

A. Strauss (Hrsg.)

Ultraschallpraxis

Geburtshilfe und Gynäkologie

2., vollständig überarbeitete Auflage

A. Strauss

Ultraschallpraxis Geburtshilfe und Gynäkologie

Unter Mitarbeit von
Ivo Markus Heer, Susanne Müller-Egloff, Alexander Burges

Mit 563 teils farbigen Abbildungen

Prof. Dr. med. univ. Alexander Strauss
Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe und Michaelis Hebammenschule
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Campus Kiel
Christian-Albrechts-Universität
Brunswiker Straße 10
24105 Kiel

ISBN-13 978-3-540-78252-0 Springer Medizin Verlag Heidelberg

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 Verlag
springer.de
© Springer Medizin Verlag Heidelberg 2008

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.

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: Dr. sc. hum. Sabine Höschele, Heidelberg
Projektmanagement: Dipl.- Biol. Ute Meyer-Krauß, Heidelberg
Layout und Einbandgestaltung: deblik Berlin
Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH, Würzburg

SPIN: 12175659

Gedruckt auf säurefreiem Papier 2111 – 5 4 3 2 1 0

Geleitwort zur zweiten Auflage

Die Frauenheilkunde ist eine der großen Fachrichtungen in der klinischen Medizin. Im Gegensatz zu den anderen Disziplinen ist sie ungeteilt und umfasst mit zahlreichen Schwerpunkten die gesamte Spanne des Lebens. Zu nennen sind hier unter anderem: die Geburtshilfe und Perinatalmedizin, die operative Gynäkologie und Onkologie, die Urogynäkologie sowie die gynäkologische Endokrinologie und Reproduktionsmedizin. Auf allen Gebieten hat es in den letzten Jahren eine außergewöhnliche Entwicklung durch eine regelrechte Explosion an Erkenntnissen gegeben. Fortschritte in der Grundlagenforschung, insbesondere der Molekularbiologie, aber auch von diagnostischer und therapeutischer Seite her, haben unser Wissen und unsere Kenntnisse zu einem besseren Verständnis physiologischer und pathophysiologischer Zusammenhänge erweitert.

Die Sonographie nimmt bei dieser Entwicklung einen bedeutenden Platz ein. Die Möglichkeit, das Innere des menschlichen Körpers einzusehen und neben der Darstellung anatomischer Zusammenhänge physiologische und pathologische Abläufe sichtbar zu machen, ist aus unserem Fach nicht mehr wegzudenken. Bei einer Vielzahl, der von uns erarbeiteten Leitlinien aller Sachgebiete ist daher die Ultraschalluntersuchung als ein wichtiges diagnostisches Werkzeug mit eingegangen.

Die jetzt in ihrer Neuauflage vorliegende *Ultraschallpraxis Geburtshilfe und Gynäkologie* vermittelt – eingebettet in die große Fülle des Stoffes – das Grundwissen, um sich die notwendigen Kenntnisse anzueignen. Dabei ist es den Autoren gelungen, das Prinzip der Praxisrelevanz in den Vordergrund zu stellen. Sowohl der frauenärztliche Nachwuchs als auch die erfahrene Kollegenschaft finden ein Fachbuch vor, in das es sich lohnt hineinzulesen.

Ich wünsche dem Buch die ihm zustehende weite Verbreitung und hoffe, dass es – wie von Herrn Kollegen Strauss in seinem Vorwort zur ersten Auflage ausgedrückt – den gewünschten Platz neben dem Ultraschallgerät in Praxen und Kliniken findet.

Kiel, im Juni 2008
Walter Jonat

Geleitwort zur ersten Auflage

Die Möglichkeit, den diagnostischen Blick in das Innere des menschlichen Körpers zu richten, war nicht nur ein lang gehegter Menschheitstraum, sondern eine der Voraussetzungen medizinischen Fortschrittes, wie wir ihn seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts erleben. Bis heute hat sich eine Vielzahl von bildgebenden Verfahren etabliert, die neben Anamnese mit Untersuchung und den laborchemischen Befunden zur dritten Säule der modernen Diagnostik geworden sind. In der Frauenheilkunde und Geburtshilfe ist die Sonographie die Standardbildgebung, die nicht mehr aus unserem Fach wegzudenken ist. Dabei handelt es sich um eine relativ junge Entwicklung, die in den letzten beiden Jahrzehnten durch den rasanten technischen Fortschritt der Schallköpfe und der Software zur Bildbearbeitung möglich wurde. Sie erlaubt uns heute die Darstellung der Organe des weiblichen kleinen Beckens und die Beurteilung des Brustdrüsenorgans mit Axilla sowie die Überwachung von Schwangerschaften.

Die Anwendung sonographischer Bildgebung sollte jedoch nicht davon ablenken, dass sich durch diese, wie bei jeder anderen neuen medizinischen Methode auch, Fragen ergeben, zu deren Diskussion wir aufgerufen sind. In der Pränatalmedizin ermöglicht uns die Sonographie, intrauterines Leben zu beurteilen. Die Kompetenz und die Urteilskraft des Untersuchers können so schicksalhaft für das ungeborene Leben werden. Der verständliche Wunsch nach einem gesunden Kind auf der einen, und die Ablehnung gesellschaftlich definierter Normabweichungen auf der anderen Seite markieren ein Dilemma moderner Pränatalmedizin, mit dem wir uns auseinander setzen müssen. Aber nicht nur im auch öffentlich vieldiskutierten Bereich der Pränatalmedizin, sondern auch in der Sonographie der Frauenheilkunde sind wichtige Fragen weiter ungeklärt. So ist die Problematik einer suffizienten Früherkennung maligner Veränderungen, nicht zuletzt vor dem Hintergrund des wachsenden Kostendruckes, nur ansatzweise gelöst.

Zwei Voraussetzungen sind für den verantwortungsvollen Umgang mit der Sonographie wesentlich: zum einen der Erwerb der Fähigkeit, Indikation und Anwendung zu beherrschen und zum anderen der Wille, den uns anvertrauten Patientinnen als Ärzte partnerschaftlich zur Seite zu stehen. Das vorliegende Buch ist eine Grundlage, sich Wissen über die Sonographie in Geburtshilfe und Gynäkologie anzueignen.

In diesem Sinne wünsche ich diesem Werk Erfolg, eine weite Verbreitung und eine aufmerksame Leserschaft.

Prof. Dr. med. Hermann Hepp

Vorwort zur zweiten Auflage

Die Kunst ist lang, das Leben ist kurz, die günstige Gelegenheit ist flüchtig, die Erfahrung ist trügerisch, die richtige Entscheidung ist schwierig. Medizin ist nicht nur Wissenschaft, sondern immer auch Kunst. (Hippokrates 460–370 v. Chr.)

Medizin, nicht nur Wissenschaft sondern auch Kunst! Auf die individuelle Einschätzung dynamischer Ultraschallbilder trifft dies in besonderer Weise zu. Das Fundament datenbasier-ten Wissens und die persönliche *Erfahrung* in der Betreuung der uns anvertrauten Patientinnen sind Grundlagen für die nicht immer einfachen *Entscheidungen* in der Frauenheilkunde. Diagnosefindung, Wahl der sich daraus ableitenden therapeutischen Konsequenzen und das vermittelnde Gespräch, dies erachten wir als ärztliche *Kunst*, die auch in der modernen Medizin ihre herausragende Rolle behauptet.

Medizinische Fachbücher aktuell aufzulegen kann unterschiedliche Gründe haben. Einerseits mag die Voraufgabe vergriffen sein, andererseits mag sich die medizinische Wissenschaft relevant verändert haben. Für *Ultraschallpraxis Geburtshilfe und Gynäkologie* trifft beides in gleicher Weise zu. Seit Erscheinen der ersten Auflage im Jahr 2004 hat sich die Praxis der gynäkologischen Sonographie, der Mammasonographie wie auch der Pränatalmedizin rasch weiterentwickelt. Diesen Wissenszuwachs aufzunehmen, ohne auf Bewährtes zu verzichten, steht im Zentrum unserer Bemühungen um die Fortschreibung eines Ultraschallbuchs. In klar strukturierter Didaktik paaren sich Grundlageninformationen, Spezialwissen und aus der persönlichen Erfahrung heraus geprägte praxisorientierte Handlungsempfehlungen. *Ultraschallpraxis Geburtshilfe und Gynäkologie* soll so seinen angestammten Platz direkt neben dem Ultraschallgerät auch weiterhin innehaben.

Für die Anregungen zur Weiterentwicklung der ersten Auflage bin ich allen diesbezüglich aktiven Kolleginnen und Kollegen sehr dankbar. Besonders hilfreich war darüber hinaus die redaktionelle Unterstützung von Frau Dipl.-Biol. Ute Meyer-Krauß. Unseren Bemühungen, nicht nur eine Zweit- sondern eine echte Neuauflage zu verwirklichen, hat dies substanziell Gehalt gegeben.

Kiel, im Juni 2008
Alexander Strauss

Vorwort zur ersten Auflage

Der grundlegende Wandel, dem Geburtshilfe und Gynäkologie in den letzten Jahren unterworfen waren, brachte neben medizinischem Wissenszuwachs auch die verstärkt eingeforderte Selbstbestimmung von Patientinneninteressen mit sich. Diese Entwicklung wirkt sich in besonderem Maße auch auf den Bereich der sonographischen Bildgebung aus. Seit der Einführung des Ultraschalls in die Geburtshilfe und Gynäkologie hat der Arbeitsbereich Sonographie seine Bedeutung für den Frauenarzt beständig erweitert. Mittlerweile ermöglicht die fortschreitende Entwicklung der Gerätetechnologie und der Zuwachs an Kenntnissen auf Seiten der Untersucher eine Detailgenauigkeit der Diagnostik, die noch vor wenigen Jahren undenkbar erschien. Sowohl die Pränataldiagnostik als auch das Einsatzgebiet des Ultraschalls im Bereich der Gynäkologie, der Mamma- und Inkontinenzdiagnostik wurden über den zu Beginn ihrer Entwicklung vorwiegend diagnostischen Charakter hinaus schrittweise in Richtung der Therapie bzw. einer beratenden Begleitung und/oder Prophylaxe erweitert. Die Sonographie konnte so nachhaltig zu einem integralen Bestandteil unseres Faches und damit der Weiterbildung werden.

