

# Lungensonografie für Anästhesie, Intensiv- und Notfallmedizin

Wolf Armbruster, Rüdiger Eichholz, Thomas Notheisen



Durch Lungensonografie erkennt man in ca. 90% der Fälle die Ursache einer Dyspnoe [10].

Die Lungensonografie ist in der Intensiv- und Notfallmedizin ein unterschätztes Werkzeug: Bei bestimmten klinischen Fragestellungen ist ihre Sensitivität drastisch höher als die der Röntgen-Thoraxuntersuchung [1]. Ein standardisierter Untersuchungsgang verbessert dabei die Untersuchungsqualität [2]. Dieser Artikel vermittelt Grundlagenwissen der Lungensonografie und stellt die Überlegenheit des Ultraschalls gegenüber Röntgenverfahren heraus.

## Grundlagen

Eine hohe Aussagekraft bei Ultraschalluntersuchungen ist dann möglich, wenn der erweiterte Funktionsumfang der Geräte genutzt wird. Dabei sollte im Rahmen der Lungensonografie nicht nur das B-Bild zur Anwendung kommen. Vielmehr sollten insbesondere zusätzliche Techniken wie der M-Mode, der Farbdoppler und der Colour-Power-Doppler bekannt sein und eingesetzt werden (starke Level-A-Evidenz) [3].

### B-Bild

Die Aussagekraft der Lungensonografie basiert überwiegend auf der Interpretation von Bildfehlern [4]: Es werden also Artefakte bewertet [5]. Das liegt daran, dass die Schallwellen an der Pleura-Luft-Grenze nahezu vollstän-

dig reflektiert werden. Dadurch entstehen z. B. Spiegelbildartefakte der Thoraxwand, die sich in den Bereich unterhalb der echoreichen Pleuralinie projizieren.

### M-Mode

Im M-Mode wird eine einzige vertikale Bildzeile des Ultraschallbildes ausgewählt. In einem separaten Diagramm werden die Ultraschallsignale dieser Zeile über die Zeit abgebildet. Dadurch lassen sich Bewegungen im Gewebe als Kurven darstellen. Unbewegliche Strukturen erscheinen als horizontale Linien.

### Farbdoppler

Der Farbdoppler stellt eine Messbox (Farbfenster) zur Verfügung, in der auf vertikalen Dopplerschallstrahlen punktförmige Frequenzanalyse-Messvolumina enthalten

sind. In den Bildbereichen des Farbfensters werden somit über die Analyse der Dopplerfrequenzverschiebungen Strömungen auf den Schallkopf zu in roter Farbe und vom Schallkopf weg in blauer Farbe visualisiert [6].

Es werden also das „Gewebebild“ des B-Bildes und das „Strömungsbild“ des Farbdopplers überlagert und zusammen dargestellt. Strömung oder Bewegung wird mit der Farbdopplermethode farbig abgebildet und unbewegtes Gewebe im herkömmlichen B-Bild-Verfahren in Grautönen dargestellt [7]. Es lassen sich aber auch Gewebewebungen zwischen den Pleurablättern, das sog. Lungengleiten, sowie unkontrollierte Bewegungen des Schallkopfes als Farbartefakte darstellen.

#### Cave

**Doppleruntersuchungen, die 90° zur Strömungs- oder zur Gewebewebungsrichtung angewendet werden, sind nicht sensitiv und ergeben keine korrekte Strömungs- bzw. Bewegungsinformation.**

Da die im Folgenden erläuterten Pleurabewegungen nahezu 90° zu der ausgesendeten Schallenergie verlaufen, sollte keine Linearsonde zur Feststellung des Lungengleitens verwendet werden. Durch die Krümmung einer Konvexsonde werden Winkel größer oder kleiner 90° zwischen ausgesendeter Schallenergie und Pleurabewegung angewendet, daher wird das Lungengleiten eindeutiger als Farbsignal dargestellt. Alternativ kann bei einer Linearsonde der sog. Beschallungswinkel (Beam Steering, s. „Info – Pitfalls“) verwendet werden. Durch diesen kann ausgesendete Schallenergie zwischen 10° bis max. 30° in beide Richtungen gekippt werden.

### Colour-Power-Doppler/Amplitudendoppler

Der Colour-Power-Doppler misst die Lautstärke und damit die Amplitude der Schallreflexionen von bewegten Partikeln oder von Bewegungen der Gewebe. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sich zurückkehrende Signale proportional zum Quadrat der Stärke des Dopplersignals verhalten. Es handelt sich also um eine sehr empfindliche Messmethode, die in Bezug auf die Empfindlichkeit dem normalen Farbdoppler überlegen ist.

Eine Fließrichtung oder Flussgeschwindigkeit wird nicht ermittelt und angezeigt [8]. Die Vorteile gegenüber dem normalen Farbdoppler sind die geringere Winkelabhängigkeit und eine größere Sensitivität.

### Auswahl des Schallkopfes

Für die anteriore Brustwand kann sowohl eine Linearsonde als auch eine Konvexsonde genutzt werden. Allerdings muss vor allem bei der Konvexsonde die Bildtiefe angepasst werden, um ein aussagekräftiges Bild zu erzeugen. Eine Konvexsonde ermöglicht bei der Farbdoppleruntersuchung des Lungengleitens aussagekräftigere Befunde.

### INFO

#### Pitfalls

Die Anwendung des Farbdopplers zusammen mit dem M-Mode stellt in der Pneumothoraxdiagnostik eine starke Level-A-Empfehlung der internationalen Konsensuskonferenz dar [3]. Daher sollte der Untersucher die Limits und die Feineinstellungen der Methoden sehr gut kennen:

**Farbgain:** Die Farbgain (Farbverstärkung) sollte gerade unterhalb der Übersteuerung eingestellt werden, sodass keine Farbsignale in unbewegten Bereichen erkennbar werden [7].

**Pulsrepetitionsfrequenz:** Zur Feineinstellung des Farbdopplers kann die Farbgeschwindigkeitsskala (Pulsrepetitionsfrequenz) angepasst werden. Niedrige Geschwindigkeitsskalen werden für langsame Flüsse/Bewegungen eingestellt. Wenn eine hohe Geschwindigkeitsskala eingestellt ist, kann eine niedrige Geschwindigkeit unentdeckt bleiben [8].

**Beschallungswinkel (Beam Steering):** Durch zeitversetzte Ansteuerung der Piezoelemente wird die Strahlrichtung der Ultraschallwellen bei Linearsonden seitlich abgelenkt. Die Farbfenster-Kippung wird für Farbdoppleruntersuchungen von Strömungsrichtungen benötigt, die ca. 90° und damit senkrecht zur Schallrichtung der Sonde verlaufen. Die Farbfenster-Kippung ist bei einigen Ultraschallsystemen unter einem festen Winkel nach rechts oder links möglich, bei einigen Systemen in mehreren Stufen [7].

#### Merke

**Bei zeitkritischen Untersuchungen, wie z. B. im Schockraum, kommt nur die Konvexsonde zum Einsatz.**

Ist weder eine Linearsonde noch eine Abdomensonde verfügbar, ist durchaus auch eine Sektorsonde (= Phased-Array-Echokardiografie-Sonde) für die Lungenuntersuchung geeignet. Auch hier muss die Eindringtiefe auf ca. 5 cm verringert werden.

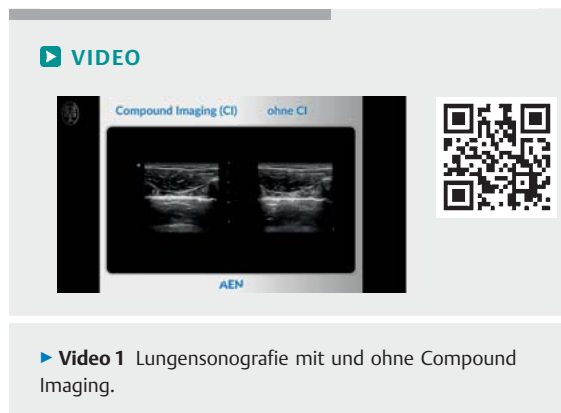
### Compound Imaging

Die meisten Gerätehersteller nutzen ein technisches Verfahren zur Bildverbesserung, das sog. Compound Imaging (synonym: Cross-Beam, X-Beam u.a.m.). Es führt durch eine elektronische Steuerung der aktiven Piezoelemente dazu, dass nicht nur orthograde Schallstrahlen ausgesendet werden, sondern auch seitlich gewinkelte, z. B. 10°, 20° oder max. 30°. Dadurch wird insgesamt eine bessere Bildqualität erreicht. Das Ausschalten dieser Funktion bewirkt jedoch eine deutlichere Darstellung der Kometenschweifartefakte bzw. der B-Linien (s. dort). Die richtungsweisenden Untersuchungen zum Lungen-

ultraschall wurden mit einfachen Geräten ohne Bildverbesserungsoptionen (Harmonic Imaging, Compound Imaging) durchgeführt. Daher kann empfohlen werden, die genannten Bildverbesserungsoptionen zu deaktivieren.

### Cave

**Vergleichende Befunde an einem Patienten müssen wegen der stark unterschiedlichen Darstellung der Kometenschweifartefakte/B-Linien zu 2 unterschiedlichen Zeitpunkten immer mit demselben Preset untersucht werden (► Video 1).**



► **Video 1** Lungensonografie mit und ohne Compound Imaging.

### Fokuszone, Bildtiefe und Gain

Die Faktoren Fokuszone, Bildtiefe und Gain sollten so angepasst werden, dass die Darstellung der Pleuralinie optimiert ist [9].

### Diagnostische Stärke der Lungensonografie

Eine häufig zitierte Arbeit von Lichtenstein et al. konnte bei Akutaufnahmen auf die Intensivstation bei Patienten mit Dyspnoe belegen: Nach der Lungensonografie in der 1. Viertelstunde nach Aufnahme war in 90,5% die Entlassdiagnose bereits gesichert [10].

Durch strukturierte Untersuchungen können die in ► **Tab. 1** dargestellten Befunde erhoben bzw. die aufgelisteten Prozedere sicherer durchgeführt werden.

### Diagnostik an der anterioren Brustwand

Die Abbildungen in unserem Artikel zeigen zuerst die wichtigsten Schallkopfpositionen. Anschließend werden die dazugehörigen Kryoschnittbilder betrachtet und davon 1:1-Illustrationen abgeleitet. Damit wird die Grundlage geschaffen, die entsprechenden Ultraschallbilder und Videoclips zu verstehen [43, 44].

► **Tab. 1** Pathologien und Prozedere mit wichtigsten Review-Literaturquellen.

Pathologien/Prozedere	Review-Literaturquellen
Pneumothorax	[1, 11–14]
Größe des Pneumothorax	[1, 15]
Lungenödem	[16–24]
Flüssigkeitshaushalt bei Dialysepatienten	[24–26]
Pneumonie (Lungenkonsolidierung)	[23, 27–29]
Pleuraerguss und Entlastung	[30–35]
Pulmonalarterienembolie	[2, 36–38]
Airway Management	[39–41]
Tracheostomie	[40, 42]

### Standardschnitte

Beim Anloten an der anterioren Brustwand (► **Video 2**) wird ein Longitudinalschnitt erzeugt. Dabei zeigt die Markierung der Ultraschallsonde im diagnostischen Ultraschall im Längsschnitt nach kranial. Es wird ein Schallfenster zwischen 2 Rippen gesucht: In dieser Einstellung lässt sich der Aufbau der Brustwand bis zur hyperechogenen Linie der Pleura darstellen (► **Abb. 1 bis 3**).

