

Radiologe 2020 · 60:919–926

<https://doi.org/10.1007/s00117-020-00747-6>

Online publiziert: 9. September 2020

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

M. Schmid<sup>2</sup> · F. Escher<sup>1</sup> · D.-A. Clevert<sup>1</sup><sup>1</sup>Klinik und Poliklinik für Radiologie, Interdisziplinäres Ultraschallzentrum, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München, Campus Großhadern, München, Deutschland<sup>2</sup>Klinik für Gastroenterologie, Pneumologie, Internistische Akut- und Intensivmedizin, München Klinik Harlaching, München, Deutschland

# Sonographische Bildgebung der Lunge bei COVID-19

## Hintergrund

Die SARS-CoV-2-Pandemie (COVID-19) entwickelt sich unverändert rasch. Insbesondere in den Vereinigten Staaten und Brasilien steigt die Anzahl nachgewiesener Infektionen rasant an [1]. COVID-19-Patienten zeigen in der Mehrzahl der Fälle milde Symptome wie Fieber (80 %), trockenen Husten (56 %), Müdigkeit (22 %) und Muskelschmerzen (7 %) [2]. Schwere Verläufe einer Infektion mit SARS-CoV-2 gehen mit Pneumonien einher und erfordern häufig eine intensivmedizinische Behandlung [3, 4]. Bei Patienten mit Risikofaktoren wie höheres Alter, Immunsuppression oder kardiovaskulären Komorbiditäten steigt die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung einer akuten respiratorischen Insuffizienz, vergleichbar mit dem Bild eines akuten Lungenversagens („acute respiratory distress syndrome“, ARDS), sowie weiterer lebensbedrohlicher Komplikationen wie u. a. einem Multiorganversagen [3].

Die thorakale Bildgebung ist für die weitere Versorgung dieser Patienten essenziell [5]. Neben der hochauflösenden Low-dose-Computertomographie des Thorax (HR-CT) als aktueller Goldstandard der nichtkontrastmittelverstärkten thorakalen Bildgebung kommt dem Point-of-care-Ultraschall (POCUS) der Lunge jedoch insbesondere im Notaufnahme- und Intensivsetting zunehmend eine Schlüsselrolle zu [6]. Patienten mit schwerer COVID-19-Infektion zeigen typische computertomographische Veränderungen wie diffuse bilaterale interstitielle Pneumonien mit asymme-

trischen, ungleichmäßigen Läsionen, die vor allem in der Peripherie der Lunge auftreten [7–9].

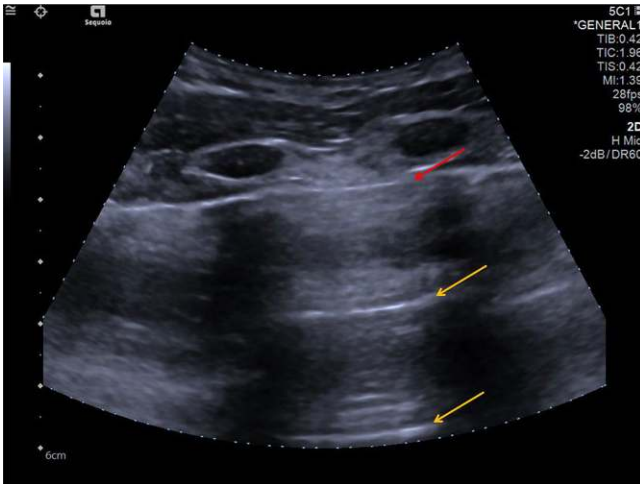
Da Lungenveränderungen bei COVID-19 zeitlich bereits vor klinischen Manifestationen und dem PCR („polymerase chain reaction“)-Nachweis auftreten können, wurde eine frühzeitige Low-dose-CT als sinnvolle Screeningmethode im Verdachtsfall empfohlen [10]. Mit der Durchführung einer CT ergeben sich jedoch Nachteile wie der mit dem Transport beatmeter und kreislaufinstabiler Intensivpatienten verbundene hohe Aufwand mit entsprechender Ressourcenbindung sowie Risiken aufgrund der hohen Ansteckungsgefahr bei COVID-19. Aus diesen Gründen sollte die CT bei Patienten mit Verdacht auf COVID-19 oder bereits gesicherter Infektion restriktiv zum Einsatz kommen [4]. Auch Röntgenaufnahmen der Lunge am Bett werden nach wie vor als Standard für verschiedene Fragestellungen auf Intensivstationen eingesetzt. Nichtsdestotrotz weist diese Modalität methodologische Limitationen auf und zeichnet sich häufig durch eine unzureichende Treffsicherheit aus [11].

Computertomographische Untersuchungen sollten deshalb spezifischen Fragestellungen vorbehalten bleiben, die mittels Sonographie nicht hinreichend beantwortet werden können (z. B. zur Evaluation mediastinaler Pathologien und Bestätigung einer Lungenembolie; [4, 12]). Abgesehen davon führen CT- und Röntgenuntersuchungen zu Strahlenbelastungen des Patienten mit der Folge einer erhöhten Inzidenz strahleninduzierter Krebsleiden [13, 14]. Die

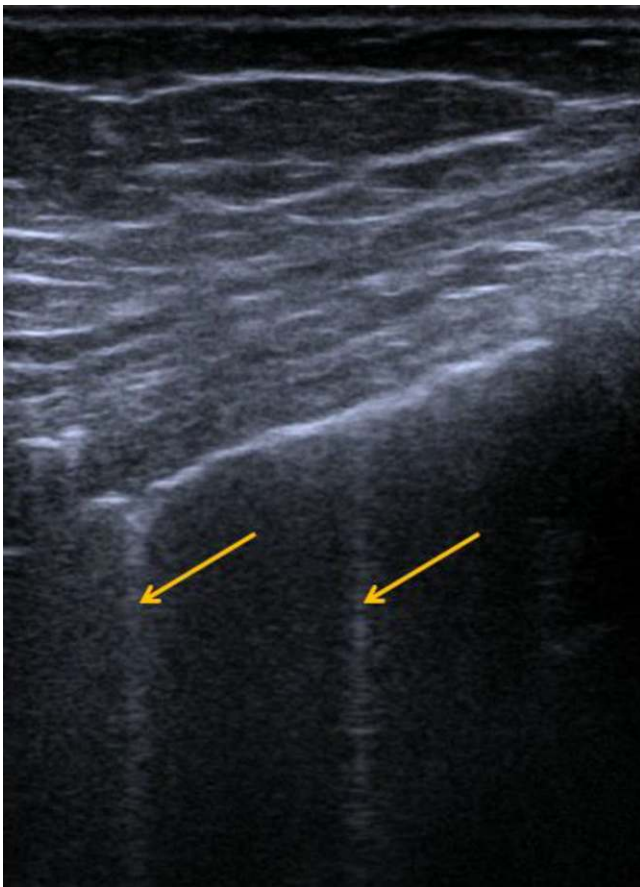
sonographische Bildgebung der Lunge ermöglicht Resultate vergleichbar zur CT und ist insbesondere der Thoraxröntgenaufnahme hinsichtlich der Evaluation von Pneumonien und des ARDS überlegen. Die Lungensonographie bietet mit der einfachen Durchführbarkeit, der Wiederholbarkeit, dem Fehlen einer Strahlenbelastung sowie niedrigeren Kosten jedoch zusätzliche Vorteile [10, 15]. Außerdem kann sie der behandelnde Arzt bei entsprechender Expertise bettseitig einsetzen und mit der Klinik des Patienten korrelieren. Durch Verwendung der Lungensonographie kann eine Reduktion der Thoraxröntgen- und CT-Aufnahmen auf Intensivstationen und in Notaufnahmen erzielt werden [6, 16].