Die sich verändernden Ansprüche verlangen nach ihrer Entsprechung in der Fachliteratur. Das wissenschaftliche Detailstudium von Fragen zur geburtshilflich-gynäkologischen Ultraschalldiagnostik ist Domäne des Lehrbuches. Allerdings kann damit dem Wunsch nach befundorientierter Übersichtlichkeit häufig nur teilweise Rechnung getragen werden. Richtschnur bei der Konzeption von *Ultraschallpraxis – Geburtshilfe und Gynäkologie* waren daher für uns Fragestellungen aus der täglichen Beschäftigung mit dem Sonographiegerät. Eine an der praktischen Benutzung orientierte Systematik zum raschen Zugriff auf die theoretischen Wissensinhalte wird dabei von aktueller Bildinformation in einem ausgewogenen Verhältnis ergänzt. Sowohl für den in der Ultraschalldiagnostik bereits Erfahrenen wie auch für den weniger Geübten werden alle klinisch relevanten sonographischen Fragestellungen kompakt aufgearbeitet.

Die Erarbeitung eines für die Praxis konzipierten Leitfadens zur pränatalen Medizin und gynäkologischen Ultraschalldiagnostik lebt von einem einheitlichen Konzept und der engen Kooperation aller Autoren. Aus der wöchentlichen Ultraschall-Fortbildungsreihe Sound & Semmel der Klinik und Poliklinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe – Großhadern hervorgegangen, entwickelten sich die einzelnen Themen des Buches aus den dort eingebracht und intensiv interdisziplinär diskutierten praktischen Beiträgen von Mitarbeitern der Klinik. Mein besonderer Dank gilt hierbei Dr. med. Ivo Markus Heer, Dr. med. Susanne Müller-Egloff und Dr. med. Alexander Burges. Zur Abrundung des Bildmaterials haben dankenswerterweise Prof. Dr. med. Franziskus Kainer und Dr. med. Thomas Müller wesentlich beigetragen. Wesentlichen Anteil an der Planung wie auch der Realisierung dieses Buches haben die Mitarbeiter des Springer-Verlags, Heidelberg. Die redaktionelle Mitarbeit von Elisabeth Narciß war mir diesbezüglich stets die Quelle wertvoller Hilfe. Die Planung und Ausarbeitung eines Buchprojekts neben der täglichen klinischen wie auch wissenschaftlichen Beschäftigung bedeutet erheblichen Zeitbedarf an Abenden und Wochenenden. Meinen Kindern – Leopold, Alice und Marie – bin ich daher für ihr Verständnis und ihre bewundernswerte Geduld zu besonderem Dank verpflichtet.

Den individuellen Befund zu erkennen, seine prognostische Einschätzung zu erleichtern und eine klinische Entscheidungshilfe bei der Beratung und/oder Behandlung unserer Patientinnen zu leisten, ist Anspruch aller Autoren. Ich wünsche unserem für die Praxis verfassten Buch den ihm zgedachten festen Platz direkt neben dem Ultraschallgerät.

München, im November 2003
Alexander Strauss

Allgemeiner Teil	I
Sonographische Pränataldiagnostik	II
Invasive Pränataldiagnostik	III
Pränatale Therapie	IV
Gynäkologische Sonographie im kleinen Becken	V
Mammasonographie	VI
Urogynäkologie	VII
Reproduktionsmedizin	VIII

	Allgemeiner Teil	I
Geburtshilfe	Sonographische Pränataldiagnostik	II
	Frühschwangerschaft	
	Wachstums- und Versorgungsdiagnostik	
	Fruchthöhle und Plazenta	
	Mehrlingsschwangerschaft	
	Kopf, Hals und zentrales Nervensystem	
	Thorax	
	Herz	
	Abdomen	
	Skelettsystem	
	Syndromale Krankheitsbilder	
	Chromosomenstörungen	
	Maternale und fetale Schwangerschaftserkrankungen	
	Invasive Pränataldiagnostik	III
Pränatale Therapie	IV	
Gynäkologie	Gynäkologische Sonographie im kleinen Becken	V
	Uterus	
	Ovar	
	Abdomen	
	Mammasonographie	VI
Urogynäkologie	VII	
Reproduktionsmedizin	VIII	

Inhaltsverzeichnis

I. Allgemeiner Teil

1	Physikalische Grundlagen	3
2	Sonographische Artefakte	7
3	Sicherheitsaspekte	10
4	Aktuelle technische Entwicklungen	13
5	3D-Ultraschall: Technik und Anwendungsmöglichkeiten	15
6	Pränatale Kernspindiagnostik	19
7	Historische Entwicklung der Pränatalmedizin	23

Geburtshilfe

II. Sonographische Pränataldiagnostik

8	Beratung bei pränataler Diagnostik	29
9	Normalbefunde und Störungen in der Frühschwangerschaft	33
10	Normalbefunde im II. u. III. Trimenon	37
	Frühschwangerschaft	41
11	Nackentransparenzmessung und biochemisches Serummarkerscreening	43
	Wachstums- und Versorgungsdiagnostik	47
12	Embryonale und fetale Biometrie	49
13	Dopplersonographie in der Geburtshilfe	51
14	Kindliche Wachstumsretardierung	55
	Fruchthöhle und Plazenta	57
15	Plazenta	59
16	Nabelschnur	63
17	Blasenmole	67
18	Fruchtwasser	71
19	Amnionbandsyndrom	73
	Mehrlingsschwangerschaft	77
20	Mehrlingsschwangerschaft	79
21	Fetofetales Transfusionssyndrom	83
	Kopf, Hals und zentrales Nervensystem	87
22	Anecephalus	89
23	Spina bifida, Enzephalozele	93

24	Mikrozephalus	97
25	Hydrozephalus	99
26	Aneurysma der Vena Galeni	103
27	Hintere Schädelgrube	107
28	Tumoren des ZNS	111
29	Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte	115
30	Epignathus, Halsteratom	119
	Thorax	123
31	Lungen- und Bronchialanomalien	125
32	Kongenitale zystisch adenomatoide Lungenmalformation	129
33	Lymphangiom	133
	Herz	135
34	Fetale Echokardiographie	137
35	Vorhofseptumdefekt	141
36	Ventrikelseptumdefekt	145
37	Atrioventrikularseptumdefekt	149
38	Hypoplastisches Linksherzsyndrom	153
39	Trikuspidalatresie, -dysplasie und Ebstein-Anomalie	157
40	Univentrikuläres Herz	161
41	Pulmonalstenose	163
42	Aortenstenose	167
43	Fallot-Tetralogie	169
44	Transposition der großen Arterien	173
45	Truncus arteriosus communis	177
46	Herznahe Anomalien der großen Gefäße	178
47	Fetale Herzrhythmusstörungen	181
48	Herztumoren	185
	Abdomen	187
49	Zwerchfellhernie	189
50	Bauchwanddefekt	193
51	Drehungsanomalien	197
52	Fetale Oberbauchsonographie	199
53	Obstruktionen des Gastrointestinaltrakts	203
54	Darmveränderungen	207
55	Obstruktive Uropathie	209
56	Bilaterale Nierenagenesie	213
57	Prune-belly-Syndrom	217
58	Nierendysplasien	221
59	Nierentumoren	225
60	Kongenitales adrenales Neuroblastom	227
61	Steißbeinteratom	229
62	Sonographische Geschlechtsbestimmung	233

Skelettsystem 237	
63	Extremitätenfehlbildungen I (Knochenverkürzungen, Zwergwuchsformen) 239
64	Extremitätenfehlbildungen II (limb reduction defects, Hand- und Fußfehlbildungen) 245
65	Osteogenesis imperfecta 249
66	Kaudales Regressionssyndrom 250
Syndromale Krankheitsbilder 253	
67	Cornelia-de-Lange-Syndrom 255
68	Beckwith-Wiedemann-Syndrom 257
69	Holt-Oram-Syndrom 259
70	Apert-Syndrom 261
71	Meckel-Gruber-Syndrom 263
Chromosomenstörungen 265	
72	Trisomie 21 (Down-Syndrom) 267
73	Trisomie 18, Trisomie 13 271
74	Triploidie, Fehlverteilung gonosomaler Chromosomen 275
75	Monosomie X0 277
76	Strukturelle Chromosomenaberrationen 281
77	Monogene Erbkrankheiten 285
Maternale und fetale Schwangerschaftserkrankungen 289	
78	Schwangerschaftsinduzierte Hypertonie, Präeklampsie, Eklampsie, HELLP-Syndrom 291
79	Diabetes mellitus 295
80	Intrauterine Infektionskrankheiten 297
81	Nichtimmunologischer Hydrops fetalis 305
82	Alkoholembryopathie 308
III. Invasive Pränataldiagnostik	
83	Genetische Beratung 313
84	Amniozentese 317
85	Chorionzottenbiopsie, Plazentozentese 321
86	Cordozentese 325
87	Molekulargenetische Blutgruppendiagnostik 329
88	Embryoskopie, Fetoskopie 331
89	Rechtliche Grundlagen des Schwangerschaftsabbruchs – Beratung der Schwangeren in einer Not- und Konfliktlage 334
90	Embryonenschutzgesetz 335
91	Präimplantationsdiagnostik 337

IV. Pränatale Therapie

92	Fetale Analgesie und Relaxierung 343
93	Amniondrainage 345
94	Amnioninfusion 349
95	Blutgruppenunverträglichkeit 352
96	Intrauterine Transfusion 355