### Cave

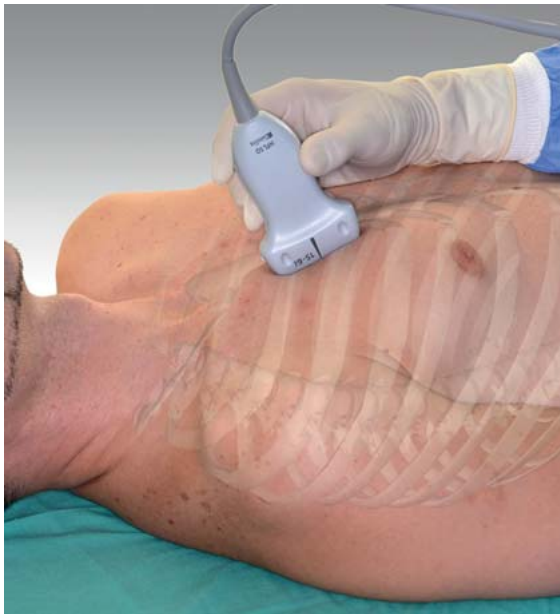
**Abhängig von der Schallkopfposition (► Video 2) kann auf der linken Thoraxseite das Herz bzw. das Perikard als bewegte Struktur dargestellt werden. Zur Pleuradiagnostik muss ein Schallfenster gewählt werden, das ausschließlich die Pleura zeigt.**



► **Video 2** Sonografie der anterioren Brustwand: Schallkopfposition.

### Pleura

Die Pleurablätter können nur mit hochauflösenden Ultraschallsonden voneinander unterschieden werden. Die Pleura hat eine Dicke von ca. 0,2 mm und liegt an der Grenze des Auflösungsvermögens einer hochfrequenten Linearsonde [5, 45]. Die Pleura parietalis lässt sich allenfalls als eine dünne Linie darstellen, die Pleura visceralis



► **Abb. 1** Untersuchung der anterioren Brustwand.

erscheint wesentlich kräftiger gezeichnet. Der Grund hierfür ist: Unterhalb der Pleura visceralis findet für die Ultraschallenergie der Übergang von normalem Weichteilgewebe (mittlere Schallleitungsgeschwindigkeit 1540 m/s) zu intrapulmonaler Luft (mittlere Schallleitungsgeschwindigkeit 330 m/s) statt. Dieser enorme sog. Impedanzunterschied führt zu einer Totalreflexion der Schallenergie zurück zum Schallkopf, sodass das Ultraschallgerät an dieser Stelle eine extrem hyperechogene Linie erzeugt [5,45].

Bei hydrostatischen Kompressionsatelektasen ist die Pleura visceralis nur bei luftfreier Lunge als dünne Linie

(► **Video 3**) zu erkennen. Die Unterscheidung der Pleurablätter hat diagnostisch wenig Bedeutung.

► **VIDEO**

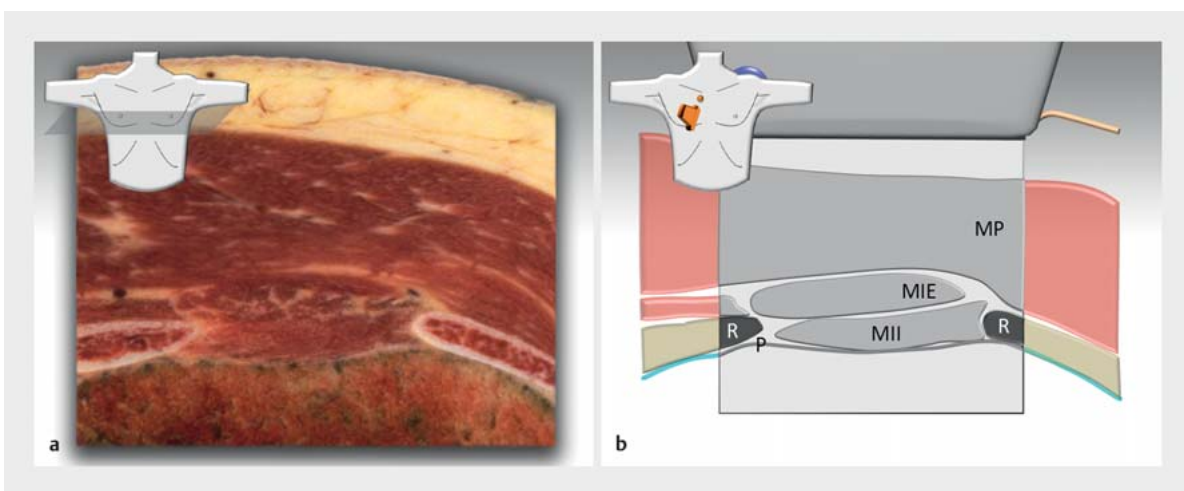
► **Video 3** Laterale Brustwand: hydrostatische Kompressionsatektasen.

### Artefakte

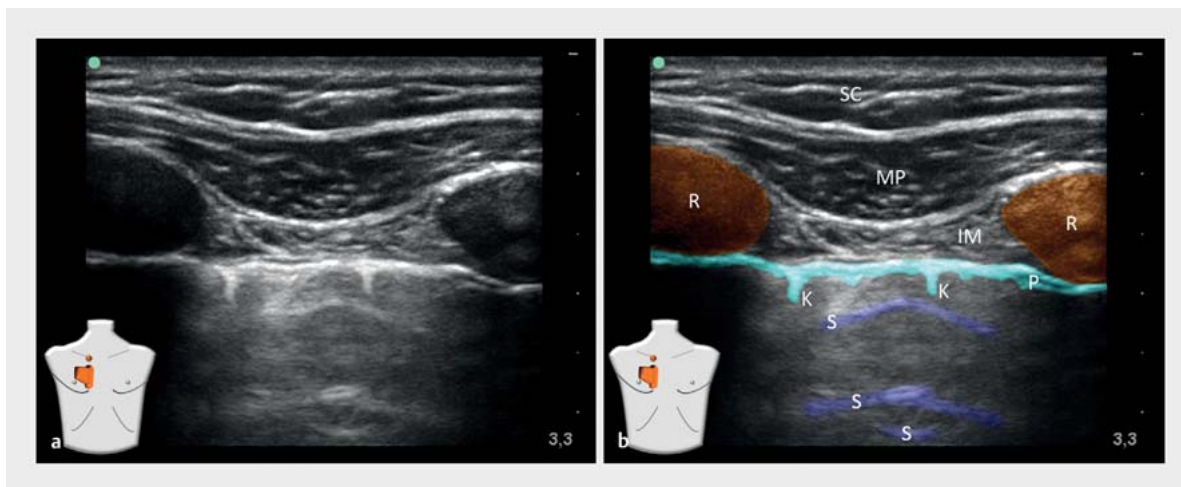
Bei der Lungensonografie deuten wir im Wesentlichen Artefakte und nutzen deren Erscheinungsbild für diagnostische Zwecke.

### Spiegelbildartefakt

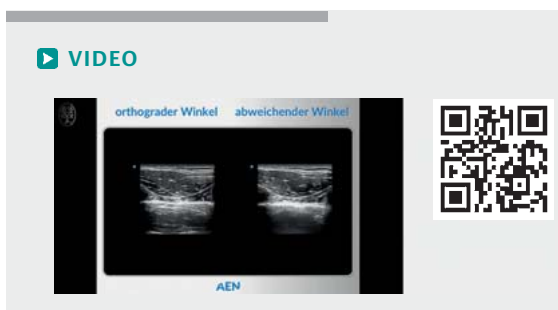
Ein Spiegelbildartefakt tritt auf, wenn Schallenergie an einer Grenzfläche zwischen Geweben mit stark unterschiedlichen Schallleitungsgeschwindigkeiten (dem sog. Impedanzunterschied) hin und her reflektiert wird. Unterhalb der Pleuralinie wird ein um 180° gespiegeltes Artefaktbild der Brustwand erzeugt. Die Darstellung des Spiegelbildes ist vom Winkel der Ultraschallsonde zur Pleura (Optimieren durch Kippen der Sonde) abhängig. Nur bei einer orthograden Anlotung der Pleura ist die Spiegelung gut zu erkennen. Weicht der Winkel ab, gehen die Detailinformationen verloren (► **Video 4**).



► **Abb. 2** Anteriore Brustwand. **a** Kryoschnitt. **b** Illustration des Kryoschnitts der anterioren Brustwand. MIE: M. intercostalis externus, MII: M. intercostalis internus, MP: M. pectoralis major, P: Pleura, R: Rippe.



► **Abb. 3** Sonografie der anterioren Brustwand. **a** Sonografischer Normalbefund. **b** Illustration des Normalbefunds. IM: Interkostalmuskulatur; K: Kometenschweifartefakt, hier nur angedeutet; MP: M. pectoralis major; P: Pleura; R: Rippen, knorpelig; SC: Subkutis; S: Spiegelbildartefakte.



► **Video 4** Pleurasonografie: orthograde Schall und Winkelveränderung.

### Kometenschweifartefakt, B-Linien

Kometenschweifartefakte und B-Linien sind sog. Reverberationsartefakte (Wiederholungsartefakte). Sie kommen durch kleinste Ansammlungen von Flüssigkeit in kleinsten Vertiefungen der Lungenoberfläche sowie durch vermehrte Flüssigkeit in Interlobärsepten zustande [21,22,46]. Hin und wieder erscheinende und wieder verschwindende Kometenschweifartefakte sind physiologisch. Zur Definition von Kometenschweifartefakten und B-Linien gehört, dass sie sich bewegen (mit Lungengleiten oder Lungenspuls, s. dort) und nicht stationär sind.

In Oberflächenvertiefungen der Lunge wird durch schallkopfnaher (Pleura parietalis) und durch schallkopferne Grenzlinien (Pleura visceralis) physiologische Gleitflüssigkeit des Pleuraspaltes „eingeschlossen“. Die Schallenergie eines Schallimpulses kehrt nach dem Auftreffen auf die Impedanzgrenze zur Luft nicht ausschließlich direkt zum Schallkopf zurück. Vielmehr pendelt sie zu einem Teil noch zwischen den Grenzflächen der Flüssigkeits-

ansammlung zwischen Pleura parietalis und visceralis hin und her. So kehren Anteile der Ultraschallenergie verzögert während des Impuls-Echo-Zyklus zum Schallkopf zurück. Der Ultraschallcomputer interpretiert dies so lange als Reflexionen aus der Tiefe, bis keine reflektierte Schallenergie mehr zur Verfügung steht. Das Kometenschweifartefakt ist somit ein hyperechogenes und langsam schwächer werdendes Vertikalartefakt.

