



Gregor Natha

# Notfallsonografie

Ultraschalldiagnostik im Rettungsdienst

## Auswahl von Ultraschallanwendungen im Rettungsdienst nach Indikation/Leitsymptom (nach Breitkreutz 2008)

Indikation/ Leitsymptom	Untersuchung nach	Frage	Schwierigkeitsgrad/ Limitationen
Reanimation	FEEL, ggf. Lungen- sonografie/ eFAST	Potenziell reversible Ursachen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypovolämie?</li> <li>• Perikardtamponade?</li> <li>• Thromboembolie (Lunge, Herz)?</li> <li>• Spannungspneumothorax?</li> <li>• freie abdominelle Flüssigkeit?</li> </ul>	Training erforderlich. Cave: möglichst kurze Unterbrechungen der Herzdruckmassage!
Trauma – V. a. intraabdominel- le Blutung	(e)FAST, pFAST	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hämatothorax?</li> <li>• freie abdominelle Flüssigkeit?</li> <li>• Pneumothorax?</li> </ul>	Leicht, schnell erlernbar. Cave: ggf. Wiederholung im Verlauf!
Schock/ Hypotonie	FEEL, ergänzt um eFAST	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hochgradig eingeschränkte LV-Funktion (kardiogen)?</li> <li>• Perikardtamponade (obstruktiv)?</li> <li>• akute Rechtsherzbelastung (LAE; obstruktiv)?</li> <li>• Volumenstatus (hypovolämisches?)</li> <li>• freie abdominelle Flüssigkeit (hypovolämisches?)</li> <li>• Spannungspneumothorax (obstruktiv)?</li> </ul>	Einfache Differenzialdiagnosen, aber Training erforderlich
Akute Dyspnoe	FEEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LV-Dysfunktion?</li> <li>• akute Rechtsherzbelastung?</li> <li>• Perikarderguss?</li> </ul>	Zusatzausbildung erforderlich
	Lungen- sonografie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lungenstauung?</li> <li>• Pneumothorax?</li> <li>• Pleuraergüsse?</li> </ul>	Zusatzausbildung erforderlich
Akuter Thorax- schmerz	FEEL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LV-Dysfunktion?</li> <li>• LV-Wandbewegungsstörungen?</li> <li>• akute Rechtsherzbelastung?</li> </ul>	Zusatzausbildung erforderlich
	Lungen- sonografie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pneumothorax?</li> </ul>	Zusatzausbildung erforderlich
	ggf. Abdomen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aortensyndrom?</li> </ul>	für Fortgeschrittene
Akutes Abdo- men	Abdomen- sonografie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ileus?</li> <li>• akute Cholezystitis?</li> <li>• Nierenkolik?</li> <li>• akutes Aortensyndrom?</li> <li>• akuter Harnverhalt?</li> </ul>	für Fortgeschrittene

# **Notfallsonografie**

**Ultraschalldiagnostik im Rettungsdienst**

GREGOR NATHS



---

Verlagsgesellschaft Stumpf + Kossendey mbH, Edewecht 2022

## *Anmerkungen des Verlags*

Der Autor und der Verlag haben höchste Sorgfalt hinsichtlich der Angaben von Richtlinien, Verordnungen und Empfehlungen aufgewendet. Für versehentliche falsche Angaben übernehmen sie keine Haftung. Da die gesetzlichen Bestimmungen und wissenschaftlich begründeten Empfehlungen einer ständigen Veränderung unterworfen sind, ist der Benutzer aufgefordert, die aktuell gültigen Richtlinien anhand der Literatur und der (medizinischen) Fachinformationen zu überprüfen und sich entsprechend zu verhalten. Die Angaben von Handelsnamen, Warenbezeichnungen etc. ohne die besondere Kennzeichnung ®/™/© bedeuten keinesfalls, dass diese im Sinne des Gesetzgebers als frei anzusehen wären und entsprechend benutzt werden könnten.

Der Text und/oder das Literaturverzeichnis enthalten Links zu externen Webseiten Dritter, auf deren Inhalt der Verlag keinen Einfluss hat. Deshalb kann er für diese fremden Inhalte auch keine Gewähr übernehmen. Für die Inhalte der verlinkten Seiten ist stets der jeweilige Anbieter oder Betreiber der Seite verantwortlich.

Aus Gründen der Lesbarkeit ist in diesem Buch teilweise nur die männliche Sprachform gewählt worden. Im Gegenzug ist in anderen Teilen absichtlich die weibliche Form gesetzt worden. Alle personenbezogenen Aussagen gelten jedoch stets für Personen beliebigen Geschlechts gleichermaßen.

## *Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen oder Textteilen, vorbehalten. Einspeicherung in elektronische Systeme, Funksenzung, Vervielfältigung in jeder Form bedürfen der schriftlichen Zustimmung der Autorinnen und Autoren sowie des Verlags. Auch Wiedergabe in Auszügen nur mit ausdrücklicher Genehmigung.

© Copyright by

Verlagsgesellschaft Stumpf + Kossendey mbH, Edewecht 2022

Titelbild: Peer G. Knacke, Eutin

Satz: Bürger Verlag GmbH & Co. KG, Edewecht

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

ISBN 978-3-96461-053-9

# Inhalt

<b>Abkürzungen</b>	7
<b>1 Einleitung</b>	9
<b>2 Physikalische Grundlagen und Gerätetechnik</b>	11
2.1 Physikalische Grundlagen	11
2.2 Gerätetechnik	15
2.3 Handhabung des Ultraschalls	20
2.4 Artefakte	22
2.5 Sicherheit des Ultraschalls	25
<b>3 Sonografische Normalanatomie</b>	27
3.1 Abdomen	28
3.2 Thorax	35
<b>4 Pathologische Befunde</b>	43
4.1 Freie abdominelle Flüssigkeit	43
4.2 Pleuraerguss	45
4.3 Perikarderguss	51
4.4 Pneumothorax	52
4.5 Lungenstauung	54
4.6 Pathologie der Vena cava inferior (VCI)	55
4.7 Eingeschränkte Herzfunktion (linksventrikulär)	57
4.8 Akute Rechtsherzbelastung	58
<b>5 Untersuchungskonzepte</b>	63
5.1 FAST	63
5.2 EFAST	71
5.3 PFAST	71
5.4 FEEL	72
5.5 RUSH	77
5.6 Weitere Untersuchungsschemata	80
<b>6 Indikationen für präklinischen Ultraschall</b>	81
6.1 Reanimation	81
6.2 Polytrauma	85
6.3 Schock unklarer Genese	86
6.4 Akute Dyspnoe	89

6.5 Akuter Thoraxschmerz	90
6.6 Akutes Abdomen	91
<b>7 Weitere Einsatzmöglichkeiten des präklinischen Ultraschalls</b>	<b>99</b>
7.1 Tubuslagekontrolle	99
7.2 Gefäßzugang	101
7.3 Thoraxdrainage	102
7.4 Perikardpunktion	103
<b>8 Mobile Sonografiegeräte</b>	<b>105</b>
8.1 Anforderungen an ein mobiles Ultraschallsystem für den präklinischen Einsatz	105
8.2 Marktübersicht mobiler Sonografiegeräte	108
<b>9 Ausbildung in präklinischer Sonografie</b>	<b>115</b>
9.1 Ausbildung in fokussierter Sonografie für Ärzte	115
9.2 Ausbildung in fokussierter Sonografie für Rettungsfachpersonal	116
<b>10 Wertigkeit des präklinischen Ultraschalls</b>	<b>117</b>
10.1 Sonografie Abdomen (FAST, eFAST und pFAST)	117
10.2 Lungensonografie	118
10.3 Fokussierte Echokardiografie (FEEL)	118
10.4 Anwendung des präklinischen Ultraschalls durch nicht-ärztliches Rettungsfachpersonal	119
10.5 Aktuelle Situation in Deutschland	120
10.6 Ausblick	120
<b>11 Literaturverzeichnis</b>	<b>121</b>
<b>12 Abbildungsnachweise</b>	<b>124</b>
<b>13 Danksagung</b>	<b>125</b>
<b>14 Über den Autor</b>	<b>125</b>
<b>15 Index</b>	<b>126</b>

## 2 Physikalische Grundlagen und Gerätetechnik

### 2.1 Physikalische Grundlagen

Um die Funktionsweise eines Ultraschallgerätes besser nachvollziehen zu können, werden im Folgenden einige Grundlagen der Physik dargestellt, wobei auch die Wellentheorie angerissen wird.

„Schall“ bedeutet mechanische Schwingungen von Teilchen in einem elastischen Medium (z.B. Luft oder Wasser). Breiten sich die Schwingungen von der Quelle aus, spricht man von „Schallwellen“. Die Schallwellen entsprechen Druck- und Dichteschwankungen in dem Medium, in dem sie sich ausbreiten. Die Ausbreitung von der Quelle erfolgt longitudinal, d.h. vom Empfänger gesehen in eine Richtung.

