Überblick über die Ultraschalluntersuchung der Lunge beim Kalb

U. Braun[1], C. Oschlies[1], S. Ohlerth[2], C. Gerspach[1]

[1] Klinik für Wiederkäuer und [2] Klinik für Bildgebende Diagnostik, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die sonographische Untersuchung der Lunge des Kalbes sowie die bei verschiedenen Erkrankungen des unteren Atemapparats bei Kälbern sonographisch möglichen Befunde. Im Weiteren werden die Untersuchungen, welche die Auskultations- und Ultraschallbefunde sowie die Ultraschall- und die pathologisch-anatomischen Befunde miteinander vergleichen, dargestellt. Schliesslich werden die Arbeiten besprochen, welche die Beziehungen zwischen Infektionen und den Ultraschallbefunden sowie die Beziehungen zwischen den Ultraschallbefunden und der Prognose untersuchen. Zusammenfassend erlaubt die Ultraschalluntersuchung der Lunge, die bei Kälbern mit Bronchopneumonie, Pleuropneumonie, Pneumothorax und Lungenabszessen vorhandenen Befunde zu erfassen und zu beschreiben sowie Hinweise auf die Prognose und die pathologisch-anatomischen Befunde zu geben.

Schlüsselwörter: Kalb, Rind, Sonographie, Lunge, Bronchopneumonie

Ultrasonography of the lung in calves

This paper reviews the technique used for thoracic ultrasonography of the bovine lower respiratory tract and the ultrasonographic findings in calves with bronchopneumonia. Studies that compare the results of auscultation with those of ultrasonography and postmortem examination are included as are studies that examine the relationship between ultrasonographic findings and bacterial lung infection and prognosis. Lesions associated with bronchopneumonia, pleuropneumonia, pneumothorax and lung abscesses are easily imaged ultrasonographically and characterised in calves.

Key words: calf, cattle, ultrasonography, lung, bronchopneumonia

https://doi.org/10.17236/sat00269

Eingereicht: 21.03.2020
Angenommen: 14.06.2020

Einleitung

Den Erkrankungen des Atemapparats (bovine respiratory disease, BRD) kommt beim Kalb eine grosse Bedeutung zu. Die häufigste und wichtigste Atemwegserkrankung beim Kalb ist die enzootische Bronchopneumonie. Die wichtigsten Komplikationen dieser Erkrankung sind die chronisch-eitrige und die abszedierende Bronchopneumonie, das Lungenemphysem sowie die Pleuropneumonie. Weitere, oft vorkommende Lungenerkrankungen beim Rind stellen die Dictyocaulose und die thromboembolische Pneumonie dar, die allerdings beim Kalb nur eine untergeordnete Rolle spielen. Ähnliches gilt für Lungentumoren, die beim Kalb nur äusserst selten vorkommen. Als Untersuchungsmethoden kommen in der Praxis hauptsächlich die klinische Untersuchung, insbesondere die Lungenauskultation, die Beurteilung von Atemfrequenz, Atemintensität, Atemtyp und Atemrhythmus sowie die Beurteilung von Husten und Dyspnoe und die Untersuchung der Nasenöffnungen zur Anwendung. Weitere Untersuchungsmethoden umfassen Nasen- und Rachentupferproben sowie die Transtracheallavage und die bronchoalveoläre Lavage (BAL) für bakteriologische, virologische und zytologische Untersuchungen sowie die Untersuchung von Kot auf *Dictyocaulus viviparus*. In einer kürzlich erschienenen Arbeit wurden die in den letzten Jahren publizierten Fortschritte bei der klinischen Diagnose der BRD zusammenfassend beschrieben.[23] Die Diagnose einer Bronchopneumonie wird in der Praxis aufgrund der klinischen Befunde gestellt (Husten, Nasenausfluss, Tachypnoe, abnorme Lungenauskultationsbefunde, Fieber). Zur frühzeitigen Erkennung existieren verschiedene, auf den klinischen Befunden basierende Hilfsmittel, die auch von Landwirten angewendet werden können.[19,49,50] So wurden verschiedene Punktzahlsysteme (scoring systems) entwickelt, die hauptsächlich auf der Beurteilung von Rektaltemperatur, Nasenausfluss, Au-

genausfluss, Husten, Haltung von Kopf und Ohren sowie der Beurteilung der Atmung beruhen.[22,41,42,44,49,50] Eine Meta-Analyse von 7 Studien ergab, dass die Befunde der klinischen Respirationserkrankung für die BRD-Diagnose in Mastbetrieben (feedlots) eine geringe Sensitivität von durchschnittlich 0.27 und eine hohe Spezifität von durchschnittlich 0.92 aufweisen.[78] Weitere Untersuchungsmöglichkeiten des unteren Atemapparats beim Kalb stellen die radiologische,[29,35,46,72,75] sonographische,[2,5,7,10,16,17,18,19,25,30,32,36,57,58,63,66,77] computertomographische,[31,43,55] endoskopische[61] und thorakoskopische[51,70] Untersuchung des Atemapparats sowie die Punktion des Thorax und die Lungengewebsbiopsie[14,37,61,74] dar. Die Ultraschalluntersuchung des Thorax korreliert sowohl mit den radiologischen[36] als auch mit den postmortal erhobenen makroskopischen Befunden.[30,63,66] Sie eignet sich sehr gut, um den Schweregrad von Bronchopneumonien abzuschätzen und das Ausmass einer Lungenkonsolidierung zu erkennen.[5,16,18,20,78] Im Weiteren können sonographisch Pleuraveränderungen, Pleuraergüsse und an die Lungenoberfläche heranreichende Lungenabszesse dargestellt und Hinweise für ein Lungenemphysem und einen Pneumothorax erhalten werden.[12] Die vorliegende Übersicht soll einerseits die praktischen Aspekte der Lungen-Ultraschalluntersuchung am kranken Einzeltier beleuchten und andererseits die Arbeiten, welche sich mit dem Einsatz dieser Technik auf Bestandesebene beschäftigen, zusammenfassen. Im Weiteren sollen die Publikationen, die sich mit der Evaluation dieser Untersuchungsmethode beim Kalb befassen, erläutert werden.

Vorgehen bei der Literaturübersicht

Die Datenbank PubMed wurde für die Jahre 1975 bis und mit Mai 2020 nach den Stichwörtern *calf, ultrasonography* und *lung* durchsucht. Zudem wurden die sonographischen Lehrbücher für das Rind[12] und das Pferd,[53,65] sowie Lehrbücher für die Kleintiere[34,48] und den Menschen[69] studiert. Alle für das Thema relevanten Publikationen wurden in die Literaturübersicht miteingeschlossen.

Anatomie der Lunge

Das Lungenfeld wird dorsal vom lateralen Rand der Stammmuskulatur begrenzt.[80] Die kraniale Grenze wird oben von der Hinterkante des Schulterblatts, unten von derjenigen des Ankonäenwulstes gebildet. Die kaudale Grenze des Lungenfeldes zieht, ausgehend vom Schnittpunkt des 11. Interkostalraums mit der Dorsalgrenze, über die Mitte der 9. Rippe und erreicht bei vorgestellter Vordergliedmasse etwa 2 Fingerbreiten oberhalb des Ellbogenhöckers die vordere Begrenzungslinie. Beide Lungenflügel bestehen aus einem zweigeteilten Lobus cranialis und einem Lobus caudalis; der rechte Lungenflügel weist zudem einen Lobus medius und einen Lobus accessorius auf.

Untersuchungsgang

Bei der Ultraschalluntersuchung werden Pleura und Lungenoberfläche von beiden Brustwandseiten aus untersucht. Die Untersuchung erfolgt am stehenden, nicht sedierten Kalb nach Scheren der Haare, Aufbringen von Alkohol auf die geschorene Haut und Bestreichen der Haut mit Kontaktgel.[12,30,77] Einige Autoren verzichten auf das Aufbringen von Alkohol.[36,63] Nach anderen Autoren ist das Scheren der Haare nicht erforderlich, und es reicht aus, die Haut mit 70%igem Isopropylalkohol zu besprühen.[17,57,58] Für die Ultraschalluntersuchung werden Linear-, Convex- und Sektorschallköpfe mit Frequenzen zwischen 3.5 und 13.0 MHz empfohlen.[7,30,36,63,66] Sehr gut geeignet sind auch Schallköpfe, die für die transrektale gynäkologische Untersuchung verwendet werden.[58] Diese sind den herkömmlichen Schallköpfen auf Grund ihres flachen stromlinienförmigen Gehäuses und der endseitigen Anbindung des Kabels (anstatt in der Mitte wie bei den konventionellen Schallköpfen) beim Kalb vor allem im Schulter- und Achselbereich überlegen, da sie viel besser als jene zwischen Schulter/Achsel und die Brustwand eingeschoben werden können, um die Lunge in diesem Bereich darzustellen. Bei der vergleichenden Untersuchung der Lunge von 24 Kühen mit einem Handscanner mit Rektalschallkopf und einem stationären Ultraschallgerät erwies sich das Gerät mit dem Rektalschallkopf als sehr gut geeignet für die Erfassung der Ultraschallbefunde.[6] Portable Ultraschallgeräte wurden auch von anderen Autoren als schnell, genau und praktikabel eingestuft.[58]

Die Ultraschalluntersuchung erfolgt vom 11. Interkostalraum so weit wie möglich nach kranial, in der Regel bis zum dritten Interkostalraum.[77] Mit einem Rektalschallkopf ist die Ultraschalluntersuchung rechts sogar bis zum ersten, links bis zum zweiten Interkostalraum möglich.[57,58] Jeder Interkostalraum wird von dorsal nach ventral mit parallel zu den Rippen gehaltenem Schallkopf gescannt und unmittelbar kaudal der Schulter wird der Strahl schräg nach kranial gerichtet, um die kranialsten Anteile der Lunge zu untersuchen. Beurteilt werden die Brustwand und die Lungenoberfläche. Krankhafte Veränderungen können erkannt werden, wenn sie von der Brustwand ausgehen oder wenn sie an die Lungenoberfläche heranreichen. Besonders gut können Pleuraergüsse dargestellt und unter Ultraschallkontrolle punktiert werden. Nicht erfasst werden können Veränderungen, welche durch belüftetes Lungengewebe von der Lungenoberfläche abgetrennt sind.

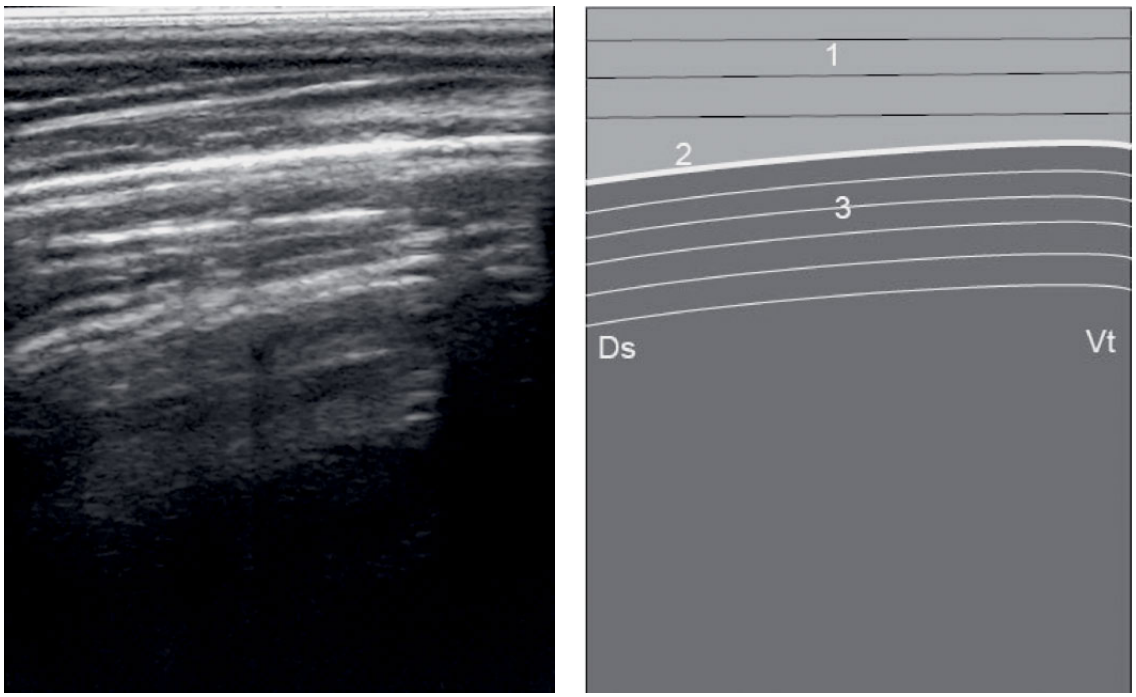
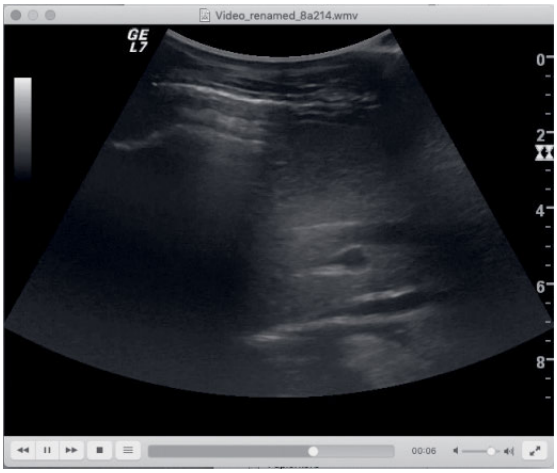


Abb. 1: Sonogramm und schematische Darstellung der normalen Lunge eines gesunden Kalbes. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Reverberationsartefakte, Ds Dorsal, Vt Ventral.