### Merke

**Je größer die Flüssigkeitsansammlung in der pleuralen Vertiefung, umso größer ist die Pendelenergie und umso imposanter das Kometenschweifartefakt. Ist es so groß, dass es den Ultraschallsektor komplett durchquert, spricht man von einer B-Linie [3].**

Außerdem kommt es beim interstitiellen Ödem zu einer Ansammlung von Flüssigkeit in interlobulären Septen, die auch Lymphgefäße enthalten. Diese Lymphgefäße drainieren die vermehrte interstitielle Flüssigkeit. Direkt unterhalb dieser Flüssigkeitsansammlung findet der Impedanzsprung zur intrapulmonalen Luft statt, und es kommt zur Totalreflexion der Ultraschallenergie zurück zum Schallkopf. Durch die nah beieinanderliegenden Grenzflächen von Pleura parietalis, Pleura visceralis und intrapulmonaler Luft kommt es zu pendelnder Schallenergie in dieser Flüssigkeitsansammlung mit zeitverzögertem Nachhall zwischen diesen Septen. Der zeitlich verzögert zum Schallkopf zurückkehrende Schall wird als hyperechogenes Signal in der Bildtiefe abgebildet [17, 18, 22, 46–48]

### A-Linien

A-Linien sind Reverberationsartefakte, die durch pendelnde Ultraschallenergie zwischen der Schallkopfoberfläche auf der Haut und dem Impedanzsprung an der

Pleuralinie zustande kommen. Sie sind parallele Wiederholungslinien der Pleura in der Tiefe, die durch die nachlassende Ultraschallenergie in der Tiefe immer schwächer werden.

## Lungengleiten

Lungengleiten ist ein leicht zu erkennendes Phänomen. Im Bereich der hyperechogenen Pleuralinie zeigt sich atemabhängig eine Verschiebung der Pleura visceralis gegen die statische Pleura parietalis. Früher war der Begriff „Pleuragleiten“ verbreitet. Im Jahr 2012 hat sich eine Europäische Konsensuskonferenz [3] auf die einheitliche Bezeichnung „Lungengleiten“ festgelegt.

### PRAXISTIPP

Das Lungengleiten kann in zweifelhaften Fällen besser erkannt werden, wenn die Bildverstärkung (Gain) deutlich reduziert wird, auch wenn das Bild dann allgemein sehr dunkel wirkt.

Unter den knorpeligen sternalen Rippenansätzen lässt sich das Lungengleiten sehr gut darstellen, da der wasserhaltige Knorpel wie eine akustische Linse wirkt. Das Lungengleiten ist ein sicheres Zeichen für eine anliegende Lunge und gleitende Pleura visceralis an der Untersuchungsstelle [13,47].

## Lungenpuls

Bewegungen der Pleura visceralis gegen die Pleura parietalis treten nicht nur durch Inspiration und Expiration auf. Auch die Druckveränderungen durch Systole und Diastole des Herzens werden bis zur Pleura weitergeleitet. Das lässt sich beobachten, wenn man den Patienten bittet, die Luft anzuhalten: Pulssynchrones Lungengleiten und pulssynchrone Bewegungen von Kometenschweifartefakten im Bereich der hyperechogenen Pleuralinie sind dafür typisch. Der Lungenpuls lässt sich besonders deutlich im M-Mode darstellen (s. „Normalbefunde der Pleurasonografie“). Hier wird deutlich, dass die Übertragung der intrathorakalen Druckveränderungen nur bis zur Pleuralinie reicht, sich jedoch nicht in die Thoraxwand fortsetzt.

Ist eine Lungenseite nicht ventiliert, aber luftgefüllt wie bei einer einseitigen Intubation, so sind die Pleurabewegungen pulssynchron, wie sich an einem parallel aufgezeichneten EKG zeigt [49] (► **Video 5**). Auf der linken Seite erkennt man die Kombination von Lungengleiten und Lungenpuls, wobei das Lungengleiten schwach ausgeprägt ist. Auf der rechten Seite fehlt das Lungengleiten, das Kometenschweifartefakt bewegt sich ausschließlich pulssynchron.

### Merke

Besonders bei der Positionierung und Lagekontrolle eines Doppellumentubus bzw. eines Bronchusblockers ist die Untersuchung von Lungengleiten und Lungenpuls zielführend.



► **Video 5** Lungengleiten und Lungenpuls. Links: Kombination von Lungengleiten und Lungenpuls, rechts fehlendes Lungengleiten.

## Normalbefunde der Pleurasonografie

### B-Bild

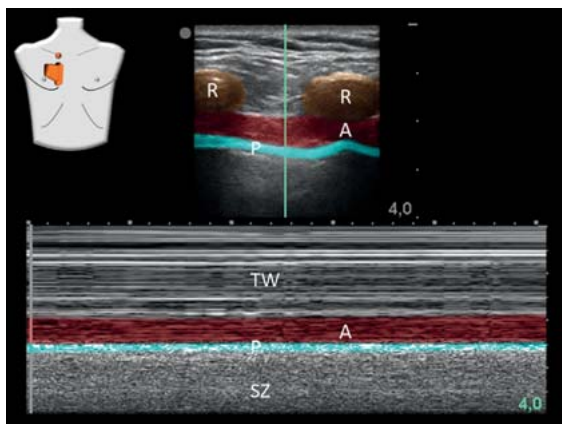
Durch das Lungengleiten und durch den Lungenpuls wird das durch die Pleura parietalis klar erzeugte Spiegelbild kontinuierlich in den Grauwerten verändert. Im B-Bild erkennt man daher das Anliegen und das Gleiten der Lunge auch an dem kontinuierlichen „Flimmern“ der Grauwerte des Spiegelbildartefaktes (► **Video 6**). Dieses Phänomen ist an der untersuchten Stelle ein Zeichen dafür, dass die Pleurablätter anliegen. Wenn Kometenschweifartefakte oder B-Linien erkennbar sind, dann müssen die Pleurablätter an dieser Stelle ebenfalls einander anliegen. Diese Artefakte liefern also den Beweis, dass an der untersuchten Stelle kein Pneumothorax vorliegt (Ausnahme: konsolidierte Lunge, s. „Lungenkonsolidierung“).



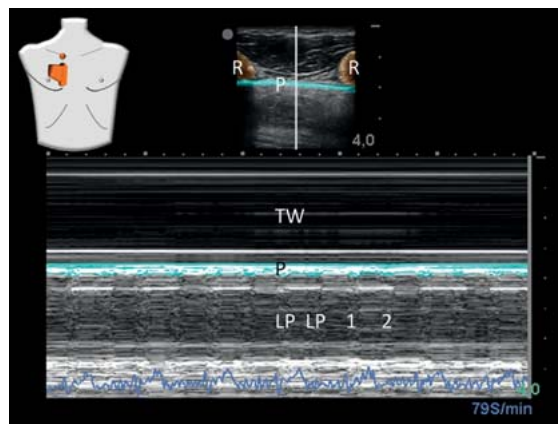
► **Video 6** Lungengleiten: Grauwertwechsel (Flimmern) im Spiegelbildartefakt.

### M-Mode

Oberhalb der Pleuralinie erkennt man im M-Mode auf der ausgewählten Bildzeile die Echoreflexe von Kutis, Subkutis, Faszien und Muskulatur. Da sich die Gewebe der



► **Fig. 4** M-Mode anteriore Brustwand mit Seashore Sign (die Darstellung der A. mammaria ist nicht relevant). A: A. thoracica interna; P: Pleura; R: Rippen, knorpelig; SZ: Strandzeichen (Seashore Sign); TW: Thoraxwand.



► **Abb. 5** M-Mode mit Lungenpuls (z. B. bei Apnoe oder einseitiger Beatmung). 1: 1. Herzton, 2: 2. Herzton, LP: Lungenpuls, P: Pleura, R: Rippen, TW: Thoraxwand.

Brustwand durch Atmung oder Herzaktion nicht bewegen, wird das Grauwertmuster im Verlauf über die Zeit als eine Art horizontales Barcode-Muster abgebildet (► **Abb. 4**).

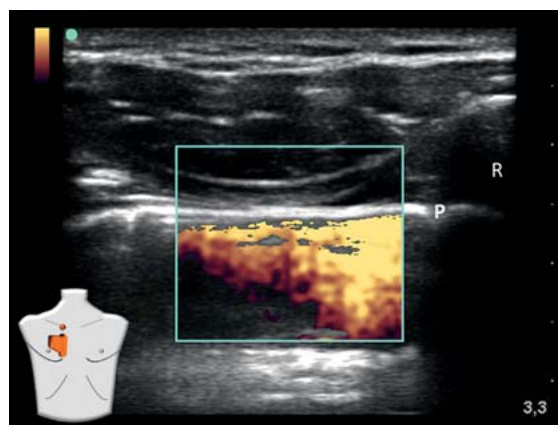
Die hyperechogene Linie der Pleura parietalis und visceralis verändert sich nicht und wird horizontal als echogene weiße Linie dargestellt.

Unterhalb der Pleuralinie ändern sich die Grauwerte des Spiegelbildartefaktes durch die in Inspiration und Expiration wandernde Pleura visceralis stetig. Dadurch entsteht über die Zeit ein granuläres Muster. Diese typische M-Mode-Aufzeichnung bezeichnet man in der englischsprachigen Literatur auch als „Seashore Sign“. Dies drückt die bildhafte Vorstellung aus: Der granuläre Bereich stellt den Sand dar, die Pleuralinie den beweglichen Wasserspiegel und darüber wird die Stratosphäre des Himmels abgebildet.

Durch die Herzaktionen erkennt man zusätzlich vertikale Streifenmuster in diesem granulären Bild, den Lungenpuls. Im Falle einer einseitigen Intubation sieht man auf der nicht ventilerten Seite kontinuierlich den Lungenpuls, da das Lungengleiten durch die Ventilation nicht vorhanden ist (► **Abb. 5**).

#### PRAXISTIPP

Unter Umständen kann in extrem lauter Umgebung bei Patiententransporten im Hubschrauber die sonografische Untersuchung zur Diagnose der korrekten Tubusposition der Auskultation überlegen sein.



► **Abb. 6** Farbsignal durch Lungengleiten und Lungenpuls. P: Pleura; R: Rippen, knorpelig.

#### Farbdoppler oder Colour-Power-Doppler

Das Lungengleiten und der Lungenpuls lassen sich auch durch die Farbdopplerfunktion visualisieren. Die Gewebewebungen, die beim Lungengleiten und durch den Lungenpuls auftreten, erzeugen ein Farbsignal (► **Abb. 6** und ► **Video 7**). Eine optimale Einstellung erhält man durch folgendes Vorgehen: Die Verstärkung, also die Farbgain des Farbdopplers, wird zuerst minimiert. Anschließend wird sie vorsichtig gesteigert, bis ein Farbsignal in Projektion auf die Pleura sichtbar ist, aber kein Artefakt-Farbsignal in der statischen Brustwand vorkommt. Eine Konvexsonde hat aufgrund der Krümmung eine höhere Sensitivität als eine Linearsonde.

**VIDEO**

**Video 7** Lungengleiten, Lungenpuls im Power-Doppler.

**PRAXISWISSEN**

**Normalbefund**

Typische Zeichen eines Normalbefundes im B-Bild sind:

- Lungengleiten
- wandernde Kometenschweifartefakte oder B-Linien
- Lungenpuls
- ständige Grauwertwechsel im Spiegelbildartefakt unterhalb der Pleuralinie
- Bewegungsartefakt der Pleura im Farbdoppler

### Pneumothorax und Lungenpunkt

Die Lungensonografie ist im Rahmen der Pneumothorax-Diagnostik eine sehr aussagekräftige Untersuchung.

