

Michels
Jaspers



Notfall- sonographie

Nach dem 3-Länder-
übergreifenden
Curriculum
Notfallsonographie
von DEGUM, ÖGUM
und SGUM

Notfallsonographie

Guido Michels
Natalie Jaspers
(Hrsg.)

Notfallsonographie

Mit 355 Abbildungen und 40 Tabellen

Mit einem Geleitwort von S. Nöldeke,
Präsident der DEGUM 2012–2014

Herausgeber

Priv.-Doz. Dr. med. Guido Michels

Klinik III für Innere Medizin, Herzzentrum der Universität Köln
Universitätsklinikum Köln
Kerpener Str. 62
50937 Köln

Dr. med. Natalie Jaspers

Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie am Abdominalzentrum
Universitätsklinikum Köln
Kerpener Str. 62
50937 Köln

ISBN 978-3-642-36978-0 ISBN 978-3-642-36979-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-36979-7

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

Springer Medizin

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Planung: Dr. med. Anna Krätz, Heidelberg
Projektmanagement: Dipl.-Biol. Ute Meyer, Gisela Schmitt, Heidelberg
Lektorat: Dr. med. Monika Merz, Sandhausen
Projektkoordination: Michael Barton, Heidelberg
Umschlaggestaltung: deblik Berlin
Fotonachweis Umschlag: © Dr. med. D. Kiefl, Offenbach
Neuzeichnungen: Christiane Goerigk, Ludwigshafen
Herstellung: le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Medizin ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Geleitwort

Notfallsonographie – das war vor 10 Jahren fast ein unbekannter Begriff. Heute diskutieren wir über hospitale Notfallsonographie, beginnend im Schockraum bis hin zu kleinen Sonographiegeräten für die Kitteltasche und auch schon längst über eine präklinische Sonographie in jedem Rettungs- oder Notarztwagen. Das zeigt: Nicht nur die Entwicklung immer kleinerer und besserer Ultraschallgeräte schreitet permanent voran, auch die Erwartungen an diese Technik ohne Strahlenbelastung ist groß. Aber jede Methode ist immer nur so gut wie die Mediziner, die sie anwenden. Die Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM) hat schon 2008 zusammen mit der Österreichischen (OEGUM) und Schweizerischen (SGUM) Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin einen eigenen Arbeitskreis „Notfallsonographie“ gegründet, der ein fundiertes Ausbildungs-Curriculum für die Notfallsonographie ausgearbeitet hat, welches auch diesem Buch zugrunde liegt. Denn: Aus- und Weiterbildung bedeuten neben einer praktischen Ausbildung auch und gerade, dass es Publikationen geben muss, die der Lernende verwenden, heranziehen und deren Bildmaterial er einsehen bzw. vergleichen kann.

Das vorliegende Buch bietet hier in idealer Weise inhaltlich und thematisch – ausgestattet mit sehr guten Schemata und Ultraschallbildern – zu allen relevanten Bereichen der Notfallsonographie – vom Ultraschall des Abdomens bis hin zur Echokardiographie – eine hervorragende Grundlage für alle Anwender der Sonographie in der Notfall- und Intensivmedizin und denjenigen, die es werden wollen. Auch moderne Techniken wie der kontrastverstärkte Ultraschall werden eingehend vermittelt. Als begleitendes Kursbuch kann es somit für die Kurse der Notfallsonographie uneingeschränkt empfohlen werden. Ich wünsche dem Buch eine gute interdisziplinäre Akzeptanz und eine weite Verbreitung bei allen Kolleginnen und Kollegen, die im weitesten Sinne mit Notfall- und Intensivmedizin beschäftigt sind!

Dr. Stefan Nöldeke
Präsident der DEGUM 2012–2014

Garmisch-Partenkirchen, im Mai 2013

Vorwort

Die Notfallsonographie hat in den letzten Jahren an enormer Bedeutung und Interesse gewonnen. Ärzte aus unterschiedlichsten Fachdisziplinen werden in der Notaufnahme oder auf Intensivstationen tagtäglich mit dem Ultraschallgerät konfrontiert. Gerade in Notfallsituationen ist die orientierende Ultraschalldiagnostik als wegweisendes Diagnostikum nicht mehr wegzudenken. Wie das 12-Kanal-EKG wird auch in näherer Zukunft die fokussierte Sonographie bald zum Standard in der präklinischen und klinischen Notfallversorgung gehören. Dieses Buch versucht, nach dem Konzept der 3-Länder-übergreifenden Basisausbildung und dem Curriculum Notfallsonographie von DEGUM,

ÖGUM und SGUM einen interdisziplinären Nenner zu schaffen.

Die Erstellung dieses Buches wäre ohne die vorbildliche Zusammenarbeit aller beteiligten Disziplinen (Internisten, Chirurgen, Anästhesisten) undenkbar gewesen, weswegen wir uns an dieser Stelle bei allen beitragenden Autoren herzlich bedanken möchten. Damit dieses Werk weiter reifen kann, sind wir allen Lesern für Anregungen, Kritik und Verbesserungsvorschläge sehr dankbar.

Köln, im Mai 2013

Guido Michels
Natalie Jaspers

Abkürzungsliste

A	A-Welle	EMD	elektromechanische Dissoziation
ACC	Arteria carotis communis	ERC	European Resuscitation Council
ACE	Arteria carotis externa	ERCP	endoskopische retrograde Cholangiopankreatikographie
ACG	Akromioclavikulargelenk	EROA	effective regurgitant orifice area
ACI	Arteria carotis interna	ESC	European Society of Cardiology
ACLS	Advanced Cardiac Life Support	EST	European Surgery Trial
AFC	Arteria femoralis communis	ESV	endsystolisches Volumen
AFS	Arteria femoralis superficialis	FAC	fractional area change
AIDS	acquired immune deficiency syndrome	FALLS	fluid administration limited by lung sonography
AK	Aortenklappe	FATE	focused assessed transthoracic echo
ALP	anterolateraler Papillarmuskel	FAST	fokussiertes Assessment mit Sonographie bei Trauma
ALS	Advanced Life Support/erweiterte Reanimationsmaßnahmen	FEEL	fokussierte echokardiographische Evaluation bei Life Support
AML	anteriores Mitralsegel	FKDS	farbkodierte Doppler-/Duplexsonographie
A-Mode	Amplitudenmodus	FS	fractional shortening/zirkumferenzielle Verkürzungsfraction
AMS	Arteria mesenterica superior	HACEK-Gruppe	folgende gram-negative Stäbchen werden darunter zusammengefasst: Haemophilus aphrophilus/Aggregatibacter aphrophilus, Aggregatibacter actinomycetemcomitans, Cardiobacterium hominis, Eikenella corrodens, Kingella kingae
AÖF	Aortenklappenöffnungsfläche	HCC	hepatozelluläres Karzinom
AP2	apikaler Zweikammerblick	HFNEF	heart failure with normal ejection fraction
AP3	apikaler Dreikammerblick	HKB	hinteres Kreuzband
AP4	apikaler Vierkammerblick	HOCM	hypertrophische obstruktive Kardiomyopathie
AP5	apikaler Fünfkammerblick	ICU	Intensive care unit
ARDS	adult respiratory distress syndrome	IMA	Arteria mammaria interna
ASA	atriales Septumaneurysma	IMC	Intermediate Care
ATLS	Advanced Trauma Life Support	IVRT	isovolumetrische Relaxationszeit
AUG	Ausscheidungsurogramm	IVS	Interventrikularseptum
AV	arteriovenös	KG	Kniegelenk
BAA	Bauchaortenaneurysma	KHK	koronare Herzkrankheit
BLUE	„blauer Patient mit Dyspnoe“	KM	Kontrastmittel
B-Mode	brightness-mode	KM-	
CCC	cholangiozelluläres Karzinom	Sonographie	Kontrastmittelsonographie
CED	chronisch entzündliche Darmerkrankung	KRK	kolorektales Karzinom
CEUS	contrast enhanced ultrasound/ kontrastverstärkte Sonographie	LA	linkes Atrium
CHI	contrast harmonic imaging	LAA	linkes Vorhofohr
COPD	chronic obstructive pulmonary disease	lat e'	laterale Mitralklappen-annulusgeschwindigkeit im PW-/Tissue-Doppler
CPR	cardiopulmonale Reanimation	LDH	Laktatdehydrogenase
CPU	chest pain unit	Low MI-	
CRP	C-reaktives Protein	Untersuchung	Sonographie mit niedrigem mechanischem Index zur Vermeidung der vorzeitigen Bläschenzerstörung während der Kontrastuntersuchung
CW-Doppler/-sonographie	Continous-Wave-Dopplersonographie	LPA	linke Pulmonalarterie
DEGUM	Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin	LBP	„Leberblindpunktion“, sonographisch gesteuerte Punktion
DHC	Ductus hepatocholedochus	LSL	Linksseitenlage
DIC	disseminierte intravasale Coagulopathie	LVEDD	linksventrikulärer enddiastolischer Diameter
dP_{mean}	mittlerer Druckgradient		
DSA	digitale Subtraktionsangiographie		
DT	Dezelerationszeit der frühen linksventrikulären Füllung		
E	E-Welle		
EACTS	European Association for Cardio-Thoracic Surgery		
EBV	Ebstein-Barr-Virus		
EDV	end-diastolic velocity/enddiastolisches Volumen		
EF	Ejektions-/Auswurfraction		
E-FAST	extended fokussiertes Assessment mit Sonographie bei Trauma		
EFSUMB	European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology		