Normale Ultraschallbefunde an der Lunge

Von der linken Brustwandseite sind in den untersuchten Interkostalräumen von dorsal nach ventral die Rückenmuskulatur, die Brustwand, die Pleura costalis und die mit der Pleura pulmonalis überzogene Lungenoberfläche zu sehen. Je nach Interkostalraum können auch das Herz, die Milz und der Pansen dargestellt werden. Von der rechten Seite aus sind je nach Interkostalraum zusätzlich zur Lunge Leber, Psalter und Labmagen sichtbar. Die verschiedenen Schichten der Brustwand stellen sich als Streifen unterschiedlicher Echogenität dar (Abb. 1). Die der Brustwand nach innen folgende, sich atemsynchron bewegende echogene Linie besteht aus der Pleura costalis bzw. der Lungenoberfläche.[11,12] Zwischen den beiden Pleurablättern kann normalerweise nicht unterschieden werden.[77] Der zwischen den Pleurablättern liegende Pleuraspalt ist nur bei Vorhandensein eines Ergusses sichtbar, der zur Erweiterung des Pleuraspalts und damit zur Sichtbarmachung von Pleura costalis und Pleura pulmonalis führt.[12] Das normal belüftete Lungenparenchym kann wegen seines Luftgehalts nicht dargestellt werden. Stattdessen sind medial der Pleura Reverberationsartefakte (A-Linien, A-lines) zu sehen. Dabei handelt es sich um parallel zur Lungenoberfläche verlaufende Streifen unterschiedlicher Echogenität, die durch den Luftgehalt der Lunge und die dadurch bedingte komplette Reflexion der Ultraschallwellen mit Reverberation des Schalles zwischen reflektierender Oberfläche und Schallkopf verursacht werden. Mit zunehmendem Abstand von der Körperoberfläche werden die Reverberationen schwächer, bis sie sich in einer Tiefe von ca. 7 cm vollständig verlieren. Bei der Untersuchung muss immer auf das sogenannte Gliding-Phänomen (curtain sign)[65] geachtet werden: Dabei verschiebt sich die pulmonale Pleura bei der Inspiration wie ein Vorhang nach ventral über das Zwerchfell und bei der Exspiration nach dorsal (Video 1).[65] Die Grenzen zwischen den Lungenlappen sind



Video 1: Gleitphänomen bei einem gesunden Kalb. Die Videoaufnahme der Ultraschallbefunde erfolgten im 10. Interkostalraum der rechten Körperseite. Die Pleura der Lunge gleitet bei der Inspiration nach ventral und bei der Exspiration nach dorsal.
Link zum Video: https://doi.org/10.17236/sat00269 oder

nur bei Konsolidierung, Atelektase oder Pleuraerguss zu sehen. Auf der linken Körperseite sind der Lobus cranialis in den Interkostalräumen (IKR) 2 bis 4 und der Lobus caudalis in den IKR 6 bis 10 zu sehen.[57] Rechts liegen der Lobus cranialis zwischen den IKR 1 und 4, der Lobus medius im IKR 5 und der Lobus caudalis in den IKR 6 bis 10. Der Lobus accessorius ist sonographisch seiner versteckten Lage wegen nicht darstellbar.

Abnorme Ultraschallbefunde an der Lunge

Die Häufigkeit abnormer Lungenultraschallbefunde lag bei 129 Kälbern mit Bronchopneumonie zwischen 4 und 88%.[15] Als häufigster Befund wurden Kometenschweifartefakte, gefolgt in abnehmender Reihenfolge von Luftreflexen, Luftbronchogrammen, oberflächlichen Alveogrammen, Pleuraergüssen, Konsolidierungen, Pleuraveränderungen, Flüssigkeitsbronchogrammen, Lungenabszessen und Fibrinauflagerungen bzw. Fibrinspangen beobachtet. Die genannten Veränderungen werden in den nächsten Abschnitten näher besprochen. Die Ultraschalluntersuchung ergab bei den untersuchten Kälbern 1 bis 6, durchschnittlich 3.3 ± 1.55 abnorme Befunde. Eine ähnliche Häufigkeitsverteilung wurde bei der Ultraschalluntersuchung von 33 Kälbern mit Bronchopneumonie gefunden.[33]

Unspezifische Ultraschallbefunde

Kometenschweifartefakte (B-Linien)

Kometenschweifartefakte, heute auch als B-Linien (B-lines)[40] bezeichnet, sind die häufigsten abnormen Ultraschallbefunde bei Kälbern mit Bronchopneumonie.[15,33] Es handelt sich um artefizielle Schallphänomene, die hinter kleinen, stark reflektierenden Grenzflächen, z.B. diskreten Gasansammlungen[12] und Lungenödem,[60] auftreten. Sonographisch sind Kometenschweifartefakte durch helle, nahe beieinander gelegene helle Echobanden charakterisiert (Abb. 2). Kometenschweifartefakte sind nicht für eine bestimmte pathologisch-anatomische Veränderung typisch, sie weisen aber auf eine interstitielle oder alveoläre Erkrankung hin. An der Lunge des Rindes sind sie jedoch besonders häufig beim alveolären Lungenemphysem zu sehen, wenn die geblähten Alveolen an der Lungenoberfläche liegen.[12,30,77] Auch beim Menschen werden diffuse Kometenschweifartefakte in Verbindung mit emphysematösen Erkrankungen gebracht.[67] Sie können jedoch auch bei an der Lungenoberfläche liegenden kleinen Abszessen mit Gasbildung entstehen. Kometenschweifartefakte können schon bei geringgradigen Veränderungen auftreten und sie werden in geringer Zahl als Nebenbefund angesehen. Zahlreiche Kometenschweifartefakte, je nach Autoren > 5 bzw. > 10,[81] weisen jedoch beim Kalb, wie auch beim Menschen,[67] immer auf eine Lungenparenchymerkrankung hin. Bei schwerwiegenden Parenchymveränderungen treten sie allerdings mit weiteren abnormen Ultraschallbefunden auf. Bei gesunden Kälbern, bei Pneumothorax, bei atelektatischer Lunge und bei hochgradiger Konsolidierung sind keine Kometenschweifartefakte zu sehen. Von einer Autorengruppe wurden auch bei gesunden Kälbern Kometenschweifartefakte beobachtet.[17]

Veränderung bzw. Fehlen der Reverberationsartefakte (A-Linien)

Die Reverberationsartefakte werden durch alle Krankheiten, welche den normalen Luftgehalt der Lunge beein-

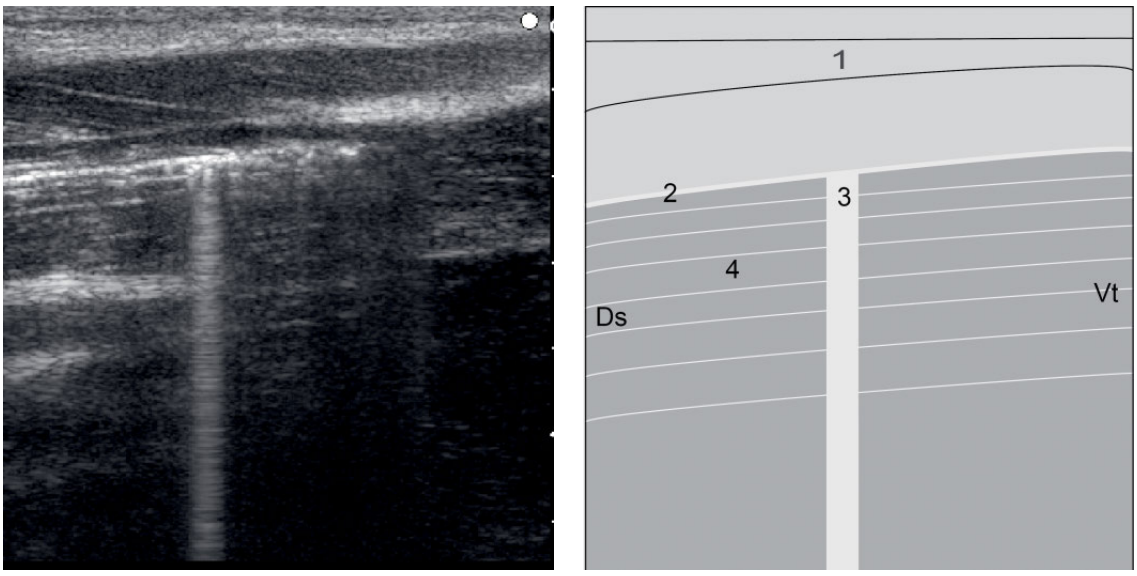


Abb. 2: Sonogramm und schematische Darstellung der Lunge mit einem Kometenschweifartefakt bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Kometenschweifartefakt, 4 Reverberationsartefakte, Ds Dorsal, Vt Ventral.

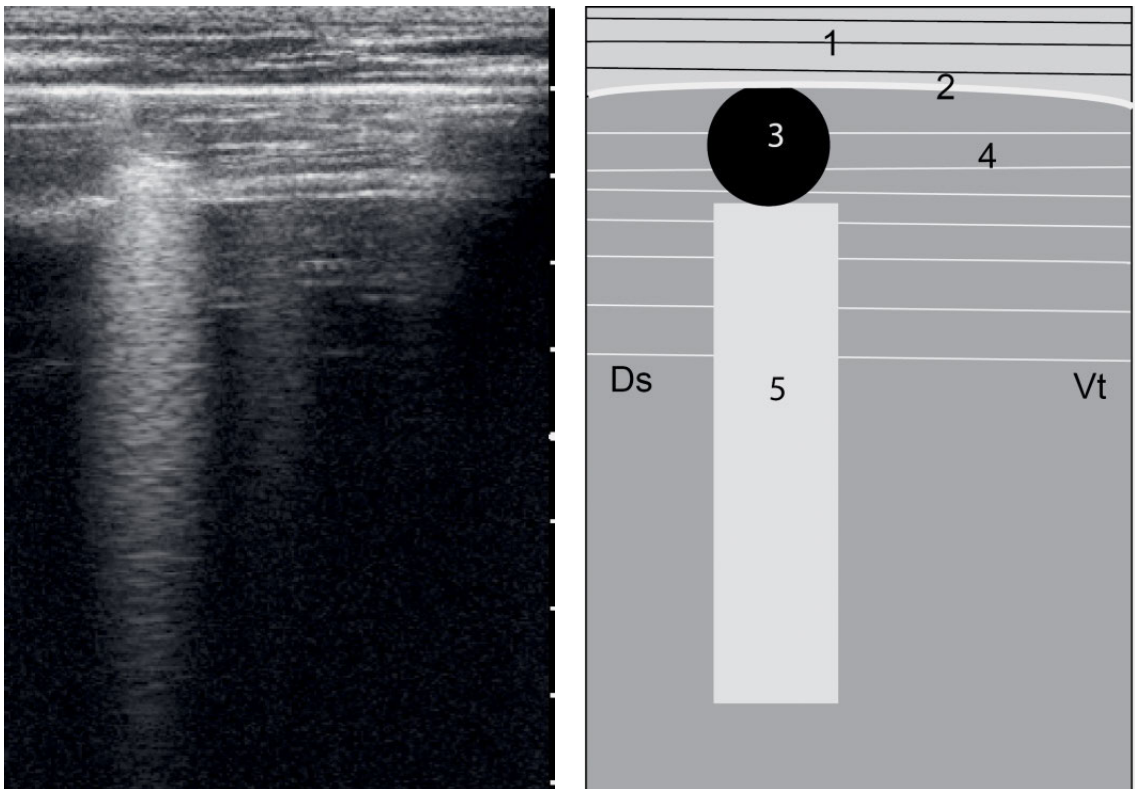


Abb. 3: Sonogramm und schematische Darstellung der Lunge mit einem oberflächlichen Alveologramm bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Oberflächliches Alveologramm, 4 Reverberationsartefakte, 5 Kometenschweifartefakt, Ds Dorsal, Vt Ventral.

flussen, verändert.[12] Dazu gehört die Lungenkonsolidierung, welche die stark reflektierende Luft aus der Lunge verdrängt. Dies bewirkt, dass die Reverberationsartefakte an der Lungenoberfläche nicht mehr sichtbar sind. Die Schallwellen dringen deshalb in die nichtbelüftete Lunge ein, bis sie auf Luft stossen, welche einen Reverberationsartefakt erzeugt. Der auf diese Weise erzeugte Artefakt ist allerdings gewöhnlich uneben. Bei vollständiger Konsolidierung eines Lungenlappens können die Schallwellen sogar bis an seine mediale Oberfläche vordringen.

