



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Digitale Mammographie in der kurativen Anwendung und im Screening

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 197. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Dezember 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Anforderungen.....	3
3	Technik (Vergleich: analog – digital)	4
4	Kurative Mammographie	6
5	Mammographie-Screening.....	6
6	Zusammenfassung	8
7	Literaturverzeichnis.....	8

1 Einleitung

Während die digitale Radiographie im Bereich der Thorax-, Abdomen- und Skelettdiagnostik seit mehr als 15 Jahren breite klinische Anwendung findet [1], stehen digitale Mammographiesysteme erst seit ca. vier Jahren in der Routineanwendung zur Verfügung. Der Grund hierfür liegt in den speziellen Anforderungen an die Bildqualität in der Mammographie, die sich nicht ohne weiteres durch digitale Verfahren erfüllen lassen [2-9].

Vor dem Hintergrund, dass zur Zeit in Deutschland ein flächendeckendes Programm zur Früherkennung von Brustkrebs (Mammographie-Screening) aufgebaut wird, stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen die digitale Mammographie in das Brustkrebsfrüherkennungsprogramm in Deutschland eingeführt und damit der schnell fortschreitenden Entwicklung neuer Technologien auch im Screening angemessen Rechnung getragen werden kann.

2 Anforderungen

Für jede medizinische Diagnostik müssen hohe Qualitätsstandards gefordert werden, um das Vorliegen einer pathologischen Veränderung mit größtmöglicher Sicherheit zu erkennen bzw. auszuschließen. Bei der Anwendung von Röntgenstrahlung sollten diese Ziele darüber hinaus mit einer möglichst geringen Strahlenexposition erreicht werden.

Beim Einsatz der Röntgen-Mammographie zur Früherkennung von bösartigen Veränderungen der Brust kommt den genannten Qualitätsanforderungen ein besonders hoher Stellenwert zu. Damit diese Anforderungen erfüllt werden können, sind hohe Ansprüche an die Bildqualität – bei möglichst geringer Dosis – zu stellen.

Insbesondere ist eine hohe Detailerkennung im Niedrigkontrastbereich von großer Bedeutung. So müssen dezente Architekturstörungen im Brustdrüsenparenchym – wie feinste Spiculae oder Konturunregelmäßigkeiten mit niedrigem Weichteilkontrast – ebenso erkennbar sein wie Mikroverkalkungen, wobei hier sowohl die Form der einzelnen Verkalkungen als auch ihr Verteilungsmuster wichtig für die Differenzierung von gut- und bösartigen Veränderungen ist. Die Befundung wird erschwert durch die individuell unterschiedliche Dichte des Brustdrüsenparenchyms sowie die vielfältigen Erscheinungsformen, die Tumore mit unterschiedlicher Histologie aufweisen können.

Neben der räumlichen Auflösung hat das Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis einen großen Einfluss auf die Detailerkennung. Erst mit einem ausreichenden Kontrast können kleine Details im Mammogramm wahrgenommen werden. Andererseits kann aber ein „ungewohnt“ hoher Kontrast die Wahrnehmung des Befunders auf kontrastreiche, aber harmlose Strukturen lenken, während er pathologische Strukturen ggf. übersieht. In wie weit dieses Phänomen die Befundung negativ beeinflussen kann, ist derzeit noch nicht ausreichend bekannt [10].

Wichtig sind derartige Phänomene bei der Einführung der digitalen Mammographie insbesondere im Screening. Im Vergleich zur analogen Mammographie, für deren Einsatz im Screening langjährige Erfahrungen aus anderen Ländern und Pilotprojekten vorliegen, weist die digitale Mammographie typischerweise einen höheren Weichteilkontrast auf. Erste Ergebnisse aus großen klinischen Studien [11] deuten darauf hin, dass der daraus resultierende veränderte Bildeindruck bei der digitalen Mammographie Einfluss auf das Befundungsverhalten hat. Bei der Integration der digitalen Mammographie in das Screening ist es deswegen not-

wendig, die befundenden Ärzte auf diesen neuen Bildeindruck vorzubereiten. Diese Anpassung des Entscheidungsverhaltens des Befunders muss frühzeitig erfolgen, damit es nicht zu einem unkontrollierten Anstieg der Recall-Rate bzw. der Rate der falsch-positiven Befunde im Screeningprogramm kommt.

