



Volker F. Duda  
Rüdiger Schulz-Wendtland *Hrsg.*

# Mamma- diagnostik

Komplementärer Einsatz aller Verfahren

*2. Auflage*

 Springer

# Mammadiagnostik

Volker F. Duda  
Rüdiger Schulz-Wendtland  
(Hrsg.)

# Mammadiagnostik

Komplementärer Einsatz aller Verfahren

2. Auflage

Mit 431 Abbildungen in 508 Einzeldarstellungen  
und 74 Tabellen

*Herausgeber*

**Volker F. Duda**

Universitätsklinikum Marburg  
Marburg, Germany

**Rüdiger Schulz-Wendtland**

Universitätsklinikum Erlangen  
Erlangen, Germany

ISBN 978-3-662-54262-0      978-3-662-54263-7 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-54263-7

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

Springer

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2004, 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Fotonachweis Umschlag: © ave mario/Fotolia.com

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

## Vorwort

Seit dem Erscheinen der 1. Auflage im Jahr 2004 hat sich national und international viel in der Mammadiagnostik weiterentwickelt. Brustkrebs ist nach wie vor die häufigste Krebserkrankung der Frau und trotz der diagnostischen und therapeutischen Fortschritte leider noch die zweithäufigste Krebstodesursache. Daher lag es nahe, erneut den aktuellen Stand der Mammadiagnostik darzustellen und Perspektiven für die Zukunft aufzuzeigen.

Die interdisziplinäre S3-Leitlinie für Diagnostik, Therapie und Nachsorge des Mammakarzinoms steckt den nationalen Rahmen für den Einsatz der einzelnen Diagnosemethoden ab. Das vom American College of Radiology (ACR) entwickelte Breast Imaging – Reporting And Data System (BI-RADS™) definiert die Begrifflichkeiten für die Befundung in der Mammographie, Mammasonographie und Mamma-Magnetresonanztomographie. Dieses international anerkannte Werk erschien 2013 in der neu überarbeiteten 5. Auflage, die 2016 in einer vom ACR lizenzierten Übersetzung ins Deutsche herausgekommen ist und auch im vorliegenden Buch berücksichtigt wird.

Die komplementäre Mammadiagnostik geht noch einen Schritt weiter. Sie versteht sich als eine befundadaptierte Untersuchung der Brust mit verschiedenen, sich ergänzenden Untersuchungsverfahren in unterschiedlicher Kombination und Gewichtung.

### Klinische Untersuchung

Inspektion und Palpation sind im Rahmen der Mammadiagnostik etablierte Methoden. Studien zur systematischen klinischen Befunderhebung durch den Arzt bzw. Selbstuntersuchung durch die Patientinnen konnten keinen Vorteil in Bezug auf die Mortalität der betroffenen Frauen zeigen. Dennoch vermitteln diese von den Frauen nachvollziehbaren Maßnahmen ihnen eine positive Einstellung zur Verantwortung ihrem Körper gegenüber.

### Mammographie

Die Röntgenmammographie ist nach wie vor die Methode der Wahl zur Erkennung präklinischer und insbesondere präinvasiver Mammakarzinome durch ihre Leistungsfähigkeit auf dem Gebiet der Mikrokalkdiagnostik. Sie ist der Goldstandard im

Mammographie-Screening, das beginnend 2005 in Deutschland eingeführt wurde. Ergänzt oder zukünftig vielleicht ersetzt wird die konventionelle projektionsradiographische Mammographie durch die Tomosynthese.

### Mammasonographie

Die Mammasonographie ist das wichtigste apparative Ergänzungsverfahren zur Mammographie. Ihre Sensitivität ist besonders hoch im dichten fibroglandulären Gewebe, wo die Aussagekraft der Mammographie eingeschränkt ist. In ausgewählten Fällen ist die Sonographie als apparatives Verfahren der ersten Wahl anzusehen, z. B. zur Abklärung von klinischen Befunden bei jungen oder schwangeren Frauen. Erweitert wird das Spektrum der Mammasonographie durch die Farbdopplersonographie ohne oder mit Echosignalverstärker, die Strain- und die Shear-Wave-Elastographie, aber auch die Möglichkeit zur dreidimensionalen Erfassung mit handgeführten Schallköpfen oder als Automatisierte Brust Volumen Scanner (ABVS).

### MR-Mammographie

Die kontrastmittelunterstützte MR-Mammographie stellt das zeitintensivste, aber auch sensitivste Ergänzungsverfahren zur Mammographie und Mammasonographie dar. Zur Erhöhung ihrer Spezifität bedient sie sich oftmals der Second Look Sonographie.

### Interventionellen Methoden

Wann immer ein Befund in der Mammasonographie selbst auffällt oder sich ein Ultraschall-Korrelat zu mammographischen oder MR-tomographischen Läsionen findet, ist die sonographisch geführte Feinnadelpunktion, Stanz- oder Vakuumbiopsie die Methode der ersten Wahl zur interventionellen Abklärung. Findet sich kein verwertbares Ziel für eine Ultraschall gelenkte Abklärung, so stehen neben mammographisch stereotaktisch oder Tomosynthese gesteuerten auch MR-tomographisch gezielte Interventionen zur Verfügung.

### Komplementäre Diagnostik

Durch den kombinierten bzw. komplementären Einsatz von Mammographie, Ultraschall und MRT können bei entsprechender Indikation Sensitivitäten und Spezifitäten von über 95 % erzielt werden.

Die so erzielten Erfolge führen in letzter Zeit zu einer zunehmend fachübergreifenden, d. h. interdisziplinär ausgerichteten Mammabildgebung wie die Kombination aus zwei oder mehr Untersuchungsverfahren entweder mittels Hybrid-(Aufnahme mehrerer unterschiedlicher Bildmodalitäten in einem einzigen Gerät) oder Fusionstechniken (Zusammenführung und Registrierung von Bilddaten aus verschiedenen Methoden).

Einen weiteren Schritt stellt die multiparametrische/molekulare bzw. genetische Bildgebung dar, die uns über die Schlüsselprozesse der Krebsentstehung und Progression wertvolle Informationen liefert.

Die komplementäre Mammadiagnostik wird sich zukünftig fortentwickeln zu einer translationalen, d.h. senologischen Bildgebung (Translational Imaging).

Unser Buch möchte die Grundzüge der komplementären Mammadiagnostik sowohl theoretisch als auch anhand vieler praktischer Beispiele vermitteln und darüber hinaus die zukünftigen Methoden kritisch vorstellen.

**Volker F. Duda**  
**Rüdiger Schulz-Wendtland**

## Die Herausgeber

---



### Prof. Dr. med. Rüdiger Schulz-Wendtland

- 1978–1984 Medizinstudium und Promotion in Heidelberg
- 1984–1987 Wissenschaftlicher Angestellter der Universitäts-Strahlenklinik Heidelberg
- 1987–1992 Wissenschaftlicher Angestellter der Radiologischen Universitätsklinik Freiburg
- 1990 Anerkennung als Facharzt für Radiologie
- 1991 Anerkennung als Facharzt für Strahlentherapie
- 1992–1994 Oberarzt der Gynäkologischen Radiologie der Universitäts-Frauenklinik Erlangen-Nürnberg
- 1993 Habilitation
- Seit 1994 Leiter der Gynäkologischen Radiologie des Institutes für Diagnostische Radiologie der Universität Erlangen-Nürnberg
- Seit 1999 C3-Professor für das Fachgebiet Gynäkologische Radiologie des Radiologischen Institutes im Universitätsklinikum Erlangen, Universität Erlangen-Nürnberg
- Seit 2012 Präsident der Deutschen Gesellschaft für Senologie (DGS).



### Dr. med. Volker F. Duda

- 1976–1982 Medizinstudium und Promotion in Marburg
- 1983–1989 Weiterbildung zum Facharzt für Frauenheilkunde und Geburtshilfe an der Universitäts-Frauenklinik Marburg
- 1989 Anerkennung als Facharzt für Frauenheilkunde und Geburtshilfe, ab 2008 mit der Zusatzbezeichnung »Röntgendiagnostik – Mamma«
- seit 1989 Oberarzt und Leiter des Arbeitsbereiches »Mammadiagnostik und Gynäkologischer Ultraschall« an der Universitäts-Frauenklinik Marburg,
- seit Oktober 2002 Leiter des fachübergreifenden Arbeitsbereiches »Senologische Diagnostik« gemeinsam getragen von den Kliniken für Strahlendiagnostik und Gynäkologie des Universitätsklinikums Marburg
- Mitglied im DEGUM-Arbeitskreis »Mammasonographie«: Stufe III und Seminarleiter
- Leiter der Arbeitsgruppe »Mammasonographie« bei der Erarbeitung der S3-Leitlinie »Brustkrebsfrüherkennung in Deutschland« (1. Aktualisierung 2008)
- 1. Beisitzer der AG Gynäkologische Radiologie der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe

# Inhaltsverzeichnis

---

## Teil I Komplementäre Mammadiagnostik – Methoden

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
	<i>K. Bock</i>	
<b>1.1</b>	<b>Entwicklung der Brustdrüse während der Pubertät</b> .....	<b>5</b>
1.1.1	Physiologische Entwicklung/Tanner-Stadien .....	5
1.1.2	Isolierte prämatüre Thelarche .....	5
<b>1.2</b>	<b>Anlagestörungen im Bereich der Milchleiste</b> .....	<b>6</b>
1.2.1	Polythelie/Polymastie .....	6
1.2.2	Poland-Syndrom .....	7
<b>1.3</b>	<b>Anatomie der ausgereiften Brustdrüse einschließlich Vaskularisation und regionärer Lymphabflussgebiete</b> .....	<b>8</b>
1.3.1	Anatomie der Brustdrüse .....	8
1.3.2	Histologie der Brustdrüse .....	8
1.3.3	Vaskularisation der Brustdrüse .....	8
1.3.4	Regionäre Lymphabflussgebiete .....	8
1.3.5	Typische mammographische Darstellung der adulten Mamma .....	9
1.3.6	Typische sonographische Darstellung der adulten Mamma .....	9
1.3.7	Anatomie der Axilla .....	11
1.3.8	Typische mammographische Darstellung der Lymphknoten .....	11
1.3.9	Typische sonographische Darstellung der axillären Lymphknoten .....	11
<b>1.4</b>	<b>Hormonelle Beeinflussung der Brustdrüse</b> .....	<b>13</b>
<b>1.5</b>	<b>Physiologische Veränderungen während Gravidität und Laktation</b> .....	<b>17</b>
1.5.1	Diagnostisches Vorgehen bei klinischen Veränderungen der Brust in Schwangerschaft und Stillzeit ..	17
1.5.2	Allgemeine Charakteristika bildgebender Diagnostik in Schwangerschaft und Stillzeit .....	18
1.5.3	Typische pathophysiologische Befunde in Schwangerschaft und Stillzeit .....	18
<b>1.6</b>	<b>Männliche Brust</b> .....	<b>23</b>
1.6.1	Anatomie und Physiologie der männlichen Brust .....	23
1.6.2	Pathophysiologie der männlichen Brust: Adiposomastie und Gynäkomastie .....	23
1.6.3	Inzidenz von Mammatumoren beim Mann .....	23
1.6.4	Diagnostisches Vorgehen bei klinischen Veränderungen der männlichen Brust .....	24
1.6.5	Charakteristika der Bildgebung .....	24
	<b>Literatur</b> .....	<b>28</b>
<b>2</b>	<b>Klinischer Befund</b> .....	<b>31</b>
	<i>S. Waldmann-Rex, V. Duda</i>	
<b>2.1</b>	<b>Selbstuntersuchung</b> .....	<b>32</b>
2.1.1	Inspektion .....	32
2.1.2	Palpation .....	32
<b>2.2</b>	<b>Inspektion durch den Arzt</b> .....	<b>34</b>
2.2.1	Methodik .....	34
2.2.2	Befunde .....	35
<b>2.3</b>	<b>Palpation durch den Arzt</b> .....	<b>35</b>
2.3.1	Methodik .....	35
2.3.2	Befunde .....	36
<b>2.4</b>	<b>Mamillen-Areolen-Komplex</b> .....	<b>37</b>
2.4.1	Inspektion .....	37
2.4.2	Befunde .....	37
2.4.3	Palpation der Mamille .....	38

