

Michels
Jaspers



Sonographie organ- und leitsymptomorientiert

Grundlagen, Diagnostik,
Differentialdiagnostik,
Befundung,
Dokumentation

Mit
700 farbigen
Abbildungen

Guido Michels

Natalie Jaspers

Sonographie – organ- und leitsymptomorientiert

Guido Michels
Natalie Jaspers

Sonographie – organ- und leitsymptomorientiert

Mit 700 farbigen Abbildungen und 146 Übersichten

Priv.-Doz. Dr. Guido Michels

Klinik III für Innere Medizin
Universitätsklinikum zu Köln
Kerpener Str. 62
50937 Köln

Dr. Natalie Jaspers

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

ISBN-13 978-3-642-20386-2 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

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.

Springer Medizin

Springer-Verlag GmbH
Ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

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 dürften.

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.

Planung: Hinrich Küster, Heidelberg

Projektmanagement: Kerstin Barton, Heidelberg

Lektorat: Bettina Arndt, Groxheimertal

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Einbandgestaltung: Linke Abbildung: © photos.com, rechte Abbildung: © PD Dr. Guido Michels, Dr. Natalie Jaspers

Satz: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg

SPIN: 12791552

Vorwort

Die Sonographie ist ein rasch verfügbarer, verlängerter Untersuchungsarm und hochspezialisiertes Diagnostikum gleichermaßen. Das Spektrum der Untersuchungsmöglichkeiten hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Viele Kolleginnen und Kollegen sämtlicher Fachdisziplinen – ob Innere Medizin, Allgemeinmedizin, Chirurgie oder Intensivmedizin – werden schon frühzeitig mit dem Sonographiegerät konfrontiert. Dabei sollte das einzelne Ultraschallbild nicht isoliert betrachtet werden, sondern in Zusammenschau aller klinischen Befunde und differenzialdiagnostischen Überlegungen. Über allgemeine Grundlagen bis zur speziellen Ultraschalldiagnostik haben wir mit diesem Buch versucht, die Lücke zwischen sonographischer Bildgebung und Klinik didaktisch zu schließen.

Die Erstellung eines derartigen Buches ist ohne die Hilfe zahlreicher Kolleginnen und Kollegen kaum denkbar. An dieser Stelle möchten wir uns bei allen beitragenden Autorinnen und Autoren herzlich bedanken.

Damit dieses Werk weiter reifen kann, sind wir allen Lesern für Anregungen, Kritik und Verbesserungsvorschläge sehr dankbar.

Köln, im Juli 2011
Guido Michels
Natalie Jaspers

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Sonographie	1	2.4.1	Anatomie und Sonomorphologie	89
	<i>N. Jaspers, G. Michels</i>		2.4.2	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	91
1.1	Technische und physikalische Grundlagen	2	2.4.3	Sonopathologie diffuser Pankreasparenchymveränderungen	92
1.1.1	Definition von Ultraschall bzw. Sonographie	2	2.4.4	Sonopathologie fokaler Parenchymveränderungen	96
1.1.2	Erzeugung, Ausbreitung und Empfang von Ultraschallwellen	2	2.5	Nieren und harnableitende Wege	100
1.1.3	Bildentstehung	5	2.5.1	Anatomie und Sonomorphologie	101
1.1.4	Artefakte	6	2.5.2	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	102
1.2	Geräteeinstellungen	9	2.5.3	Sonopathologie der Nieren inklusive Transplantatniere	104
1.2.1	Geräteparameter	9		Literatur	120
1.2.2	Sondentypen	10	2.6	Nebennieren	121
1.3	Sonographische Standarduntersuchung	11	2.6.1	Anatomie und Sonomorphologie	121
1.3.1	Voraussetzung	11	2.6.2	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	122
1.3.2	Standardschnitte	11	2.6.3	Sonopathologie	122
1.3.3	Standarduntersuchungsgang	18		Literatur	125
1.4	Dokumentation und Befundung	19	2.7	Urogenitaltrakt	126
1.4.1	Ultraschallnomenklatur	19	2.7.1	Anatomie und Sonomorphologie	126
1.4.2	Schriftlicher Befund und Bilddokumentation	19	2.7.2	Männlicher Genitaltrakt (Prostata, Samenbläschen)	126
	Literatur	20	2.7.3	Weiblicher Genitaltrakt (Uterus, Vagina, Ovarien)	128
2	Organbezogene Sonographie	21	2.7.4	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	130
	<i>N. Jaspers, H. Kinkel, E. Heuser, G. Michels, St. Hauslaib, M. Kochanek</i>		2.7.5	Sonopathologie der Harnblase	132
2.1	Leber	24	2.7.6	Sonopathologie von Prostata, Samenbläschen und Hoden	134
2.1.1	Anatomie und Sonomorphologie	24	2.7.7	Sonopathologie von Uterus, Vagina, Ovarien	137
2.1.2	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	31		Literatur	143
2.1.3	Sonopathologie diffuser Lebererkrankungen	31	2.8	Milz	144
2.1.4	Sonopathologie fokaler Leberveränderungen	41	2.8.1	Anatomie und Sonomorphologie	144
2.1.5	Sonopathologie der Lebergefäße	58	2.8.2	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Optimierungsmöglichkeiten)	145
2.1.6	Transplantatleber	65	2.8.3	Sonopathologie	145
	Literatur	69	2.9	Lymphknoten/Lymphknotenstationen	150
2.2	Gallenblase	70	2.9.1	Anatomie	150
2.2.1	Anatomie und Sonomorphologie	70	2.9.2	Sonomorphologie	150
2.2.2	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	71	2.9.3	Vorbemerkungen	153
2.2.3	Cholezystolithiasis	72	2.9.4	Klinik	154
2.2.4	Entzündliche Gallenblasenveränderungen	73	2.9.5	Sonopathologie	154
2.2.5	Gallenblasentumoren	76	2.9.6	Weiterführende Diagnostik	155
2.2.6	Postoperative Zustände	78	2.9.7	Ausgewählte sonomorphologische Lymphknotenveränderungen	155
2.3	Gallenwege	79		Literatur	156
2.3.1	Anatomie und Sonomorphologie	79			
2.3.2	Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	80			
2.3.3	Cholestase	80			
2.3.4	Gallengangsteine	82			
2.3.5	Gallengangentzündungen	83			
2.3.6	Gallengangtumoren	84			
2.3.7	Postinterventionelle Zustände	86			
2.4	Pankreas	89			

2.10 Gastrointestinaltrakt	157	3.3 Ikterus	221
2.10.1 Anatomie und Sonomorphologie	157	3.3.1 Definition/Allgemeine Aspekte	221
2.10.2 Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	160	3.3.2 Vorgehen	221
2.10.3 Sonopathologie des Gastroduodenaltraktes	165	3.4 Abklärung Oligurie	224
2.10.4 Sonopathologie des Intestinaltraktes	169	3.4.1 Definition	224
Literatur	185	3.4.2 Differenzialdiagnose des akuten Nierenversagens	224
2.11 Bauchdecke, Bauchhöhle und Retroperitoneum ..	186	3.4.3 Differenzialdiagnose des postrenalen Nierenversagens	224
2.11.1 Übersicht	186	3.5 Abklärung Dyspnoe	225
2.11.2 Anatomie und Sonomorphologie	186	3.5.1 Differenzialdiagnosen	225
2.11.3 Untersuchungsablauf	187	3.5.2 Sonographische Befunde	226
2.11.4 Sonopathologien von Cavitas abdominalis und Retroperitonealraum	190	3.6 Tumorsuche	230
2.11.5 Sonographische Differenzialdiagnosen	192	3.6.1 Definition und Symptomatik	230
2.11.6 Weiterführende Diagnostik	192	3.7 Unklares Fieber	231
2.11.7 Ausgewählte sonomorphologische Veränderungen der Bauchwand	192	3.7.1 Definitionen und Symptomatik	231
2.11.8 Ausgewählte sonomorphologische Veränderungen der Cavitas abdominalis	194	3.7.2 Diagnostik	232
2.11.9 Ausgewählte sonomorphologische Veränderungen des Retroperitoneums	196	3.7.3 Differenzialdiagnose und Sonographiebefunde ..	232
Literatur	196	3.8 Unklare Halsschmerzen	234
2.12 Schilddrüse	197	3.8.1 Leitsymptome	234
2.12.1 Anatomie und Sonomorphologie	197	3.8.2 Differenzialdiagnose	234
2.12.2 Untersuchungsablauf und Optimierungsmöglichkeiten (Standardschnitte, Leitstrukturen und Lagerungsmöglichkeiten)	200	3.8.3 Topographische Anatomie des Halses	235
2.12.3 Sonopathologie diffuser Schilddrüsenerkrankungen	200	3.8.4 Topographische Sonographie des Halses	238
2.12.4 Entzündliche und immunogene Schilddrüsenveränderungen	202	3.8.5 Allgemeine Aspekte der Kopf- und Halssonographie	238
2.12.5 Sonopathologie fokaler Schilddrüsenveränderungen	203	3.8.6 Extrathyreoidale Ursachen für Halsschmerzen	239
2.12.6 Differenzialdiagnosen der Schilddrüsenüber- und unterfunktion	206	Literatur	246
Literatur	207	4 Notfallsonographie	247
3 Leitsymptomorientierte Sonographie	209	<i>G. Michels, N. Jaspers</i>	
<i>St. Hauslaib, N. Jaspers, M. Kochanek, J. Mertens, G. Michels, M. Stenner</i>		4.1 Allgemeines	248
3.1 Akutes Abdomen	210	4.1.1 Indikationen	248
3.1.1 Definition	210	4.2 Indikationen	248
3.1.2 Diagnostik	210	4.2.1 Akuter Thoraxschmerz	248
3.1.3 Ursachen	210	4.2.2 Akute Dyspnoe	248
3.1.4 Sonographische Differenzialdiagnosen	215	4.2.3 Kardiale Dyspnoe und Peri-Reanimation – fokussierte Echokardiographie	248
3.2 Abklärung Diarrhö und Obstipation	219	4.2.4 Akutes Abdomen	249
3.2.1 Definition und Symptomatik Diarrhö	219	4.3 Spezifische Sonographie in der Notfall- und Intensivmedizin	252
3.2.2 Differenzialdiagnosen Diarrhö	219	4.3.1 Leberparenchymschäden	252
3.2.3 Sonographische Befunde am Gastrointestinaltrakt ..	219	5 Gefäßsonographie	261
3.2.4 Sonographisch nicht im Magen-Darm-Trakt erfassbare Durchfallursachen	219	<i>G. Michels, S. Karasch, Ch. Feldmann, Th. Karasch</i>	
3.2.5 Definition und Symptomatik Obstipation	219	5.1 Grundlagen der Doppler- und Duplexsonographie	262
3.2.6 Differenzialdiagnosen Obstipation	219	5.1.1 Dopplereffekt	262
3.2.7 Sonographische Befunde am Gastrointestinaltrakt ..	219	5.1.2 Spektrale Dopplerverfahren	262
3.2.8 Sonographisch nicht im Magen-Darm-Trakt erfassbare Ursachen für Obstipation	219	5.1.3 Duplexsonographie	263
		5.1.4 Farbduplex-Verfahren	263
		5.1.5 Frequenz-Zeit-Profile	263
		5.1.6 Einstellparameter	264
		5.2 Periphere Arterien	264
		5.2.1 Allgemeine Aspekte	264
		5.2.2 Arterienstenosen	264
		5.2.3 Knöchel-Armarterien-Index (»ankle brachial index«, ABI)	265