Gynäkologie

V. Gynäkologische Sonographie im kleinen Becken

97	Transabdominale und transvaginale Sonographie 361
98	Sonographie in der Kinder- und Jugendgynäkologie 363
99	Dopplersonographie in der Gynäkologie 367
100	Punktionen in der Gynäkologie 369
101	Intraoperativer Ultraschall 371
102	Endoskopischer Ultraschall 373
Uterus 375	
103	Endometrium 377
104	Intrauterinpeessar 381
105	Myom 385
106	Adenomyosis uteri 389
107	Uterusfehlbildungen 391
108	Kollumkarzinom 395
109	Endometriumkarzinom 399
Ovar 403	
110	Ovarialzyste 405
111	Endometriose 409
112	Entzündliche Erkrankungen im Adnexe-bereich 413
113	Extrauterin-gravidität 415
114	Ovarialkarzinom 419
115	Nicht-gynäkologische Unterbauchtumoren 423
Abdomen 425	
116	Adhäsionsultraschall 427
117	Bauchdeckenbeurteilung 429
118	Nieren-sonographie 431

VI. Mammasonographie

- 119 Mammasonographie 435
 120 Axillasonographie 439

VII. Urogynäkologie

- 121 Sonographische Diagnostik bei Deszensus
 und Harninkontinenz 445
 122 Anorektale Inkontinenz und anale Endo-
 sonographie 447

VIII. Reproduktionsmedizin

- 123 Ultraschalldiagnostik in der Reproduktions-
 medizin 453
 124 Hysterohydrokontrastsonographie 457

Anhang 459

Stichwortverzeichnis 467

Autorenverzeichnis

Dr. med. Sabine Anthuber

Klinik und Poliklinik für
Frauenheilkunde und Geburtshilfe
– Großhadern
Klinikum der Universität München,
Marchioninistraße 15
81377 München

Dr. med. Tina Buchholz

Lachnerstraße 20
80639 München

Dr. med. Alexander Burges

Klinik und Poliklinik für
Frauenheilkunde und Geburtshilfe
– Großhadern
Klinikum der Universität München
Marchioninistraße 15
81377 München

**Priv.-Doz. Dr. med.
Christian Dannecker**

Klinik und Poliklinik für
Frauenheilkunde und Geburtshilfe
– Großhadern
Klinikum der Universität München
Marchioninistraße 15
81377 München

Dr. med. Mareike Hasler

Bülowstraße 13
32756 Detmold

Dr. med. Ivo Markus Heer

Klinik für Gynäkologie
und Geburtshilfe
Universitätsklinikum
Schleswig-Holstein
Campus Kiel
Brunswiker Straße 10
24105 Kiel

Dr. med. Ariadne Kritikos

Klinik und Poliklinik für
Frauenheilkunde und Geburtshilfe
– Großhadern
Klinikum der Universität München
Marchioninistraße 15
81377 München

Dr. med. Carolin Kümper

Klinik für Gynäkologie
und Geburtshilfe
Universitätsklinikum
Schleswig-Holstein
Campus Kiel
Brunswiker Straße 10
24105 Kiel

Dr. med. Susanne Müller-Egloff

Raidingerstraße 19
81377 München

Dr. med. Nikolaus von Obernitz

Frauenklinik vom Roten Kreuz
Taxistraße 3
80637 München

Prof. Dr. med. Alexander Strauss

Klinik für Gynäkologie
und Geburtshilfe
Universitätsklinikum
Schleswig-Holstein
Campus Kiel
Brunswiker Straße 10
24105 Kiel

Dr. med. Bettina Toth

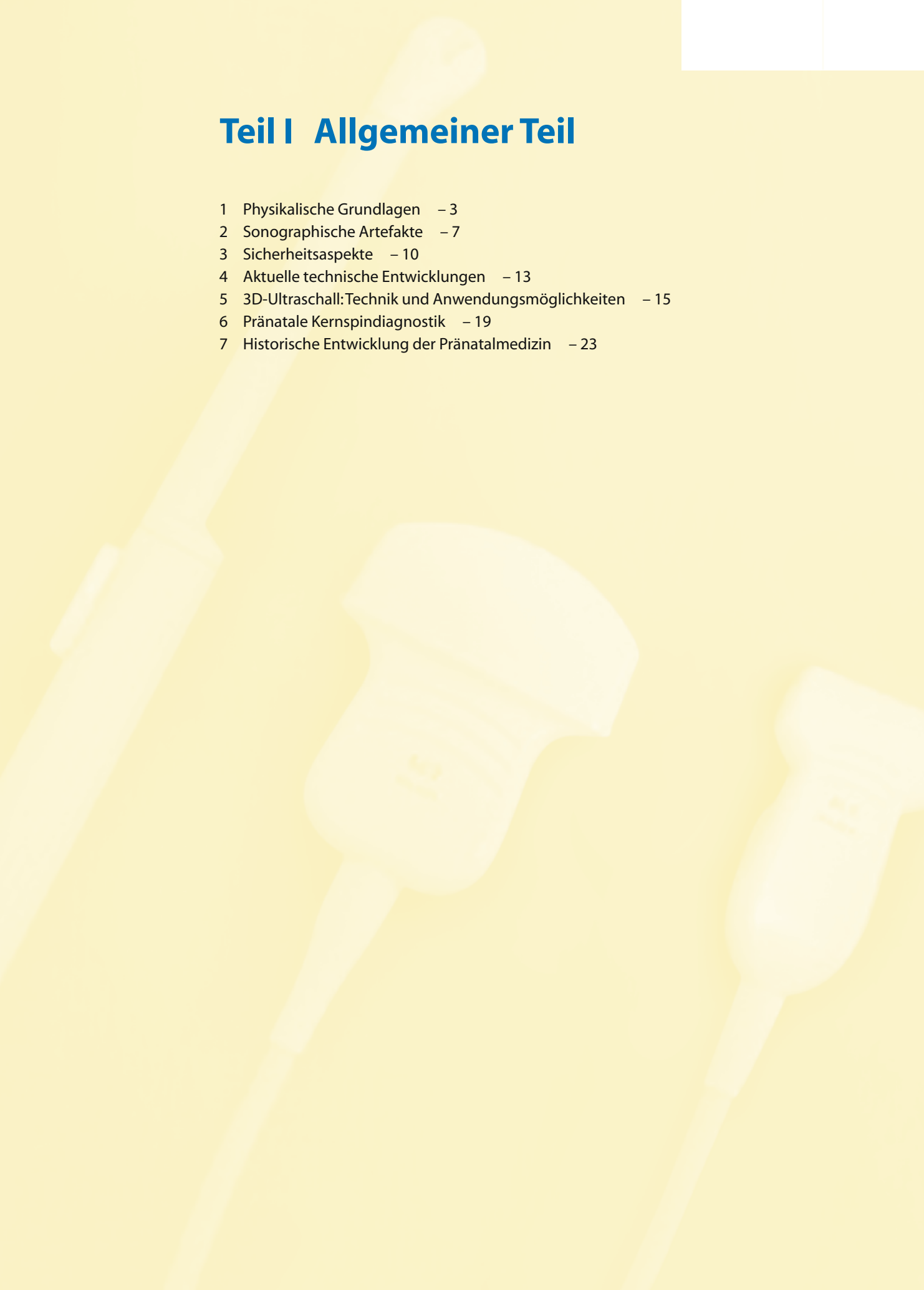
Klinik und Poliklinik für
Frauenheilkunde und Geburtshilfe
– Großhadern
Klinikum der Universität München
Marchioninistraße 15
81377 München

**Dr. med. Marion Wimbauer-
Müller**

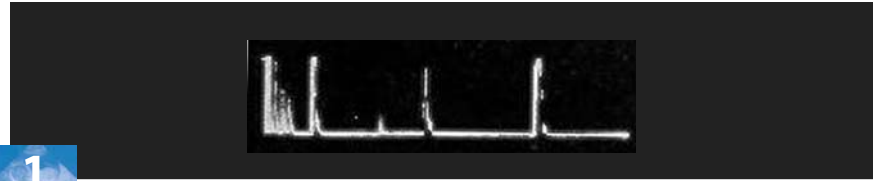
Wasserburger Landstraße 225
81827 München

Teil I Allgemeiner Teil

- 1 Physikalische Grundlagen – 3
- 2 Sonographische Artefakte – 7
- 3 Sicherheitsaspekte – 10
- 4 Aktuelle technische Entwicklungen – 13
- 5 3D-Ultraschall: Technik und Anwendungsmöglichkeiten – 15
- 6 Pränatale Kernspindiagnostik – 19
- 7 Historische Entwicklung der Pränatalmedizin – 23



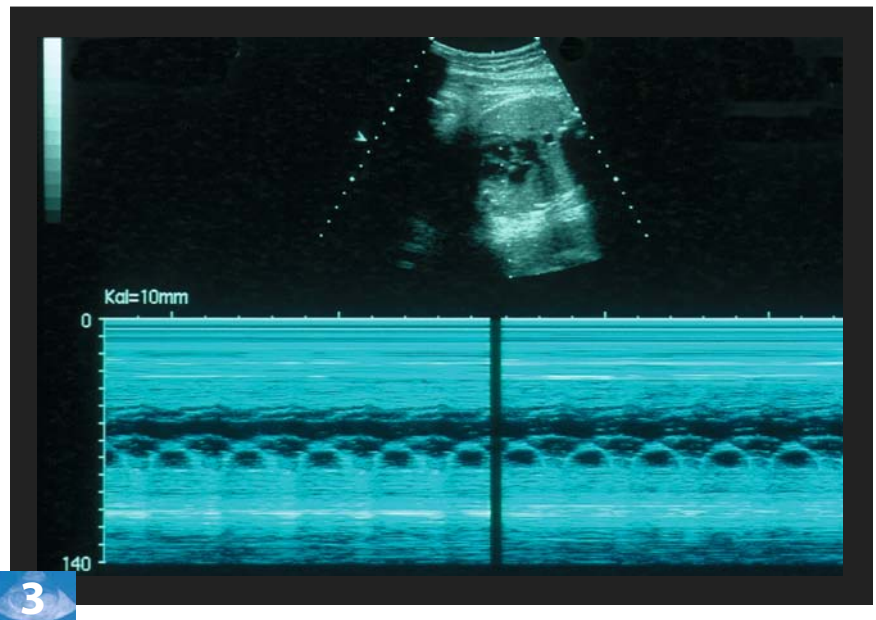
■ Abb. 1.1.
A-Mode-Darstellung von Grenzflächen über Amplituden, deren Abstand skaliert den realen Abstand der Grenzflächen im Körper wiedergibt



■ Abb. 1.2.
Real-time-B-Bild eines Feten im II. Trimenon



■ Abb. 1.3.
M-Mode-Darstellung der fetalen Herzwandexkursion über die horizontale Zeitachse, wie sie in der fetalen Arrhythmiediagnostik eingesetzt wird



1 Physikalische Grundlagen

Die Erzeugung von Ultraschallwellen gelingt mithilfe des piezoelektrischen Effekts: Wird an einen Kristall eine elektrische Spannung angelegt, so gerät dieser in Schwingungen, welche in das Gewebe abgestrahlt werden können. Die aus dem Gewebe zurückkommenden Schallwellen führen umgekehrt zu einer Druckänderung (Schwingung) im Kristallgitter, die als elektrische Spannungsänderung ableitbar wird.