Wie bei anderen Wellen auch (man denke an Meereswellen) bedeutet eine Schallwelle nicht, dass das schwingende Teilchen seinen Ort verändert. Das schwingende Teilchen besitzt eine Energie (Schwingungsenergie, eine Form der kinetischen Energie). Bei Ausbreitung der Schwingung gibt das schwingende Teilchen seine Schwingungsenergie an benachbarte Teilchen ab, es regt also diese wiederum zum Schwingen an. So setzt sich die (Schall-)Welle durch das Medium fort.

Der Energiegehalt von Wellen berechnet sich über die Frequenz (also wie oft pro Zeiteinheit ein Teilchen schwingt) und über die Wellenlänge (also den Abstand von Wellental zu Wellental). Dabei gilt: Je höher die Frequenz und je kürzer die Wellenlänge, desto höher ist die enthaltene Energie. Verdeutlicht werden kann dies am Beispiel des Lichts, d.h. Infrarot und Ultraviolet: Infrarotlicht besitzt eine hohe Wellenlänge und eine niedrige Frequenz und ist recht energiearm, während ultraviolettes Licht mit höherer Frequenz und kürzerer Wellenlänge energiereicher ist und daher z.B. einen Sonnenbrand verursachen kann.

Schallwellen können sich nur in einem Medium ausbreiten. Die Geschwindigkeit, mit der sich Schallwellen in einem Medium ausbreiten, wird als „Schallgeschwindigkeit“ bezeichnet. Sie ist abhängig von der Dichte und der Kompressibilität des Mediums, sodass sich Schallwellen im Wasser ungefähr viermal so schnell wie in der Luft fortbewegen (Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in Luft 333 m/s, in Wasser 1.490 m/s). Generell gilt: Je dichter und je weniger kompressibel ein Medium ist, desto schneller breitet sich der Schall darin aus. Die verschiedenen Schallausbreitungsgeschwindigkeiten u.a. im menschlichen Gewebe zeigt TABELLE 1.

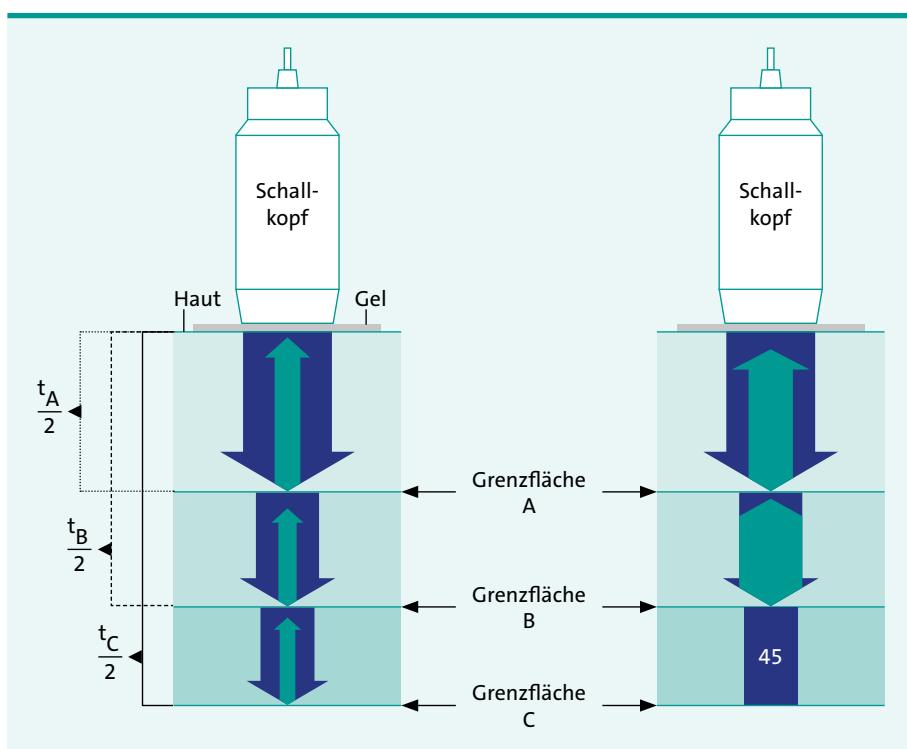
**TAB. 1 ► Schallausbreitungsgeschwindigkeit im menschlichen Gewebe**

Luft	333 m/s
Wasser	1.490 m/s
Leber	1.549 m/s
Knochen	3.360 m/s

„Ultraschall“ bezeichnet Schallwellen mit einer Schwingungsfrequenz oberhalb des menschlichen Hörvermögens. Das menschliche Gehör kann Schallwellen in einem Frequenzbereich von 16 – 20.000 Hz (1 Hz = 1 Schwingung pro s) wahrnehmen. Der Ultraschallbereich beginnt bei Frequenzen ab 20.000 Hz (= 20 kHz). Der Frequenzbereich ab 1 Gigahertz/10<sup>9</sup> Hz wird als „Hyperschall“, der Bereich unter 16 Hz als „Infraschall“ bezeichnet. In der Natur sind auch die vom Menschen nicht wahrnehmbaren Schallfrequenzen verbreitet, so stoßen Fledermäuse Ortungsrufe mit Frequenzen von 15 – 150 kHz aus.

Die Schallfrequenz der medizinisch genutzten Ultraschallgeräte liegt noch einmal deutlich über dem Frequenzspektrum der Fledermäuse. Typische medizinische Ultraschallgeräte nutzen ein Frequenzspektrum, je nach Anwendungsbereich, von 2,5 – 5,0 Megahertz (1 MHz = 10<sup>6</sup> Hz), also 2.500 – 5.000 kHz.

Tritt Schall von einem Medium in ein anderes über, wird ein Teil der Schallenergie von diesem neuen Medium absorbiert, d. h. die kinetische Energie der schwingenden Teilchen wird in Wärme umgewandelt. Ein anderer Teil der Schallenergie wird beim Übergang an der Grenzfläche der beiden Medien reflektiert. Grund hierfür ist der unterschiedliche Widerstand, den die verschiedenen Medien der Schallausbreitung entgegensetzen, die sog. Impedanz. An der Grenze zwischen zwei Medien unterschiedlicher Impedanz kommt es daher zu einem „Impedanzsprung“. Je höher der Impedanzsprung ist, desto mehr ein-



**Abb. 1** ► Funktionsweise von Ultraschall (nach Hofer 2020: 6)

tretende Ultraschallenergie wird reflektiert und zum Sender zurückgeworfen. An menschlichen Knochen ist der Impedanzsprung zwischen umgebendem Gewebe und Knochen so groß, dass nahezu die gesamte Ultraschallenergie zurückgeworfen wird („Totalreflexion“) und keine unterhalb des Knochens liegenden Strukturen im Ultraschallbild abgebildet werden. Auch am Übergang vom Schallkopf zur Luft liegt eine Totalreflexion aufgrund eines ausgeprägten Impedanzsprungs vor. Ohne Ultraschallgel als Trägersubstanz ist daher keine Ultraschalluntersuchung möglich.

Auf diesen Impedanzsprüngen beruht die diagnostische Anwendung des Ultraschalls in der Medizin: An der Grenzfläche von anatomischen Strukturen unterschiedlicher Dichte und damit Schallleitungsfähigkeit wird der Ultraschall unterschiedlich stark reflektiert. Es entsteht das sog. Echo. Aus der zeitlichen Latenz zwischen ausgesandtem Schallsignal und wieder eintreffendem Echo kann der in das Ultraschallgerät integrierte Rechner die Tiefe einer Struktur bestimmen.

Das berechnete Echo wird auf dem Monitor des Ultraschallgeräts in verschiedenen Graustufen von Schwarz bis Weiß dargestellt (TAB. 2). Dabei gilt: Je mehr Impedanzsprünge ein Organ oder eine Struktur aufweist, desto mehr Echos erzeugt es (d.h. desto mehr Schallwellen werden zurückgeworfen). Diese Echos werden im Bild hell dargestellt, im Fachjargon „echoreich“ (ABB. 2). Je weniger Impedanzsprünge ein Organ oder eine Struktur zeigt, desto weniger Echos werden erzeugt und desto dunkler wird das Bild auf dem Monitor („echoarm“, ABB. 3). Homogene Flüssigkeiten, in denen sich der Schall unhindert ausbreiten kann, werfen kein Echo zurück, daher erscheinen sie auf dem Monitor schwarz („echofrei“, ABB. 4).