## Grundlagen der Lungensonographie

Die Sonographie des Thorax und der Lunge spielt zunehmend eine wichtige Rolle in der täglichen klinischen Routine, insbesondere in der Form des POCUS [17–23]. Neben Echokardiographie und Abdomensonographie ist sie auch ein wichtiger Bestandteil der Notfallsonographie und in verschiedenen Protokollen verankert (z. B. dem BLUE-Protokoll; [24]). Die Lungensonographie spielt zunehmend auch in der Abklärung der akuten Dyspnoe als häufiges Leitsymptom in Notaufnahmen und Intensivstationen eine Rolle. Die Bandbreite möglicher Differenzialdiagnosen ist groß, sodass im Anschluss an Anamnese, körperliche Untersuchung und Überprüfung der Vitalpara-



**Abb. 1** ◀ B-Bild mit Darstellung von A-Linien unter Verwendung eines Curved-array-Schallkopfes. Die A-Linien (gelbe Pfeile) sind die hellen horizontalen Linien die von der Pleura (roter Pfeil) in die Tiefe reichen. Es handelt sich bei den A-Linien um klassische Reverberationsartefakte



**Abb. 2** ◀ Untersuchung der Lunge mittels eines hochfrequenten Linearschallkopfes. Erfassung einzelner B-Linien (gelbe Pfeile)

meter ein POCUS durchgeführt werden sollte.

Obwohl bereits Empfehlungen zur elektiven Thoraxsonographie [25–28] und Notfalllungensonographie [17] existieren, wird der Lungenultraschall im Alltag nach wie vor nur spärlich eingesetzt [29]. Im Vergleich zur klinischen Untersuchung und dem Röntgen des Thorax weist die Lungenultraschallsonographie ei-

ne exzellente diagnostische Genauigkeit in der Detektion von Pleuraergüssen, Konsolidierungen, dem interstitiellen Syndrom sowie in der Erkennung von Pneumothoraces auf [11, 29, 30]. Grundlage der Diagnosestellung von Lungenerkrankungen sind Ultraschallartefakte, die man sich zunutze macht und die aufgrund der verschiedenen Eigenschaften der Thoraxwand und des Pleuraspalts

entstehen. Die zwei wichtigsten Artefaktmuster sind A-Linien und B-Linien [31].

### A-Linien

A-Linien sind Reverberationsartefakte. Die Ultraschallwellen werden aufgrund des Impedanzunterschiedes zwischen Gewebe und Luft an der Pleuralinie stark reflektiert [10, 31]. Sie springen quasi zwischen dem Ultraschallkopf und der Lungenoberfläche hin und her. Im normalen Ultraschallbild erscheinen A-Linien als echoreiche, parallele horizontale, sich wiederholende Linien der Pleura. Da es sich hierbei um einen klassischen Nachhalleffekt handelt, entspricht die Distanz zwischen Hautoberfläche und der Pleura der Distanz zwischen Pleura und der ersten A-Linie sowie der Distanz zwischen der ersten A-Linie zur zweiten A-Linie usw. (Abb. 1 und 5). Das sog. A-Profil entsteht bei intaktem Lungengewebe und gleichzeitig vorhandenen physiologischen atemsynchronen Bewegungen der Lunge entlang der Thoraxwand (sog. Lungengleiten), es ist der lungensonographische Normalbefund. Fehlt das Lungengleiten, kann dies ein Hinweis auf einen Pneumothorax sein [30].

### B-Linien

Kometenschweifartefakte wurden 1982 das erste Mal von Ziskin et al. beschrieben, als diese die Artefakteigenschaften einer intrahepatischen Schrotkugel beschrieben [30, 32]. B-Linien sind laserartige, echoreiche Artefakte, sie entspringen der Pleuralinie, überlagern die A-Linien und reichen bis an den unteren Bildrand. Sie sollten nicht mit anderen Kometenschweifartefakten verwechselt werden, die an der Pleura entstehen, jedoch bereits vor Erreichen des Bildschirmrandes verblassen. B-Linien sind hinweisend auf das Vorliegen einer Flüssigkeitsansammlung im Interstitium („lung rockets“) oder den Alveolen (Milchglas; Abb. 2, 3, 4 und 5).

B-Linien erscheinen, wenn Ultraschallwellen die oberflächlichen Weichgewebe durchlaufen, die Pleura durchbrechen und dabei auf einen Mix aus Luft

und Wasser treffen. Als Daumenregel gilt: Das Vorliegen einer oder zweier B-Linien in einem Interkostalraum ist primär nicht Anlass zur Sorge. Falls diese jedoch zunehmen oder sich weiter in einer Zone ausbreiten sollten, spricht diese für eine Pathologie des Lungeninterstitiums [33, 34]. Das Vorliegen besonders anterior ubiquitärer, bilateraler, multipler ( $\geq 3$ ) B-Linien ist mit verschiedenen Formen des meist kardialen Lungenödems assoziiert. Weitere Ursachen können auch eine Pneumonie, eine Pneumonitis oder eine Lungenfibrose sein.

### Schallkopfauswahl und Einstellungen

In der Lungensonographie kommen verschiedene Schallköpfe mit entsprechenden Vorteilen und Limitationen zum Einsatz. Die Auswahl des optimalen Schallkopfes ist abhängig von verschiedensten Faktoren wie der Konstitution des Patienten, der Lokalisation der zu untersuchenden Pathologie und der Fragestellung. Für keinen Schallkopf konnte bisher ein signifikanter Vorteil nachgewiesen werden, die Wahl ist somit der Präferenz des Untersuchers überlassen [35]. Es sollte daran gedacht werden, dass sich Niedrigfrequenzschallköpfe durch eine bessere Gewebegängigkeit bei gleichzeitig etwas niedrigerer Bildqualität auszeichnen. Umgekehrt verhält es sich mit Hochfrequenzschallköpfen, die eine bessere Bildauflösung bei niedrigerer Eindringtiefe aufweisen [35].