Abkürzungsliste

LVESD	linksventrikulärer endsystolischer Durchmesser	TI	Trikuspidalklappeninsuffizienz
LV-Funktion	linksventrikuläre Funktion	TK	Trikuspidalklappe
LVO	LV-Opazifikation	TRUE	tracheal rapid ultrasound exam
LVOT	linksventrikulärer Ausflusstrakt	TRUS	transrektaler Ultraschall
MK	Mitralklappe	TTE	transthorakale Echokardiographie
MÖF	Mitralöffnungsfläche	TTUS-	
M-Mode	motion-mode	Punktion	transthorakale ultraschallgesteuerte Punktion
MPA	Pulmonalarterienhauptstamm	TVT	tiefe Venenthrombose
MRCP	Magnetresonananz- Cholangiopankreatikographie	VATS	videoassistierte Thorakoskopie
NASCET	North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial	VCI	Vena cava inferior
NBKS	Nierenbeckenkelchsystem	VSD	Ventrikelseptumdefekt
NOMI	nonokklusive mesenteriale Ischämie	VTI	Geschwindigkeits-Zeit Integral
NSAID	nonsteroidal antiinflammatory drugs/ nichtsteroidale Antiphlogistika	WBST	Wandbewegungsstörungen
NSTEMI	Nicht-ST-Hebungsinfarkt	ZVD	zentraler Venendruck
OMI	okklusive mesenteriale Ischämie	ZVK	zentraler Venenkatheter
OSG	oberes Sprunggelenk		
PAH	pulmonale arterielle Hypertonie		
PAP_{mean}	mittlerer pulmonalarterieller Druck		
PAP_{syst}	pulmonalarterieller systolischer Druck		
PBC	primär biliäre Zirrhose		
PCR	Polymerase Kettenreaktion		
PDV	peak diastolic velocity/maximale diastolische Geschwindigkeit		
PEA	pulslose elektrische Aktivität		
PEEP	positive end-expiratory pressure		
PFO	persistierendes Foramen ovale		
PHT	pressure half time		
PI	Pulsatilitätsindex		
PICCO	pulse index contour cardiac output		
PISA	proximal isovelocity surface area		
PK	Pulmonalklappe		
PLUS	point of care limited ultrasound		
PLAX	parasternale lange Achse		
PML	posteriores Mitralsegel		
PMP	posteromedialer Papillarmuskel		
PP-Index	Verhältnis der Breite von Nierenparenchym zu Pyelon		
PRF	Pulsrepetitionsfrequenz		
PSAX	parasternale kurze Achse		
PSC	primär sklerosierende Cholangitis		
PSV	peak systolic velocity/maximale systolische Geschwindigkeit		
PTCD	perkutane transhepatische Cholangiodrainage		
PV	Pulmonalvene		
PW-Doppler	Pulsed-wave-Doppler		
RA	rechter Vorhof		
RAP	rechtsatrialer Druck		
RPA	rechte Pulmonalarterie		
RV	rechter Ventrikel		
RV-Funktion	rechtsventrikuläre Funktion		
RVOT	rechtsventrikulärer Ausflusstrakt		
RVP_{syst}	systolischer Druck im rechten Ventrikel		
STEMI	ST-Hebungsinfarkt		
TAPSE	tricuspid annular plane systolic excursion		
TAVI	transcatheter aortic valve implantation		
TBVT	tiefe Beinvenenthrombose		
TEE	transösophageale Echokardiographie		
TGC	time gain control, Tiefenausgleich		
THI	tissue harmonic imaging		

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen und Konzepte

1	Technische und physikalische Grundlagen, Geräte	3
	<i>Natalie Jaspers, Guido Michels</i>	
1.1	Technische und physikalische Grundlagen	4
1.1.1	Definition des Ultraschalls bzw. der Sonographie.....	4
1.1.2	Erzeugung, Ausbreitung und Empfang von Ultraschallwellen	4
1.1.3	Bildentstehung.....	7
1.1.4	Artefakte	8
1.2	Geräteeinstellungen	12
1.2.1	Geräteparameter	12
1.2.2	Sondentypen	13
	Literatur	13
2	Klinische Integration der fokussierten Notfallsonographie: neue Möglichkeiten?	15
	<i>Raoul Breitzkreutz, Dorothea Hempel, Guido Michels, Armin Seibel</i>	
2.1	Einführung: Echtzeitbildgebung und klinisch integrierbare Ultraschallprotokolle	16
2.1.1	Notfallsonographie in den klinischen Kontext eingebettet.....	16
2.1.2	Konventionelle Sonographie versus klinische Integration	16
2.2	Technische Voraussetzungen für die klinische Integration: personalisierte Anwendung	18
2.3	Integration in die körperliche Untersuchung: „Points of interest“ werden untersucht	21
2.4	Möglichkeiten der Integration in Patientenpfade: Beispiel tiefe Beinvenenthrombose	22
2.5	Neue Möglichkeiten der Integration in Interventionen und Therapiesteuerung oder Monitoring (Therapie)	22
2.5.1	FALLS-Protokoll	22
2.5.2	Klinische Integration innerhalb von Interventionen: ultraschall-geführte Punktionen.....	23
2.5.3	Klinische Integration in Stationsvisite und Prozessmanagement.....	23
2.6	Möglichkeiten der Integration in komplexe Prozesse (Diagnostik und Therapie)	23
2.6.1	Reanimation – ALS: Einpassen der FEEL-Funktionsbeurteilung	23
	Literatur	25
3	E-FAST	27
	<i>Alexander Dinse-Lambracht, Eberhard Reithmeier, Armin Seibel, Raoul Breitzkreutz</i>	
3.1	Allgemeine Grundlagen	28
3.1.1	Einführung und Stellung im Schockraum-Algorithmus	28
3.1.2	Schallkopfwahl, Schallkopfpositionen	28
3.2	Untersuchungsablauf	29
3.2.1	Allgemeines	29
3.2.2	Vorbereitungen	29
3.2.3	Standardanlotungen, Untersuchungsgang und Sonoanatomie	30
3.3	Pathologien in der Bilddarstellung	31
3.3.1	Freie Flüssigkeit im Abdomen	31
3.3.2	Hämatothorax, Pleuraerguss	33
3.3.3	Perikarderguss, Perikardtamponade	33
3.3.4	Pneumothorax	33
3.4	Zusammenfassung	36
	Literatur	36