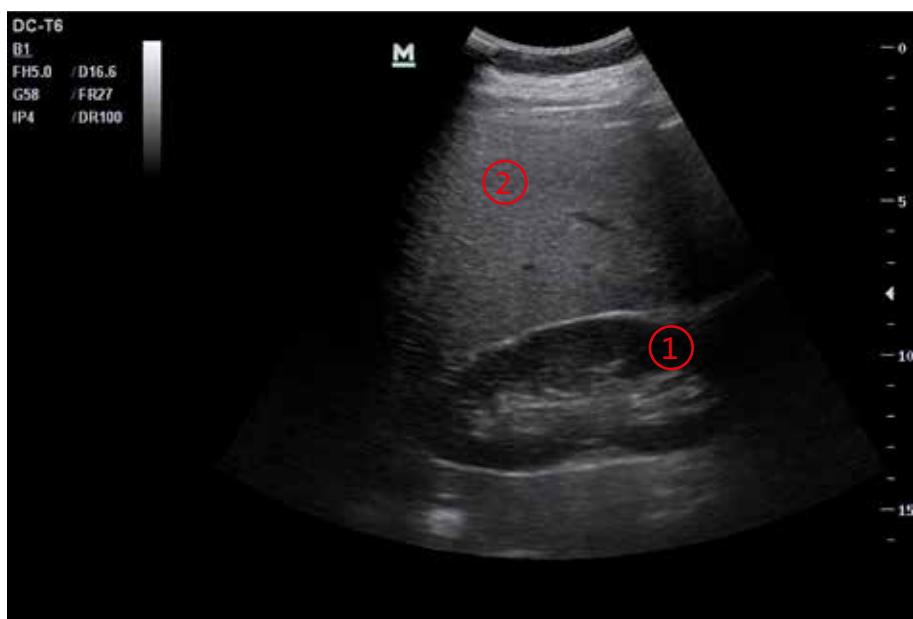
**TAB. 2 ► Strukturen im Ultraschallbild**

Bilddarstellung	Echogenität	Bedeutung
Schwarz	echofrei	homogene Flüssigkeit (Blut, Urin, Ergüsse...)
Dunkel	echoarm	höherer Flüssigkeitsgehalt
Hell	echoreich	niedrigerer Flüssigkeitsgehalt
Weiß	sehr echoreich	Totalreflexion (Luft, Knochen)

Erzeugt werden die Ultraschallwellen über den sog. piezoelektrischen Effekt im Schallkopf des Geräts. Spezielle Kristalle, oft Quarzkristalle, werden durch einen elektrischen Impuls verformt und geben daraufhin eine Schalldruckwelle ab. Trifft das elektrische Signal als Wechselstrom ein, schwingen die Kristalle in genau der Frequenz des eingehenden Wechselstroms und erzeugen die gewünschte Schallfrequenz. Umgekehrt können die Kristalle auch als Empfänger agieren: Das aus dem Gewebe eintreffende Schallecho erzeugt durch Kompression der Kristalle einen elektrischen Impuls, der von der angeschlossenen Elektronik zu einem Bild weiterverarbeitet wird. In einem einzelnen Ultraschallkopf sind zahlreiche solcher Kristalle verbaut.



**ABB. 2** ► Leber (1) = echoreich. Im Leberparenchym ein „Hämangiom“ = Blutschwamm (2), echoreicher



**ABB. 3** ► Nierenparenchym (1) = echoarm im Vergleich zur Leber (2)



**Abb. 4** ► Nierenzysten (1) = echofrei

## 2.2 Gerätetechnik

Physikalisch gilt: Je höher die Schallfrequenz, desto besser die Auflösung, aber desto geringer die Eindringtiefe. Auf dieser einfachen Tatsache beruht das unterschiedliche Portfolio an Schallköpfen im klinischen Alltag. Es gibt keinen Universal-Schallkopf, der für alle Anwendungen hervorragend geeignet wäre. Jeder Gewinn an Auflösung geht einher mit einem Verlust an Eindringtiefe und umgekehrt. In der Klinik werden daher standardmäßig drei verschiedene Schallkopfarten eingesetzt: der Linear-, der Sektor- und der Curved-Array-Schallkopf (auch als Konvexschallkopf bezeichnet).

**TAB. 3** ► Frequenzspektrum und Einsatzgebiete der Schallköpfe in der Klinik

	Linear (Linear Array)	Sektor	Konvex (Curved Array)
<b>Frequenz</b>	5,0 – 10,0 MHz	2,0 – 3,0 MHz	2,5 – 5,0 MHz
<b>Schallfeld</b>	rechteckig	fächerförmig	„Kaffeefilter“
<b>Vorteil</b>	sehr gute Nahfeldauflösung	große Eindringtiefe, kleine Ankopplungsfläche	gute Nahfeld- und noch gute Fernfeldauflösung
<b>Einsatz</b>	Schilddrüse, Gefäße	Herz	Abdomen, Thorax

Die in den Geräten für die präklinische Sonografie eingesetzten Schallköpfe entsprechen je nach Hersteller einem dieser drei oder bieten teilweise auch 2-in-1-Konzepte. Mehr dazu in Kapitel 8.



**ABB. 5** ► Von links nach rechts: Sektorschallkopf, Linearschallkopf, Konvexschallkopf

### ***Ultraschallmodi***

Grundsätzlich werden in der Ultraschalldiagnostik vier verschiedene Modi unterschieden: A-Mode, M-Mode, B-Mode und (Farb-)Doppler.

Der *A-Mode* war das erste überhaupt einsetzbare Ultraschallverfahren. „A“ steht für Amplitudenverfahren, eine rein eindimensionale Untersuchungsmethode (quasi gab es nur einen sendenden und empfangenden Kristall). Der A-Mode wird nicht mehr eingesetzt.

Es folgte der *M-Mode* (von „Time Motion“). Auch hier wird ein einzelner Ultraschallstrahl eingesetzt, dessen Echos aber wie bei einem EKG oder EEG fortlaufend registriert werden. Die reflektierten Echos verschiedener Gewebe bilden im Zeitverlauf verschiedene Linien, die sich in ihrer Helligkeit unterscheiden. Der M-Mode wird häufig in der Kardiologie eingesetzt, um Bewegungen der Herzkappen im Herzzyklus darzustellen. Auch die Bewegung des Zwerchfells während der Atmung lässt sich im M-Mode gut darstellen (ABB. 6).

Das Standardultraschallbild wird im *B-Mode* dargestellt. „B“ steht für „Brightness“, also eine Helligkeitsmodulierte Abbildung der verschiedenen Echos. Die Rechnereinheit des Geräts setzt aus den vielen verschiedenen eintreffenden Echos (abhängig von der Zahl der im Schallkopf verbauten Piezokristalle) das endgültige, in Graustufen dargestellte Bild auf dem Monitor zusammen (ABB. 7).

Der *Doppler-Ultraschall* ist eine Ergänzung zum B-Mode, mit dem Flussrichtungen und indirekt Geschwindigkeiten von Flüssigkeiten im Körper berechnet und farbig dargestellt werden können (Farbdoppler). Grundlage des Doppler-Ultraschalls ist der Doppler-Effekt,

