

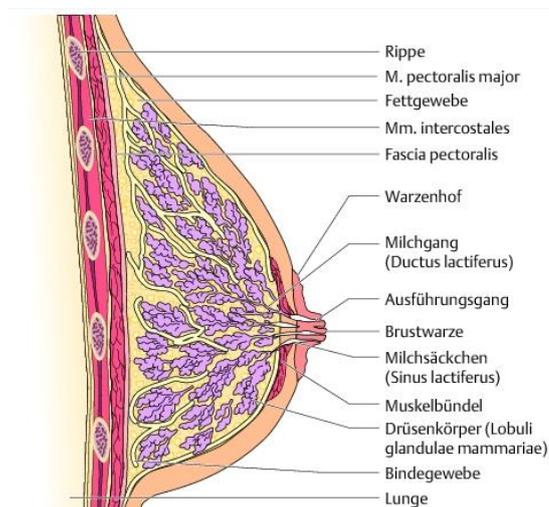
# Mammographie

Das Mammakarzinom ist der häufigste bösartige Tumor der Frau. Der Tumor kann sich durch verschiedenste Symptome bemerkbar machen, in den meisten Fällen ist er jedoch asymptomatisch. Daher kommt der bildgebenden Diagnostik in diesem Fall eine entscheidende Bedeutung zu. Die Standardverfahren sind nach wie vor die Mammografie und Sonografie, wobei beide Verfahren auch zur Biopsie bzw. präoperativen Herdmarkierung eingesetzt werden. Zudem zeichnet sich nach neuesten Erkenntnissen eine wieder zunehmende Bedeutung der MR-Mammografie ab. Die Einstelltechnik in der Mammografie stellt hohe Ansprüche an das Personal, da einstelltechnische Fehler im Gegensatz zu anderen Röntgenuntersuchungen nicht sofort als solche erkannt werden.

## 1. Anatomie der weiblichen Brust

Die weibliche Brust (lat. Mamma) setzt sich zusammen aus:

- Drüsengewebe (Glandula mammaria),
- Stroma (Fett- und Bindegewebe)



Die Brust liegt in Höhe der 3. – 6. Rippe über dem großen Brustmuskel, dem M. pectoralis major, teilweise auch dem M. serratus anterior. Weibliche Brüste haben die unterschiedlichsten Größen und Formen, abhängig von genetischen Faktoren sowie dem Anteil von Binde- und Fettgewebe.

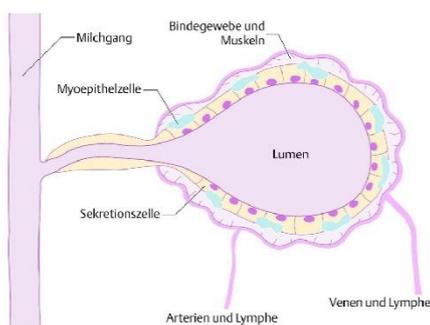
Durch hormonelle Schwankungen während des Menstruationszykluses oder durch Veränderungen des Hormonstatus kann es zu Veränderungen von Form und Größe kommen. Eine Brust weist 10–20 Lobi (Einzeldrüsen) auf, die partiell durch Bindegewebe voneinander separiert werden, in welches Fettgewebe eingelagert ist. Mit 80% machen Fett- und Bindegewebe den mit Abstand größten Teil am Volumen der Brust aus. Straffe Faserbündel (Ligg. suspensoria mammaria) ziehen vom Stroma zur Haut und zur Fascia pectoralis.

Wichtige histologische Bestandteile sind:

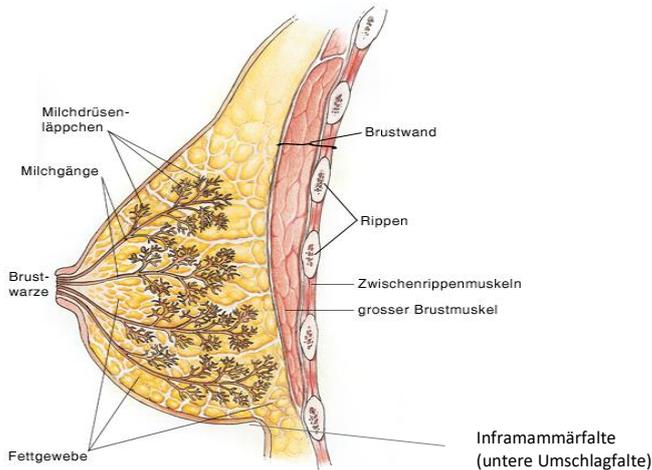
Lobulus glandulae mammariae, Drüsenepithel, Muskelepithelzellen, Ductus terminalis, Ductus lactifer, Terminalductus-Lobulus-Einheit (TDLE), Lobus glandulae mammaria und Ductus lactifer colligens.

Die kleinste Einheit der Brustdrüse ist das sogenannte Drüsenläppchen (Lobulus glandulae mammariae). Dieses Drüsenläppchen ist ein sackförmiges Gebilde, das zum größten Teil aus einem Lumen besteht, in welches die Drüsenzellen ihre Milch sezernieren. Das Lumen ist umgeben von einer Hülle aus Drüsenepithel und Muskelepithelzellen (Myoepithelzellen), die die Milch aus dem Lobulus pressen. Über einen gemeinsamen Ausführungsgang (Ductus terminalis) wird die Milch in einen Sammelgang (Ductus lactifer) weitergeleitet, in den mehrere Lobuli münden. Ein Lobulus und sein Ductus terminalis werden zusammen als Terminalductus- Lobulus-Einheit (TDLE) bezeichnet. Die TDLE ist die histologische und sekretorische Funktionseinheit der Brustdrüse. Eine Kollagenschicht umgibt den Lobulus auf seiner Außenseite. Diese Einheit ist von großer Bedeutung, da sie der Entstehungsort für die meisten Tumoren der Brust ist.