5.2.4	Akute periphere arterielle Verschlusskrankheit	265
5.2.5	Chronische arterielle Verschlusskrankheit	266
5.2.6	Aneurysmata peripherer Arterien (allgemein)	268
5.2.7	Aneurysma spurium (Pseudoaneurysma, falsches Aneurysma)	269
5.2.8	Dissektionen	269
5.2.9	Arteriovenöse Fisteln	269
5.2.10	Entzündliche Gefäßerkrankungen	270
5.2.11	Angeborene Gefäßpathologien	271
5.3	Hirnversorgende Arterien	271
5.3.1	Allgemeine Aspekte	271
5.3.2	Stenosekriterien und -graduierungen	271
5.3.3	Gefäßverschlüsse	273
5.3.4	Intima-Media-Dicke in der A. carotis communis	273
5.3.5	Besondere Befunde	274
5.3.6	A. vertebralis und A. subclavia	274
5.4	Periphere Venen	275
5.4.1	Einteilung des Venensystems	275
5.4.2	Beinvenenthrombose	276
5.4.3	Varikosis/Varizen	277
5.5	Abdominelle Arterien	279
5.5.1	Aorta abdominalis	279
5.5.2	Truncus coeliacus	280
5.5.3	Arteria mesenterica superior (AMS)	280
5.5.4	Akuter Mesenterialarterienverschluss (AMV)	280
5.5.5	Arteria mesenterica inferior (AMI)	281
5.5.6	Arteriae renales	281
5.5.7	Nierenarterienstenose	282
5.6	Abdominelle Venen	283
5.6.1	Vena cava inferior (VCI)	283
5.6.2	Lebervenen	284
5.6.3	Vena portae	284
6	Kontrastsonographie	287
	<i>H. Kinkel</i>	
6.1	Kontrastsonographie im Abdomen	288
6.1.1	Technischer Überblick	288
6.1.2	Untersuchungsvoraussetzungen und Durchführung	289
6.1.3	EFSUMB-Leitlinien	290
6.1.4	Kontrastverhalten typischer fokaler Leberläsionen	291
6.1.5	Extrahepatische Kontrastmittelanwendungen	299
	Literatur	302
7	Interventionelle Sonographie	303
	<i>J. Mertens, G. Michels, St. Hauslaib, N. Jaspers</i>	
7.1	Grundlagen sonographischer Punktionen und Drainageeinlagen	304
7.1.1	Indikationen	304
7.1.2	Kontraindikationen	305
7.1.3	Erfolgsrate/Erfolgsparameter	305
7.1.4	Risiken und Komplikationen	305
7.1.5	Ultraschall- oder CT-gesteuerte Punktion	306
7.1.6	Instrumentarium und Punktionstechnik	306
7.2	Leberpunktion	309
7.2.1	Allgemeines	309
7.2.2	Prozedere der perkutanen Leberbiopsie nach Menghini – »Leberblindpunktion«	309
7.3	Nierenbiopsie	310
7.3.1	Allgemeines	310
7.3.2	Prozedere der Nierenbiopsie bei Eigennieren und Transplantatnieren	310
7.4	Transthorakale Punktion	312
7.4.1	Allgemeines	312
7.4.2	Prozedere	314
	Literatur	315
	Anhang	317
	<i>G. Michels, N. Jaspers, Ch. Feldmann</i>	
A	Sonographische Kenngrößen	318
	Kenngrößen Leber	318
	Kenngrößen Gallenblase/Gallenwege	318
	Kenngrößen Pankreas	318
	Kenngrößen Milz	319
	Kenngrößen Niere	319
	Kenngrößen Magen-Darm	319
B	Qualitätssicherung in der Sonographie und DEGUM	320
	Allgemeines zur Qualitätssicherung	320
	Erwerb der fachlichen Befähigung	320
	Qualifikation der Ausbilder	320
	Anforderungen an die apparative Ausstattung	320
	Ärztliche Dokumentation	321
	Sanktionen	321
	DEGUM	321
	Stichwortverzeichnis	323

Biographien der Autoren

Feldmann, Christoph, Dr., Facharzt für Innere Medizin, Kardiologie und Notfallmedizin, DEGUM Stufe 2 Ausbilder vaskulärer Ultraschall (schwerpunktmäßig im Bereich der Kardiologie und Angiologie tätig)

Hauslaib, Stefanie, Dr., Fachärztin für Innere Medizin / Nephrologie (schwerpunktmäßig im Bereich der Nephrologie tätig)

Heuser, Eva, Dr., Fachärztin für Innere Medizin (schwerpunktmäßig im Bereich der Hämatologie und internistischen Onkologie tätig)

Jaspers, Natalie, Dr., Fachärztin für Innere Medizin und Gastroenterologie, DEGUM Stufe 2 Ausbilder Innere Medizin (schwerpunktmäßig im Bereich der allgemeinen Gastroenterologie – Sonographie und Kontrastmittelsonographie – tätig)

Karasch, Susanne, Dr., Fachärztin für Innere Medizin / Kardiologie und Angiologie, DEGUM Stufe 3 Kursleiter vaskulärer Ultraschall (schwerpunktmäßig im Bereich der Angiologie tätig)

Karasch, Thomas, Dr., Facharzt für Innere Medizin / Kardiologie und Angiologie, DEGUM Stufe 3 Kursleiter vaskulärer Ultraschall (schwerpunktmäßig im Bereich der Angiologie tätig)

Kinkel, Horst, Dr., Facharzt für Innere Medizin und Gastroenterologie, DEGUM Stufe 2 Ausbilder Innere Medizin (schwerpunktmäßig im Bereich der allgemeinen Gastroenterologie – Sonographie und Kontrastmittelsonographie – tätig)

Kochanek, Matthias, Dr., Facharzt für Innere Medizin, Hämatologie / internistische Onkologie, Intensivmedizin und klinische Infektiologie (schwerpunktmäßig im Bereich der Intensivmedizin tätig)

Mertens, Jessica, Dr., Fachärztin für Innere Medizin und Gastroenterologie (schwerpunktmäßig im Bereich der Gastroenterologie / Hepatologie tätig)

Michels, Guido, Priv.-Doz. Dr., Facharzt für Innere Medizin und Notfallmedizin (schwerpunktmäßig im Bereich Kardiologie, Angiologie und Intensivmedizin tätig)

Stenner, Markus, Dr., Facharzt für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde (schwerpunktmäßig im Bereich der onkologischen HNO tätig)

Autorenverzeichnis

Feldmann, Christoph, Dr.

St. Antonius Krankenhaus
Schillerstr. 23, 50968 Köln

Hauslaib, Stefanie, Dr.

Klinik II für Innere Medizin, Universitätsklinikum Köln
Kerpener Str. 62, 50937 Köln

Heuser, Eva, Dr.

Klinik I für Innere Medizin, Universitätsklinikum Köln
Kerpener Str. 62, 50937 Köln

Jaspers, Natalie, Dr.

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

Karasch, Susanne, Dr.

Im Schlangenhöfchen 23, 51427 Bergisch Gladbach

Karasch, Thomas, Dr.

Im Schlangenhöfchen 23, 51427 Bergisch Gladbach

Kinkel, Horst, Dr.

Innere II (Gastroenterologie), Krankenhaus Düren
Roonstr. 30, 52351 Düren

Kochanek, Matthias, Dr.

Klinik I für Innere Medizin, Universitätsklinikum Köln
Kerpener Str. 62, 50937 Köln

Mertens, Jessica, Dr.

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

Michels, Guido, Priv.-Doz. Dr.

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

Stenner, Markus, Dr.

Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde,
Universitätsklinikum Köln
Kerpener Str. 62, 50937 Köln

Allgemeine Sonographie

N. Jaspers, G. Michels

1.1 Technische und physikalische Grundlagen – 2

- 1.1.1 Definition von Ultraschall bzw. Sonographie – 2
- 1.1.2 Erzeugung, Ausbreitung und Empfang von Ultraschallwellen – 2
- 1.1.3 Bildentstehung – 5
- 1.1.4 Artefakte – 6

1.2 Geräteeinstellungen – 9

- 1.2.1 Geräteparameter – 9
- 1.2.2 Sondentypen – 10

1.3 Sonographische Standarduntersuchung – 11

- 1.3.1 Voraussetzung – 11
- 1.3.2 Standardschnitte – 11
- 1.3.3 Standarduntersuchungsgang – 18

1.4 Dokumentation und Befundung – 19

- 1.4.1 Ultraschallnomenklatur – 19
- 1.4.2 Schriftlicher Befund und Bilddokumentation – 19

Literatur – 20

1.1 Technische und physikalische Grundlagen

N. Jaspers, G. Michels

1.1.1 Definition von Ultraschall bzw. Sonographie

Definition

Ultraschall: Schallwellen mit Frequenzen, die oberhalb des vom Menschen wahrnehmbaren Frequenzbereichs (>20.000 Hz) liegen (■ Abb. 1.1)

- **Infraschall:** Schallfrequenzen <20 Hz
- **Menschliches Gehör:** 20–20.000 Hz

Definition

Sonographie oder Ultraschalldiagnostik: Nutzung der (teilweisen) Reflexion von Ultraschallwellen an Grenzflächen unterschiedlicher Gewebe im Körper zur Beurteilung von Organen und pathologischen Strukturen.

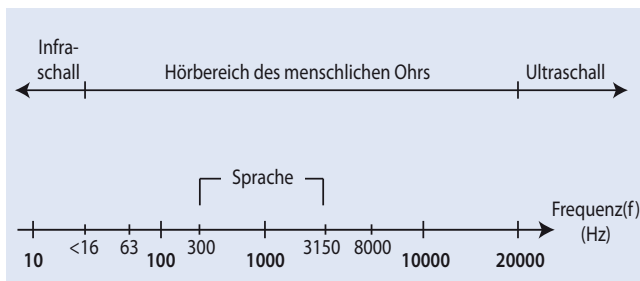
1.1.2 Erzeugung, Ausbreitung und Empfang von Ultraschallwellen

(Umgekehrter) piezoelektrischer Effekt

Definition

- **Piezoelektrischer Effekt:** werden elastische Körper verformt, entsteht eine elektrische Polarisation bzw. eine elektrische Spannung
- **Indirekter piezoelektrischer Effekt:** bei Anlage einer Wechselspannung werden elastische Körper verformt

- Entdeckung des piezoelektrischen Effekts durch das Ehepaar **Curie 1880**
- Hochfrequente elektrische Spannung regt 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**)



■ Abb. 1.1 Frequenzbereiche

- Im Ultraschallgerät erfolgt Umwandlung dieser elektrischen Signale in Bildpunkte

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** (■ Abb. 1.2):
 - Aus der Laufzeit (Zeit zwischen dem ausgesendeten Signal und dem reflektierten und wieder empfangenen Impuls) kann – bei bekannter Schallgeschwindigkeit – die Tiefe bzw. die Entfernung des Reflektors errechnet werden
- Entwicklung des Echolotprinzips durch den Physiker **Behm 1921** nach dem Untergang der Titanic zur Vermeidung ähnlicher Katastrophen in der Schifffahrt
- Ultraschallsysteme legen eine Schallgeschwindigkeit (Laufgeschwindigkeit) im Gewebe von 1540 m/s zugrunde (► unten)

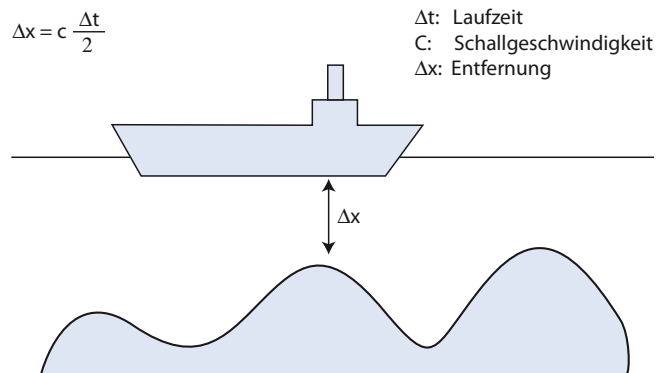
Ausbreitung von Ultraschall im biologischen Gewebe

Grundlagen und Kenngrößen zu Schallwellen

- **Schallwellen** (■ Abb. 1.3)
 - Sind an Materie gebunden
 - Sind im Vakuum nicht ausbreitungsfähig
 - Breiten sich aus in Luft, Flüssigkeiten sowie biologischem Gewebe in Form von Longitudinalwellen bzw. von Zonen mit Über- und Unterdruck (*Verdichtungs- und Verdünnungszonen*)
- **Kenngrößen von Schallwellen**
 - **Amplitude** (maximaler Druck, »Höhe« der Welle)
 - **Frequenz f** (Anzahl der Schwingungen pro Sekunde [1/s])
 - **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])

! Merke

Der physikalische Zusammenhang zwischen Frequenz f, Wellenlänge λ und Schallgeschwindigkeit c lautet: $c = f \times \lambda$ [m/sec = 1/s x m].