Oberflächliche Alveologramme

Oberflächliche Alveologramme sind unbelüftete Bereiche, die sich als hypo- bis anechogene, fokale rundliche Veränderungen mit variablem Durchmesser darstellen und an der Lungenoberfläche liegen (Abb. 3).[7,30,65,77] Auf ihrer medialen Seite werden sie meist von Kometenschweifartefakten begleitet. Die Alveolen sind mit Flüssigkeit oder zellulärem Material gefüllt. Pathologisch-anatomisch handelt es sich um entzündliche oder nekrotische Veränderungen im Zusammenhang mit einer Bronchopneumonie oder um kleine Abszesse.

Für eine Bronchopneumonie sprechende Ultraschallbefunde

Grundsätzlich für eine Bronchopneumonie sprechen Luftreflexe, Luftbronchogramme und Konsolidierungen, wobei die Befunde mit zunehmendem Schweregrad der Erkrankung auftreten.

Luftreflexe

Luftreflexe stellen sich als multiple, linsenähnliche oder strichförmige, echogene, nur wenige Millimeter grosse Veränderungen dar (Abb. 4).[3,7,33] Sie werden durch Restluft in kleinen Bronchien von atelektatischem Lungengewebe hervorgerufen[34] und sprechen für eine Konsolidierung der entsprechenden Lungenbezirke infolge Pneumonie. Bei einer hochgradigen Konsolidierung sind die entsprechenden Lungenbezirke nicht mehr belüftet und es sind deshalb keine Luftreflexe zu sehen. Bei einer lobulären Konsolidierung weisen die Veränderungen ein geringes Ausmass auf, sie liegen innerhalb eines ansonsten belüfteten Lungenlappens und dorsal sowie ventral der Veränderung ist normal belüftetes Lungengewebe (Pleura mit Reverberationen) zu sehen (Abb. 4).[58] Bei einer lobären Konsolidierung ist der distale Lungenlappen in der gesamten Dicke betroffen und es ist ventral der Konsolidierung anstelle von belüftetem Lungengewebe hypoechoisches Lungenparenchym sichtbar (Abb. 5).[58]

Luftbronchogramme

Luftbronchogramme entstehen, wenn das Lungengewebe hochgradig entzündlich verändert ist und nur noch die Bronchen Luft enthalten. Die Bronchen stellen sich

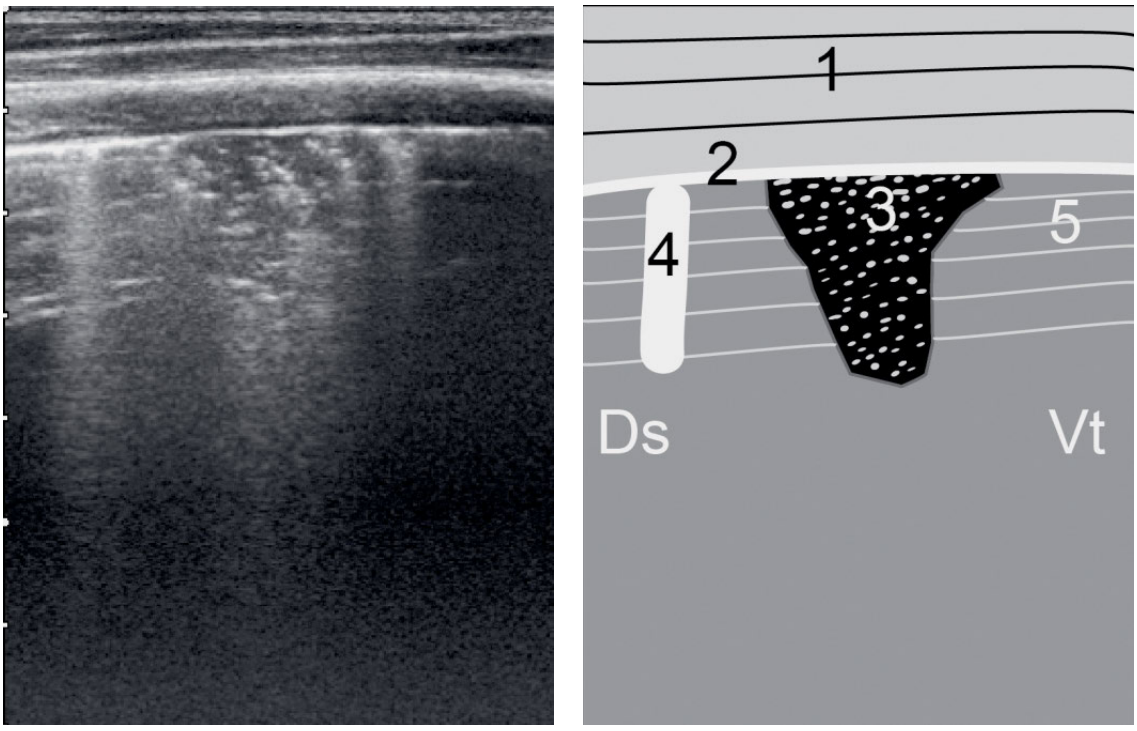


Abb. 4: Sonogramm und schematische Darstellung einer lobulären Konsolidierung bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Luftreflexe, charakteristisch für eine Konsolidierung, 4 Kometenschweifartefakt, 5 Reverberationsartefakte, Ds Dorsal, Vt Ventral.

in solchen Fällen als sehr echogene bandförmige Strukturen dar,[7,12,30] da die Ultraschallwellen von der Luft komplett reflektiert werden (Abb. 6). Luftbronchogramme sprechen immer für eine hochgradige Konsolidierung der Lunge. Wenn Lungenbezirke komplett konsolidiert sind und überhaupt keine Luft mehr enthalten, können keine Luftbronchogramme mehr dargestellt werden.

Konsolidierung

Bei einer Konsolidierung der Lunge fehlen auf dem Ultraschallbild die charakteristischen Reverberationsartefakte, da die Ultraschallwellen nicht reflektiert werden und ungehindert in das Lungenparenchym eindringen können.[12] Das luftfreie Lungenparenchym weist das Aussehen eines parenchymatösen Organs mit leberähnlicher Struktur auf (Abb. 7).[7,34,63] Grössere, noch belüftete Bronchen stellen sich als Luftbronchogramme dar (Abb. 8). Bei einer obstruktiven Pneumonie mit Verlegung des Bronchus wird die verbleibende Luft in den poststenotischen Bronchialabschnitten mit der Zeit resorbiert und damit verschwinden auch die Luftbronchogramme. Auch bei einer hochgradigen Konsolidierung und deswegen nicht mehr belüfteten Bronchen können

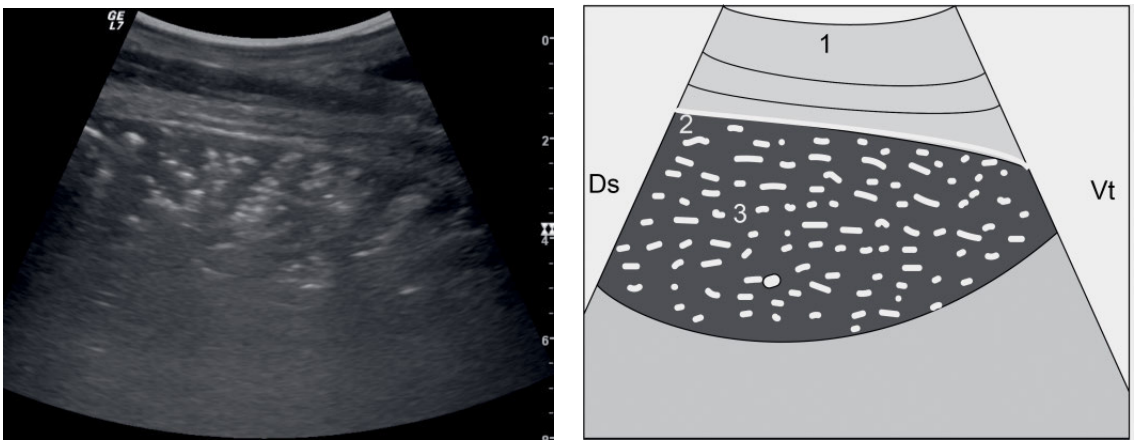


Abb. 5: Sonogramm und schematische Darstellung der Lunge mit einer lobären Konsolidierung bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Luftreflexe, charakteristisch für eine Konsolidierung, Ds Dorsal, Vt Ventral.

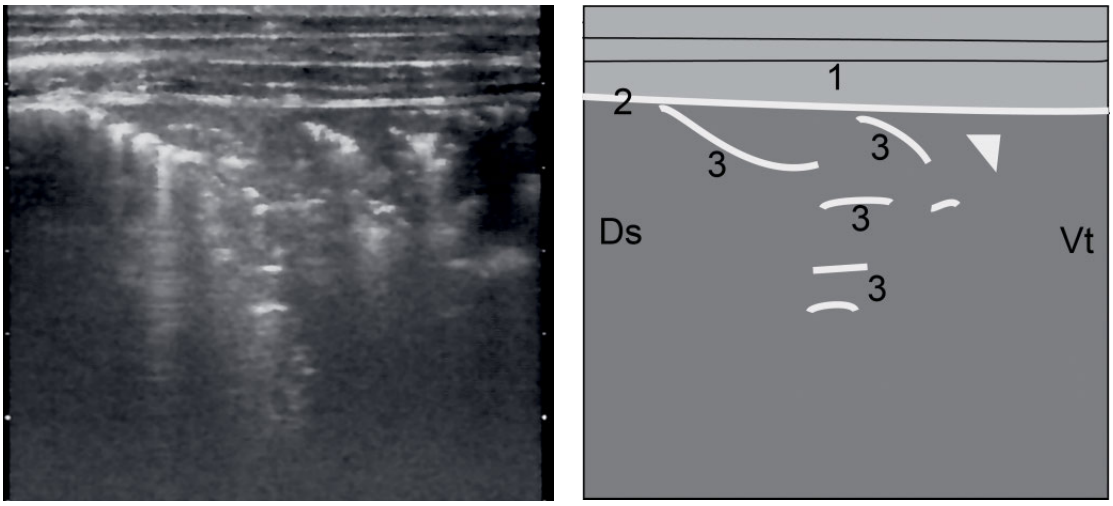


Abb. 6: Sonogramm und schematische Darstellung der Lunge mit Luftbronchogrammen infolge Konsolidierung bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Luftbronchogramme, Ds Dorsal, Vt Ventral.

