapunktion in dem Feld ohne Lungsliding durchgeführt werden. Die Pleurapunktion wird nach sterilem Abdecken des Ultraschallkopfes unter direkter Darstellung durchgeführt.

7.2.13 Pneumomediastinum (PMM)

Pneumomediastinum kann im Lungenultraschall erkannt werden.

- Still Lung Point [26]
- Verdickte kurvige Linie unterhalb des Thymus [13, 85]
- „Gap Sign“: Kein parasternales Schallfenster für Herzultraschall auffindbar [86]
- Stratosphere Sign [86]

7.2.14 Respiratory Distress Syndrome (RDS)

Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungenultraschall hilfreich um zwischen RDS und TTN zu differenzieren [50]. Lungenultraschall hat dieselbe Aussagekraft wie das Thoraxröntgen in der Diagnose des RDS [20, 87, 88] mit einer Sensitivität von 92-99 % (95 % CI: 89-92 % bis 94-100 %) und einer Spezifität von 95 % (95 % CI: 87-93 % bis 97-98 %) wenn Thoraxröntgen als Referenz verwendet wird, in zwei Systematic Reviews mit Meta-Analysen [87, 88].

- Verdickte und raue Pleuralinie [4, 13, 20, 50, 53, 89, 90, 91]
- Konsolidierungen [13, 50, 89, 90, 91], vor allem posterior [4], gelegentlich mit Aerobronchogramm [4]
- „Weiße Lunge“ (=konfluierende B-Lines) [13, 20, 50, 53, 89]
- Auffälligkeiten in allen Lungenfeldern [4, 13, 20, 53, 89]
- Keine A-Lines [50, 91]
- Keine Spiegelung der Leber oder der Milz im subcostalen Transversalschnitt [13].

Surfactant Applikation

Die Notwendigkeit einer Surfactantbehandlung kann mittels Lungenultraschall beurteilt werden. Nach einer Surfactant Applikation kommt es erst verzögert zu einer Veränderung im Lungenultraschall [53, 91]. Nach 4 h kommt es zu einer Verminderung der Konsolidierungen, der Anzahl der B-Lines und einem Vorkommen von ausgesparten Arealen sowie A-Lines [91] vor allem in den anterioren Lungenabschnitten [92]. Nach 6 h kommt es zu einer Normalisierung der Pleuralinie, einer Deutlichen Reduktion der B-Lines und einem klaren Bild mit A-Lines. [13, 91]

Tabelle 7.3: Verschiedene Cutoffs im Lungenultraschall Score um die Beatmung und den Surfactantbedarf bei Respiratory Distress Syndrom (BPD) mittels Lungenultraschall Score mit entsprechender Sensitivität (Sen), Spezifität (Spe), negativem prädiktivem Wert (NPV) und positivem prädiktivem Wert (PPV) vorherzusagen und den Charakteristika der Patient*innen (Anzahl und mittlere-/mediane SSW) der Studien (Observational Study (OS), Systematic Review (SR)) und ihren Quellen. Fast alle Studien verwendeten 6 Schallfenster (links und rechts: anterior kranial, anterior kaudal, lateral).

1. Surfactant							
Score (Schnitte)	Sen (%)	Spe (%)	NPV (%)	PPV (%)	n (SSW)	Typ	Quelle
>2 (6)	91	25	93	20	65 (30 SSW)	OS	[34]
>12 (6)	92,9	92,5	97,4	81,3	62 (29-31 SSW)	OS	[93]
>4 (6)	100	61	97	54	65 (30 SSW)	OS	[34]
>6 (6)	90	80	88	82	133 (28 SSW)	OS	[37]
>8 (6)	82	92	83	88	133 (28 SSW)	OS	[37]
>4 (6)	96	100			45 (30 SSW)	OS	[94]
2. Surfactant							
>10 (6), 2h n 1.Surf	94	60	95	56	46 (32 SSW)	OS	[95]
Beatmung							
>25,5 (12)	81,3	88,8			146 (29 SSW)	OS	[39]
>12 (6)	100	77,6	100	31,2	62 (29-31 SSW)	OS	[93]
Beatmung/Surfactant							
>5-6 (6)	88	82			485	SR	[96]

Lungenultraschall Score und Respiratory Distress Syndrome

Die verschiedenen Möglichkeiten die Entwicklung eines RDS im Lungenultraschall und die Notwendigkeit einer Beatmung vorherzusehen sind in Tabelle 7.2.14 aufgelistet. Fast alle Studien verwendeten 6 Schallfenster (links und rechts: anterior kranial, anterior kaudal, lateral).