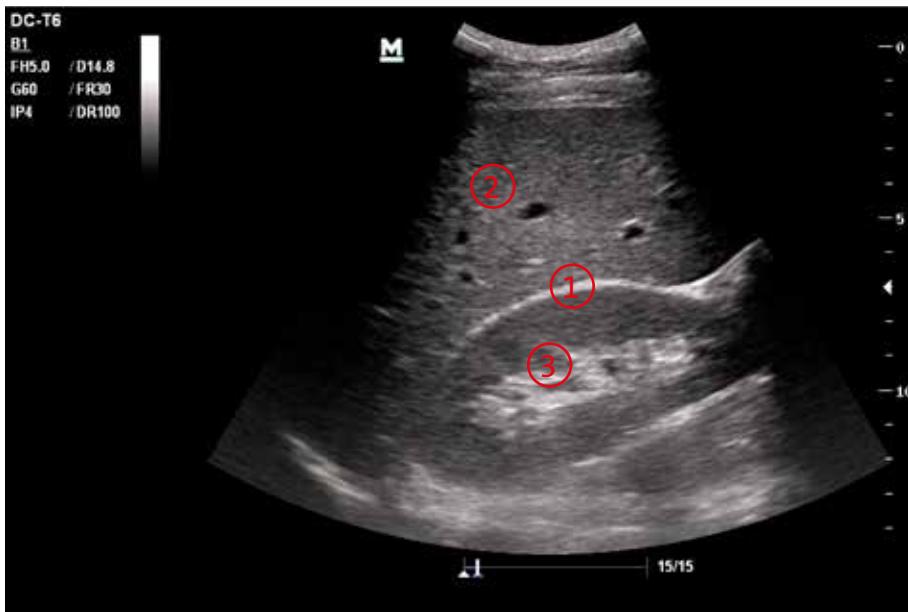
## 4 Pathologische Befunde

### 4.1 Freie abdominelle Flüssigkeit

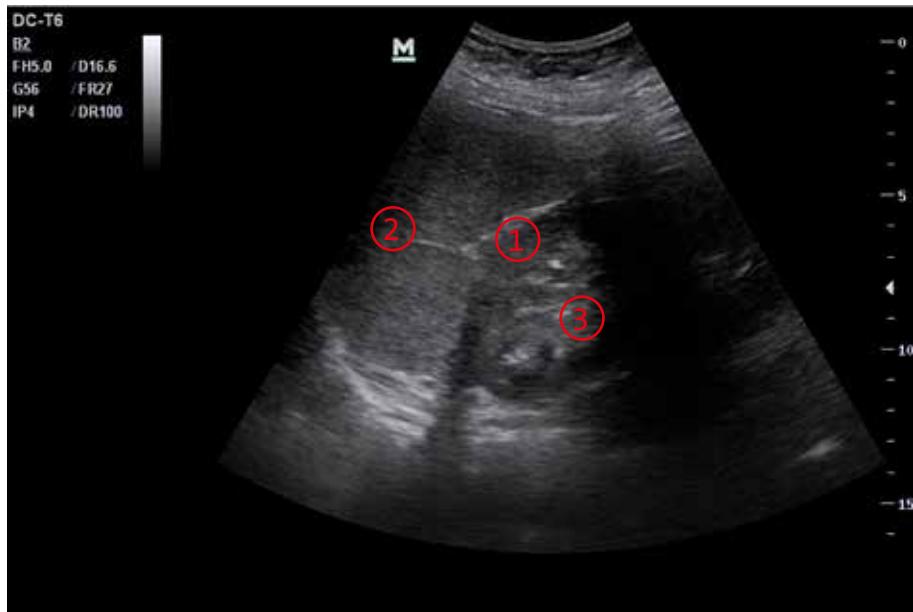
Von freier abdomineller Flüssigkeit (FAF) spricht man, wenn sich im Ultraschall echofreies Material im Bauchraum (intraperitoneal) findet. Normalerweise ist in der Bauchhöhle keine Flüssigkeit zu erwarten, d.h. der sonografische Nachweis von freier intraabdomineller Flüssigkeit ist immer als pathologisch anzusehen. Freie Flüssigkeit muss aber nicht in jedem Fall Blut sein. Freie Flüssigkeit aufgrund einer anderen Vorerkrankung wird auch als „Aszites“ bezeichnet. Aszites ist Flüssigkeit, die entweder aktiv in die Bauchhöhle sezerniert wird oder passiv aus den Gefäßwänden austritt.

**TAB. 6 ► Differenzialdiagnose freier abdomineller Flüssigkeit**

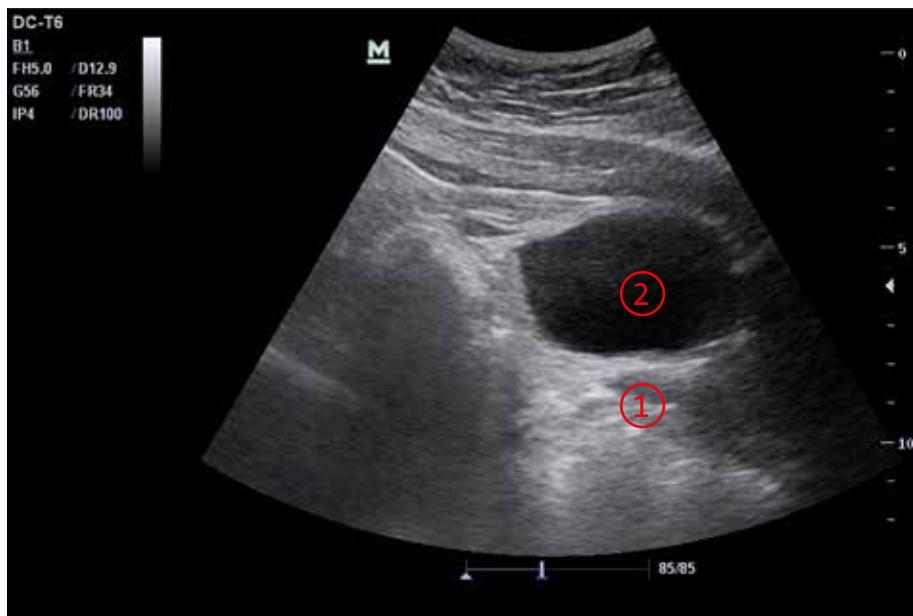
- Blut
- Maligne (Peritonealkarzinose)
- Entzündung (Peritonitis)
- Stauung (Herzinsuffizienz)
- Leberzirrhose
- Überwässerung (Niereninsuffizienz)



**ABB. 34 ►** Morison-Pouch (1) zwischen Leber (2) und rechter Niere (3). Rechtsseitiger Flankenschnitt



**ABB. 35** ▶ Koller-Pouch (1) zwischen Milz (2) und linker Niere (3). Linksseitiger Flankenschnitt



**ABB. 36** ▶ Douglas-Raum (1) dorsal der Blase (2). Unterbauchlängsschnitt

Die Unterscheidung zwischen einer Blutung in die Bauchhöhle und einer anderen Ursache der FAF ist präklinisch oft nur anhand der Wahrscheinlichkeit möglich. Für eine endgültige Diagnosesicherung ist eine Punktion notwendig. Oft hilft aber der gesunde Menschenverstand – bei einem akut außerorts mit dem Motorrad verunglückten jungen Mann mit freier abdomineller Flüssigkeit ist ein Aszites durch Leberzirrhose nicht unbedingt die wahrscheinlichste Diagnose.

Zunächst sammelt sich mögliche freie Flüssigkeit an drei typischen präformierten Stellen im Bauchraum und kann hier sonografisch dargestellt werden. Dies sind der Morison-Pouch, der Koller-Pouch und der Douglas-Raum (von engl. „Pouch“ für „Beutel“, ABB. 34 – 36).

Der Morison-Pouch ist eine Aussackung des Peritoneums zwischen Leberunterrand und rechter Niere. Dem entspricht auf der Gegenseite der Koller-Pouch zwischen Milz und linker Niere. Der Douglas-Raum befindet sich dorsal hinter der Harnblase und zieht bis ins kleine Becken.

Findet sich die Flüssigkeit nicht „frei“, sondern als echoärmer mehr oder weniger ausgeprägter Saum zwischen Milz und Milzkapsel oder zwischen Leber und Leberkapsel, ist gerade bei einem Abdominaltrauma von einer (noch!) gedeckten Organruptur auszugehen. Hier droht dann als zweizeitiges Geschehen die Ruptur der Kapsel in die Bauchhöhle mit folgender erheblicher Blutung.

### **Sonografie bei freier abdomineller Flüssigkeit**

In Anbetracht der Umgebungsumstände und der Notfallsituation wird ein Patient mit möglicher freier abdomineller Flüssigkeit in Rückenlage untersucht werden. Zur Abdomensonografie wird der Curved-Array-Schallkopf verwendet.

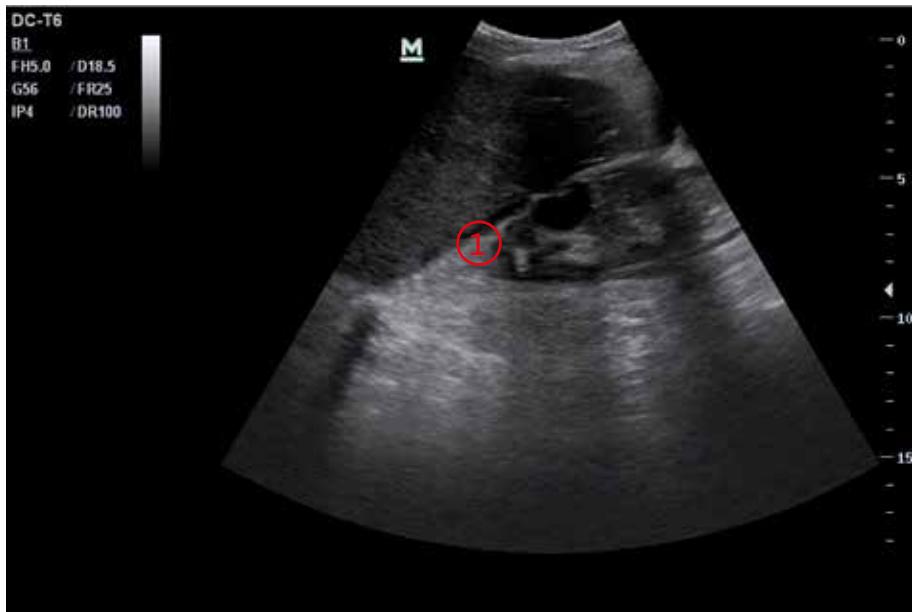
**TAB. 7 ► Pouches und ihre sonografische Anlotung**

Ort	Anlotung
Morison-Pouch	rechtsseitiger Flankenschnitt
Koller-Pouch	linksseitiger Flankenschnitt
Douglas-Raum	Unterbauchquer- und Unterbauchlängsschnitt