Die vom Schallkopf ausgesendeten Druckimpulse (Schallwellen) unterliegen im biologischen Gewebe den physikalischen Phänomenen der Brechung, Beugung, Reflexion und Absorption. Je nach Gewebedichte breiten sich die Schallwellen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Im Knochen liegt die Ausbreitungsgeschwindigkeit bei etwa 3.600 m/s, in Luft bei etwa 340 m/s und in Weichteilgewebe bei etwa 1.540 m/s. Um die daraus resultierenden unterschiedlichen Laufzeiten der Schallwellen – je nach Gewebetextur – zu berücksichtigen, wird bei der Bilddarstellung von einer gleichmäßigen Schallgeschwindigkeit im Gewebe von 1.540 m/s ausgegangen.

Ultraschallverfahren

A-Mode (Amplituden-Mode)

1

Das vom Schallkopf empfangene Signal wird in eine elektrische Spannung umgewandelt, deren Amplitude proportional der Echotiefe ist und deren Abstand maßstabsgetreu die Lage der detektierten Grenzfläche wiedergibt.

B-Mode (»brightness mode«)

2

Neben den im A-Mode abgegriffenen Informationen werden im B-Mode die Schallkopfposition und die Schallwellenrichtung zum Bildaufbau herangezogen. So kann die Spannungsamplitude der empfangenen Echos auf einer geraden Reihe von Bildpunkten dargestellt werden, wobei die Helligkeit proportional der Amplitude der elektrischen Signale ist. Je stärker die Reflexion des Gewebes, desto heller werden die jeweiligen Bildpunkte dargestellt.

M-Mode (»motion mode«)

3

Wird im A-Mode eine Bildpunktkette konstant dargestellt, so ändert sich im M-Mode die Darstellung der Amplituden der abgebildeten Bildpunkte dort, wo sich Grenzflächen in Relation zum Schallkopf bewegen. Diese Bewegungen können so in ihrem zeitlichen Verlauf aufgetragen und dargestellt werden.

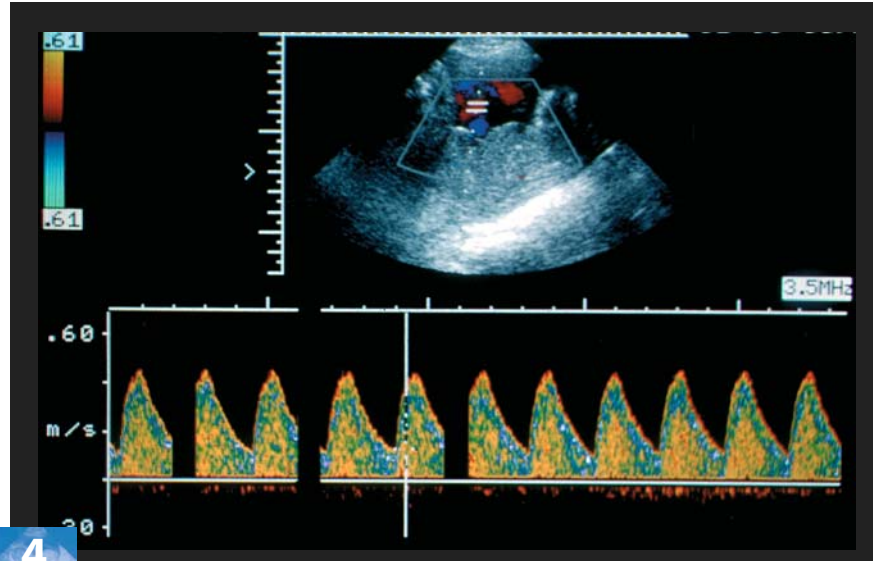
Dopplersonographie

Der Dopplereffekt beschreibt die Frequenzänderung von beweglichen Schallquellen gegenüber einem stationären Betrachter. Die Darstellung von sich bewegendem Gewebe (Herzklappen) oder von Blutströmen (Erythrozyten) gelingt mithilfe der Dopplersonographie. Hierbei wird die bewegungsinduzierte Frequenzänderung der einfallenden Schallwellen farblich bzw. akustisch wahrnehmbar.

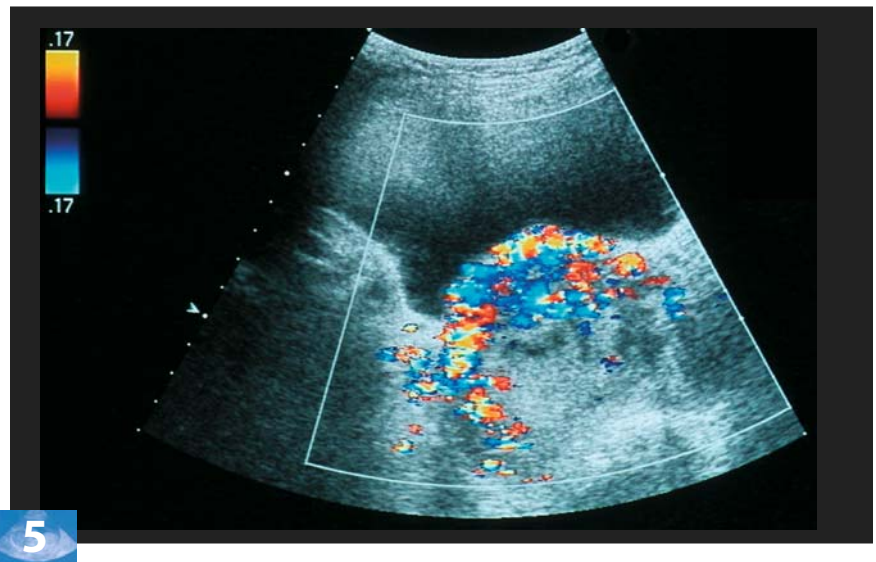
Continuous-wave(CW)-Verfahren

Hierbei werden Schallwellen von einem Schallkopf kontinuierlich empfangen und abgestrahlt. Jeweils eine Kristallreihe des Schallkopfs dient zum Senden und eine zum Empfang der Signale. Die bewegten Gewebeteile werden – je nach Geschwindigkeit und der Häufigkeit ihres Auftretens – auf dem Monitor als Frequenzgemisch angezeigt. Häufig vorkommende Geschwindigkeiten werden dabei heller dargestellt als seltene. Eine gleichzeitige B-Bild-Darstellung zur visuellen Lokalisation des untersuchten Gefäßes erfolgt nicht. Wenn sich mehrere Gefäße entlang des Schallwellenverlaufs befinden, versagt die Analyse des CW-Verfahrens, da ein Frequenzgewirr empfangen wird.

■ Abb. 1.4.
Pulsed-wave-Darstellung
des Blutflusses in der Nabel-
schnur



■ Abb. 1.5.
Farbige Darstellung von
Blutflüssen im B-Bild mithilfe
des Color flow mapping
(Plazenta praevia increta)



■ Abb. 1.6.
Darstellung der Schallköpfe:
Vaginalsonde 7 MHz zur
gynäkologischen Sonographie,
Curved-array-Schallkopf mit
5 MHz zur geburtshilflichen
Sonographie und Linearschall-
kopf mit 15 MHz zur Mamma-
sonographie



Pulsed-wave(PW)-Verfahren

4

Die Lösung dieses Problems liegt in der Verwendung ein und desselben piezoelektrischen Elements, alternierend als Sender und Empfänger. Eine Weiche (Zeitfenster) trennt die Signale. Sie lässt nur jene Schallwellen aus dem Gewebe passieren, die bei einer idealisierten Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schallstrahls von 1.540 m/s aus der vom Anwender vorgewählten Tiefe (sample volume) stammen. Durch die gleichzeitige Darstellung des B-Bildes und der Flussparameter wird die Detailanalyse einzelner Gefäße unter Sicht möglich.

»Color flow mapping«

5

Mit diesem Verfahren ist die simultane farbige Darstellung sämtlicher Blutflüsse im Bereich eines B-Bildes möglich. Alle möglichen Farbsignale aus den einzelnen »sample volumes« werden direkt in das B-Bild eingeblendet. Blutflüsse, die auf den Schallkopf zulaufen, werden rot kodiert, die in Gegenrichtung verlaufenden Flüsse werden blau dargestellt. Neben der Darstellung der Strömungsrichtung erkennt man die Strömungsgeschwindigkeit durch verschiedene Helligkeitsstufen der Bildpunkte. Als akustisches Diagnostikum steigt die vom Ultraschallgerät generierte Tonfrequenz mit der Flussgeschwindigkeit. Problematisch wird die farbige Darstellung von Blutflüssen dann, wenn die Flussgeschwindigkeiten die Grenzen des Einstellungsbereichs überschreiten. Dies ist der Fall bei eng gewählter Voreinstellung (langsame Flussdarstellung) oder wenn insgesamt sehr hohe Flussgeschwindigkeiten herrschen (z.B. an den Herzklappen). In diesem Fall kommt es zur Farbumkehr von (hell-)blau zu gelb/grün bis rot bzw. umgekehrt, sodass mitten in einem gut visualisierbaren blauen Fluss (weg vom Schallkopf) turbulente rote Einschüsse (hohe Flussgeschwindigkeit) sichtbar werden, ohne dass sich die Flussrichtung ändert.