### Konvexe Ultraschallköpfe

Niedrigfrequenzschallköpfe sind für die Bedside-Lungensonographie am besten geeignet, da diese eine Visualisierung der tiefen posterolateralen Strukturen und so eine Detektion von Konsolidierungen und Pleuraergüssen ermöglichen [27].

### Lineare Ultraschallköpfe

Im Gegensatz dazu eignen sich hochauflösende lineare Hochfrequenzschallköpfe mit niedrigerer Eindringtiefe besser zur Darstellung der Pleuralinie und damit z. B. eines Pneumothorax und der Untersuchung oberflächlicher anteriorer

Radiologe 2020 · 60:919–926 <https://doi.org/10.1007/s00117-020-00747-6>  
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

M. Schmid · F. Escher · D.-A. Clevert

## Sonographische Bildgebung der Lunge bei COVID-19

### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Der Point-of-care-Sonographie (POCUS) der Lunge kommt bei COVID-19-Patienten insbesondere im Notaufnahme- und Intensivsetting zunehmend eine Schlüsselrolle zu. Typische pulmonale Veränderungen bei COVID-19 können mittels Lungensonographie detektiert werden. Somit trägt die Lungensonographie zur Erhöhung der diagnostischen Sicherheit von COVID-19 bei und ist auch zum Follow-up der Patienten geeignet.

**Klinisches/methodologisches Problem.** Sonographische Bildgebung der Lunge bei COVID-19 im Notaufnahmesetting und auf Intensivstation.

**Radiologische Standardverfahren.** Computertomographie (Low-dose-CT) und Thoraxröntgenaufnahmen.

**Methodische Innovationen.** Lungensonographie bei COVID-19.

**Empfehlungen für die Praxis.** Der Einsatz der Lungensonographie bei COVID-19 ist vergleichbar zur CT und dem Röntgen hinsichtlich der Evaluation peripherer Pneumonien und des ARDS („acute respiratory distress syndrome“) überlegen. Die Lungensonographie spielt in der Notaufnahme und auf Intensivstation eine Schlüsselrolle. POCUS vermeidet Strahlenexposition, Therapieverzögerungen und den Transport von COVID-Hochrisikopatienten. Weiterhin können Differenzialdiagnosen abgeklärt werden.

### Schlüsselwörter

Lungenultraschall · Screening · Follow-up · Notfallsonographie · Intensivstation

## Lung ultrasonography in COVID-19 pneumonia

### Abstract

**Background.** Point-of-care ultrasound (POCUS) of the lung in patients with COVID-19 plays a key role in the emergency room and intensive care unit. Lung ultrasound is able to depict typical pulmonary findings of COVID-19 and is therefore suitable for diagnosis and follow-up of these patients.

**Clinical/methodological issue.** Lung ultrasound in COVID-19 patients in the emergency room and intensive care unit.

**Standard radiological methods.** Computed tomography (low-dose CT) and X-ray of the lung.

**Methodological innovations.** Lung ultrasound in COVID-19 patients.

**Recommendations.** Lung ultrasound in patients with COVID-19 offers similar performance as CT and is superior when compared to X-ray in evaluating pneumonia and acute respiratory distress syndrome (ARDS). Lung ultrasound plays an important role in the emergency room and intensive care unit. POCUS reduces exposure to radiation, therapy delays, and minimizes transport of high-risk patients. Differential diagnoses can also be clarified.

### Keywords

Lung ultrasound · Screening · Follow up · Emergency sonography · Intensive care unit

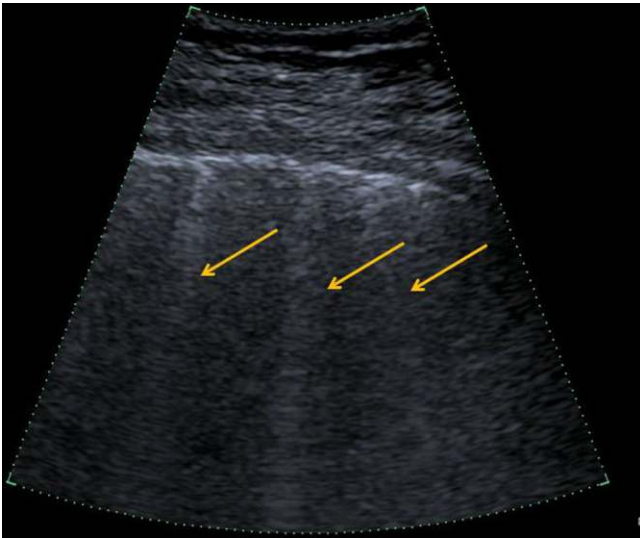
Strukturen (z. B. Visualisierung von Lungengleiten) sowie bei Kindern als auch dünnen Patienten.

### Sektorschallköpfe und mikrokonvexe Schallköpfe

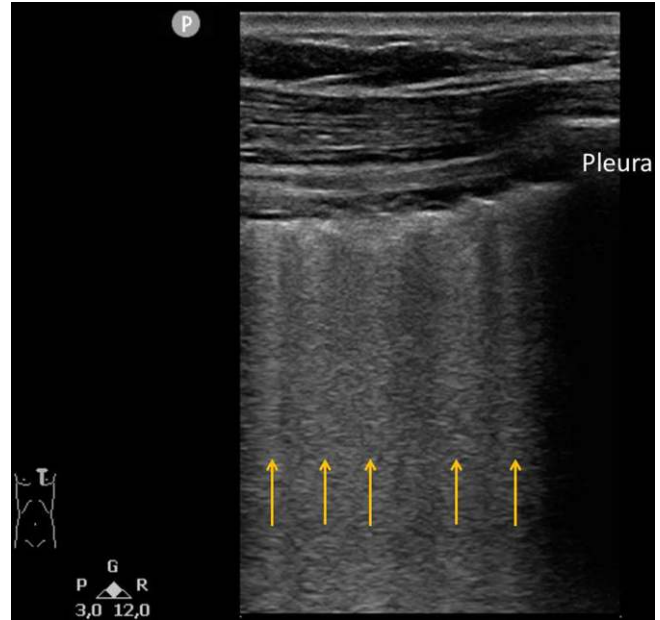
Sektorschallköpfe und mikrokonvexe Schallköpfe können für verschiedenste Fragestellungen wie Konsolidierungen und Pleuraergüsse eingesetzt werden.