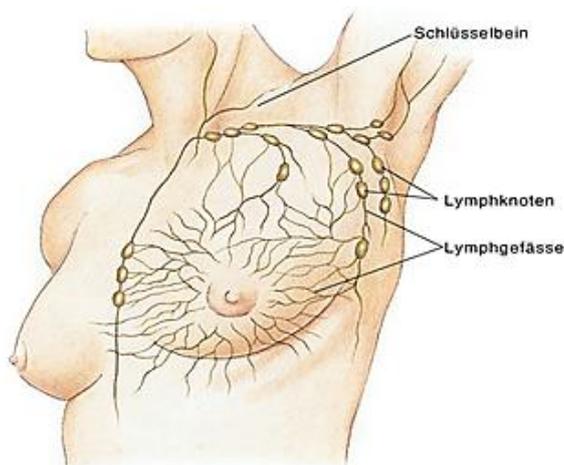
### Histologie des Drüsenläppchens



Mehrere Lobuli ergeben zusammen ein traubenförmiges Gebilde, das als Lobus (Drüsenlappen) bezeichnet wird: Lobus glandulae mammariae. Dieser Lobus ist die nächstgrößere Einheit der Brust. Aus dem Lobus fließt dann die Milch über einen großen Milchgang weiter. Dieser wird als Ductus lactifer colligens bezeichnet. Jeder Ductus lactifer colligens mündet in die Brustwarze. Insgesamt weist die Brust ca. 10–20 Lobi auf, welche sich zusammen mit ihren großen Milchgängen sternförmig um die Brustwarze gruppieren.



Die Brust enthält außerdem Blutgefäße, die von der Achselhöhle und vom Brustbein ausgehen. Weiterhin durchziehen Lymphbahnen die Brust. Diejenigen Lymphknoten, die den größten Teil der Lymphe aus der Brust ableiten, befinden sich unter den Armen in den Achseln. Wegen ihrer Lage werden sie als axilläre Lymphknoten bezeichnet. Sie spielen bei der Krebsausbreitung eine wichtige Rolle. Tumorzellen, die von einem bösartigen Brusttumor stammen, streuen zunächst in diese lokalen Lymphknoten. Danach können sich Krebszellen im ganzen Körper ausbreiten und an anderen Stellen (Knochen, Leber, Lunge, Gehirn) Tochtergeschwülste (Metastasen) bilden.



Über die lymphatischen Abflusswege der Brust können Krebszellen vom Tumor aus in die Lymphknoten wandern und dort zu sogenannten Lymphknoten-Metastasen führen.

## 2. Pathologische Veränderungen der weiblichen Brust

## 2.1 Gutartige Veränderungen

Zu den gutartigen Veränderungen der weiblichen Brust zählen u.a.:

- Mastopathie
- Mastitis
- Zysten
- gutartige Tumoren

### Mastopathie

Bei der Mastopathie handelt es sich um eine gesteigerte Umbaureaktion des Mammaparenchyms. Betroffen ist etwa die Hälfte aller Frauen zwischen dem 35. und 55. Lebensjahr. In den Fällen ohne Hyperplasie (ca. 70%) spricht man von nicht proliferierenden Mastopathien. Diese haben kein erhöhtes Karzinomrisiko. In knapp 1/3 der Fälle kann es zu lobulären und duktalem Hyperplasien des Epithels kommen: proliferierende oder hyperplastische Mastopathien. Letztere haben ein erhöhtes Karzinomrisiko. Dabei sind 2 Formen zu unterscheiden:

- proliferative Mastopathien ohne Zellatypien (ca. 25%) mit gering (1,5- bis 2-fach) erhöhtem Risiko,
- proliferative Mastopathien mit Zellatypien (4–5%) mit 5-fach erhöhtem Risiko.



Abb. 2: Mastopathie.

### Mastitis

Infektion der Mamma, teils interstitielle, teils duktalem Ausbreitung

- Klinik: klassische Trias → Überwärmung, Rötung, Schmerzen
- Puerperale Mastitis (während der Schwangerschaft)
- Nonpuerperale Mastitis (außerhalb der Schwangerschaft).

### Zysten

Eine Zyste ist ein Drüsenläppchen, dessen Ausführungsgang verschlossen ist. Da auch ausserhalb der Schwangerschaft immer ein wenig Flüssigkeit in den Drüsen gebildet wird sammelt sich diese im Läppchen, wenn sie nicht abfließen kann. Häufig sind sie auch im Rahmen mastopathischer Veränderungen zu finden. Bei den Zysten sind folgende Typen zu unterscheiden:

- Einfache Zysten: Einfache Zysten sind gutartige Veränderungen ohne erhöhtes Karzinomrisiko.
- Komplizierte Zysten: Hierbei handelt es sich um eine Gruppe verschiedener Läsionen. Letztlich sind es Zysten, die durch Einblutungen, Entzündungen oder tumoröse Veränderungen in ihrer Umgebung kompliziert werden.

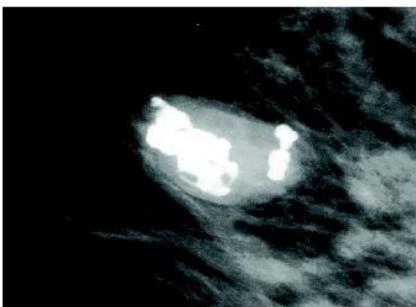
Abb. 3: Zyste mit entzündlicher Wandverdickung.