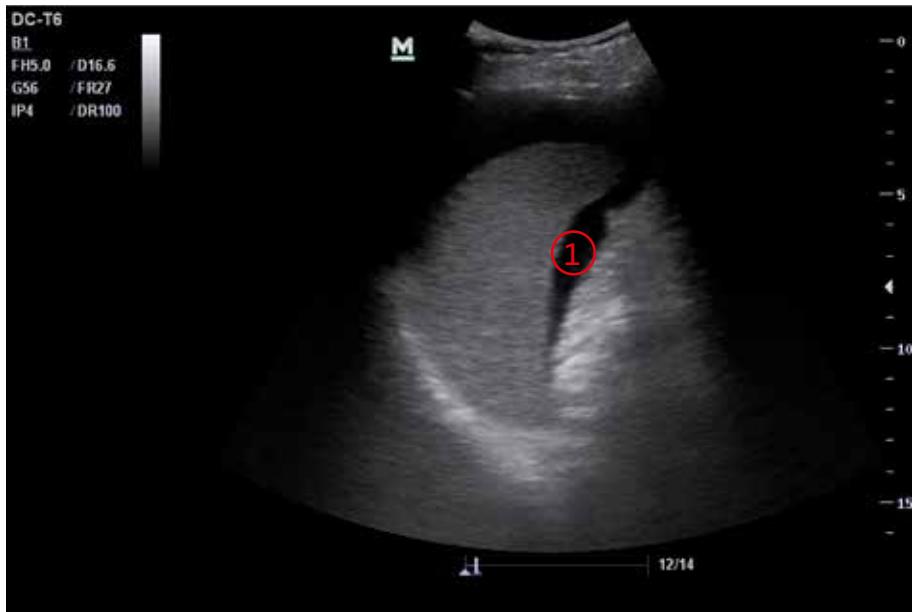
Je nach Menge der freien Flüssigkeit ist in den beschriebenen Räumen ggf. nur eine schmale echofreie Lamelle zu erkennen, bei erheblichen Mengen freier Flüssigkeit ist diese aber auch im ganzen Bauchraum sichtbar. So sieht man bei Patienten mit fortgeschrittener Leberzirrhose oftmals im ganzen Bauch nur noch „schwarz“, und darin eingebettet die parenchymatösen Oberbauchorgane ebenso wie den Darm.

## **4.2 Pleuraerguss**

Der Pleuraerguss (PLE) ist definiert als pathologische Flüssigkeitsansammlung im Brustkorb zwischen Pleura visceralis und parietalis. Ursächlich kann Flüssigkeit aktiv in die Pleurahöhle sezerniert werden oder passiv aus dem Gefäßsystem austreten. Ein Pleura-



**ABB. 37** ► Freie Flüssigkeit (FAF) (1) im Morison-Pouch. Rechtsseitiger Flankenschnitt



**ABB. 38** ► Freie Flüssigkeit (FAF) (1) im Koller-Pouch. Linksseitiger Flankenschnitt

## 5 Untersuchungskonzepte

Die Indikation zum Einsatz des Ultraschalls in der Präklinik unterscheidet sich deutlich vom routinemäßigen Einsatz in der Klinik. Abgesehen von der Ultraschallanwendung in der Notaufnahme oder im Schockraum dient die Sonografie in der Klinik/Praxis der allgemeinen oder speziellen Beurteilung eines Organs oder Organsystems. Es geht z.B. um die Frage nach einer akuten Cholezystitis bei Oberbauchschmerzen, die Suche nach einem intraabdominellen Fokus bei unklarer Infektion oder die Beurteilung von kardialen Wandbewegungsstörungen bei Verdacht auf eine koronare Herzkrankheit. Insbesondere ist im Normalfall davon auszugehen, dass der zu untersuchende Patient optimal vorbereitet ist und der Untersucher nicht unter Zeitdruck steht. Somit ist eine detaillierte Feindiagnostik möglich.

In der Präklinik (und auch in Notaufnahme/Schockraum) hat man es meistens jedoch mit einem kritisch kranken Patienten zu tun, der nicht vorbereitet ist und auch nur selten optimal gelagert werden kann. Die Untersuchung findet unter Zeitdruck statt und soll helfen, ein Leitsymptom (z.B. Schock, Dyspnoe) grob einzuschätzen. Diffizile Feinabstimmungen am verwendeten Ultraschallgerät sind präklinisch zumindest nicht möglich.

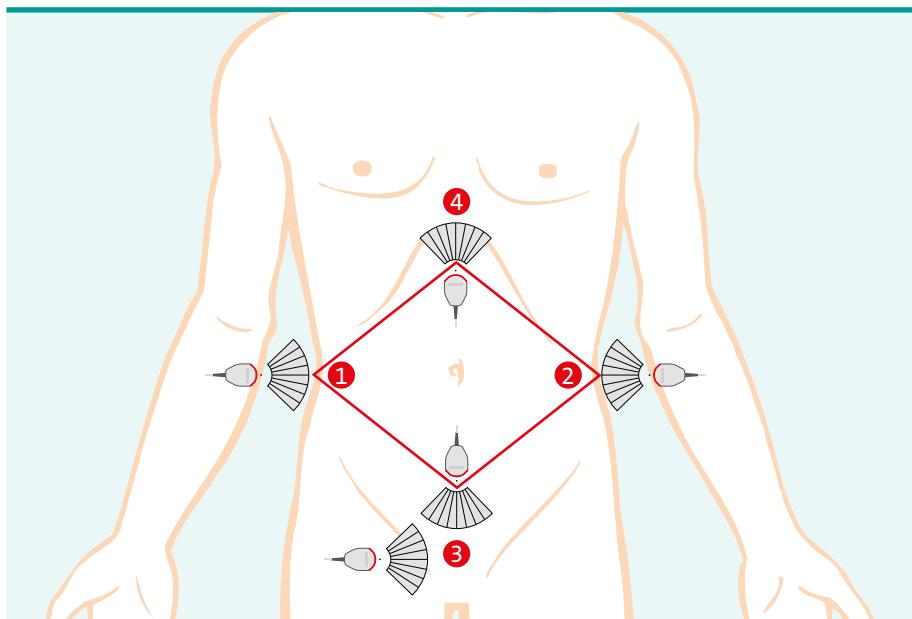
**Die zügige Ultraschalldiagnostik eines kritisch kranken Patienten ist so zu strukturieren, dass keine wesentlichen Befunde übersehen werden, aber dennoch der Zeitbedarf möglichst gering bleibt. Hierfür wurden verschiedene strukturierte Untersuchungsgänge entwickelt, die in dieser Form trainiert werden müssen.**

### 5.1 FAST

FAST ist das Akronym für „Focused Assessment with Sonography for Trauma“. FAST war der erste strukturierte Ultraschallalgorithmus für die Untersuchung von kritischen Patienten, hier Traumapatienten, und wurde 1995 erstmals beschrieben (Rozycki 1995). Ursprünglich war FAST für den Einsatz im Schockraum im Rahmen des ATLS®-Survey vorgesehen. Der Begriff „fokussierte“ Untersuchung soll darauf hinweisen, dass der (instabile) traumatisierte Patient mit dem Ultraschall speziell auf freie Flüssigkeit in den Körperhöhlen untersucht wird. Es geht also gerade nicht um eine typische internistische Abdomensonografie, bei der jedes Organ in mindestens zwei Ebenen komplett durchgemustert und dargestellt wird.

Die zu untersuchenden Körperhöhlen, in denen sich freie Flüssigkeit (beim Traumapatienten Blut) sammeln kann, sind:

- die Thoraxhöhle beidseits
- das Perikard und
- die Abdominalhöhle.



**ABB. 56** ► FAST-Raute am Abdomen mit den Schallkopfpositionen: Flankenschnitt rechts (1), Flankenschnitt links (2), medianer Unterbauchquer- und -längsschnitt (3) sowie subxiphoidal (4)

FAST dient dem Nachweis freier Flüssigkeit in den Körperhöhlen. FAST kann vom trainierten Anwender innerhalb von nur zwei Minuten durchgeführt werden und verzögert so die weitere Untersuchung des Notfallpatienten nicht relevant.

Eingesetzt werden sollte ein Schallkopf mit ausreichender Eindringtiefe, um das Abdomen adäquat darstellen zu können, d.h. vorzugsweise der Curved-Array-Schallkopf. Der Linear-Schallkopf ist wegen der geringen Eindringtiefe bei Erwachsenen eher nicht geeignet, kann allerdings bei Kindern durchaus angewendet werden.

Die Untersuchungsabfolge des FAST entspricht einer Raute mit Eckpunkten subxiphoidal, an beiden Flanken und über der Symphyse (ABB. 56). Die Untersuchung erfolgt am auf dem Rücken liegenden Patienten. Der Schallkopf wird in den jeweiligen Positionen gekippt, verschoben und gedreht, bis freie Flüssigkeit (im Ultraschallbild schwarz/echofrei) in den jeweiligen Räumen ausgeschlossen ist.