■ Abb. 1.2 Prinzip des Echolots. Berechnung der Entfernung

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)

Auflösungsvermögen

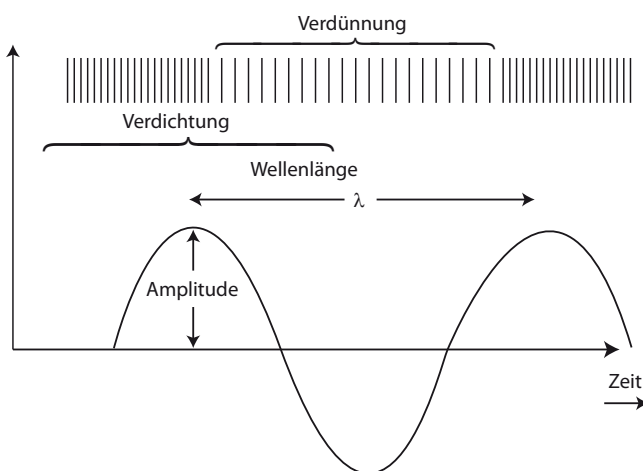
Definition

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

- Hauptdeterminanten für das räumliche Auflösungsvermögen:
 - Verwendete Sendefrequenz/Wellenlänge
 - Schallkopfformat (Dicke des Schallstrahls)
 - Dauer des Anregesignals

■ Tab. 1.1 Schallgeschwindigkeiten von Ultraschallwellen in unterschiedlichen Geweben

Medium	Schallgeschwindigkeiten [m/s]
Luft	340
Wasser	1500
Weichteilgewebe	1540
Leber	1549
Niere	1561
Muskel	1570
Knochen	3600



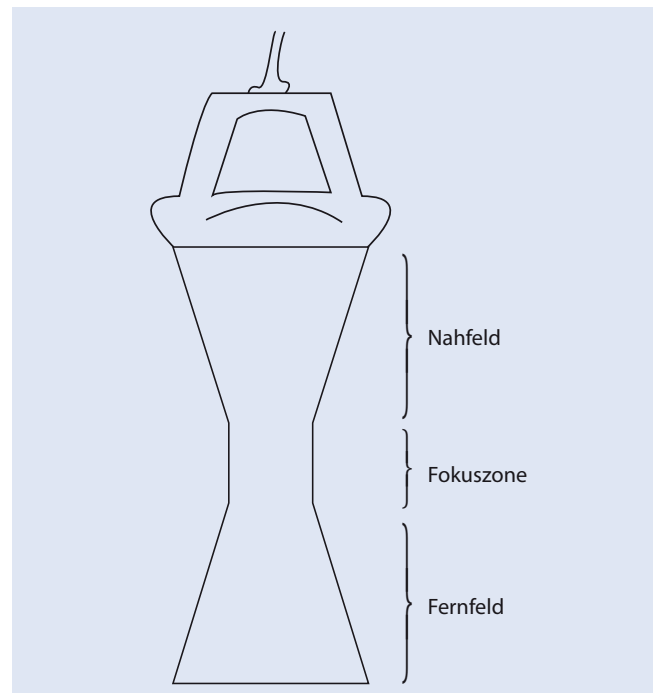
■ Abb. 1.3 Einfacher Schwingungsvorgang

Axiales Auflösungsvermögen

- Auflösungsvermögen in Ausbreitungsrichtung der Schallwellen
- Kleinster Abstand zwischen zwei *in Ausbreitungsrichtung* des Ultraschallsignals liegenden reflektierenden Gewebeschichten, die gerade noch getrennt wahrgenommen werden können
- Das axiale Auflösungsvermögen ist durch die Länge eines Ultraschallimpulses bestimmt und entspricht meist einer oder mehrerer Schallwellenlängen
- Je höher die Sendefrequenz bzw. je kürzer die damit verbundene Wellenlänge, umso höher ist die Auflösung

Laterales Auflösungsvermögen

- Auflösungsvermögen *senkrecht zur Ausbreitungsrichtung* der Schallwellen
- Kleinster Abstand zwischen zwei *quer zur Ausbreitungsrichtung* des Ultraschallsignals liegenden reflektierenden Gewebeschichten, die gerade noch getrennt wahrgenommen werden können
- Seitliches 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
- **Fokuszone:** Je schmaler das Ultraschallfeld (bzw. je dichter die Schallwellen an einem Ort), desto größer die Detailerkennbarkeit (■ Abb. 1.4): das Ultraschallfeld ist in der Fokuszone durch Bündelung der Schallwellen am schmalsten, die Auflösung hier am besten
- Insgesamt ist seitliches Auflösungsvermögen geringer als axiales (etwa 2- bis 3-mal schlechter)



■ Abb. 1.4 Schallfeld mit Fokuszone. Keulenförmige Form des Schallfeldes durch Bündelung der Schallwellen in der Fokuszone

Beispiel: Der Ductus Wirsungianus ist gut darstellbar, wenn senkrecht vom Ultraschallsignal und am besten innerhalb der Fokuszzone getroffen; die rechts und links lateralen Anteile des Pankreasganges sind dagegen nicht oder nur unscharf erkennbar (■ Abb. 1.5).

Elektronische Fokussierung (■ Abb. 1.6)

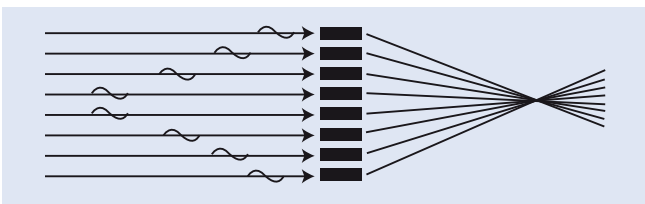
- Verschiebung der Fokuszzone in variable Tiefen durch zeitlich versetzte Ansteuerung der Piezoelemente
- Bei modernen Ultraschallgeräten ist auch die Verwendung mehrerer Fokuszonen möglich (aber: Verminderung der Bildwiederholungsrate wegen der für jede Fokuslage erneut anzusteuernenden Schallelemente)

Zusammenhang zwischen Frequenz, Auflösungsvermögen und Eindringtiefe

- Hohe Frequenz, gutes Auflösungsvermögen, geringe Eindringtiefe (■ Tab. 1.2)



■ Abb. 1.5 Pankreasgang



■ Abb. 1.6 Elektronische Fokussierung

- Niedrige Frequenz, schlechteres Auflösungsvermögen, bessere Eindringtiefe
- Eindringtiefe wird außerdem durch Streuung und Absorption beeinflusst

! Merke
Eine bessere Ortsauflösung geht daher immer auf Kosten der sonographischen Untersuchungstiefe.

! Merke
3,5 MHz-Konvexscanner für die Abdomensonographie mit guter Eindringtiefe, aber eingeschränkter Detaillierbarkeit
7,5 MHz-Linearschallkopf für die Schilddrüse, Small-parts und die Darmsonographie mit hoher Ortsauflösung, aber nur geringer Eindringtiefe

Schallwelleneigenschaften und Abschwächungsmechanismen

Reflexion

- Reflexion von Schallwellen an Grenzflächen im Körper ist Grundlage für die Darstellung von Organen mit der Ultraschalltechnik
- Je größer der **Impedanzunterschied** an der Grenzfläche zwischen zwei Stoffen, desto stärker die Reflexion von Schallwellen

Definition

Impedanz: Widerstand, der der Ausbreitung von Schallwellen entgegenwirkt; wird durch die Eigenschaften des Ausbreitungsmediums bestimmt: $Z = \rho \times c$
(Z: Impedanz [kg/sxm²]; ρ: Dichte der Materie [kg/m³]; c: Schallgeschwindigkeit [m/s])
Beispiele: Luft 0,0004 kg/sxm², Knochen 6,66 kg/sxm², sonstiges Gewebe 1,4–1,7 kg/sxm²

! Merke
Totalreflexion z. B. beim Übergang von Weichteilgewebe zu Knochen (■ Abb. 1.7), Kalk, Metall oder Luft (■ Abb. 1.8): (Entstehung eines Echos mit sehr hoher Intensität; dorsal davon Schallschatten).

- An der Körperoberfläche sind Reflexionen unerwünscht, deshalb wird **Ultraschallgel** als Kopplungsmedium zwischen Schallkopf und Körperoberfläche verwendet
- Abbremsen der Laufgeschwindigkeit auf ca. 1/5 durch störende Luftschicht wird verhindert

■ Tab. 1.2 Anhaltswerte für axiales und laterales Auflösungsvermögen sowie Eindringtiefe in Abhängigkeit von verwendeter Sendefrequenz bzw. Wellenlänge

Sendefrequenz [MHz]	Wellenlänge [mm]	Axiales Auflösungsvermögen [mm]	Laterales Auflösungsvermögen [mm]	Eindringtiefe [mm]
3,5	0,44	0,5	1,7	150
5	0,31	0,35	1,2	100
7,5	0,21	0,25	0,8	70

- 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. 1.9)

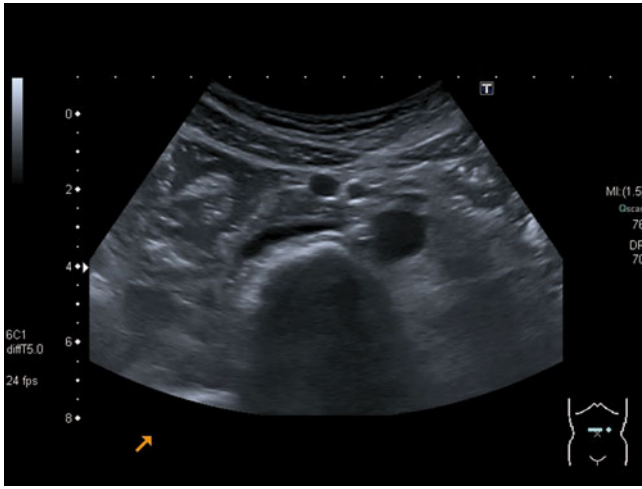


Abb. 1.7 Totalreflexion an Knochen. Retroperitoneale Gefäße, Wirbelsäule



Abb. 1.8 Totalreflexion an Luft. Kolon transversum, Oberbauchquerschnitt

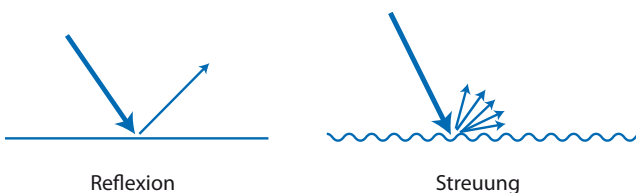


Abb. 1.9 Reflexion und Streuung

- Raue Oberflächen führen zu einer *Streuung* der Schallwellen (Abb. 1.9)
- 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

Beispiel: Warum ist der Tageshimmel blau und nicht schwarz?