## Gutartige Tumoren

- Hamartome: sind meist nicht tastbar und werden oft als Zufallsbefund in der Mammografie entdeckt. Für ihre Diagnose ist die Mammografie die Methode der Wahl. In unsicheren Fällen ist eine histologische Klärung (sonografische Stanzbiopsie oder Exzisionsbiopsie) erforderlich.
- Fibroepitheliale Mischtumoren: Zu den fibroepithelialen Mischtumoren gehören das Fibroadenom, das Adenofibrom und das juvenile oder Riesenfibroadenom. Das Fibroadenom ist der mit Abstand häufigste gutartige Tumor der Mamma. Er tritt in jeder Altersgruppe, vor allem aber bei jungen Frauen auf. Das Fibroadenom muss diagnostisch von anderen Tumoren differenziert werden, da die folgenden Läsionen ähnlich sein können: Karzinome, Lymphome, Sarkome und Metastasen.

Abb. 4: Fibroadenom mit typischen Verkalkungen.



- Papillom: benigne, epitheliale Zellwucherungen, wachsen innerhalb der Milchgänge → darstellbar mit Galaktographie. Je nach Anzahl eine oder mehrere rundliche oder ovaläre und glatt begrenzte KM-Aussparungen oder Abbrüche → Galaktographieumfließungsfigur. Klinisch fallen sie gehäuft durch eine pathologische Sekretion auf. Mammographisch glatt begrenzt, eventuell grobe Verkalkungen, meist nahe der Mamille gelegen.

Abb. 5: Papillom (intraduktale Raumforderung).



- Lipom: umschriebene Ansammlung von Fettgewebszellen mit sehr zarter Kapsel. Glatte, kapselartige Begrenzung und fettisodens in der Mammographie.

## 2.2 Bösartige Veränderungen

### Symptome:

Folgende Veränderungen können beim Mammakarzinom auftreten:

- neu aufgetretener, tastbarer Knoten,
- (im Seitenvergleich) neu aufgetretene Umriss- oder Größenveränderungen einer Brust,
- Verdickung einer Brust,
- Hauteinziehungen oder Apfelsinenhaut (inflammatorisches Karzinom)
- Einziehung der Brustwarze



Abb. 4 Apfelsinenhaut mit Rötung und Einziehung der Mamille.

- Hautveränderungen an der Brustwarze
- Absonderungen aus der Brustwarze,
- blutige Sekretion aus der Brustwarze,
- tastbarer Knoten in der Achselhöhle,
- neu aufgetretene Konfigurationsveränderungen einer Brust beim Heben der Arme,
- plötzlich auftretende Rötung einer Brust.

### Klassifikation

- Mammakarzinome werden in nicht invasive(Carcinoma in situ) und invasive Karzinome differenziert und gemäß ihres Ursprungsortes benannt. Bei seltenen Karzinomen wird nach Ausbreitungsart oder Bindegewebsgehalt des Karzinoms benannt.

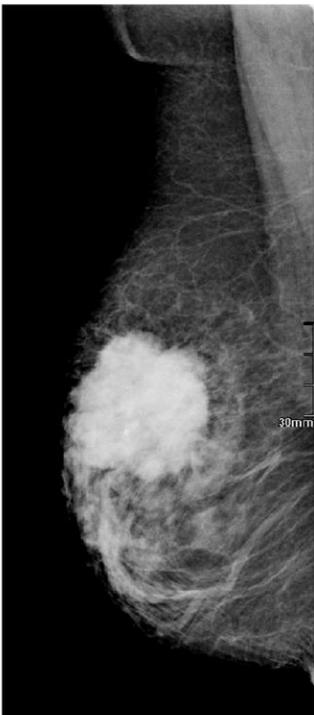


Abb. 6 Großes invasives Karzinom (R-MLO-Aufnahme).





**Abb. 11a-d** Zentrales Karzinom in der rechten Brust. In diesem Fall wurde eine zentrale Resektion mit Reduktionsplastik beidseits durchgeführt. **a, b** Präoperative Aufnahmen. **c, d** Postoperative Aufnahmen.



**Abb. 12a, b** Lokal fortgeschrittenes Mammakarzinom. Operative Therapie: Ablatio mammae mit Latissimus-Deckung. **a** Präoperative Aufnahme, **b** Postoperative Aufnahme.



## Grading

Das sog. Grading sagt etwas über die Bösartigkeit des Tumors aus. Dabei werden die Faktoren Tubulusbildung (Strukturveränderung der Zellen), Kernpolymorphie und Mitoserate berücksichtigt. Je höher das Grading, umso maligner ist der Tumor:

G1 = gut differenziert, G2 = mäßig differenziert, G3 = schlecht differenziert.