Folgende vier Positionen sind zu untersuchen:

#### **Position 1: Flanke rechts**

Mit der Schallkopfposition an der rechten Flanke werden zwei Zielareale durchmustert: Kranial oberhalb des Zwerchfells stellt sich die rechte Pleurahöhle dar, in der ein mögli-

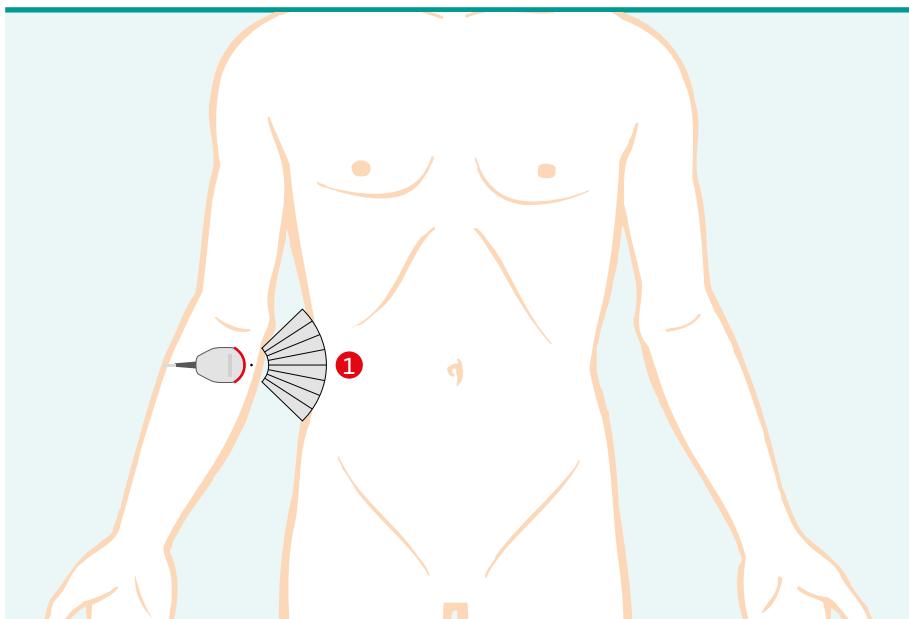


ABB. 57 ► FAST-Position 1 – Flankenschnitt rechts

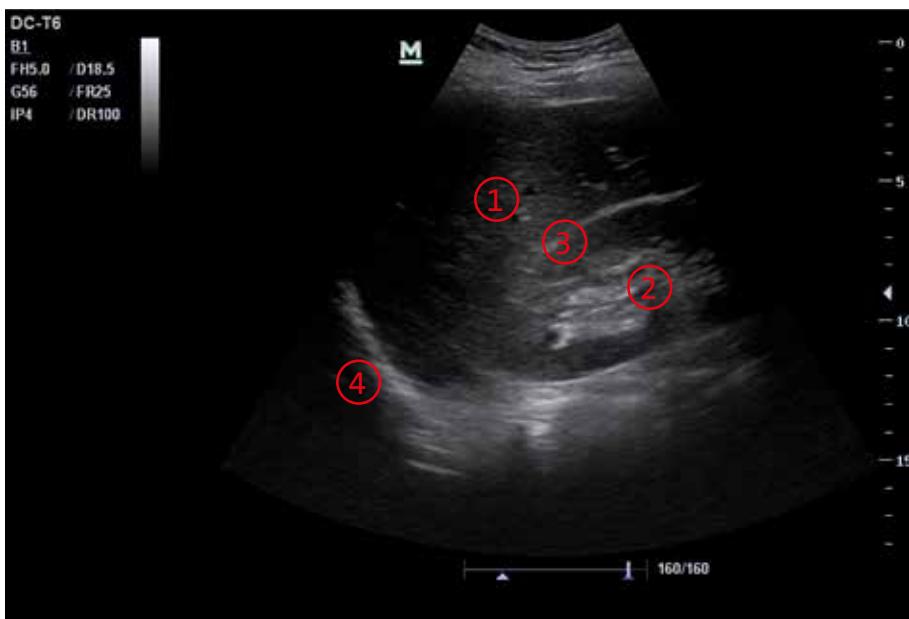


ABB. 58 ► Normalbefund FAST-Position 1: Leber (1), Niere (2), Morison-Pouch (3), Pleurawinkel (4)

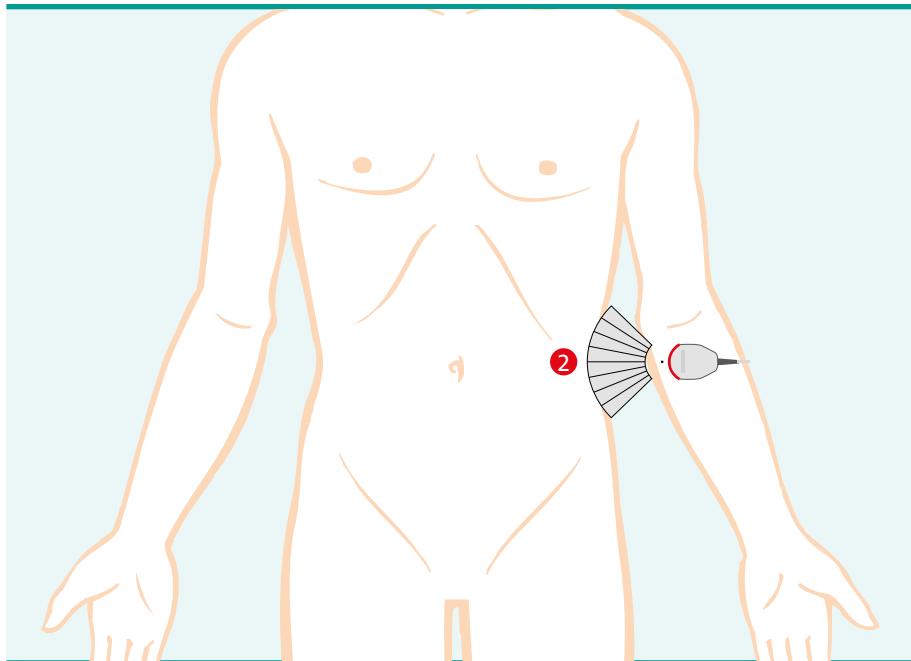


ABB. 59 ► FAST-Position 2 – Flankenschnitt links

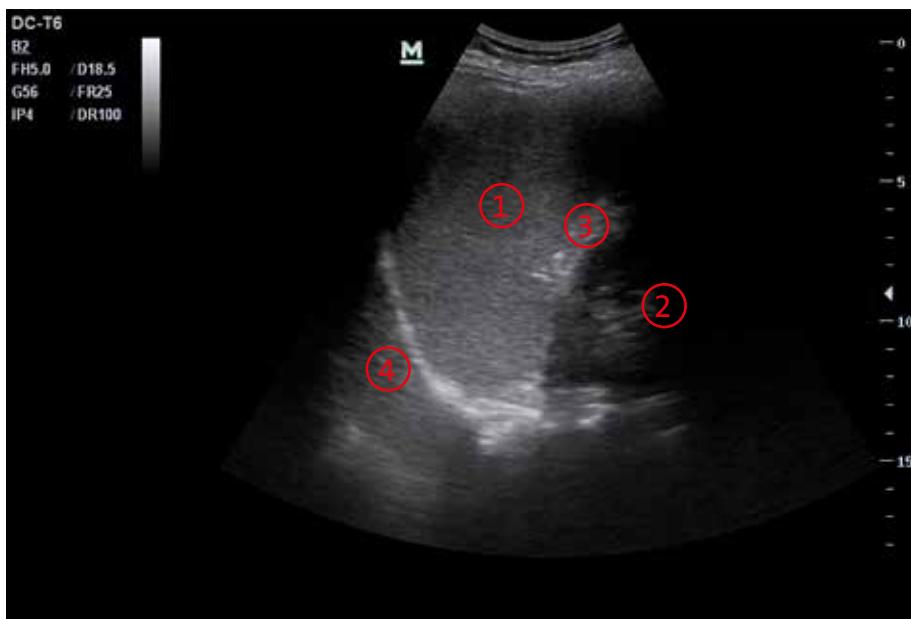


ABB. 60 ► Normalbefund FAST-Position 2: Milz (1), Niere (2), Koller-Pouch (3) und Pleurawinkel (4)

# 7 Weitere Einsatzmöglichkeiten des präklinischen Ultraschalls

In den vorhergehenden Kapiteln wurde gezeigt, dass der präklinische Ultraschall bei zahlreichen Symptomen und Erkrankungen eine sinnvolle Ergänzung in der Diagnostik sein kann. Dem erfahrenen Anwender bietet der Ultraschall weitere Möglichkeiten und kann u.a. bei notwendigen invasiven Maßnahmen die Sicherheit für den Durchführenden und den Patienten erhöhen, indem er Zugangswege definiert, die sonst anhand anatomischer Landmarken und Augenschein zu wählen sind.

## 7.1 Tubuslagekontrolle

Goldstandard der Atemwegssicherung ist die endotracheale Intubation. Die präklinische Anwendung ist erfahrungsgemäß aber mit einem deutlich erhöhten Risiko der Fehlintubation (ösophageale Fehllage) verbunden, die im unerkannten Fall deletäre Folgen für den Patienten haben kann. Der Einsatz der Kapnografie zur Tubuslagekontrolle wird zwingend gefordert, da sich so die unerkannte Intubation des Ösophagus nahezu komplett vermeiden lässt. Sie kann aber nicht sicher dazu beitragen, bei einem schwer kreislaufdeprimierten Patienten, der nur sehr wenig Kohlendioxid produziert, eine zu tiefe Intubation und damit die Ventilation nur eines Lungenflügels auszuschließen.