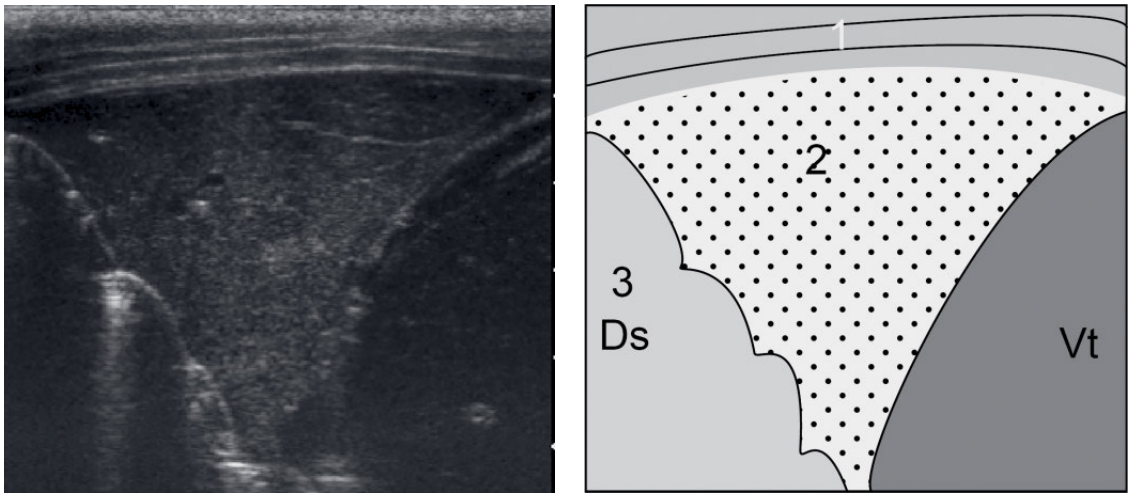


Abb. 7: Sonogramm und schematische Darstellung der Lunge mit Konsolidierung bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Konsolidierte Lunge, 3 Nicht konsolidierte Lunge, Ds Dorsal, Vt Ventral.

keine Luftbronchogramme mehr dargestellt werden. Oft sind im konsolidierten Gewebe jedoch Gefässe und Flüssigkeitsbronchogramme sichtbar (Abb. 9). Flüssigkeitsbronchogramme stellen sich als tubuläre Strukturen mit echoarmem Lumen dar.[7,30] Es handelt sich dabei um sekretgefüllte Bronchioli bei Kälbern mit Bronchopneumonie und/oder Lungenödem. Lungengefässe und Flüssigkeitsbronchogramme können mittels Dopplersonographie zuverlässig voneinander differenziert werden.[7]

Für eine Pleuropneumonie sprechende Veränderungen

Typisch für eine Pleuropneumonie sind neben den bereits bei einer Bronchopneumonie erwähnten Befunden Veränderungen an den Pleurablättern, Pleuraergüsse und Fibrinauflagerungen auf bzw. Fibrinspangen zwischen den Pleurablättern. Ein unregelmässiges Aussehen des pulmonalen Pleurablatts kann das erste Zeichen eines unausgewogenen Luftgehalts der Lungenperipherie infolge Lungenkonsolidierung sein.[66] Die Pleurablätter sind bei fibrinöser Pleuritis verdickt und oft ist die ursprünglich glatte Lungenoberfläche wellenförmig verändert. Anhand der Atembewegungen kann erkannt werden, welches der beiden Pleurablätter betroffen ist, da sich nur die pulmonale Pleura bewegt.[7] Meistens ist zudem ein Pleuraerguss vorhanden. Ein Pleuraerguss stellt sich sonographisch als sichelförmig begrenzte Zone unterschiedlicher Echogenität dar, welche zwischen den als echogene Linien erscheinenden Pleurablättern liegt (Abb. 10).[7,12,30] Bei ausgedehnteren Ergüssen wird die Lunge nach dorsal verdrängt, durch die Flüssigkeit komprimiert und dadurch atelektatisch.[12,30] Im Erguss sind in solchen Fällen trianguläre, gut abgegrenzte und leicht hyperechoisch aussehende atelektatische Lungenlappen sichtbar.[7,34,36] Zudem ist in diesen Fällen fast immer das Zwerchfell als bandförmige Struktur zu sehen. Entzündlich bedingte Pleuraergüsse sind oft nur einseitig vorhanden, da die Pleurasäcke nicht

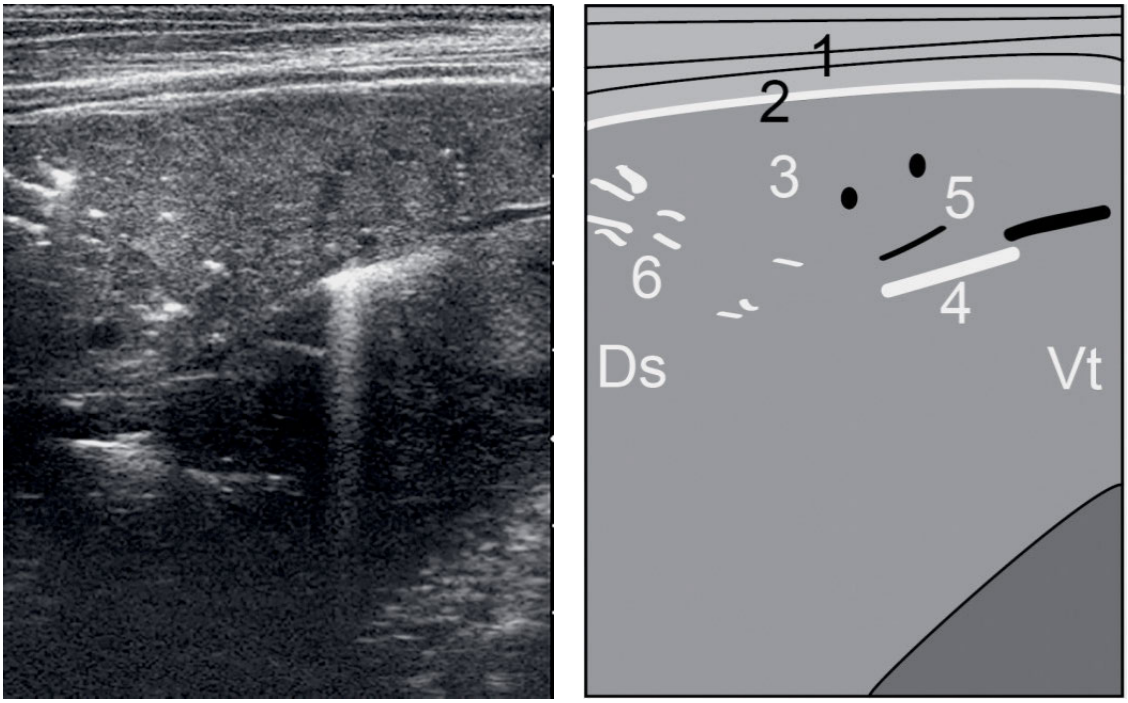


Abb. 8: Sonogramm und schematische Darstellung der Lunge mit Konsolidierung, Luftbronchogrammen, Luftreflexen und Lungengefässen bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Konsolidierte Lunge, 4 Luftbronchogramm, 5 Lungengefässe im Quer- und Längsschnitt, 6 Luftreflexe, Ds Dorsal, Vt Ventral.

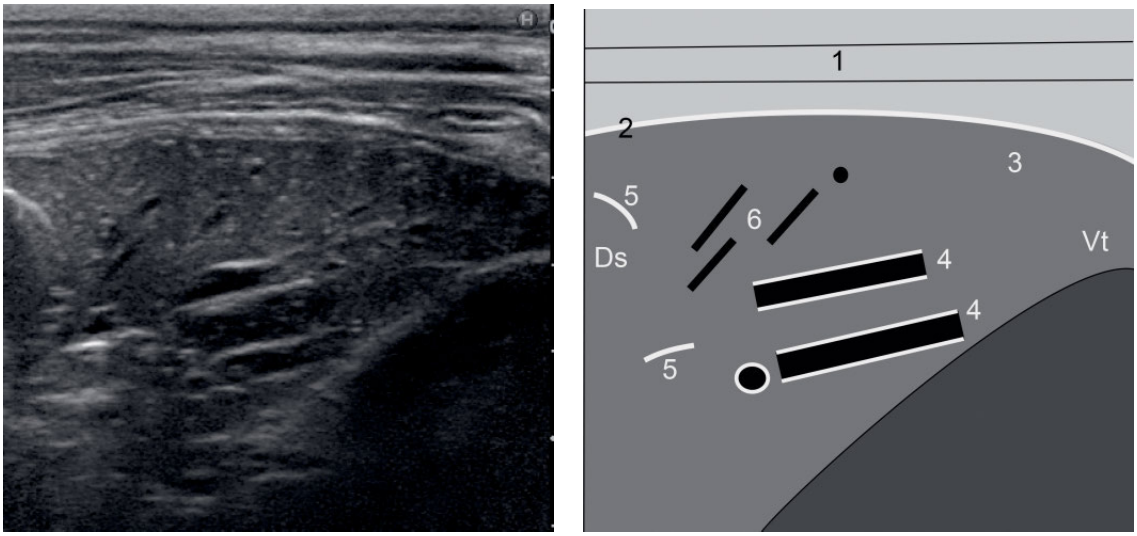


Abb. 9: Sonogramm und schematische Darstellung der Lunge mit Konsolidierung, Flüssigkeitsbronchogrammen, Luftbronchogrammen und Lungengefässen bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Konsolidierte Lunge, 4 Flüssigkeitsbronchogramme, 5 Luftbronchogramme, 6 Lungengefässe, Ds Dorsal, Vt Ventral.

kommunizieren.[12] Ein beidseitiger Pleuraerguss ist stets ein Hinweis auf eine Erkrankung beider Lungenhälften oder auch auf eine nicht entzündlich bedingte Ursache wie z. B. eine Rechtsherzinsuffizienz oder eine Hypoproteinämie. Bei einem zwei Tage alten Kalb war die Flüssigkeitsansammlung durch einen Chylothorax infolge schwergeburtsbedingter Brustwirbelfraktur verursacht worden.[62] Ein zellarmer Erguss erscheint anechoisch. Mit zunehmendem Zell- und Fibringehalt wird ein Erguss echoreicher. Zahlreiche kleine und sehr helle Echos im dorsalen Feld der Flüssigkeit sind durch Mikrogasbläschen bedingt und werden durch gasbildende anaerobe Bakterien verursacht.[65] Die Ultraschalluntersuchung stellt die diagnostische Methode der Wahl dar, um Pleuraergüsse zu lokalisieren, ihr Ausmass zu bestimmen und ihr Aussehen zu beschreiben. Die exakte Charakterisierung eines Ergusses ist jedoch nur nach Punktion[7,12] und weiteren Untersuchungen wie Bestimmung von Farbe, Geruch, Menge, spezifischem Gewicht, zytologischer und bakteriologischer Untersu-

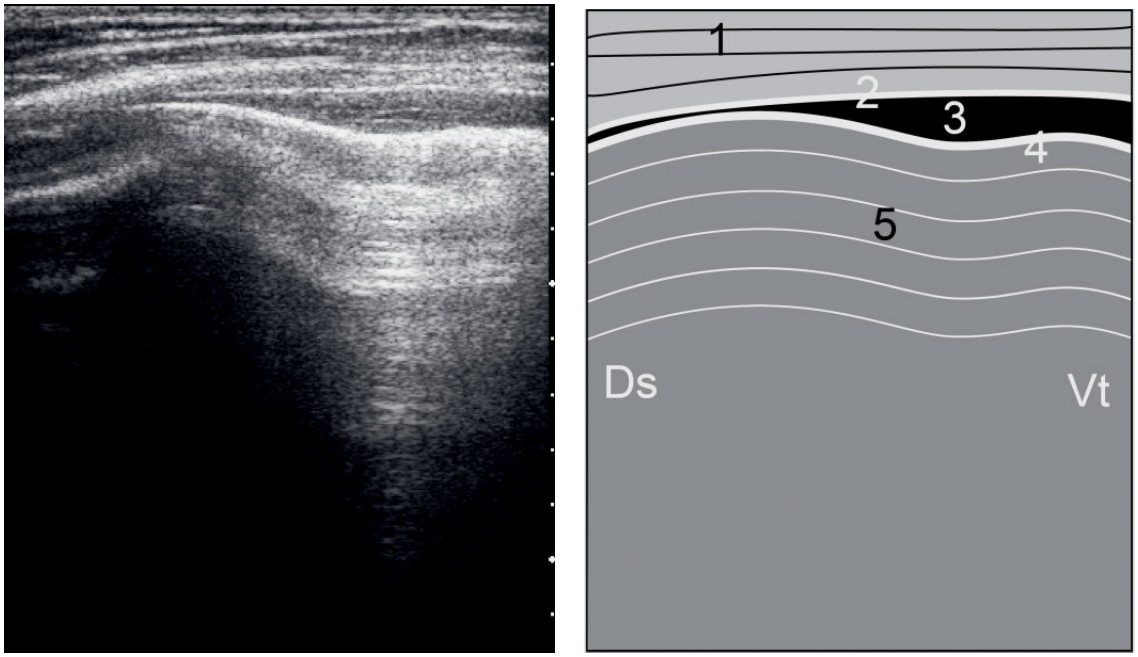


Abb. 10: Sonogramm und schematische Darstellung eines sichelförmigen Pleuraergusses bei einem Kalb mit Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura costalis, 3 Pleuraerguss, 4 Pleura pulmonalis, 5 Reverberationsartefakte, Ds Dorsal, Vt Ventral.