2.5	<b>Mamillensekretion</b> . . . . .	38
2.6	<b>Axilla und andere Lymphabflussgebiete</b> . . . . .	39
2.6.1	Inspektion . . . . .	39
2.6.2	Palpation der Axilla und der übrigen Lymphabflussgebiete . . . . .	40
2.7	<b>Dokumentation der Befunde</b> . . . . .	41
2.8	<b>Wertschätzung der klinischen Untersuchung</b> . . . . .	41
	<b>Literatur</b> . . . . .	41
<b>3</b>	<b>Risikoadaptierte Diagnostik und Therapie</b> . . . . .	43
	<i>M. W. Beckmann, C. S. Sell, P. A. Fasching</i>	
3.1	<b>Brustkrebsrisiko und Prävention</b> . . . . .	44
3.1.1	Risikofaktoren und Risikobestimmung . . . . .	44
3.1.2	Prävention bei Frauen mit niedrigem Erkrankungsrisiko . . . . .	45
3.1.3	Frauen mit mittlerem und hohem Erkrankungsrisiko . . . . .	45
3.2	<b>Abklärung auffälliger Befunde – Histologie als Grundlage der Therapieentscheidung</b> . . . . .	47
3.3	<b>Histologie – Intrinsische Subtypen</b> . . . . .	47
3.3.1	Luminaler Typ . . . . .	47
3.3.2	HER2-Typ . . . . .	48
3.3.3	Basalzelltyp . . . . .	48
3.4	<b>Risikobewertung mittels Multigen-Analysen</b> . . . . .	48
3.5	<b>Therapieentscheidung und -optionen</b> . . . . .	49
3.5.1	Interdisziplinäre Festlegung des Behandlungskonzepts . . . . .	49
3.5.2	Operative Therapie/Strahlentherapie . . . . .	49
3.5.3	Medikamentöse Therapie . . . . .	51
3.6	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	52
	<b>Literatur</b> . . . . .	52
<b>4</b>	<b>Mammographie</b> . . . . .	55
	<i>B. Adamietz, U. Aichinger, K. Bock, B. Brehm, K.-P. Hermann, M. Meier-Meitinger, M. Säbel, M. Schürmann, R. Schulz-Wendtland, P. Skaane, M. Wabel, E. Wenkel</i>	
4.1	<b>Aufnahmetechnische Grundlagen</b> . . . . .	57
4.2	<b>Strahlenexposition und Strahlenrisiko</b> . . . . .	61
4.3	<b>Technische Qualitätssicherung</b> . . . . .	62
4.4	<b>Einstelltechnik</b> . . . . .	64
4.4.1	Patientenvorbereitung . . . . .	64
4.4.2	Qualitätsanforderungen . . . . .	64
4.4.3	Kompression . . . . .	64
4.4.4	Einstellung an der Patientin . . . . .	64
4.5	<b>Normalbefund/Parenchymstrukturen</b> . . . . .	68
4.5.1	Allgemeine Charakteristika . . . . .	68
4.5.2	Parenchymstruktur . . . . .	68
4.6	<b>Herdbefunde</b> . . . . .	70
4.7	<b>Mikrokalk</b> . . . . .	73
4.7.1	Größe . . . . .	74
4.7.2	Form oder Morphologie . . . . .	74
4.7.3	Verteilungsmuster . . . . .	76
4.8	<b>Zusatzbefunde</b> . . . . .	77
4.9	<b>Befundung und Befunddokumentation</b> . . . . .	78
4.9.1	Mammographischer Befund . . . . .	78
4.9.2	Parenchymstruktur . . . . .	79
4.9.3	Herdbefunde . . . . .	79
4.9.4	Verkalkungen . . . . .	79
4.9.5	Strukturveränderungen . . . . .	79

<b>4.10</b>	<b>Mammographie-Screening</b> . . . . .	80
4.10.1	Einleitung . . . . .	80
4.10.2	Anfänge des Mammographie-Screenings und randomisierte kontrollierte Studien (RCT) . . . . .	80
4.10.3	Mammographie-Screening in Europa heute . . . . .	81
4.10.4	Mammographie-Screening in Deutschland . . . . .	82
4.10.5	Individualisiertes Brustkrebs-Screening . . . . .	84
4.10.6	Neue Techniken und Modalitäten . . . . .	86
4.10.7	Nachteile und Negativ-Folgen des Screenings . . . . .	88
	<b>Literatur</b> . . . . .	88
<b>5</b>	<b>Interventionelle mammographisch gestützte Techniken</b> . . . . .	93
	<i>R. Schulz-Wendtland</i>	
<b>5.1</b>	<b>Zystenpunktion/Pneumozystographie</b> . . . . .	95
5.1.1	Indikationen zur Punktion . . . . .	95
5.1.2	Kontraindikationen . . . . .	95
5.1.3	Komplikationen . . . . .	95
5.1.4	Zystenpunktionen . . . . .	95
5.1.5	Befunde . . . . .	95
<b>5.2</b>	<b>Galaktographie</b> . . . . .	95
5.2.1	Indikationen . . . . .	95
5.2.2	Kontraindikationen . . . . .	95
5.2.3	Komplikationen . . . . .	95
5.2.4	Prozedere . . . . .	96
5.2.5	Befunde . . . . .	96
5.2.6	Alternativen zur Galaktographie . . . . .	97
<b>5.3</b>	<b>Stereotaktische Intervention</b> . . . . .	97
5.3.1	Stereotaktisches Lokalisationsprinzip . . . . .	97
5.3.2	Untersuchungen zur Treffgenauigkeit . . . . .	97
<b>5.4</b>	<b>Stereotaktische Vakuumbiopsie</b> . . . . .	98
5.4.1	Indikationen . . . . .	98
5.4.2	Kontraindikationen . . . . .	98
5.4.3	Technik und Durchführung . . . . .	98
5.4.4	Empfohlene Bilddokumentation bei der Vakuumbiopsie (Leitlinienprogramm Onkologie der AWMF 2012) . . . . .	101
5.4.5	Ergebnisse . . . . .	101
<b>5.5</b>	<b>Stereotaktische Exzisionsbiopsie</b> . . . . .	101
5.5.1	Technik . . . . .	101
5.5.2	Ergebnisse . . . . .	101
5.5.3	Komplikationen . . . . .	101
5.5.4	Limitationen . . . . .	102
5.5.5	Stereotaktische Vakuumbiopsie vs. stereotaktische Exzisionsbiopsie . . . . .	102
<b>5.6</b>	<b>Work in Progress</b> . . . . .	102
<b>5.7</b>	<b>Ausblick</b> . . . . .	102
<b>5.8</b>	<b>Präoperative Markierung</b> . . . . .	102
5.8.1	Freihandlokalisation . . . . .	103
5.8.2	Lokalisation mit perforierter oder markierter Kompressionsplatte . . . . .	103
5.8.3	Stereotaktisch gesteuerte Lokalisation . . . . .	103
<b>5.9</b>	<b>Präparateradiographie</b> . . . . .	103
	<b>Literatur</b> . . . . .	104

<b>6</b>	<b>Sonographie</b> . . . . .	107
	<i>K. Bock, V.F. Duda, T. Fischer, A. Storch, A. Thomas, C. Weismann</i>	
<b>6.1</b>	<b>Technik</b> . . . . .	109
6.1.1	Physikalische Einleitung . . . . .	109
6.1.2	B-Bild-Techniken . . . . .	109
6.1.3	Dopplertechniken einschließlich Echokontrastmittel . . . . .	112
6.1.4	Erweiterung des sonographischen Blickwinkels durch Panorama-Scans . . . . .	114
<b>6.2</b>	<b>Sicherheitsaspekte</b> . . . . .	114
6.2.1	Nebenwirkungen des diagnostischen Ultraschalls . . . . .	114
6.2.2	Konventioneller Ultraschall (B-Mode) . . . . .	114
6.2.3	Dopplertechniken und Echokontrastmittel . . . . .	114
6.2.4	Überwachungsmöglichkeiten . . . . .	115
<b>6.3</b>	<b>Untersuchungstechniken und Dokumentation</b> . . . . .	115
6.3.1	Allgemeine Untersuchungsanforderungen . . . . .	115
6.3.2	Schallkopfführung . . . . .	115
6.3.3	Gesondert zu berücksichtigende Regionen der Mamma . . . . .	116
6.3.4	Dokumentation . . . . .	116
<b>6.4</b>	<b>Herdbefunde (Primär- und Sekundärkriterien)</b> . . . . .	119
6.4.1	Definition . . . . .	119
6.4.2	Primärkriterien . . . . .	119
6.4.3	Sekundärkriterien . . . . .	119
6.4.4	Tertiärkriterien . . . . .	122
6.4.5	Validität der Herdbefundbeschreibung . . . . .	123
<b>6.5</b>	<b>3D-Mammasonographie</b> . . . . .	125
<b>6.6</b>	<b>Der Einsatz der Elastographie in der Mammasonographie</b> . . . . .	129
6.6.1	Strain-Elastographie . . . . .	130
6.6.2	Strain-Ratio-Kalkulation . . . . .	132
6.6.3	Tissue-Doppler-Imaging-Verfahren . . . . .	132
6.6.4	Scherwellenelastographie . . . . .	133
6.6.5	Metanalysen . . . . .	133
6.6.6	Limitationen . . . . .	134
6.6.7	Zusammenfassung . . . . .	135
<b>6.7</b>	<b>Sonographie im Rahmen der Brustkrebsfrüherkennung</b> . . . . .	135
6.7.1	Stellenwert der Methode . . . . .	135
6.7.2	Anforderungen an die sonographische Bildgüte im klinischen Einsatz und technische Bedingungen . . . . .	136
6.7.3	Anforderungen an die an Phantomen geprüfte Geräteleistung . . . . .	136
6.7.4	6-monatige Basis- und Routinetests . . . . .	138
6.7.5	Tägliche Gerätetests . . . . .	138
<b>6.8</b>	<b>Sonographie im Mammographie-Screening-Assessment</b> . . . . .	138
	<b>Literatur</b> . . . . .	140
<b>7</b>	<b>Interventionelle sonographisch gestützte Techniken</b> . . . . .	143
	<i>V. F. Duda, C. Köhler, U.-S. Albert</i>	
<b>7.1</b>	<b>Zystenpunktion</b> . . . . .	145
7.1.1	Einleitung, Indikationen . . . . .	145
7.1.2	Vorgehen . . . . .	145
7.1.3	Ausnahmesituationen . . . . .	145
7.1.4	Bewertung des Befundes und Validität der Methode . . . . .	146
<b>7.2</b>	<b>Duktuspunktion und antegrade Galaktographie</b> . . . . .	146
7.2.1	Einleitung, Indikationen . . . . .	146
7.2.2	Vorgehen . . . . .	146
7.2.3	Bewertung des Befundes . . . . .	147