7.2.15 Transitorische Tachypnoe des Neugeborenen (TTN)

Entspricht der „Wet Lung“ [4]. Entsprechend der POCUS Guidelines ist Lungenultraschall hilfreich um zwischen TTN und RDS zu differenzieren [50]. Lungenultraschall ist sinnvoll und hat dieselbe Aussagekraft wie das Thoraxröntgen in der Diagnose der TTN [20, 97] mit einer Sensitivität von 98 % (95 % CI: 92-100 %) und einer Spezifität von 99 % (95 % CI: 91-100 %) wenn Thoraxröntgen als Referenz verwendet wird, in einem Systematic Review mit Meta-Analyse [97].

Der LUS Score kann verwendet werden um den Verlauf einer TTN zu messen. Nach 3 d besteht kein signifikanter Unterschied mehr zu gesunden Neugeborenen [98].

- Kann mit einer „White Lung“ beginnen [4]
- Verdickte oder verschwommene (reguläre) Pleuralinie [4, 10, 27, 50, 90]
- Keine Konsolidierungen [4, 10, 27, 90]
- „Double lung point“ möglich: Konfluierende B-Lines in der inferioren Lungenfeldern und weniger konfluierende B-Lines in den superioren Lungenfeldern; uni- oder bilateral [4, 10, 13, 20, 27, 50, 70]
Sensitivität: 67 % (95 % CI: 63-71 %), Spezifität: 97 % (95 % CI: 95-98 %) [99]

oder

vermehrt nicht konfluierende B-Lines uni- oder bilateral [10, 27]

7.2.16 Zwerchfellhernie (CDH)

- Abwesenheit eines Zwerchfellanteils [100]. Diskontinuität der hyperechogenen Linie im Verlauf des Zwerchfells im transabdominellen Schnitt [101]
- Abwesenheit der Pleuralinie in betroffenem Areal [100, 101]
- Abwesenheit von A-Lines in betroffenem Areal [101]
- Konsolidierung im angrenzenden Bereich der Läsion [101]
- Paradoxe Bewegung der Bauchorgane (abdominelles Fenster)
- Intrathorakale parenchymatöse Organe (Leber, Milz) [100, 101]
oder Vorhandensein eines mehrschichtigen Areals mit hyperechogenem Inhalt (Intrathorakale Darmschlingen) [100, 101]
- **Möglich:** Peristaltik in den betroffenen Arealen [101]

7.2.17 Zystische Malformation der Lunge (CPAM)

Lungenultraschall kann für die Erkennung einer zystischen Malformation der Lunge verwendet werden [71, 72, 102, 103]

- eine oder mehrere hypoechogene zystische Läsion [8, 72, 103]
- Konsolidierung im betroffenen Bereich der Läsion [8, 72, 103]
- Abwesenheit der Pleura-Linie im betroffenen Bereich [8, 72]
- Kein abnormales „Feeding Vessel“ [71, 72]

Kapitel 8

Lungenultraschall-gezielte Verfahren

8.1 Lungenultraschall-gezielte Surfactant Therapie nach Rodriguez-Fanjul et al. [1]

In einer prospektiven randomisierten Studie, wurde in 56 Frühgeborenen mit einem Gestationsalter von <32 SSW mittels LUS der Bedarf an Surfactant bestimmt und mit FiO_2 als Kriterium verglichen.

1. LUS binnen 1 h in 6 Regionen
2. Score >8: Surfactant-Therapie

Die LUS-Gruppe erhielt Surfactant früher, bei niedrigeren FiO_2 Werten, ohne Auswirkung auf Beatmungstage, BPD oder Aufenthaltsdauer [1].

8.2 Lungenultraschall-gezielte Rekrutierung nach Shady et al. [2]

Lungenultraschall kann für die Rekrutierung an konventioneller Beatmung verwendet werden. Shady et al definierten den MAP, bei dem konsolidierte Areale in den posterioren Lungenfeldern eröffnet werden als P_{Open} und der MAP unter schrittweiser Reduktion, an dem sie wieder zu vermehrten B-Lines oder Konsolidierungen werden als P_{Close} . Der MAP wurde dann 2 mbar über dem P_{Close} eingestellt [2].

8.3 Lungenultraschall-gezielte Bronchoalveoläre Lavage nach Liu et al. [3]

Liu et al. verwendete Lungenultraschall für die Notwendigkeit einer Bronchoalveolären Lavage in 35 Neonaten [3]. Es wurde solange rekrutiert und lavagiert bis keine Konsolidierungen mehr im Lungenultraschall sichtbar waren [3].