3 Technik (Vergleich: analog – digital)

Zu den Vorteilen der konventionellen Film-Folien-Mammographie zählen neben der kostengünstigen Technik eine hohe Ortsauflösung im Hochkontrastbereich (bis 20 Lp/mm), eine einfache Präsentationsmöglichkeit an Schaukästen sowie eine weite Verbreitung und langjährige Erfahrung. Als Nachteil ist, neben dem kleineren Dynamikbereich und einer geringeren Niedrigkontrastauflösung, die relativ geringe effektive Quantenausnutzung (DQE) des Abbildungssystems anzusehen. Die Film-Folien-Mammographie ist in Deutschland, Europa und weltweit soweit standardisiert, dass sie derzeit als einziges Verfahren im Brustkrebs-Screening breite Anwendung findet [12, 13]. Demgegenüber werden digitale Verfahren derzeit im Wesentlichen in zum Teil sehr großen klinischen Studien (Oslo II- Studie, DMIST-Studie) eingesetzt.

Einen Überblick über z. Zt. eingesetzte digitale Systeme zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Digitale Mammographie-Systeme (Auswahl ohne Anspruch auf Vollständigkeit, Stand 4/2004)

	Senographie 2000D	SenoScan	Giotto / NUANCE	Selenia Novation DM 1000	MDM	FCR 5000MA	Embrace CR75/25
Hersteller	GE Medical Systems	Fischer Imaging (ab Nov. 2004: Philips)	IMS/Analogic; Planmed	Hologic/ Lorad; Hologic/ Siemens; AGFA/Lorad	Sectra	Fuji, Vertrieb auch durch Siemens und Philips unter eigenem Label	AGFA
Detektor- material	Szintillator CsI:TI	Szintillator CsI:TI	Halbleiter aSe	Halbleiter aSe	Halbleiter Si	Speicherfolie	Speicherfolie
Signal- erzeugung	aSi	4 CCDs (Schlitz- detektor)	direkt im Detektor	direkt im Detektor	direkt im Detektor; Photonen- zähler		
Pixelgröße	100 µm	50 µm	85 µm	70 µm	50 µm	50 µm (Laserdurch- messer)	50 µm (Laserdurch- messer)
Orts- auflösung: Nyquist- frequenz Lp/mm	5 Lp/mm	10 Lp/mm	5,9 Lp/mm	7,1 Lp/mm	10 Lp/mm	10 Lp/mm	10 Lp/mm
Detektor- größe	19 x 23 cm	21 x 29 cm (Scansystem)	24 x 30 cm oder 18 x 24 cm	24 x 29 cm	24 x 26 cm (Scansystem)	18 x 24 cm 24 x 30 cm	18 x 24 cm 24 x 30 cm
DQE [%] (bei 0 Lp/mm)	42	50	65	65	80	45	Keine Angabe
Speichertiefe	14 Bit	12 Bit	12 Bit	12 Bit 14 Bit		12 Bit intern 10 Bit extern	12 Bit
FDA Zulassung	Januar 2000	September 2001	nein	Oktober 2002	nein	Dezember 2003	nein