In der Erdatmosphäre wird das Sonnenlicht an den Luftmolekülen, kleinsten Wassertropfen und den Staubteilchen diffus gestreut. Je kürzer die Wellenlänge, desto stärker die Streuung von Lichtwellen. Deshalb wird der blaue Anteil des Sonnenlichts stärker gestreut als der rote oder gelbe Anteil, und der Tageshimmel auf der Erde erscheint blau. Je mehr Partikel in der Atmosphäre sind (z. B. Bewölkung, Smog), desto mehr wird auch längerwelliges Licht gestreut, und der Himmel erscheint grau oder weiß.

Der Himmel bei Planeten ohne Atmosphäre ist dagegen schwarz (so sieht z. B. ein Raumfahrer auf dem Mond einen schwarzen Himmel).

Absorption und Dämpfung

- Reibungskräfte dämpfen Schallwellen ab, wobei Wärme entsteht
- Wellenamplitude verringert sich, Intensität der reflektierten Welle wird abgeschwächt
- **Dämpfung ist in Gewebe nahezu proportional zur Ultraschallfrequenz**
- Zur Verringerung der Dämpfung (z. B. bei großen Eindringtiefen) Einsatz niedriger Sendefrequenzen

Brechung

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

1.1.3 Bildentstehung

A-Mode

- **A-Mode:** Amplitudenmodus (Abb. 1.10)
- Einfachste Umsetzung des Impuls-Echo-Prinzips, erste Darstellungsform in der Sonographie
- Eindimensionale Abbildung der reflektierten Schallwellen in einem Diagramm: Darstellung der empfangenen Echos in Abhängigkeit von der Zeit
- Echostärke entspricht der Amplitude; hintereinander dargestellte Amplituden entsprechen Echos aus der jeweiligen Eindringtiefe (je höher die Amplitude, desto echoreicher ist Gewebe in der entsprechenden Tiefe)
- Anwendung heutzutage kaum noch; selten in der Augenheilkunde (Dickendickbestimmung der Hornhaut) oder in der HNO (z. B. Nasennebenhöhlendiagnostik)

B-Mode

- **B-Mode:** Brightness-Mode
- Darstellung der Echos nicht als Ausschläge, sondern als Bildpunkte mit unterschiedlicher Helligkeit auf dem Monitor

- Jede Amplitude entspricht einem Helligkeits- bzw. Grauwertbild: je stärker das Echo, desto höher die Intensität der elektrischen Signale und desto heller der Bildpunkt
- 256 verschiedene Grauwerte zwischen schwarz und weiß sind an modernen Ultraschallgeräten möglich

■ Wann entsteht ein schwarzes Bild?

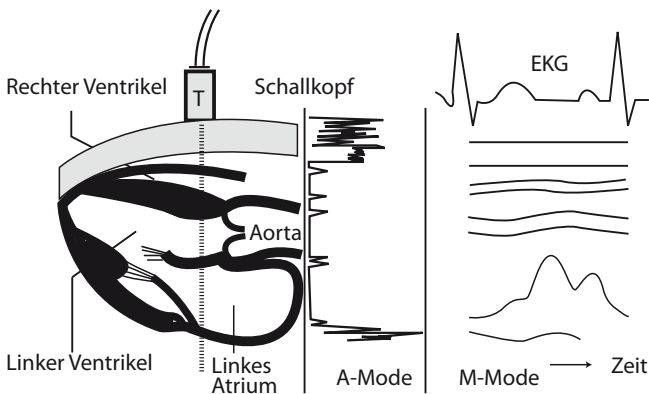
- Durch zu geringe Schallintensität (fehlendes Echo z. B. bei Totalreflexion dorsal eines starken Reflektors oder bei schlechter Ankopplung)
- Durch fehlenden Impedanzunterschied (keine Reflexion möglich)

M-Mode

- **M-Mode:** Motion-Mode (■ Abb. 1.10)
- 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: Amplitude auf der vertikalen Achse, die von den wiederholten Impulsen erzeugten Echos auf der horizontalen Achse (Zeitachse)
- Kopplung mit B- oder 2D-Modus möglich
- Hauptanwendungsbereich: Echokardiographie

2D-Real-Time-Verfahren

- Häufigste Methode in der Ultraschalldiagnostik heutzutage (!)
- Aus einzelnen Linien zusammengesetztes Bild, wobei für jede Linie ein Schallstrahl ausgesendet und wieder empfangen wird
- **Zweidimensionales Schnittbild** entsteht durch automatischen Schwenk des Schallstrahls und Synchronisierung der B-Mode-Darstellung in Echtzeit
- Kopplung mit B-Mode, M-Mode und Dopplersonographie möglich
- Je nach Sondentyp und Eindringtiefe können wenige bis über hundert Bilder pro Sekunde entstehen



■ Abb. 1.10 A-Mode und M-Mode. Zeitabhängige Messungen zur Darstellung von Bewegungen im M-Mode

1.1.4 Artefakte

Definition

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

- Entstehung durch die den Schallwellen typischen Eigenschaften und Abschwächungsmechanismen Reflexion, Streuung, Absorption und Brechung
- Kenntnis der Entstehungsmechanismen lässt Fehlinterpretation vermeiden und Störung 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



■ Abb. 1.11 Schallschatten bei Gallenstein



■ Abb. 1.12 Schallschatten dorsal eines Gallensteines

Schallschatten

- **Schallphänomen:** fehlende Darstellung von Echosignalen dorsal von starken Reflektoren (▣ Abb. 1.7, ▣ Abb. 1.8, ▣ Abb. 1.11 u. ▣ Abb. 1.12)
- **Ursache:** nahezu vollständige Reflexion und/oder Absorption von Schallwellen an Grenzflächen mit hohen Impedanzunterschieden (Luft, Knochen, Metall ect.)

Dorsale Schallverstärkung bzw. verminderte dorsale Schallabschwächung

- **Schallphänomen:** stärkere Helligkeit dorsal von sehr echoarmen oder echofreien Strukturen
- »Dorsale Schallverstärkung« eigentlich falscher Begriff für eine im Vergleich zum umgebenden Gewebe fehlende bzw. verminderte Schallabschwächung (▣ Abb. 1.14)!
- **Ursache:** eine im Ultraschallgerät vorgenommene elektronische gleichmäßige Verstärkung von Echos aus tieferen Schichten führt zu der vermeintlichen Schallverstärkung dorsal von Strukturen, die den Schallstrahl weniger schwächen als die Umgebung



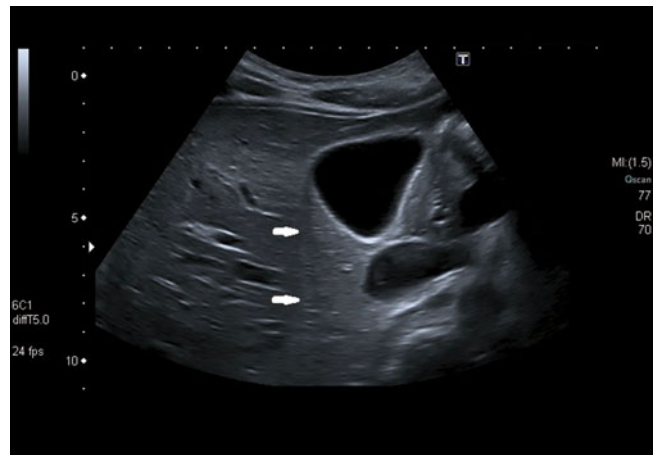
▣ Abb. 1.13 Schallschatten mit Reverberationen dorsal lufthaltiger Strukturen. Aerobilie nach Papillotomie

Zystenrandschatten

- **Schallphänomen:** schmale Schattenzone dorsal der lateralen Grenze der Zyste (▣ Abb. 1.15)
- **Ursache:** tangential auf den Zystenrand auftreffende Schallwellen werden dort durch Brechung und Streuung abgelenkt, so dass Energie verloren geht und dahinter eine schmale Zone mit geringerer Schalintensität entsteht

Rauschen

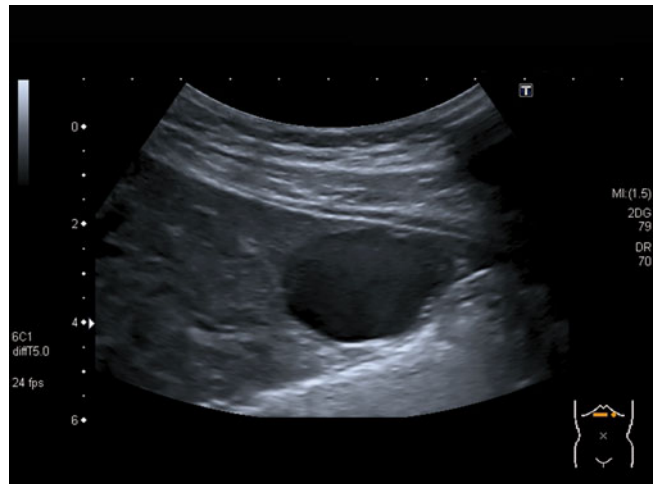
- **Schallphänomen:** multiple feinste Echos (»Nebel«) in oberflächennahen echofreien Strukturen (z. B. Leberzyste, Harnblase, Gallenblase) (▣ Abb. 1.16)
- **Ursache:** komplexer Artefakt, der z. B. durch Interferenzen rückgestreuter Schallwellen sowie elektronischer Verstärkung schallkopfnaher Strukturen durch das Ultraschallgerät hervorgerufen wird
- **Vermeidung oder Reduktion:** Verringerung der Gesamtverstärkung (»gain«), Optimierung des Fokus



▣ Abb. 1.15 Zystenrandschatten



▣ Abb. 1.14 Schallverstärkung dorsal einer Zyste. Kleine Leberzyste



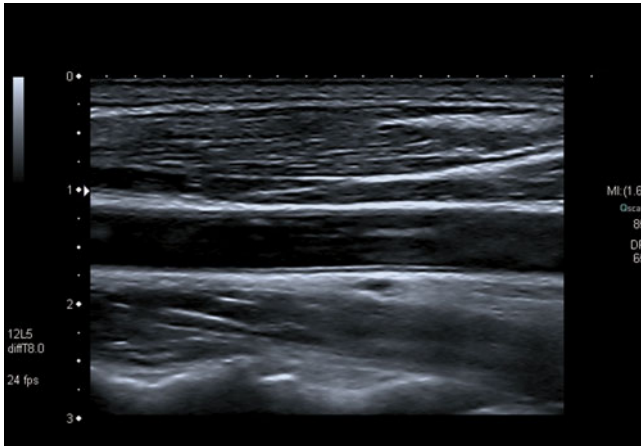
▣ Abb. 1.16 Rauschen

Wiederholungsechos

- **Schallphänomen:** helle, bandförmige Echos mit gleichen Abständen und nach dorsal hin abnehmender Intensität (z. B. Gallenblase, Harnblase, Gefäße) (■ Abb. 1.17)
- Sehr helle, kometenschweifartige Reverberationen (■ Abb. 1.13, ■ Abb. 1.18) an Grenzflächen mit sehr hohem Impedanzsprung (z. B. Luft, Knochen, nicht genügend angekoppelter Schallkopf): Kometenschweif- oder Resonanzartefakte, Ring-down-Phänomen
- **Ursache:** Entstehung durch Mehrfachreflexion zwischen starken Reflektoren und Schallkopfoberfläche
- **Vermeidung oder Reduktion:** Veränderung der Anlotungsebene, Verbesserung der Ankopplung, Optimierung des Fokus