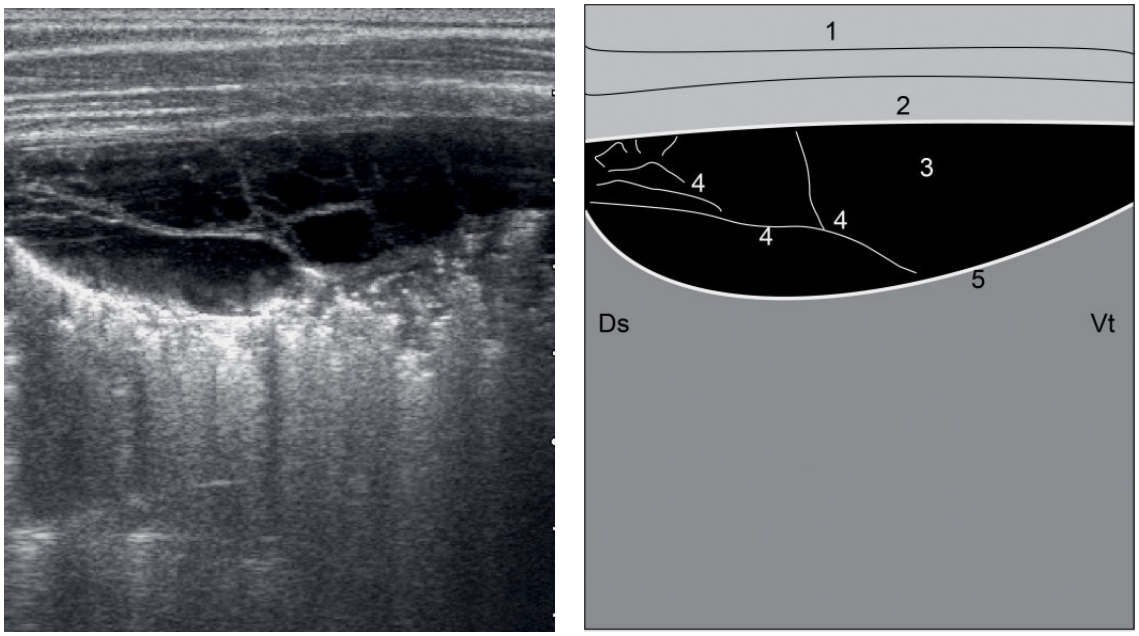


Abb. 11: Sonogramm und schematische Darstellung von Fibrinsträngen in einem Pleuraerguss bei einem Kalb mit fibrinöser Bronchopneumonie. 1 Brustwand, 2 Pleura costalis, 3 Pleuraerguss, 4 Fibrinstränge, welche sich zwischen den beiden Pleurablättern erstrecken, 5 Pleura pulmonalis, Ds Dorsal, Vt Ventral.

chung möglich. Manchmal sind auf den Pleurablättern echogene Fibrinauflagerungen[68] und im Erguss Fibrinfäden und Fibrinsepten zu sehen, die sich zwischen den Pleurablättern ausdehnen (Abb. 11).[7,12,30,52]

Lungenabszesse

Lungenabszesse sind sonographisch nur darstellbar, wenn sie Kontakt mit der Lungenoberfläche haben oder wenn sie von nicht mehr belüftetem, an die Lungenoberfläche heranreichendem Lungengewebe umgeben sind.[7,12,30,52] Ihr Aussehen ist in Bezug auf Grösse, Form und Beschaffenheit der Kapsel sehr variabel. Die Kapsel erscheint je nach Wanddicke als unterschiedlich dicke echogene Linie. Der Inhalt stellt sich anechoisch bis echogen und inhomogen bis homogen dar. Gelegentlich ist der echogene Abszessinhalt von einem schmalen

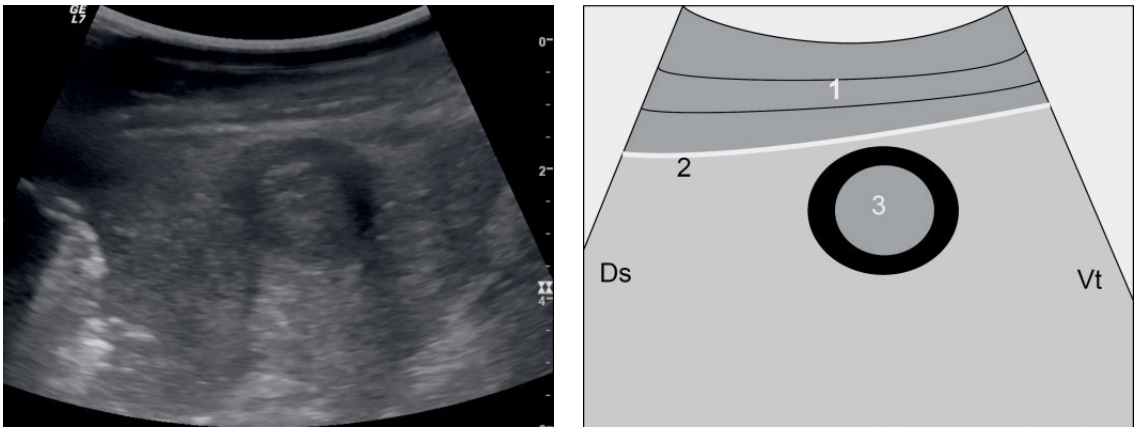


Abb. 12: Sonogramm und schematische Darstellung eines von einem anechoischen Rand umgebenen Lungenabszesses. 1 Brustwand, 2 Pleura, 3 Abszess, umgeben von einem anechoischen Rand, Ds Dorsal, Vt Ventral.

anechoischen Flüssigkeitssaum umgeben (Abb. 12). Die Sicherung eines Abszessverdachts kann durch Punktion erfolgen. Das Risiko einer bakteriellen Keimverschleppung wird von den Autoren bei aseptischem Vorgehen und Verwendung einer mandrinhaltigen Kanüle als gering angesehen.

Pneumothorax

Ein Pneumothorax entsteht beim Kalb meist als Folge eines interstitiellen Lungenemphysems nach Einreissen überblähter Alveolen. Bei einem Pneumothorax befindet sich freie Luft zwischen den beiden Pleurablättern. Bereits beim Auftreten einer minimalen Luftschicht im Pleuraspalt kommt es zu einer eindeutigen Veränderung des Ultraschallbilds, indem eine glatt begrenzte Reflexlinie an der Pleura costalis entsteht. Bei einem Pneumothorax fehlt das Gleitphänomen, d.h. dass die Atembewegungen und die sich atemsynchron bewegenden Reverberationsartefakte der Lungenoberfläche nicht mehr zu sehen sind.[34,65] Es sind lediglich unbewegliche Reverberationsartefakte sichtbar, welche durch die freie Luft im Pleuraspalt hervorgerufen werden.[7] Eine Aussage über die Tiefe des Luftspalts ist jedoch nicht möglich. Zur Quantifizierung des Pneumothorax muss der Thorax geröntgt werden.

Klassifizierung des Schweregrads der sonographischen Befunde

Die Klassifizierung des Schweregrads der sonographischen Befunde kann nach verschiedenen Systemen erfolgen.[5,58,66] In einer ersten Publikation[66] wurde die Lunge beidseits in je 4 gleich grosse Flächen (kraniodorsal, kaudodorsal, kranioventral, kaudoventral) aufgeteilt und jede der 8 Flächen wurde mit einer Punktzahl von 0 bis 5 versehen, wobei 0 *normal* und 5 *hochgradig verändert* bedeutete. Die Summe aller Punktzahlen lag zwischen 0 und 40 und wurde für die statistische Analyse und den Vergleich mit den pathologisch-anatomischen Befunden verwendet. In einer weiteren Publikation wurden die Ultraschallbefunde mit einer Punktzahl von 1 bis 4 taxiert,[5] wobei 1 *gesund* und 4 *Konsolidierung* $<$ *6 cm oder Abszess oder Pleuraerguss* $>$ *1 cm* bedeutete. In einer vorläufig letzten Arbeit wurde ein kategorisches System mit einer 6-Punkte-Skala von 0 bis 5 beschrieben und in einer Abbildung anschaulich dokumentiert.[58] Erfasst wurden mit dem System die verschiedenen Grade der Lungenkonsolidierung. Die Punktzahlen 0 und 1 wurden als normal angesehen. Die Punktzahl 0 bedeutete keine sonographischen Veränderungen, bei der Punktzahl 1 waren Kometenschweifartefakte ohne Konsolidierung zu sehen, bei der Punktzahl 2 bestanden lobuläre oder fleckenförmige Läsionen, bei der Punktzahl 3 eine lobäre Pneumonie in nur einem Lappen und bei der Punktzahl 4 eine solche in 2 Lungenlappen. Bei der Punktzahl 5 waren 3 oder mehr Lungenlappen von einer lobären Pneumonie betroffen. Weitere abnorme Befunde wie Lungenabszesse, Pleuraerguss und Nekrose wurden zusätzlich festgehalten. Grundsätzlich wurden Punktzahlen von 0 bis 1 als normal und solche von 3 und grösser als mit einer bakteriellen Bronchopneumonie einhergehend angesehen.[58] In einer weiteren Arbeit wurde über die spezifischen Herausforderungen bei der Durchführung von Untersuchungen über die diagnostische Genauigkeit der Sonographie beim Rind berichtet.[20]

Lungenauskultation und Ultraschallbefunde

Die sonographische Untersuchung der Lunge wurde zur Charakterisierung einer Bronchopneumonie im Vergleich zur Auskultation als besser geeignet beurteilt,[17,19] obschon die Auskultation der Lunge beim Rind als unentbehrlicher Teil der Atemapparatsuntersuchung angesehen wird.[17,26,82] Rasselgeräusche und Giemen stellen bei Kälbern mit Bronchopneumonie die wichtigsten abnormen Auskultationsgeräusche dar. Aber auch das Fehlen von normalen Lungengeräuschen wird als krankhaft angesehen.[17,26,82] Es wurde vermutet, dass die Lun-

genkonsolidierung bei Kälbern mit der Lungenauskultation unterdiagnostiziert wird.[17] Aus diesem Grund wurden die Ultraschallbefunde mit den beidseits an 4 Stellen ermittelten Auskultationsbefunden verglichen.[17] Als abnorm wurden die Auskultationsbefunde Rasseln, Giemen, pleurabedingte Schabgeräusche und das Fehlen von Atemgeräuschen beurteilt. Die Ultraschalluntersuchung wurde beidseits vom vierten bis achten Interkostalraum durchgeführt. Bei der Ultraschalluntersuchung wurde das Vorkommen von Kometenschweifartefakten, Pleuraerguss, unregelmässiger Pleura und Konsolidierung von ≥ 1 cm Tiefe beurteilt. 56 von 103 Kälbern (53%) wiesen für eine Lungenkonsolidierung sprechende Befunde, d.h. eine Konsolidierungstiefe von ≥ 1 cm auf. Die Sensitivität der Auskultation zur Entdeckung einer Lungenkonsolidierung variierte an den 4 Untersuchungsorten zwischen 0 und 16.7%, die Spezifität zwischen 97.3 und 100%. Die geringe Sensitivität bedeutet, dass eine Lungenkonsolidierung bei der Auskultation oft nicht entdeckt wird. Umgekehrt weist die hohe Spezifität darauf hin, dass bei Kälbern ohne Lungenkonsolidierung nur sehr selten abnorme Lungengeräusche auskultiert werden können. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei Schafen ermittelt.[71] Anhand eines Vergleichs von Auskultation, Sonographie und Sektion wurde gezeigt, dass selbst schwere Lungenveränderungen bei der Auskultation leicht überhört werden. Auch beim Menschen ist die Sensitivität der Thoraxauskultation für die Entdeckung einer alveolären Lungenkonsolidierung mit 36% gering.[39] In einer weiteren Untersuchung bei 209 Kälbern[19] wurde die Verbesserung der Diagnosegenauigkeit einer Bronchopneumonie durch die Ultraschalluntersuchung des Thorax gegenüber der Lungenauskultation dargestellt. Um das Ausmass der Übereinstimmung der Lungenauskultation bei unterschiedlichen Tierärzten zu beurteilen, auskultierten 49 holländische Tierärzte bei je 8 bis 10 Kälbern die Lunge.[59] Ihre Befunde wurden mit den sonographischen Lungenbefunden verglichen. Es zeigte sich, dass die Auskultationsbefunde stark variierten und insgesamt eine schlechte diagnostische Genauigkeit aufwiesen. Die Sensitivität der Auskultation für die Entdeckung sonographisch festgestellter Lungenveränderungen variierte bei den 49 Untersuchern zwischen 0.2 und 1.0 und die Spezifität von 0 bis 1.0. Zur Verbesserung der Zuverlässigkeit der Auskultationsbefunde wurde ein Computer-assistiertes Stethoskop entwickelt.[54] Dabei liefert ein Computer-assistierter Auskultations-Algorhythmus nach 8-sekündiger Auskultation Ergebnisse auf einer 1- bis 5-Skala, wobei Werte über 2 als abnorm beurteilt werden. Die Anwendung bei je 35 Maststieren mit und ohne BRD führte im Vergleich zur klinischen Überwachung zu einer durchschnittlichen Sensitivität von 92.9 und einer Spezifität von 89.6% für die Erkennung einer BRD.[45]