## **Rezeptorstatus**

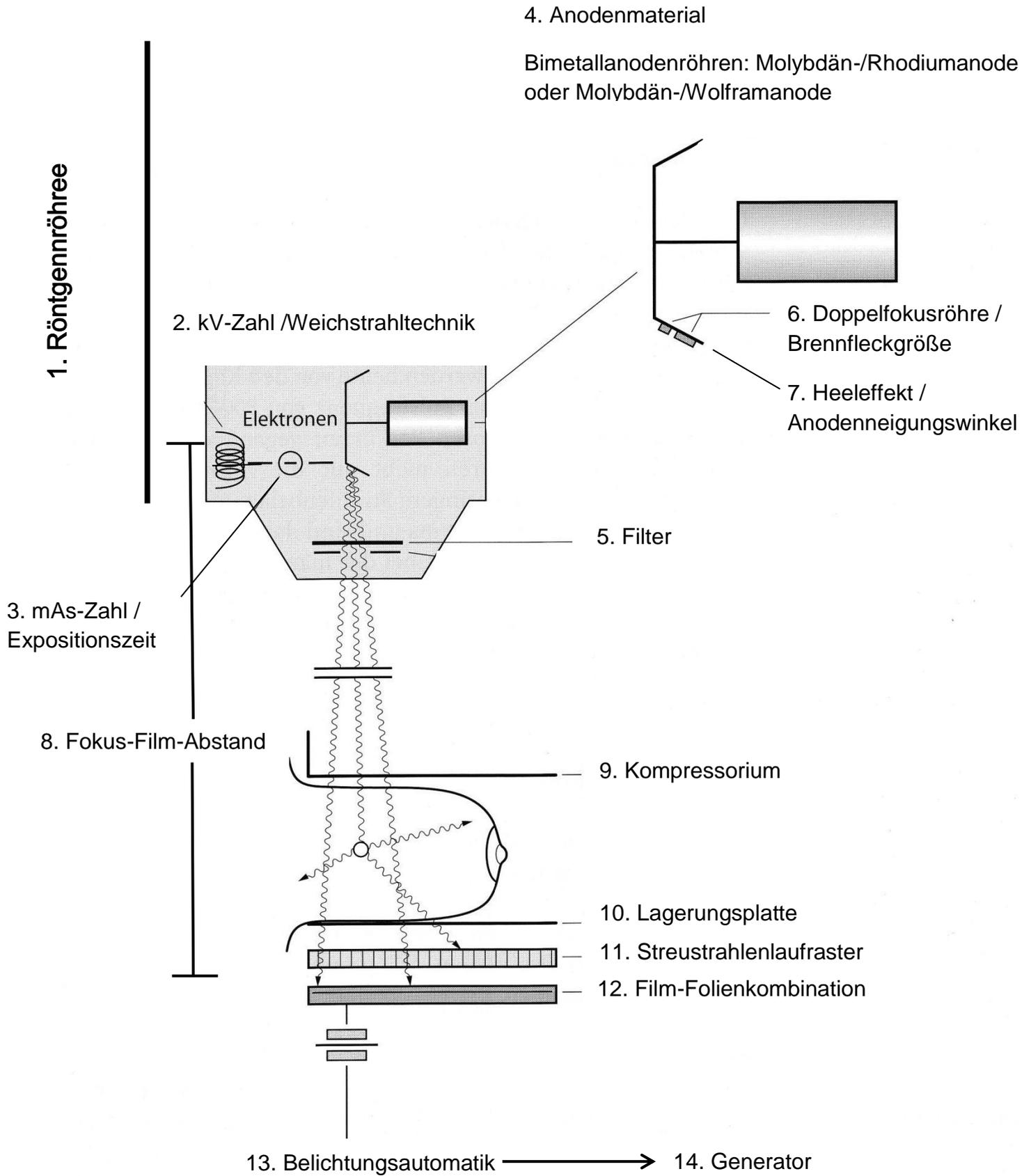
Für die Therapie hat auch der Rezeptorstatus Bedeutung. Dieser Rezeptorstatus wird über Immunoassays festgestellt. Der Tumor wird dabei auf das Vorhandensein von Östrogen- und/oder Progesteronrezeptoren untersucht und mit dem immunreaktiven Score (IRS) angegeben. Der IRS ergibt sich aus der Einfärbung der Zellen, multipliziert mit dem Anteil positiver Zellen. Ein weiterer Rezeptor, der bestimmt wird, ist der HER2/neu-Rezeptor. Dabei wird eruiert, ob der Tumor auf eine Herceptin-Therapie ansprechen würde.

## **3. Gerätetechnik der Mammographie**

Anforderungen an ein Mammographiegerät:

- Feinste Strukturen und Mikroverkalkungen (bis zu 100  $\mu\text{m}$ ) mit nur geringen Dichtunterschieden zur Umgebung müssen mit hoher Abbildungsschärfe, hohem Kontrast und geringen Rauschen abgebildet werden.
- Trotz möglichst hohem Kontrast müssen z.T. sehr unterschiedliche Dichtebereiche (fetteiche Areale, geringe Brustdicke, röntgendichte masthopathische Brüste, thoraxwandnahe Areale mit großer Brustdicke, große Brüste) auf dem Mammographiebild beurteilbar sein.
- Die weibliche Brust weist eine hohe Strahlenempfindlichkeit auf. Deshalb sollte für mammographische Untersuchung eine möglichst geringe Strahlendosis angestrebt werden, die aber dennoch eine ausreichend gute Bildqualität erlauben muss.

# Schematischer Aufbau eines Mammographiegerätes



## **1. Röntgenröhre**

Für die Mammographie sind Spezialröhren erforderlich, die aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften im Vergleich zu sonstigen Diagnostikröhren Röntgenbilder mit einem hohen Gewebekontrast herstellen.

## **2. kV-Zahl / Weichstrahltechnik**

Bei der Mammographie wird die sogenannte Weichstrahltechnik verwendet. Dazu wird niederenergetische Röntgenstrahlung mit einer Röhrenspannung zwischen 25-35 kV verwendet. Die Höhe der kV-Zahl ist von der Dicke und Dichte der Mamma abhängig. Die niedrige kV-Zahl ermöglicht die Darstellung von geringen Absorptionsunterschieden zwischen Drüsen-, Fett-, Bindegewebe und der Haut, weil die Absorptionsdifferenzen mit fallender Röhrenspannung ansteigen. Deshalb sind kontrastreiche Aufnahmen mit hoher Detailerkennbarkeit nur mit einer Spannung von 25-35kV zu erzielen.