Bei der Betrachtung der Vor- und Nachteile von digitaler und Film-Folien-Mammographie ergeben sich größtenteils ähnliche Aspekte wie bei der digitalen Radiographie [1]. Alle digitalen Systeme weisen einen erheblich größeren Dynamikumfang von mehreren Zehnerpotenzen auf, der Fehlbelichtungen fast vollständig ausschließt. Weitere Vorteile sind eine bessere Weichteildifferenzierung, digitale Nachverarbeitung, digitale Kommunikation und Archivierung sowie in Zukunft die Möglichkeit einer semi- oder vollautomatischen Bildanalyse, z. B. in Bezug auf Mikrokalk. In der analogen Mammographie wird als Qualitätsmaß die mit einem Bleistrichraster gemessene Ortsauflösung verwendet. Die so ermittelte Ortsauflösung lag bei den ersten digitalen Systemen bei ca. 5 Lp/mm und damit um mehr als den Faktor 2 unterhalb der von Film-Foliensystemen. Mehrere Studien haben jedoch gezeigt, dass, wie bei der digitalen Radiographie, die geringere Ortsauflösung die diagnostische Aussagekraft klinischer Aufnahmen nicht beeinflusst, so dass insgesamt eher ein Vorteil in der digitalen Mammographie gesehen wird [14-20]. Zur Qualitätsbeurteilung digitaler Systeme haben sich daher inzwischen Detail-Kontrast-Phantome durchgesetzt (z. B. CDMAM-Phantom). Die Hochkontrastauflösung der ersten digitalen Systeme auf CsI-aSi-Basis liegt bei ca. 5 Lp/mm, die der Speicherfoliensysteme bei ca. 7-10 Lp/mm und die der modernen CCD- und Selen-Systeme über 7 bis 10 Lp/mm [21-26]. Die ersten digitalen Systeme waren durch ihre Detektordimen-

sionen auf ca. 18 cm x 24 cm begrenzt, so dass sich bei großen Mammæ im Unterschied zu Film-Foliensystemen, der Speicherfolientechnik und neueren digitalen Detektoren öfter die Notwendigkeit von Mehrfachaufnahmen ergab. Wie in Tabelle 1 gezeigt, sind bei heute verfügbaren digitalen Systemen Mehrfachaufnahmen nicht mehr erforderlich, da es Detektoren bis zu einer Größe von 24 x 30 cm gibt.

In Deutschland ist für Film-Foliensysteme in der DIN V 6868-152 eine Ortsauflösung von 10 Lp/mm bei einer Nenndosis am Bildempfänger von $K_N \leq 100 \mu\text{Gy}$ gefordert. Diese Angaben werden mit Film-Foliensystemen der Empfindlichkeitsklasse 25 erreicht, wobei die Nenndosis K_N meist bei 40 μGy liegt. Für digitale Systeme sind nach der Sachverständigen-Richtlinie, Anlage 1, mindestens 5 Lp/mm bei $K_B \leq 75 \mu\text{Gy}$ bzw. 8 Lp/mm bei $K_B \leq 100 \mu\text{Gy}$ gefordert. Mit diesem zweistufigen Konzept wird den ersten digitalen Mammographiesystemen mit ihrer geringeren Ortsauflösung Rechnung getragen. Diese Richtlinie sollte an den Stand der Technik angepasst werden.

In einer Public Available Specification (PAS) [27], die von einer Arbeitsgruppe des DIN/NAR erarbeitet wurde, werden Anforderungen und Prüfverfahren für digitale Röntgeneinrichtungen in der Mammographie beschrieben. Die PAS repräsentiert den gegenwärtigen Stand der technischen Qualitätssicherung in der digitalen Mammographie in Deutschland. Wegen der raschen Entwicklung und der gegenwärtig in Bearbeitung befindlichen internationalen Normungsprojekte können diese Regeln noch nicht als Norm herausgegeben werden, andererseits aber werden sie dringend für den Einsatz digitaler Mammographieeinrichtungen im deutschen Mammographiescreening benötigt.

Das beschriebene Qualitätsniveau der PAS entspricht dem Qualitätsniveau des „Addendum on Digital Mammography (ADM)“ des „European Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Mammography Screening (EPQC)“.