Schallköpfe

6

Linear-array-Schallkopf (»parallel scan«)

Der parallele Zeilenaufbau führt zu einem rechteckigen Schnittbild mit einer gleichmäßigen Auflösung bis in die Tiefe. Häufigste Anwendung findet der Linearschallkopf in der Mammasonographie und zur Beurteilung oberflächlicher Bauchdeckenprozesse. Linear-array-Schallköpfe weisen meist einen Frequenzgang zwischen 7 und 16 MHz auf.

Curved-array-Schallkopf (»sector scan«, »convex scan«)

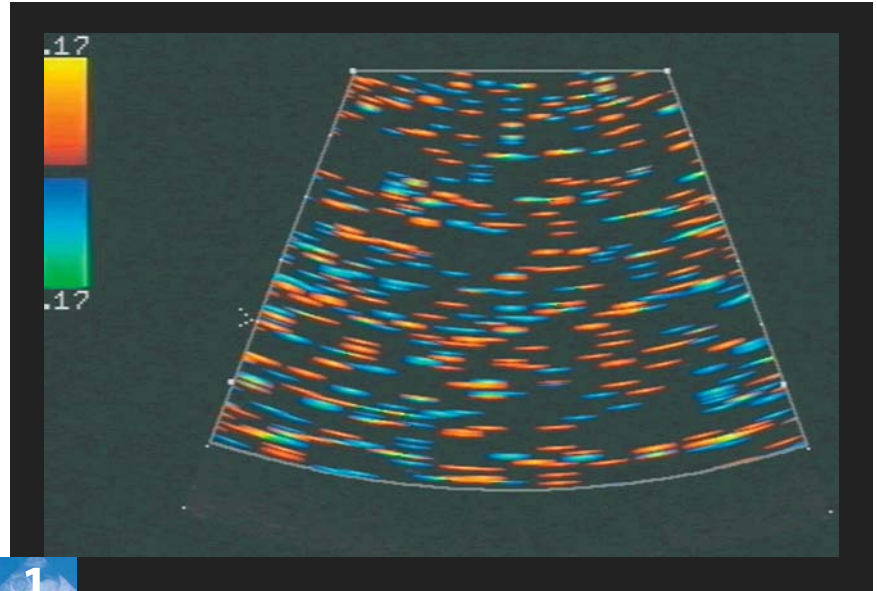
Bei dieser Schallkopfvariante sind die Kristalle auf einem Halbbogensegment angeordnet. Beim »sector scan« gehen die Schallstrahlen von einem sehr kleinen, stark gekrümmten (Radius < 20 mm) Feld aus und durchstrahlen das untersuchte Gewebe fächerförmig. Seine Hauptanwendung findet das Sector-scan-Verfahren in der Transvaginalsonographie. Kommen die Kristalle aus einer gekrümmten Kontaktfläche mit einem Radius von mehr als 20 mm, spricht man vom Convex-scan-Verfahren, welches in der Transabdominalsonographie die bevorzugte Methode der Darstellung ist. Die Verzeichnung aufgrund der Fächerförmigkeit der Schallstrahlen ist geringer als bei Sector-scan-Schallköpfen und größer als bei Schallköpfen mit Linear-array-Technik. Auch in geringen Gewebetiefen wird die Darstellung eines Bildausschnitts von mehreren Zentimetern Breite möglich, was die Darstellung oberflächlicher Strukturen bei gleichzeitig großer Eindringtiefe ermöglicht. Curved-array-Schallköpfe werden mit einem Frequenzgang zwischen 2,5 und 8 MHz angeboten und sind somit universell für den Abdominalultraschall in Geburtshilfe und Gynäkologie geeignet. Für abdominelle Untersuchungs sondens und transvaginale Ultraschallköpfe findet der »sector scanner« seine Anwendung.

Mechanische Schallköpfe

Durch einen mechanischen Schallkopf, ausgestattet mit einem Wobbler-Schallkopf oder mehreren piezoelektrischen Elementen (Rotationssystem), wird das Untersuchungsgebiet durch eine interne Bewegung der Kristalle überstrichen. Diese Schallköpfe haben einen werksseitig fest eingestellten Fokus. Dies beeinträchtigt allerdings die B-Bild-Qualität. Der »annular array scanner« ist ein mechanischer Sektorschallkopf, dessen Kristalle ringförmig ineinander liegen. Die einzelnen Ringe werden beim Senden und Empfangen einzeln angesteuert. Dies hat den Vorteil, dass der Fokus verschoben werden kann. Die für die Sektorschallköpfe typischen Schichtdickenartefakte können durch die Annular-array-Technik deutlich reduziert werden. Allerdings sind bei dem verwendeten mechanischen Antrieb Verschleiß und Wartungsaufwand höher als bei elektronischen Schallköpfen. Der Frequenzgang moderner mechanischer Schallköpfe orientiert sich an jenem der »curved array scanner«. Anwendungsmöglichkeiten bestehen sowohl transabdominal wie auch transvaginal.

■ Abb. 2.1.

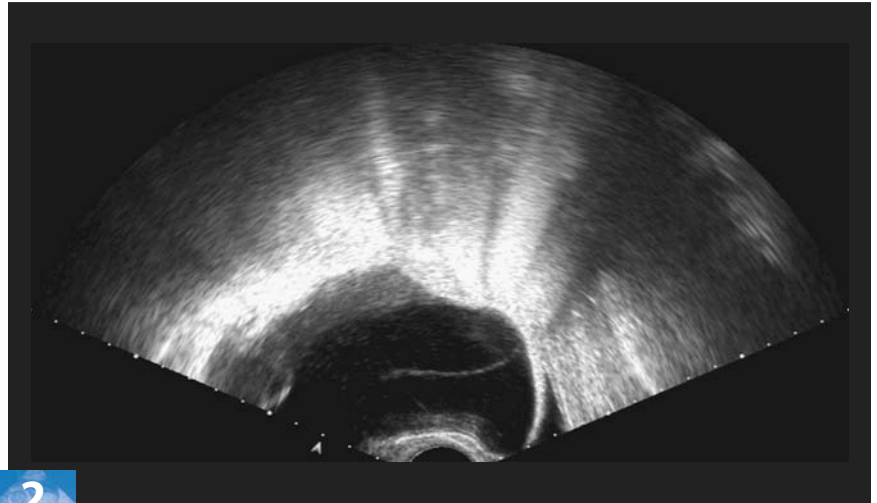
Rauschen: farbkodiertes, überstrahltes Bild. Eine Gefäßstruktur ist bei Überstrahlung nicht mehr suffizient auszumachen



1

■ Abb. 2.2.

Septierte Ovarialzyste mit deutlicher dorsaler Echoverstärkung



2

■ Abb. 2.3.

Fetaler Femur in der 20. SSW: dorsal des Knochens deutliche Schallauslöschung. Links fetaler Steiß. Bildmitte fetaler Fuß



3

2 Sonographische Artefakte

Beim diagnostischen Ultraschall ist die Kenntnis der Ursachen artifizierlicher Phänomene wichtig. Sie hilft, reale von virtuellen Objekten zu unterscheiden und ist daher die Voraussetzung zur korrekten Interpretation der Untersuchungsergebnisse.

Rauschen

1

Jedes elektrische Gerät, welches Bildsignale produziert, erzeugt auch unerwünschte, weniger intensive Nebensignale, die in ihrer Gesamtheit als Rauschen bezeichnet werden. Bei zunehmender Verstärkung nimmt daher das Rauschen zu. Dies betrifft vor allem Signale aus größeren Untersuchungstiefen, da diese kräftiger verstärkt werden müssen. Die Güte des Geräts lässt sich an der Tiefe ablesen, in welcher das Rauschen das reale Bildsignal überblendet (»maximale Eindringtiefe«).

Dorsale Echoverstärkung

2

Sichtbar ist dieses Phänomen hinter Zysten. In Flüssigkeit wird das Signal im Gegensatz zum umgebenden Gewebe nicht abgeschwächt, daher ist die Signalintensität dorsal der Flüssigkeit deutlich höher als in gleicher Tiefe ohne flüssigkeitsgefüllte Vorlaufstrecke. Die Strukturen hinter der Zyste erscheinen deutlich echoreicher als das benachbarte Gewebe.

Dorsale Echoabschwächung, -auslöschung

3–4

In Umkehrung des Effekts der dorsalen Echoverstärkung kommt es zum Signalintensitätsverlust hinter (schall)dichten Gewebeformationen (Kalk, Knochen, Luft).

Wiederholungsechos (Reverberation)

5

Die gleiche anatomische Struktur kommt mehrfach zur Darstellung. Bei der gefüllten Harnblase beispielsweise entsteht sonographisch eine Grenzfläche mit ausgeprägtem Signalintensitätsunterschied. Der auf die schallkopfnahen Blasenwand auftreffende Ultraschallstrahl wird dabei teilweise reflektiert, trifft auf den Schallkopf auf, wird dort als Signal abgebildet und gleichzeitig passiv wieder ins Gewebe reflektiert, von der Blasenwand neuerlich zurückgeworfen und als Signal dargestellt usw. Die Helligkeit dieser parallel angeordneten Wiederholungssignale nimmt durch Absorptionsverlust ab. Liegen 2 Grenzflächen sehr eng beieinander (z.B. zwei parallel liegende Gefäße), so liegen die zur Darstellung kommenden Wiederholungssignale so nahe aneinander, dass das ursprüngliche Signal nicht vom Wiederholungssignal erkannt werden kann.

