

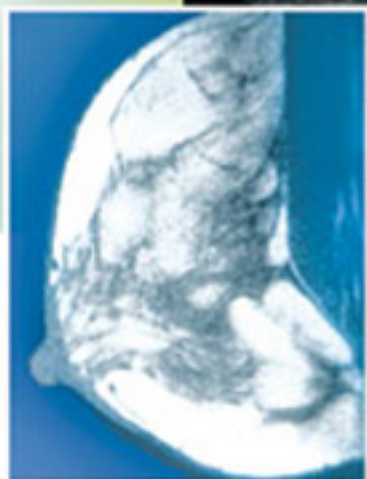
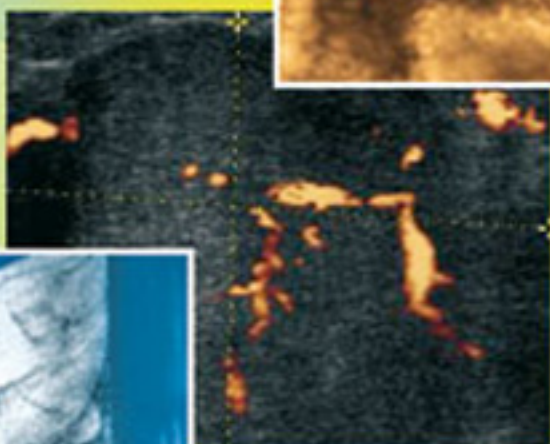
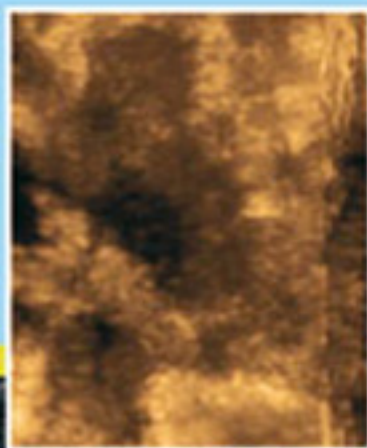
Mammasonographie

Lehratlas zur Technik und Befundinterpretation

Herausgegeben von
Christof Sohn
Jens-Uwe Blohmer

Unter besonderer
Mitarbeit von
M. Eichbaum

2., komplett aktualisierte Auflage



Kartonierte Sonderausgabe



Thieme

Mammasonographie

Lehratlas zur Technik und Befundinterpretation

Herausgegeben von

Christof Sohn
Jens-Uwe Blohmer

unter besonderer Mitarbeit von M. Eichbaum

Mit Beiträgen von

P. M. Baier
J.-U. Blohmer
M. Blumenstein
M. Eichbaum
N. Fersis
H. Frey
A.-S. Gast
G. Gebauer
M. Goeckenjan
B. Grüber-Hoffmann

A. Harcos
B. Helmchen
J. Katrechko
S. Kolay
U. Rupp
A. Schneeweiss
F. Schütz
H.-P. Sinn
C. Sohn

2., komplett aktualisierte Auflage

365 Abbildungen
9 Tabellen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · 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.

- 1. Auflage 1996
- 1. englische Auflage 1998, Breast Ultrasound
- 1. italienische Auflage 1999
- 1. brasilianische Auflage 2000 (portugiesischsprachig)

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes** entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2006 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
D- 70469 Stuttgart
Telefon: + 49/ 0711/ 8931-0
Unsere Homepage: <http://www.thieme.de>

Printed in Germany

Zeichnungen: Rüdiger Gay, Sternenfels
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlaggrafik: Martina Berge, Erbach
Satz: OADF, 71088 Holzgerlingen
gesetzt in InDesign CS 2 auf Apple Macintosh
Druck: aprinta Druck GmbH, Wemding

ISBN 3-13-102872-6 1 2 3 4 5 6
ISBN 978-3-13-102872-3

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handele.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Vorwort

Konnten wir bei Veröffentlichung der ersten Auflage unseres Lehratlas zur Mammasonographie noch feststellen, dass die Mammasonographie sich einen festen Platz in der Diagnostik von Mammatumoren erobert habe, so ist sie zehn Jahre später aus der klinischen Routine nicht mehr wegzudenken. Sie stellt einen elementaren Eckpfeiler in der Diagnostik unklarer Mammabefunde dar, neben klinischer Untersuchung, Mammographie und MR-Mammographie. In Zeiten, in denen die Zahl zertifizierter Brustzentren stetig zunimmt, wird die Bedeutung qualitativ hochwertiger und evaluierbarer Ultraschallverfahren nicht zuletzt aus Gründen des geforderten Qualitätsmanagements evident.