4 Kurative Mammographie

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Studien zum direkten Vergleich von konventioneller Film-Folien-Mammographie und digitaler Mammographie durchgeführt [14-26]. Wegen der besseren Niedrigkontrastauflösung deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die digitale Mammographie als Ersatz der Film-Folien-Mammographie angesehen werden kann. Nach bisheriger Studienlage ist bereits mit den damals verfügbaren Speicherfoliensystemen eine im Vergleich zu Film-Foliensystemen ähnliche Dosis verbunden. Die neu eingeführten digitalen Festkörperdetektoren ermöglichen theoretisch eine Dosisreduktion ohne Verlust an Bildqualität.

5 Mammographie-Screening

Im Mammographie-Screening werden Frauen zwischen 50 und 70 Jahren, die keine Anzeichen für eine Erkrankung der Brust aufweisen, in großer Zahl untersucht. Im Gegensatz zur kurativen Mammographie wird im Screening eine Röntgen-Mammographie durchgeführt, ohne dass individuell für die einzelne Frau eine rechtfertigende Indikation gestellt wird. Die Entscheidung, ob eine Abklärungsdiagnostik eingeleitet wird, hängt dabei allein vom Befund der Röntgen-Mammographie ab. Dabei wird jede Röntgenaufnahme in der Regel von zwei Ärzten, im Zweifelsfall zusätzlich von einem dritten Arzt befundet. Deswegen muss beim Screening eine in hohem Maße standardisierte und höchsten Qualitätsanforderungen gerecht

werdende Technik gefordert werden, die optimal in die komplexen Strukturen des Mammographie-Screeningprogramms (Doppelbefundung, Qualitätssicherung, Evaluation etc.) integriert ist [12, 13, 28].

Die digitale Mammographie kommt im Screening flächendeckend noch nicht zur Anwendung. Nur in den Niederlanden und in Schweden arbeiten je ein Zentrum im Screening ausschließlich mit digitalen Röntgeneinrichtungen. In verschiedenen Ländern Europas und in Nordamerika laufen Pilotstudien, in denen zum Einen die klinische Wertigkeit der digitalen Mammographie im Vergleich zur analogen Mammographie – insbesondere in Hinsicht auf Detektions- und Recall-Rate – evaluiert wird [11, 29-31] und zum Anderen Verfahren für eine optimale Integration der digitalen Mammographie in die jeweiligen nationalen Screeningprogramme (u. a. Workflow) erarbeitet werden [z. B. die EU-Projekte SCREEN (2001-2002) und SCREEN-TRIAL (2003-2004)].

Erste Ergebnisse an größeren Kollektiven liegen von der Oslo II - Studie [11] vor. Die Ergebnisse deuten an, dass die Detektionsrate digitaler Systeme zumindest vergleichbar mit der analoger Systeme ist. Problematisch ist jedoch die signifikant erhöhte Recall-Rate. Dies lässt darauf schließen, dass zumindest für diese Studie das optimale Entscheidungsverhalten zwischen Detektions- und Recall-Rate noch nicht gefunden wurde. Weitere Ergebnisse aus Studien an größeren Kollektiven sind von Pisano et al. [30, 31] voraussichtlich bis Mitte 2005 zu erwarten. Frau Pisano leitet sowohl die vom US-Department of Defence (DoD) geförderte als auch die von der International Digital Mammography Development Group (IDMDG) durchgeführten Studien mit insgesamt 49.000 Frauen. In der Studie werden die Systeme der Firmen Lorad, Fisher und GE verwendet. Bei allen Frauen werden sowohl eine digitale Vollfeld-Mammographie als auch eine konventionelle Film-Folien-Mammographie durchgeführt und unabhängig voneinander ausgewertet. Das Follow-up beträgt mindestens 18 Monate.