Spiegelartefakt

- **Schallphänomen:** Spiegelbilder jenseits von Grenzflächen (auch mit Duplex- oder Kontrastmittelsignalen möglich) (■ Abb. 1.19)



■ Abb. 1.17 Wiederholungsechos im Gefäßlumen der A. carotis communis. Helle, linienförmige Echos mit gleichen Abständen im Lumen

- **Ursache:** Mehrfachreflexion an einer stark reflektierenden, glatten Grenzfläche (z. B. Zwerchfell, Pleura, Gefäßwand, Wirbelsäule): Brechung der Schallwellen an diesen starken Reflektoren, Auslenkung in das umgebende Gewebe, dort erneute Reflexion an Grenzflächen und wieder Rückkehr zum Reflektor usw.
- Aufgrund der längeren Laufzeit erscheint Spiegelbild distal des Reflektors

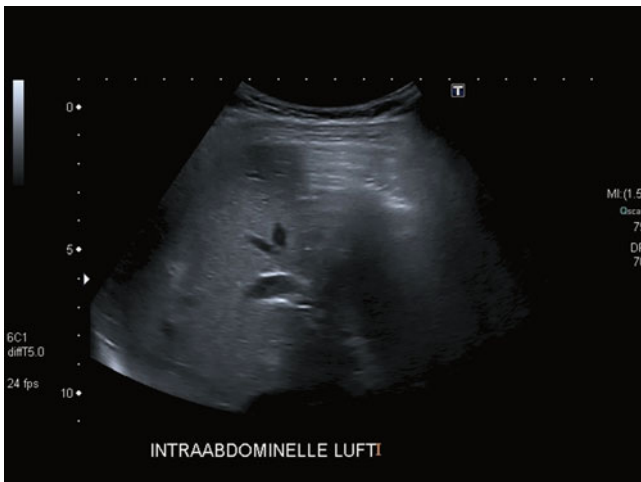
! **Merke**
Spiegelbild bewegt sich bei Kippen des Schallkopfes in entgegengesetzter Richtung.

Schichtdickenartefakt

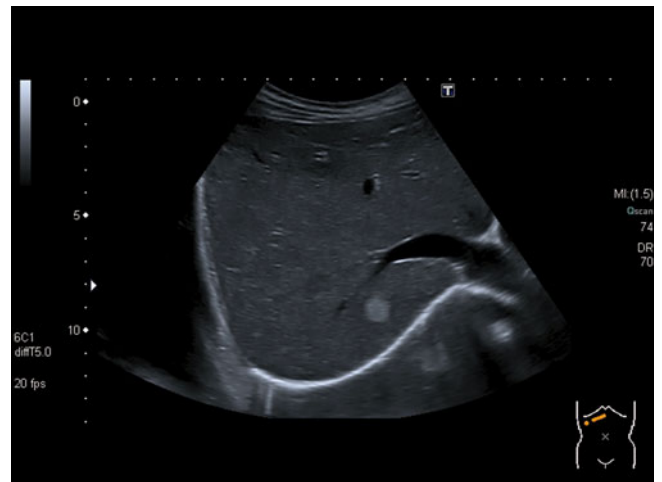
- **Schallphänomen:** Saum feiner Echos im Bereich der echoenen Wand einer echofreien Struktur (z. B. Gallenblase, Harnblase, Gefäßwände) bei tangentialem Auftreffen des Schallstrahls (■ Abb. 1.20a)
- **Ursache:** Trifft der vom Schallkopf ausgesandte Impuls (auch Schallkeule) schräg auf die Wand einer Zyste, werden stark reflektierende Wand und echofreies Zentrum gleichzeitig erfasst; das Ultraschallgerät mittelt diese Echos, so dass die Wandinnenseite mit verwaschenem, grauem Saum zu sehen ist
- **Vermeidung oder Reduktion:** Veränderung des Anlotwinkels und -ebenen; Palpation und Lagewechsel zum Abschluss von Sludge, Sediment ect. in Zysten (■ Abb. 1.20b)

Nebenkeulenartefakt (Bogenartefakt)

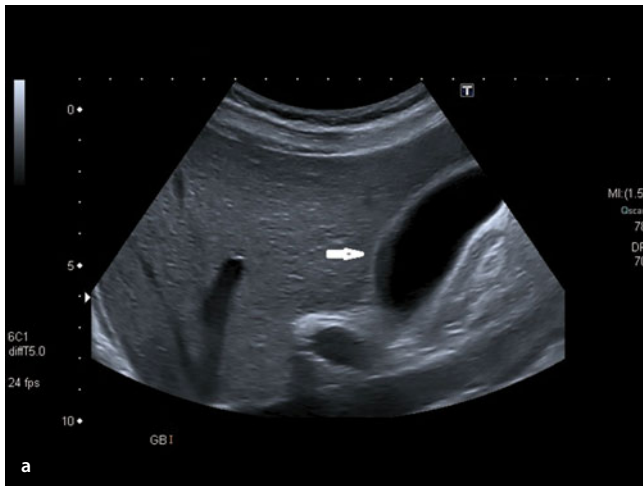
- **Schallphänomen:** echodichte, bogige Linien in echoarmen oder echofreien Strukturen (z. B. Gallenblase, Harnblase) (■ Abb. 1.21)
- **Ursache:** schwächere Schallbündel aus dem lateralen Teil der Schallkeule (sog. Nebenkeulen) können an abseits liegenden starken Reflektoren Echos hervorbringen, die interpretiert werden, als kämen sie aus der Richtung der Hauptkeule
- **Vermeidung oder Reduktion:** Kippen des Schallkopfes oder Änderung der Anlotebene



■ Abb. 1.18 Reverberationsartefakte. Intraabdominelle Luft nach Laparoskopie



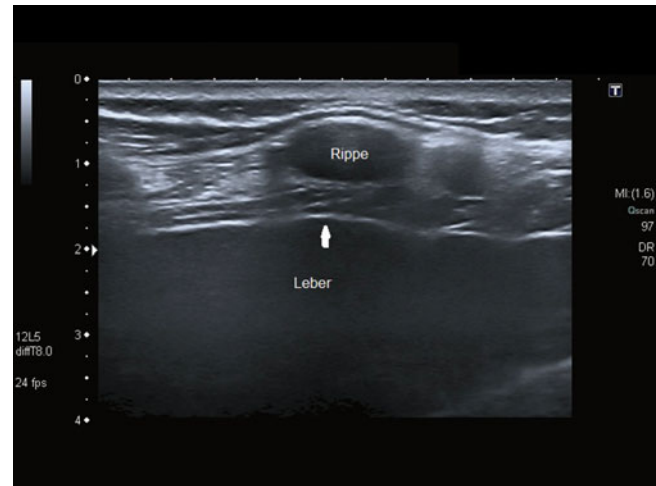
■ Abb. 1.19 Spiegelartefakt. Leberhämangiom



▣ Abb. 1.20a,b a) Schichtdickenartefakt in Gallenblase. Verwaschener Saum der Gallenblasenwand (▶ Pfeil); b) Reduktion des Schichtdickenartefakts. Unauffällige, zarte Gallenblasenwand nach Änderung des Anlotwinkels



▣ Abb. 1.21 Bogenartefakt



▣ Abb. 1.22 Laufzeitartefakt: Leichte Vorwölbung der Leberoberfläche unterhalb des Rippenknorpels

Laufzeitartefakt

- ▬ **Schallphänomen:** Verzerrung bzw. scheinbares Näherücken bestimmter Gewebestrukturen
- ▬ **Ursache:** Schallgeschwindigkeit variiert je nach Gewebe, so dass ein sog. Streulinseartefakt entstehen kann, der die Abbildung distal oder dorsal davon verzerrt
- ▬ Je kürzer die Laufzeit, umso »näher« erscheint die Struktur
- ▬ **Beispiel:** Vorwölbung der Leberoberfläche unterhalb eines Rippenknorpels (Knorpel als Streulinse: Schallgeschwindigkeit im Knorpel höher als im umgebenden Gewebe, dorsal gelegene Leberoberfläche erscheint im Vergleich zum umgebenden Parenchym näher) (▣ Abb. 1.22)

1.2 Geräteeinstellungen

N. Jaspers

1.2.1 Geräteparameter

Monitor- und Geräteparameter, die variabel und für eine gute Bildqualität anzupassen sind:

- ▬ **Monitor:** Optimierung von Helligkeit und Kontrast je nach Umgebungshelligkeit und Sehgewohnheit (nach einmaliger Einstellung möglichst nicht mehr verändern)
- ▬ **Applikatorwahl** entsprechend der zu untersuchenden Körperregion (s. u.)
- ▬ **Sendeleistung:** Akustische Gesamtleistung, die vom Schallkopf in das Gewebe abgegeben wird. Einstellung so niedrig wie möglich, um biologische Effekte zu vermeiden, und so hoch wie für die entsprechende Untersuchungsmodalität und Bildqualität notwendig ist
- ▬ **Gesamtverstärkung (gain):** Regulierung aller empfangenen Signale in gleicher Weise (Bild wird insgesamt heller oder dunkler, ähnlich dem Lautstärkeregler beim Radio; **cave:** Überstrahlung bei zu hoher Gain)

- **Tiefenausgleich (TGC, »time gain control«):** laufzeitabhängige Verstärkung (also Verstärkung über die gesamte Bildbreite für eine bestimmte Bildtiefe), um eine gleichmäßige Helligkeit des gesamten Bildes zu erzielen, da je nach Gewebe die Echos unterschiedlich reflektiert oder absorbiert werden. Beispiel: Ausgleich der Überstrahlung dorsal einer gut gefüllten Harnblase
- **Fokussposition** (Ort der höchsten Auflösung) festlegen
- **Dynamik:** dynamischer Bereich ist das Verhältnis von niedrigster und höchster Signalamplitude bzw. der Bereich zwischen schwarz und weiß, der der niedrigsten und der höchsten Signalamplitude zugerechnet wird. Lässt sich manuell verstellen. Niedriger dynamischer Bereich: »Hartes« Bild, verminderte Information über Gewebestruktur; hoher dynamischer Bereich: »Weiches«, kontrastreiches Bild, das allerdings mehr Bildrauschen aufweist
- **Preprocessing:** Anpassung von Bildparametern am laufenden Bild (Verbesserung von Signalqualität und Auflösung beim Empfang der Echos)
- **Postprocessing:** Bearbeitung gespeicherter Bilder, z. B. durch Änderung der Kennlinie (bzw. der Graustufen) und Kontrastverstärkung (Hervorheben des Kontrastes z. B. zwischen Weichteilgewebe und Knochen)
- **Moderne Ultraschallgeräte** verfügen immer mehr über Möglichkeiten, über digitale Bildverarbeitung und weiterentwickelte Schallkopftechniken Kontrast und Auflösungsvermögen von Ultraschallbildern zu verbessern:
 - **Tissue harmonic imaging (THI)** basiert auf nichtlinearen Wechselwirkungen von Schallstrahlen mit Gewebe: Ultraschall wird mit einer Grundfrequenz gesendet, und Signale mit der doppelten Frequenz (sog. Oberwelle oder 2. harmonische Schwingung) werden für die Bildgebung genutzt. Dadurch Verbesserung der Kontrast- und räumlichen Auflösung; wegen der geringeren Amplitude der nichtlinearen Frequenzanteile allerdings Grenzen in großer Tiefe, bei Fettleber und Adipositas und im Nahfeld
 - **Contrast harmonic imaging (CHI)** nutzt die Intensitätserhöhung der harmonischen Frequenzanteile durch Echokonstrastverstärker
 - **3D-Sonographie:** hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit der Ultraschallgeräterechner ermöglicht die Schnittbild-darstellung vieler Bildebenen durch Organe in kurzer zeitlicher Abfolge, die eingelesen und gespeichert werden und aus denen anschließend die dritte Bildebene (dritte Dimension) berechnet wird. Weitere Bildverarbeitung im eingefrorenen Bild möglich. 4D-Schall: 3D-Sonographie + 4. (zeitliche) Dimension, d. h. bewegte 3D-Bilder
 - **Matrix-Array-Schallköpfe:** Piezokristalle werden zwei-dimensional bzw. mehrzeilig angeordnet, wobei jeder Wandler selektiv angesteuert werden kann. Vorteile: Elektronische Fokussierung nicht nur in der lateralen Ebene, sondern auch senkrecht dazu möglich = weitgehende Elimination von Schichtdickenartefakten (z. B. auch kleinste zystische Läsionen echofrei zu erkennen) sowie Verbesserung der Penetrationsfähigkeit (bei gleicher Eindringtiefe können höhere Schallfrequenzen verwendet werden)