## **3. mAs-Zahl / Expositionszeit**

Zur Vermeidung von Bewegungsunschärfe ist eine kurze Expositionszeit notwendig. Sie muss  $< 2$  sec sein (laut Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik)

## **4. Anodenmaterial**

Für die Weichstrahltechnik in der Mammographie wird ein spezielles Anodenmaterial verwendet. Es wurden Bimetallanodenröhren mit einer Molybdänanode und Wolfram oder Rhodium als zweites Anodenmaterial entwickelt. Im Gegensatz zu den übrigen Diagnostikröhren in der Radiologie wird in der Mammographie nicht das gesamte Bremspektrum, sondern in erster Linie die charakteristische Röntgenstrahlung oder K-Strahlung verwendet. Molybdän als Anodenmaterial eignet sich hierfür besonders gut. Molybdän sendet eine charakteristische Röntgenstrahlung von unter 20 keV aus. Der Bremsstrahlenanteil, der durch die Beschleunigungsspannung von 25-35 kV entsteht, wird durch einen zusätzlich angebrachten Molybdänfilter stark geschwächt, während die charakteristische Röntgenstrahlung weitgehend durchgelassen wird. Die Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung an einer Molybdänanode läuft folgendermaßen ab: Trifft ein in der Anode erzeugter Röntgenquant von  $>20$  keV auf ein K-Elektron des Anodenmaterials, überträgt seine gesamte Energie auf das K-Elektron. Das Elektron löst sich aus der Schale und verlässt das Atom, das somit ionisiert ist. Durch einen Elektronensprung von der L- bzw. M-Schale in die K-Schale entsteht dann die charakteristische  $K\alpha$  bzw.  $K\beta$ -Strahlung.

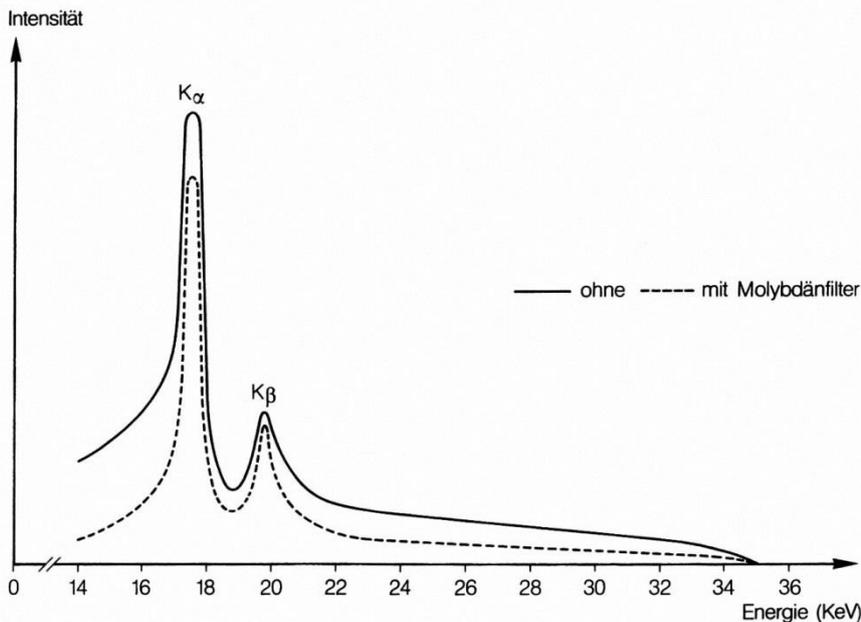


Abb. 13.8 Röntgenspektrum einer Mammographieröhre mit Molybdänanode (mit und ohne Molybdänfilter)

Molybdänanoden sind für die kleine bis normal große und strahlentransparente Brust geeignet. Für dickere und dichte Brüste ist eine erhöhte Spannung erforderlich. Da Wolfram und Rhodium als Anodenmaterial das charakteristische Röntgenspektrum zu höheren Strahlenenergie verschiebt, werden deshalb Bimetallanodenröhren verwendet. Bei modernen Mammographiegeräten werden die optimale Anodenmaterialwahl und auch die Filterwahl automatisch der jeweiligen Brust angepasst. Durch einen Pilotstrahl wird die Dicke und Dichte der Brust gemessen und kV sowie die Anoden-Filter-Kombination vorgewählt.

## 5. Filter

Der zusätzlich angebrachte Filter hat folgende Funktionen:

- Der Bremsstrahlenanteil, der durch die Beschleunigungsspannung von 25-35 kV entsteht, wird durch einen zusätzlich angebrachten Filter stark geschwächt, während die charakteristische Röntgenstrahlung weitgehend durchgelassen wird. Damit werden die Energieanteile oberhalb der sog. K-Absorptionskante unterdrückt.
- Außerdem unterdrückt der Filter (wie das Standardfilter Aluminium bei einer Standardröntgenröhre) die niederenergetischen Anteile des Spektrums, die – da sie in der Brust absorbiert werden – unnötige Strahlenbelastung bedeuten.
- Somit wird für die Mammographie nur ein enger Energieanteil für die Bildgebung durchgelassen.

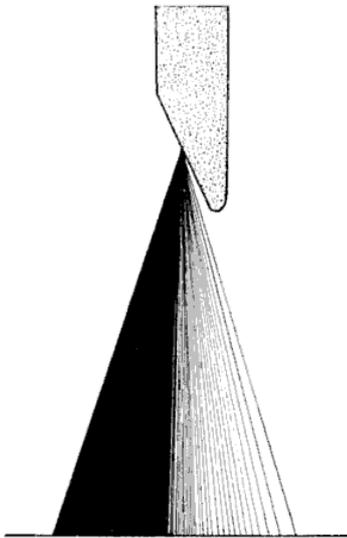
Als Filtermaterial wird Molybdän oder Rhodium verwendet.