Daher ist es unbedingt notwendig, dem sonographisch tätigen Arzt einen Leitfaden für die Untersuchung an die Hand zu geben, mit der eine zuverlässige sonographische Beurteilung von Mammabefunden auf dem Boden des aktuellen Kenntnisstandes möglich ist.

Dessen eingedenk und aufgefordert durch die große positiven Resonanz, die wir auf die erste Auflage unseres Werkes hin erfahren haben, sahen wir uns veranlasst, unseren Lehratlas für die tägliche Praxis mit einer zweiten, komplett aktualisierten Auflage fortzuentwickeln. Dabei wurde bewusst auch in der zweiten

Auflage auf eine didaktisch klare und systematische Darstellung insbesondere der Grundlagen geachtet. Viele bewährte Bestandteile der ersten Auflage wurden hier in überarbeiteter Form wieder aufgenommen.

Aufgrund des teilweise rasanten technischen Fortschrittes, der auch zu zahlreichen Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Mammasonographie geführt hat, wurden eine Vielzahl neuer Abbildungen für diese Auflage ausgewählt. Zudem wird detailliert auch auf zunehmende Möglichkeiten der Dopplersonographie oder der 3D-Sonographie eingegangen. Ein besonderes Hilfsmittel soll dem Leser die beiliegende DVD sein, mit der erstmals auch verschiedene Befunde als 3D-Clip demonstriert und mit Klinik und Pathologie korreliert werden. Darüber hinaus wird die Bedeutung der Sonographie im Rahmen der immer wichtiger werdenden primär systemischen Therapie des Mammakarzinoms dargestellt und mit komplementären diagnostischen Verfahren wie der Mammographie bzw. der MR-Mammographie verglichen.

Heidelberg, Berlin
im Juli 2006

Prof. Dr. med. Christof Sohn
Prof. Dr. med. Jens-Uwe Blohmer

Anschriften

Dr. med. Peter M. Baier
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Sektion Pränatalmedizin und Ultraschalldiagnostik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Prof. Dr. med. Jens-Uwe Blohmer
St. Gertrauden-Krankenhaus
Brustzentrum City
Paretzer Str. 12, 10713 Berlin (Wilmerdorf)

Dr. med. Maria Blumenstein
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dr. med. Michael H.R. Eichbaum
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Priv.-Doz. Dr. med. Nikos Fersis
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dipl.-Ing. (FH) Holger Frey
Hornbergerstr. 10, 89558 Böhmenkirch

Dr. med. Anne-Sybil Gast
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Priv.-Doz. Dr. med. Gerhard Gebauer
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dr. med. Maren Goeckenjan
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dr. med. Barbara Grüber-Hoffmann
Radiologiezentrum Mannheim
Friedrichsring 4, 68161 Mannheim

Dr. med. Aba Harcos
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dr. med. Birgit Helmchen
Ruprecht-Karls-Universität
Pathologie
Im Neuenheimer Feld 220/221, 69120 Heidelberg

Dr. med. Julia Katrechko
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dr. med. Sema Kolay
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dr. med. Ute Rupp
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Priv.-Doz. Dr. med. Andreas Schneeweiss
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Dr. med. Florian Schütz
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Prof. Dr. med. Hans-Peter Sinn
Ruprecht-Karls-Universität
Pathologie
Im Neuenheimer Feld 220/221, 69120 Heidelberg

Prof. Dr. med. Christof Sohn
Ruprecht-Karls-Universität
Frauenklinik
Voßstr. 9, 69115 Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