- **Real-time-compound-imaging oder Sono-CT:** Verbesserung der Darstellbarkeit von Strukturen mit nur kleinen Impedanzsprüngen. Körperstrukturen werden von zwei Winkeln angestrahlt, wodurch zwei unterschiedliche Bilder entstehen, die dann zusammengesetzt werden und verschmelzen mit dem Vorteil, dass mehr Strukturen unter einem günstigen Winkel (90°) angestrahlt werden

1.2.2 Sondentypen ■ Abb. 1.23, ■ Abb. 1.24, ■ Abb. 1.25

Linearschallkopf

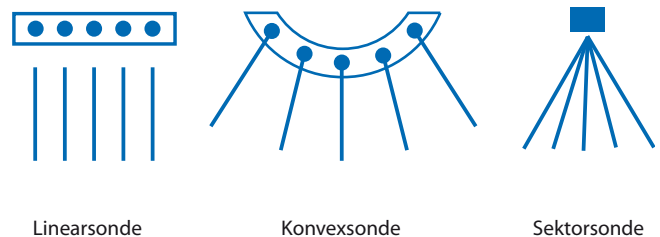
- Lineare Anordnung der Piezoelemente
- Parallele Schallausbreitung mit Entstehung einer rechteckigen Abbildung (eine trapezoidförmige Abbildung ist möglich bei Linearschallköpfen mit virtuellem Vektor)
- Vorteile: gute Auflösung schallkopfnaher Strukturen (gute Eignung für Untersuchung von Schilddrüse, Small Parts, Haut oder Gelenken)
- Nachteile: große Auflagefläche, schwierige Ankopplung bei gekrümmten Flächen

Konvexschallkopf

- Anordnung der Sendeelemente in Reihe wie bei Linearschallkopf
- Konvexe Krümmung der Ankopplungsfläche
- Großflächigere (fächerförmige) Bild-darstellung v. a. in der Tiefe bei verminderter Auflagefläche
- Vorteile: gute Übersicht (Eignung für Abdomensonographie)
- Nachteile: Auflösungsvermögen geringer als beim Linearschallkopf, Verzerrungen im Nah- und Fernbereich

Sektorschallkopf

- Bei früher gebräuchlichen mechanischen Sektorschallköpfen werden Piezoelemente durch Drehung in verschiedene Positionen gebracht, wodurch sich Ultraschallimpulse radial ausbreiten und ein sektorförmiges Bild erzeugen
- Bei heutigen elektronischen Sektorschallköpfen werden linear angeordnete Sendeelemente gezielt elektronisch angesteuert (phasenverschobene Ansteuerung, »phased array«), wodurch das Schallfeld über das zu untersuchende Gebiet geschwenkt wird und ein sektorförmiges Bild erzeugt wird
- Vorteile: sehr kleine Ankopplungsfläche (deshalb gute Eignung für schwieriger zugängliche Regionen wie das Herz oder das Schädelinnere bei Säuglingen)



■ Abb. 1.23 Scanbereich der unterschiedlichen Sondentypen

- Nachteile: schlechte Bildauflösung im schallkopfnahen Bereich, Verzerrungen in schallkopfnahen und -fernen Arealen

Spezialsonden

EUS-Sonden

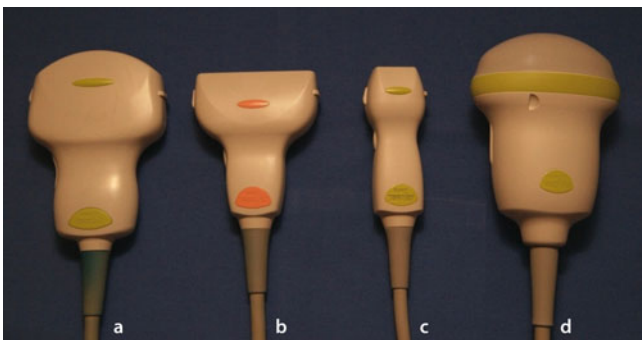
- Endoskopischer Ultraschall mit Longitudinal- oder Radialscannern (Ankopplung über einen mit Flüssigkeit gefüllten Ballon)
- Minisondensysteme (über Biopsiekanal des Endoskops eingeführt; Ankopplung hier mit luminaler Wasservorlaufstrecke)
- Indikationen:
 - Lokoregionäres Tumorstaging
 - Detektion kleiner Tumore in Pankreas oder ableitenden Gallenwegen (sensitivstes Verfahren für Nachweis von Pankreas-, Papillen- oder distalen Gallengangskarzinomen <1 cm)
 - Beurteilung der Resektabilität gastrointestinaler Tumore
 - Weitere Abklärung einer unklaren Cholestase
- Feinnadelpunktionen tumorsuspekter Tumoren im pankreatobiliären System oder suspekter Lymphknoten
- Interventionelle Endosonographie (z. B. endosonographische Zystenpunktion oder -ableitung)

TEE-Sonden

- Endoskopischer Ultraschall ohne Optik; Betrachtung des Herzens vom Ösophagus aus ohne störende Rippen und Lunge

Rektal- oder Vaginalsonden

- Stabförmige Sonden zur Untersuchung des Rektums oder der Genitalorgane (■ Abb. 1.25)
- Je nach Sonde ist radiales und seitliches oder frontales lineares Schnittbild möglich



■ Abb. 1.24a–d Schallköpfe. a) Konvexschallkopf, b) Linearschallkopf, c) Sektorschallkopf, d) 3D-Schallkopf



■ Abb. 1.25 Endorektalsonde

1.3 Sonographische Standarduntersuchung

N. Jaspers, G. Michels

1.3.1 Voraussetzung

Patientenseitige Vorbereitung

- Nüchterer Patient für die Abdomensonographie, Interventionen und KM-Sonographie; Ausnahme: Notfälle
- Nicht unbedingt nüchtern für Sonographie der Schilddrüse und des Halses, von Pleura, Lunge, Nieren, Leiste, Harnblase
- Harnblase möglichst voll (bessere Beurteilbarkeit des Unterbauches und der Beckenorgane)
- Rückenlage, möglichst mit flachem Oberkörper (max. 30° angehobener Oberkörper)
- Bauch und Unterbauch ganz frei machen (ggf. Gürtel und Hosenkнопf öffnen lassen). Abdecken von Kleidungsstücken mit Handtüchern oder Papier
- Arme hinter den Kopf (dadurch streckt sich die Bauchdecke) oder locker neben den Körper legen lassen

Untersucherseitige Vorbereitungen

- Untersuchungsmaterialien (Ultraschallgel, Unterlagen für die Liege, Handtücher oder Einmaltücher für Patienten- und Schallkopfsäuberung, spezielle Desinfektionstücher für die Schallköpfe ect.) kontrollieren und ggf. rechtzeitig nachfüllen
- Höhe des Monitors, des Bedienfeldes und des Untersuchungshockers individuell anpassen
- Passenden Schallkopf auswählen und Geräteeinstellungen optimieren (► oben)
- Rechte Hand »gelig«: Führung des Schallkopfes, Verbesserung der Ankopplung und der Darstellbarkeit der Organe durch genügend Gel, durch Variieren der Anlotebene, ggf. durch kontrollierte Kompression, um störende Luft beiseite zu schieben
- Linke Hand »trocken«: ständig auf Bedienfeld, um Ultraschallbild zu optimieren (Eindringtiefe, Bildausschnitt, Gesamthelligkeit, Tiefenausgleich ect.)
- Führung des Schallkopfkabels möglichst so, dass es trocken
- Atemkommandos und ggf. Lageänderung des Patienten, um Darstellbarkeit bestimmter Organe und Strukturen zu verbessern

! Merke

Untersuchung immer im Zusammenhang mit Indikation, Anamnese und Klinik bewerten!

1.3.2 Standardschnitte

- **Quer- bzw. Transversalschnitte:** rechter Bildrand auf Monitor und auf Abbildungen entspricht linker Körperhälfte des Patienten und umgekehrt
- **Längs- bzw. Longitudinalschnitte:** linker Bildrand entspricht dem kranial gelegenen Körperabschnitt, rechter Bildrand dem kaudalen

- Obere Hälfte des Monitorbildes zeigt die ventralen bzw. die dem Schallkopf zugewandten Körperteile, die untere Hälfte die dorsalen bzw. die dem Schallkopf fern gelegenen



Abb. 1.26 Oberbauchlängsschnitt

- Abweichend von den u. g. Standardschnitten (Abb. 1.26–1.55) können auch bei Lageanomalien oder interessanten Strukturen andere Schnittebenen verwendet werden (Dokumentation der Anlot- und Schnittebenen mit Piktogrammen)



Abb. 1.28 Paramedianer Längsschnitt

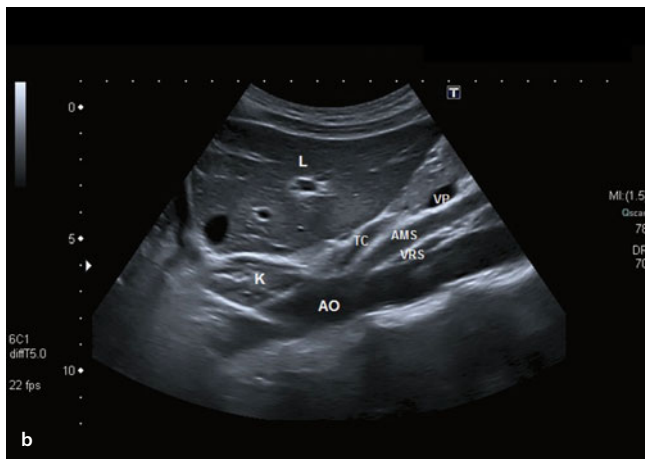


Abb. 1.27a,b a) Oberbauchlängsschnitt; b) L: Leber; AO: Aorta; K: Kardia; TC: Truncus coeliacus; AMS: A. mesenterica superior; VRS: V. renalis sinistra; VP: V. portae

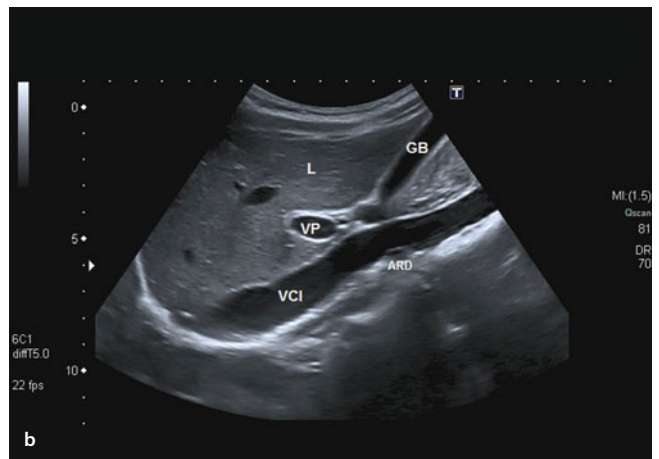
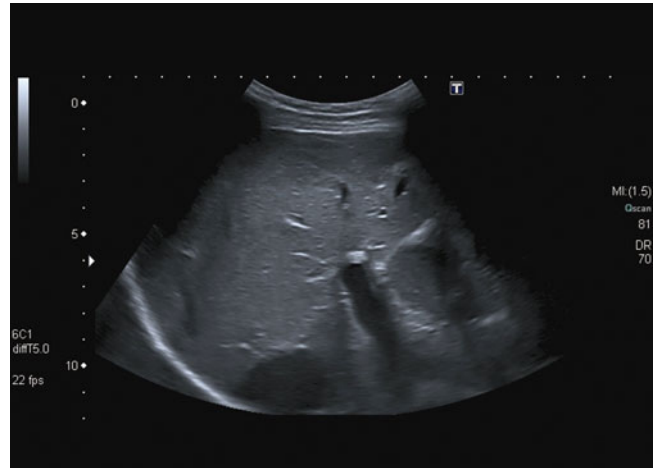