8.4 Lungenultraschall-gezielte Punktion

8.4.1 Pneumatocele

Muniraman et al. punktierten erfolgreich eine Pneumatocele Lungenultraschall-gezielt [104].

8.5 Lungenultraschall bei Katheterlage

Im Rahmen einer Katheter-Anlage kann ein rascher Blick auf die Lunge im Sinne eines Fast-LUS Komplikationen (PTX etc.) erkennen.

Literaturverzeichnis

- [1] Rodriguez-Fanjul J, Jordan I, Balaguer M, Batista-Muñoz A, Ramon M, Bobillo-Perez S. Early surfactant replacement guided by lung ultrasound in preterm newborns with RDS: the ULTRASURF randomised controlled trial. *European Journal of Pediatrics*. 2020;179(12):1913–1920.
- [2] Shady N, Awad H, Kamel D, Fouda E, Ahmed N, Dawoud M. Role of lung ultrasound in the assessment of recruitment maneuvers in ventilated preterm neonates with respiratory distress syndrome and its correlation with tracheal IL-6 levels: A randomized controlled trial. *Journal of Neonatal-Perinatal Medicine*. 2020;(Preprint):1–6.
- [3] Liu J, Zhao HR, Wei HL, Chen C, Qiu RX, Ren XL, et al. Efficacy of Bronchoalveolar Lavage as Adjunct Therapy in the Treatment of Neonatal Severe Pneumonia: A Prospective Case–Control Study. *Journal of tropical pediatrics*. 2020;66(5):528–533.
- [4] Liu J, Copetti R, Sorantin E, Lovrenski J, Rodriguez-Fanjul J, Kurepa D, et al. Protocol and guidelines for point-of-care lung ultrasound in diagnosing neonatal pulmonary diseases based on international expert consensus. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*. 2019;(145):e58990.
- [5] de Mendoza BdRH, Sanchez-de Toledo J, Perez SB, Girona M, Gargallo MB, Rodriguez-Fanjul J. Lung ultrasound to assess the etiology of persistent pulmonary hypertension of the newborn (LUPPHYN study): a pilot study. *Neonatology*. 2019;116(2):140–146.
- [6] Jagła M, Grudzień A, Starzec K, Tomasik T, Zasada M, Kwinta P. Lung ultrasound in the diagnosis of neonatal respiratory failure prior to patient transport. *Journal of Clinical Ultrasound*. 2019;47(9):518–525.
- [7] Gao YQ, Qiu RX, Liu J, Zhang L, Ren XL, Qin SJ. Lung ultrasound completely replaced chest X-ray for diagnosing neonatal lung diseases: a 3-year clinical practice report from a neonatal intensive care unit in China. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2020;p. 1–8.
- [8] Corsini I, Parri N, Gozzini E, Coviello C, Leonardi V, Poggi C, et al. Lung ultrasound for the differential diagnosis of respiratory distress in neonates. *Neonatology*. 2019;115(1):77–84.
- [9] Gomond-Le Goff C, Vivalda L, Foligno S, Loi B, Yousef N, De Luca D. Effect of different probes and expertise on the interpretation reliability of point-of-care lung ultrasound. *Chest*. 2020;157(4):924–931.
- [10] Sharma D, Farahbakhsh N. Role of chest ultrasound in neonatal lung disease: a review of current evidences. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2019;32(2):310–316.
- [11] Kurepa D, Zaghoul N, Watkins L, Liu J. Neonatal lung ultrasound exam guidelines. *Journal of Perinatology*. 2018;38(1):11.