Sonographische und pathologisch-anatomische Befunde

Zwei Studien untersuchten die Sensitivität und Spezifität der Ultraschalluntersuchung der Lunge in Bezug auf Lungenveränderungen bei Kälbern.[57,63] Beim Kalb wurde auch eine Klassifizierung der pneumonischen Veränderungen an den Lungen der geschlachteten Kälber mit einem Vierpunkt-Scoringschema von 0 bis 3 beschrieben.[38] Die Ultraschallbefunde am Thorax wurden bei 18 bzw. 25 Kälbern mit den Sektionsbefunden verglichen.[63] Die Spezifität der Ultraschalluntersuchung der Lunge für die Entdeckung von Lungenläsionen war höher als die Sensitivität. Die Sensitivität lag zwischen 85%[63] und 94%,[57] die Spezifität zwischen 98%[63] und 100%.[57] Grundsätzlich kann die Sensitivität erhöht werden, wenn die Ultraschalluntersuchung unter die Schulter nach kranial ausgedehnt wird, da in den kranialen Lungenlappen die meisten Veränderungen zu erwarten sind. In einer der beiden Untersuchungen[63] wurde ein 10 cm grosser Lungenabszess nicht entdeckt, da er von belüftetem Lungengewebe umgeben war; in der anderen[57] wurde aus dem gleichen Grund ein Fall einer atypischen Lungenkonsolidierung sonographisch übersehen. Die Ultraschallwellen können die belüftete Lunge nicht durchdringen, weshalb im belüfteten Lungengewebe eingeschlossene Läsionen nicht entdeckt werden können. Es erweist sich für die Ultraschalluntersuchung von Vorteil, dass die Veränderungen bei Kälbern mit Pneumonie, zumindest bei den beschriebenen experimentellen Infektionen, meistens bis an die Lungenoberfläche heranreichen.[4,27,57]

Infektionen und Ultraschallbefunde

Nach experimenteller intratrachealer Infektion mit *Pasteurella multocida* wurden signifikante Korrelationen zwischen dem Ultraschallbefund-Schweregrad und der Atemfrequenz sowie den pathologisch-anatomischen Lungenveränderungen nachgewiesen.[66] 17 Kälber wurden zu diesem Zweck an 3 aufeinanderfolgenden Tagen intratracheal mit *Pasteurella multocida* infiziert und mehrmals klinisch, mit Hilfe von Lungenfunktionstests und sonographisch untersucht.[66] Die sonographischen Befunde wurden anhand eines Punktzahlen-Schemas klassifiziert. 48 Stunden nach der dritten Inokulation wurden die Kälber euthanasiert und pathologisch-anatomisch untersucht. Der prozentuale Anteil der veränderten Lunge wurde ermittelt und mit der Ultraschall-Punktzahl verglichen: Zwischen dem Ultraschall-Schweregrad und den pathologisch-anatomischen Lungenveränderungen bestand eine signifikante Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.70 ($P < 0.01$).

Bei 95 Milchkälbern aus 11 Herden wurden eine klinische Untersuchung, eine beidseitige Ultraschalluntersuchung der Lunge sowie bakteriologische und viro-

logische Untersuchungen von Nasentupfern und Nasopharyngealtupfern durchgeführt[32] und abgeklärt, ob zwischen dem Nachweis der verschiedenen Erreger und den klinischen Symptomen der Bronchopneumonie, dem sonographischen Nachweis einer Lungenkonsolidierung und der täglichen Gewichtszunahme Beziehungen bestanden. Eine mit einem 8.5 MHz-Linearschallkopf ermittelte Konsolidierungstiefe der Lunge von ≥ 1 cm wurde als relevant beurteilt. Bei 22 Kälbern wurde klinisch eine BRD diagnostiziert und bei 49 Kälbern waren sonographisch Hinweise für eine Lungenkonsolidierung vorhanden. Von den nachgewiesenen Erregern wurde nur für *Mycoplasma bovis* eine positive Beziehung zwischen klinischen Befunden, Lungenkonsolidierung und niedriger täglicher Gewichtszunahme gefunden. Bei *Mycoplasma bovis* war der Konsolidierungsgrad höher als bei durch *Pasteurella multocida, Mannheimia haemolytica* und *Histophilus somnus* verursachten Bronchopneumonien.[32]

Bei 6 Holstein-Friesian-Kälbern wurde das Auftreten einer Lungenkonsolidierung nach experimenteller Infektion mit *Mannheimia haemolytica* untersucht.[56] Die Kälber wurden zum Zeitpunkt 0 intratracheal mit *Mannheimia haemolytica* infiziert und bis zum Zeitpunkt 120 Stunden regelmässig sonographisch untersucht. Bereits 2 Stunden nach der Infektion wurde bei 5 Kälbern eine Lungenkonsolidierung festgestellt. Bis zum Vorliegen einer hochgradigen Konsolidierung (> 3 cm × 1cm) dauerte es im Durchschnitt 6 Stunden und nach 24 Stunden wurde die maximale Konsolidierung mit einer Ausdehnung von 12 bis 18 cm erreicht. Die Lungenkonsolidierung begann demnach schon bald nach der Infektion und schritt rasch voran. Um das Fortschreiten der Lungenveränderungen nach Infektion weiter zu untersuchen, wurden 30 Holstein-Friesian-Jungstiere experimentell mit IBR-Virus (Infektiöse Bovine Rhinotracheitis) und *Mannheimia haemolytica* infiziert und das Fortschreiten der Erkrankung klinisch und sonographisch untersucht.[9] Danach wurden die Tiere zu unterschiedlichen Zeitpunkten euthanasiert und seziert. Zwischen den sonographischen und den pathologisch-anatomischen Befunden bestanden signifikante Beziehungen ($P < 0.05$): So lag z.B. bei einer sonographisch festgestellten Konsolidierung der linken Lunge zwischen 1 und 15% die mittlere postmortem festgestellte Konsolidierung bei durchschnittlich 13.7%. In den Fällen mit einer sonographischen Konsolidierung über 15% betrug diese 35.7%.

Um die Dynamik der sonographischen Veränderungen nach einer Infektion zu untersuchen, wurden 57 Milchkälber mehrmals in wöchentlichen Abständen klinisch auf Anzeichen einer Respirationskrankheit und mittels Lungensonographie untersucht.[1] Bereits in der ersten Lebenswoche wurden bei 12.5% von 24 Kälbern sonographisch Lungenkonsolidierungen festgestellt. Am häufigsten wurden Konsolidierungen in der 10. Lebenswoche bei 90% von 10 Kälbern gefunden.

Ultraschallbefunde und Prognose

Über die prognostische Bedeutung der Ultraschallbefunde liegen mehrere Untersuchungen vor. In einer Studie mit 116 an BRD erkrankten Mastkälbern wurden keine signifikanten Beziehungen zwischen den sonographisch festgestellten Lungenläsionen und dem Gesundheitsverlauf (Behandlungen, Abgänge, Mortalität) festgestellt.[2] Bei 29 Maststieren mit BRD und 15 asymptomatischen Kontrolltieren wurde der Einfluss der Lungenkonsolidierung auf die Diagnose und Prognose untersucht.[64] Die Anzahl der von Konsolidierung betroffenen Stellen, diejenige von Pleuraunregelmässigkeiten, die Tiefe und die Fläche der Konsolidierung waren bei den BRD-Tieren signifikant grösser als bei den Kontrollen. Ebenso waren diese Parameter bei den Tieren, die vor der 15-tägigen Beobachtungsperiode starben, grösser als bei den überlebenden. Die Lungensonographie erwies sich als nützlich, um bei Maststieren das Ausmass der Lungenläsionen zu bestimmen und den Ausgang der Erkrankung vorauszusagen. In einer weiteren Studie wurde die Beziehung zwischen den Lungenultraschallbefunden bei 250 drei Monate alten Jersey-Kälbern und dem Überleben bis zur ersten Laktation untersucht.[5] Die Ultraschallbefunde wurden mit einer Punktzahl von 1 bis 4 taxiert, wobei 1 *gesund* und 4 *Konsolidierung < 6 cm* oder *Abszess oder Pleuraerguss > 1 cm* bedeutete. Kälber mit einer Punktzahl von 4 wiesen ein signifikant grösseres Sterbe- oder Schlachtrisiko auf (durchschnittlich 26%) als Kälber mit einer Punktzahl von 3 (5%), 2 (3%) oder 1 (1%). Die Ergebnisse zusammenfassend, erreichten Kälber mit hochgradig veränderter Lunge das Erstkalbealter weniger häufig als solche mit niedrigem Schweregrad.[5,76] Bei den überlebenden Tieren bestand allerdings keine Beziehung zwischen dem Erstkalbealter und der Ultraschallpunktzahl. Nach anderen Autoren wiesen Tiere, die im Kälberalter wegen Pneumonie behandelt wurden, ein verzögertes Wachstum, ein selteneres Überleben bis zur ersten Abkalbung und ein höheres Erstkalbealter auf als Kälber ohne Pneumonie.[73] Bei Holstein-Rindern, die vor der ersten Abkalbung 4 Mal an BRD erkrankt waren, war die Wahrscheinlichkeit, vor dem Abschluss der ersten Laktation geschlachtet zu werden, 1.87 Mal höher als bei Rindern ohne Erkrankung.[8] In einer neueren Studie war bei Rindern, bei denen als Kalb sonographisch in den ersten 8 Lebenswochen eine Lungenkonsolidierung festgestellt wurde, die Milchleistung in der ersten Laktation um 525 kg niedriger als bei Tieren ohne diese Veränderung.[28] Das Erstkalbealter und die Überlebensrate wurden durch die Lungenkonsolidierung jedoch nicht beeinflusst. Schliesslich wurde untersucht, ob der bei der Erstdiagnose einer Bronchopneumonie

sonographisch festgestellte Schweregrad von Lungenveränderungen mit der Rezidivrate nach Therapie korrelierte.[79] Von 144 Mastrindern erlitten 17.4% nach Bronchopneumonie-Behandlung mindestens einen Rückfall und 4.2% starben.[79] Bei 121 der 144 Tiere wurden sonographisch Lungenläsionen festgestellt.