**Merke**

**Die Sensitivität der Ultraschalluntersuchung für einen Pneumothorax beträgt ca. 90%, die Sensitivität einer anterior-posterioren Röntgen-Thoraxaufnahme erreicht dagegen nur Werte von ca. 30% [1, 11, 12, 50].**

Die Spezifität beider Untersuchungen ist mit 97 vs. 100% nahezu gleichwertig. Dabei ist der Ausschluss eines Pneumothorax mit dem Nachweis von Pleuragleiten hochspezifisch. Jedoch muss bedacht werden: Beispielsweise bei spontan atmenden Patienten mit Pneumothorax kann wegen des Einsatzes der Atemhilfsmuskulatur und extremer Atembewegungen bei Dyspnoe die Diagnostik eines Pneumothorax deutlich erschwert sein.

**B-Bild**

Im Falle eines Pneumothorax sammelt sich beim liegenden Patienten die extrapulmonale Luft unabhängig vom Ort des Lufteintrittes in den parasternalen Bereichen (► **Abb. 1**). Demnach ist die parasternale Anlotung bei Notfallpatienten sehr geeignet, um einen Pneumothorax zu identifizieren. Unterhalb der Pleura lässt sich in diesem Fall kein „Flimmern“ beobachten, da der Einfluss des Lun-

gengleitens auf das Artefaktbild wegfällt (► **Video 8**). Damit überträgt sich auch die Herzaktivität nicht mehr auf diesen Bereich. Somit bildet sich unterhalb der Pleura ein statisches Spiegelbild mit konstanten Grauwerten der Thoraxwand ab. Wandernde Kometenschweifartefakte und B-Linien können nicht auftreten, da die Pleurablätter nicht aneinander anliegen.

**VIDEO**

**Video 8** Normalbefund und Pneumothorax.

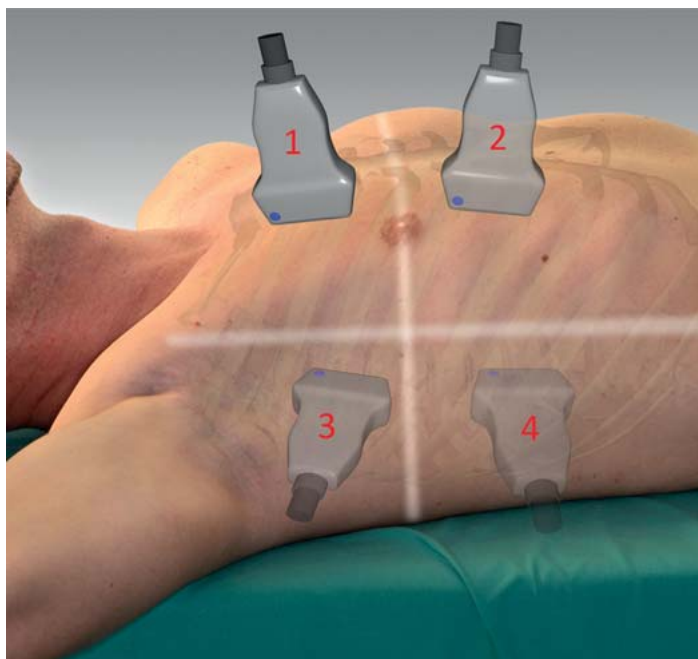
Untersucht man einen Interkostalraum von parasternal nach lateral, so zeigt sich bei kleineren Pneumothoraces an einer Stelle die wieder anliegende Lunge. Diese Stelle rückt bei jeder Inspiration von lateral nach medial in das Ultraschallbild und ist der sog. Lungenpunkt. Inspiratorisch befindet sich der Lungenpunkt weiter medial, beim Ausatmen rückt er nach lateral. Der Lungenpunkt wandert also atemabhängig (► **Video 9**). Er zeigt die laterale Ausdehnung des Lungenkollapses an. Die Ausdehnung des Lungenkollapses von anterior nach posterior ist mit einer Ultraschalluntersuchung jedoch nicht zu bestimmen. Denn die Totalreflexion des Schalls an der Pleura-Luft-Grenze führt unabhängig von der Dicke der Luftschicht stets zum gleichen Ultraschallbild.

**VIDEO**

**Video 9** Lungenpunkt im B- und M-Mode.

**Merke**

**Im Rahmen der Notfalldiagnostik werden die parasternalen Anlotungen gewählt, um einen Pneumothorax auszuschließen.**



► **Abb. 7** Einteilung der Quadranten zur ausführlichen Pleurasonografie.

Sofern parasternal beidseits Normalbefunde vorliegen, braucht im Rahmen der Notfallsonografie an keinen weiteren Stellen untersucht werden. Denn bei fast allen Notfallpatienten ist damit zu rechnen, dass keine Pleuraverklebungen vorliegen. Für einen ausführlicheren und strukturierten Untersuchungsgang werden mehrere Untersuchungsstellen ausgewählt. Dabei wird jede Thoraxhälfte in 4 Quadranten geteilt, die Trennlinien sind die vordere Axillarlinie und eine transversale Linie auf Höhe der Mamille (► **Abb. 7**).

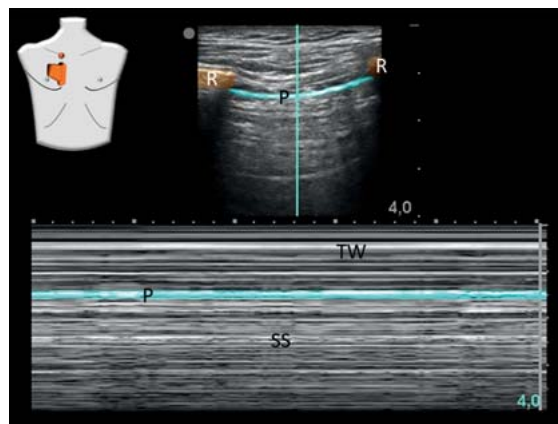
### M-Mode

Im M-Mode erkennt man oberhalb der Pleura das horizontale Streifenmuster der Brustwandtextur. Unterhalb der Pleuralinie zeigt sich dieses Muster exakt um 180° gespiegelt. Das Bild gleicht einem Stratosphären-Muster oder einem horizontalen Barcode (► **Abb. 8**).

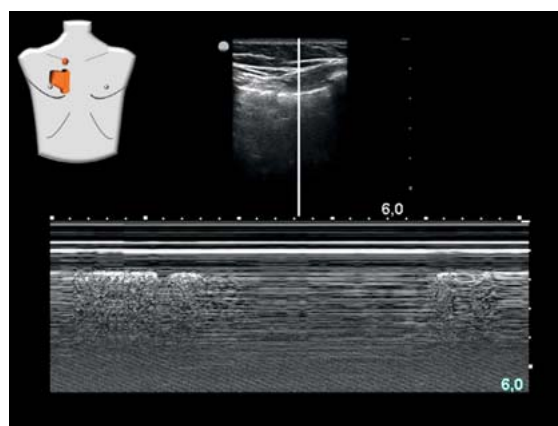
Bei der Anlotung des Lungenpunktes zeigt sich von parasternal nach lateral an dem Punkt ein wiederkehrendes „granuläres Muster“ unterhalb der Pleuralinie. Es tritt auf, wenn die der Brustwand wieder anliegende Lunge mit der Inspiration von lateral nach medial einwandert (► **Abb. 9**). Am Lungenpunkt wechseln sich also atemabhängig „Seashore Sign“ und „Barcode Sign“ ab.

### Farbdoppler oder Colour-Power-Doppler

Im Farbdoppler und im Colour-Power-Doppler-Modus lässt sich im Falle eines Pneumothorax unter der Pleura kein Farbsignal ableiten (► **Video 10**). Am Lungenpunkt stellt sich atemabhängig das wiederkehrende Farbsignal



► **Abb. 8** M-Mode bei Pneumothorax. P: Pleura, R: Rippen, SS: Stratosphärenzeichen, TW: Thoraxwand.



► **Abb. 9** Lungenpunkt bei Pneumothorax.

des Lungengleitens und des Lungenpulses unterhalb der Pleuralinie wieder dar.

### VIDEO



► **Video 10** Pneumothorax im Colour-Power-Doppler.

## PRAXISWISSEN

### Pneumothorax

Typische Zeichen eines Pneumothorax im B-Bild sind:

- fehlendes Lungengleiten
- keine wandernden Kometenschweifartefakte oder B-Linien
- fehlender Lungenpuls
- ein „glasklares“ Spiegelbildartefakt unterhalb der Pleuralinie
- keine ständigen Grauwertwechsel im Spiegelbildartefakt
- Feststellen eines Lungenpunktes
- kein Bewegungsartefakt der Pleura im Farbdoppler

### Röntgen zum Ausschluss eines Pneumothorax?

Zum routinemäßigen Ausschluss eines Pneumothorax, z.B. nach V.-subclavia-Punktion, ist keine Röntgenaufnahme erforderlich [1]. Sofern sonografisch Normalbefunde an der Pleura vorliegen und ein zentraler Venenkatheter mit einer eindeutigen EKG-Lagekontrolle gelegt werden konnte, kann auf ein Röntgenbild verzichtet werden. Sollte jedoch sonografisch ein Pneumothorax vorliegen, soll die radiologische Diagnostik zur Beurteilung der Ausdehnung hinzugezogen werden.

### Limitierungen der Methode

Alle Befunde, die durch Sonografie an der Pleura erhoben werden können, haben generell zur Voraussetzung, dass die Pleura an der untersuchten Stelle tatsächlich einsehbar ist. Dadurch ergeben sich besonders bei der Untersuchung zum Pneumothorax-Ausschluss Limitierungen. Diese machen ersichtlich, dass die Sensitivität der Methode mit ca. 90% zwar hoch ist, aber nicht an 100% herankommt. Im Umkehrschluss muss es also ca. 10% falsch positive Befunde geben. Diese entstehen z. B. bei einem Thoraxwand-Luftemphysem, weil an den Lufteingeschlüssen Spiegelbildartefakte entstehen, die mit einem Pneumothorax verwechselt werden können.

### Lungenödem

#### B-Bild

Vermeehrt interstitielle Flüssigkeit der Lunge führt zu einem Auftreten von multiplen B-Linien (► **Abb. 10** und ► **Video 11**) und zu einer Flüssigkeitsvermehrung zwischen den Pleurablättern. Es wird empfohlen, 8 Regionen zu untersuchen (► **Abb. 7**), jedoch sind 2 Regionen in der Notfallsonografie ausreichend [3].