Unabhängig von der abschließenden wissenschaftlichen Bewertung ist die zeitnahe Integration der digitalen Mammographie in das in Deutschland beschlossene Mammographie-Screeningprogramm nur vertretbar, wenn dies im Rahmen einer strukturierten Einführung geschieht, um einerseits einen optimalen Arbeitsablauf sicher zu stellen und andererseits das Entscheidungsverhalten bei der Befundung so zu optimieren, dass das im Screening mit analoger Technik bekannte Verhältnis von Detektions-Rate und Recall-Rate bzw. Rate der falsch-positiven Befunde mindestens erhalten bleibt. Ziel der strukturierten Einführung muss es sein, die hohen Qualitätsstandards des beschlossenen Screeningprogramms auch bei einem flächendeckenden Einsatz der digitalen Mammographie ohne Einbußen sicher zu stellen.

Als Orientierungshilfe hat das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) diesbezüglich ein dreistufiges Konzept entwickelt, das sich eng an die Strukturen und Inhalte des beschlossenen Screeningprogramms anlehnt und soweit wie möglich die zeitlichen Vorgaben bei der derzeit laufenden Implementierung der Screening-Einheiten und Referenzzentren berücksichtigt. Im Einzelnen werden die folgenden Phasen vorgeschlagen:

- Phase I:
- Implementierung eines „digitalen“ Referenzzentrums,
 - Überarbeitung der Protokolle, die – analog dem beschlossenen Screeningprogramm – für den Einsatz der digitalen Mammographie im Screening von Bedeutung sind.

Phase II: • Durchführung der Trainings- und Fortbildungskurse für die programmverantwortlichen Ärzte, Befunder und radiologischen Fachkräfte im „digitalen“ Referenzzentrum – analog dem beschlossenen Screeningprogramm.

Phase III: • Erprobung des Einsatzes der digitalen Mammographie im Screening,
• Evaluation von Screening-Einheiten und Referenzzentrum,
• Festlegung des weiteren Prozederes.

Eine wichtige Voraussetzung für eine strukturierte Einführung der digitalen Mammographie in das Screeningprogramm in Deutschland ist – neben der frühzeitigen Implementierung eines „digitalen“ Referenzzentrums durch die zuständigen Stellen des Screeningprogramms – die Sicherstellung einer gesonderten Evaluation der „digitalen“ Screening-Einheiten sowie des „digitalen“ Referenzzentrums. Nur dadurch kann die Evaluation des digitalen Screenings gemäß den Leistungsindikatoren der Europäischen Leitlinien sowie der Vergleich mit dem analogen Screening gewährleistet werden. Dazu ist es erforderlich, dass nur homogene „digitale“ Screening-Einheiten, d. h. Screening-Einheiten, die vollständig digital arbeiten, an der strukturierten Einführungsphase teilnehmen dürfen. Entsprechendes ist für das Referenzzentrum zu fordern.

6 Zusammenfassung

Die Strahlenschutzkommission befürwortet den Einsatz der digitalen Mammographie in der kurativen Diagnostik, wobei ihr Einsatz im Vergleich zur Film-Folien-Mammographie nicht mit einer höheren Patientenexposition verbunden sein darf. Insbesondere neuere Entwicklungen bei den Festkörperdetektoren besitzen das Potenzial einer Dosisreduktion bei Wahrung der diagnostisch notwendigen Bildqualität.

Vor dem flächendeckenden Einsatz der digitalen Mammographie im Screening empfiehlt die Strahlenschutzkommission die Durchführung einer strukturierten Einführungsphase, in der die Voraussetzungen für die optimale Integration der digitalen Mammographie in das Mammographie-Screeningprogramm in Deutschland erarbeitet werden. Voraussetzungen und Randbedingungen werden im BfS-Konzept zur Integration der digitalen Mammographie in das Screeningprogramm in Deutschland vorgeschlagen.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Strahlenschutzkommission:
Anwendung der digitalen Radiographie und Fluoroskopie in der Medizin.
Stellungnahme der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 190. Sitzung am 22./23. April 2004
- [2] Bick, U.:
Digitale Vollfeldmammographie. RöFo 2000; 173: 957 - 964
- [3] Hermann, K. P., Funke, M., Grabbe, E.:
Physikalisch-technische Aspekte der digitalen Mammographie. Radiologe 2002; 42: 256 - 260