### Einstellung

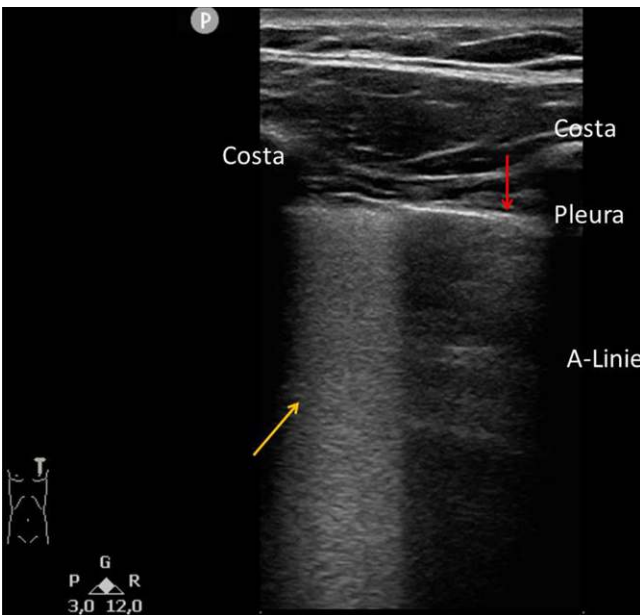
Ultraschallgeräte sollten standardmäßig mit einem Pulsed Doppler, Color Doppler sowie einem M-Mode ausgestattet sein, um Gefäße und Vaskularisierung pathologischer Strukturen zu evaluieren [36]. Zusätzlich zum B-Bild kann die Verwendung des dynamischen M-Modus zur Optimierung der diagnostischen Wertigkeit der Sonographie beitragen. Im M-Mode wird eine einzelne, vertikale Linie des Sonographiebildes ausgewählt.



**Abb. 3** ▲ Untersuchung der Lunge mit einem Curved-array-Schallkopf. Darstellung multipler B-Linien (gelbe Pfeile) als Hinweis auf ein interstitielles Syndrom der Lunge mit unruhiger Pleuralinie



**Abb. 4** ▲ Untersuchung der Lunge mit einem Linearschallkopf. Im Vergleich zu **Abb. 3** Zunahme der B-Linien (gelbe Pfeile). Die Pleuralinie wirkt teilweise unterbrochen



**Abb. 5** ◀ Untersuchung der Lunge im Längsschnitt mit einem Linearschallkopf. Zu sehen ist die obere und untere Rippe (Costa). Neben konfluierenden B-Linien (gelber Pfeil) mit dem sog. „Wasserfall-Zeichen“ zeigt sich ein A-Profil (roter Pfeil)

Die Ultraschallsignale dieser Linie werden mittels eines separaten Diagramms im Zeitverlauf aufgezeichnet, sodass Bewegungen im Gewebe als Kurven dargestellt werden. Immobile Strukturen imponieren als horizontale Linien. Analog dazu kann der M-Mode auch im Lungensonographie eingesetzt werden und entspricht somit der Bewegung des Lungparenchyms im Zeitverlauf [31].

Die meisten Hersteller im Ultraschallbereich verwenden zusätzliche technische Prozesse wie Compound Imaging oder Harmonic Imaging zur Verstärkung des Bildsignals. Zwar resultiert daraus eine bessere Bildqualität, die hilfreich für die Durchführung einer konventionellen Sonographie ist. Andererseits führt ein Abschalten dieser Modi zu einer klareren Darstellung der Kometenschweifartefakte bzw. B-Linien [31]. Adjustierungen des

Fokus, der Bildtiefe und des Gesamtgains sollten zur besseren Darstellung der Pleura durchgeführt werden [37].

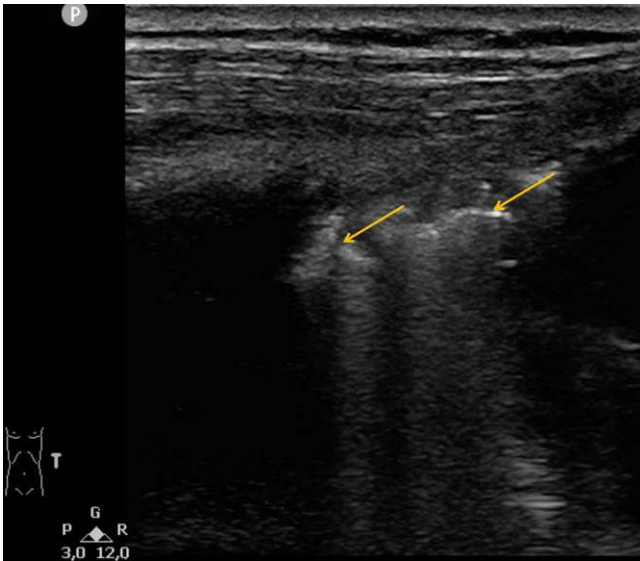
### Hygiene

Neben der persönlichen Schutzausrüstung gelten die Hygieneleitlinien des Robert-Koch-Instituts (RKI) und der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM). Ein Schallkopfüberzug ist sinnvoll, außerdem muss das Ultraschallgerät nach jeder Untersuchung desinfiziert werden [4]. Hand-held-Ultraschallgeräte bieten sich an [38].

### Untersuchungsprozedur und Pathologien

Die Durchführung der Lungensonographie erfolgt in der Notaufnahme und auf Intensivstation am liegenden Patienten (von ventral) sowie abhängig von der Klinik des Patienten auch in sitzender Position (von dorsal). Die Untersuchung sollte einer Systematik folgen, die die gesamten anterolateralen und posterioren Lungenabschnitte erfasst. In bestimmten Fällen kann auch eine kürzere, auf eine spezifische Pathologie fokussierte Untersuchung erfolgen.