- [12] Louis D, Belen K, Farooqui M, Idiong N, Amer R, Hussain A, et al. Prone versus supine position for lung ultrasound in neonates with respiratory distress. *American journal of perinatology*. 2019;.
- [13] Mong A, Epelman M, Darge K. Ultrasound of the pediatric chest. *Pediatric radiology*. 2012;42(11):1287–1297.
- [14] Blank DA, Rogerson SR, Kamlin COF, Fox LM, Lorenz L, Kane SC, et al. Lung ultrasound during the initiation of breathing in healthy term and late preterm infants immediately after birth, a prospective, observational study. *Resuscitation*. 2017;114:59–65.
- [15] Blank DA, Kamlin COF, Rogerson SR, Fox LM, Lorenz L, Kane SC, et al. Lung ultrasound immediately after birth to describe normal neonatal transition: an observational study. *Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition*. 2018;103(2):F157–F162.
- [16] Rea G, Sperandeo M, Di Serafino M, Vallone G, Tomà P. Neonatal and pediatric thoracic ultrasonography. *Journal of ultrasound*. 2019;p. 1–10.
- [17] Almudena AO, Alfonso María LS, Estefanía RG, Blanca GHM, Simón Pedro LL. Pleural line thickness reference values for preterm and term newborns. *Pediatric Pulmonology*. 2020;55(9):2296–2301.
- [18] Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S, Meziere G. The "lung pulse": an early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med*. 2003 Dec;29(12):2187–2192.
- [19] Lichtenstein DA, Mezière GA, Lagoueyte JF, Biderman P, Goldstein I, Gepner A. A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest*. 2009;136(4):1014–1020.
- [20] Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive care medicine*. 2012;38(4):577–591.
- [21] Martelius L, Sùvari L, Janér C, Helve O, Kaskinen A, Kirjavainen T, et al. Lung ultrasound and static lung compliance during postnatal adaptation in healthy term infants. *Neonatology*. 2015;108(4):287–292.
- [22] Guo BB, Wang KK, Xie L, Liu XJ, Chen XY, Zhang F, et al. Comprehensive quantitative assessment of lung liquid clearance by lung ultrasound score in neonates with no lung disease during the first 24 hours. *BioMed Research International*. 2020;.
- [23] Lichtenstein DA. Current misconceptions in lung ultrasound: a short guide for experts. *Chest*. 2019;156(1):21–25.
- [24] Lichtenstein DA. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*. 2015;147(6):1659–1670.
- [25] Miller LE, Stoller JZ, Fraga MV. Point-of-care ultrasound in the neonatal ICU. *Current opinion in pediatrics*. 2020;32(2):216–227.
- [26] Matsumoto T, Matano H. The still lung point: new sonographic evidence for pneumomediastinum. *The American journal of emergency medicine*. 2016;34(2):344–e1.
- [27] Miall L, Wallis S. The management of respiratory distress in the moderately preterm newborn infant. *Archives of Disease in Childhood-Education and Practice*. 2011;96(4):128–135.

- [28] Liu J, Chen SW, Liu F, Li QP, Kong XY, Feng ZC. The diagnosis of neonatal pulmonary atelectasis using lung ultrasonography. *Chest*. 2015;147(4):1013–1019.
- [29] Gao S, Xiao T, Ju R, Ma R, Zhang X, Dong W. The application value of lung ultrasound findings in preterm infants with bronchopulmonary dysplasia. *Translational Pediatrics*. 2020;9(2):93.
- [30] Lichtenstein D, Mezière G, Seitz J. The dynamic air bronchogram: a lung ultrasound sign of alveolar consolidation ruling out atelectasis. *Chest*. 2009;135(6):1421–1425.
- [31] Lichtenstein D. Pleural effusion and introduction to the lung ultrasound technique. *General ultrasound in the critically ill*. 2005;p. 96–104.
- [32] Küng E, Aichhorn L, Berger A, Werther T. Mirrored Ribs: A Sign for Pneumothorax in Neonates. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2020;21(10):e944–e947.
- [33] Taveira M, Yousef N, Miatello J, Roy C, Claude C, Boutillier B, et al. Can a simple lung ultrasound score predict length of ventilation for infants with severe acute viral bronchiolitis? *Archives de pediatrie: organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*. 2018;25(2):112–117.
- [34] Brat R, Yousef N, Klifa R, Reynaud S, Aguilera SS, De Luca D. Lung ultrasonography score to evaluate oxygenation and surfactant need in neonates treated with continuous positive airway pressure. *JAMA pediatrics*. 2015;169(8):e151797–e151797.
- [35] Yousef N, Vigo G, Shankar-Aguilera S, De Luca D. Semiquantitative Ultrasound Assessment of Lung Aeration Correlates With Lung Tissue Inflammation. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2020;.
- [36] Elsayed YN, Hinton M, Graham R, Dakshinamurti S. Lung ultrasound predicts histological lung injury in a neonatal model of acute respiratory distress syndrome. *Pediatric pulmonology*. 2020;55(11):2913–2923.
- [37] De Martino L, Yousef N, Ben-Ammar R, Raimondi F, Shankar-Aguilera S, De Luca D. Lung ultrasound score predicts surfactant need in extremely preterm neonates. *Pediatrics*. 2018;142(3):e20180463.
- [38] Perri A, Riccardi R, Iannotta R, Di Molfetta DV, Arena R, Vento G, et al. Lung ultrasonography score versus chest X-ray score to predict surfactant administration in newborns with respiratory distress syndrome. *Pediatric pulmonology*. 2018;53(9):1231–1236.
- [39] Pang H, Zhang B, Shi J, Zang J, Qiu L. Diagnostic value of lung ultrasound in evaluating the severity of neonatal respiratory distress syndrome. *European journal of radiology*. 2019;116:186–191.
- [40] Di Mauro A, Cappiello AR, Ammirabile A, Abbondanza N, Bianchi FP, Tafuri S, et al. Lung Ultrasound and Clinical Progression of Acute Bronchiolitis: A Prospective Observational Single-Center Study. *Medicina*. 2020;56(6):314.
- [41] Pungertnik T, Uros K, Panjan D, Krivec J. DIAGNOSTIC VALUE OF LUNG ULTRASOUND IN NEWBORNS AND INFANTS WITH BRONCHIOLITIS. In: 3rd LAUNCH, Lung Ultrasound in Neonates and Children; 2021. .
- [42] Liu J. The lung ultrasound score cannot accurately evaluate the severity of neonatal lung disease. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2020;39(5):1015–1020.