4	FEEL	39
	<i>Daniel Kiefl, Armin Seibel, Guido Michels, Raoul Breikreutz</i>	
4.1	Allgemeine Grundlagen	40
4.1.1	Einführung	40
4.1.2	Schallkopfwahl, -positionen und Sonoanatomie	40
4.2	Untersuchungsablauf und Integration in den Advanced Life Support (ALS)	42
4.2.1	Allgemeines	42
4.2.2	Vorbereitungen	42
4.2.3	Untersuchungsgang	42
4.3	Behandelbare Ursachen eines Kreislaufstillstandes	43
4.3.1	Hypovolämie	44
4.3.2	Perikardtamponade	44
4.3.3	Lungenarterienembolie	45
4.4	Qualitative Beurteilung der linksventrikulären Funktion	45
4.4.1	LV-Pumpfunktion	45
4.5	Kammerflimmern, PEA und Pseudo-PEA	45
4.5.1	Kammerflimmern	45
4.5.2	Pulslose elektrische Aktivität: echte PEA	45
4.5.3	Pulslose elektrische Aktivität: Pseudo-PEA	45
	Literatur	46
II	Notfallsonographie von Herz, Lunge und Pleura	
5	Echokardiographische Standardschnitte	49
	<i>Henrik ten Freyhaus, Volker Rudolph, Guido Michels</i>	
5.1	Transthorakale Echokardiographie (TTE)	50
5.2	Transösophageale Echokardiographie (TEE)	50
5.2.1	Untersuchung	50
	Literatur	56
6	Linkes Herz	57
	<i>Henrik ten Freyhaus, Guido Michels, Roman Pfister</i>	
6.1	Beurteilung der systolischen und diastolischen linksventrikulären Funktion (LV-Funktion)	58
6.1.1	Systolische LV-Funktion	58
6.1.2	Diastolische LV-Funktion	59
6.2	Aorten- und Mitralklappe	62
6.2.1	Aortenklappenstenose	62
6.2.2	Aortenklappeninsuffizienz	64
6.2.3	Mitralklappenstenose	66
6.2.4	Mitralklappeninsuffizienz	67
	Literatur	71
7	Koronare Herzkrankheit, akute Dyspnoe, akuter Thoraxschmerz	73
	<i>Henrik ten Freyhaus, Guido Michels</i>	
	Literatur	76
8	Rechtes Herz	77
	<i>Henrik ten Freyhaus</i>	
8.1	Morphologische Parameter	78
8.1.1	Rechter Ventrikel (RV)	78
8.1.2	Rechtes Atrium (RA)	78

8.1.3	Septumbeweglichkeit	79
8.1.4	RV-Hypertrophie	79
8.1.5	Perikarderguss	80
8.2	Hämodynamische Parameter	80
8.2.1	Bestimmung des PAP _{sys} und Beurteilung der Trikuspidalklappe	80
8.2.2	Bestimmung des PAP _{mean} und Beurteilung der Pulmonalklappe	81
8.3	Funktionelle Parameter	82
8.3.1	TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion)	82
8.3.2	FAC (fractional area change)	82
8.3.3	Tei-Index	82
8.3.4	S'-Geschwindigkeit (S')	83
8.4	Minimalprogramm Rechtsherzchokardiographie	83
	Literatur	83
9	Perikarderkrankungen, Endokarditis, kardiale Emboliequellen	85
	<i>Henrik ten Freyhaus, Guido Michels, Roman Pfister</i>	
9.1	Perikarderkrankungen	86
9.1.1	Perikarderguss und konstriktive Perikarditis	86
9.2	Endokarditis	87
9.3	Kardiale Emboliequellensuche	89
10	Transtorakale Echokardiographie – Minimalprogramm	91
	<i>Henrik ten Freyhaus, Guido Michels</i>	
11	Lunge und Pleura	93
	<i>Peter Michael Zechner, Armin Seibel, Raoul Breitkreutz</i>	
11.1	Sonoanatomie und Artefakte	94
11.1.1	Weichteilgewebe und knöcherner Thorax	94
11.1.2	Pleuralinie und Lungengleiten	94
11.1.3	Lungenpuls	94
11.1.4	Reverberationsartefakte	94
11.1.5	B-Linien	94
11.1.6	Schallkopfwahl	96
11.2	Untersuchungsablauf	96
11.3	Pleuraerguss	96
11.4	Pneumothorax	97
11.5	Lungenödem/interstitielles Syndrom	98
11.6	Lungenkonsolidierungen	99
11.6.1	Pneumonie	99
11.6.2	Pulmonalarterienembolie	99
11.6.3	Kompressionsatelektase	100
	Literatur	100
III	Notfallsonographie des Abdomens	
12	Leber	103
	<i>Natalie Jaspers</i>	
12.1	Sonoanatomie und Normalbefunde	104
12.1.1	Lebertopographie	104
12.1.2	Segmenteinteilung der Leber	104

12.1.3	Gefäßstrukturen der Leber	104
12.1.4	Morphologie der Leber	104
12.2	Wichtige pathologische Befunde	109
12.2.1	Akute Hepatitis	109
12.2.2	Akute Stauungsleber	110
12.2.3	Leberabszess	110
12.2.4	Leberhämatom, Leberbiliom	111
12.2.5	Leberinfarkt	113
12.2.6	Akute Pfortaderthrombose	113
12.2.7	Budd-Chiari-Syndrom	113
	Literatur	114
13	Gallenblase und Gallenwege	115
	<i>Natalie Jaspers, Horst Kinkel</i>	
13.1	Sonoanatomie und Normalbefunde	116
13.1.1	Topographie und Anatomie der Gallenblase und Gallenwege	116
13.2	Wichtige pathologische Befunde	116
13.2.1	Akute Cholezystitis	116
13.2.2	Cholestase	119
13.2.3	Choledocholithiasis	119
	Literatur	120
14	Pankreas	121
	<i>Natalie Jaspers</i>	
14.1	Sonoanatomie und Normalbefunde	122
14.1.1	Topographie und Morphologie des Pankreas	122
14.2	Wichtige pathologische Befunde	122
14.2.1	Akute Pankreatitis	122
	Literatur	124
15	Milz	125
	<i>Natalie Jaspers</i>	
15.1	Sonoanatomie und Normalbefunde	126
15.1.1	Topographie der Milz	126
15.1.2	Morphologie der Milz	126
15.1.3	Gefäßstrukturen der Milz	126
15.2	Wichtige pathologische Befunde	126
15.2.1	Splenomegalie	126
15.2.2	Milzruptur	126
15.2.3	Milzinfarkt	128
15.2.4	Milzabszess	128
	Literatur	129
16	Magen und Darm	131
	<i>Natalie Jaspers</i>	
16.1	Sonoanatomie und Normalbefunde	132
16.1.1	Topographie des Gastrointestinaltraktes	132
16.1.2	Morphologie des Gastrointestinaltraktes	132
16.1.3	Gefäßstrukturen des Gastrointestinaltraktes	132
16.2	Wichtige pathologische Befunde	134
16.2.1	Magen- oder Duodenalektasie	134
16.2.2	Ulcus ventriculi sive duodeni	135