**Abb. 6** ▲ Untersuchung der Lunge mittels eines hochfrequenten Linear-schallkopfes. Fragmentierte Pleura (gelbe Pfeile) mit einzelnen Konsolidierungen

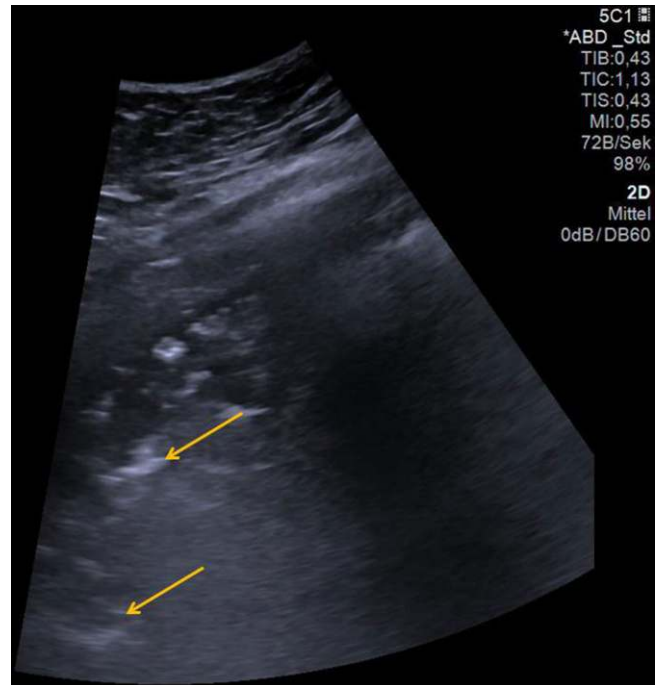
Jeder Hemithorax sollte in sechs Regionen untergliedert werden [39]. Dabei dienen die vordere und hintere Axillarlinie als Referenzpunkte, um den jeweiligen Hemithorax in eine vordere, laterale und posteriore Region einzuteilen. Zur Einteilung einer superioren und inferioren Region sollte eine axiale Linie verwendet werden [39]. Schließlich sollten die sechs Regionen des jeweiligen Hemithorax (anterior superior, anterior inferior, lateral superior, lateral inferior, posterior superior, posterior inferior) als R1–R6 für den rechten und als L1–L6 für den linken Hemithorax benannt werden.

Die Interkostalräume dienen als Schallfenster. Der Konvexschallkopf sollte im 90°-Winkel zu den Rippen aufgesetzt werden, sodass zwei nebeneinanderliegende Rippen mitabgebildet werden. Somit kann der Interkostalraum mit der Pleuralinie sicher erkannt und zuverlässig vom Vorliegen eines anterioren Rippenartefakts unterschieden werden. Mittels dieser Technik können alle Interkostalräume und somit alle sechs Regionen des jeweiligen Hemithorax sicher untersucht werden [18].

Beim Verdacht auf das Vorliegen kleiner subpleuraler Läsionen kann fokussiert ein linearer Schallkopf zum Einsatz kommen.

### Lungensonographische Befunde bei COVID-19

COVID-19 betrifft im Vergleich zu anderen Pneumonien häufiger die peripheren Lungenabschnitte, d. h. die Läsionen sind entsprechend pleuranah lokalisiert und fallen somit in den Bereich, der sich mittels Sonographie gut darstellen lässt [43]. Die Lungensonographie ist je nach Vortestwahrscheinlichkeit sowohl zur Erhöhung der diagnostischen Sicherheit bei COVID-19 als auch zum Follow-up der Patienten geeignet [10]. Jedoch sind die sonographischen Zeichen der COVID-19-Pneumonie unspezifisch und können beispielsweise auch bei anderen viralen Pneumonien auftreten. Somit sind sie in Zusammenschau mit der Klinik des Patienten und der Prävalenz von SARS-CoV-2 zu werten [40]. Ob eine sonographische Diagnosestellung möglich ist, wird in Studien zu untersuchen sein. Unumstritten lassen sich jedoch Differenzialdiagnosen wie beispielsweise ein Pneumothorax sonographisch abklären. Außerdem kann der POCUS zur Evaluierung der kardialen Funktion und zur Volumensteuerung dienen [41].

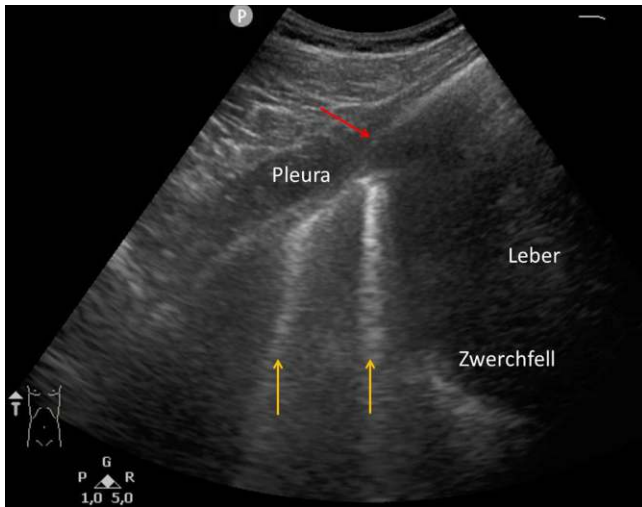


**Abb. 7** ▲ Untersuchung der Lunge mittels eines Curved-array-Schallkopfes. Erfassung von Konsolidierungen mit positivem Aerobronchogramm (gelbe Pfeile)

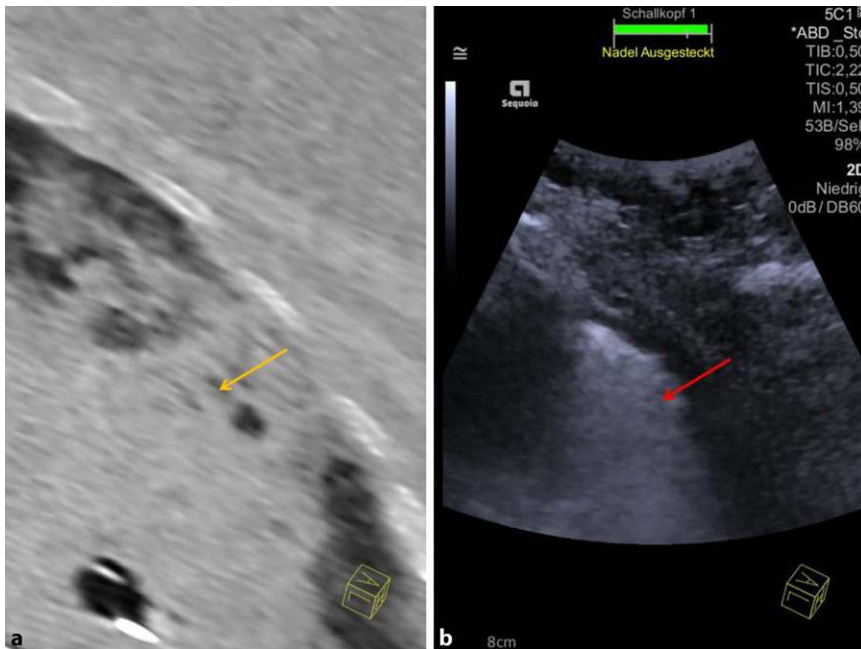
Unter Verwendung eines Hochfrequenzschallkopfes (z. B. L12-3) können die Morphologie und die Veränderungen kleinerer subpleuraler Läsionen dargestellt werden (▣ Abb. 6). Mittels Niedrigfrequenzschallköpfen (z. B. C5-1) lassen sich Veränderungen der Bestandteile von Luft und Wasser in Bereichen von Konsolidierungen sowie ein positives Aerobronchogramm in der Lungenperipherie nachweisen (▣ Abb. 7). Die sonographische Beurteilung der Lunge ist grundsätzlich eingeschränkt bei der Beurteilung zentraler Lungenbereiche, da es zu einer Abschwächung der Schallwellen durch das normale Lungen- und Knochengewebe kommt. Deshalb stützt sich die sonographische Diagnosestellung auf die Interpretation der Artefakte pleuraler und an die Pleura reichender Läsionen [17]. Diese Artefakte entstehen durch ein abnormales Verhältnis zwischen Luft- und Wasserbestandteilen in Alveolen und im interstitiellen Gewebe.