- [43] Girona-Alarcón M, Cuaresma-González A, Rodríguez-Fanjul J, Bobillo-Perez S, Inarejos E, Sánchez-de Toledo J, et al. LUCAS (lung ultrasonography in cardiac surgery) score to monitor pulmonary edema after congenital cardiac surgery in children. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2020;p. 1–6.
- [44] Szymański P, Kruczek P, Hożejowski R, Wais P. Modified lung ultrasound score predicts ventilation requirements in neonatal respiratory distress syndrome. *BMC pediatrics*. 2021;21(1):1–9.
- [45] Loi B, Vigo G, Baraldi E, Raimondi F, Carnielli VP, Mosca F, et al. Lung Ultrasound to Monitor Extremely Preterm Infants and Predict BPD: Multicenter Longitudinal Cohort Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2020;(ja).
- [46] Zhao M, Huang Xm, Niu L, Ni Wx, Zhang Zq. Lung Ultrasound Score Predicts the Extravascular Lung Water Content in Low-Birth-Weight Neonates with Patent Ductus Arteriosus. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*. 2020;26:e921671–1.
- [47] Yu LF, Xu CK, Zhao M, Niu L, Huang XM, Zhang ZQ. Bedside cardiopulmonary ultrasonography evaluates lung water content in very low-weight preterm neonates with patent ductus arteriosus. *World journal of clinical cases*. 2021;9(8):1827.
- [48] El Amrousy D, Elgendy M, Eltomey M, Elmashad AE. Value of lung ultrasonography to predict weaning success in ventilated neonates. *Pediatric Pulmonology*. 2020;55(9):2452–2456.
- [49] Alonso-Ojembarrena A, Ruiz-González E, Estepa-Pedregosa L, Armenteros-López AI, Segado-Arenas A, Lubián-López SP. Reproducibility and reference values of diaphragmatic shortening fraction for term and premature infants. *Pediatric Pulmonology*. 2020;55(8):1963–1968.
- [50] Singh Y, Tissot C, Fraga MV, Yousef N, Cortes RG, Lopez J, et al. International evidence-based guidelines on Point of Care Ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Critical Care*. 2020;24(1):1–16.
- [51] Pereda MA, Chavez MA, Hooper-Miele CC, Gilman RH, Steinhoff MC, Ellington LE, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children: a meta-analysis. *Pediatrics*. 2015;135(4):714–722.
- [52] Liu J, Liu F, Liu Y, Wang HW, Feng ZC. Lung ultrasonography for the diagnosis of severe neonatal pneumonia. *Chest*. 2014;146(2):383–388.
- [53] Raimondi F, Yousef N, Migliaro F, Capasso L, De Luca D. Point-of-care lung ultrasound in neonatology: classification into descriptive and functional applications. *Pediatric research*. 2018;p. 1–8.
- [54] Durand P, De Luca D, Tissieres P. What's new in lung ultrasound in the critically ill or injured child. *Intensive care medicine*. 2019;45(4):508–511.
- [55] Tusor N, De Cunto A, Basma Y, Klein JL, Meau-Petit V. Ventilator-associated pneumonia in neonates: the role of point of care lung ultrasound. *European journal of pediatrics*. 2021;180(1):137–146.
- [56] Liu J, Xia RM, Ren XL, Li JJ. The new application of point-of-care lung ultrasound in guiding or assisting neonatal severe lung disease treatment based on a case series. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2020;33(23):3907–3915.