#### Merke

**Eine Region ist positiv für B-Linien im Hinblick auf ein interstitielles Lungenödem, wenn 3 oder mehr B-Linien in einem Zwischenrippen-Schnittbild vorkommen. Ein positiver Befund muss in 2 oder mehr Regionen bilateral darstellbar sein [3].**

## CHECKLISTE

### Pneumothorax-Ausschluss

Vorgehen beim postinterventionellen Pneumothorax-Ausschluss [44]:

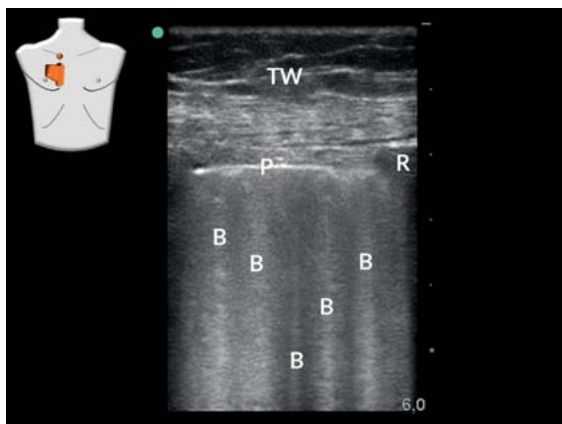
- Dokumentation von Ultraschallbefunden im Ultraschallsystem oder PACS mit eindeutiger Angabe von Name, Vorname, Geburtsdatum und Fallnummer; auf den Bildern ist ein Piktogramm erforderlich, alternativ ist eine Befundbeschreibung in der Krankenakte unerlässlich.
- Dokumentation
  - des beidseitigen Lungengleitens als Videoclip im B-Mode und als gespeichertes Bild im M-Mode,
  - eines Kometenschweifartefaktes oder einer B-Linie als Videoclip oder im Standbild,
  - des Colour-Power-Doppler-Signals unterhalb der Pleuralinie als Zeichen von Lungengleiten oder Lungenpuls.
- Treten keine klinischen Zeichen (z. B. Sättigungsabfall, Störungen von Ventilation und Atemmechanik) eines Pneumothorax im OP bis zur Verlegung aus dem Aufwachraum auf, ist eine wiederholte sonografische Untersuchung nicht erforderlich.
- Eine Kontrolluntersuchung vor Verlegung aus dem Aufwachraum wird jedoch empfohlen, wenn schwierige Punktionsverhältnisse oder fehlende Nadelspitzenkontrolle bei Interventionen nahe der Pleura vorlagen.
- Bei klinischen Zeichen der Atemnot im weiteren Verlauf erfolgt eine erneute sonografische Diagnostik.
- Röntgen- und ggf. CT-Diagnostik nur bei sonografischem Verdacht auf einen Pneumothorax.
- Die Dokumentation eines Pneumothorax erfolgt immer im Seitenvergleich durch Videoclip und M-Mode.
- Im Falle eines Pneumothorax kann die laterale Ausdehnung durch das Auffinden des Lungenpunktes dokumentiert werden.

### VIDEO



► **Video 11** Interstitielles Lungenödem: multiple B-Linien.

Zu beachten ist jedoch: Veränderungen der Lungenoberfläche wie bei Pleuritis (► **Abb. 11**), Pneumonie, Lungenödem anderer Ursache, rheumatischen Erkrankungen und Lungenfibrose führen gleichfalls zu Kometenschweifartefakten und B-Linien. Daher bedeutet das Vorliegen



► **Abb. 10** Multiple B-Linien als eindeutiges Zeichen einer Überwässerung. P: Pleura, R: Rippen, B: B-Linie, TW: Thoraxwand.



► **Abb. 11** Pleuritis. P: Pleura, TW: Thoraxwand.

von multiplen B-Linien bilateral nicht automatisch das Vorliegen eines Lungenödems [51, 52]. Die Befunde müssen deshalb stets vor dem Hintergrund der Anamnese und anderer klinischer Zeichen interpretiert werden.

Es gibt Hinweise darauf, dass die Einschätzung des interstitiellen Flüssigkeitsgehaltes mit Ultraschall bei terminaler Niereninsuffizienz Einfluss auf die Therapieentscheidung zur Hämodialyse haben kann [24–26, 53].

### Merke

**Der Ultraschall-Untersuchungsgang beim interstitiellen Ödem ist dem anterior–posterioren Röntgenbild der Lunge deutlich überlegen und vorzuziehen. Der Lungenultraschall kann die Zeit zwischen Dyspnoebeginn und Therapiebeginn deutlich senken [3].**

## PRAXISWISSEN

### B-Linien

B-Linien haben folgende Eigenschaften [3]:

- Sie sind laserartige vertikale hyperechogene Artefakte.
- Sie entstehen an der Pleuralinie.
- Sie durchqueren das Monitorbild komplett ohne Auslöschung.
- Sie bewegen sich mit dem Lungengleiten.
- Multiple B-Linien bilateral sind pathognomonisch für ein Lungenödem.
- Es sollten idealerweise 8 Regionen untersucht werden, jedoch sind im Notfall 2 anteriore Regionen ausreichend (► **Abb. 7**).
- Mehr als 3 B-Linien pro Schallfeld zwischen 2 Rippen sind pathologisch, 2 oder mehr Regionen bilateral sind diagnoseweisend für ein interstitielles Ödem.

Bei folgenden Erkrankungen können fokale B-Linien auftreten [3]:

- Pneumonie oder Atelektase
- Lungenkontusion
- Pulmonalarterienembolie
- pleurale Erkrankung wie Pleuritis, rheumatisch oder bei Fibrose
- Tumor

## Lungenkonsolidierung


### B-Bild

Ein konsolidiertes Lungenareal ist ein Bereich, der im Ultraschall als „Parenchybild“ darstellbar wird. Solche Bereiche sind zumindest partiell luftleer und haben Anschluss zur Pleuralinie. Typische Beispiele sind pneumonische Erkrankungen [2, 19, 39, 54] oder Tumorerkrankungen. In der akuten Entzündungssituation findet man ein Mischbild aus Flüssigkeitsansammlung und intraalveolär „gefangener Luft“, die nicht an der Ventilation teilnimmt. Diese Luft stellt sich als hyperechogene Flecken dar, häufig zusammen mit Kometenschweifartefakten oder B-Linien (► **Abb. 12**). Im Stadium der Organisation zeigt das betroffene Lungenareal einen „leberartigen“ Aspekt (► **Abb. 13** und ► **Video 12**). Weitere Gründe für eine Konsolidierung können eine Lungenembolie oder eine Atelektase sein.

## Diagnostik an der lateralen Brustwand

Die laterale Brustwand bietet die einfache Möglichkeit, mit der Konvexsonde kranial des Zwerchfells folgende Diagnosen zu erheben: Pleuraerguss, Hämatom, Kompressionsatelektasen, Pneumonien, Tumoren, Zwerchfellfunktionsstörungen. Die Eindringtiefe wird üblicherweise auf 15 cm eingestellt.

**VIDEO**



Lungenkonsolidierung

AEN

► **Video 12** Narbenstadium der Konsolidierung.

Die Standardschnitte rechts und links entsprechen den Zwerchfellpositionen des FAST-Untersuchungsganges (FAST: Focused Assessment with Sonography for Trauma). Die „Durchsicht“ bis auf das Zwerchfell gelingt ausschließlich durch die parenchymatösen Organe Leber und Milz.

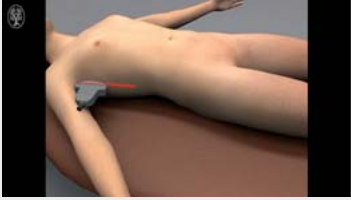
### Standardschnitte

#### Merke

Um reproduzierbare Untersuchungen für Verlaufsbeobachtungen durch verschiedene Untersucher zu erzielen, sollte ein standardisierter Untersuchungsgang eingehalten werden.

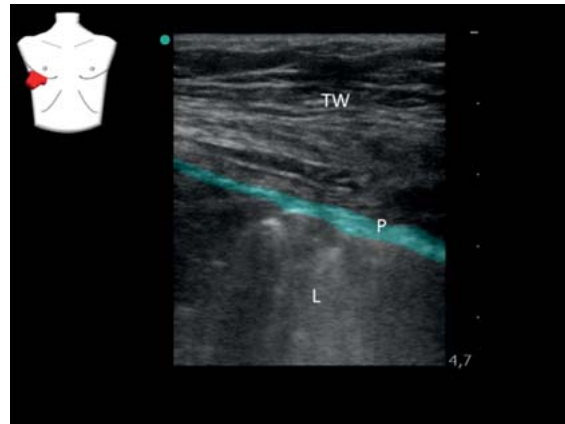
Auf der rechten Seite der Brustwand (► **Abb. 14** bis **16** und ► **Video 13**) lotet der Schallkopf longitudinal auf Mamilenhöhe an. Er gleitet nun auf der vorderen bis hinteren Axillarlinie entlang nach abdominal, bis das Zwerchfell und die Leber erkennbar sind. Dann wird die Sonde so weit mit der Markierung nach dorsal gedreht, bis sie exakt im Zwischenrippenraum liegt und keine störenden Rippenartefakte mehr auftreten.

**VIDEO**

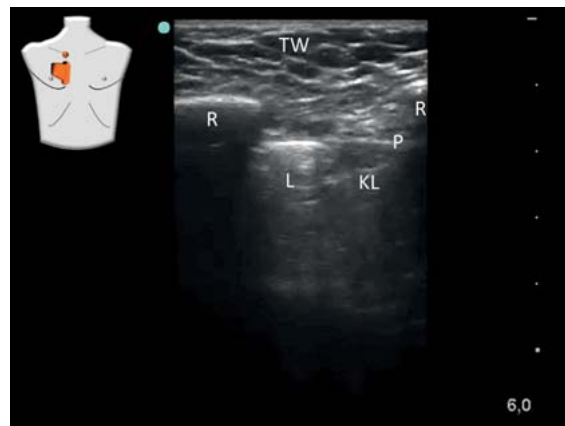


► **Video 13** FAST-1-Position.

Auf der linken Seite (► **Abb. 17, 18** und ► **Video 14**) gleitet die Sonde longitudinal entlang der hinteren Axillarlinie, da die Milz sehr weit kranial und dorsal liegt. Die Sonde wird nach Darstellung des Zwerchfells so weit mit der Markierung nach dorsal gedreht, bis sie exakt im Zwischenrippenraum liegt.



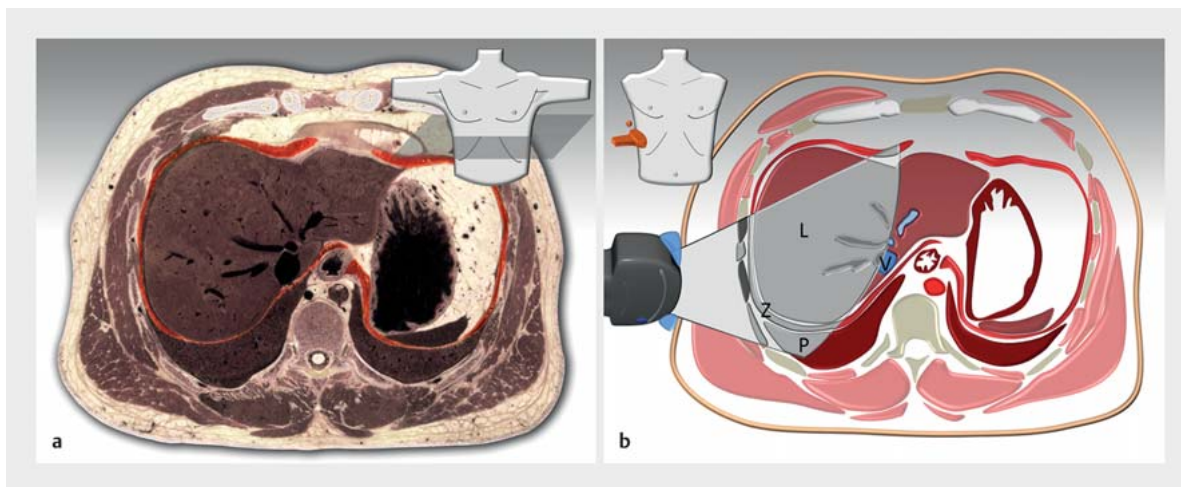
► **Abb. 12** Akutstadium der Pneumonie. P: Pleura, L: Lufteneinschlüsse, TW: Thoraxwand.