1 Technische Grundlagen der Mammasonographie

1

C. Sohn, H. Frey

1.1	Einleitung	1	1.7	Ultraschallartefakte.	7
1.2	Piezoeffekt, Frequenz, Schwingung, Schallwelle.	1		Distale Schallschatten	7
1.3	Physikalische Effekte.	2		Distale Schallverstärkung	7
	Reflexion und Brechung	2		Randschatten	7
	Streuung	3		Nebenkeulenartefakt	8
	Interferenz	3		Reverberationsartefakt	8
	Absorption	3		Geometrische Verzeichnung	8
1.4	Bildaufbauverfahren	3		Schichtdickenartefakt	9
	Echo-Impuls-Verfahren	3	1.8	Neue Abbildungsverfahren	9
	Time Gain Control.	4		Compound-Technik	9
	A-Mode	4		Adaptive Bildauswertung	9
	B-Mode	4	1.9	Dopplersonographie	9
	M-Mode.	4		Grundlagen der Dopplersonographie . . .	9
1.5	Auflösungsvermögen.	5		Fast Fourier Transformation.	11
	Fokussierung.	5		Farbkodierte Dopplersonographie	12
1.6	Schallsonden für die Mammasonographie . .	5		Amplitudenkodierte Flussdarstellung . . .	13
	Funktionsprinzip	6	1.10	Anforderungen an ein Ultraschall- system zur Mammasonographie	13
	Linear Array	6			
	Curved oder Convex Array.	7			

2 Stellenwert der Mammasonographie innerhalb der modernen Diagnostik von Mammatumoren

15

G. Gebauer

2.1	Indikationen zur Mammasonographie	15	2.4	Klassifikation mammasonographischer Befunde (BIRADS).	16
2.2	Grundsätze zur Untersuchung der Brust . .	15	2.5	Grenzen der Mammasonographie	17
2.3	Stufenplan der Mammadiagnostik.	16			

3 Praktische Hinweise zur mammasonographischen Untersuchung

19

A.-S. Gast, J.-U. Blohmer

3.1	Ablauf der mammasonographischen Untersuchung	19		Voraussetzungen	19
	Ziel.	19		Beispiel für einen Untersuchungsablauf .	21
			3.2	Befunddokumentation.	25

4 Sonoanatomie der weiblichen Brustdrüse und ihre Veränderung im Leben der Frau 27

A.-S. Gast, J.-U. Blohmer

4.1	Normale Anatomie	27	4.5	Geschlechtsreife Frau.	29
4.2	Normale Sonoanatomie	28		Sonographie	29
4.3	Kindheit	28	4.6	Schwangerschaft und Laktation	30
	Sonographie	28		Sonographie	30
4.4	Jugend	28	4.7	Perimenopause und Senium	30
	Sonographie	29		Sonographie	31
			4.8	Mamma virilis.	32

5 Sonographische Kriterien zur Differenzialdiagnose von Mammatumoren 35

C. Sohn, M. Eichbaum, J.-U. Blohmer

5.1	Echogenität des Tumorzentrums	35	5.5	Laterale Randschatten	41
	Definition.	35		Definition.	41
	Differenzialdiagnostischer Nutzen.	36		Differenzialdiagnostischer Nutzen.	42
5.2	Binnenechos.	38	5.6	Dorsales Schallverhalten.	43
	Definition.	38		Definition.	43
	Differenzialdiagnostischer Nutzen.	38		Differenzialdiagnostischer Nutzen.	44
5.3	Tumorachse	39	5.7	Komprimierbarkeit und Verschieblichkeit	44
	Definition.	39		Definition.	44
	Differenzialdiagnostischer Nutzen.	39		Differenzialdiagnostischer Nutzen.	44
5.4	Randsaum	40	5.8	Veränderung der Umgebungsarchitektur.	44
	Definition.	40		Definition.	44
	Differenzialdiagnostischer Nutzen.	41		Differenzialdiagnostischer Nutzen.	45
			5.9	Zusammenfassung	45