- [4] Säbel, M., Aichinger, U., Schulz-Wendtland, R., Bautz, W. :
Digitale Vollfeld-Mammographie: Physikalische Grundlagen und klinische Aspekte.
Röntgenpraxis 1999; 52: 171 - 177
- [5] Feig, S. A., Yaffe, M. J.:
Digital Mammography. Radio Graphics 1998; 18: 893 - 901
- [6] Nishikawa, R. M., Mawdsley, G. E., Fenster, A., Yaffe, M. J.:
Scanned projection digital mammography. Med Phys 1987; 14: 717 - 727
- [7] Busch, H. P.:
Digitale Projektionsradiographie. Technische Grundlagen, Abbildungseigenschaften
und Anwendungsmöglichkeiten. Radiologe 1999; 39: 710 - 724
- [8] Neitzel, U.:
Systeme für die digitale Bildgebung. In: Ewen, K. (Hrsg.): Moderne Bildgebung.
Thieme, Stuttgart, S 127 - 136
- [9] Schulz, R. F.:
Digitale Vollfeld-Mammographie: Physikalische Grundlagen und klinische Aspekte.
Fortschr Röntgenstr 2001; 173: 1137 - 1146
- [10] Heywang-Köbrunner, S.H.:
Mammographie – State-of-the-Art aus radiologischer Sicht, Vortragsmanuskript, Haus
der Technik, Essen, 15. September 2004
- [11] Skaane, P., Skjennald, A.:
Screen-film mammography versus full-field digital mammography with soft-copy
reading: randomized trial in a population-based screening program--the Oslo II Study.
Radiology 2004; 232(1): 197-204
- [12] Schrerer, I.:
Auswertung der bisherigen Mammographie-Screening-Studien in Europa und in
Nordamerika. Radiologe 2001; 41: 344 - 351
- [13] European Commission:
European guidelines for quality assurance in mammography screening, 3 rd. ed. Office
for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 2001
- [14] Obenauer, S., Hermann, K. P., Schorn, C., Funke, M., Fischer, U., Grabbe, E.:
Digitale Vollfeldmammographie: Phantomstudie zur Detektion von Mikrokalk.
RöFo 2000; 172: 646 - 650
- [15] Obenauer, S., Hermann, K. P., Schorn, C., Fischer, U., Grabbe, E.:
Digitale Vollfeldmammographie: Dosisabhängige Detektion von simulierten Herd-
befunden und Mikrokalzifikationen. RöFo 2000; 172: 1052 - 1056
- [16] Fischer, U., Baum, F., Obenauer, S., Luftner-Nagel, S., Von Heyden, D., Vosschenrich,
R., Grabbe, E.:
Comparative study in patients with microcalcifications: full-field digital mammography
vs. screen-film mammography. Eur Radiol 2002; 12: 2679 - 2683