16.2.3 Ileus 136
 16.2.4 Invagination/Intussuszeption 137
 16.2.5 Divertikulitis 138
 16.2.6 Akute Appendizitis 139
 16.2.7 Ischämische Kolitis 141
 Literatur 142

17 Bauchwand, Peritonealhöhle und Retroperitoneum 143

Natalie Jaspers, Guido Michels

17.1 **Sonoanatomie und Normalbefunde** 144
 17.1.1 Topographie und Anatomie der Bauchwand 144
 17.1.2 Topographie und Anatomie der Cavitas abdominis 144
 17.1.3 Gefäße des Retroperitoneums 144
 17.2 **Wichtige pathologische Befunde der Bauchwand** 144
 17.2.1 Bauchwandhernien 144
 17.3 **Wichtige pathologische Befunde der Peritonealhöhle** 148
 17.4 **Wichtige pathologische Befunde des Retroperitoneums** 148
 17.5 **Weiterführende Diagnostik** 148
 Literatur 152

IV Notfallsonographie des Urogenitaltrakts

18 Niere, ableitende Harnwege und Harnblase 155

Natalie Jaspers, Stefanie Hauslaib

18.1 **Sonoanatomie und Normalbefunde** 156
 18.1.1 Topographie der Nieren, Ureteren und Harnblase 156
 18.1.2 Morphologie der Nieren, Ureteren und Harnblase 156
 18.1.3 Gefäßstrukturen der Nieren und Harnblase 157
 18.2 **Wichtige pathologische Befunde** 157
 18.2.1 Harnstau 157
 18.2.2 Nierensteine und Verkalkungen 158
 18.2.3 Nierenverletzungen 160
 18.2.4 Akute Pyelonephritis 161
 18.2.5 Akuter Harnverhalt 162
 18.2.6 Akute Zystitis 162
 18.2.7 Blutkoagel/Blasentamponade 163
 Literatur 163

19 Genitalbereich 165

Natalie Jaspers

19.1 **Sonoanatomie und Normalbefunde** 166
 19.1.1 Topographie, Anatomie und Sonomorphologie von Prostata, Samenbläschen, Hoden und Nebenhoden 166
 19.1.2 Topographie, Anatomie und Sonomorphologie von Uterus, Vagina, Tuben und Ovarien 166
 19.2 **Wichtige pathologische Befunde** 167
 19.2.1 Akute Prostatitis 167
 19.2.2 Akutes Skrotum 167
 19.2.3 Extrauterin gravidität 168
 19.2.4 Adnexitis 170
 19.2.5 Zystische Ovarveränderungen 171
 Literatur 172

V Notfallsonographie von Arterien und Venen

20	Arterien und Venen	175
	<i>Christoph Feldmann</i>	
20.1	Hirnversorgende Arterien	176
20.1.1	Stenose der A. carotis interna (ACI)	176
20.1.2	Verschluss der A. carotis communis (ACC)	177
20.1.3	Verschluss der A. carotis interna (ACI)	178
20.1.4	Verschluss der A. vertebralis	178
20.2	Periphere Arterien	178
20.2.1	Akuter arterieller Verschluss	178
20.2.2	Arterielle Dissektion	185
20.2.3	Arterienverletzungen	186
20.3	Venen	187
20.3.1	Tiefe Becken- und Beinvenenthrombose	187
20.3.2	Weitere Thrombosen	190
	Literatur	191

VI Notfallsonographie des Bewegungsapparates

21	Bewegungsorgane	195
	<i>Benedikt Friemert, Gerhard Achatz</i>	
21.1	Allgemeine Befunde	196
21.1.1	Hämatom	196
21.1.2	Serom	196
21.1.3	Gelenkerguss	196
21.1.4	Abszess	196
21.1.5	Ödem	197
21.1.6	Tendovaginitis	198
21.2	Schulter	199
21.2.1	Bursitis subdeltoidea/subacromialis	199
21.2.2	Tendinitis calcarea	199
21.2.3	Rotatorenmanschettenruptur	199
21.2.4	Erguss/Luxation im Acromioclaviculargelenk (ACG)	200
21.2.5	Tendovaginitis bicipitalis, Bizepssehnenruptur, Bizepssehnenluxation	200
21.3	Ellenbogengelenk	202
21.3.1	Bursitis olecrani	202
21.3.2	Ellenbogengerguss	203
21.4	Handgelenk	203
21.4.1	Handgelenk-/Fingergelenkganglion	203
21.4.2	Sehnenruptur	203
21.5	Hüfte	204
21.5.1	Bursitis trochanterica	204
21.5.2	Hüftgelenkerguss	204
21.6	Knie	205
21.6.1	Bursitis präpatellaris/infrapatellaris	205
21.6.2	Baker-Zyste	206
21.6.3	Kniegelenkerguss	206
21.6.4	Quadrizepssehnenruptur	207
21.6.5	Innenbanddistension/-ruptur	207

21.6.6 Außenbandruptur 207
 21.6.7 Patellaspitzenyndrom 208
 21.7 Oberes Sprunggelenk (OSG) 208
 21.7.1 Gelenkerguss 208
 21.7.2 Achillodynie/Achillessehnenruptur 208

VII Kontrastmittelsonographie und sonographiegesteuerte Punktionen

22 Kontrastmittelsonographie in Notfallsituationen 213
Horst Kinkel

22.1 **Untersuchungsvoraussetzungen und Durchführung** 214
 22.1.1 Patientenvorbereitung 214
 22.1.2 Durchführung der Untersuchung 214
 22.2 **EFSUMB-Leitlinien** 215
 22.2.1 Grundsätzliches 215
 22.3 **Traumatische Organverletzungen** 215
 22.3.1 Grundsätzliches 215
 22.3.2 Lebertrauma 216
 22.3.3 Milztrauma 217
 22.3.4 Nierentrauma 217
 22.3.5 Pankreustrauma 218
 22.3.6 Bauchaortenaneurysma (BAA) 219
 22.3.7 Darmtrauma 219
 22.3.8 Bauchdeckentrauma 219
 22.3.9 Intraabdominelle oder retroperitoneale Hämatome 220
 22.4 **Akute Durchblutungsstörungen** 221
 22.4.1 Grundsätzliches 221
 22.4.2 Niereninfarkt 221
 22.4.3 Milzinfarkt 221
 22.4.4 Leberinfarkt 222
 22.4.5 Akute Darmischämie 222
 Literatur 222

23 Sonographiegesteuerte Punktionen 223
Guido Michels, Natalie Jaspers, Roman Pfister

23.1 **Ultraschallunterstützte Punktion der V. jugularis interna** 224
 23.1.1 Allgemeines 224
 23.1.2 Indikationen 224
 23.1.3 Vorbereitung 224
 23.1.4 Durchführung der Punktion der V. jugularis interna 224
 23.1.5 Nachsorge 228
 23.2 **Ultraschallunterstützte Aszitespunktion** 229
 23.2.1 Allgemeines 229
 23.2.2 Indikationen 230
 23.2.3 Vorbereitung 231
 23.2.4 Durchführung 231
 23.2.5 Nachsorge 232
 23.3 **Ultraschallunterstützte Perikardpunktion** 233
 23.3.1 Allgemeines 233
 23.3.2 Indikationen 234

23.3.3	Vorbereitung.....	235
23.3.4	Durchführung.....	235
23.3.5	Nachsorge.....	237
23.4	Ultraschallunterstützte transthorakale Punktion	238
23.4.1	Allgemeines.....	238
23.4.2	Indikationen.....	239
23.4.3	Vorbereitung.....	239
23.4.4	Durchführung.....	241
23.4.5	Nachsorge.....	243
	Literatur.....	243
	Serviceteil	245
	Stichwortverzeichnis.....	246

Autorenverzeichnis

Achatz, Gerhard, Dr. med.

Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Oberer Eselsberg 40
89081 Ulm
dr.achatz@t-online.de

Breitkreutz, Raoul, Priv.-Doz. Dr. med.

Zentrale Notaufnahme, Klinikum Frankfurt (Höchst)
Gotenstraße 6–8
65929 Frankfurt
raoul.breitkreutz@gmail.com

Dinse-Lambracht, Alexander, Dr. med.

Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Ulm
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm
alexander.dinse@uni-ulm.de

Feldmann, Christoph, Dr. med.

Medizinische Klinik und Kardio-Diabetes-Zentrum,
St. Antonius Krankenhaus
Schillerstraße 23
50968 Köln
feldmann@antonius-koeln.de

Friemert, Benedikt, Prof. Dr. med.

Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Oberer Eselsberg 40
89081 Ulm
benediktfriemert@t-online.de

Hauslaib, Stefanie, Dr. med.

Universitätsklinikum Köln
Klinik II für Innere Medizin
Kerpenerstraße 62
50937 Köln
stefanie.hauslaib@uk-koeln.de

Hempel, Dorothea, Dr. med.

2. Medizinische Klinik und Poliklinik,
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg Universität
Mainz
Langenbeckstraße 1
55131 Mainz
dorothea.hempel@unimedizin-mainz.de

Jaspers, Natalie, Dr. med.

Klinik für Gastroenterologie und Hepatologie
am Abdominalzentrum, Universitätsklinikum Köln
Kerpenerstraße 62
50937 Köln
natalie.jaspers@uk-koeln.de

Kiefl, Daniel, Dr. med.

Aufnahme- und Notfallzentrum,
Sana Klinikum Offenbach
Starkenburgring 66
63069 Offenbach
dkiefl@klinikum-offenbach.de

Kinkel, Horst, Dr. med.

Medizinische Klinik II, Klinik für Gastroenterologie,
Hepatologie und Diabetologie, Krankenhaus Düren
Roonstraße 30
52351 Düren
dr.horst.kinkel@t-online.de

Michels, Guido, Priv.-Doz. Dr. med.

Klinik III für Innere Medizin,
Herzzentrum der Universität Köln,
Universitätsklinikum Köln
Kerpenerstraße 62
50937 Köln
guido.michels@uk-koeln.de

Pfister, Roman, Priv.-Doz. Dr. med.

Klinik III für Innere Medizin,
Herzzentrum der Universität Köln,
Universitätsklinikum Köln
Kerpenerstraße 62
50937 Köln
roman.pfister@uk-koeln.de

Reithmeier, Eberhard, Dr. med.

Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Ulm
Albert-Einstein-Allee 23
89081 Ulm
eberhard.reithmeier@uni-ulm.de

Rudolph, Volker, Priv.-Doz. Dr. med.

Klinik III für Innere Medizin,
Herzzentrum der Universität Köln,
Universitätsklinikum Köln
Kerpenerstraße 62
50937 Köln
volker.rudolph@uk-koeln.de

Autorenverzeichnis**Seibel, Armin, Dr. med.**

Abteilung für Anästhesiologie, Intensiv-
und Notfallmedizin, Diakonie Klinikum Jung-Stilling
Wichernstraße 40
57074 Siegen
arminseibel1@hotmail.de

ten Freyhaus, Henrik, Dr. med.

Klinik III für Innere Medizin,
Herzzentrum der Universität Köln,
Universitätsklinikum Köln
Kerpenerstraße 62
50937 Köln
henrik.ten-freyhaus@uk-koeln.de

Zechner, Peter Michael, Dr. med.

Abteilung für Innere Medizin,
Landeskrankenhaus Graz West
Göstingerstrasse 22
A-8020 Graz
pm.zechner@gmail.com

Grundlagen und Konzepte

- Kapitel 1** **Technische und physikalische Grundlagen, Geräte – 3**
Natalie Jaspers, Guido Michels
- Kapitel 2** **Klinische Integration der fokussierten
Notfallsonographie: neue Möglichkeiten? – 15**
*Raoul Breitzkreutz, Dorothea Hempel,
Guido Michels, Armin Seibel*
- Kapitel 3** **E-FAST – 27**
*Alexander Dinse-Lambracht, Eberhard
Reithmeier, Armin Seibel, Raoul Breitzkreutz*
- Kapitel 4** **FEEL – 39**
Daniel Kiefl, Armin Seibel, Guido Michels, Raoul Breitzkreutz

Technische und physikalische Grundlagen, Geräte

Natalie Jaspers, Guido Michels

- 1.1 Technische und physikalische Grundlagen – 4**
 - 1.1.1 Definition des Ultraschalls bzw. der Sonographie – 4
 - 1.1.2 Erzeugung, Ausbreitung und Empfang von Ultraschallwellen – 4
 - 1.1.3 Bildentstehung – 7
 - 1.1.4 Artefakte – 8
- 1.2 Geräteeinstellungen – 12**
 - 1.2.1 Geräteparameter – 12
 - 1.2.2 Sondentypen – 13
- Literatur – 13**

Das Wissen über die physikalischen Grundlagen der Ultraschall-diagnostik ist für den sonographisch tätigen Mediziner unentbehrlich. Nur so kann über den differenzierten Einsatz unterschiedlicher Schallköpfe, Optimierung der Geräteparameter, Zuhilfenahme der Dopplerfunktionen etc. sinnvoll entschieden und der Ultraschallbefund bestmöglich dargestellt werden.

1.1 Technische und physikalische Grundlagen

1.1.1 Definition des Ultraschalls bzw. der Sonographie

Definition

Ultraschall: Schallwellen mit Frequenzen, die oberhalb des vom Menschen wahrnehmbaren Frequenzbereichs (>20.000 Hz) liegen.

Unter **Infraschall** werden Schallfrequenzen unterhalb von 20 Hz verstanden. Das **menschliche Gehör** umfasst normalerweise 20–20.000 Hz (■ Abb. 1.1)

Definition

Sonographie- oder Ultraschalldiagnostik: Nutzung der (teilweisen) Reflexion von Ultraschallwellen an Grenzflächen unterschiedlicher Gewebe im Körper zur Beurteilung der Organe.

1.1.2 Erzeugung, Ausbreitung und Empfang von Ultraschallwellen

Piezoelektrischer Effekt

Definition

Piezoelektrischer Effekt: Werden elastische Körper verformt, entsteht eine elektrische Polarisation bzw. eine elektrische Spannung.