## 6. Brennfleckgröße / Doppelfokusgröße

Um die notwendige hohe Schärfe (visuelles Auflösungsvermögen) zu erreichen, müssen Mammographieröhren einen besonders kleinen Brennfleck haben. Laut Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik wird heute ein Brennflecknennwert von analog  $\leq 0,3$  mm, digital  $\leq 0,4$  mm gefordert. Für Zielaufnahmen und Mikrofokusaufnahmen wird ein Brennflecknennwert von  $0,1$  mm gefordert. Somit wird in der Mammographie eine Doppelfokusröhre verwendet. Außerdem sind Mammographieröhren extrem leistungsstark, weil die gesamte, für die Belichtung der Brust notwendige Strahlung in einem sehr kleinen Brennfleck entsteht und gleichzeitig eine möglichst kurze Expositionszeit erforderlich ist.

## 7. Heeleffekt / Anodenneigungswinkel

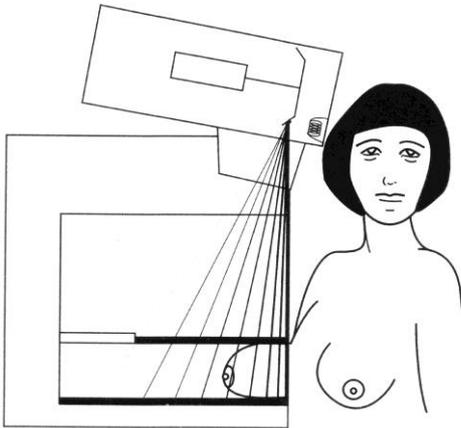
Anodenseitig besteht ein Abfall der Dosisleistung im Strahlenkegel des Nutzstrahlbündels. Der Abfall der Dosisleistung im hängt vom Anodenwinkel ab. Je kleiner der Anodenwinkel, desto größer der Abfall der Dosisleistung an der Anodenseite des Nutzstrahlbündels.



**Abbildung 6-9:**  
Der Heel-Effekt. Der anodenseitige Abfall  
der Dosisleistung im Strahlenkegel.

In der Mammographieröhre wird die kathodenseitige (weniger geschwächte) Hälfte des Strahlenkegels ausgeblendet und von der verbliebenen Strahlenkegelhälfte die Kathodenseite mit der höheren Dosisleistung an die Brustwand gelegt. Durch die Ausblendung der einstrahlenden Kegelhälfte fällt die Strahlung tangential zu Brustwand ein und die Dosisleistung nimmt zur Anodenseite mit der Dicke der Mamma ab.

Der Anodenneigungswinkel beträgt  $22^\circ$ .



## 8. Fokus-Film-Abstand

Laut der Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik muss der Fokus-Film-(Detektor)-Abstand  $\geq 60$  cm, bei Spezialeinrichtung  $\geq 55$  cm (Vergrößerungstechnik), sein. Geringere Abstände führen zu Unschärfen (Halbschattenbildung durch die höhere Divergenz der Röntgenstrahlung) und höherer Strahlenbelastung.

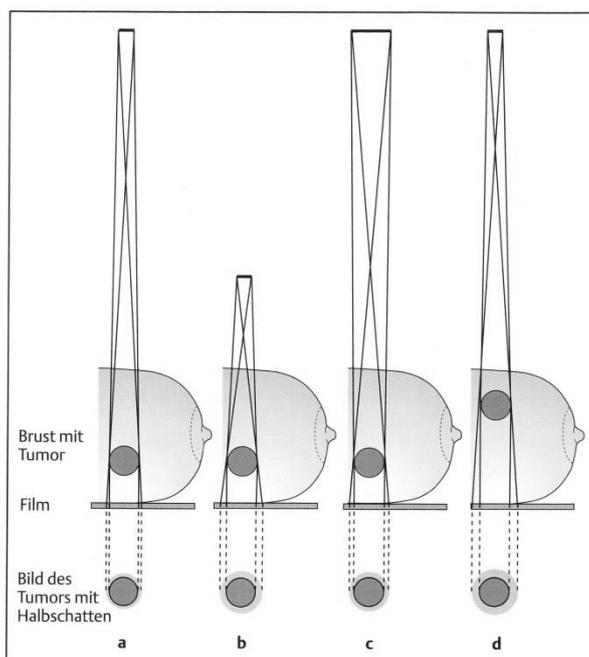


Abb.3.2 Die Halbschattenbildung und damit die Zeichnungsschärfe ist optimiert bei großem Anodenabstand, kleinem Brennfleck und kleinem Tumor-Film-Abstand (a). Der Halbschatten wird größer bei kleinem Anodenabstand (b), großem Brennfleck (c), großem Tumor-Film-Abstand (d)

Größere Abstände sind auch nicht sinnvoll, da sie zwar zu einer Verbesserung der Strahlengeometrie führen können, allerdings verlängert sich auch die Belichtungszeit und damit die Belastung der Röhre.

Zudem ist auf einen kleinen Objekt (Tumor)-Film-Abstand zu achten, um das Halbschattenphänomen zu verringern. Deshalb ist die Kompression der Mamma auch wichtig, da dies den Objekt (Tumor)-Film-Abstand verringert.