Schichtdickenartefakt

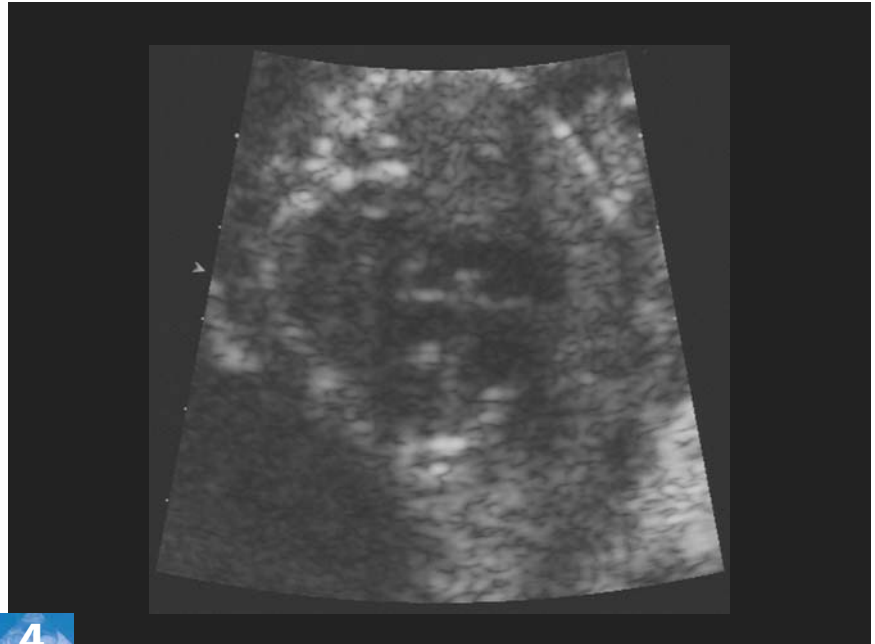
Dieses Phänomen kommt als Schärfeverlust bei der Darstellung stark gekrümmter Grenzflächen (z.B. Gefäße) zum Tragen. Ursache ist die Dicke des Schallstrahls (bei modernen Geräten um 1 mm), der unterschiedliche Signale produziert, wenn er auf eine Konvexität auftrifft. Das Signal aus der Mitte des Strahlenbündels trifft dabei auf einen anderen Teil der Konvexität als Signale aus seinem Randbereich. Dies führt zu einem Konturverlust bei der Darstellung derartiger Konvexitäten mit engem Radius.

Nebenkeulenartefakt (Sidelobe-Artefakt)

Die laterale Verzeichnung – besonders bei echoreichen Signalen – wird durch die von jedem piezoelektrischen Element abgestrahlten Nebenkeulen (Sidelobes) bedingt. Diese sind kreisförmig um die eigentliche Schallkeule angeordnet. Trifft eine solche Nebenschallkeule auf ein stark reflektierendes Objekt, kommt es zur Abbildung eines lateral des eigentlichen Signals liegenden Artefakts. Je nach relativer Lage des Objekts zum Schallkopf kann die durch Seitenkeulen entstehende Verzeichnung eine symmetrische oder asymmetrische Form ein- oder beidseits des realen Objektes annehmen. Technisch wird dieser Art der

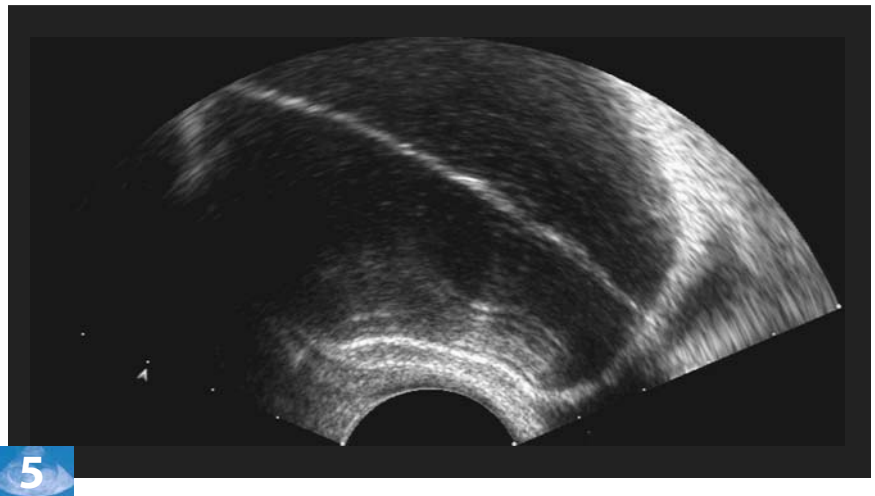
■ Abb. 2.4.

Dorsale Schallauslöschung 21. SSW: Vierherzkammerblick. Wirbelsäule *links oben*. Von dieser geht senkrecht eine echoarme Auslöschungszone nach unten, die die Beurteilung des Herzens einschränkt. Nebenbefund: Golfballphänomen im linken Ventrikel (»White spot«)



■ Abb. 2.5.

Ovarialzyste mit schallkopfnahen Reverberationsechos an der Grenzfläche zwischen solidem Gewebe und flüssigkeitsgefülltem Hohlraum



Artefaktbildung durch die Zusammenschaltung mehrerer piezoelektrischer Elemente in Gruppen begegnet. Hierbei werden die jeweils gleich weit vom Zentralelement liegenden Empfangssignale miteinander verglichen. Nebenkeulensignale treffen – im Gegensatz zu den Signalen der Hauptkeulen – zeitversetzt auf den paarigen Elementen ein, werden dort übereinander gelegt und kommen dadurch abgeschwächt zur Darstellung.

Spiegelartefakt

Das reale, echoreiche Objekt wird tiefer im Gewebe nochmals spiegelbildlich abgebildet. An Grenzflächen, welche in einem Winkel von 40–50° durch das Schnittbild laufen, wird der Schallstrahl reflektiert und läuft von dort auf das reale Objekt zu. Auf diese Art gelangen Schallwellen unterschiedlicher Herkunft zum Objekt und zurück zum abbildenden piezoelektrischen Element des Schallkopfs. Da die Laufzeit des Signals allerdings länger ist als jene, die direkt vom realen Objekt stammt, kommt es zur Darstellung eines virtuellen Objekts tiefer im Gewebe.

Geometrische Verzeichnung

Bei der Bildpunktberechnung wird von einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals von 1540 m/s ausgegangen. Aufgrund der physikalischen Gegebenheiten (unterschiedliche Gewebedichte) ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit durchaus unterschiedlich. Diese Unterschiede können jedoch beim Bildaufbau nicht berücksichtigt werden und führen daher zu geringen (wenige Millimeter) Abweichungen bei der Darstellung. Klinisch relevant können diese Verzeichnungen bei invasiven Eingriffen mit kleinem Zielvolumen (Nabelschnurpunktion) werden.

Randschatten

Sichtbar als Schattenbildung ein- oder beidseits flüssigkeitsgefüllter Räume. Eine suffiziente Erklärung für das Phänomen ist bisher nicht gegeben. Möglicherweise handelt es sich um eine Ablenkung des im spitzen Winkel auf die Grenzfläche auftreffenden Signals, welches durch die starke Richtungsänderung zu dem Phänomen des Randschattens führt.

3 Sicherheitsaspekte

Die Ultraschalluntersuchung ist zur wichtigsten Methode der Bildgebung in der Gynäkologie und Geburtshilfe geworden. Auch wenn Ultraschall als sicher gilt, sind potenzielle Gefahren der Untersuchung in Erwägung zu ziehen. Neben einem allgemeinen Überblick über die Wirkung von Ultraschall im Gewebe soll auf die Richtlinien zu seiner sicheren Anwendung eingegangen werden.

Ultraschallwellen treten bei jeder Untersuchung mit dem Gewebe in Wechselwirkung und entfalten dort, je nach Dauer und Intensität der Einwirkung, unterschiedliche physikalische und chemische Wirkungen.

Thermische Wirkung

Durch die Absorption von Schallenergie im Gewebe wird diese, abhängig von der verwendeten Leistung und Absorptionsdauer, aber auch von der Gewebedichte, in thermische Energie umgewandelt. Theoretisch wurden mit für die Praxis unrealistisch hohen Einwirkzeiten der Schallwellen Temperaturerhöhungen von bis zu 30°C in Knochen erreicht. Dies erklärt die Empfehlung des American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM), ausschließlich Energien von 100 mW/cm² einzusetzen und keine gepulste Dopplersonographie zu verwenden, wenn Knochen im Schallstrahl liegt.

Kavitation

Die vom Schallkopf ausgesendeten Schallwellen versetzen die beschallten Gewebe in Schwingung. Hierbei entstehen in der Unterdruckphase Hohlräume, die in der Überdruckphase wieder kollabieren. Abhängig von der verwendeten Schallenergie und der Expositionszeit sind dadurch Gewebeerreißen möglich, wobei ein negativer Spitzendruck von 1 MPa als Grenzwert angesehen wird. Bei den zu diagnostischen Zwecken verwendeten Energien kommt es im menschlichen Gewebe allerdings nicht zu derartigen Kavitationsblasen.

Chemische Wirkung

Durch die Einwirkung von Ultraschallwellen ist eine Oxidation mit Bildung von Wasser und eine Reduktion des zellulären Nitrits zu Nitrat denkbar. Ob diese chemischen Reaktionen eine unter In-vitro-Bedingungen nachgewiesene polymerisierende Wirkung auf die DNS auch in vivo haben, konnte bisher nicht bestätigt werden.

A-Mode

Diese Untersuchungsmethode spielt in der gynäkologischen und geburtshilflichen Diagnostik keine Rolle. Auch bei langer Expositionszeit gilt sie als sicher.

B-Mode

Die am häufigsten und mit der längsten Expositionszeit angewandte Methode der Ultraschalluntersuchung war besonders wegen der rasanten Verbesserung der Bildqualität immer wieder Gegenstand kritischer Untersuchungen zur Sicherheit der Methode. Bisher gibt es für den diagnostischen Einsatz keine Bestätigung einer schädigenden physikalischen oder chemischen Wirkung. Der heute empfohlene Intensitätsbereich liegt bei 100 mW/cm^2 . Fetale Messungen sollten prinzipiell in möglichst kurzer Zeit mit möglichst geringer Leistung durchgeführt werden (ALARA-Prinzip: »As low as reasonable achievable«).