Die Entdeckung des piezoelektrischen Effekts gelang dem Ehepaar **Curie** im Jahre **1880**.

Definition

Indirekter piezoelektrischer Effekt: Bei Anlage einer Wechselspannung werden elastische Körper verformt.

Bei der Sonographie regt eine hochfrequente elektrische Spannung spezielle im Schallkopf eingelagerte Kristalle zu Schwingungen an (**indirekter Piezoeffekt**). Diese Schwingungen erzeugen Druckschwankungen in Form von Ultraschallwellen. Durch zurückkehrende, auf die Kristalle im Schallkopf auftreffende Ultraschallwellen entsteht eine Spannung (**direkter Piezoeffekt**). Im Ultraschallgerät werden diese elektrischen Signale in Bildpunkte umgewandelt.

Impuls-Echo-Verfahren

Schallköpfe sind Sonden, die Schallwellen (bzw. eine Serie von Ultraschallwellen) aussenden und reflektierte, zum Schallkopf zurückkehrende Schallwellen empfangen können.

Prinzip des **Echolots**: Aus der Laufzeit (Zeit zwischen dem ausgesendeten Impuls und dem reflektierten und wieder empfangenen Signal) kann – bei bekannter Schallgeschwindigkeit – die Tiefe bzw. die Entfernung des Reflektors errechnet werden.

Die Entwicklung des Echolotprinzips durch den Physiker **Behm 1921** wurde nach dem Untergang der Titanic zur Vermeidung ähnlicher Katastrophen in der Schifffahrt entwickelt (■ Abb. 1.2).

Ausbreitung von Ultraschall im biologischen Gewebe

Grundlagen und Kenngrößen zu Schallwellen

Schallwellen (■ Abb. 1.3)

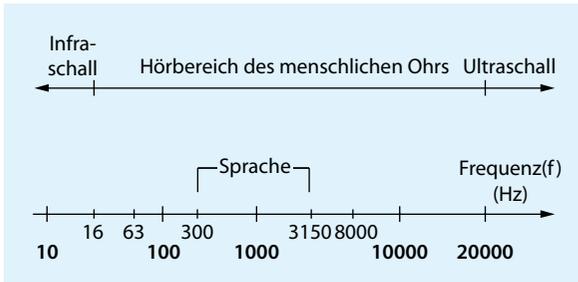
- sind an Materie gebunden,
- sind im Vakuum nicht ausbreitungsfähig,
- breiten sich in Luft, Flüssigkeiten sowie biologischem Gewebe in Form von Longitudinalwellen bzw. von Zonen mit Über- und Unterdruck (**Verdichtungs- und Verdünnungszonen**) aus.

Kenngrößen von Schallwellen

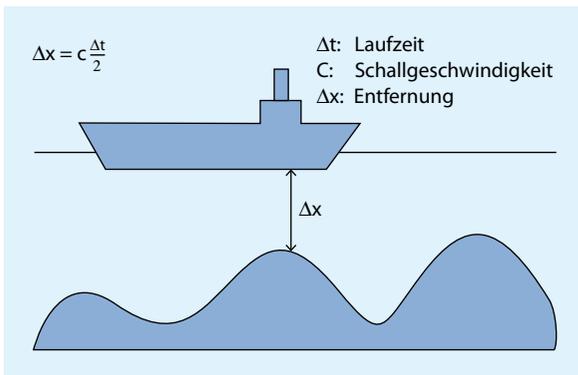
- **Amplitude:** maximaler Druck, „Höhe“ der Welle
- **Frequenz (f):** Anzahl der Schwingungen pro Sekunde (1/sec)
- **Wellenlänge (λ):** Abstand zweier Wellenberge bzw. minimaler Abstand der Punkte gleicher Phase (m)
- **Schallgeschwindigkeit (c):** Geschwindigkeit, mit der sich Schallwellen in einem beliebigen Medium ausbreiten (m/s)

Den physikalischen Zusammenhang zwischen **Schallgeschwindigkeit c**, **Frequenz f** und **Wellenlänge λ** gibt folgende Formel wieder:

$$c = f \times \lambda \quad (\text{m/sec} = 1/\text{sec} \times \text{m}).$$



■ **Abb. 1.1** Frequenzbereiche. Aus Michels und Jaspers (2012) Sonographie organ- und leitsymptomorientiert. Springer, Heidelberg



■ **Abb. 1.2** Prinzip des Echolots. Berechnung der Entfernung. Aus Michels und Jaspers (2012) Sonographie organ- und leitsymptomorientiert. Springer, Heidelberg

Die **Wellenlänge** ist ein Maß für Detailerkennbarkeit:

- je kürzer die Wellenlänge, desto geringer die Größe gerade noch erkennbarer Strukturen,
- je größer die Wellenlänge, desto schlechter die Auflösung.

Schallgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Geweben

Schallgeschwindigkeit:

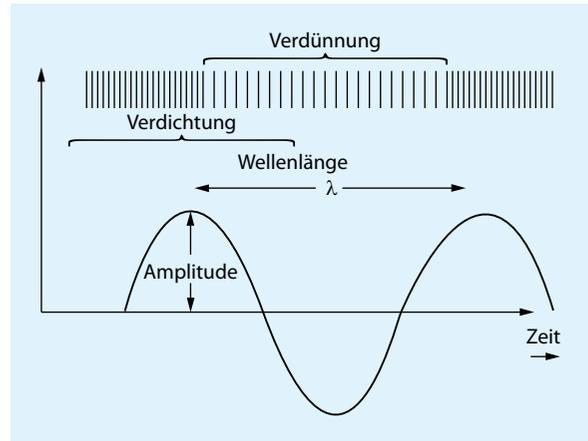
- ist abhängig vom schwingenden Medium bzw. von dessen Dichte und Kompressibilität,
- nimmt mit der Steifigkeit („Festigkeit“) der Materie zu,
- ist z. B. in Knochen deutlich höher als in Luft (■ **Tab. 1.1**).

Ultraschallsysteme legen eine Schallgeschwindigkeit (Laufgeschwindigkeit) im Gewebe von 1540 m/sec zugrunde.

Auflösungsvermögen

Definition

Auflösungsvermögen: Unterscheidbarkeit feiner Strukturen bzw. Mindestabstand, damit 2 Objekte gerade noch voneinander unterschieden werden können.



■ **Abb. 1.3** Einfacher Schwingungsvorgang. Aus Michels und Jaspers (2012) Sonographie organ- und leitsymptomorientiert. Springer, Heidelberg

■ **Tab. 1.1** Laufgeschwindigkeiten von Ultraschallwellen in unterschiedlichen Geweben

Medium	Schallgeschwindigkeit (m/s)
Luft	340
Wasser	1500
Weichteilgewebe	1540
Leber	1549
Niere	1561
Muskel	1570
Knochen	3600

Hauptdeterminanten für das räumliche Auflösungsvermögen:

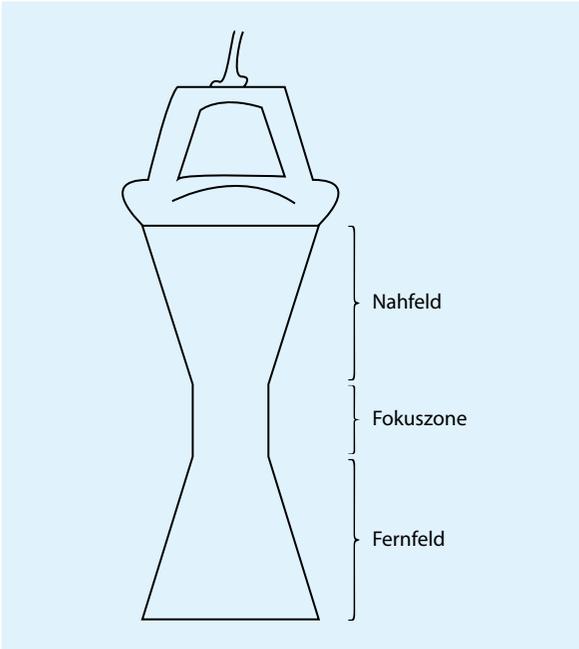
- verwendete Sendefrequenz/Wellenlänge,
- Schallkopfformat (Dicke des Schallstrahls),
- Dauer des Anregesignals.