<b>7.3</b>	<b>Hochgeschwindigkeitsstanziopsie</b>	147
7.3.1	Technik	147
7.3.2	Indikationen	147
7.3.3	Vorgehen	148
7.3.4	Ausnahmesituationen	149
7.3.5	Bewertung des Befundes	149
7.3.6	Validität der Methode	150
<b>7.4</b>	<b>Vakuumbiopsie</b>	150
7.4.1	Technik	150
7.4.2	Indikationen	150
7.4.3	Vorgehen	151
7.4.4	Ausnahmesituationen	151
7.4.5	Bewertung des Befundes	151
7.4.6	Validität der Methode	153
<b>7.5</b>	<b>Präoperative Drahtmarkierung und Präparatsonographie</b>	153
7.5.1	Technik und Indikationen	153
7.5.2	Vorgehen	153
7.5.3	Ausnahmesituationen	156
7.5.4	Bewertung des Befundes	156
7.5.5	Validität der Methode	158
	<b>Literatur</b>	158
<b>8</b>	<b>MRT einschließlich Intervention</b>	159
	<i>P. Baltzer, T. Helbich, M. Müller-Schimpfle, R. Schulz-Wendtland</i>	
<b>8.1</b>	<b>Indikationen</b>	160
8.1.1	Präoperatives Staging	160
8.1.2	Screening bei Hochrisikopatientinnen	160
8.1.3	Neoadjuvante Therapie	161
8.1.4	Zustand nach Augmentation	161
8.1.5	Problem solving	161
<b>8.2</b>	<b>Untersuchungstechnik</b>	161
8.2.1	Technische Voraussetzungen	161
8.2.2	Kontrastmitteldynamik	162
8.2.3	T2-gewichtete Sequenzen	163
8.2.4	Diffusionsgewichtete Bildgebung (DWI)	163
8.2.5	MR-Spektroskopie	163
8.2.6	Multiparametrische und Hochfeld-MRT der Mamma	164
<b>8.3</b>	<b>Befundung</b>	164
8.3.1	Allgemeine Empfehlungen	164
8.3.2	Hintergrundanreicherungen	164
8.3.3	Läsionsbeschreibung und Klassifikation	165
8.3.4	Managementempfehlung	167
<b>8.4</b>	<b>Second-look-Ultraschall</b>	168
<b>8.5</b>	<b>Interventionen</b>	169
8.5.1	Einleitung und Technische Voraussetzung	169
8.5.2	Indikationen	171
8.5.3	Nadelsysteme, Qualitätsstandards	172
8.5.4	Lerneffekt	172
	<b>Literatur</b>	173

<b>9</b>	<b>Pathologie der Mamma</b> . . . . .	177
	<i>A. Hartmann</i>	
9.1	<b>Einleitung</b> . . . . .	178
9.2	<b>Normale Mamma</b> . . . . .	178
9.3	<b>Fibrozystische Mastopathie</b> . . . . .	179
9.4	<b>Benigne proliferative Mammaläsionen</b> . . . . .	180
9.5	<b>Fibroadenom/Phylloidtumor</b> . . . . .	183
9.6	<b>Mastitis</b> . . . . .	185
9.7	<b>Tumoren der Mamma</b> . . . . .	186
9.7.1	Molekulare Kanzerogenese des Mammakarzinoms . . . . .	186
9.7.2	Hereditäres Mammakarzinom . . . . .	187
9.7.3	Vorläuferläsionen des Mammakarzinoms . . . . .	188
9.7.4	Invasives Mammakarzinom . . . . .	192
9.7.5	Seltenerer Formen des Mammakarzinoms . . . . .	194
9.7.6	Metastasierung . . . . .	196
9.7.7	Lymphknotenstatus und Sentinel-Lymphknoten . . . . .	196
9.7.8	Klinische Prognosebestimmung . . . . .	196
9.7.9	Besonderheiten in der Diagnostik des Mammakarzinoms . . . . .	198
9.7.10	Bearbeitung von Operationspräparaten . . . . .	198
9.7.11	Sarkome und Lymphome der Mamma . . . . .	198
	<b>Literatur</b> . . . . .	199
<b>10</b>	<b>Zukünftige Entwicklungen in der Bildgebung</b> . . . . .	201
	<i>G. Anton, P. Baltzer, J. Emons, P.A. Fasching, R. Schulz-Wendtland, C. Weismann</i>	
10.1	<b>Multimodale Bildgebung und Big Data</b> . . . . .	202
10.2	<b>Genomik und Bildgebung</b> . . . . .	204
10.2.1	Einleitung . . . . .	204
10.2.2	Grundprinzipien zur Integration von molekularer Diagnostik und Genomik in den diagnostischen Prozess . . . . .	205
10.2.3	Kombinierte molekulare und bildgebende Diagnostik . . . . .	205
10.2.4	Molekulare Subtypen des Mammakarzinoms . . . . .	205
10.2.5	Zusammenhang von genetischen Risikofaktoren mit der Genexpression . . . . .	206
10.2.6	Risikoprädiktion für spezielle Subtypen des Mammakarzinoms . . . . .	207
10.2.7	Ausweitung der Genotypisierung . . . . .	207
10.2.8	Integration von Bilddaten und genomischen Daten . . . . .	208
10.3	<b>Digitale Mammasonographie</b> . . . . .	209
10.4	<b>Röntgen-Phasenkontrast- und Röntgen-Dunkelfeld-Bildgebung für die Brustdiagnostik</b> . . . . .	212
10.4.1	Einleitung . . . . .	212
10.4.2	Das Talbot-Lau-Verfahren . . . . .	212
10.4.3	Phasenkontrast- und Dunkelfeldbilder für die Brustdiagnostik . . . . .	214
	<b>Literatur</b> . . . . .	216

## Teil II Falldarstellungen – Befundtraining

<b>11</b>	<b>Mammographische Erscheinungsbilder</b> . . . . .	221
	<i>K. Adamietz, B. Brehm, M. Meier-Meitingen</i>	
11.1	<b>Herdbefunde: Glatt begrenzter Herdbefund</b> . . . . .	223
11.2	<b>Herdbefunde: Mikrolobulierter, durch andere Strukturen überlagerter, schlecht abgrenzbarer Herd</b> . . . . .	225
11.3	<b>Herdbefunde: Irregulärer, überlagerter Herd</b> . . . . .	227
11.4	<b>Herdbefunde: Kleiner hyperdenser Herdbefund</b> . . . . .	229
11.5	<b>Herdbefunde: Typisch maligner Herdbefund</b> . . . . .	231

11.6	Herdbefunde: Isodenser Herdbefund . . . . .	233
11.7	Herdbefunde: Hypodenser oder strahlentransparenter Herd . . . . .	235
11.8	Fokale, asymmetrische Verdichtung . . . . .	237
11.9	Architekturstörung . . . . .	239
11.10	Kutane Nebenbefunde . . . . .	241
11.11	Sonstige Befunde: hyperdense Milchgänge . . . . .	243
11.12	Sonstige Befunde: Silikonome . . . . .	245
11.13	Sonstige Befunde: Axilläres Mamma-CA . . . . .	247
11.14	Pseudokalk. . . . .	249
11.15	Popcornartige Verkalkungen . . . . .	251
11.16	Verkalkungen: Ringförmiger, schalenartiger Kalk . . . . .	253
11.17	Verkalkungen: Rundlicher Kalk. . . . .	255
11.18	Verkalkungen: fein linearer Kalk . . . . .	257
11.19	Verkalkungen: grob heterogener Kalk . . . . .	259
11.20	Verkalkungen: fein pleomorpher bis fein linearer Kalk . . . . .	261
11.21	Verkalkungen: Narbenkalk/verkalktes Nahtmaterial . . . . .	263
11.22	Verkalkungen: Hautverkalkungen . . . . .	265
11.23	Verkalkungen: Amorpher Kalk . . . . .	267
11.24	Verkalkungen: Linearer Kalk . . . . .	269
11.25	Verkalkungen: Regional verteilter Kalk . . . . .	271
11.26	Verkalkungen: Gruppiertes Kalk . . . . .	273
11.27	Sonstige Befunde: Mammographie und Inlay . . . . .	275
<b>12</b>	<b>Mammasonographische Erscheinungsbilder . . . . .</b>	<b>277</b>
	<i>C. Köhler, V. Duda</i>	
12.1	Glatt begrenzter, areflektiver Herd – »Die klassische Zyste« . . . . .	281
12.2	Duktektasien, Duktuskonglomerate – »Noch normal oder schon pathologisch« . . . . .	283
12.3	Glatt begrenzter, homogener hyporeflektiver Herd – »Zystisch oder solid« . . . . .	285
12.4	Glatt begrenzte, inhomogen hypo- bis hyperreflektive Herde – »Echodichte Tarnung« . . . . .	287
12.5	Multiple Zysten – »Vor lauter Bäumen den Wald nicht sehen« . . . . .	289
12.6	Multiple Befunde unterschiedlicher Sonomorphologie – »Nicht alle über einen Kamm« . . . . .	291
12.7	Multiple solide Herde – »Verwandtschaft oder zufällige Bekanntschaft« . . . . .	293
12.8	Bilaterale Herde – »Alles hat zwei Seiten« . . . . .	295
12.9	Fraglich glatt begrenzte, hyporeflektive Herde – »Glatt oder nicht glatt? Das ist hier die Frage« . . . . .	297
12.10	Makrolobulierte Herde – »Gelappt oder höckerig?« . . . . .	299
12.11	Makro- oder mikrolobulierte Herde – »Wenn die Grenzen schwinden« . . . . .	301
12.12	Unschärf begrenzte, iso- bis hyporeflektive Herde – »Erst mal entdecken ...« . . . . .	303
12.13	Architekturstörung – »Nicht einmal ein Herdbefund« . . . . .	305
12.14	Architekturstörung: Narbe, Rezidiv – »Die beste Aufnahme ist die Voraufnahme« . . . . .	307
12.15	Lipoidnekrosen – »Verwirrung vorprogrammiert« . . . . .	309
12.16	Unschärf begrenzte, inhomogen hyporeflektive Herde – »Das klassische Karzinom« . . . . .	311
12.17	pT1a-Karzinom – »Früh übt sich ...« . . . . .	313
12.18	pT1b-Karzinom – »Nicht zu übersehen, hoffentlich« . . . . .	315
12.19	Problemzone Retromamillarraum – »Fokuszone« . . . . .	317
12.20	Problemzone untere Umschlagfalte – »The view from down under« . . . . .	319
12.21	Intramammäre Lymphknoten – »Grenzgänger der besonderen Art« . . . . .	321
12.22	Schmale Schallphänomene – »Erst der Herd und dann sein Schatten« . . . . .	323
12.23	Retrotumorales Schallverhalten – »Erwartungen, Enttäuschungen« . . . . .	325
12.24	Der überdimensionale Befund – »Much too much« . . . . .	327
12.25	Inflammatorisches Karzinom oder Mastitis – »Die brennende Frage« . . . . .	329
	Serviceeteil. . . . .	331
	Stichwortverzeichnis . . . . .	332

## Mitarbeiterverzeichnis

---

### **Adamietz, Boris, PD Dr. med.**

Radiologie am Herkomerplatz  
Oberförhringer Straße 2  
81679 München  
boris-adamietz@t-online.de

### **Aichinger, Ulrike, Dr. med.**

RADIO-LOG  
Schießstattweg 60  
94032 Passau  
ulrike.aichinger@radio-log.de

### **Albert, Ute-Susann, Prof. Dr.**

Wolfsgangstraße 51  
60322 Frankfurt  
albert.us@web.de

### **Anton, Gisela, Prof. Dr. rer. nat.**

Lehrstuhl für Experimentalphysik  
(Teilchen- und Astroteilchenphysik)  
Universität Erlangen-Nürnberg  
Erwin-Rommel-Straße 1  
91058 Erlangen  
gisela.anton@physik.uni-erlangen.de

### **Baltzer, Pascal, Prof. Dr. med.**

Klinische Abteilung für Allgemeine Radiologie  
und Kinderradiologie der Universitätsklinik für  
Radiologie und Nuklearmedizin  
Allgemeines Krankenhaus  
Vöhringer Gürtel 18–20  
1090 Wien  
Österreich  
pascal.baltzer@meduniwien.ac.at

### **Beckmann, Matthias W., Prof. Dr. med.**

Frauenklinik  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
matthias.beckmann@uk-erlangen.de

### **Bock, Karin, Dr. med.**

Referenzzentrum Mammographie SüdWest  
Universitätsklinikum Gießen und Marburg,  
Standort Marburg  
Bahnhofstraße 7  
35037 Marburg  
bock@referenzzentrum-suedwest.de

### **Brehm, Barbara, Dr. med.**

Radiologisches Institut  
Universitätsklinikum Erlangen  
Maximiliansplatz 1  
91054 Erlangen  
barbara.brehm@uk-erlangen.de