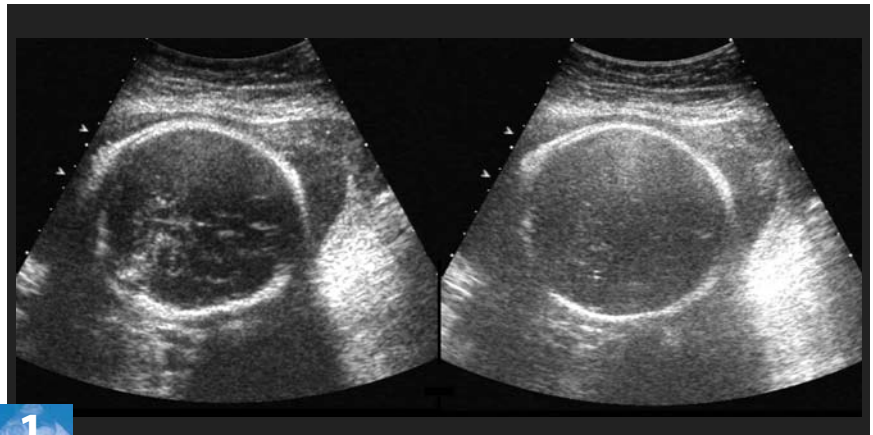
M-Mode

Die hier verwendete Energie liegt entlang des Schallstrahls deutlich höher als bei konventionellen B-Bild-Untersuchungen. Obwohl es keine Beweise für schädigende Wirkungen bei längerem Einsatz gibt, sollte der M-Mode nicht für längere Zeit und mit Zurückhaltung in der Frühschwangerschaft eingesetzt werden.

Dopplersonographie

Bei der Ultraschalluntersuchung unter Ausnutzung der Dopplermöglichkeit kann es zur Applikation eines Vielfachen der Energie einer normalen B-Mode-Untersuchung kommen. Zudem sind oft längere Expositionszeiten notwendig, um das gesuchte Gefäß suffizient darzustellen. Dennoch wurden auch bei dieser Methode keinerlei schädigende Wirkungen nachgewiesen. Die Empfehlungen zum zurückhaltenden Einsatz beruhen daher nur auf theoretischen Annahmen und haben präventiven Charakter. Das Untersuchungsfenster zur farbkodierten Flussdarstellung sollte nicht zu klein gewählt werden, da sich sonst die applizierte Energie auf engem Raum fokussiert. Moderne Geräte verfügen über Leistungsbegrenzungen, die optisch angezeigt werden, sodass der Untersucher Risiko und Nutzen der Untersuchung situationsadaptiert abschätzen kann. Die Spektraldopplerfunktion (»triplex mode«) ist erst nach Identifizierung und optimaler Darstellung des Untersuchungsvolumens zuzuschalten (ALARA-Prinzip).

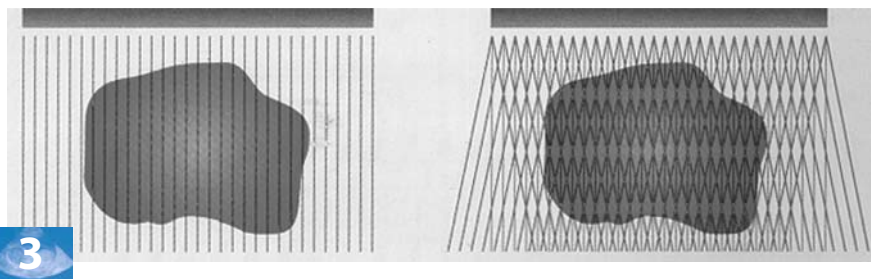
■ Abb. 4.1.
Harmonic imaging (Acuson):
Links mit Harmonic imaging
dargestellter fetaler Kopf im
Transversalschnitt, rechts die
gleiche Untersuchung ohne
Harmonic imaging



■ Abb. 4.2.
**Übersichtsaufnahme eines
Feten mit SieScape-Technik**
(1307elbq, Siemens)



■ Abb. 4.3.
Sono-CT (ATL): Gegenüber-
stellung der parallelen Feld-
struktur bei konventioneller
Ultraschalltechnik und des
sich fächerförmig überlappen-
den Ultraschallfelds durch
die Sono-CT-Technik (mehrere
Blickwinkel)



4 Aktuelle technische Entwicklungen

Die entscheidende Erweiterung des diagnostischen Spektrums der Sonographie in Gynäkologie und Geburtshilfe in den letzten 10 Jahren ist durch die Einführung der dreidimensionalen Darstellungsmodalität gelungen (Kap. 5). Parallel dazu hat die Ultraschalltechnologie auch eine Fülle von Verbesserungen in der Darstellung des B-Bildes und in der Farbdopplersonographie erfahren.

»Native™ harmonic tissue imaging«

1

Bei der Anwendung von Ultraschall verhalten sich die applizierten Wellen im Gewebe nach den Gesetzen der Reflexion, Streuung und Absorption. Daneben entstehen im Gewebe Resonanzphänomene, sog. harmonische Schwingungen, welche im akustischen Sinn Obertöne darstellen. Eine Sendefrequenz von 2 MHz führt so beispielsweise zu einer Empfangsfrequenz von 2 und 4 MHz.

Moderne Schallköpfe senden nicht nur eine Frequenz, sondern ein Frequenzband. Der Vorteil dieser Technik liegt in einem gleichmäßigen Auflösungsvermögen in allen Gewebetiefen. Empfangen werden jedoch sich überlappende Bänder der Grundschwingung und der harmonischen Oberschwingung. Diese Überlappung führt zu Unschärfen in der B-Bild-Darstellung. Die Lösung dieses Problems liegt darin, keine Sendeenergie im zu erwartenden harmonischen Band zu senden. Zudem löscht ein Empfangsfilter erstens das Grundfrequenzband und zweitens potenzielle Überlappungen zwischen Grundfrequenz und harmonischem Band. Das alleine dargestellte harmonische Band hat eine deutlich bessere Schallqualität als das gesendete Grundband, da es durch seine geringere Energie weniger Schallphänomene im Gewebe erzeugt und daher wie jenseits der problematischen Grenzflächen erzeugt aussieht. Die Indikation dieser Darstellung ist besonders bei Untersuchungen unter schwierigen Bedingungen (Adipositas, schalldichte Bauchdecken, verminderte Fruchtwassermenge, abdominelle gynäkologische Sonographie) zu sehen.

SieScape

2

Die SieScape-Technik dient der Erzeugung eines großen Bildfelds in konventioneller Freihand-Echtzeit-Untersuchungstechnik. Es bedarf hierbei – im Gegensatz zur Freihand-3D-Technik (Kap. 5) – keiner Positionssensoren am Schallkopf. Bei dieser Technik werden 2 sequenzielle Bilder in einen Datenpuffer abgelegt und miteinander ver-

glichen. Dabei werden beide Bilder in kleine Abschnitte zerlegt. Bei der Analyse der einzelnen Abschnitte werden diese so gegeneinander verschoben, dass die jeweils benachbarten Abschnitte am besten zueinander passen (Minimalsummen-Absolutdifferenz-Berechnung). Das System ermittelt einen Bewegungsvektor, der die Richtung des Transports eines Bildabschnitts in den passenden benachbarten Bildteil angibt. Eine gewichtete Zuordnung von Bildqualitätsmerkmalen (Bildpunkthelligkeit, Artefakte) sorgt für eine korrekte Adaptation der jeweils benachbarten Abschnitte. Als Indikation dient die flächenhafte Untersuchung von Gewebe, wie es insbesondere bei der Mammasonographie wünschenswert ist, um eine komplette Darstellung des Drüsenkörpers, ähnlich einer Mammographie, zu erreichen. Auf diese Weise können auch größere Wirbelsäulensegmente beim Feten in ihrer Abfolge dargestellt werden. Die Methode stößt jedoch bei sich bewegenden Bildpunkten und zu starker Rotation des Schallkopfs an ihre Grenzen.

SonoCT

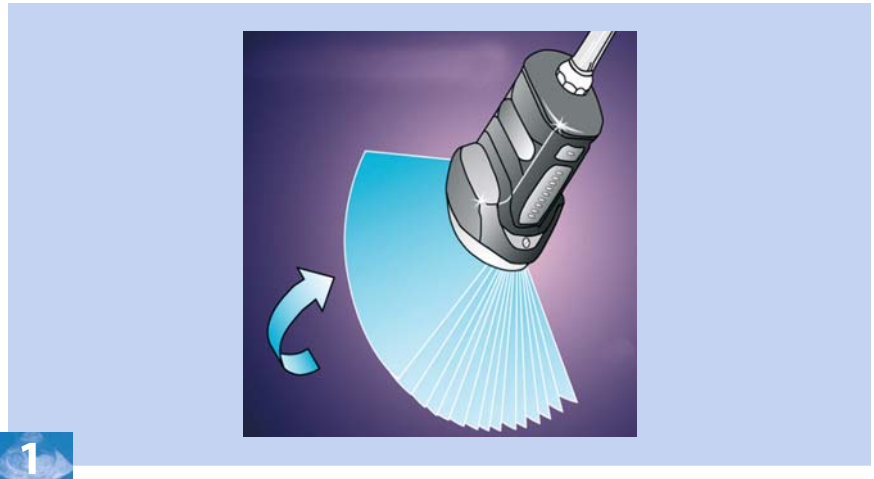
3

Bei der konventionellen B-Bild-Sonographie verlaufen die Schallwellen im Gewebe parallel. Bei der SonoCT-Technologie kommt es durch kleine Verkippen jedes Schallstrahls gegen den benachbarten Schallstrahl im Gewebe zu Vielfachkreuzungen der Ultraschallwellen und damit zur Darstellung einer gesteigerten Bildpunktnähe. Der Vorteil dieser Technologie liegt in der Differenzierung von Strukturen in der Nähe kritischer Grenzflächen durch eine Verminderung der Reflexion und Brechung, wie sie bei der konventionellen Ultraschalldarstellung zu erwarten ist. Vorteilhaft ist die Anwendung dieser Technologie u. a. zur exakteren Darstellung bei invasiven Prozeduren, wenn eine präzise Lokalisation der Nadelspitze im Gewebe notwendig ist.