- [57] Liu J, Chen SW, Liu F, Wang Y, Kong XY, Li QP, et al. BPD, not BPD, or iatrogenic BPD: findings of lung ultrasound examinations. *Medicine*. 2014;93(23).
- [58] Pieper CH, Smith J, Brand EJ. The value of ultrasound examination of the lungs in predicting bronchopulmonary dysplasia. *Pediatric radiology*. 2004;34(3):227–231.
- [59] Alonso-Ojembarrena A. Lung Overdistention Monitorization by Ultrasound in a Patient With Severe Bronchopulmonary Dysplasia. *Medicina intensiva*. 2020;44(2):131–132.
- [60] Alonso-Ojembarrena A, Lubián-López SP. Lung ultrasound score as early predictor of bronchopulmonary dysplasia in very low birth weight infants. *Pediatric Pulmonology*. 2019;54(9):1404–1409.
- [61] Oulego-Erroz I, Alonso-Quintela P, Terroba-Seara S, Jiménez-González A, Rodríguez-Blanco S. Early assessment of lung aeration using an ultrasound score as a biomarker of developing bronchopulmonary dysplasia: a prospective observational study. *Journal of Perinatology*. 2021;41(1):62–68.
- [62] Alonso-Ojembarrena A, Serna-Guerediaga I, Aldecoa-Bilbao V, Gregorio-Hernández R, Alonso-Quintela P, Concheiro-Guisán A, et al. The Predictive Value of Lung Ultrasound Scores in Developing Bronchopulmonary Dysplasia: A Prospective Multicenter Diagnostic Accuracy Study. *Chest*. 2021;.
- [63] Avni E, Cassart M, De Maertelaer V, Rypens F, Vermeylen D, Gevenois PA. Sonographic prediction of chronic lung disease in the premature undergoing mechanical ventilation. *Pediatric radiology*. 1996;26(7):463–469.
- [64] Abdelmawla M, Louis D, Narvey M, Elsayed Y. A lung ultrasound severity score predicts chronic lung disease in preterm infants. *American journal of perinatology*. 2019;36(13):1357–1361.
- [65] Basile V, Di Mauro A, Scalini E, Comes P, Lofù I, Mostert M, et al. Lung ultrasound: a useful tool in diagnosis and management of bronchiolitis. *BMC pediatrics*. 2015;15(1):1–8.
- [66] Gregorio-Hernández R, Escobar-Izquierdo A, Cobas-Pazos J, Martínez-Gimeno A. Point-of-care lung ultrasound in three neonates with COVID-19. *European journal of pediatrics*. 2020;179:1279–1285.
- [67] Matsuoka MW, Rocha SMSd, Gibelli MABC, Nicolau CM, Carvalho WBd, Suzuki L. Use of lung ultrasound in neonates during the COVID-19 pandemic. *Radiologia brasileira*. 2020;53(6):401–404.
- [68] Li W, Fu M, Qian C, Liu X, Zeng L, Peng X, et al. Quantitative assessment of COVID-19 pneumonia in neonates using lung ultrasound score. *Pediatric Pulmonology*. 2021;.
- [69] Guitart C, Suárez R, Girona M, Bobillo-Perez S, Hernández L, Balaguer M, et al. Lung ultrasound findings in pediatric patients with COVID-19. *European journal of pediatrics*. 2021;180(4):1117–1123.
- [70] Alhassen Z, Vali P, Guglani L, Lakshminrusimha S, Ryan RM. Recent advances in pathophysiology and management of transient tachypnea of newborn. *Journal of Perinatology*. 2020;p. 1–11.
- [71] Filippova EA, Dorofeeva EI, Mironova AK, Kryuchko DS, Ionov OV, Kirtbaya AR, et al. The Role of Ultrasound in Diagnosis of Congenital Lung Malformations. In: 1st LAUNCH, Lung Ultrasound in Neonates and Children; 2019. .