### **Duda, Volker F., Dr. med.**

Senologische Diagnostik, Klinik für Frauenheilkunde  
und Geburtshilfe  
Universitätsklinikum Gießen und Marburg,  
Standort Marburg  
Baldingerstraße  
35043 Marburg  
duda@med.uni-marburg.de

### **Emons, Julius**

Frauenklinik  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
julius.emons@uk-erlangen.de

### **Fasching, Peter Andreas, Prof. Dr. med.**

Frauenklinik  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
peter.fasching@uk-erlangen.de

### **Fischer, Thomas, Univ.-Prof. Dr. med.**

Interdisziplinäres US-Zentrum, Institut für Radiologie  
Campus Charité Mitte  
Charitéplatz 1  
10117 Berlin  
thom.fischer@charite.de

### **Hartmann, Arndt, Prof. Dr. med.**

Institut für Pathologie  
Universitätsklinikum Erlangen  
Krankenhausstraße 8–10  
91054 Erlangen  
arndt.hartmann@uk-erlangen.de

**Helbich, Thomas, Univ.-Prof. Dr. med. MSC, MBA**

Klinische Abteilung für Allgemeine Radiologie  
und Kinderradiologie der Universitätsklinik für  
Radiologie und Nuklearmedizin  
Allgemeines Krankenhaus  
Vöhringer Gürtel 18–20  
1090 Wien  
thomas.helbich@meduniwien.ac.at

**Hermann, Klaus-Peter, Dr. rer. nat.**

Hermann Institut für Diagnostische und  
Interventionelle Radiologie  
Universitätsmedizin Göttingen  
Robert-Koch-Straße 40  
37075 Göttingen  
kherman@gwdg.de

**Köhler, Christine, Dr. med.**

Senologische Diagnostik,  
Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe  
Universitätsklinikum Gießen und Marburg,  
Standort Marburg  
Baldingerstraße  
35043 Marburg  
bonwetsc@med.uni-marburg.de

**Meier-Meitinger, Martina, PD Dr. med.**

Radiologisches Institut  
Universitätsklinikum Erlangen  
Maximiliansplatz 1  
91054 Erlangen  
martina.meier-meitinger@uk-erlangen.de

**Müller-Schimpfle, Markus, Prof. Dr. med.**

Klinik für Radiologie,  
Neuroradiologie und Nuklearmedizin  
Klinikum Frankfurt Höchst GmbH  
Gotenstraße 6–8  
65929 Frankfurt a.M.  
MMS@KlinikumFrankfurt.de

**Säbel, Manfred, Prof. Dr. rer.nat.**

Radiologisches Institut  
Universitätsklinikum Erlangen  
Maximiliansplatz 1  
91054 Erlangen  
manfred.saebel@uk-erlangen.de

**Schulz-Wendtland, Rüdiger, Prof. Dr. med.**

Radiologisches Institut/Gynäkologische Radiologie  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
ruediger.schulz-wendtland@uk-erlangen.de

**Schürmann, Maria**

Radiologisches Institut/Gynäkologische Radiologie  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
maria.schuermann@uk-erlangen.de

**Sell, Charlotte S., Dr. med.**

Frauenklinik  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
charlotte.sell@uk-erlangen.de

**Skaane, Per, Prof. Dr. med.**

Oslo University Hospital Ullevaal  
Department of Radiology  
Kirkeveien 166  
0450 Oslo  
Norwegen  
PERSKA@ous-hf.no

**Storch, Astrid, Dr. med.**

Frauenklinik am Klinikum Kaufbeuren  
Dr.-Gutermann-Straße 2  
87600 Kaufbeuren

**Thomas, Anke, Prof. Dr. med.**

Ultraschalllabor, Klinik für Gynäkologie, Charité  
Universitätsmedizin Berlin,  
Charitéplatz 1  
10117 Berlin  
anke.thomas@charite.de

**Wabel, Martina**

Radiologisches Institut/Gynäkologische Radiologie  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
martina.wabel@uk-erlangen.de

**Waldmann-Rex, Susanne, Dr. med.**

Spitalstrasse 8  
4730 Raeren  
Belgien  
swarex@gmail.com

**Weismann, Christian, OA Dr. med.**

Universitäts-Institut für Radiologie  
LKH Salzburg  
Müllner Hauptstraße 48  
5020 Salzburg  
Österreich  
c.weismann@salk.at

**Wenkel, Evelyn, PD Dr. med.**

Radiologisches Institut/Gynäkologische Radiologie  
Universitätsklinikum Erlangen  
Universitätsstraße 21–23  
91054 Erlangen  
evelyn.wenkel@uk-erlangen.de

# Teil I

## Komplementäre Mamma- diagnostik – Methoden

- Kapitel 1 Grundlagen – 3**  
*K. Bock*
- Kapitel 2 Klinischer Befund – 31**  
*S. Waldmann-Rex, V. Duda*
- Kapitel 3 Risikoadaptierte Diagnostik und Therapie – 43**  
*M. W. Beckmann, C. S. Sell, P. A. Fasching*
- Kapitel 4 Mammographie – 55**  
*B. Adamietz, U. Aichinger, K. Bock, B. Brehm, K.-P. Hermann,  
M. Meier-Meitingen, M. Säbel, M. Schürmann,  
R. Schulz-Wendtland, P. Skaane, M. Wabel, E. Wenkel*
- Kapitel 5 Interventionelle mammographisch gestützte  
Techniken – 93**  
*R. Schulz-Wendtland*
- Kapitel 6 Sonographie – 107**  
*K. Bock, V. F. Duda, T. Fischer, A. Storch, A. Thomas,  
C. Weismann*
- Kapitel 7 Interventionelle sonographisch gestützte  
Techniken – 143**  
*V. F. Duda, C. Köhler, U.-S. Albert*
- Kapitel 8 MRT einschließlich Intervention – 159**  
*P. Baltzer, T. Helbich, M. Müller-Schimpfle, R. Schulz-Wendtland*
- Kapitel 9 Pathologie der Mamma – 177**  
*A. Hartmann*
- Kapitel 10 Zukünftige Entwicklungen in der Bildgebung – 201**  
*G. Anton, P. Baltzer, J. Emons, P.A. Fasching,  
R. Schulz-Wendtland, C. Weismann*

# Grundlagen

*K. Bock*

- 1.1 Entwicklung der Brustdrüse während der Pubertät – 5**
  - 1.1.1 Physiologische Entwicklung/Tanner-Stadien – 5
  - 1.1.2 Isolierte prämatüre Thelarche – 5
- 1.2 Anlagestörungen im Bereich der Milchleiste – 6**
  - 1.2.1 Polythelie/Polymastie – 6
  - 1.2.2 Poland-Syndrom – 7
- 1.3 Anatomie der ausgereiften Brustdrüse einschließlich Vaskularisation und regionärer Lymphabflussgebiete – 8**
  - 1.3.1 Anatomie der Brustdrüse – 8
  - 1.3.2 Histologie der Brustdrüse – 8
  - 1.3.3 Vaskularisation der Brustdrüse – 8
  - 1.3.4 Regionäre Lymphabflussgebiete – 8
  - 1.3.5 Typische mammographische Darstellung der adulten Mamma – 9
  - 1.3.6 Typische sonographische Darstellung der adulten Mamma – 9
  - 1.3.7 Anatomie der Axilla – 11
  - 1.3.8 Typische mammographische Darstellung der Lymphknoten – 11
  - 1.3.9 Typische sonographische Darstellung der axillären Lymphknoten – 11
- 1.4 Hormonelle Beeinflussung der Brustdrüse – 13**
- 1.5 Physiologische Veränderungen während Gravidität und Laktation – 17**
  - 1.5.1 Diagnostisches Vorgehen bei klinischen Veränderungen der Brust in Schwangerschaft und Stillzeit – 17
  - 1.5.2 Allgemeine Charakteristika bildgebender Diagnostik in Schwangerschaft und Stillzeit – 18
  - 1.5.3 Typische pathophysiologische Befunde in Schwangerschaft und Stillzeit – 18

## **1.6 Männliche Brust – 23**

- 1.6.1 Anatomie und Physiologie der männlichen Brust – 23
- 1.6.2 Pathophysiologie der männlichen Brust: Adiposomastie und Gynäkomastie – 23
- 1.6.3 Inzidenz von Mammatumoren beim Mann – 23
- 1.6.4 Diagnostisches Vorgehen bei klinischen Veränderungen der männlichen Brust – 24
- 1.6.5 Charakteristika der Bildgebung – 24

## **Literatur – 28**

## 1.1 Entwicklung der Brustdrüse während der Pubertät

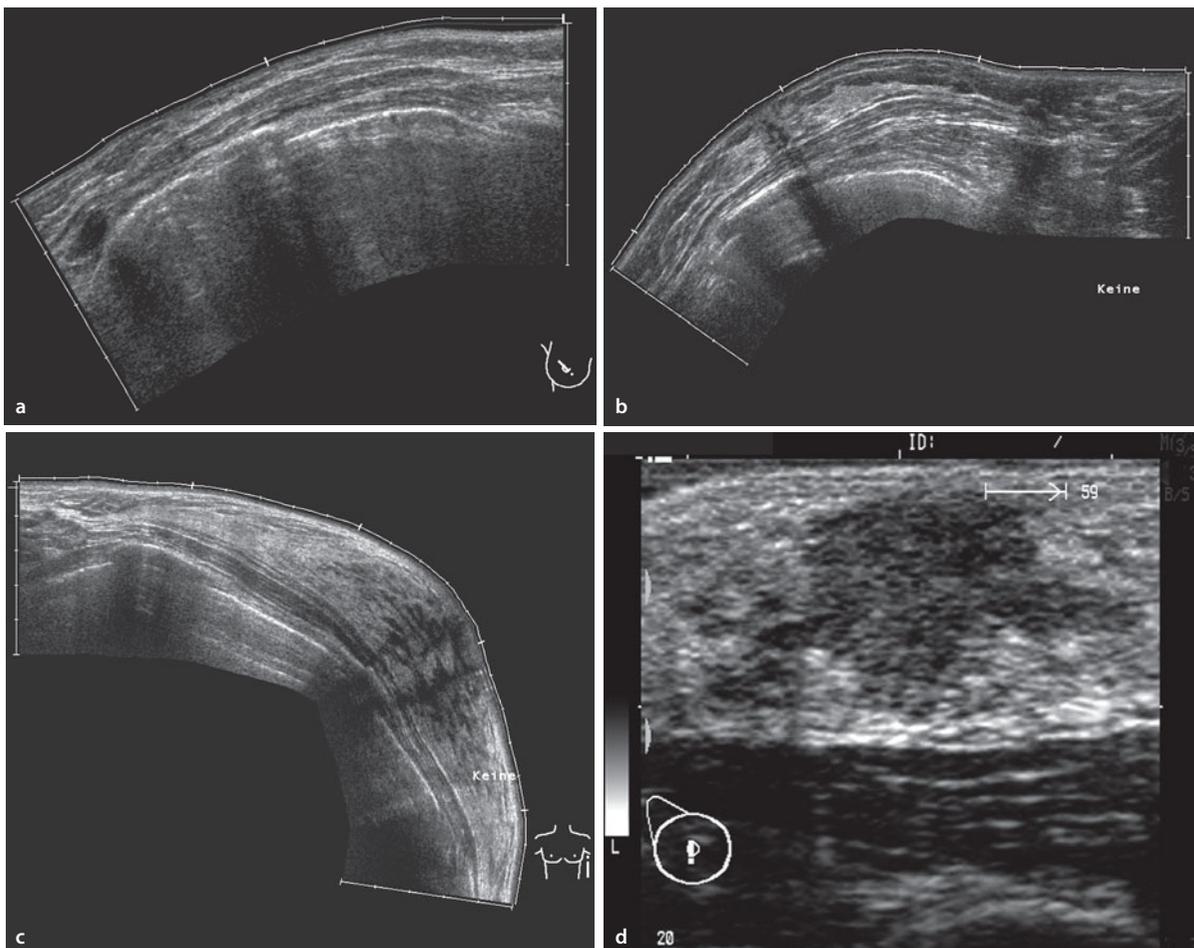
### 1.1.1 Physiologische Entwicklung/ Tanner-Stadien

Die pubertäre Entwicklung der weiblichen Brust wird als **Thelarche** bezeichnet und steht unter dem Einfluss der weiblichen Sexualhormone. In Mitteleuropa setzt die Thelarche derzeit durchschnittlich mit 11 Jahren ein. Nach Tanner (Marshall und Tanner 1969) durchläuft die physiologische Reifung 5 typische Stadien innerhalb eines Zeitraums von ungefähr 4 Jahren (■ Abb. 1.1; ■ Tab. 1.1). Durchaus physiologisch ist ein meist einseitiger – vorwiegend linksseitiger – Entwicklungsbeginn. Im weiteren Verlauf der Entwicklung gleicht sich die dadurch entstehende Seitendifferenz weitestgehend aus, wobei geringe persistierende Unterschiede bis etwa 50 g als physiologisch angesehen werden. Etwa im Alter von 17 Jahren ist die Entwick-

lung der reifen weiblichen Brust mit Erreichen des Tanner-Stadiums B5 abgeschlossen. In Einzelfällen kann auch im Erwachsenenalter die Knospenbrust, Tanner-Stadium B4, persistieren.