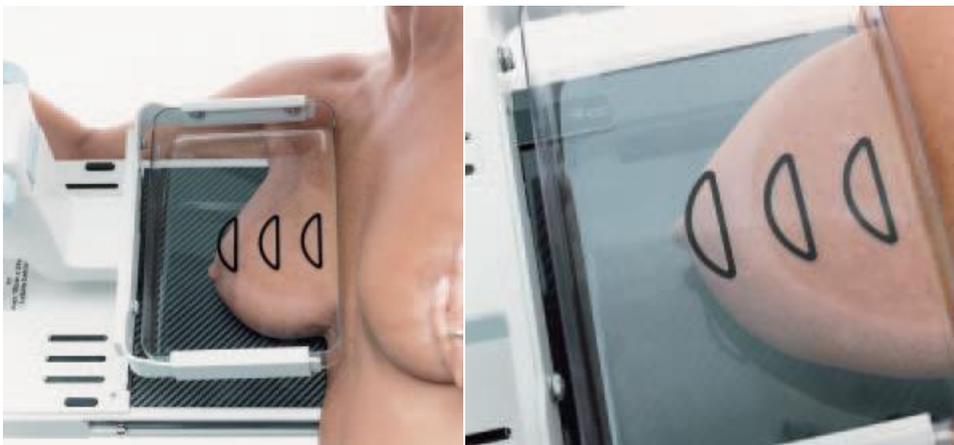
## 9. Kompressorium

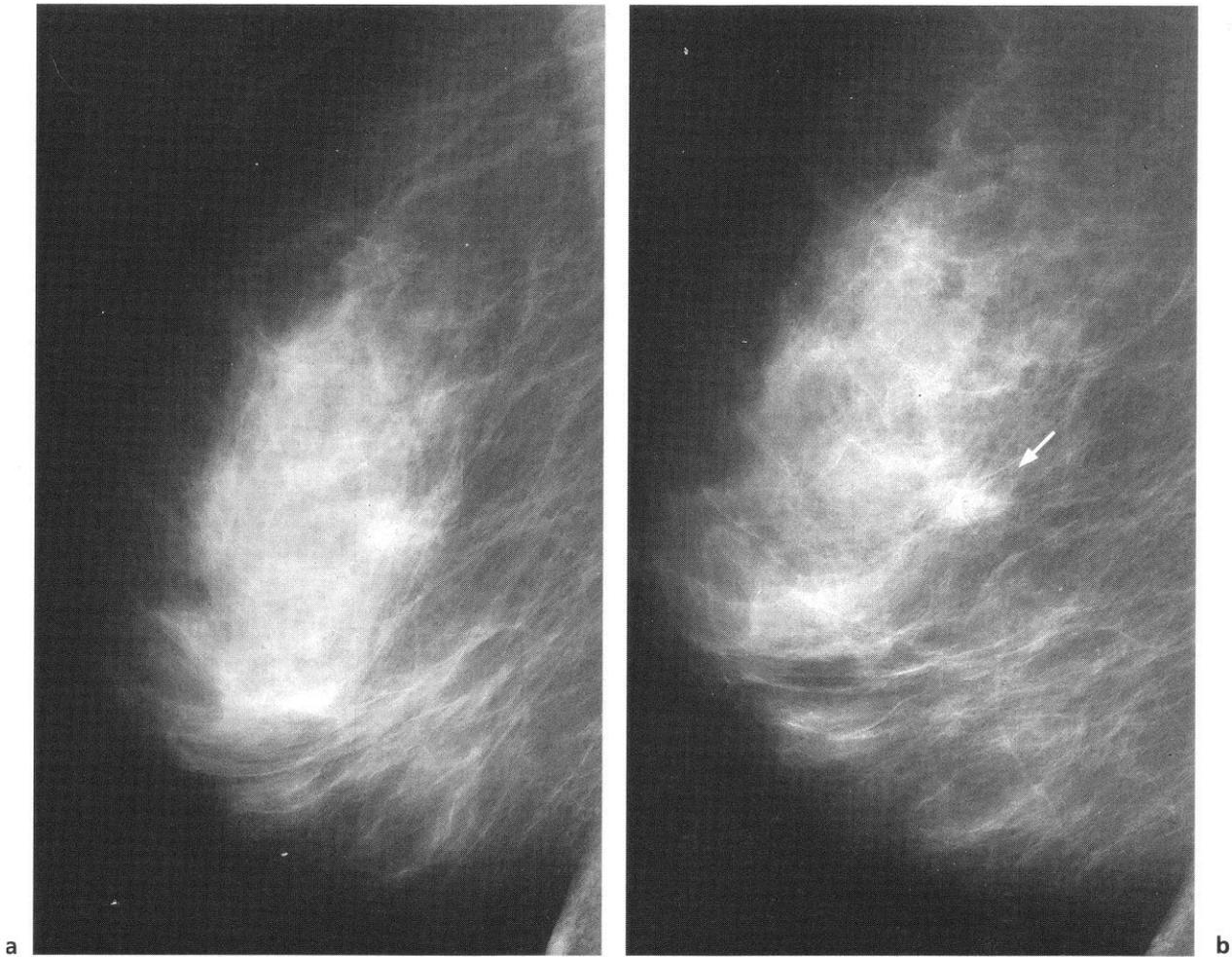
Mit einer Kompressionseinrichtung wird die unterschiedliche Dicke des konisch geformten Brustdrüsenkörpers komprimiert und ausgeglichen, sowie das Fettgewebe zwischen die bindegewebsreichen Strukturen des Drüsenkörpers gepresst, das Drüsengewebe aufgespreizt und dadurch eine gute Darstellung aller Strukturen erzielt. Somit ist die Kompression der Brust einer der wichtigsten Voraussetzungen für eine qualitativ hochwertige Mammographie.