- [72] Quercia M, Panza R, Calderoni G, Di Mauro A, Laforgia N. Lung ultrasound: a new tool in the management of congenital lung malformation. *American journal of perinatology*. 2019;36(S 02):S99–S105.
- [73] Liu J, Cao HY, Fu W. Lung ultrasonography to diagnose meconium aspiration syndrome of the newborn. *Journal of International Medical Research*. 2016;44(6):1534–1542.
- [74] Wernecke K, Galanski M, Peters PE, Hansen J. Pneumothorax: evaluation by ultrasound—preliminary results. *Journal of thoracic imaging*. 1987;2(2):76–78.
- [75] Dahmarde H, Parooie F, Salarzaei M. Accuracy of ultrasound in diagnosis of pneumothorax: a comparison between neonates and adults—a systematic review and meta-analysis. *Canadian respiratory journal*. 2019;2019.
- [76] Fei Q, Lin Y, Yuan TM. Lung Ultrasound, a Better Choice for Neonatal Pneumothorax: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ultrasound in Medicine & Biology*. 2020;.
- [77] Deng BY, Li N, Wu WS, He XG, Li JF, Huang TI, et al. Use of neonatal lung ultrasound for the early detection of pneumothorax. *American journal of perinatology*. 2020;37(09):907–913.
- [78] Rodriguez-Fanjul J, Perez-Baena L, Perez A. Cardiopulmonary resuscitation in newborn infants with ultrasound in the delivery room. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2019;p. 1–4.
- [79] Raimondi F, Fanjul JR, Aversa S, Chirico G, Yousef N, De Luca D, et al. Lung ultrasound for diagnosing pneumothorax in the critically ill neonate. *The Journal of pediatrics*. 2016;175:74–78.
- [80] Liu J, Kurepa D, Feletti F, Alonso-Ojembarrena A, Lovrenski J, Copetti R, et al. International expert consensus and recommendations for neonatal pneumothorax ultrasound diagnosis and ultrasound-guided thoracentesis procedure. *Journal of Visualized Experiments*. 2020;.
- [81] Miller A, Harvey J. Guidelines for the management of spontaneous pneumothorax. Standards of Care Committee, British Thoracic Society. *Bmj*. 1993;307(6896):114–116.
- [82] O'Rourke JP, Yee ES. Civilian spontaneous pneumothorax: treatment options and long-term results. *Chest*. 1989;96(6):1302–1306.
- [83] Volpicelli G, Boero E, Sverzellati N, Cardinale L, Busso M, Boccuzzi F, et al. Semi-quantification of pneumothorax volume by lung ultrasound. *Intensive Care Med*. 2014 Oct;40(10):1460–1467.
- [84] Oveland NP, Lossius HM, Wemmelund K, Stokkeland PJ, Knudsen L, Sloth E. Using thoracic ultrasonography to accurately assess pneumothorax progression during positive pressure ventilation: a comparison with CT scanning. *Chest*. 2013;143(2):415–422.
- [85] Matsumoto T, Matano H. The still lung point: new sonographic evidence for pneumomediastinum. *The American journal of emergency medicine*. 2016;34(2):344–e1.
- [86] Saracino C, Tessaro M. Pneumomediastinum as a sonographic mimic of pneumothorax. *Journal of ultrasound in medicine: official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*. 2015;34(8):1521–1522.
- [87] Wu J, Wang Y, Zhao A, Wang Z. Lung Ultrasound for the Diagnosis of Neonatal Respiratory Distress Syndrome: A Meta-analysis. *Ultrasound quarterly*. 2020;36(2):102.