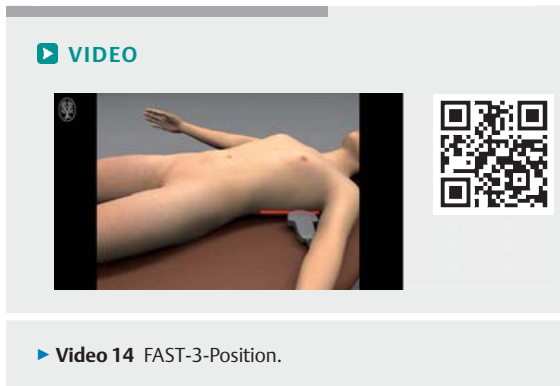
► **Abb. 13** Narbenstadium der Konsolidierung. P: Pleura, R: Rippen, L: Lunge, KL: konsolidierte Lunge, TW: Thoraxwand.



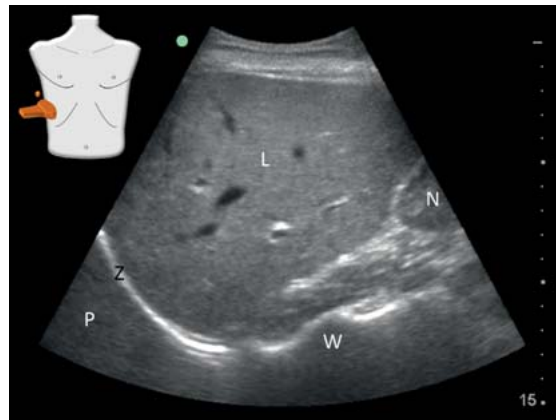
► **Abb. 14** Untersuchung der lateralen Brustwand: FAST-1-Position.



► **Abb. 15** FAST-1-Position. a Kryoschnitt. b Illustration des Kryoschnitts. L: Leber, P: Pulmo, V: V. cava inferior, Z: Zwerchfell.



► **Video 14** FAST-3-Position.



► **Abb. 16** Normalbefund in FAST-1-Position. L: Leber; N: Niere; P: Pulmo, hier Spiegelartefakt der Leber; W: Wirbelsäule; Z: Zwerchfell.

## Pleura

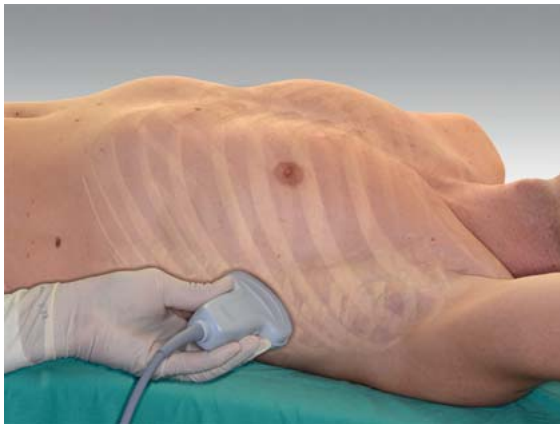
Während mittlerer bis tiefer Inspiration oder bei Beatmung ohne Vorliegen eines Pneumothorax gleitet die Pleura während der Inspiration in das Bildfeld. Dann kommt es zu einem Schallauslöschungsartefakt durch den sog. „schmutzigen Pleuravorhang“ (► **Video 15**). Dieses auch als „dirty curtain“ bezeichnete Phänomen kommt durch Spiegelbildartefakte der Thoraxwand zustande, die sich unterhalb der echoreichen Pleuralinie in das Bild projizieren. An der Pleuralinie lässt sich regelmäßig Lungengleiten beobachten. Auf beiden Thoraxseiten schließt dieses Phänomen zwar keinen partiellen Pneumothorax aus – es zeigt jedoch an, dass die Lunge gut belüftet ist. Durch dieses Zeichen lässt sich feststellen, dass kein großer Pneumothorax vorliegen kann.

## Zwerchfell

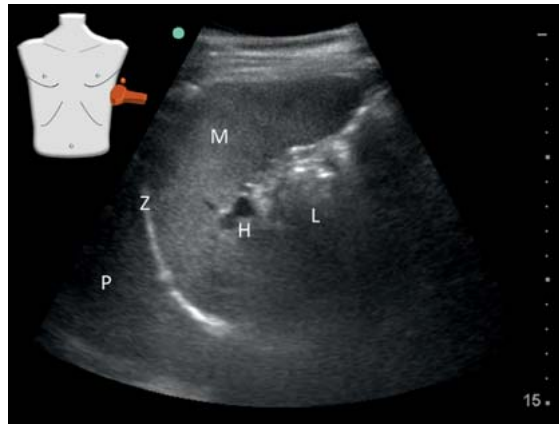
Das Zwerchfell ist eine muskulöse Platte, die sich von ventral in typischer Weise in mittlerer Echogenität über der Leber oder der Milz darstellt (► **Video 15**). Es bewegt sich in der Inspiration nach abdominal. Bei tiefer Inspiration werden Zwerchfell sowie Milz und Leber regelmäßig vom Artefakt des „schmutzigen Vorhangs“ verdeckt. In der



► **Video 15** „Schmutziger Vorhang“ der Pleura.



► **Abb. 17** Untersuchung der lateralen Brustwand: FAST-3-Position.



► **Abb. 18** Normalbefund in FAST-3-Position. H: Milzhilus; L: Luftartefakt im Magen-Darm-Trakt; M: Milz; P: Pulmo, hier Spiegelartefakt der Milz; Z: Zwerchfell.

FAST-1- und -3-Position ist das Zwerchfell durch die aufliegende Pleura und den dadurch bedingten Impedanzsprung zur intrapulmonalen Luft hyperechogen überzeichnet.

## CHECKLISTE

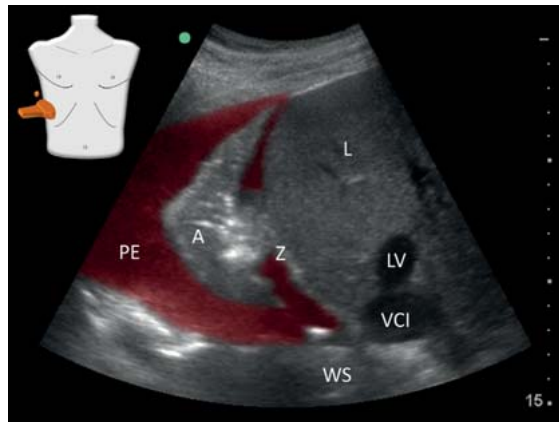
### Ultraschall-Atemnotdiagnostik

Vorgehen bei postoperativer Atemnot oder Sättigungsabfällen im Aufwachraum [44]:

- In diesen Fällen sollte immer dann Ultraschall-diagnostik zum Einsatz kommen, wenn Ursachen wie Opiat- oder Narkotikaüberhang, mechanische Beeinträchtigungen oder Schmerzen ausgeschlossen sind.
- Ein Pneumothorax oder eine Zwerchfellparese können in wenigen Minuten bettseitig diagnostiziert werden, sodass sehr schnell weitere therapeutische Entscheidungen getroffen werden können.
- Nach der sonografischen Diagnostik sollten neben Sauerstoffgabe und Oberkörperhochlagerung folgende Maßnahmen erwogen werden:
  - weitere Diagnostik bei Pneumothorax (Röntgen, CT)
  - Pleurainfusion bei Pneumothorax
  - verlängerte postoperative Überwachung
  - nichtinvasive Beatmung (NIV) bis zum Abklingen einer Zwerchfellparese
  - Pausieren der Lokalanästhetikgabe über einen interskalenären Schmerzkatheter

## Artefakte

Neben dem Schallauslöschungsfeld durch die Pleura an der Brustwand kommt es durch den Impedanzsprung von Weichteilgewebe zur intrapulmonalen Luft zu einem Spiegelartefakt der Leber kranial des Zwerchfells. Der



► **Abb. 19** Pleuraerguss und Kompressionsatektase. A: Atektase, L: Leber, LV: Lebervene, PE: Pleuraerguss, VCI: V. cava inferior, WS: Wirbelsäule, Z: Zwerchfell.

„schmutzige Vorhang“ als Spiegelbildartefakt der Thoraxwand wurde bereits oben erwähnt.

### Pleuraerguss, interpleurales Hämatom

Kranial des Zwerchfells zeigt ein Spiegelbildartefakt der Leber bzw. der Milz (mittlere Echogenität, Lebertextur) an, dass keine Flüssigkeit (Erguss oder Blut) vorliegt.

Bei Vorliegen eines Ergusses oder eines Hämatoms fehlt dieses Spiegelbildartefakt. Durch die hypoechogene Flüssigkeit zwischen den Pleurablättern wird die Lunge verdrängt, und es kommt typischerweise zu Kompressionsatektasen (► **Abb. 19** und ► **Video 3**).

Sind Atektasen komplett, sieht die Echogenität der Lunge jener der Leber sehr ähnlich. Liegen partiell luftgefüllte Bronchiolen vor, so erkennt man kleine hyperechogene

Areale durch den Impedanzsprung Lunge–Luft, die sich während der Inspiration vergrößern. Der hydrostatische Druck der Flüssigkeitsmenge behindert jedoch die Inspiration und Entfaltung der Lunge [30, 35].

Grundsätzlich kann man durch die Ultraschalluntersuchung nicht zwischen Exsudaten und Transsudaten unterscheiden. Eine Echozeichnung in der Flüssigkeit deutet aber auf das Vorliegen eines Hämatoms hin. Eine Septierung spricht für ein Empyem (► **Video 16**). Bei nicht vollständig entlasteten oder resorbierten Hämatomen oder Empyemen ist häufig eine frühzeitige thoraxchirurgische Intervention indiziert.



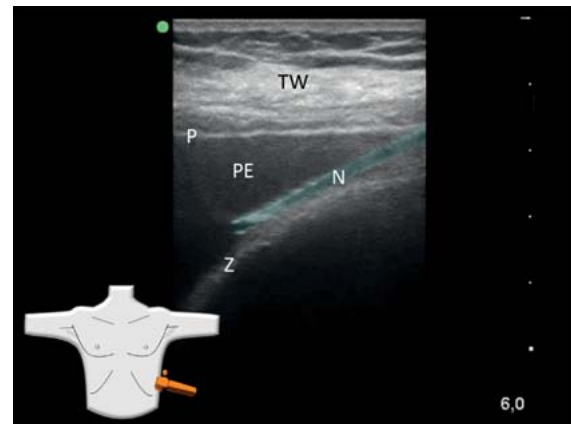
### Merke

Insgesamt ist die Sensitivität der Ultraschalluntersuchung zur Diagnose von intrathorakaler Flüssigkeit vergleichbar mit der einer CT-Untersuchung – und damit erheblich besser als beim konventionellen Röntgen [3].

### Pleuradrainage

Sowohl bei der Anlage einer Thoraxdrainage per Minithorakotomie als auch bei minimalinvasiv platzierten Pleuradrainagen leistet der Ultraschall wertvolle Hilfestellungen. Grundsätzlich sollte vor jeder Anlage die Stelle am Thorax aufgesucht und markiert werden, die zu einer sicheren Punktion führt. Parenchymatöse Verletzungen von Leber, Milz oder Lunge müssen verhindert werden. Außerdem muss sichergestellt werden, dass an der Stelle der Pleuraeröffnung keine Verwachsung der Lunge an der parietalen Pleura und damit an der Thoraxwand besteht. Durch die sonografische Vorplanung muss somit eine pulmonale Parenchymverletzung vermieden werden.