6 Pathologie der Mammatumoren 47

H.-P. Sinn, B. Helmchen

6.1	Benigne Läsionen und gutartige Tumoren	47	6.2	Prämaligne Läsionen	49
	Diffuse Veränderungen und unscharf begrenzte Herdbefunde	47		Duktales Carcinoma in situ (DCIS)	50
	Scharf begrenzte Läsionen.	47		Lobuläres Carcinoma in situ.	50
	Strahlenförmige Läsionen	48		Morbus Paget der Mamille.	50
	Zystische Veränderungen und Papillome.	48	6.3	Maligne Tumoren.	50
				Scharf begrenzte Tumoren.	50
				Unschärf begrenzte und diffus infiltrierende Tumoren.	51
				Strahlenförmig begrenzte Tumoren.	52

7 Sonographie des Mammakarzinoms 55

N. Fersis

7.1	Aktuelle Diagnostik.	55		Medulläres und muzinöses Mammakarzinom	62
7.2	Bedeutung der Sonographie	55		Lymphknoten	62
	Carcinoma in situ	55		Phylloides-Tumor	62
	Invasives duktales Mammakarzinom	56			
	Invasives lobuläres Mammakarzinom (ILC).	60			

8 Sonographie der gutartigen Mammaläsionen 65

P. M. Baier, S. Kolay, U. Rupp, J.-U. Blohmer

8.1 Fibrozystische Mastopathie	65	8.5 Lipom	75
8.2 Zyste.	69	8.6 Intraduktale und intrazystische Papillome. .	77
8.3 Fibroadenome.	72	8.7 Fettgewebsnekrose.	77
8.4 Phylloides tumor.	75	8.8 Galaktozele.	78
		8.9 Postoperative Veränderungen	78

9 Stellenwert der Sonographie bei entzündlichen Brusterkrankungen 79

N. Fersis

10 Sonographie der Axilla 83

M. Blumenstein, J. Katrechko, M. Eichbaum

11 Sonographie in der Nachsorge des Mammakarzinoms 87

F. Schütz

11.1 Rezidivdiagnostik nach Rekonstruktions- plastik mittels Prothesen	92	11.2 Rezidivdiagnostik nach Rekonstruktion mit körpereigenem Gewebe	92
		11.3 Sonographische Hinweiszeichen auf die undichte Prothese	93

12 Sonographie der männlichen Brust 95

G. Gebauer

13 Einsatz der Dopplersonographie im Rahmen der senologischen Untersuchung 97

P. M. Baier, M. Goeckenjan

13.1 Technische Grundlagen der dopplersonographischen Darstellung.	97	13.3 Entwicklung der Dopplersonographie im Rahmen der Mammasonographie und Grenzen der Methode	102
13.2 Biologische Grundlagen der dopplersonographischen Darstellung bei Untersuchungen der Brust und Axilla . .	100	13.4 Status quo und besondere Indikationen zur Mammadopplersonographie.	103
		13.5 Zusammenfassung	104

14 Minimal invasive Verfahren für die differenzialdiagnostische Abklärung von Mammaläsionen 105

N. Fersis

14.1 Feinnadelpunktion	105	14.3 Vakuumbiopsie	108
Praktische Durchführung	105	Praktische Durchführung	108
14.2 Stanzbiopsie	105	14.4 Zusammenfassung	108
Praktische Durchführung	106		

15 Dreidimensionale Sonographie von Mammatumoren 109

P. M. Baier

15.1 Einleitung	109	Empfehlung zur optimalen Bilddarstellung	111
15.2 Technische Grundlagen	110	15.3 Befunde.	111
Bildaufbautechniken	110	15.4 Schlussfolgerungen	124
Artefakte	110		