- [88] Ma H, Yan W, Liu J. Diagnostic value of lung ultrasound for neonatal respiratory distress syndrome: a meta-analysis and systematic review. *Medical ultrasonography*. 2020;22(3):325–333.
- [89] Cattarossi L. Lung ultrasound: its role in neonatology and pediatrics. *Early human development*. 2013;89:S17–S19.
- [90] Raimondi F, Yousef N, Fanjul JR, De Luca D, Corsini I, Shankar-Aguilera S, et al. A multicenter lung ultrasound study on Transient Tachypnea of the Neonate. *Neonatology*. 2019;115(3):263–268.
- [91] Oktem A, Yigit S, Oğuz B, Celik T, Haliloğlu M, Yurdakok M. Accuracy of lung ultrasonography in the diagnosis of respiratory distress syndrome in newborns. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2019;p. 1–6.
- [92] Liu J, Lovrenski J, Ye Hlaing A, Kurepa D. Neonatal lung diseases: lung ultrasound or chest x-ray. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2019;p. 1–6.
- [93] Gregorio-Hernandez R, Arriaga-Redondo M, Pérez-Pérez A, Ramos-Navarro C, Sanchez-Luna M. Lung ultrasound in preterm infants with respiratory distress: experience in a neonatal intensive care unit. *European Journal of Pediatrics*. 2020;179(1):81–89.
- [94] Vardar G, Karadag N, Karatekin G. The role of lung ultrasound as an early diagnostic tool for need of surfactant therapy in preterm infants with respiratory distress syndrome. *American Journal of Perinatology*. 2020;.
- [95] Perri A, Tana M, Riccardi R, Iannotta R, Giordano L, Rubortone SA, et al. Neonatal lung ultrasonography score after surfactant in preterm infants: A prospective observational study. *Pediatric pulmonology*. 2020;55(1):116–121.
- [96] Razak A, Faden M. Neonatal lung ultrasonography to evaluate need for surfactant or mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition*. 2020;105(2):164–171.
- [97] Ma HR, Liu J, Yan WK. Accuracy and Reliability of Lung Ultrasound to Diagnose Transient Tachypnoea of the Newborn: Evidence from a Meta-analysis and Systematic Review. *American Journal of Perinatology*. 2020;.
- [98] Li CS, Chu SM, Lien R, Mok TY, Hsu KH, Lai SH. Prospective investigation of serial ultrasound for transient tachypnea of the newborn. *Pediatrics & Neonatology*. 2021;62(1):64–69.
- [99] He L, Sun Y, Sheng W, Yao Q. Diagnostic performance of lung ultrasound for transient tachypnea of the newborn: A meta-analysis. *PloS one*. 2021;16(3):e0248827.
- [100] Rankin JH, Elkhunovich M, Seif D, Chilstrom M. Point-of-care ultrasound diagnosis of diaphragmatic hernia in an infant with respiratory distress. *Pediatric emergency care*. 2016;32(10):731–733.
- [101] Corsini I, Parri N, Coviello C, Leonardi V, Dani C. Lung ultrasound findings in congenital diaphragmatic hernia. *European journal of pediatrics*. 2019;p. 1–5.
- [102] Merli L, Nanni L, Curatola A, Pellegrino M, De Santis M, Silvaroli S, et al. Congenital lung malformations: a novel application for lung ultrasound? *Journal of ultrasound*. 2019;p. 1–5.



- [103] Yousef N, Mokhtari M, Durand P, Raimondi F, Migliaro F, Letourneau A, et al. Lung ultrasound findings in congenital pulmonary airway malformation. *American journal of perinatology*. 2018;35(12):1222–1227.
- [104] Muniraman H, Chintala S, Richardson R, Duarte A. Successful ultrasound guided percutaneous drainage of pneumatocele in an extremely preterm infant. *Radiology Case Reports*. 2021;16(3):607–611.

Abkürzungen

ALS	Alveolar Syndrome	
BPD		Bronchopulmonale Dysplasie
BPS	Bronchopulmonary Sequester	Lungensequester
CPAM	Congenital Pulmonary Adenomatoid Malformation	Zystische Malformation der Lunge
CDH	Congenital Diaphragmatic Hernia	Zwerchfellhernie
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure	
CT	Computerized Tomography	Computertomografie
CV	Conventional Ventilation	Konventionelle Beatmung
CXR	Chest X-ray	Thoraxröntgen
ETT		Endotracheal Tubus
FTA	Focal Type Atelectasis	Fokale Lungenatelektase
HFNC	High Flow Nasal Cannula	High Flow Brille
HFOV	High Frequency Oscillation Ventilation	Hochfrequenzbeatmung
HMD	Hyaline Membrane Disease	
ICR		Intercostalraum
INS	Interstitial Syndrome	Interstitielles Syndrom
INSURE	Intubation Surfactant Application Extubation	
KAT		Kompressionsatelektase
LT		Lebenstag
LW		Lebenswoche
LUS		Lungenultraschall
LISA	Less Invasive Surfactant Application	
MAL		Mittlere Axillarlinie
MAP	Mean Airway Pressure	Mittlerer Atemwegsdruck
MAS		Mekoniumaspiration
NIV	Non-invasive Ventilation	Nicht Invasive Beatmung
NPA	Neonatal Pulmonary Atelectasis	Neonatale Lungenatelektase
NPV	Negative Predictive Value	Negativer prädiktiver Wert
OLA	Occult Lung Atelectasis	Okkulte Lungenatelektase
OAT		Obstruktive Atelektase
PDA		Persistierender Ductus arteriosus botalli
PHN	Pulmonary Hemorrhage of the Newborn	Lungenblutung
PIE	Pulmonary Interstitial Emphysema	Lungenemphysem
PMN		Pneumonie
PMM		Pneumomediastinum
PPV	Positive Predictive Value	Positiver prädiktiver Wert
PTX		Pneumothorax

RDS	Respiratory Distress Syndrome	
Spe		Spezifität
Sen		Sensitivität
SSW		Schwangerschaftswoche
TTN		Transitorische Tachypnoe des Neugeborenen
VAP	Ventilator Associated Pneumonia	
VSD		Ventrikelseptumdefekt