### 1.1.2 Isolierte prämatüre Thelarche

Als isolierte prämatüre Thelarche bezeichnet man die Entwicklung der weiblichen Brust vor Einsetzen der regulären Pubertät. Häufig wird diese Entwicklung im Alter von 2–3 Jahren beobachtet. Sofern nicht weitere Zeichen der Geschlechtsentwicklung im Sinne einer **Pubertas praecox** festzustellen sind, bedarf die isolierte prämatüre Thelarche keiner speziellen Therapie und ist in der überwiegenden Zahl der Fälle spontan rückbildungsfähig.



■ **Abb. 1.1a–d** Tanner-Stadien der Brustentwicklung: **a** Tanner-Stadium B1, **b** Tanner-Stadium B3, **c** Tanner-Stadium B5, **d** Retromamillärschallbild im Tanner-Stadium B3

■ Tab. 1.1 Tanner-Stadien der Brustentwicklung

Stadium	Bezeichnung	Charakteristika	
		Areola	Brustdrüse
B1	Ruhestadium	Infantil	Maximal 1 cm große, palpable Brustdrüse
B2	Knospenstadium/ Mamma areolaris	Vergrößerung durch Proliferation und Dehnung	Brustdrüsenknospung = Vorwölbung der Drüse
B3	–	Zunahme der Pigmentierung	Drüsenkörpervergrößerung Brustdrüse > Mamillen-Areola-Komplex
B4	–	Abheben des drüsigen Anteils der Areola vom übrigen Brustdrüsenkörper	Deutliche Zunahme des Drüsen- und Fettgewebes
B5	Adulte Brust	Verstreichen der Areola	Typische adulte Brustkontur

## 1.2 Anlagestörungen im Bereich der Milchleiste

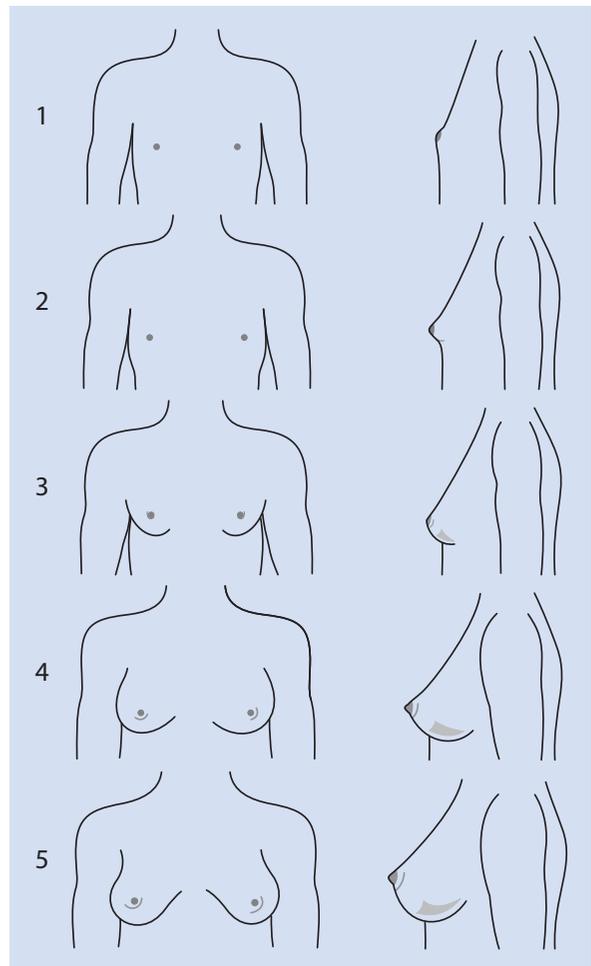
Unter dem Einfluss mütterlicher Sexualhormone beginnt die Organogenese der Brust bereits in utero ab der 5. postkonzeptionellen Schwangerschaftswoche. Die ersten Anlagen der Brustdrüsen bestehen aus bilateralen streifenförmigen Epithelverdickungen am lateralen embryonalen Thorax und Abdomen, den sog. Milchleisten (■ Abb. 1.2). Weiter entwickelt sich nur der Bereich der späteren paarigen Brustanlage, der überwiegende Teil der Milchleisten bildet sich ab der 8. Schwangerschaftswoche wieder zurück.

➤ **Störungen dieser physiologischen Entwicklung können sowohl Ausgangspunkt partieller wie auch vollständiger überzähliger Brustanlagen sein als auch zu Dysgenesen unterschiedlichen Ausmaßes bis hin zur Aplasie führen.**

### 1.2.1 Polythelie/Polymastie

**Akzessorische Brustwarzen** (Polythelien) sowie **akzessorische Drüsenkörper** (Polymastien; ■ Abb. 1.3 und ■ Abb. 1.4) können zwar an jeder Stelle der ursprünglichen Milchleiste auftreten, jedoch finden sie sich am häufigsten in der Axillarregion. Abhängig von der Zugehörigkeit zu verschiedenen ethnischen Gruppen wird die Häufigkeit von Polymastien mit bis zu 6% angegeben. Die Häufigkeit von Polythelien liegt bei knapp 5%. Die Annahme, bei Polythelien bestünden häufiger insbesondere renale Begleitfehlbildungen, konnte Berichten von Jojart und Seres (1994) zufolge an einem Kollektiv mit 504 betroffenen Kindern nicht bestätigt werden.

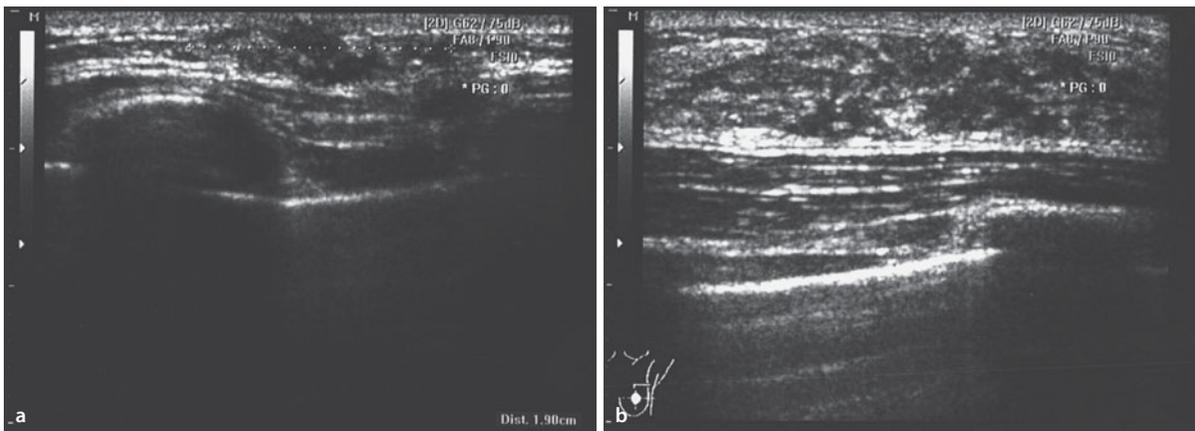
Während sich akzessorische Mamillen bereits bei der Geburt problemlos diagnostizieren lassen, tritt akzessorisches Drüsengewebe häufig erst unter hormoneller Stimu-



■ Abb. 1.2 Tanner-Stadien der Brustentwicklung. Stadium 1: kindliches Stadium, nur die Papille ist erhöht; Stadium 2: vergrößerter Areoladurchmesser, Brustknospe bildet kleine Hügel; Stadium 3: weitere Brustvergrößerung mit kontinuierlich runder Kontur; Stadium 4: Areola und Papille bilden einen zweiten Hügel auf der übrigen Brust; Stadium 5: reife, erwachsene Brust mit glatter, runder Kontur



■ **Abb. 1.3a,b** Klinisches Bild eines akzessorischen Drüsenkörpers einer 11-jährigen, **a** frontale Darstellung, **b** seitliche Darstellung



■ **Abb. 1.4a,b** Sonographie **a** des regulären Drüsenkörpers und **b** des akzessorischen Drüsenkörpers einer 11-jährigen

lation in Erscheinung, beispielsweise in der Pubertät, Schwangerschaft oder Stillzeit. Grundsätzlich können sämtliche möglichen Veränderungen des Drüsengewebes auch in **ektopem Drüsengewebe** gefunden werden. Trotz wiederholter Einzelfallberichte scheint das Risiko einer malignen Entartung ektopen Gewebes nicht erhöht zu sein (Marshall et al. 1994).

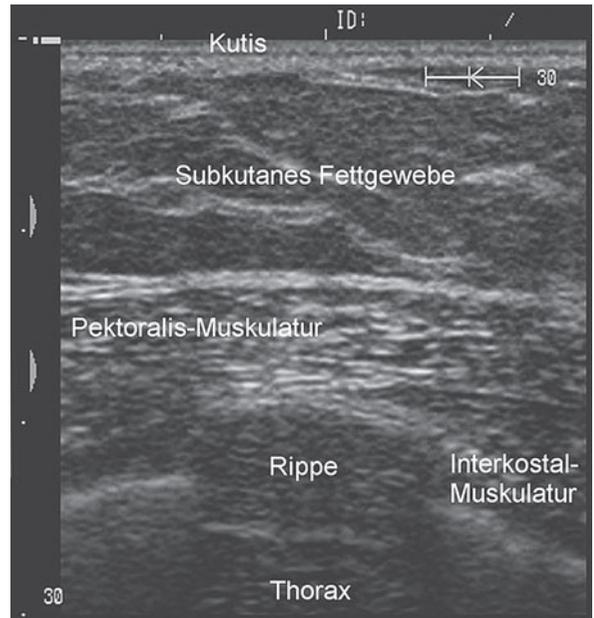
Während überzählige Brustwarzen mehr ein kosmetisches Problem darstellen, können Polymastien insbesondere peripartal zu Problemen führen, wenn durch den Milcheinschuss bei Abflussbehinderung im akzessorischen Drüsengewebe ein **Milchstau** oder eine **Mastitis** entsteht.

### 1.2.2 Poland-Syndrom

Das sog. Poland-Syndrom (Alfred Poland, Chirurg, London, 1820–1872) (■ Abb. 1.5 und ■ Abb. 1.6) ist gekennzeichnet durch eine einseitige Hypo- bis **Aplasie von Mamma und Mamille**, einen Defekt der Pektoralismuskulatur, eine Asthenie des homolateralen Armes, eine Synbrachydaktylie sowie eine Hypo- oder Aplasie der homolateralen Niere. Es scheint sich hierbei um einen rezessiv vererbten Gendefekt zu handeln.