Typische sonographische Veränderungen bei COVID-19-Pneumonie sind:

- Pleura: Die Pleuralinie stellt sich unruhig, unscharf und teilweise unterbrochen dar. Es zeigen sich pleurale Verdickungen und Irregula-



**Abb. 8** ◀ Untersuchung der Lunge mittels eines Curved-array-Schallkopfes. Im kostophrenischen Winkel rechtsseitig (Region R6) zeigt sich ein kleiner Randwinkelerguss (*roter Pfeil*) und 2 B-Linien (*gelbe Pfeile*) bei unruhiger Pleuralinie



**Abb. 9** ▲ Bildfusionsuntersuchung der Lunge mit simultaner Erfassung der **a** computertomographischen (CT-) und **b** Ultraschalldaten in „real time“. In beiden Modalitäten stellen sich ausgeprägte Konsolidierungen im CT (*gelber Pfeil*) und Ultraschallbild (*roter Pfeil*) dar

ritäten, sie erscheint „fragmentiert“ ([38]; **Abb. 3, 4 und 5**).

- B-Linien: Es zeigen sich einzelne, mehrere oder konfluierende B-Linien bis hin zur sonographisch „weißen“ Lunge (**Abb. 2, 3 und 4**). Diese können von einer glatten, aber auch von einer unruhigen Pleuralinie oder von kleinen Konsolidierungen ausgehen. Daneben bestehen aber auch „ausgesparte“ Areale mit lungensonographischem Normalbefund (A-Linien mit Lungengleiten, das sog. A-Profil), oft im selben Inter-

kostalraum. Dieses Phänomen kann atemabhängig auftreten und wird „light beam“ oder auch „Wasserfall-Zeichen“ genannt ([38, 42]; **Abb. 5**). Im Gegensatz zum Lungenödem treten bei COVID-19 die B-Linien fokal auf und nicht ubiquitär bilateral, beim Lungenödem gibt es typischerweise keine „ausgesparten“ Areale.

- Konsolidierungen: Diese lassen sich ebenfalls in ihrer unterschiedlichsten Ausprägung nachweisen, bspw. als multifokale kleine subpleurale Konsolidierungen bis zu

nichttranslobären und translobären Konsolidierungen mit vereinzelter Darstellung von Aerobronchogrammen, wie sie beispielsweise typisch für eine bakterielle Pneumonie sind (**Abb. 6**). Größere Konsolidierungen mit Aerobronchogrammen können ein Hinweis auf eine bakterielle Superinfektion sein ([38, 42]; **Abb. 7**).

- Pleuraergüsse gelten als ungewöhnlich bei COVID-19. Laut unserer Einschätzung ist der Nachweis von Pleuraergüssen jedoch mit einem schlechteren klinischen Zustand assoziiert. Außerdem sollten die Komorbiditäten des Patienten beachtet werden, so schließen bei einem Patienten mit dekompensierter Herzinsuffizienz kardial bedingte Pleuraergüsse eine COVID-19-Pneumonie nicht aus (**Abb. 8**).

Diese genannten lungensonographischen Befunde können sich im Krankheitsverlauf und in Abhängigkeit von der Krankheitsschwere verändern. Ein indirektes Zeichen einer klinischen Verbesserung des Patienten ist das Erscheinen von A-Linien im Rahmen der Genesungsphase des Patienten [10].

Unserer Einschätzung zufolge kommt der Lungensonographie beim Management von COVID-19-Patienten in der Notaufnahme bzw. der Triage und auf der Intensivstation aufgrund der Sicherheit der Untersuchung, der einfachen Wiederholbarkeit und der vergleichsweise niedrigeren Kosten eine Schlüsselrolle zu [38]. Low-dose-CT-Untersuchungen sollten im Rahmen des Follow-ups Situationen vorbehalten bleiben, in denen die sonographische Bildgebung der Lunge die klinische Fragestellung nicht sicher beantworten kann und eine therapeutische Konsequenz zu erwarten ist. Laut unserer Erfahrung kann die Lungensonographie effektiv zur zeitnahen Einschätzung des Schweregrads einer COVID-19-Pneumonie, zur Verlaufsbeurteilung der Erkrankung sowie auch für Rekrutierungsmanöver kollabierter Lungenareale auf Intensivstation eingesetzt werden. Zusätzlich können eine Verlaufsbeurteilung bei Patienten in Bauchlage erfolgen und der POCUS beim Therapiema-

gement der extrakorporalen Membran-oxygenierung hilfreich sein [10]. Durch den Einsatz der bettseitigen Sonographie auf Intensivstationen und in Notaufnahmen können Patienten vor unnötiger Strahlenexposition geschützt und Therapieverzögerungen vermieden werden. Zusätzlich kann der Transport von Hochrisikopatienten zu CT-Untersuchungen minimiert werden. Der Einsatz der Bildfusion ermöglicht es in „real time“ simultan CT- und Sonographiedaten zu fusionieren, um einen möglichen Progress der Erkrankung im Vergleich zum Aufnahme-CT frühzeitig zu erfassen (■ Abb. 9).