Die maximale Tiefe und die Fläche der Lungenkonsolidierung waren in der Weise mit der Rezidivrate assoziiert, dass das Risiko eines Rezidivs mit zunehmender maximaler Tiefe (OR, odds ratio, 1.34 cm) und zunehmender Fläche (OR, 1.05/cm^2) der Konsolidierung grösser wurde. Im Gegensatz dazu übten weder die Anzahl Kometenschweifartefakte noch die Ausdehnung der Pleuraflüssigkeit einen Einfluss auf die Rezidivrate aus. Aus den Ergebnissen wurde geschlossen, dass die sonographische Untersuchung der Lunge bei der Erstdiagnose einer Bronchopneumonie wertvolle Informationen für die Prognose liefert. In einer weiteren Studie wurden 233 Kälber zwei Mal pro Woche klinisch und sonographisch untersucht und gewogen.[24] Bei Kälbern mit Lungenkonsolidierung war die Gewichtszunahme geringer als bei solchen ohne Konsolidierung. Ebenso wiesen Kälber mit klinischen Befunden beim ersten Auftreten von BRD eine geringere Gewichtszunahme als solche ohne klinische Befunde auf. Aus diesem Grund empfahlen die Autoren die Implementierung der klinischen und sonographischen Untersuchung in Kälbergesundheitsprogramme, um Tiere mit dem Risiko von BRD bedingtem schlechtem Wachstum schneller zu entdecken.

Interobserver-Wiederholbarkeit der Ultraschalluntersuchung

Um die Interobserver-Wiederholbarkeit der Ultraschalluntersuchung zu überprüfen, untersuchten 3 Personen mit grosser, mittlerer und geringer sonographischer Erfahrung die Lunge von 4 gesunden und von 6 an BRD erkrankten Kälbern mit einem 8.5-Linear-MHz-Schallkopf.[16] Die Untersuchungen zeigten eine mittlere bis fast perfekte Übereinstimmung zwischen den 3 Untersuchern mit Kappa-Werten zwischen 0.6 und 1.0, wobei die Übereinstimmung zwischen den Untersuchern mit grosser und mittlerer Erfahrung besser war als diejenige mit dem wenig erfahrenen Untersucher. In einer weiteren Untersuchung wurden 50 Ultraschallvideos von Kälbern mit und ohne Bronchopneumonie durch 6 Untersucher beurteilt.[21] Die Übereinstimmung zwischen den Untersuchern war gut für das Vorhandensein von Lungenkonsolidierung, Kometenschweifartefakten und Pleuraergüssen, jedoch weniger gut bis schlecht für die Erkennung von Unregelmässigkeiten der Pleura. Die ersten 3 Befunde sind für die Erkennung von Bronchopneumonien in qualitativer und quantitativer Beziehung von viel grösserer Bedeutung als die pleuralen Unregelmässigkeiten.

Schlussfolgerungen

Die Ultraschalluntersuchung der Lunge ist in der Praxis einfach und mit geringem Zeitaufwand durchzuführen. Sie ermöglicht es, Kälber mit Bronchopneumonie zu erfassen, die bei der klinischen Untersuchung unentdeckt bleiben. Einschränkend muss, wie vor Kurzem erwähnt,[23] hervorgehoben werden, dass es im Moment nicht möglich ist, sonographisch zwischen aktiven und zu therapierenden Veränderungen und solchen von früheren Erkrankungen herrührenden, die keiner Therapie mehr bedürfen, zu unterscheiden. Diese Feststellung ist in Bezug auf die Forderung nach zurückhaltendem Einsatz von Antibiotika (prudent use of antimicrobials) besonders wichtig. Bei schweren klinischen Atemwegssymptomen, hochgradiger Konsolidierung der Lunge und Nichtansprechen auf die Behandlung ist eine Fortsetzung der Therapie in vielen Fällen nicht mehr angezeigt. Ebenso kann der Tierbesitzer darauf hingewiesen werden, dass sich die Aufzucht in solchen Fällen oft nicht lohnt (hohe Aufzuchtkosten, Tier erreicht Abkalbealter nicht oder wird eine ungenügende Milchleistung aufweisen).

Überblick über die Ultraschalluntersuchung der Lunge beim Kalb

U. Braun, C. Oschlies, S. Ohlerth, C. Gerspach

Revue de l'échographie pulmonaire chez les veaux

Cet article passe en revue la technique utilisée pour l'échographie des voies respiratoires inférieures des bovins et les résultats de l'échographie chez les veaux atteints de bronchopneumonie. Les études qui comparent les résultats de l'auscultation à ceux de l'échographie et de l'examen post mortem sont incluses, tout comme les études qui étudient la relation entre les résultats de l'échographie et l'infection pulmonaire bactérienne ainsi que le pronostic. Les lésions associées à la bronchopneumonie, à la pleuropneumonie, au pneumothorax et aux abcès pulmonaires sont facilement imagées par échographie et caractérisées chez les veaux.

Mots-clés: veau, bovins, échographie, poumon, bronchopneumonie

Panoramica dell'esame ecografico dei polmoni nei vitelli

Il presente studio fornisce una panoramica dell'esame ecografico dei polmoni del vitello e dei risultati ecografici possibili nel caso di varie malattie dell'apparato respiratorio inferiore. Inoltre, vengono esposte le ricerche che mettono a confronto i risultati dell'auscultazione e degli ultrasuoni, nonché gli ultrasuoni e i risultati patologico-anatomici. Infine, vengono discussi gli studi che esplorano la relazione tra infezioni e risultati degli ultrasuoni e la relazione tra risultati degli ultrasuoni e prognosi. In sintesi, l'esame ecografico dei polmoni permette di individuare e descrivere i reperti riscontrati nei vitelli affetti da broncopolmonite, pleuropolmonite, pneumotorace e ascessi polmonari, oltre a fornire informazioni sulla prognosi e sui reperti patologico-anatomici.

Parole chiave: vitello, bovino, sonografia, polmone, broncopolmonite

Literatur

[1] Abdallah, A. A., A. M. Abdelaal, A. R. El-Sheikh, H. Selim, S. Buczinski: Determination of the dynamics of respiratory diseases using thoracic ultrasonographic examination in preweaned dairy calves. *Can Vet J* 2019: 60: 859-863.

[2] Abutarbush, S. M., C. M. Pollock, B. K. Wildman, T. Perrett, O. C. Schunicht, K. R. Fenton, S. J. Hannon, A. R. Vogstad, G. K. Jim, C. W. Booker: Evaluation of the diagnostic and prognostic utility of ultrasonography at first diagnosis of presumptive bovine respiratory disease. *Can J Vet Res* 2012: 76: 23-32.

[3] Acunas, B., L. Celik, A. Acunas: Chest sonography. Differentiation of pulmonary consolidation from pleural disease. *Acta Radiol* 1989: 30: 273-275.

[4] Allan, E. M., H. A. Gibbs, A. Wiseman, I. E. Selman: Sequential lesions of experimental bovine pneumonic pasteurellosis. *Vet Rec* 1985: 117: 438-442.

[5] Adams, E. A., S. Buczinski: Ultrasonographic assessment of lung consolidation postweaning and survival to the first lactation in dairy heifers. *J Dairy Sci* 2016: 99: 1465-1470.

[6] Anliker, T.: Untersuchung von abdominalen Krankheiten bei der Kuh mit einem portablen Ultraschallsystem. Masterarbeit: Universität Zürich, 2014.

[7] Babkine, M., L. Blond: Ultrasonography of the bovine respiratory system and its practical application. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2009: 25: 633-649.

[8] Bach, A.: Associations between several aspects of heifer development and dairy cow survivability to second lactation. *J Dairy Sci* 2011: 94: 1052-1057.

[9] Baruch, J., N. Cernicchiaro, C. A. Cull, K. F. Lechtenberg, J. S. Nickell, D. G. Renter: Performance of multiple diagnostic methods in assessing the progression of bovine respiratory disease in calves challenged with infectious bovine rhinotracheitis virus and *Mannheimia haemolytica1. J Anim Sci* 2019: 97: 2357-2367.

[10] Berman, J., D. Francoz, S. Dufour, S. Buczinski: Bayesian estimation of sensitivity and specificity of systematic thoracic ultrasound exam for diagnosis of bovine respiratory disease in pre-weaned calves. *Prev Vet Med* 2019: 162: 38-45.

[11] Braun, U., D. Sicher, N. Pusterla: Ultrasonography of the lungs, pleura, and mediastinum in healthy cows. *Am J Vet* Res 1996: 57: 432-438.

[12] Braun, U.: Pleura, Lunge und Mediastinum. In: U. Braun (ed.), *Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik beim Rind.* Parey Buchverlag, Berlin, 1997, 115-141.

[13] Braun, U., N. Pusterla, M. Flückiger: Ultrasonographic findings in cattle with pleuropneumonia. *Vet Rec* 1997: 141: 12-17.

[14] Braun, U., U. Estermann, K. Feige, T. Sydler, A. Pospischil: Percutaneous lung biopsy in cattle. *J Am Vet Med Assoc* 1999: 215: 679-681.

[15] Braun, U., C. Gerspach, C. Brammertz: Häufigkeit abnormer Ultraschallbefunde an der Lunge von 129 Kälbern mit Bronchopneumonie. *Schweiz Arch Tierheilk* 2018: 160: 737-741.

[16] Buczinski, S., G. Forté, A. M. Bélanger: Ultrasonographic assessment of the thorax as a fast technique to assess pulmonary lesions in dairy calves with bovine respiratory disease. *J Dairy Sci* 2013: 96: 4523-4528.

[17] Buczinski, S., G. Forté, D. Francoz, A. M. Bélanger: Comparison of thoracic auscultation, clinical score, and ultrasonography as indicators of bovine respiratory disease in preweaned dairy calves. *J Vet Intern Med* 2014: 28: 234-242.

[18] Buczinski, S., T. L. Ollivett, N. Dendukuri: Bayesian estimation of the accuracy of the calf respiratory scoring chart and ultrasonography for the diagnosis of bovine respiratory disease in pre-weaned dairy calves. *Prev Vet Med* 2015: 119: 227-231.

[19] Buczinski, S., J. Ménard, E. Timsit: Incremental value (bayesian framework) of thoracic ultrasonography over thoracic auscultation for diagnosis of bronchopneumonia in preweaned dairy calves. J *Vet Intern Med* 2016: 30: 1396-1401.

[20] Buczinski, S., A. M. O'Connor: Specific challenges in conducting and reporting studies on the diagnostic accuracy of ultrasonography in bovine medicine. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2016: 32: 1-18.

[21] Buczinski, S., C. Buathier, A. M. Bélanger, H. Michaux, N. Tison, E. Timsit: Inter-rater agreement and reliability of thoracic ultrasonographic findings in feedlot calves, with or without naturally occurring bronchopneumonia. *J Vet Intern Med* 2018: 32: 1787-1792.

[22] Buczinski, S., G. Fecteau, J. Dubuc, D. Francoz: Validation of a clinical scoring system for bovine respiratory disease complex diagnosis in preweaned dairy calves using a Bayesian framework. *Prev Vet Med* 2018: 156: 102-112.

[23] Buczinski, S., B. Pardon: Bovine respiratory disease diagnosis. What progress has been made in clinical diagnosis? *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2020: 36: 399-423.

[24] Cramer, M. C., T. L. Ollivett: Growth of preweaned, group-housed dairy calves diagnosed with respiratory disease using clinical respiratory scoring and thoracic ultrasound – A cohort study. *J Dairy Sci* 2019: 102: 4322-4331.

[25] Cramer, M. C., K. L. Proudfoot, T. L. Ollivett: Short communication: Behavioral attitude scores associated with bovine respiratory disease identified using lung ultrasound and clinical respiratory scoring. *J Dairy Sci* 2019:102: 6540-6544.

[26] Curtis, R. A., L. Viel, S. M. McGuirk, O. M. Radostits, F. W. Harris: Lung sounds in cattle, horses, sheep and goats. *Can Vet J* 1986: 27: 170-172.

[27] Dagleish, M. P., J. Finlayson, C. Bayne, S. MacDonald, J. Sales, J. C. Hodgson: Characterization and time course of pulmonary lesions in calves after intratracheal infection with *Pasteurella multocida* A:3. *J Comp Pathol* 2010: 142:157-169.

[28] Dunn, T. R., T. L. Ollivett, D. L. Renaud, K. E. Leslie, S. J. LeBlanc, T. F. Duffield, D. F. Kelton: The effect of lung consolidation, as determined by ultrasonography, on first-lactation milk production in Holstein dairy calves. *J Dairy Sci* 2018:101: 5404-5410.

[29] Farrow, C. S.: Bovine pneumonia. Its radiographic appearance. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 1999: 15: 301-358.

[30] Flöck, M.: Diagnostic ultrasonography in cattle with thoracic disease. *Vet J* 2004: 167: 272-280.

[31] Fowler, J., S. M. Stieger-Vanegas, J. A. Vanegas, G. Bobe, K. P. Poulsen: Comparison of thoracic radiography and computed tomography in calves with naturally occurring respiratory disease. *Front Vet Sci* 2017: 4:101.