■ **Abb. 1.5** Poland-Syndrom bei präpubertärem Mädchen; betroffene Seite



■ **Abb. 1.6** Poland-Syndrom bei präpubertärem Mädchen; kontralaterale, intakte Seite

### 1.3 Anatomie der ausgereiften Brustdrüse einschließlich Vaskularisation und regionärer Lymphabflussgebiete

#### 1.3.1 Anatomie der Brustdrüse

Der Drüsenkörper ist vom tiefen und oberflächlichen Blatt der **Fascia superficialis** umgeben. Als feine Septen des oberflächlichen Blattes ziehen die **Cooper-Ligamente** durch das subkutane Fettgewebe und verankern den Drüsenkörper elastisch mit der Kutis. Zwischen dem tiefen Blatt und der Aponeurose des **Musculus pectoralis** besteht ebenfalls eine lockere Verbindung in Form einer Verschiebeschicht aus Fett- und Bindegewebe. Der Drüsenkörper ist in Größe, Form und Zusammensetzung aus Drüsen-, Fett- und Bindegewebe variabel angelegt, zumeist symmetrisch und in den oberen, äußeren Quadranten am stärksten ausgeprägt.

Die reife Brustdrüse setzt sich aus bis zu 20 einzelnen, radiär zur Mamille angeordneten **Drüsenlappen** (Lobi) zusammen, die jeweils durch einen **Milchgang** (Ductus lactiferus) mit der Mamille in Verbindung stehen und durch interlobäres Binde- und Stützgewebe getrennt sind. Jeder Lobus besteht seinerseits aus bis zu 80 **Drüsenläppchen** (Lobuli), in denen sich das Milchgangssystem bäumchenartig bis zu den jeweils etwa 30 **terminalen Ductuli** (Azini/Alveoli) aufzweigt, eingebettet in intralobuläres Mantelbindegewebe. Terminale Ductuli und zuführende intra- wie extralobuläre Anteile formieren dabei eine physiologische Einheit, die sog. **terminale duktulolobuläre Einheit** (■ Abb. 1.7).

#### 1.3.2 Histologie der Brustdrüse

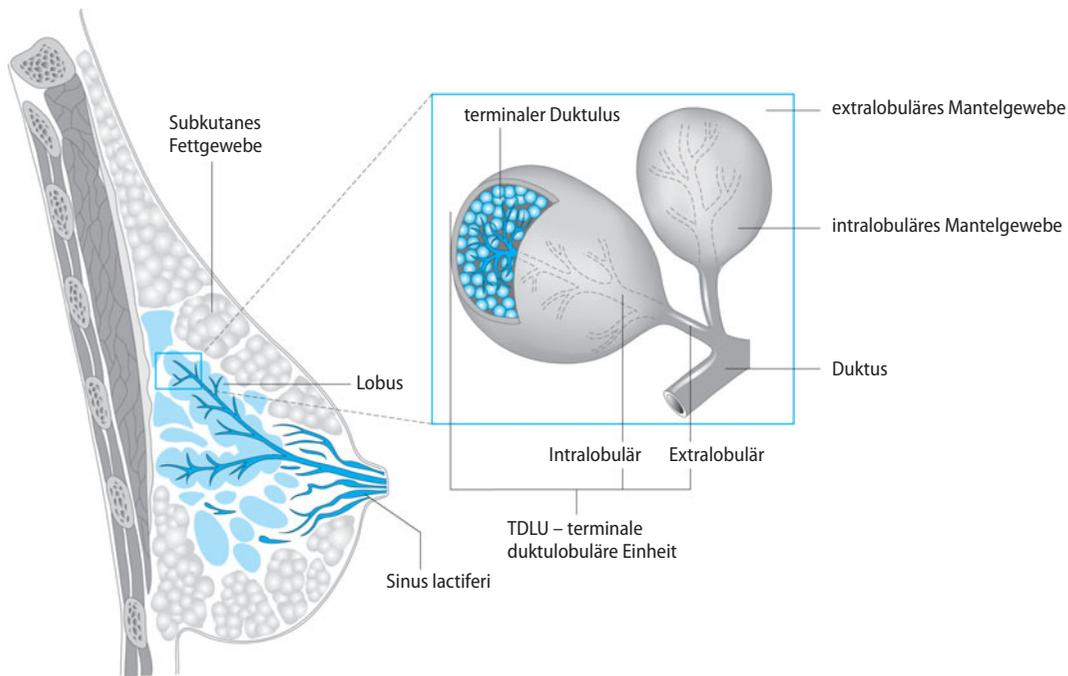
Mamillennah sind die Milchgänge von **Plattenepithel** ausgekleidet, weiter in der Peripherie geht die Auskleidung in **Zylinderepithel** über. Angrenzend befindet sich eine **Myoepithelschicht**. Die Grenze zwischen Drüsengewebe und Stroma, d. h. Epithel- und Myoepithel zur Bindegewebschicht, bildet die **Basalmembran**.

#### 1.3.3 Vaskularisation der Brustdrüse

Die Gefäßversorgung der Mamma erfolgt hauptsächlich aus Ästen der **A. subclavia** (A. mammaria interna), der **A. axillaris** (A. mammaria externa, A. thoracica lateralis) und der **A. thoracica interna**. Die den Musculus pectoralis major perforierenden Aa. intercostales sind demgegenüber nur von untergeordneter Bedeutung. Die lateralen Quadranten werden dabei überwiegend über die A. thoracica lateralis versorgt. Die medialen Quadranten werden hauptsächlich über perforierende Äste der A. thoracica interna ernährt, die parasternal durch die Interkostalräume in Richtung Areola ziehen. Die Mamille selbst versorgt ein zirkulärer Gefäßplexus aus Ästen beider Hauptgefäße.

#### 1.3.4 Regionäre Lymphabflussgebiete

Der tiefe, regionäre Lymphabfluss erfolgt zu nahezu 75 % über die ipsilateralen **axillären Lymphknoten** und in den



■ Abb. 1.7 Terminale duktulobuläre Einheit

übrigen Fällen über die **parasternalen, intrathorakalen Lymphknoten** entlang der A. mammaria interna. Zusätzlich besteht noch ein oberflächliches Lymphabflusssystem mit subareolärem Plexus. Oberflächliche und tiefe Systeme sind über Anastomosen verbunden. In bis zu 25 % der Fälle werden **intramammäre Lymphknoten** beschrieben. Definitionsgemäß müssen diese von fibroglandulärem Gewebe umgeben sein, als Abgrenzung gegenüber axillären Lymphknoten.

### 1.3.5 Typische mammographische Darstellung der adulten Mamma

**Epidermis und Korium** sind im Regelfall zwischen 0,5 und 2 mm dick, kaudal und am Übergang zur Axilla sogar bis zu 4 mm, und als feine, helle Linie darstellbar. Bei der digitalen Mammographie sind diese Strukturen primär einfacher abzugrenzen, bei der konventionellen Film-Folien-Mammographie besser bei Grellicht.

**Subkutanes und präpektoriales Fettgewebe** sind mammographisch strahlentransparent.

Das **Drüsenparenchym** stellt sich, in Abhängigkeit von der Drüsenkörperdichte, in Form konfluierender, kleiner, eher unscharf begrenzter, hyperdenser Strukturen dar. Der **Musculus pectoralis** wird randständig mit homogener Strahlendichte erfasst.

**Axilläre oder intramammäre Lymphknoten** sind als ovaläre, hyperdense Läsionen zu erkennen; häufig ist der

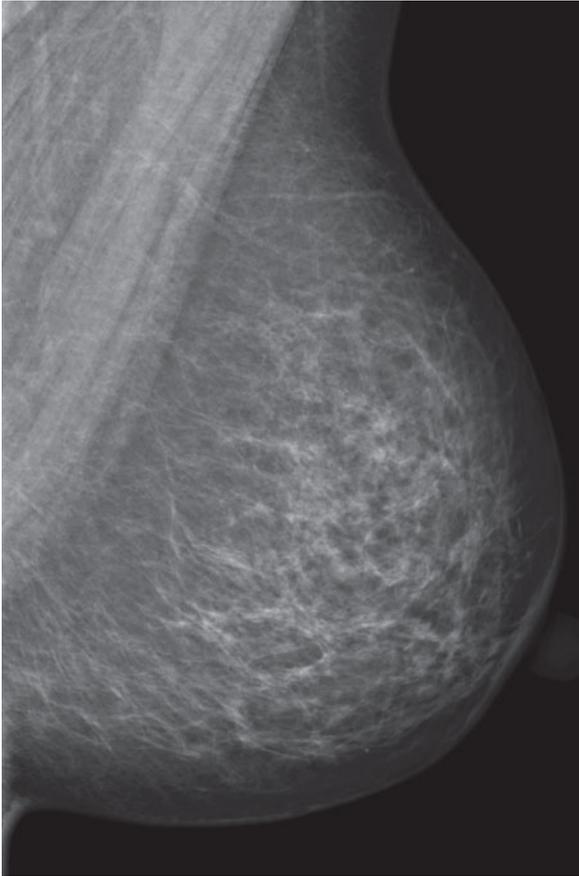
Hilus als zentrale, hypodense Formation abzugrenzen. Die Größe beträgt im Regelfall <1 cm im maximalen Durchmesser. **Venen** sind als isodense, schlauchförmige, 2–4 mm starke, homogen hyperdense Strukturen überwiegend in den oberen äußeren Quadranten zu finden. **Arterien** stellen sich als lineare, nicht auf die Mamille ausgerichtete Verdichtungen dar. Hyperdense, mehr oder weniger ausgeprägte Gefäßverkalkungen sind als Ausdruck einer lokalen Arteriosklerose zu werten.

In ■ Abb. 1.8 und ■ Abb. 1.9 ist die Anatomie in der Mammographie dargestellt.

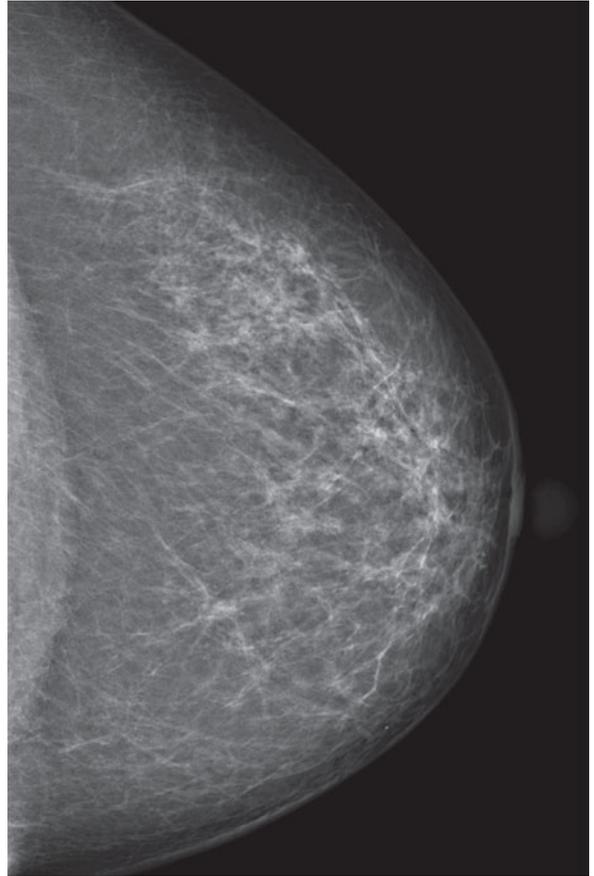
### 1.3.6 Typische sonographische Darstellung der adulten Mamma

Die typische Anatomie der Mamma kann sonographisch wie folgt beschrieben werden (■ Abb. 1.10 und ■ Abb. 1.11):