Abb. 1.29a,b a) Paramedianer Längsschnitt; b) L: Leber; GB: Gallenblase; VCI: V. cava inferior; VP: V. portae; ARD: A. renalis dextra



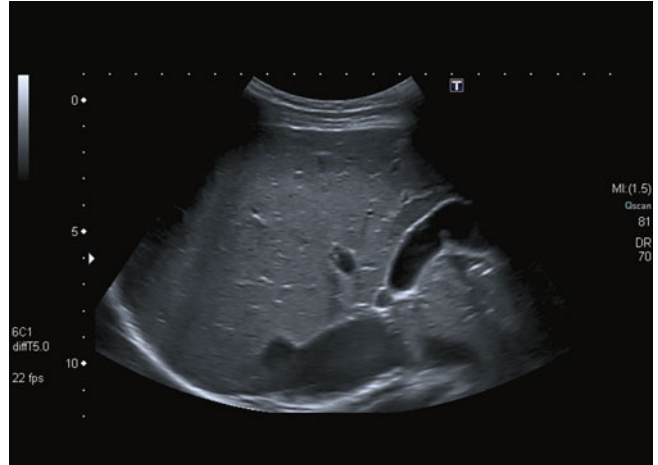
▣ Abb. 1.30 Interkostalschnitt



▣ Abb. 1.31 Interkostalschnitt



▣ Abb. 1.32 Verlängerter Interkostalschnitt



▣ Abb. 1.33 Verlängerter Interkostalschnitt



Abb. 1.34 Oberbauchquerschnitt

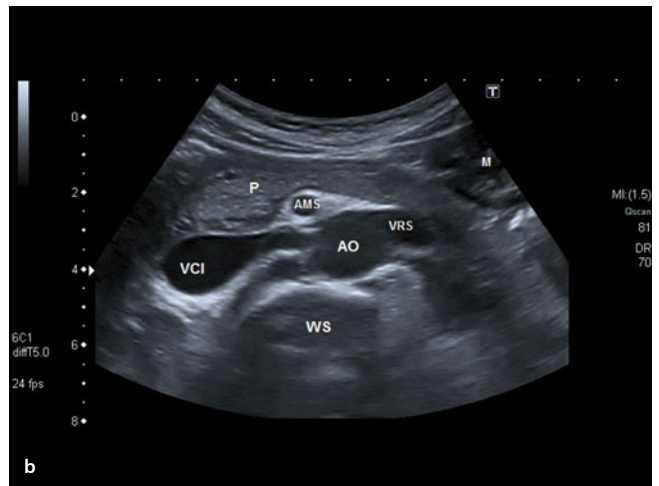


Abb. 1.35a,b a) Oberbauchquerschnitt; b) P: Pankreas; VCI: V. cava inferior; AO: Aorta; M: Magen; WS: Wirbelsäule; VRS: V. renalis sinistra



Abb. 1.36 Subkostaler Schrägschnitt rechts

Abb. 1.37 Subkostaler Schrägschnitt rechts



Abb. 1.38 Flankenschnitt rechts

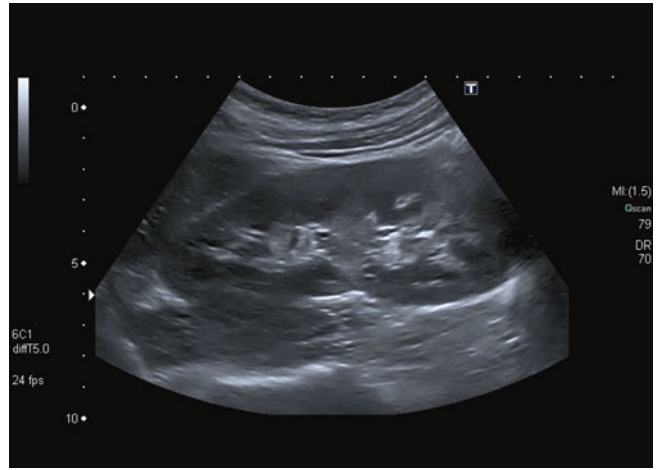


Abb. 1.39 Flankenschnitt rechts



Abb. 1.40 Hoher seitlicher Interkostalschnitt links

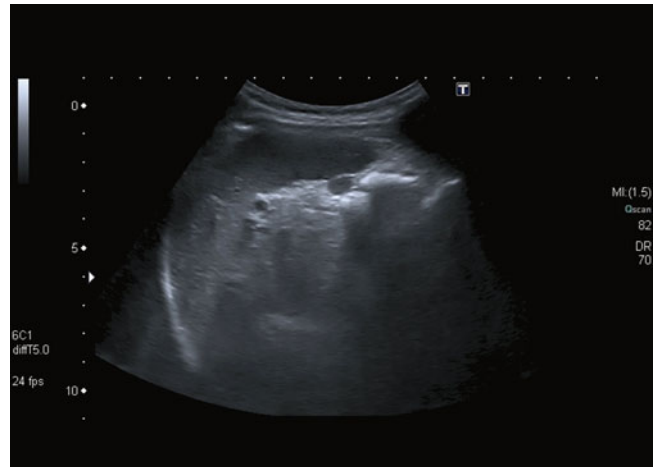


Abb. 1.41 Hoher seitlicher Interkostalschnitt links



Abb. 1.42 Flankenschnitt links

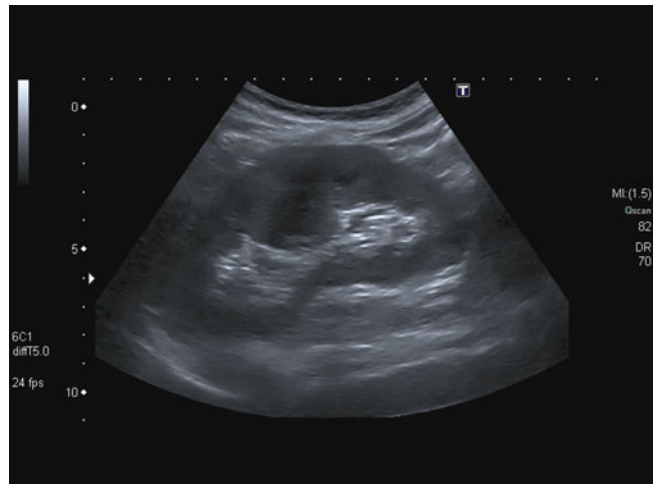


Abb. 1.43 Flankenschnitt links



Abb. 1.44 Subkostaler Schrägschnitt links



Abb. 1.46 Verlängerter hoher Interkostalschnitt rechts/Schulter-Nabel-Schnitt

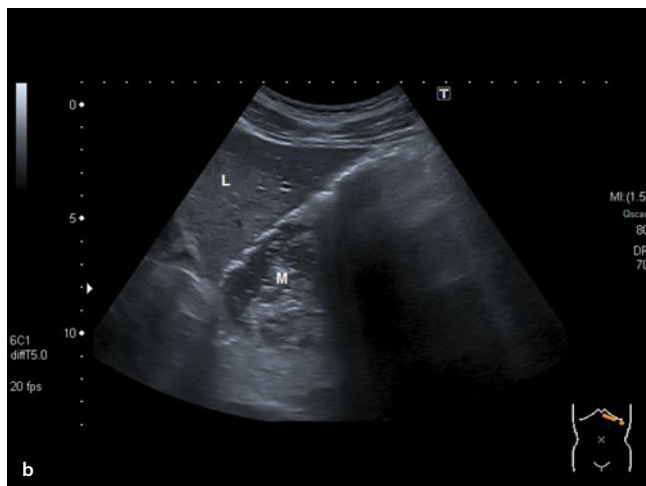
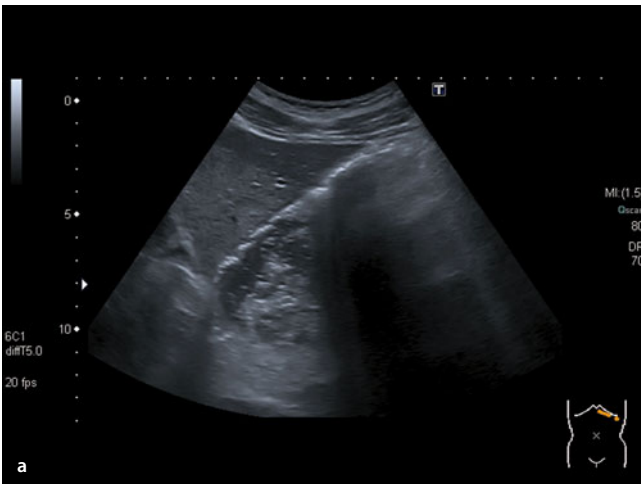


Abb. 1.45a,b a) Subkostaler Schrägschnitt links; b) L: Leber; M: Magen (nach Frühstück)

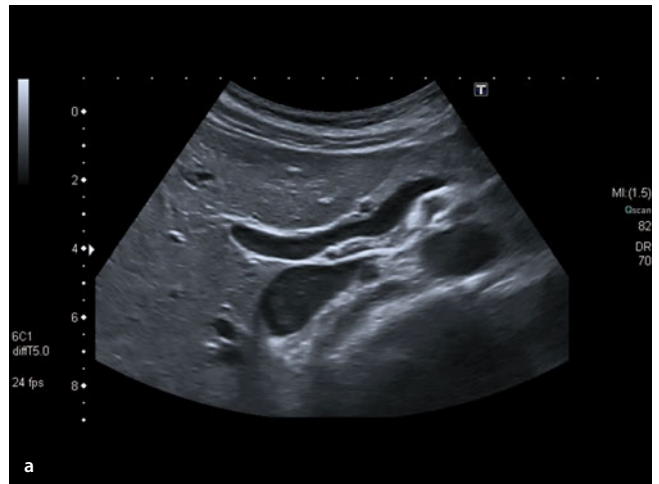


Abb. 1.47a,b a) Verlängerter hoher Interkostalschnitt rechts/Schulter-Nabel-Schnitt; b) L: Leber; VCI: V. cava inferior; AO: Aorta; P: Pankreas; AH: A. hepatica



Abb. 1.48 Mittelbauchquerschnitt

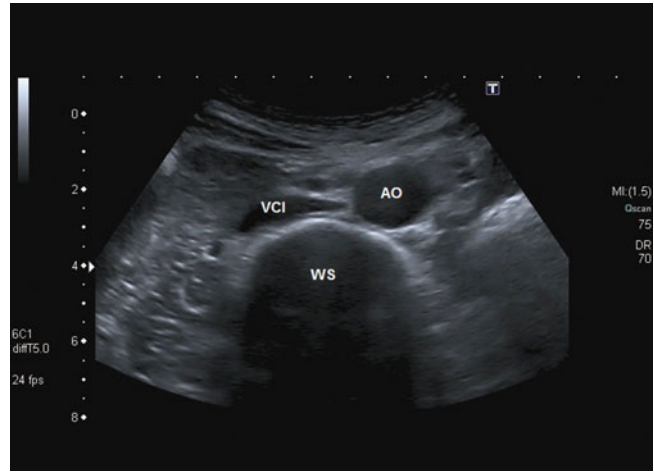


Abb. 1.49 Mittelbauchquerschnitt; VCI: V. cava inferior; AO: Aorta; WS: Wirbelsäule