### *Sonografische Tubuslagekontrolle*

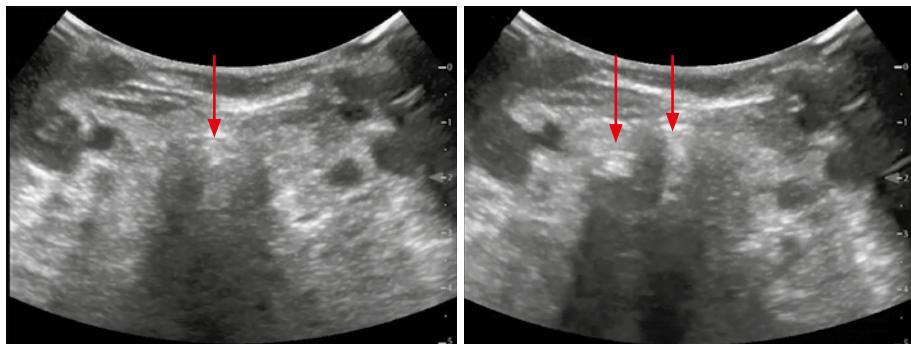
Der frisch intubierte Patient befindet sich in Rückenlage.

#### *Variante 1: Indirekte Tubuslagekontrolle über Lungenbelüftung*

Wie immer bei der Lungensonografie werden der Curved-Array- oder Linearschallkopf verwendet und die bekannten anterioren Positionen (eFAST, 3./4. ICR in der MCL) aufgesucht. Die Lungenoberfläche mit der Pleura visceralis wird eingestellt, um zu prüfen, ob bei einem Beatmungshub das typische Lungengleiten zu erkennen ist. Ist beidseits Lungengleiten vorhanden, ist von einer korrekten Lage des Endotrachealtubus auszugehen. Findet sich das Lungengleiten nur auf einer Seite, klassischerweise der rechten, könnte der Tubus zu tief liegen. Wichtig ist in dieser Situation, auf der nicht ventilierten Seite anhand der besprochenen Merkmale einen Pneumothorax auszuschließen, damit unter kontrollierter Beatmung kein Spannungspneumothorax entsteht. Ist kein Pneumothorax nachweisbar, muss die Tubuslage so lange kontrolliert bzw. korrigiert werden, bis beide Lungenflügel wieder belüftet sind.

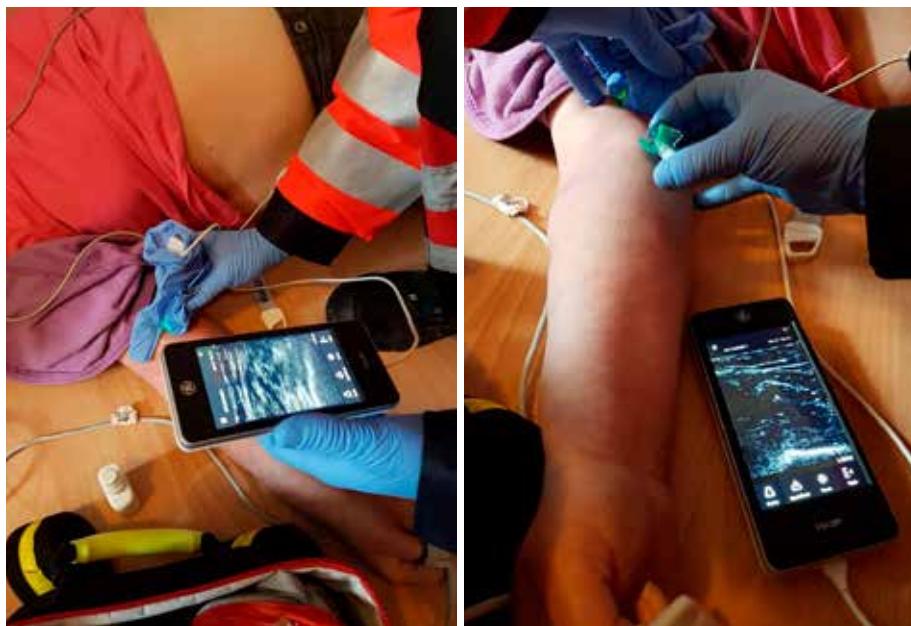
#### *Variante 2: Direkte Tubuslagekontrolle über (Nicht-)Visualisierung des Tubus*

In der Variante 2 wird am Hals des Patienten versucht, den Tubus sichtbar zu machen. Hier ist der Positivbeweis als negativ anzusehen: Mit dem Linearschallkopf wird im Querschnitt unterhalb des Krikoids die Trachea geschallt. Sowohl beim Nicht-Intubierten als



**ABB. 82** ► Sonografisches Bild (Linearschallkopf) der Tubuslagekontrolle: links korrekte Lage, rechts inkorrekte Lage (Foto: Raoul Breitkreutz, Frankfurt)

auch beim korrekt Intubierten ist nur die echoreiche Wölbung der Tracheavorderwand mit folgender Schallauslöschung aufgrund der intratracheal enthaltenen Luft zu erkennen ([ABB. 82 LINKS](#)). Liegt der Endotrachealtubus aber fehl im Ösophagus, so kann man ein zweites rundliches echoreiches Lumen mit dorsaler Schallauslöschung darstellen ([ABB. 82 RECHTS](#)) – ein definitiver Hinweis auf eine Fehlplatzierung des Tubus.



**ABB. 83** ► Sonografisch gesteuerte Venenpunktion (Fotos: Christian Breitling, Magdeburg)

## 7.2 Gefäßzugang

Nahezu jeder Notfallpatient benötigt einen Zugang zum Gefäßsystem, um Medikamente und/oder Infusionen zu verabreichen. Grob könnte man sagen: Je kritischer der Patient, desto wichtiger und dringender ist ein sicherer Zugang zum Gefäßsystem. Leider bieten kritisch kreislaufdeprimierte Patienten tendenziell keine guten Venenverhältnisse für die Anlage eines periphervenösen Zugangs. Eine Alternative in dieser Situation ist der intraossäre Zugang. Dieser wird z.B. gemäß Reanimationsleitlinie empfohlen, wenn innerhalb von 90 Sekunden kein intravenöser Zugang etabliert werden kann. Es gibt auch Patienten, die konstitutionsbedingt keine gut sichtbaren peripheren Venen aufweisen (z.B. Adipöse, ältere Patienten, Kinder), und möglicherweise möchte man bei diesen Patienten nicht sofort zum intraossären Zugang greifen. Hier kommt die Sonografie ins Spiel.

### **Sonografisch gesteuerter Gefäßzugang**

Für einen Gefäßzugang wird der Linearschallkopf gewählt aufgrund der guten Nahfeldauflösung. Der Fokus sollte möglichst auf eine Tiefe von 2 oder 3 cm gelegt werden, da die zu suchenden Venen ja subkutan verlaufen. Mit dem Schallkopf fährt man nun zunächst quer zum Verlauf der Venen z.B. vom Handrücken bis zum Ellenbogen einer Seite. Die Venen stellen sich als kleine echoarme, kreisförmige Strukturen dar. Mit dem Farbdoppler ist auszuschließen, dass es sich um eine Arterie handelt (gerade in der Ellenbeuge besteht Verwechslungsgefahr mit der A. brachialis!).

**TAB. 28 ► Sonografische Unterscheidung Vene vs. Arterie**

Vene	Arterie
• dünne Wand	• dickere Wand
• Doppelschlag	• einfacher Puls
• im Doppler laminarer Fluss	• im Doppler Pulsation
• leicht komprimierbar	• Komprimierung erfordert mehr Druck

**Wichtig ist, nicht zu viel Druck mit dem Schallkopf auf die Haut auszuüben, da die dünnwandigen Venen dabei schnell zusammengepresst und unsichtbar werden.**

Hat man ein gutes Gefäß gefunden, lässt sich dieses auch unter sonografischer Kontrolle punktieren. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten: die Längs- und die Quervariante.