Bei der Verwendung eines Pleurapunktionssystems zur Einmalpunktion oder auch zur Drainagenanlage sollte die gesamte Intervention sonografisch kontrolliert erfolgen. Der Punktionsort wird mit der Konvexsonde bestimmt. Danach wird zur sicheren Punktion eine Linearsonde verwendet [55], weil die Punktionsnadel im Ultraschallbild einer Linearsonde weitaus besser darstellbar ist als im Nahfeld einer Konvexsonde. Die Anlage sollte

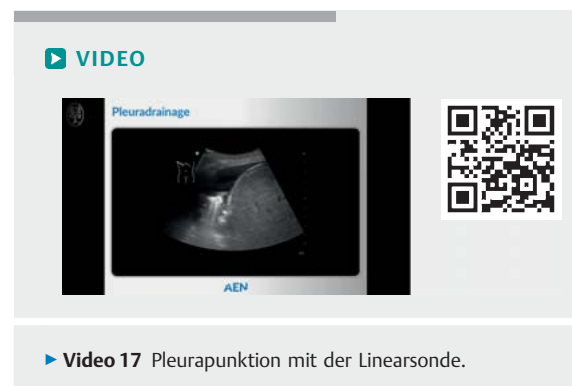


► **Abb. 20** Sonografisch kontrollierte Pleurapunktion. P: Pleura, PE: Pleuraerguss, N: Nadel, TW: Thoraxwand, Z: Zwerchfell.

streng unter Berücksichtigung der Techniken der Nadelnavigation durchgeführt werden [44, 56]. Nach üblicher Vorbereitung wird die mit einem sterilen Überzug versehene Linearsonde längs in dem gewählten Interkostalraum aufgesetzt. Die Nadel wird „in-plane“ in den Zwischenrippenraum eingeführt, dann bis zur Pleura durch die Thoraxwand geschoben und schließlich tangential am Zwerchfell vorbei in dem Erguss platziert (► **Abb. 20**). Das weitere Vorgehen hängt vom Punktionsset ab (beispielsweise Führungsdraht, Trokar oder Dilator).

### Pleurapunktion zur Diagnostik

Mit der oben geschilderten Vorgehensweise kann auch bei kleinsten Reizergüssen Material für mikrobiologische Diagnostik gewonnen werden, ohne die Lunge zu verletzen (► **Video 17**). Insbesondere bei schwerwiegenden Erkrankungen von Lunge und Thorax kann dadurch sichergestellt werden, dass die Lunge nicht zusätzlich verletzt wird [30, 31].



## KERNAUSSAGEN

- Lungenultraschall ist der Standard in der Lungen-  
diagnostik [5, 9, 10, 54, 57].
- Es werden zu häufig unkritische Röntgenunter-  
suchungen angeordnet, die keine relevante Fra-  
gestellung und Aussagekraft besitzen. Bei diesen  
steht schon während der Indikationsstellung fest,  
dass sie keine therapeutischen Konsequenzen ha-  
ben [39, 58].
- Laut Strahlenschutzgesetz erfordert die rechtfertigende Indikation immer die Feststellung, dass beim Röntgen der gesundheitliche Nutzen der Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Andere Verfahren ohne Strahlenexposition sind bei der Abwägung zu berücksichtigen.
- Ultraschalluntersuchungen sind bei der Fragestellung Pneumothorax-Ausschluss, interstitielles Ödem, Konsolidierung und Pleuraerguss dem konventionellen Röntgen überlegen und der CT ebenbürtig [3, 59, 60].
- Die Kontrolle des Therapieverlaufs sollte bei Lungenödem, Pleuraerguss, Pneumonie und ARDS mit Ultraschall erfolgen [3].
- Die Lungendiagnostik ist zur Ermittlung des Therapieerfolges bei Herzinsuffizienz und bei Dialysepatienten zielführend [25, 61].
- Durch den vermehrten Einsatz von Ultraschall können Patienten vor unnötiger Strahlung bewahrt sowie Therapieverzögerungen und Transporte von Risikopatienten zu Röntgenuntersuchungen vermieden werden [2, 38, 58].
- Mit dem Grundlagenwissen und der geübten Anwendung der Untersuchung von Lungengleiten, B-Linien, Konsolidierung und Pleuraerguss kann in nahezu 90% der Patienten mit Dyspnoe eine initial korrekte Diagnose gestellt werden [10].

## Interessenkonflikt

Die Autoren haben Honorar für Vorträge und Reisekostenerstattung von SonoSite und B.Braun erhalten.

## Autorinnen/Autoren



### Wolf Armbruster

Dr. med., geb. 1962. Studium in Essen und Heidelberg. Klinische Tätigkeiten: Universitätsklinikum Essen, Evangelisches Krankenhaus Unna. Qualifikationen: Facharzt für Anästhesiologie, Notfallmedizin, spezielle anästhesiologische Intensivmedizin, ärztliches Qualitätsmanagement, DEGUM-Kursleiter Stufe 2, Sektion Anästhesiologie. Derzeit Chefarzt der Abteilung für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Schmerztherapie am Evangelischen Krankenhaus Unna.



### Rüdiger Eichholz

Dr. med., geb. 1970. Studium in Marburg und Witten/Herdecke. Klinische Tätigkeiten: Filder-  
klinik Filderstadt, Universitätsklinikum Tübingen, Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Tübingen, langjährige Erfahrung in der Flug- und Assistance-Medizin. Qualifikationen: Facharzt für Anästhesiologie, Notfallmedizin, DEGUM-Kursleiter Stufe 2, Sektion Anästhesiologie. Derzeit Leitender Arzt medizi.  
Medizinisches Versorgungszentrum Stuttgart.



### Thomas Notheisen

Dr. med., geb. 1966. Studium in Tübingen. Klinische Tätigkeiten: Universitätsklinikum Tübingen. Qualifikationen: Facharzt für Anästhesiologie, Notfallmedizin, spezielle anästhesiologische Intensivmedizin, spezielle Schmerztherapie, Palliativmedizin, ärztliches Qualitätsmanagement, DEGUM-Kursleiter Stufe 2, Sektion Anästhesiologie. Derzeit: Oberarzt der Anästhesie, Intensivmedizin, Schmerztherapie, Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Tübingen.

## Korrespondenzadresse

### Dr. med. Wolf Armbruster

Klinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin, Schmerztherapie  
Evangelisches Krankenhaus Unna  
Holbeinstraße 10  
59423 Unna  
armbruster@ek-unna.de

## Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Dr. med. Wolf Armbruster, Unna.

## Literatur

- [1] Zhang M, Liu ZH, Yang JX et al. Rapid detection of pneumothorax by ultrasonography in patients with multiple trauma. *Crit Care* 2006; 10: 1–7
- [2] Lichtenstein DA. BLUE-Protocol and FALLS-Protocol: Two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest* 2015; 147: 1659–1670
- [3] Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 2012; 38: 577–591
- [4] Tuma J, Jenssen C, Möller K et al. Artefakte in der Sonografie und ihre Bedeutung für die internistische und gastroenterologische Diagnostik – Teil 1: B-Mode-Artefakte. *Z Gastroenterol* 2016; 54: 433–450
- [5] Gebhard M. *Bildatlas der Lungen- und Pleurasonographie*. 5. Aufl. Heidelberg: Springer; 2010
- [6] Widder B. *Doppler- und Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien*. 6. Aufl. Heidelberg: Springer; 2004
- [7] Arning C. *Farbkodierte Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien*. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2002

- [8] Richards JR, Awrey JM, Medeiros SE et al. Colour and power Doppler sonography for pneumothorax detection. *J Ultrasound Med* 2017; 36: 2143–2147
- [9] Goffi A, Krusselbrink R, Volpicelli G. The sound of air: point-of-care lung ultrasound in perioperative medicine. *Can J Anesth* 2018; 65: 399–416. doi:10.1007/s12630-018-1062-x
- [10] Lichtenstein DA, Mezière GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure the BLUE protocol. *Chest* 2008; 134: 117–125
- [11] Volpicelli G. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive Care Med* 2011; 37: 224–232
- [12] Soldati G, Testa A, Sher S et al. Occult traumatic pneumothorax: Diagnostic accuracy of lung ultrasonography in the emergency department. *Chest* 2008; 133: 204–211
- [13] Lichtenstein DA, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill: Lung sliding. *Chest* 1995; 108: 1345–1348
- [14] Kirkpatrick AW, Sirois M, Laupland KB et al. Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: The extended focused assessment with sonography for trauma (EFAST). *J Trauma* 2004; 57: 288–295
- [15] Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P et al. The “lung point”: An ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000; 26: 1434–1440
- [16] Garbella E, Catapano G, Pratali L et al. Pulmonary edema in healthy subjects in extreme conditions. *Pulm Med* 2011; 2011: 275857
- [17] Agricola E, Bove T, Oppizzi M et al. “Ultrasound comet-tail images”: A marker of pulmonary edema – A comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest* 2005; 127: 1690–1695
- [18] Volpicelli G, Cardinale L, Garofalo G et al. Usefulness of lung ultrasound in the bedside distinction between pulmonary edema and exacerbation of COPD. *Emerg Radiol* 2008; 15: 145–151
- [19] Copetti R, Soldati G, Copetti P. Chest sonography: A useful tool to differentiate acute cardiogenic pulmonary edema from acute respiratory distress syndrome. *Cardiovasc Ultrasound* 2008; 6: 1–10
- [20] Soldati G, Demi M. The use of lung ultrasound images for the differential diagnosis of pulmonary and cardiac interstitial pathology. *J Ultrasound* 2017; 20: 91–96
- [21] Lichtenstein DA, Mezière GA, Lagoueyte JF et al. A-lines and B-lines: Lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest* 2009; 136: 1014–1020
- [22] Lichtenstein D, Mézière M, Philippe B et al. The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156: 1640–1646
- [23] Reissig A, Copetti R. Lung ultrasound in community-acquired pneumonia and in interstitial lung diseases. *Respiration* 2014; 87: 179–189
- [24] Noble VE, Murray AF, Capp R et al. Ultrasound assessment for extravascular lung water in patients undergoing hemodialysis: Time course for resolution. *Chest* 2009; 135: 1433–1439
- [25] Zoccali C. Lung ultrasound in the management of fluid volume in dialysis patients: potential usefulness. *Semin Dial* 2017; 30: 6–9
- [26] Covic A, Siritopol D, Voroneanu L. Use of lung ultrasound for the assessment of volume status in CKD. *Am J Kidney Dis* 2018; 71: 412–422. doi:10.1053/j.ajkd.2017.10.009
- [27] Bourcier JE, Braga S, Garnier D. Lung ultrasound will soon replace chest radiography in the diagnosis of acute community-acquired pneumonia. *Curr Infect Dis Rep* 2016; 18: 43. doi:10.1007/s11908-016-0550-9
- [28] Wang G, Ji X, Xu Y et al. Lung ultrasound: A promising tool to monitor ventilator-associated pneumonia in critically ill patients. *Crit Care* 2016; 20: 1–10. doi:10.1186/s13054-016-1487-y
- [29] Chavez MA, Shams N, Ellington LE et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: A systematic review and meta-analysis. *Respir Res* 2014; 15: 1–9
- [30] Piccoli M, Trambaiolo P, Salustri A et al. Bedside diagnosis and follow-up of patients with pleural effusion by a hand-carried ultrasound device early after cardiac surgery. *Chest* 2005; 128: 3413–3420
- [31] Tu CY, Hsu WH, Hsia TC et al. Pleural effusions in fibrile medical ICU patients: Chest ultrasound study. *Chest* 2004; 126: 1274–1280
- [32] Kalokairinou-Motogna M, Maratou K, Paianid I et al. Application of colour Doppler ultrasound in the study of small pleural effusion. *Med Ultrason* 2010; 12: 12–16
- [33] Usta E, Mustafi M, Ziemer G. Ultrasound estimation of volume of postoperative pleural effusion in cardiac surgery patients. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2010; 10: 204–207. doi:10.1510/icvts.2009.222273
- [34] Lichtenstein D, Hulot JS, Rabiller A et al. Feasibility and safety of ultrasound-aided thoracentesis in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 1999; 25: 955–958
- [35] Hügel U. Pleuraerguss – Welche Vorgehensweise ist sinnvoll? *Bull Soc Sci Méd* 2007; 2: 131–140
- [36] Mathis G, Blank W, Reißig A et al. Thoracic ultrasound for diagnosing pulmonary embolism: A prospective multicenter study of 352 patients. *Chest* 2005; 128: 1531–1538
- [37] Squizzato A, Rancan E, Dentali F et al. Diagnostic accuracy of lung ultrasound for pulmonary embolism: A systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost* 2013; 11: 1269–1278
- [38] Reissig A, Kroegel C. Transthoracic ultrasound of lung and pleura in the diagnosis of pulmonary embolism: A novel non-invasive bedside approach. *Respiration* 2003; 70: 441–452
- [39] Marciniak B, Fayoux P, Hébrard A et al. Airway management in children: Ultrasonography assessment of tracheal intubation in real time? *Anesth Analg* 2009; 108: 461–465
- [40] Štustić A. Role of ultrasound in the airway management of critically ill patients. *Crit Care Med* 2007; 35 (Suppl. 5): S173–S177
- [41] Chou HC, Tseng WP, Wang CH et al. Tracheal rapid ultrasound exam (T.R.U.E.) for confirming endotracheal tube placement during emergency intubation. *Resuscitation* 2011; 82: 1279–1284. doi:10.1016/j.resuscitation.2011.05.016
- [42] Rajajee V, Fletcher JJ, Rochlen LR et al. Real-time ultrasound-guided percutaneous dilatational tracheostomy: A feasibility study. *Crit Care* 2011; 15: R67. Im Internet: <http://ccforum.com/content/15/1/R67>; Stand: 06.12.2018
- [43] Armbruster W, Eichholz R, Notheisen T. Thieme Teaching Award 2015 – Innovatives Ausbildungskonzept zur Ultraschalldidaktik in der Anästhesiologie. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2015; 50: 576–577
- [44] Armbruster W, Eichholz R, Notheisen T. Ultraschall in der Anästhesiologie. 2. Aufl. Unna: Eigenverlag; 2016. Im Internet: <http://www.aen-sono.de>; Stand: 06.12.2018
- [45] Reuss J. Sonography of the pleura. *Ultraschall Med* 2010; 31: 8–22, quiz 23–25
- [46] Summerfield DT, Johnson BD. Lung Ultrasound Comet Tails – Technique and Clinical Significance. *InTech* 2013; Im Internet:

<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/44070.pdf>; Stand: 06.12.2018

- [47] Volpicelli G, Mussa A, Garofalo G et al. Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Emerg Med* 2006; 24: 689–696
- [48] Picano E, Frassi F, Agricola E et al. Ultrasound lung comets: A clinically useful sign of extravascular lung water. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 356–363
- [49] Lichtenstein DA, Lascols N, Prin S et al. The “lung pulse”: An early ultrasound sign of complete atelectasis. *Intensive Care Med* 2003; 29: 2187–2192
- [50] Sartori S, Tombesi P, Trevisani L et al. Accuracy of transthoracic sonography in detection of pneumothorax after sonographically guided lung biopsy: Prospective comparison with chest radiography. *Am J Roentgenol* 2007; 188: 37–41
- [51] Gargani L, Doveri M, D’Errico L et al. Ultrasound lung comets in systemic sclerosis: a chest sonography hallmark of pulmonary interstitial fibrosis. *Rheumatology (Oxford)* 2009; 48: 1382–1387
- [52] Wang Y, Gargani L, Barskova T et al. Usefulness of lung ultrasound B-lines in connective tissue disease-associated interstitial lung disease: a literature review. *Arthritis Res Ther* 2017; 19: 206. doi:10.1186/s13075-017-1409-7
- [53] Di Nicolò P, Magnoni G, Granata A. Lung ultrasound in hemodialysis: a card to be played? *Blood Purif* 2017; 44: 1–7
- [54] Lichtenstein D. Lung ultrasound in the critically ill. *Curr Opin Crit Care* 2014; 20: 315–322
- [55] Diacon AH, Brutsche MH, Solèr M. Accuracy of pleural puncture sites: A prospective comparison of clinical examination with ultrasound. *Chest* 2003; 123: 436–441
- [56] Notheisen T, Eichholz R, Armbruster W et al. Nadelspitzennavigation 2.0 – Aktuelle Techniken für Gefäßpunktionen und ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie. *Anästh Intensivmed* 2016; 57: 112–119
- [57] Reißig A, Görg C, Mathis G. Transthorakale Sonografie bei der Diagnostik pulmonaler Erkrankungen: ein systematischer Zugang. *Ultraschall in Med* 2009; 30: 438–458. doi:10.1055/s-0028-1109703
- [58] Peris A, Tutino L, Zagli G et al. The use of point-of-care bedside lung ultrasound significantly reduces the number of radiographs and computed tomography scans in critically ill patients. *Anesth Analg* 2010; 111: 687–692
- [59] Xirouchaki N, Magkanas E, Vaporidi K et al. Lung ultrasound in critically ill patients: Comparison with bedside chest radiography. *Intensive Care Med* 2011; 37: 1488–1493
- [60] Zanobetti M, Poggioni C, Pini R. Can chest ultrasonography replace standard chest radiography for evaluation of acute dyspnea in the ED? *Chest* 2011; 139: 1140–1147
- [61] Ang SH, Andrus P. Lung ultrasound in the management of acute decompensated heart failure. *Curr Cardiol Rev* 2012; 8: 123–136. doi:10.2174/157340312801784907

## Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0664-5700>  
*Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2019; 54: 108–127 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
ISSN 0939-2661

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Den genauen Einsendeschluss finden Sie unter <https://eref.thieme.de/CXB94WV>. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter <https://eref.thieme.de/CXB94WV> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests.

VNR 2760512019156641209



### Frage 1

Welche Sonde ist für die Lungensonografie *nicht* geeignet?

- A eine Linearsonde (10 MHz)
- B eine Linearsonde (15 MHz)
- C eine Sektorsonde (Phased Array)
- D eine Stiftsonde (CW)
- E eine Abdomensonde (Curved Array)

### Frage 2

Welche Aussage ist richtig? Ein spezielles „Lungen-Preset“ für die Lungendiagnostik ist...

- A erforderlich für eine Pneumothorax-Diagnostik.
- B erforderlich für eine eindeutige Farbdoppler-Diagnostik.
- C erforderlich für die Darstellung des M-Mode.
- D erforderlich für die Darstellung der B-Linien.
- E nicht erforderlich.

### Frage 3

Anhand welches Darstellungsphänomens erkennt man beim parasternalen Längsschnitt indirekt das Lungengleiten?

- A anhand des Stratosphärenzeichens
- B anhand des fehlenden Farbsignals des Colour-Power-Dopplers
- C anhand der ständigen Grauwertwechsel im Spiegelbildartefakt der Brustwand
- D anhand des B-Bildes unmittelbar unterhalb einer knöchernen Rippe
- E anhand der wandernden Pleura parietalis

### Frage 4

Was liegt *nicht* vor, wenn 2 B-Linien in einem parasternalen Längsschnittbild zu erkennen sind, die mit In- und Expiration wandern?

- A ein interstitielles Lungenödem
- B Lungengleiten
- C eine Artefaktarstellung
- D eine Lungensonografie
- E eine anliegende Pleura visceralis

### Frage 5

Welche Aussage ist richtig? Der Lungenpuls...

- A kann mit dem Farbdoppler in einem Lungengefäß dargestellt werden.
- B ist immer im B-Bild darstellbar, wenn die Lunge anliegt.
- C zeigt immer die Ausdehnung eines Pneumothorax an.
- D ist im M-Mode meist gut zu erkennen.
- E ist im M-Mode besonders bei Tachypnoe gut zu erkennen.

### Frage 6

Woran erkennt man bei einer einseitigen Intubation die nicht ventilierte Seite?

- A am granulären Muster unterhalb der Pleuralinie im M-Mode
- B am horizontalen Barcode unterhalb der Pleuralinie im M-Mode
- C an vertikalen Säulen im granulären Muster im M-Mode, die nur unterhalb der Pleuralinie vorkommen
- D an den vertikalen Säulen im granulären Muster im M-Mode, die nur oberhalb der Pleuralinie vorkommen
- E an vertikalen Säulen im granulären Muster im M-Mode, die oberhalb und unterhalb der Pleuralinie vorkommen

### Frage 7

In welchem Fall ist bei der parasternalen Untersuchung ein Pneumothorax *nicht* ausgeschlossen?

- A wenn ein mit In- und Expiration wanderndes Kometenschweifartefakt erkennbar ist
- B wenn ein pulssynchrones Colour-Power-Signal oberhalb der Pleura parietalis in der Brustwand darzustellen ist
- C wenn ein Lungenpuls im M-Mode unterhalb der Pleuralinie dargestellt wird
- D wenn ein granuläres Muster im M-Mode unterhalb der Pleuralinie zu erkennen ist
- E wenn im B-Bild beim Spiegelbildartefakt der Brustwand unterhalb der Pleuralinie ständige Grauwertwechsel vorkommen

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung ...

### Frage 8

Welche Aussage ist falsch? Mehr als 3 B-Linien an einer Untersuchungsstelle am Thorax können vorkommen bei ...

- A einem Lungentumor.
- B einer Lungenkontusion.
- C einer Lungenfibrose.
- D einem Pneumothorax.
- E einer Pleuritis.

### Frage 9

Welche Aussage ist richtig? Bei einer Lungenkonsolidierung im Spätstadium ist ...

- A die Lunge in diesem Bereich nicht darstellbar.
- B die Lunge in diesem Bereich flüssigkeitsgefüllt.
- C die Lunge in diesem Bereich oft leberartig darzustellen.
- D ein B-Linien-Muster typisch.
- E im M-Mode ein granuläres Muster zu erkennen.

### Frage 10

Welche Aussage ist richtig? Es empfiehlt sich, eine diagnostische Pleurapunktion bei geringem Ergussvolumen ...

- A wegen der Pneumothoraxgefahr nicht durchzuführen.
- B erst durchzuführen, wenn vor Punktion das Ergussvolumen exakt sonografisch bestimmt wurde.
- C mit der Linearsonde durchzuführen.
- D immer mit einem Biopsieaufsatz durchzuführen.
- E in Kopftieflage durchzuführen.