Abb. 1.50 Mittelbauchlängsschnitt

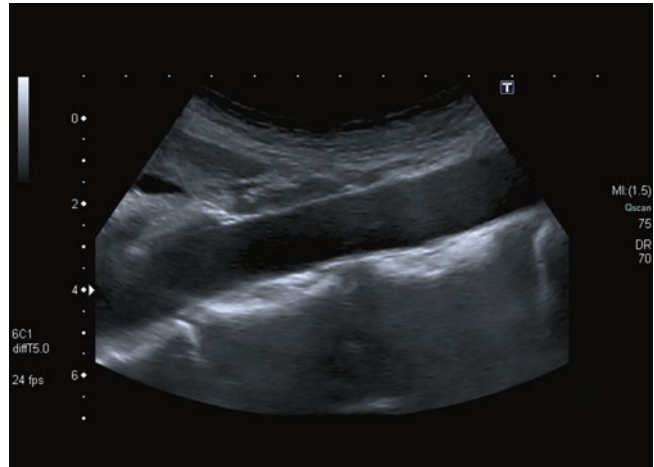


Abb. 1.51 Mittelbauchlängsschnitt



Abb. 1.52 Unterbauchquerschnitt

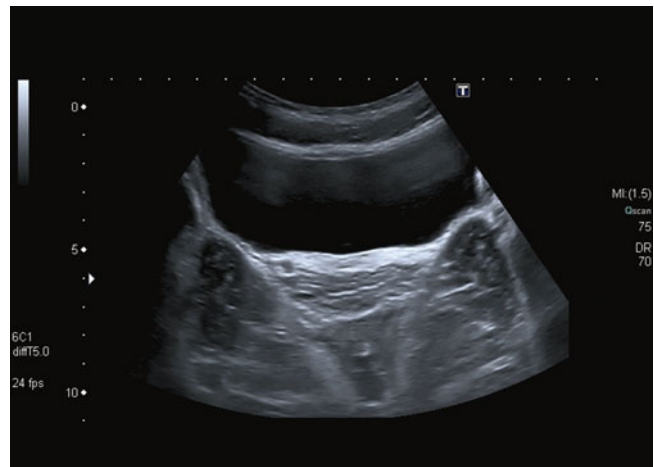


Abb. 1.53 Unterbauchquerschnitt



Abb. 1.54 Unterbauchlängsschnitt



Abb. 1.55a,b a) Unterbauchlängsschnitt; b) Ut: Uterus; HB: Harnblase; Va: Vagina

1.3.3 Standarduntersuchungsgang

! Merke

Die Aneignung eines schematisierten Untersuchungsganges (Vorteile: kein Organ wird vergessen, das komplette Abdomen wird eingesehen, Pathologien fallen eher auf) trägt zu einer qualitativen Sonographieuntersuchung bei.

- Alle Organe in **mindestens zwei Ebenen** fächerförmig durch Kippen des Schallkopfes durchmustern
- Schallkopf mit **ruhigen und fließenden** Bewegungen zwischen den einzelnen Schnittebenen ziehen, kippen oder drehen

Vorschlag für eine Abdomenuntersuchung

- Im Epigastrium im **Oberbauchlängsschnitt** beginnen, zunächst Verschieben des Schallkopfes nach links lateral am unteren Rippenbogen entlang, um **linken Leberlappen** komplett einzusehen, dann Verschieben nach rechts lateral am unteren Rippenbogen entlang. Dabei Beurteilung v. a. der Form und der Konturen der **Leber** sowie auch der **Gallenblase** im Längsschnitt
- Nutzung mehrerer **rechtsseitiger Interkostalschnittebenen**, dabei Kippbewegungen des Schallkopfes. Günstige Anlotungsebene für **rechts laterale Leberanteile** sowie für die **Leberkuppel** und zur Durchführung einer FKDS der **Pfortader**
- Aufsetzen des Schallkopfes im **Oberbauchquerschnitt**, ganz flaches Aufsetzen unterhalb des Rippenbogens mit kranialer Schallrichtung, ruhige, fächerförmige Kippbewegung von kranial nach kaudal. Mehrfache Wiederholung dieser fächerförmigen Kippbewegung, dabei sukzessives Versetzen des Schallkopfes vom Querschnitt in **subkostale Schrägschnitte rechts**. Beurteilung v. a. **parenchymaler Leberveränderungen** (diffuse und/oder fokale Veränderungen) sowie der **Gallenblase** im Querschnitt
- Darstellung der **rechten Niere im Flankenschnitt rechts**. Ziel ist es, zunächst die maximale Längsausdehnung zu erfassen. Für Querschnitt Drehung um 90° gegen den Uhrzeigersinn.
- In beiden Ebenen Fächerung der Niere durch Kippung des Schallkopfes
- Für verbesserte Darstellbarkeit der rechten Niere evtl. Interkostalschnitt oder verlängerten Interkostalschnitt mit Leber als Schallfenster
- Aufsetzen des Schallkopfes im **hohen Interkostalschnitt links**, durch leichtes kraniales Kippen des Schallkopfes und unter tiefer Inspiration (oder ggf. auch in Expiration) des Patienten ist es in der Regel möglich, die gesamte **Milz** darzustellen
- **Flankenschnitt** oder **Interkostalschnitt links** zur Einsicht der **linken Niere**, ggf. Lagerung auf die rechte

Seite. Querschnitt der Niere durch Drehung um 90° gegen den Uhrzeigersinn

- Aufsuchen der Leberpforte im verlängerten hohen Interkostalschnitt rechts bzw. Schulter-Nabel-Schnitt, zunächst Darstellung des Pfortaderhauptstammes sowie der übrigen Strukturen des Lig. hepatoduodenale, durch diskretes Drehen des Schallkopfes in Längsrichtung und minimales Kippen nach rechts wird der DHC sichtbar
- Erneutes Drehen des Schallkopfes in den **hohen Oberbauchquerschnitt**, durch Verschieben oder Kippen des Schallkopfes nach kaudal, Darstellung der V. lienalis als Leitstruktur für das **Pankreas**
- Für **Pankreaskopf** vom Querschnitt aus den Schallkopf ca. 30° gegen den Uhrzeigersinn drehen und etwas nach kaudal kippen, für **Pankreaskorpus und -kauda** Schallkopf vom Querschnitt aus in Richtung linke Schulter kippen
- Durchmustern des Pankreas auch im **Oberbauchlängsschnitt**
- Darstellung des **Pankreasschwanzes** auch im Transkostalschnitt durch das Schallfenster Milz
- Durch kontinuierliches Ziehen des Schallkopfes vom Oberbauch- in den **Mittelbauchquerschnitt** sowie vom Oberbauch- in den **Mittelbauchlängsschnitt** Darstellung der **Aorta mit ihren Gefäßabgängen**, der **V. cava inferior** sowie des **Retroperitoneums**
- Durch weiteres Verschieben des Schallkopfes in den **Unterbauchlängsschnitt** Abbildung von **Harnblase, Geschlechtsorganen** und **Douglas/Retrovesikalraum**, dabei Schallkopf auch nach rechts und links kippen oder verschieben, um gesamten Unterbauch einzusehen
- Aufsetzen des Schallkopfes oberhalb der Symphyse, Durchmustern der Harnblase und Geschlechtsorgane im **Unterbauchquerschnitt**

- Optimierungsmöglichkeiten für die Darstellung einzelner Organe werden in ► Kap. 2 beschrieben.

1.4 Dokumentation und Befundung

N. Jaspers, G. Michels

- Die exakte und eindeutige Beschreibung eines Ultraschallbefunds ist von enormer Wichtigkeit für die Reproduzierbarkeit und Interpretation
- Es sollte eine klare und möglichst einheitliche Nomenklatur verwendet werden (wie von der Nomenklaturkommission Sektion Innere Medizin der DEGUM und ÖGUM empfohlen)

1.4.1 Ultraschallnomenklatur (■ Tab. 1.3)

■ **Tab. 1.3** Nomenklatur für die sonographische Bildbeschreibung von Organen und Strukturen

Charakteristikum	Beschreibung
Lage	Orthotop, dystop, Angabe der entsprechenden abweichenden anatomischen Lage mit Benennung von Leitstrukturen
Form	Rund, oval, polygonal, lobuliert
Größe	Normal, vergrößert, verkleinert
Begrenzung/Kontur	Gut/schlecht, scharf/unscharf, Kontur glatt/wellig/höckerig/unregelmäßig
Echogenität	Normal, echoreich, echoarm, echofrei, isoechogen
Schallabschwächung	Normal, gering, ausgeprägt
Struktur	Homogen/inhomogen, vergrößert, fleckig
Raumforderung	Begriff nur dann verwenden, wenn Struktur tatsächlich raumfordernd, also verdrängend auf Umgebungsstrukturen wirkt wie Verlagerung von Gefäßen, Vorwölbung der Organoberfläche
Beziehung zu Umgebungsstrukturen	Z. B. verdrängend, infiltrierend
Vaskularisation im FKDS	Hypo-, hypervaskularisiert

1.4.2 Schriftlicher Befund und Bilddokumentation

Befunddokumentation

- Möglichst direkt im Anschluss an Untersuchung
- Freihand oder unter Verwendung von Formblättern, standardisierten Bögen, EDV-unterstützten Systemen
- Nach der KBV-Vereinbarung von Qualitätssicherungsmaßnahmen nach § 135 Abs. 2 SGB V zur Ultraschalldiagnostik vom 31.10.2008 in der Fassung vom 15.10.2010 ist der sonographierende Arzt zu folgender Dokumentation verpflichtet:
 - Patientenidentität (Name und Alter)
 - Untersucheridentifikation
 - Untersuchungsdatum
 - Fragestellung bzw. Indikation der Untersuchung
 - Ggf. eingeschränkte Untersuchungsbedingungen bzw. Beurteilbarkeit
 - Organspezifische Befundbeschreibung, außer bei Normalbefunden
 - (Verdachts-)Diagnose
 - Abgeleitete diagnostische und/oder therapeutische Konsequenzen und/oder abgeleitetes anderweitiges Vorgehen

Bilddokumentation

- Möglichkeiten der Bilddokumentation (auf gute Bildqualität achten!):
 - Videoprinter
 - Videobanddokumentation
 - Kamera
 - Digitale Bildverarbeitung und -archivierung
- Identifikation des Patienten
- Ausreichende Beschriftung bzw. Dokumentation der Schnittrichtung
- Bei Normalbefund: Darstellung von einer oder mehreren geeigneten Schnittebenen zur Belegung des Normalbefunds im Sinne der Fragestellung
- Bei pathologischem Befund: Darstellung in 2 Schnittebenen oder – wenn dies nicht möglich ist – in einer Schnittebene

Literatur

DEGUM und ÖGUM (1994) Befundung und Nomenklatur bei Ultraschalluntersuchungen innerer Organe. Empfehlung der Nomenklaturkommission Sektion Innere Medizin der DEUM und ÖGUM. Springer, Heidelberg

Vereinbarung von Qualitätssicherungsmaßnahmen nach § 135 Abs. 2 SGB V zur Ultraschalldiagnostik vom 31.10.2008 in der Fassung vom 15.10.2010
<http://www.kbv.de/Ultraschall.html>