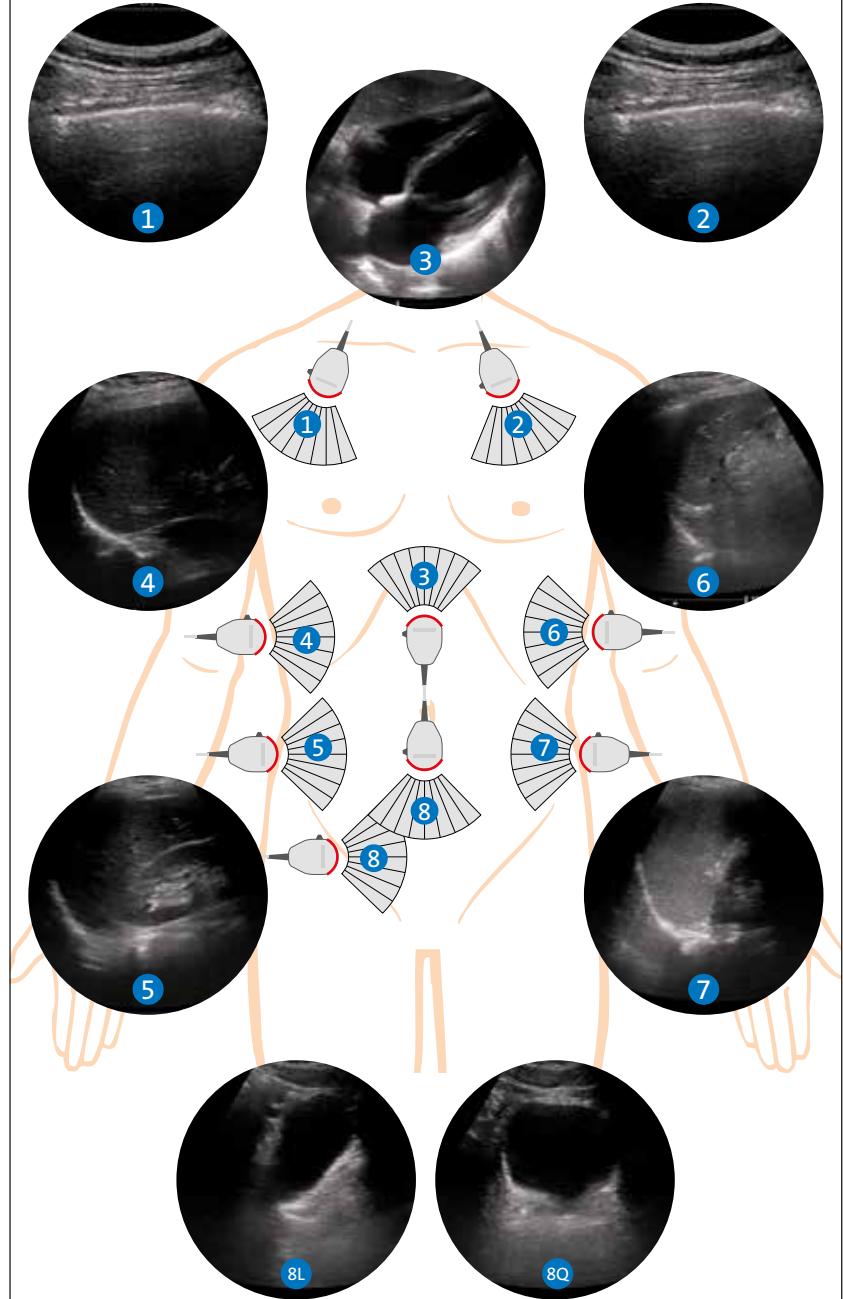
Bei der Längsvariante stellt man mit dem Schallkopf die Vene im Längsschnitt dar – sie ist dann als echofreier Schlauch in der Bildmitte zu sehen. Sinnvoll ist es, den Schallkopf mit der nicht-dominanten Hand zu halten, während die dominante Hand den peripheren Venenkatheter (PVK) führt. Die Haut wird mit der Venenverweilkanüle nun möglichst genau in der Ebene des Ultraschallbildes direkt benachbart zum Schallkopf durchstoßen.

- kopf 13, 15, 20, 64, 74, 105–106
  - Curved-Array- 15, 20, 40, 42, 45, 49, 54, 57, 86, 91, 106
  - Konvex- 15, 16
  - Linear- 15, 16, 40, 54, 83, 106
  - Sektor- 15, 16, 40, 42, 77, 106
- schatzen 22, 23, 93
- verstärkung 23, 24
- wellen 11
- S**chock 86–89, 91, 117, 118
  - distributiver – 87
  - hypovolämischer – 87
  - kardiogener – 87
  - obstruktiver – 87, 102
- Seashore-Zeichen 38–39
- Septum 41, 59, 60, 69, 75, 76
- Sludge 17
- Software 108
- Sonografie
  - fokussierte – 10, 86, 115, 117–118
  - Notfall- 10
- Strickleiterphänomen 54, 89
- Strömung 18
- Stromversorgung 108, 109, 114
- Swinging Heart 51
  
- T**
- TAPSE 59, 61
- Thorax 35–42
  - dekompession 85, 102
  - drainage 102–103
  - schmerz, akuter 90–91
- Thromboembolie 82
- Tiefe 19, 20, 54, 64, 83, 106
- Tiefenausgleich 19
- Totalreflexion 13, 22
- Trauma
  - patient 63
  - Poly- 85–87
- Trikuspidalklappe(n) 40, 41, 42, 58, 59, 69
  - Insuffizienz 59, 61
- Tubuslagekontrolle 99–100
  
- U**
- Ultraschall 12
  - Abdomen 20, 28–35, 45
  - bild 13, 106, 107
  - Gefäßzugang 101–102
  - gel 13, 22, 106
  - gerät 12, 15, 63, 105
    - Anforderungen 105–108
    - Einstellung 18, 106
    - Handheld- 111–114
    - mobiles – 105, 108–114
    - Smartphone-basiertes – 106, 108–110
- Herz 20, 40–42, 67, 72
- Lungen 20, 38–39, 106, 118
- Lungenstauung 54–55, 118
- modi 16, 105
- Normalbefunde 27
- Pathologien 43–61
  - Perikardtamponade 51–52, 67
  - Pleuraerguss 45–51
  - Pneumothorax 52–54
  - Point-of-Care- 10, 82, 105, 116, 117
  - Polytrauma 85–86
  - Reanimation 84
  - Rechtsherzbelastung 58–61
  - Rettungsdienst 98
  - Schock 86–89
  - Sicherheit 25
  - Thorax 35–42, 89
  - Thoraxdrainage 102–103
  - Tubuslagekontrolle 99–100
  - Vena cava inferior 55–57
  
- V**
- Vena cava inferior 17, 18, 28, 29–31, 30, 34, 35, 55–57, 74, 77, 89
  - erweiterte – 51, 59
  - gestaute – 56, 57, 89
  - kollabierte – 56, 57
- Venen 101
  - katheter 101
  - thrombose 78, 120
- Ventrikel 40, 42, 51, 69
  - linker – 40, 41, 57, 73
  - rechter – 40, 41, 51, 58, 59
- Vier-Kammer-Blick 57, 58, 61, 73–74, 89
  - apikal – 74, 75
  - subxiphoidal – 74, 83
- Volumen
  - mangel 55, 56, 57, 59, 77, 87
  - überschuss 55, 56
- Vorhof 40, 42, 58, 69
  - linker – 41
  
- W**
- Wellen
  - länge 11
  - Schall- 11
- Winkel
  - kostophrenischer – 71, 72, 79
  - sternokostaler – 104
  
- Z**
- Zoom 19, 20
- Zwerchfell 17, 28, 31, 36, 48, 49
  - kuppel 36, 37
  - rippenwinkel 71

# Kompendium eFAST-Sonografie

## Taschenkarte für Ihren Einsatz

Hier finden Sie die wichtigsten Schallpositionen und Abläufe für die Notfallsonografie auf einen Blick. Trennen Sie die Umschlagklappe einfach ab und legen Sie die doppelseitige Taschenkarte direkt zu Ihrem Sonografiegerät oder in Ihre Einsatzmappe.



Position 1 Pneumothorax?

Position 2 Pneumothorax?

Position 3 Perikarderguss/-tamp.?

Position 4 Hämatothorax?

Position 5 FAF?

Position 6 Hämatothorax?

Position 7 FAF?

Position 8 FAF?

*Autor*

Gregor Naths

Ursprünglich entwickelt für die rasche Beurteilung des Patienten im Schockraum oder in der Notaufnahme, findet die fokussierte Sonografie vermehrt Anwendung in der Prälklinik. Da aber nicht jeder Notarzt täglich mit der Sonografie umgeht, das Rettungsfachpersonal schon gar nicht, ist dieses Ultraschallhandbuch speziell auf die Bedürfnisse der präklinischen Nutzer abgestimmt. Es vermittelt Chancen und Grenzen des zielgerichteten Ultraschalls im rettungsdienstlichen Einsatz.

Von den physikalischen Grundlagen ausgehend werden zunächst die Indikationen und die Anwendung von mobilen Ultraschallgeräten dargestellt. Sodann werden

die sonografischen Normalbefunde und die pathologischen Zeichen an zahlreichen Sonografien vermittelt. Im Mittelpunkt steht die Diagnose reversibler Ursachen für ABC-Probleme im Notfallereignis wie Pneumothorax, abdominelle Blutung oder Perikarderguss. Die zugehörigen Schallkopfpositionen und Untersuchungskonzepte werden Schritt für Schritt vorgestellt.

Auf ergänzende Einsatzmöglichkeiten im Rettungsdienst und aktuelle Studien wird eingegangen und schließlich auf Fortbildungskurse zur Sonografie hingewiesen. Kriterien für die Auswahl geeigneter Ultraschallgeräte werden rettungsdienstbezogen bewertet.

# Notfallsonografie

Ultraschalldiagnostik im Rettungsdienst