16 Sonographie in der neoadjuvanten Therapie des Mammakarzinoms 125

A. Schneeweiss

17 Stellenwert der Mammographie innerhalb der modernen Diagnostik von Mammatumoren 129

B. Grüber-Hoffmann, A. Harcos

17.1 Indikationen zur Mammographie	129	Offline-Bildempfängersysteme (kassetten- basierte Bildempfängersysteme)	130
Individuelle Früherkennung.	129	Vergleich der Systeme	130
Mammographie-Screening	129	17.3 Methodik.	130
Klinische Mammographie	129	Einstelltechnik.	131
Mammographie im Rahmen der Nachsorge	129	Spezialaufnahmen	131
17.2 Technische Voraussetzungen	130	17.4 Beurteilungskriterien	133
Konventionelle Mammographie mit Film-Folien-System	130	17.5 Grenzen der Methode	137
Digitale Mammographie.	130	17.6 Strahlenrisiko durch Mammographie	137
Online-Bildempfänger-Systeme (integrierte Bildempfängersysteme).	130	17.8 Zusammenfassung	137

18 Der diagnostische Stellenwert der MR-Mammographie in der Detektion von Mammatumoren 139

B. Grüber-Hoffmann

18.1 Indikationen und Kontraindikationen der MR-Mammographie.	139	18.4 Kriterien der Auswertung und Befundbeurteilung	141
18.2 Untersuchungszeitpunkt	139	18.5 Zusammenfassung	142
18.3 Technische Voraussetzungen	139		
Methodik	139		
Die häufigsten Fehlermöglichkeiten	141		

19 Die Dokumentation in der Mammasonographie	143
M. Eichbaum, C. Sohn	
Literatur	147
Sachverzeichnis	151

1 Technische Grundlagen der Mammasonographie

1.1 Einleitung

Vor etwa 50 Jahren wurde der Ultraschall als bildgebendes Verfahren in der medizinischen Diagnostik eingeführt. Seine vielseitige Anwendungsmöglichkeit, die sehr hohe diagnostische Aussagekraft der Bildergebnisse, die Wirtschaftlichkeit und die Gefährlosigkeit für den Patienten bei beliebiger Wiederholbarkeit der Untersuchung haben dem Ultraschall eine herausragende Stellung bei den bildgebenden diagnostischen Verfahren verschafft.

1942 gelang dem österreichischen Neurologen Dusik erstmals die Durchschallung des Schädels zur Darstellung der Ventrikel. Die Methode wurde von ihm Hyperphonographie genannt. Ende der 40er Jahre wurde in den USA das Ultraschall-Reflexionsprinzip bei Untersuchungen biologischer Objekte genutzt. 1949 beschrieben Ludwig und Struthers den Einsatz von Ultraschall zum Auffinden von Gallensteinen. Die Darstellung anatomischer Details gelang Howry und Bliss 1950. Sie entwickelten die B-Bild-Technologie. Das Messobjekt befand sich dabei in einem Wasserbad. Den Grundstein der Echoenzephalographie legte der Schwede Leksell ebenfalls 1950 mit der Darstellung des Mittelechos am intakten Schädel. 1954 beschrieben Edler und Herz erstmalig die Echokardiographie.

Satumura berichtete 1959 über Ultraschall-Doppler-Methoden zur Überprüfung der kardialen Funktion. Die Einführung der Echtzeit-Bildgebung durch Krause und Soldner 1965 haben dem Ultraschall einen ungeahnten Aufschwung in der nichtinvasiven Untersuchung des menschlichen Körpers gegeben.

Bis zum gegenwärtigen, routinemäßigen Einsatz der Sonographie sind viele Jahre vergangen, die von vielen technischen Entwicklungen geprägt waren. Mittlerweile hat sich die sonographische Untersuchungstechnik soweit verbessert, dass es möglich ist, auch feinste Strukturunterschiede abzubilden, die es erlauben auf die Dignität der Befunde zu schließen. Die sog. Mammasonographie, die Ultraschalluntersuchung der Brustdrüse, hat sich in den letzten Jahren aufgrund ihrer hohen Abbildungsqualität neben der Mammographie zur wichtigsten Untersuchungsmethode zur Diagnosestellung entwickelt. Neuartige Ultraschallverfahren haben die Auflösungsvermögen drastisch gesteigert. Dazu gehören sende- und empfangsseitige Compoundtechniken, Echtzeit-Analyseprogramme der Rohdatenstrukturen zur artefaktfreien Darstellung und Verfahren zur Visualisierung der Gewebeelastizitäten.