Speckle-Reduction-Filter

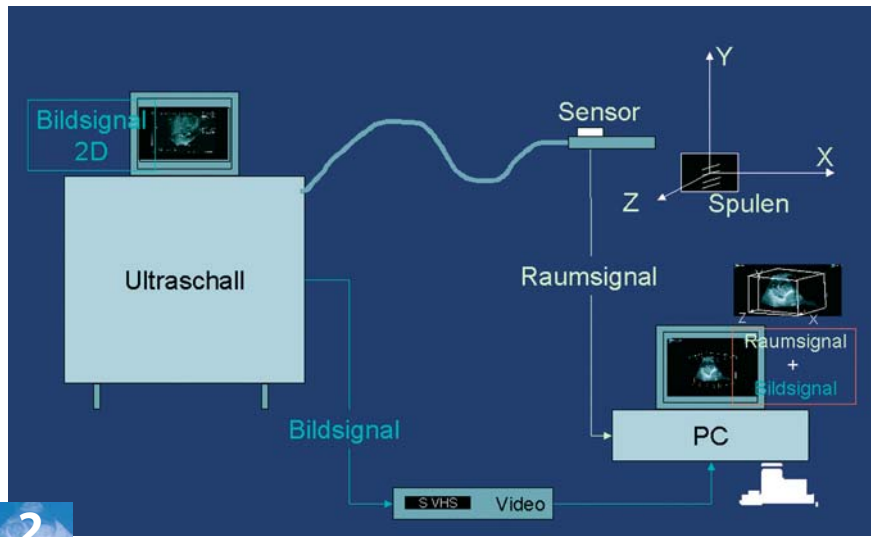
Die Streuung von Ultraschall führt zur Abstrahlung der Schallwellen, die ihrerseits gegenseitigen Interferenzen unterliegen. Sind Echos durch Gewebeformationen verursacht, die näher als die eigentliche Auflösung des Schallkopfs beieinanderliegen, verursachen diese Interferenzen eine körnige Abbildung der Gewebestrukturen (Rauschen). Ziel der Speckle-reduction-Technik ist die Verminderung der Körnigkeit zur besseren Darstellung von geweblichen Inhomogenitäten durch Filterung der Interferenzwellen. Dies geschieht ohne nennenswerten Verlust der Bildaufbauanteile oder der Detailtreue. Das so veränderte Ultraschallbild ähnelt vom Aspekt jenem einer Kernspinaufnahme.

■ Abb. 5.1.
**Kretz-Schallkopf/
 Kretz-Technologie:
 Wobbler-Schallkopf**



1

■ Abb. 5.2.
Freihandtechnik: Schematisierte Darstellung der Aufnahme-
 technik eines dreidimensionalen Voxelquaders



2

■ Abb. 5.3.
Oberflächendarstellung eines fetalen Gesichts (34. SSW): Vor dem Kind befindliches Fruchtwasserdepot und elektronisches post processing erlauben eine Beurteilung der fetalen Detailstrukturen in Frontalansicht



3

5 3D-Ultraschall: Technik und Anwendungsmöglichkeiten

Dreidimensionaler Ultraschall scheint die logische Fortentwicklung der bisher eingesetzten zweidimensionalen Untersuchungstechnik zu sein. Trotz einer Vielzahl von Studien wird die 3D-Sonographie wegen Problemen der Technik und der Orientierung noch nicht im klinischen Alltag eingesetzt.

Akquisition von 3D-Datensätzen

1

— *An den Ultraschallkopf gebundene Methode:* Dazu wird ein spezieller Schallkopf benötigt, der durch mechanische Drehung der Sende- und Empfangseinheit mit bis zu 25-mal/s das Volumen unter dem Schallkopf abgreift.

2

— *Freihandtechnik:* Zusammenführung von Bewegungsinformation (Sensor) und Bildinformation (Videosignal) in einen Datenquader. Jeder Bildebene kann eine bestimmte Schallkopfhaltung räumlich zugeordnet werden. Die Methode ist damit unabhängig vom eingesetzten Ultraschallgerät.

Einsatzmöglichkeiten

- *Klinik:* multiplanare Sicht der untersuchten Organe und Oberflächendarstellung
- *Lehre:* Ausbildung an vorhandenen Datensätzen mit der Möglichkeit, virtuelle Patienten aktiv zu untersuchen
- *Telemedizin:* Versendung der Datensätze und Nachbeurteilung andernorts

Klinische Anwendung

3–4

— Oberflächendarstellung bei fetalen Anomalien, heute durch schnelle Bildabfolge der abgegriffenen Volumina in Echtzeit möglich

5

- Uterusanomalien
- Volumenberechnungen von Tumoren
- Gefäßbaumdarstellung in der präoperativen Planung

Anwendung in der Lehre

6

Der in Freihandtechnik gewonnene 3D-Datensatz lässt sich auch rückwärts abspielen, da jeder Bildebene auch die zugehörige Schallkopfhaltung als Information innewohnt. Daher wird mit jeder individuellen Schallkopfhaltung die dazugehörige B-Bild-Ebene aufrufbar. Jeder mit der Freihandmethode aufgenommene Datensatz kann so, orts- und zeitunabhängig, zu Schulungszwecken am Modell nachuntersucht werden.

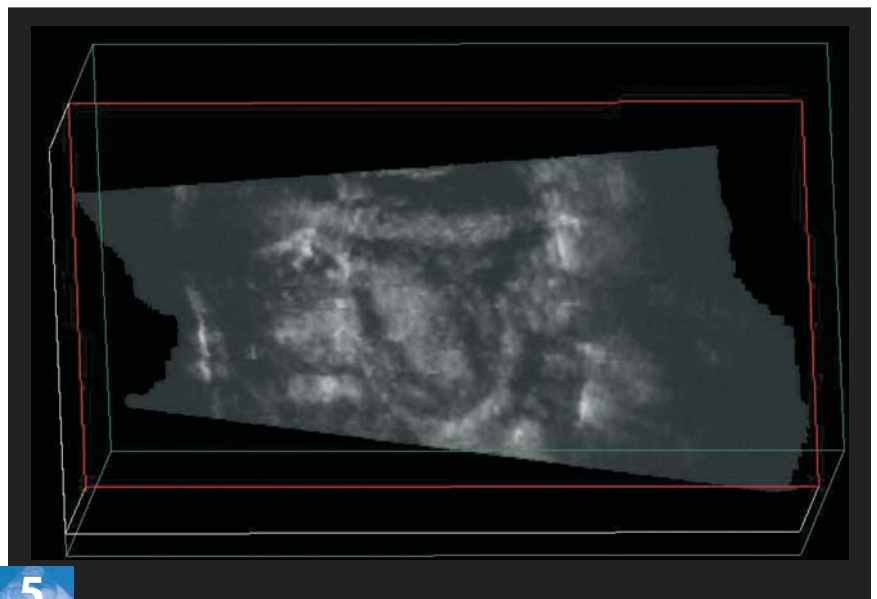
Anwendung in der Telemedizin

Die mit 3D-Ultraschall gewonnenen und gespeicherten Datensätze lassen sich elektronisch verschicken und können vom Empfänger per Mausnavigation oder durch einen virtuellen Untersuchungsgang aktiv (s. oben) offline nachuntersucht werden.

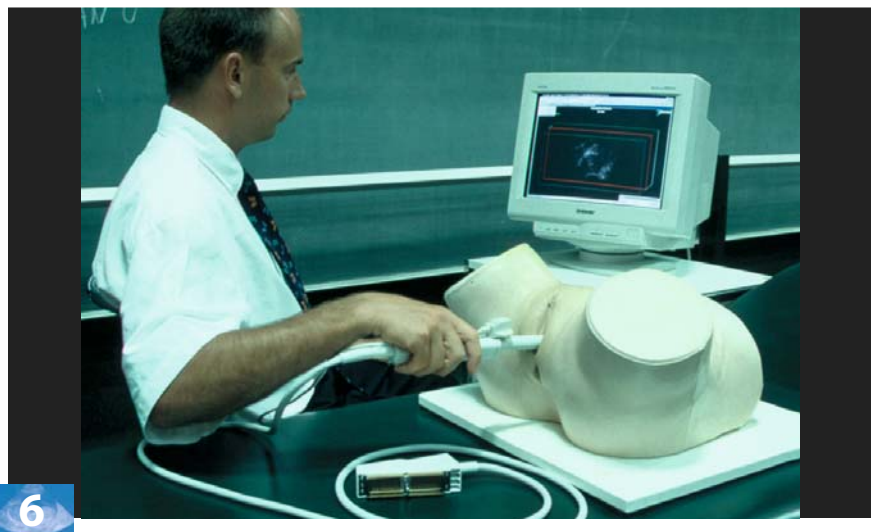
■ Abb. 5.4.
3D-Darstellung eines Fetus
im Profil mit pathologischer
Veränderung des Handskeletts
im Sinne einer Spalthand



■ Abb. 5.5.
Darstellung eines Uterus
bicornis in der Aufsicht
mithilfe dreidimensionaler
Ultraschalltechnik



■ Abb. 5.6.
Verwendung des in Frei-
handtechnik gewonnenen
Voxelquaders zur Simulation
eines gynäkologischen Ultra-
schalls (Lehr- und Prüfungs-
möglichkeit)



Vorteile

- Darstellung aller Raumebenen
- Zeit- und ortsunabhängige Nachbearbeitung des Datensatzes mit Strecken- und Volumenberechnung
- Bei Spezialfragestellungen Ersatz aufwändigerer Untersuchungstechniken (CT, MRT) möglich
- Datensatz telemedizinisch und ausbildungstechnisch verwendbar

Nachteile

- Schwierige Orientierung im isolierten Datensatz
- Bewegungsartefakte bei der Darstellung kindlicher Strukturen
- Im II. und III. Trimenon ausreichende Wasservorlaufstrecke nicht immer vorhanden
- Relativ hohe Speichervolumina erforderlich (5–50 MB) mit daraus resultierenden hohen Kosten für Speicherung und Verwaltung der Datensätze