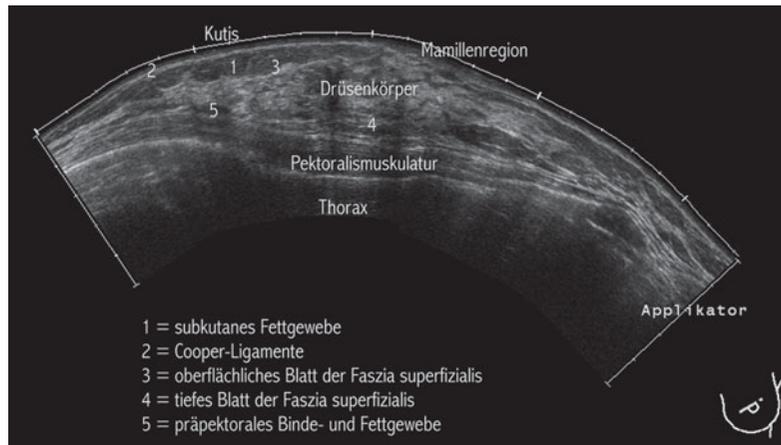
- **Kutis:** schallkopfnahes, dünnes, hyperreflektives Band,
- **Mamille:** partiell in das Hautniveau verlagerte, ovaläre Struktur, typischerweise mit mehr oder weniger ausgeprägten retromamillären Schallschatten,
- **Milchgänge:** insbesondere retromamillär darstellbare, echoarme Bänder bis 3 mm Durchmesser,
- **subkutanes Fettgewebe:** subkutan gelegenes, hyporeflektives Areal unterschiedlicher Dicke,
- **oberflächliches Blatt der Fascia superficialis:** zarte, linienförmige, hyperdense Struktur als vordere Begrenzung des Drüsenkörperparenchyms,



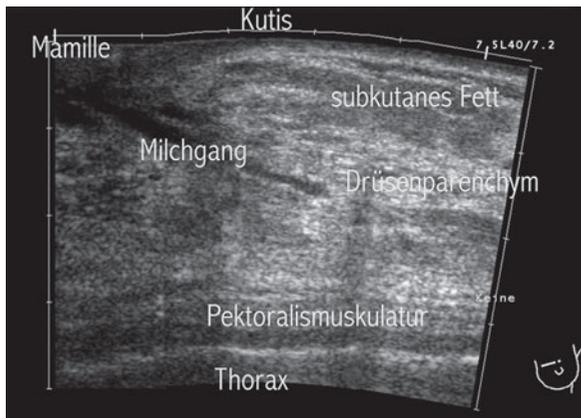
■ **Abb. 1.8** Anatomische Strukturen im Mammogramm; Standard-ebene: oblique



■ **Abb. 1.9** Anatomische Strukturen im Mammogramm; Standard-ebene: kraniokaudal



■ **Abb. 1.10** Anatomie in der sonographischen Darstellung des gesamten Drüsenkörpers (Siescape)



▣ **Abb. 1.11** Anatomie in der sonographischen Darstellung der Retromamillärregion (Duktussonographie)

- ▬ **Cooper-Ligamente:** zarte, linienförmige, hyperdense Strukturen zwischen Kutis und oberflächlichem Blatt der Fascia superficialis, die das darunterliegende Drüsengewebe zipfelig ausziehen,
- ▬ **Drüsenkörperparenchym:** inhomogene Komposition aus hyperreflektivem Stützgewebe mit darin eingeschlossenen, hyporeflektiven Fettgewebsinseln und iso- bis hyporeflektiven Lobuli,
- ▬ **tiefes Blatt der Fascia superficialis:** zarte, linienförmige, hyperdense Struktur als hintere Begrenzung des Drüsenkörperparenchyms,
- ▬ **präpektorales Fettgewebe:** überwiegend hypodenses Areal zwischen Drüsenkörperunterseite und Pektoralismuskulatur,
- ▬ **Pektoralismuskulatur inklusive Pektoralisfaszie:** homogen isoreflektive, längsausgerichtete Muskelschicht mit hyperreflektiver Faszie,
- ▬ **Rippen und Interkostalmuskulatur:** ovaläre oder längslaufende, hyporeflektive, scharf begrenzte Strukturen mit dorsalen Schallschatten und interponierter isoreflektiver Muskelschicht
- ▬ **axilläre Lymphknoten:** ovaläre, glatt begrenzte Strukturen mit hyporeflektivem Saum (Rinde) und hyperreflektivem Zentrum (Mark).

### 1.3.7 Anatomie der Axilla

Die folgenden **Leitstrukturen** bilden die Begrenzung der Axilla als anatomische Einheit:

**kraniel:** vaskulär durch A. und V. axillaris, ossär durch den Humeruskopf,

**kaudal:** ventral muskulär durch die Musculi pectoralis major et minor, dorsal muskulär durch die Musculi latissimus dorsi und serratus anterior.

Die **axillären Lymphknoten** werden in 3 anatomische Gruppen eingeteilt (▣ Abb. 1.12):

**Level 1:** untere Axilla, Lymphknoten lateral des lateralen Randes des Musculus pectoralis minor;

**Level 2:** mittlere Axilla, Lymphknoten zwischen dem lateralen und dem medialen Rand des Musculus pectoralis minor, einschließlich der interpektoralen Lymphknoten;

**Level 3:** obere Axilla, Lymphknoten medial des medialen Randes des Musculus pectoralis minor, einschließlich infraklavikulärer Lymphknoten.

### 1.3.8 Typische mammographische Darstellung der Lymphknoten

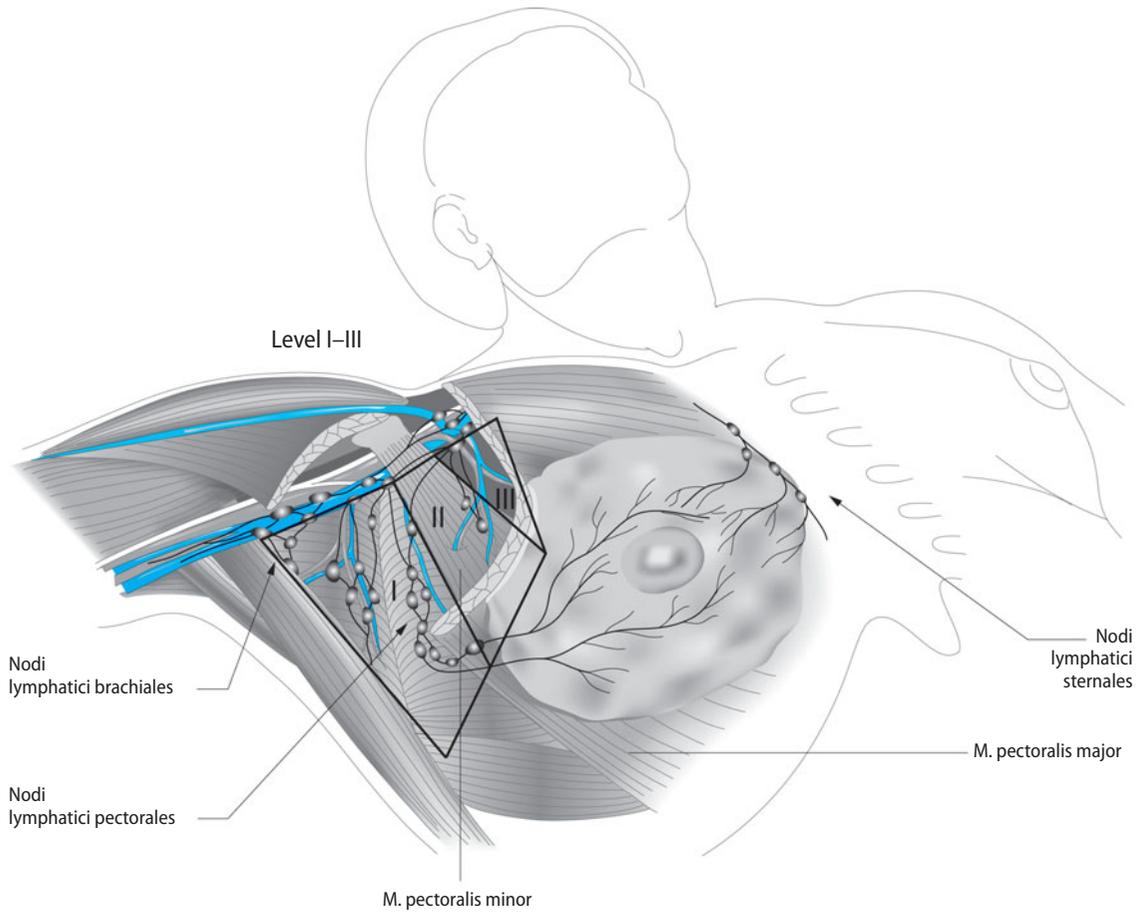
Mammographisch zeigen sich axilläre Lymphknoten als **iso-bis hyperdense Strukturen**, die besonders gut in axillärer oder obliquier Aufnahmetechnik abgebildet werden können (▣ Abb. 1.13 und ▣ Abb. 1.14). Abhängig von ihrer Projektion erscheinen sie dabei ovalär bis rundlich. Hinsichtlich der Größe sind die Befunde sehr variabel, zwischen wenigen Millimetern bis mehreren Zentimetern im maximalen Durchmesser. Wird der Lymphknoten transversal im Strahlengang erfasst, lässt sich ein vermehrt fetthaltiger Lymphknotenhilus typischerweise als zentrale Struktur mit verminderter Dichte abbilden. Bei longitudinalem Anschnitt ist der Hilus eines normalen Lymphknotens häufig als kleine, mittelständige Einziehung abzugrenzen.

Die normale **fettige Involution** der Lymphknoten nimmt vom Hilusbereich ihren Ausgang. Mammographisch weisen diese Lymphknoten eine zunehmende Transparenz bei gleichzeitiger Vergrößerung auf. Residuales Rindengewebe imponiert lediglich als mehr oder weniger feiner, hyperdenser Saum.

- **Lymphknotenmetastasen zeigen demgegenüber eine deutliche Zunahme der mammographischen Lymphknotendichte. Dabei sind die homogen hyperdensen Lymphknoten häufig vergrößert (> 1 cm) und von überwiegend rundlicher Form. Jedoch können auch bei mammographisch unauffällig erscheinenden Lymphknoten metastatische Veränderungen, insbesondere Mikrometastasen, nicht ausgeschlossen werden.**

### 1.3.9 Typische sonographische Darstellung der axillären Lymphknoten

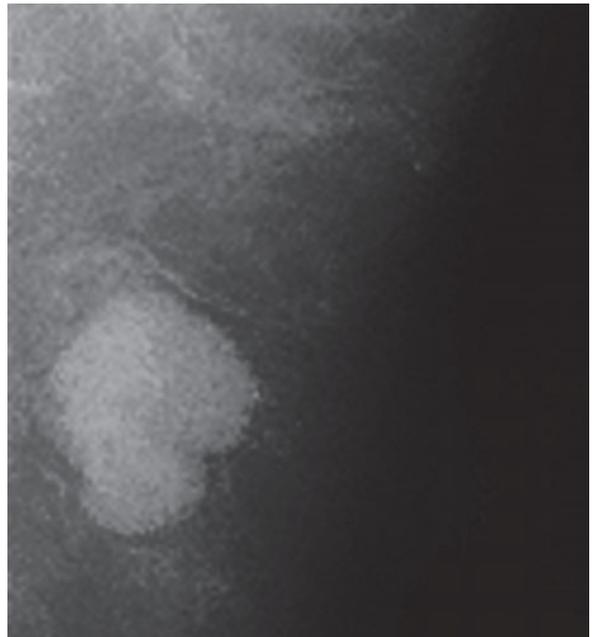
Typische Lymphknoten (▣ Abb. 1.15) zeigen sich sonographisch ovalär mit **hyperreflektivem Zentrum**, der Markregion, und **hyporeflektivem Saum**, der Rinde. Als unauffällig einzustufende Lymphknoten sind überwiegend nicht größer als 1 cm im maximalen Durchmesser und entspre-