Im Folgenden wird ein Überblick über die physikalisch/technischen Grundlagen der Mammasonographie und neuere Techniken zur erweiterten sonographischen Diagnostik gegeben.

1.2 Piezoeffekt, Frequenz, Schwingung, Schallwelle

Zur Erzeugung von Schallwellen für die medizinische Ultraschalldiagnostik wird der erstmals im Jahre 1880 durch das Geschwisterpaar Pierre und Jacques Curie beschriebene piezoelektrische Effekt genutzt.

Wird an den Oberflächen eines Piezokristalls eine elektrische Spannung angelegt, wird dieser elastisch verformt. Die Richtung der Verformung, Ausdehnung oder Verkürzung ist von der Polarität der Spannung abhängig. Durch regelmäßige Änderung der Polarität (Wechselspannung) fängt der Kristall an zu schwingen. Die Häufigkeit der Schwingung pro Zeiteinheit wird als Frequenz bezeichnet. Die Maßeinheit der Frequenz ist das Hertz (Hz). Ein Hz entspricht einer Schwingung pro Sekunde, 1000 Schwingungen pro Sekunde sind dementsprechend 1000 Hz bzw. 1 kHz (Kilohertz) und 1 Million Schwingungen pro Sekunde entsprechen einer Frequenz von 1 MHz (Megahertz).

Wird nun der Piezokristall durch einen auf diesen ausgeübten Druck in Schwingung versetzt, kann an dessen Oberflächen eine elektrische Wechselspannung über einen Widerstand abgegriffen werden, deren Frequenz exakt der Schwingungsfrequenz des Piezokristalls entspricht.

Die Schwingung der Piezoelemente kann nun an den menschlichen Körper angekoppelt werden und erzeugt dort eine Schallwelle. Die Entstehung und Ausbreitung einer Schallwelle wird in Abbildung 1.1 dargestellt. Wird ein Teilchen zu einer Schwingung angeregt, so wird diese Schwingung auf das benachbarte Teilchen des Mediums übertragen, von diesem auf das nächste Teilchen und so weiter. Es wird dabei eine Bewegungsenergie auf die benachbarten Teilchen weitergeleitet, die sich sinusförmig im Medium ausbreitet. Diese kontinuierliche Weiterleitung der Bewegungsenergie wird als fortlaufende Welle, als Schallwelle, bezeichnet. Betrachten wir von einer fortlaufenden Schallwelle eine Momentaufnahme (Schnappschuss), können wir folgende Bereiche ausmachen (Abb. 1.2): einen Bereich „höherer Dichte“ (Druckphase, Kompression), wo die Teilchen näher beieinander stehen und einen Bereich „niederer Dichte“ (Sogphase, Kavitation), wo die Teilchen weiter auseinander stehen. Die Bereiche der Kompression und Kavitation wechseln sich konstant periodisch ab. Der Abstand zwischen zwei gleichen Phasen, also z. B. von einer Druckphase bis zur nächsten Druckphase wird als Wellenlänge „ λ “ bezeichnet.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle ist abhängig von der Dichte des durchlaufenen Gewebes. Je höher die Gewebedichte, desto höher ist die

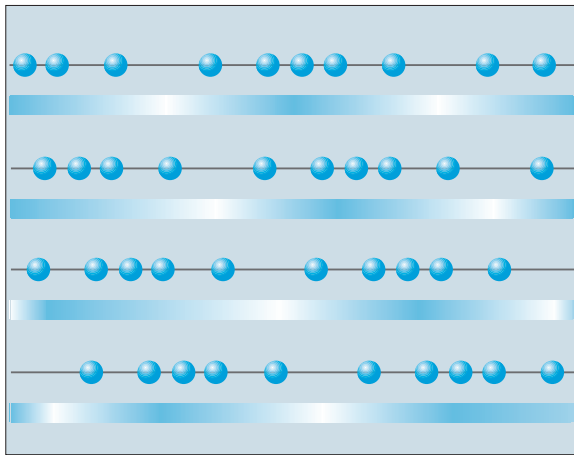


Abb. 1.1 Ausbreitung einer Schallwelle: Wird ein Teilchen zum Schwingen angeregt, wird die Bewegungsenergie auf die benachbarten Teilchen weitergeleitet, die sich sinusförmig im Medium ausbreitet.

Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle wird als Schallgeschwindigkeit „ v “ bezeichnet. In einem kompakten, dichteren Gewebe (z.B. Knochen) ist die Teilchendichte sehr viel höher als in einem weniger dichten Gewebe (z.B. Lebergewebe). Deshalb ist in einem dichteren Gewebe die Schallgeschwindigkeit größer, da der Schwingungsweg kleiner ist, bis die Bewegungsenergie eines Teilchens auf das nächste weitergeleitet wird.

Für die Wellenausbreitung gilt das Weg-Zeit-Gesetz: Die Schallgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Produkt von Wellenlänge und Frequenz.

$$v = \lambda \times f$$

Die Schallgeschwindigkeit in der bildgebenden medizinischen Ultraschalldiagnostik wird als gewebeunabhängig, d.h. als konstante Größe mit **1540 m/s** angenommen.

Für die Mammasonographie werden Ultraschallfrequenzen im Bereich zwischen 5,0 und 15,0 MHz verwendet. Damit ergeben sich Wellenlängenbereiche zwischen 0,3 mm bei einer Frequenz von 5,0 MHz und 0,1 mm bei einer 15 MHz Frequenz. Eine detaillierte

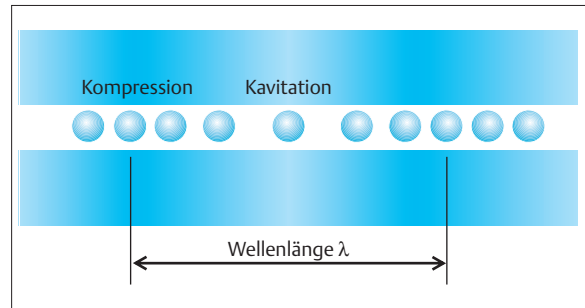


Abb. 1.2 In einer Schallwelle können periodisch wiederkehrende Phasen (Kompressions- und Kavitationsphase) erkannt werden. Der Abstand zwischen zwei gleichen Phasen wird als Wellenlänge λ bezeichnet.

Übersicht über die in der Mammasonographie verwendeten Frequenzbereiche und den damit verbundenen Wellenlängen ist in Tabelle 1.1 dargestellt.

1.3 Physikalische Effekte

■ Reflexion und Brechung

Für die Schallausbreitung im Gewebe gelten i. A. die Gesetze der Wellenoptik. An den Grenzflächen zwischen Gewebe unterschiedlicher Dichte kommt es zu einem sog. Impedanzsprung. Als Impedanz wird der Schallwellenwiderstand „ Z “ bezeichnet, der sich aus der Schallgeschwindigkeit multipliziert mit der Dichte des durchschallten Gewebes berechnet. An diesen sog. akustischen Grenzflächen erfährt die Schallwelle eine Änderung. Dabei wird ein Teil der ankommenden Schallwelle reflektiert (**Reflexion**) und läuft als Echo zum Schallkopf zurück, der andere Teil läuft weiter ins Gewebe (**Transmission**) und wird dabei, abhängig von Einfallswinkel zwischen Schallwelle und Grenzfläche, aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, also gebrochen (Abb. 1.3). In einem homogenen Medium (z.B. flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen), in denen keine Dichteunterschiede und damit auch keine Impedanzsprünge vorliegen, wird die Schallwelle nicht reflektiert. Im späteren Ultraschallbild werden diese flüssigkeitsgefüllten Räume als echofreie Bereiche abgebildet.

Tab. 1.1 Kennwerte für diagnostischen Ultraschall in der Mammasonographie.

	Wellenlänge [mm]	Eindringtiefe [cm]	laterale Ortsauflösung [mm]	axiale Ortsauflösung [mm]
5	0,31	10	1,2	0,35
7,5	0,21	6,7	0,8	0,25
10	0,16	5	0,6	0,2
15	0,1	3,3	0,4	0,15