## Fazit für die Praxis

- COVID-19-Patienten zeigen typische sonographische Veränderungen mit betont peripherer Lungenbeteiligung. In den Händen eines erfahrenen Untersuchers kann die sonographische Bildgebung der Lunge die peripheren pneumonischen Veränderungen, vergleichbar zur CT, erfassen. Die Sonographie ist hinsichtlich der Evaluation von Pneumonien und des ARDS der konventionellen Röntgen-Thorax-Aufnahme auf der Intensivstation überlegen.
- Die Lungensonographischen Befunde bei COVID-19 sind jedoch unspezifisch und können auch beispielsweise bei anderen viralen Pneumonien erhoben werden. Eine Validierung steht noch aus. Somit sind sie im klinischen Kontext zu werten.
- Der Lungensonographie kommt beim Management von COVID-19-Patienten in der Notaufnahme und auf Intensivstation aufgrund der Sicherheit, Wiederholbarkeit und niedrigen Kosten eine Schlüsselrolle zu.
- Die Durchführung einer Point-of-care-Sonographie (POCUS) auf Intensivstationen und in Notaufnahmen schützt Patienten vor unnötiger Strahlenexposition und vermeidet Therapieverzögerungen.
- Die Lungensonographie kann den Transport von Hochrisikopatienten zu CT-Untersuchungen minimieren und somit einen Beitrag zum Infekti-

onsschutz und damit zur Mitarbeiter- und Patientensicherheit leisten.

## Korrespondenzadresse



**Prof. Dr. D.-A. Clevert**  
Klinik und Poliklinik für Radiologie, Interdisziplinäres Ultraschallzentrum, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München, Campus Großhadern  
Marchioninistraße 15,  
81377 München, Deutschland  
Dirk.Clevert@med.uni-muenchen.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** D.-A. Clevert ist als Referent für die Firmen Bracco, Esaote, Philips, Siemens und Samsung tätig. M. Schmid und F. Escher geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

## Literatur

1. <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>. Zugriffen: 15.6.2020
2. Wujtewicz M, Dylczyk-Sommer A, Aszkiewicz A, Zdanowski S, Piwowarczyk S, Owczuk R (2020) COVID-19—what should anaesthesiologists and intensivists know about it? *Anaesthesiol Intensive Ther.* <https://doi.org/10.5114/ait.2020.93756>
3. Soldati G, Giannasi G, Smargiassi A, Inchingolo R, Demi L (2020) Contrast-enhanced ultrasound in patients with COVID-19: pneumonia, acute respiratory distress syndrome, or something else? *J Ultrasound Med.* <https://doi.org/10.1002/jum.15338>
4. Kluge S, Janssens U, Welte T, Weber-Carstens S et al. Empfehlungen zur intensivmedizinischen Therapie von Patienten mit COVID-19 S1-Leitlinie Stand 19. Juni 2020 (Version 2)
5. Brogi E, Bignami E, Sidoti A, Shawar M, Gargani L, Vetrugno L, Volpicelli G, Forfori F (2017) Could the use of bedside lung ultrasound reduce the number of chest x-rays in the intensive care unit? *Cardiovasc Ultrasound* 15(1):23
6. Oks M, Cleven KL, Cardenas-Garcia J, Schaub JA, Koenig S, Cohen RI, Mayo PH, Narasimhan M (2014) The effect of point-of-care ultrasonography on imaging studies in the medical ICU: a comparative study. *Chest* 146:1574–1577
7. Wu J, Wu X, Zeng W et al (2020) Chest CT findings in patients with corona virus disease 2019 and its relationship with clinical features. *Invest Radiol.* <https://doi.org/10.1097/rli.0000000000000670>
8. Zhao W, Zhong Z, Xie X, Yu Q, Liu J (2020) Relation between chest CT findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study. *AJR Am J Roentgenol.* <https://doi.org/10.2214/ajr.20.22976>
9. Zhou S, Wang Y, Zhu T, Xia L (2020) CT features of coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia in 62 patients in Wuhan, China. *AJR Am J Roentgenol.* <https://doi.org/10.2214/ajr.20.22975>
10. Peng QY, Wang XT, Zhang LN (2020) Chinese Critical Care Ultrasound Study Group (CCUSG). Findings of lung ultrasonography of novel corona virus pneumonia during the 2019–2020 epidemic. *Crit Care* 24(1):143. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-02856-z>
11. Lichtenstein D, Goldstein I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Roubey JJ (2004) Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 100(1):9–15
12. Tecce PM, Fishman EK, Kuhlman JE (1994) CT evaluation of the anterior mediastinum: spectrum of disease. *Radiographics* 14(5):973–990
13. Brenner DJ, Hall EJ (2007) Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 357(22):2277–2284
14. Gargani L, Picano E (2015) The risk of cumulative radiation exposure in chest imaging and the advantage of bedside ultrasound. *Crit Ultrasound J* 7:4
15. Mayo PH, Copetti R, Feller-Kopman D, Mathis G, Maury E, Mongodi S, Mojoli F, Volpicelli G, Zanobetti M (2019) Thoracic ultrasonography: a narrative review. *Intensive Care Med* 45(3):1200–1211
16. Mongodi S, Orlando A, Arisi E, Tavazzi G (2020) Lung ultrasound in patients with acute respiratory failure reduces conventional imaging and health care provider exposure to COVID-19. *Ultrasound Med Biol* 46(8):2090–2093. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.033>
17. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M et al (2012) International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 38:577–591
18. Volpicelli G (2013) Lung sonography. *J Ultrasound Med* 32:165–171
19. Dietrich CF, Gebhard Mathis G, Cui XW et al (2015) Ultrasound of the pleurae and lungs. *Ultrasound Med Biol* 41:351–365
20. Mathis G (2010) Why look for artifacts alone when the original is visible? *Chest* 137:233 (author reply 233–4)
21. Gargani L, Pang PS, Frassi F et al (2015) Persistent pulmonary congestion before discharge predicts rehospitalization in heart failure: a lung ultrasound study. *Cardiovasc Ultrasound* 13:40
22. Gargani L (2011) Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardiovasc Ultrasound* 9:6
23. Bouhemad B, Liu ZH, Arbelot C et al (2010) Ultrasound assessment of antibiotic-induced pulmonary reaeration in ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med* 38:84–92
24. Lichtenstein D, Mezière G (2008) Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 134(1):117–125
25. Havelock T, Teoh R, Laws D et al (2010) Pleural procedures and thoracic ultrasound: British Thoracic Society Pleural disease guideline 2010. *Thorax* 65(02):ii61–76
26. Piscaglia F, Nolsoe C, Dietrich CF et al (2012) The EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Practice of Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS): update 2011 on non-hepatic applications. *Ultraschall Med* 33:33–59
27. Michels G, Breikreutz R, Pfister R (2014) Value of lung ultrasound in emergency and inten-