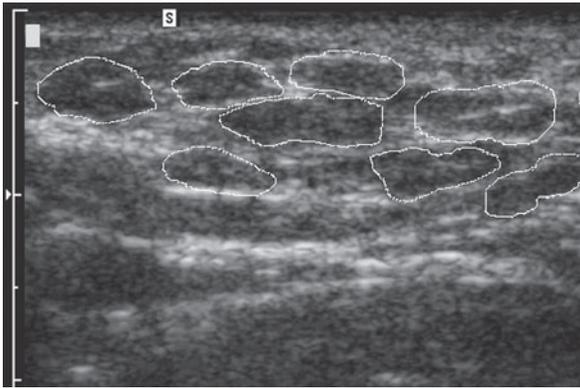
■ Abb. 1.12 Skizze der Lymphknotenlevel



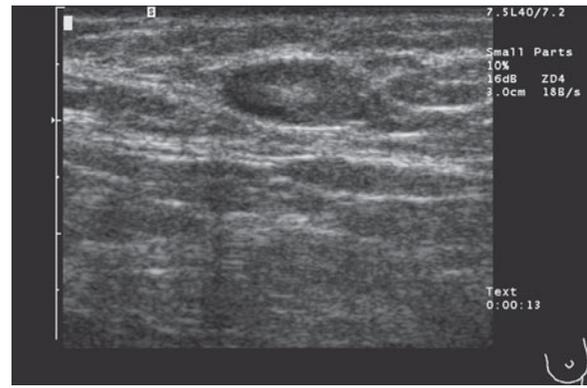
■ Abb. 1.13 Mammographie verfetteter axillärer Lymphknoten (Ausschnitt der rechten Axilla)



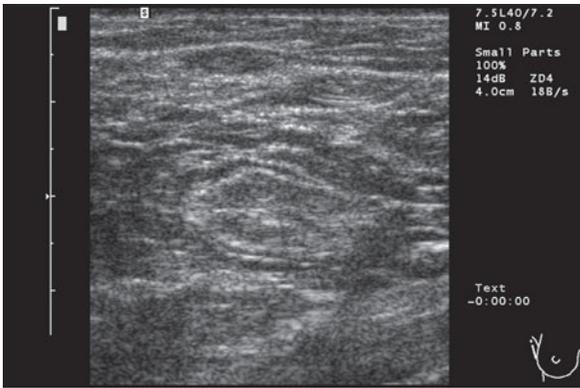
■ Abb. 1.14 Mammographie axillärer Lymphknoten: metastatisch veränderte Lymphknoten (Ausschnitt)



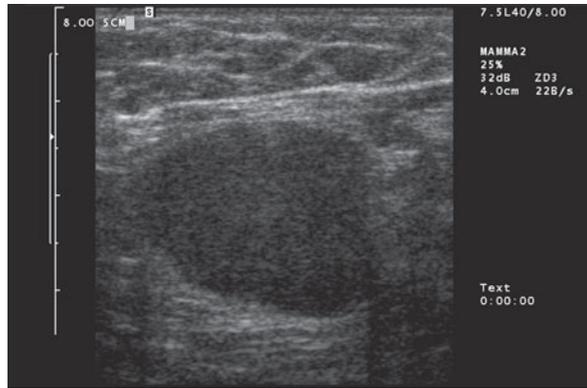
▣ **Abb. 1.15** Sonographisch typische, unauffällige axilläre Lymphknoten



▣ **Abb. 1.16** Sonographie eines reaktiven axillären Lymphknotens



▣ **Abb. 1.17** Sonographie verfetteter axillärer Lymphknoten



▣ **Abb. 1.18** Sonographie einer axillären Lymphknotenmetastase

chend in der fett- und bindegewebereichen Axilla eher schwierig abzugrenzen. Unter Zuhilfenahme des Farbdopplers lässt sich der gefäßführende Lymphknotenstiel häufig gut darstellen.

Sogenannte **reaktive Lymphknoten** (▣ Abb. 1.16) zeichnen sich durch eine relative Größenzunahme auf einen unspezifischen Reiz aus. Die typische Architektur des Lymphknotens bleibt dabei auch sonographisch gut sichtbar erhalten. Mögliche unspezifische Reize können systemische Erkrankungen sein, wie z. B. generalisierte Virusinfekte, oder regionär begrenzte Veränderungen, z. B. im Rahmen einer Mastitis, oder Schwangerschaft und Laktation.

Unabhängig von der Körperfettmasse neigen Lymphknoten altersabhängig zur **fettigen Degeneration** (▣ Abb. 1.17). Sonographisch zeigt sich dies durch Zunahme echoreicher Strukturen in der Rindenregion.

Stärker **metastatisch befallene Lymphknoten** (▣ Abb. 1.18) werden häufig durch Größenzunahme bei gleichzeitiger Aufhebung der typischen Architektur auffällig. Sie imponieren dann als eher rundliche, homogene hyporeflektive Läsionen mit einem Durchmesser von >1 cm.

## 1.4 Hormonelle Beeinflussung der Brustdrüse

Wachstum und Funktion des weiblichen Brustdrüsengewebes werden durch eine komplexe Interaktion von endokrinen, autokrinen und parakrinen Faktoren reguliert. Hierzu zählen Steroidhormone, Peptidhormone, Wachstumsfaktoren usw. Von besonderer Bedeutung sind dabei die agonistischen und antagonistischen Effekte von Östrogenen und Progestagenen. Die in der Follikelphase dominierende Östrogensekretion scheint die mitotische Aktivität des Brustdrüsenepithels im Gegensatz zum Endometrium nicht wesentlich zu steigern. Tatsächlich ist der Mitoseindex in der ersten Zyklushälfte vergleichsweise niedrig und steigt erst postovulatorisch unter dem begleitenden Einfluss lutealer Gestagene stärker an.

- **Zusätzlich zur gesteigerten Epithelproliferation beeinflussen vermehrter Blutfluss, interstitielles Ödem und sekretorische Aktivitäten die Dichte des Brustdrüsengewebes.**

Die Fähigkeit, auf **Hormonstimuli** mit Differenzierung und Wachstum adäquat zu reagieren, erlangt die fetale Brustdrüse bereits im ersten Schwangerschaftstrimester. Aufgrund der Wirkungen mütterlicher und kindlicher Steroidhormone finden sich bei  $\frac{2}{3}$  termingeborener Säuglinge – Jungen ebenso wie Mädchen – vorübergehende Brustdrüsenanschwellungen, teilweise auch begleitet von milchigen Sekretionen.

Parallel zur pubertären Sexualsteroidhormonproduktion setzen Proliferation und Differenzierung des Drüsengewebes in Form der **Thelarche** ein. In der Geschlechtsreife besteht die **adulte Mamma** überwiegend aus lobulärem, ausgereiftem Drüsengewebe bei geringem Fettanteil. In der **Schwangerschaft** erfolgt ein weiterer Ersatz von Binde- und Fettgewebe durch Drüsenepithelien im Sinne einer lobulären Hyperplasie. Gegen Ende der Schwangerschaft und in der **Stillzeit** dominieren Hypervaskularisation und Ödemneigung bei alveolärer Laktogenese und aufgeweiteten Duktuli unter dem Einfluss der physiologisch gesteigerten Prolaktinsekretion. Mit Wegfall der Sexualsteroidwirkung während der **Menopause** beginnt eine zunehmende Involution des Drüsengewebes, bis im **Senium** nahezu der gesamte Drüsenkörper durch Fettgewebe und geringe Mengen Bindegewebes ersetzt ist.

Auch eine **exogene Hormonzufuhr** kann die Dichte des Brustdrüsengewebes beeinflussen. Die physiologische Altersinvolution kann entsprechend durch eine Hormonersatzbehandlung aufgehalten oder sogar vollständig umgekehrt werden.

#### ■ Konsequenzen für die bildgebende Diagnostik

Die bildgebende Diagnostik der Brust reflektiert zwangsläufig auch die Dichte des Brustdrüsengewebes. Die Paren-

chymdichte beeinflusst wiederum relevant die Detektionsrate von Läsionen.

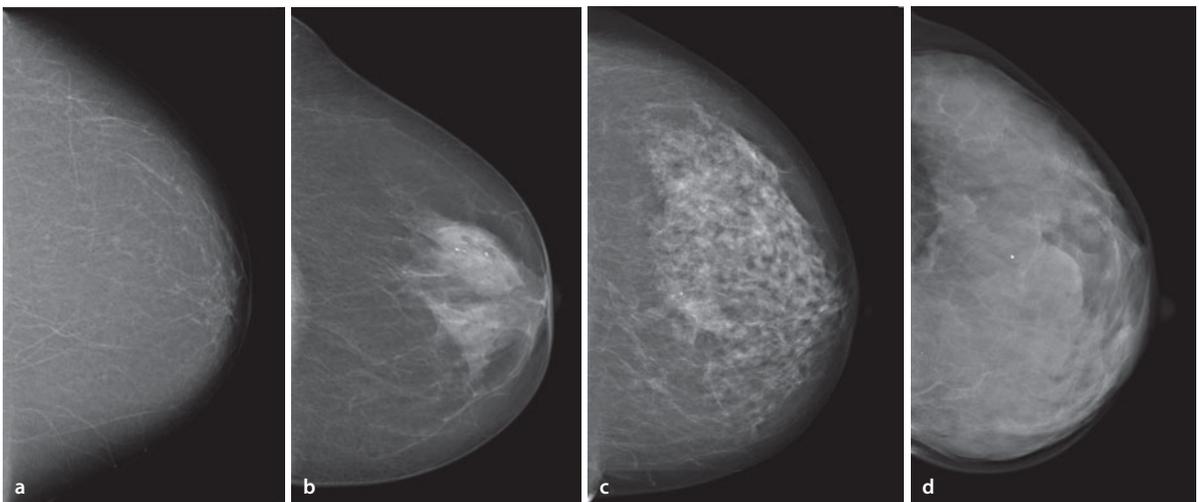
#### ■ Einfluss der Drüsenkörperdichte auf die Mammographie

**Proliferierendes Drüsengewebe** ist mammographisch mit einem dichten Parenchymmuster verbunden, während **Involution** und zunehmender Ersatz des Drüsengewebes durch Fettgewebe mammographisch zu verstärkter Transparenz führen (■ Abb. 1.19).

Modelle zur systematischen **Klassifizierung der mammographischen Drüsengewebedichte** in 4 weitgehend analoge Gruppen wurden von Wolfe (1967) und dem American College of Radiology (D'Orsi et al. 2013) vorgeschlagen. In der Gruppe mit mammographisch dichtem Brustdrüsengewebe (Wolfe P2/DY; BI-RADS Typen 3, 4 = »high risk group«) ist das Erkennen von Läsionen deutlich schwieriger als in der Gruppe mit mehr oder weniger transparentem Gewebe (Wolfe P1/N; BI-RADS Typen 1, 2 = »low risk group«).

Dichteres Drüsengewebe ist möglicherweise sogar mit einem höheren Risiko der Karzinomentstehung verbunden (Boyd et al. 1995; Sala et al. 2000).

**Einfluss des Zyklus auf die Mammographie:** Während der Geschlechtsreife zeigen sich Veränderungen des Drüsenparenchyms in Abhängigkeit von der Zyklusphase. Wie von Baines (Baines et al. 1997) gezeigt werden konnte, ist das Risiko falsch-negativer Befunde bei Mammographien in der Lutealphase infolge der verstärkten Dichte des Drüsengewebes erhöht. Im Rahmen der Früherkennung sollten Mammographien während der Geschlechtsreife daher nur in der ersten Hälfte des Zyklus, der Follikelphase, durchgeführt werden.



■ **Abb. 1.19a–d** Unterschiedliche Klassen mammographischer Dichte nach BI-RADS bzw. Wolfe; **a** BI-RADS vormalis Typ 1 (4. Aufl.) aktuell Typ a (5. Aufl.), Wolfe N0; **b** BI-RADS vormalis Typ 2 (4. Aufl.) aktuell Typ b (5. Aufl.), Wolfe N1; **c** BI-RADS vormalis Typ 3 (4. Aufl.) aktuell Typ c (5. Aufl.), Wolfe N2; **d** BI-RADS vormalis Typ 4 (4. Aufl.) aktuell Typ d (5. Aufl.), Wolfe DY