- [17] Grebe, S., Dieckmann, F., Bick, U., Paepke, S., Winzer, K. J., Hamm, B.: Initial clinical experiences with digital full-field mammography. *Zentralbl Gynäkol* 2000; 122, 589 - 594
- [18] Venta, L. A., Hendrick, R. E., Adler, Y. T., De Leon, P., Mengoni, P. M., Scharl, A. M., Comstock, C. E., Hansen, L., Kay, N., Coveler, A., Cutter, G.: Rates and causes of disagreement in interpretation of full-field digital mammography and film-screen mammography in a diagnostic setting. *AJR* 2001; 176: 1241 - 1248
- [19] Lewin, J. M., Hendrick, R. E., D' Orsi, C. J., Isaacs, P. K., Moss, L. J., Karellas, A., Sisney, G. A., Kuni, C. C., Cutter, G. R.: Comparison of full-field digital mammography with screen-film mammography for cancer detection: results of 4.945 paired examinations. *Radiology* 2001; 218: 873 - 880
- [20] Lewin, J. M., D' Orsi, C. J., Hendrick, R. E., Moss, L. J., Isaacs, P. K., Karellas, A., Cutter, G. R.: Clinical comparison of full-field digital mammography and screen-film mammography for detection of breast cancer. *AJR* 2002; 179(3): 671 – 677
- [21] Schulz-Wendtland, R., Aichinger, U., Lell, U., Kuchar, I., Tartsch, M., Bautz, W.: Erfahrungen mit Phantommessungen an verschiedenen Mammographiesystemen. *RöFo* 2002; 174: 1243 – 1246
- [22] Undrill, P. E., O'Kane, A. D., Gillbert, F.J.: A comparison of digital and screen-film mammography using quality control phantoms. *Clin Radiol* 2000; 55: 782 - 790
- [23] Schulz-Wendtland, R., Lell, M., Wenkel, E., Aichinger, U., Imhoff, K., Bautz, W.: Experimental investigations at the new digital mammographic system. *RöFo* 2003; 175: 1564 - 1566
- [24] Schulz-Wendtland, R., Wenkel, E., Schmid, A., Imhoff, K., Bautz, W.: Experimental investigations of image quality in X-ray mammography with a conventional screen film system (SFS) and a new full-field digital mammography unit (DR) with a-Se-detector. *RöFo* 2003; 175: 766 - 768
- [25] Schulz-Wendtland, R., Aichinger, U., Säbel, M., Böhner, C., Dobritz, M., Bautz, W.: Experimentelle Untersuchungen zur Bildgüte konventioneller Film-Folien-Mammographie, digitaler Mammographie mit Speicherfolien in Vergrößerungstechnik und voll digitaler Mammographie in CCD-Technik. *RöFo* 2000; 172: 965 - 968
- [26] Schulz-Wendtland, R., Aichinger, U., Säbel, M., Böhner, C., Dobritz, M., Wenkel, E., Bautz, W.: Experimental investigations of image quality in X-ray mammography with conventional screen film system (SFS), digital phosphor storage plate in / without magnification technique (CR) and digital CCD-technique (CCD). *Röntgenpraxis* 2002; 54: 53 – 55
- [27] DIN/NAR/AA6: Beschlussvorlage für den Arbeitskreis "Bildgebende Systeme" (AA6) des Normenausschusses Radiologie (NAR) zur PAS für digitale Röntgeneinrichtungen in der Mammographie vom 4.10.2004, angenommen am 21./22.10.04 in Brühl

- [28] Änderung der Richtlinien des Bundesausschusses der Ärzte und Krankenkassen über die Früherkennung von Krebserkrankungen („Krebsfrüherkennungs-Richtlinien“) vom 15. Dezember 2003 (BAnz. 2004 S. 2) in Verbindung mit dem Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags-Ärzte (BMV-Ä) und dem Vertrag zur Änderung des Bundesmantelvertrags-Ärzte/Ersatzkassen (EKV) über besondere Versorgungsaufträge im Rahmen des Programms zur Früherkennung von Brustkrebs durch Mammographie-Screening (Beilage zum Deutschen Ärzteblatt, Heft 4 vom 23. Januar 2004, Ausgabe A)
- [29] Skaane, P., Skjennald, A., Gangeskar, L., Pedersen, K.: Population-based Full Field Direct Digital Mammography (FFDDM) Screening: The Oslo Project. Digital Mammography, Toronto 2001
- [30] Pisano, E. D., Cole, E. B., Major, S., Zong, S., Hemminger, B. M., Muller, K. E., Johnston, R. E., Walsh, R., Conant, E., Fajardo, L. L., Feig, S. A., Nishikawa, R. M., Yaffe, M. J., Williams, M. B., Aylward, S. R.: Radiologists' preferences for digital mammographic display. The International Digital Mammography Development Group. Radiology 2000; 216: 820 - 830
- [31] Pisano, E., Yaffe, M., Hemminger, B., Hendrick, R., Niklason, L.: Current Status of Full-Field Digital Mammography. Acad Radiol 2000; 7: 266 - 280