sive care medicine. Dtsch Med Wochenschr 139(45):2301–2307

28. Gardelli G, Feletti F, Nanni A et al (2012) Chest ultrasonography in the ICU. *Respir Care* 57:773–781
29. Lichtenstein DA (2014) Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive Care* 4:1
30. Lichtenstein DA (2017) Lung Ultrasound (in the Critically Ill) Superior to CT: the Example of Lung Sliding. *Korean J Crit Care Med* 32(1):1–8
31. Armbruster W, Eichholz R, Notheisen T (2019) Lung ultrasound for anesthesia, intensive care and emergency medicine. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 54(2):108–127
32. Ziskin MC et al (1982) The comet tail artifact. *J Ultrasound Med* 1:1–7
33. Lichtenstein DA, Meziere GA, Lagoueyte JF, Biderman P, Goldstein I, Gepner A (2009) A-lines and B-lines: lung ultrasound as a bedside tool for predicting pulmonary artery occlusion pressure in the critically ill. *Chest* 136:1014–1020
34. Sultan LR, Sehgal CM (2020) A review of early experience in lung ultrasound in the diagnosis and management of COVID-19. *Diagnostics (Basel)* 10(9):E631. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10090631>. PMID: 32854253
35. Dietrich CF, Mathis G, Blaivas M, Volpicelli G, Seibel A, Wastl D, Atkinson NS, Cui XW, Fan M, Yi D (2016) Lung B-line artefacts and their use. *J Thorac Dis* 8:1356–1365
36. Lesser TG (2017) Significance of thoracic and lung ultrasound in thoracic surgery. *Ultraschall Med* 38(6):592–610
37. Goffi A, Krusselbrink R, Volpicelli G (2018) The sound of air: point-of care lung ultrasound in perioperative medicine. *Can J Anesth* 65:399–416
38. Gargani L, Soliman-Aboumarie H, Volpicelli G, Corradi F et al (2020) Why, when, and how to use lung ultrasound during the COVID-19 pandemic: enthusiasm and caution. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 21(9):941–948. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa163>
39. [https://www.degum.de/fileadmin/dokumente/service/Downloads/Poster\\_A4-Lungenultraschallprotokoll\\_DEGUM\\_SGUM\\_OEGM\\_V3\\_06042020\\_Print\\_digital\\_NEU.pdf](https://www.degum.de/fileadmin/dokumente/service/Downloads/Poster_A4-Lungenultraschallprotokoll_DEGUM_SGUM_OEGM_V3_06042020_Print_digital_NEU.pdf). Zugegriffen: 1.7.2020
40. Convissar D, Gibson L, Berra L, Bittner E et al (2020) Application of lung ultrasound during the COVID-19 pandemic: a narrative review. *Anesth Analg* 131(2):345–350
41. Johri A, Galen B, Kirkpatrick J, Lanspa M, Mulvagh S et al (2020) ASE statement on point-of-care ultrasound during the 2019 novel Coronavirus pandemic. *Am Soc Echocardiogr* 33(6):670–673. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.04.017>
42. Tan G, Lian X, Zhu Z, Wang Z et al (2020) Use of lung ultrasound to differentiate Coronavirus disease 2019 (COVID-19) pneumonia from community-acquired pneumonia. *Ultrasound Med Biol* 46(10):2651–2658. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.05.006>
43. Bai HX, Hsieh B, Xiong Z, Halsey K, Choi JW, Tran TML, Pan I, Shi LB, Wang DC, Mei J, Jiang XL, Zeng QH, Eggin TK, Hu PF, Agarwal S, Xie F, Li S, Healey T, Atalay MK, Liao WH (2020) Performance of radiologists in differentiating COVID-19 from viral pneumonia on chest CT. *Radiology* Mar 10:200823

## Schlüsselprozesse bei der Entstehung von Lungenfibrose identifiziert

**Forschungsgruppen an der Charité – Universitätsmedizin Berlin und in Heidelberg ist es gelungen, die Entstehung von Lungenfibrose im Detail nachzuverfolgen. Sie konnten zeigen, dass dem Protein NEDD4-2 eine Schlüsselfunktion für die gesunde Lunge zukommt, und ein Fehlen dieses zentralen Regulators für verschiedene Prozesse bei der Krankheitsentstehung von Bedeutung ist.**

Eine Fibrose der Lunge ist eine schwerwiegende Erkrankung, die vor allem ältere Menschen betrifft und für die es kaum Behandlungsmöglichkeiten gibt. Das Lungengewebe verändert sich zunehmend und vernarbt. Die Ursachen einer Lungenfibrose sind jedoch weitgehend unbekannt und der Mechanismus auf zellulärer Ebene kaum verstanden.

Dem Team um Prof. Dr. Marcus Mall, Direktor der Klinik für Pädiatrie mit Schwerpunkt Pneumologie, Immunologie und Intensivmedizin der Charité und Professor des Berlin Institute of Health (BIH), ist es zusammen mit Forschenden des Deutschen Zentrums für Lungenforschung (DZL), des Universitätsklinikums Heidelberg und des Deutschen Krebsforschungszentrums nun erstmals gelungen, ein Tiermodell zu entwickeln, das die sogenannte idiopathische pulmonale Fibrose (IPF) detailliert widerspiegelt.

Die Forschenden konnten bei der Untersuchung der zugrundeliegenden Krankheitsmechanismen feststellen, dass durch das Fehlen des Proteins NEDD4-2, das am Abbau verschiedener anderer Proteine beteiligt ist, Epithelzellen in den Atemwegen umgestaltet werden: Der Anteil der verschiedenen Zelltypen ist verändert und die Zellen produzieren zudem größere Mengen bestimmter Mucine. Zusammen mit veränderten Natriumströmen in Epithelzellen und einem dadurch verringerten Volumen des Flüssigkeitsfilms führt dies zu einem gestörten Abtransport – der Selbstreinigungsprozess der Atemwege ist gestört. Darüber hinaus verursacht das Fehlen von NEDD4-2 eine verstärkte Aktivität

des pro-fibrotischen TGFβ-Signalwegs. Somit konnte das Team um Marcus Mall einen direkten Zusammenhang zwischen dem Fehlen von NEDD4-2 und einer gestörten mukoziliären Clearance sowie der Fehlregulierung des TGFβ-Signalwegs herstellen – zwei Störungen, die nach aktuellen Erkenntnissen in der Pathogenese von IPF eine Rolle spielen.

Das Forscherteam hofft, auf diesem Weg durch eine verbesserte präklinische Testung dazu beizutragen, dass Therapieansätze schneller entwickelt werden können. In weiteren Schritten sollen nun Biomarker zur Früherkennung getestet sowie potenzielle neue Substanzen zur Behandlung der Lungenfibrose auf ihre Wirksamkeit hin untersucht werden.

### Literatur:

**Duerr J et al. Conditional deletion of Nedd4-2 in lung epithelial cells causes progressive pulmonary fibrosis in adult mice. *Nat Commun* (2020)**