➤ **Je höher die Sendefrequenz bzw. je kleiner die Wellenlänge, umso besser die Auflösung.**

Axiales Auflösungsvermögen

Axiales Auflösungsvermögen bezeichnet

- das Auflösungsvermögen in Ausbreitungsrichtung der Schallwellen,
- den kleinsten Abstand zwischen 2 in Ausbreitungsrichtung des Ultraschallsignals liegenden reflektierenden Gewebeschichten, die gerade noch getrennt wahrgenommen werden können.



■ **Abb. 1.4** Schallfeld mit Fokuszone. Keulenförmige Form des Schallfeldes durch Bündelung der Schallwellen in der Fokuszone. Aus Michels und Jaspers (2012) Sonographie organ- und leitsymptomorientiert. Springer, Heidelberg

Das axiale Auflösungsvermögen ist durch die Länge eines Ultraschallimpulses bestimmt und entspricht meist einer oder mehrerer Schallwellenlängen.

Laterales Auflösungsvermögen

Das laterale Auflösungsvermögen meint

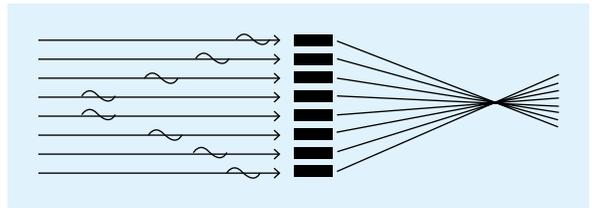
- das Auflösungsvermögen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Schallwellen,
- den kleinsten Abstand zwischen 2 quer zur Ausbreitungsrichtung des Ultraschallsignals liegenden reflektierenden Gewebeschichten, die gerade noch getrennt wahrgenommen werden können.

Das seitliche Auflösungsvermögen ist abhängig von der Breite des Schallfeldes bzw. von der Dichte der Schallwellen in einem bestimmten Bereich und ist am größten in der Fokuszone. Insgesamt ist das seitliche Auflösungsvermögen geringer als das axiale (etwa 2- bis 3-mal schlechter).

Fokussierung

Je schmaler das Ultraschallfeld (also je dichter die Schallwellen an einem Ort), desto größer die Detailerkennbarkeit in der sog. **Fokuszone** (■ **Abb. 1.4**).

- **Das Ultraschallfeld ist in der Fokuszone durch Bündelung der Schallwellen am schmalsten, die Auflösung hier am besten.**



■ **Abb. 1.5** Elektronische Fokussierung. Aus Michels und Jaspers (2012) Sonographie organ- und leitsymptomorientiert. Springer, Heidelberg

Mittels der **elektronischen Fokussierung** wird eine Verschiebung der Fokuszone in variable Tiefen durch zeitlich versetzte Ansteuerung der Piezoelemente erreicht (■ **Abb. 1.5**). Bei modernen Ultraschallgeräten ist auch die Verwendung mehrerer Fokuszonen möglich (aber nur auf Kosten einer Verminderung der Bildwiederholungsrate wegen der für jede Fokusslage erneut anzusteuernenden Schallelemente).

Zusammenhang zwischen Frequenz, Auflösungsvermögen und Eindringtiefe

- **Es gilt:**
 - **hohe Frequenz, gutes Auflösungsvermögen, geringe Eindringtiefe,**
 - **niedrige Frequenz, schlechteres Auflösungsvermögen, bessere Eindringtiefe.**

Die Eindringtiefe wird außerdem durch Streuung und Absorption beeinflusst.

So empfehlen sich z. B. **3,5 MHz-Konvexscanner** für die **Abdomensonographie** mit guter Eindringtiefe, aber eingeschränkter Detailerkennbarkeit, bzw. ein **7,5 MHz-Linearschallkopf** für **Small parts, Darmsonographie, Pleurasonographie, Bauchdecke und Peritoneum** etc. mit hoher Ortsauflösung, aber nur geringer Eindringtiefe.

Schallwelleneigenschaften und Abschwächungsmechanismen

Reflexion

Die Reflexion von Schallwellen an Grenzflächen im Körper ist Grundlage für die Darstellung von Organen mit der Ultraschalltechnik.

Definition

Impedanz: Widerstand, der der Ausbreitung von Schallwellen entgegenwirkt.

Die Impedanz wird durch die Eigenschaften des Ausbreitungsmediums nach der Formel



■ **Abb. 1.6** Totalreflexion an Knochen. Retroperitoneale Gefäße, Wirbelsäule

$$Z = \rho \times c$$

bestimmt ($Z = \text{Impedanz [kg/sec} \times \text{m}^2]$; $\rho = \text{Dichte der Materie [kg/m}^3]$; $c = \text{Schallgeschwindigkeit [m/sec]}$). So beträgt die Impedanz z. B. von Luft $0,0004 \text{ kg/sec} \times \text{m}^2$, von Knochen $6,66 \text{ kg/sec} \times \text{m}^2$, von sonstigen Geweben $1,4\text{--}1,7 \text{ kg/sec} \times \text{m}^2$.

- **Je größer der Impedanzunterschied an der Grenzfläche zwischen zwei Stoffen, desto stärker die Reflexion von Schallwellen.**

Eine **Totalreflexion** entsteht z. B. beim Übergang von Weichteilgewebe zu Knochen, Kalk, Metall oder Luft, d. h. es entsteht ein Echo mit sehr hoher Intensität, dorsal davon ein Schallschatten (■ [Abb. 1.6](#), ■ [Abb. 1.7](#)).

Die Intensität der reflektierten Welle ist proportional zur resultierenden Amplitude des elektrischen Signals. Jeder Amplitudenhöhe wird ein Helligkeitswert (bzw. Grauwert, z. B. 0= schwarz, 100= weiß) zugeordnet:

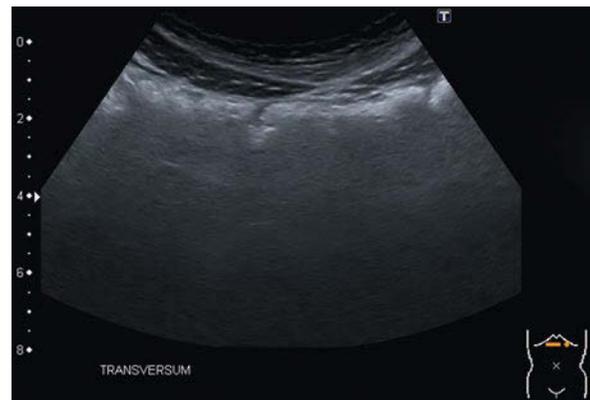
- schwache Intensität der reflektierten Welle → dunkle Punkte,
- starke Intensität der reflektierten Welle → helle Punkte.