[32] Francoz, D., S. Buczinski, A. M. Bélanger, G. Forté, O. Labrecque, D. Tremblay, V. Wellemans, J. Dubuc: Respiratory pathogens in Québec dairy calves and their relationship with clinical status, lung consolidation, and average daily gain. *J Vet Intern Med* 2015: 29: 381-387.

[33] Gerspach, C.: Ultraschalldiagnostik bei Kälbern mit Bronchopneumonie. Dissertation: Universität Zürich, 2003.

[34] Hecht, S.: Thorax. In: D. Penninck, M. A. d'Anjou (eds.), *Atlas of Small Animal Ultrasonography*. Blackwell Publishing, Ames, 2008: 119-150.

[35] Jones, G. F., D. A. Feeney, C. Mews: Comparison of radiographic and necropsy findings of lung lesions in calves after challenge exposure with Pasteurella multocida. *Am J Vet Res.* 1998: 59: 1108-1112.

[36] Jung, C., H. Bostedt: Thoracic ultrasonography technique in newborn calves and description of normal and pathological findings. *Vet Radiol Ultrasound* 2004: 45: 331-335.

[37] Klein, S.: Entnahme und Untersuchung von Lungenbioptaten bronchopneumoniekranker Kälber. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover, 1996.

[38] Leruste, H., M. Brscic, L. F. M. Heutinck, E. K. Visser, M. Wolthuis-Fillerup, E. A. M. Bokkers, N. Stockhofe-Zurwieden, G. Cozzi, F. Gottardo, B. J. Lensink, C. G. Van Reenen: The relationship between clinical signs of respiratory system disorders and lung lesions at slaughter in veal calves. *Prev Vet Med* 2012: 105: 93-100.

[39] Lichtenstein, D., I. Goldstein, E. Mourgeon, P. Cluzel, P. Grenier, J. J. Rouby: Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004: 100: 9-15.

[40] Lisciandro, G., R. M. Fulton, G. T. Fosgate, K. A. Mann: Frequency and number of B-lines using a regionally based lung ultrasound examination in cats with radiographically normals lungs compared to cats with left-sided congestive heart failure. *J Vet Emerg Crit Care* 2017: 27: 499-505.

[41] Love, W. J., T. W. Lehenbauer, P. H. Kass, A. L. Van Eenennaam, S. S. Aly: Development of a novel clinical scoring system for on-farm diagnosis of bovine respiratory disease in pre-weaned dairy calves. *Peer J* 2014: 2: e238.

[42] Love, W. J., T. W. Lehenbauer, A. L. Van Eenennaam, C. M. Drake, P. H. Kass, T. B. Farver, S. S. Aly: Sensitivity and specificity of on-farm scoring systems and nasal culture to detect bovine respiratory disease complex in preweaned dairy calves. *J Vet Diagn Invest* 2016: 28: 119-128.

[43] Lubbers, B. V., M. D. Apley, J. F. Coetzee, D. A. Mosier, D. S. Biller, D. E. Mason, P. N. Henao-Guerrero: Use of computed tomography to evaluate pathologic changes in the lungs of calves with experimentally induced respiratory tract disease. *Am J Vet Res* 2007: 68: 1259-1264.

[44] Maier, G. U., J. D. Rowe, T. W. Lehenbauer, B. M. Karle, D. R. Williams, J. D. Champagne, S. S. Aly: Development of a clinical scoring system for bovine respiratory disease in weaned dairy calves. *J Dairy Sci* 2019: 102: 7329-7344.

[45] Mang, A. V., S. Buczinski, C. W. Booker, E. Timsit: Evaluation of a computer-aided lung auscultation system for diagnosis of bovine respiratory disease in feedlot cattle. *J Vet Intern Med.* 2015: 29: 1112-1116.

[46] Masseau, I., G. Fecteau, L. Breton, P. Hélie, G. Beauregard, L. Blond: Radiographic detection of thoracic lesions in adult cows: a retrospective study of 42 cases (1995-2002). *Can Vet J* 2008: 49: 261-267.

[47] Mathis, G.: Entzündliche Lungenkonsolidierungen. In: G. Mathis (ed.), *Bildatlas der Lungensonographie*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016, 62-71.

[48] Mattoon, J. S., T. G. Nyland: Thorax. In: T. G. Nyland, J. S. Mattoon (eds.), *Small Animal Diagnostic Ultrasound*. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 2002, 325-353.

[49] McGuirk, S. M.: Disease management of dairy calves and heifers. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2008: 24: 139-153.

[50] McGuirk, S. M., S. F. Peek: Timely diagnosis of dairy calf respiratory disease using a standardized scoring system. *Anim Health Res Rev* 2014: 15: 145-147.

[51] Michaux, H., S. Nichols, M. Babkine, D. Francoz: Description of thoracoscopy and associated short-term cardio-

vascular and pulmonary effects in healthy cattle. *Am J Vet Res* 2014: 75: 468-476.

[52] Mohamed, T., S. Oikawa: Ultrasonographic characteristics of abdominal and thoracic abscesses in cattle and buffaloes. *J Vet Med A* 2007: 54: 512-517.

[53] Morresey, P. R.: Ultrasonography of the pleural cavity, lung, and diaphragm. In: J. A. Kidd, K. G. Lu, M. L. Frazer (eds.) Atlas of Equine Ultrasonography. Wiley Blackwell, Oxford, 2014, 367-378.

[54] Noffsinger, T., K. Brattain, G. Quakenbush, G. Taylor: Field results from Whisper® stethoscope studies. Anim Health Res Rev 2014: 15: 142-144.

[55] Ohlerth, S., H. Augsburger, M. Abé, S. Ringer, L. Hatz, U. Braun: Computed tomography of the thorax in calves from birth to 105 days of age. *Schweiz Arch Tierheilk* 2014: 156: 489-497.

[56] Ollivett, T. L., J. Hewson, R. Schubotz, J. L. Caswell: Ultrasonographic progression of lung consolidation after experimental infection with Mannheimia haemolytica in Holstein calves. *J Vet Intern Med* 2013: 27: 673.

[57] Ollivett, T. L., J. L. Caswell, D. V. Nydam, T. Duffield, K. E. Leslie, J. Hewson, D. Kelton: Thoracic ultrasonography and bronchoalveolar lavage fluid analysis in Holstein calves with subclinical lung lesions. *J Vet Intern Med* 2015: 29: 1728-1734.

[58] Ollivett, T. L., S. Buczinski: On-farm use of ultrasonography for bovine respiratory disease. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2016: 32: 19-35.

[59] Pardon, B., S. Buczinski, P. R. Deprez: Accuracy and inter-rater reliability of lung auscultation by bovine practitioners when compared with ultrasonographic findings. *Vet Rec* 2019: 185: 109.

[60] Picano, E., P. A. Pellikka: Ultrasound of extravascular lung water: A new standard for pulmonary congestion. Eur Heart J 2016: 37: 2097-2104.

[61] Prohl, A., C. Ostermann, M. Lohr, P. Reinhold: The bovine lung in biomedical research: Visually guided bronchoscopy, intrabronchial inoculation and in vivo sampling techniques. *J Vis Exp* 2014: 89: 51557.

[62] Pusterla, N., J. B. Pusterla, B. Thür, P. Rüsch: Chylothorax bei einem Kalb. *Tierärztl Prax* 1996: 24: 554-558.

[63] Rabeling, B., J. Rehage, D. Döpfer, H. Scholz: Ultrasonographic findings in calves with respiratory disease. *Vet Rec* 1998: 143: 468-471.

[64] Rademacher, R. M., M. Edmonds, H. T. Tripp, E. Johnson: Systematic thoracic ultrasonography in acute bovine respiratory disease of feedlot steers: impact of lung consolidation on diagnosis and prognosis in a case-control study. *Bovine Pract* 2014: 41: 1-10.

[65] Reef, V. B.: Thoracic ultrasonography: Noncardiac imaging. In: V. B. Reef (ed.), *Equine Diagnostic Ultrasound*. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 1998, 187-214.

[66] Reinhold, P., B. Rabeling, H. Günther, D. Schimmel: Comparative evaluation of ultrasonography and lung function testing with the clinical signs and pathology of calves inoculated experimentally with *Pasteurella multocida*. *Vet Rec* 2002: 150: 109-114.

[67] Reissig, A., C. Kroegel: Transthoracic sonography of diffuse parenchymal lung disease. The role of comet tail artifacts. *J Ultrasound Med* 2003: 22: 173-180.

[68] Reuss, J., H. Schneider: Thoraxwandprozesse und Lungenverschattungen. In: G. Rettenmeier, K. Seitz (eds.), *Sonographische Differentialdiagnostik*. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1992, 803-832.

[69] Reuss, J.: Pleura. In: G. Mathis (ed.), *Bildatlas der Lungensonographie*. Springer, Heidelberg, 2016, 23-52.

[70] Scharner, D., K. Dorn, W. Brehm: Bovine thoracoscopy: surgical technique and normal anatomy. *Vet Surg* 2014: 43: 85-90.

[71] Scott, P., D. Collie, B. McGorum, N. Sargison: Relationship between thoracic auscultation and lung pathology detected by ultrasonography in sheep. *Vet J* 2010: 186: 53-57.

[72] Shimbo, G., M. Tagawa, K. Matsumoto, M. Tomihari, M. Yanagawa, Y. Ueda, H. Inokuma, K. Miyahara: Three-legged radiographic view for evaluating cranioventral lung region in standing calves with bovine respiratory disease. *J Vet Med Sci* 2019: 81: 120-126.

[73] Stanton, A. L., D. F. Kelton, S. J. LeBlanc, J. Wormuth, K. E. Leslie: The effect of respiratory disease and a preventative antibiotic treatment on growth, survival, age at first calving, and milk production of dairy heifers. *J Dairy Sci* 2012: 95: 4950-4960.

[74] Sydler, T., U. Braun, U. Estermann, A. Pospischil: A comparison of biopsy and post-mortem findings in the lungs of healthy cows. *J Vet Med A* 2004: 51: 184-187.

[75] Tegtmeier, C., J. Arnbjerg: Evaluation of radiology as a tool to diagnose pulmonic lesions in calves, for example prior to experimental infection studies. *J Vet Med B* 2000: 47: 229-234.

[76] Teixeira, A. G. V., J. A. A. McArt, R. C. Bicalho: Thoracic ultrasound assessment of lung consolidation at weaning in Holstein dairy heifers: Reproductive performance and survival. *J Dairy Sci* 2017: 100: 2985-2991.

[77] Tharwat, M., S. Oikawa: Ultrasonographic evaluation of cattle and buffaloes with respiratory disorders. *Trop Anim Health Prod* 2011: 43: 803-810.

[78] Timsit, E., N. Dendukuri, I. Schiller, S. Buczinski: Diagnostic accuracy of clinical illness for bovine respiratory disease (BRD) diagnosis in beef cattle placed in feedlots: A systematic literature review and hierarchical Bayesian latent-class meta-analysis. *Prev Vet Med* 2016: 135: 67-73.

[79] Timsit, E., N. Tison, C. W. Booker, S. Buczinski: Association of lung lesions measured by thoracic ultrasonography at first diagnosis of bronchopneumonia with relapse rate and growth performance in feedlot cattle. *J Vet Intern Med* 2019: 33: 1540-1546.

[80] Waibl, H.: Atmungsapparat. In: J. Frewein, H. Gasse, R. Leiser, H. Roos, H. Thomée, B. Vollmerhaus, H. Waibl (eds.), *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band II, Eingeweide*. Paul Parey, Stuttgart, 2004, 280-291.

[81] Wang, Y., L. Gargani, T. Barskova, D. E. Furst, M. M. Cerinic: Usefulness of lung ultrasound B-lines in connective tissue disease-associated interstitial lung disease: a literature review. Arthritis Res Ther 2017: 19: 206.

[82] Wilkins, P. A., A. R. Woolums: Diagnostic for the respiratory system. In: B. P. Smith (ed.), *Large Animal Internal Medicine*. Mosby-Elsevier, St. Louis, 2009, 490-492.

Korrespondierender Autor

Ueli Braun
Departement für Nutztiere, Vetsuisse-Fakultät,
Universität Zürich
Winterthurerstrasse 260
CH-8057 Zurich
Telefone: +41 52 7 41 50 60
E-Mail: ueli.braun@uzh.ch