Streuung

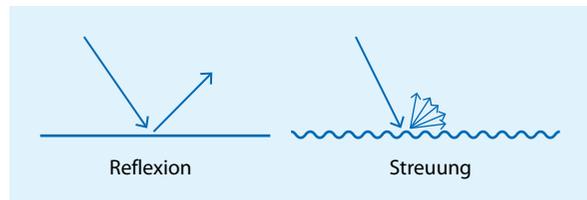
Auf glatte Oberflächen treffende Schallwellen erfahren eine **gerichtete Reflexion** (Einfallswinkel = Ausfallswinkel, ■ [Abb. 1.8](#)). Rauhe Oberflächen führen zu einer **Streuung** der Schallwellen.

- **Je kleiner die Reflektoren im Vergleich zur Wellenlänge des Schalls, desto größer ist die Fraktion der gestreuten Echos.**

Streuechos sind maßgeblich für die Texturmuster der Organe verantwortlich.



■ **Abb. 1.7** Totalreflexion an Luft. Colon transversum, Oberbauchlängsschnitt



■ **Abb. 1.8** Reflexion und Streuung. Aus [Michels und Jaspers \(2012\)](#) Sonographie organ- und leitsymptomorientiert. Springer, Heidelberg

Absorption und Dämpfung

Reibungskräfte dämpfen Schallwellen ab, wobei Wärme entsteht. Dabei verringert sich die Wellenamplitude, als Folge wird die Intensität der reflektierten Welle abgeschwächt.

- **Dämpfung ist im Gewebe nahezu proportional zur Ultraschallfrequenz, deshalb gilt je größer die erforderliche Eindringtiefe ist, desto niedriger sollte die Sendefrequenz sein.**

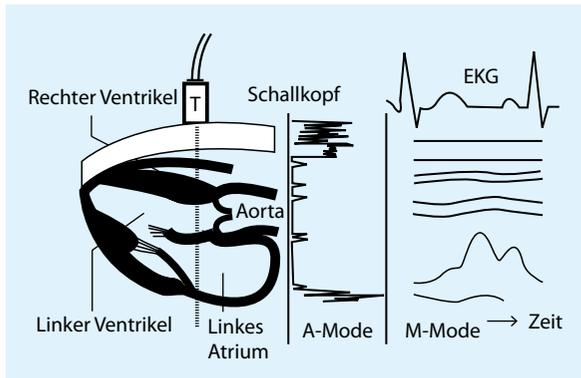
Brechung

Brechung bezeichnet die Änderung der Ausbreitungsrichtung von Schallwellen, die schräg auf Grenzflächen treffen, v. a. auf Grenzflächen mit glatter Oberfläche und hoher Impedanz.

1.1.3 Bildentstehung

A-Mode

Mit A-Mode (Amplitudenmodus, ■ [Abb. 1.9](#)) wird die einfachste Umsetzung des Impuls-Echo-Prinzips, die erste Darstellungsform in der Sonographie, beschrieben. Hierbei kommt es zu einer eindimensionalen Abbildung der reflektierten Schallwellen in einem Diagramm, d. h. einer Darstellung der empfangenen Echos in Abhängigkeit



■ **Abb. 1.9** A-Mode und M-Mode. Zeitabhängige Messungen zur Darstellung von Bewegungen im M-Mode. Aus Michels und Jaspers (2012) Sonographie organ- und leitsymptomorientiert. Springer, Heidelberg

von der Zeit. Die Echostärke entspricht dabei der Amplitude. Hintereinander dargestellte Amplituden entsprechen Echos aus der jeweiligen Eindringtiefe: Je höher die Amplitude, desto echoreicher ist Gewebe in der entsprechenden Tiefe.

Der A-Mode wird heutzutage kaum noch angewendet: selten in der Augenheilkunde (Dickenbestimmung der Hornhaut) oder in der HNO (z. B. Nasennebenhöhlendiagnostik).

B-Mode

Beim **B-Mode** (brightness-mode) werden die Echos nicht als Ausschläge, sondern als Bildpunkte mit unterschiedlicher Helligkeit auf dem Monitor dargestellt. Jede Amplitude entspricht einem Helligkeits- bzw. Grauwertbild: Je stärker das Echo, desto höher ist die Intensität der elektrischen Signale und desto heller der Bildpunkt. An modernen Ultraschallgeräten sind 256 verschiedene Grauwerte zwischen schwarz und weiß möglich.

Wann entsteht ein schwarzes Bild?

- Durch zu geringe Schallintensität (fehlendes Echo, z. B. bei Totalreflexion dorsal des starken Reflektors oder bei schlechter Ankopplung)
- Durch fehlenden Impedanzunterschied (keine Reflexion möglich, z. B. bei Aszites/freie Flüssigkeit)

M-Mode

Beim **M-Mode** (motion-mode, ■ Abb. 1.9) erfolgt die Darstellung von Gewebestrukturen an einem bestimmten Ort als Funktion der Zeit. Helligkeiten der einzelnen Bildpunkte in der Grauwertdarstellung entsprechen den Amplituden der Ultraschallechos an diesem Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt. Örtliche Veränderung echogener

Strukturen über die Zeit werden in einem Orts-Zeit-Diagramm (Time-Motion-Verfahren) dargestellt: die Amplitude auf der vertikalen Achse, die von den wiederholten Impulsen erzeugten Echos auf der horizontalen Achse (Zeitachse). Eine Kopplung mit B- oder 2D-Modus-Darstellungen ist möglich. Hauptanwendungsbereich ist die Echokardiographie.

2D-Real-Time-Verfahren

Dabei handelt es sich um die häufigste Methode in der Ultraschalldiagnostik heutzutage. Aus einzelnen Linien entsteht ein zusammengesetztes Bild, wobei für jede Linie ein Schallstrahl ausgesendet und wieder empfangen wird. Das 2-dimensionale Schnittbild entsteht durch einen automatischen Schwenk des Schallstrahls und eine Synchronisierung der B-Mode-Darstellung in Echtzeit. Eine Kopplung mit B-Mode, M-Mode und Dopplersonographie ist möglich. Je nach Sondentyp und Eindringtiefe können wenige bis über hundert Bilder pro Sekunde entstehen.

1.1.4 Artefakte

Definition

Artefakte sind Schallphänomene, die nicht anatomische Gegebenheiten widerspiegeln, sondern physikalische oder gerätetechnische Ursachen haben.

Artefakte entstehen durch die, den Schallwellen typischen Eigenschaften und Abschwächungsmechanismen Reflexion, Streuung, Absorption und Brechung. Die Kenntnis der Entstehungsmechanismen lässt Fehlinterpretationen vermeiden und Störungen des Bildes durch Artefakte minimieren (durch Optimierung der Geräteeinstellung und der Untersuchungstechnik).

Artefakte sind häufig hilfreich und manchmal diagnostisch beweisend (z. B. Schallschatten bei Gallensteinen, Totalreflexion mit Reverberationen zwischen Leber und Brustwand in LSL als Zeichen von freier Luft bei Perforation).

- Die meisten Artefakte sind daran erkennbar, dass sie sich beim Schwenken des Schallkopfes verschieben, während richtig abgebildete Strukturen ihre Lage nicht verändern.

Schallschatten

■ Schallphänomen

Fehlende Darstellung von Echosignalen dorsal von starken Reflektoren (■ Abb. 1.10, ■ Abb. 1.11, ■ Abb. 1.12).