Die Vorteile der Kompression sind folgende:

- Gute Kompression verbessert die Auflösung, in dem der Abstand filmferner Details im Drüsenkörper verringert wird. Damit verringert sich die geometrische Unschärfe.
- Sie verbessert den Kontrast, da für die Durchdringung dünnerer Gewebsschichten v.a. kontrastreichere niederenergetische Strahlung zur Wirkung kommt.
- Sie erlaubt eine deutliche Dosisreduktion durch die Verringerung der zu durchstrahlenden Brustdicke.
- Die Kompression reduziert den Streustrahlenanteil erheblich und verbessert damit den Bildkontrast.
- Sie erlaubt das Sichtbarmachen kleinster Herde, da sich normales Gewebe durch Kompression meist auseinanderspreizen lässt im Gegensatz zu kleinen Malignomherden.

Es ist daher von entscheidender Bedeutung, die Patientin in einem kurzen Gespräch von der Notwendigkeit der Kompression zu überzeugen und damit ihr Verständnis, ihre Mitarbeit und Motivation zu gewinnen.





li. Bild:

Mammographie mit schlechter Kompression . Das im Drüsengewebe liegende Karzinom ist schwer zu erkennen.

re Bild:

Nach bessere Kompression und bessere Aufspreizung des Gewebes sind das Karzinom (Pfeil) und seine Ausläufer besser erkennbar

Laut Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik muss die Kompression  $\geq 10$  Kilopond sein

## 10. Lagerungsplatte

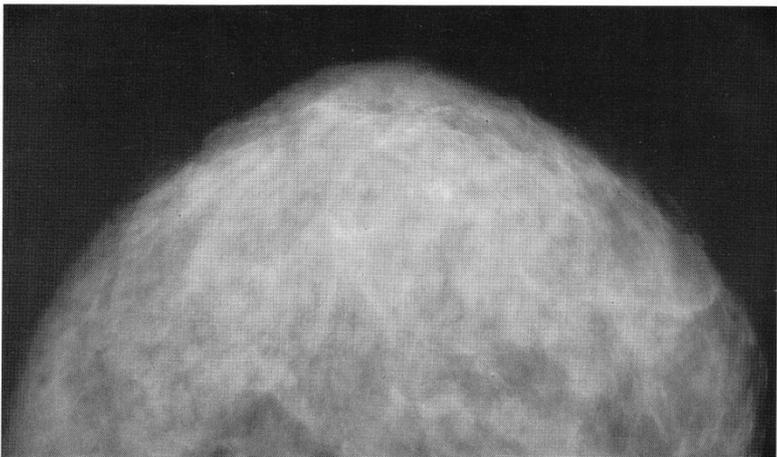
Die Lagerungsplatte dient als Auflage für die Mamma um diese zu komprimieren.

## 11. Streustrahlenlaufraster

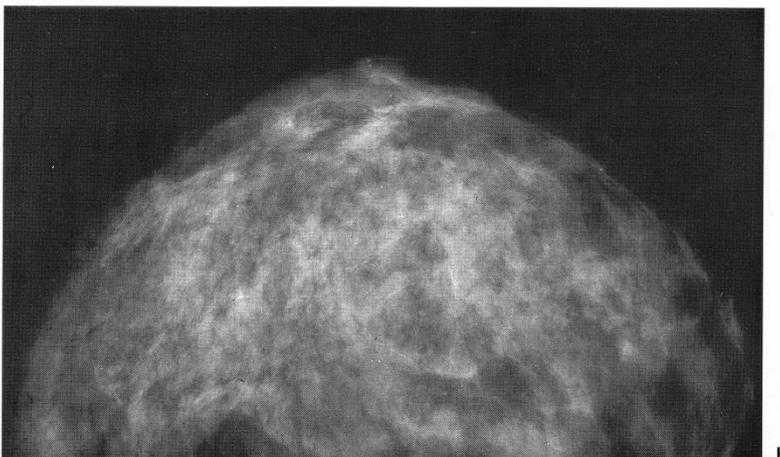
Bis zu 60% des Kontrastes gehen verloren, wenn die in der Brust entstehende Streustrahlung nicht unterdrückt wird. Deswegen wird in der Mammographie Streustrahlenlaufraster verwendet. Laut Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik muss das Streustrahlenraster folgende Merkmale aufweisen:

- Bei einem Schachtverhältnis  $r = 4$ , 27 Lamellen pro cm
- Bei einem Schachtverhältnis  $r = 5$ , 30 Lamellen pro cm

Das Schachtverhältnis beschreibt das Verhältnis der Höhe zum Abstand der Lamellen. Durch die Bewegung des Laufrasters werden die Lamellen verwischt und somit auf der Aufnahme nicht sichtbar. Der Raster absorbiert bis zu 88% der Streustrahlung, allerdings auch bis zu 40% der Nutzstrahlung. Es muss also bei der Verwendung von Streustrahlenraster die Dosis erhöht werden. Die Dosiserhöhung konnte man durch den Einsatz von Verstärkerfolien wieder kompensieren.



ohne Streustrahlenraster



mit Streustrahlenraster

## **12. Film-Folienkombination**

In der Mammographie werden einseitig beschichtete Filme verwendet, um Bildunschärfen durch Cross-over-Effekte und Reflexionseffekte zu vermeiden. Auch wird auf die Rückfolie verzichtet. Charakteristisch für die Mammographiefilme sind steile Schwärzungskurven. Als Folien kommen feinzeichnende Seltene-Erden Folien mit der Empfindlichkeitsklasse 12 und 25 zur Anwendung. Die Filmformate sind 18 X 24 cm und 24 X 30 cm. Diese Film-Folienkombinationen gewährleisten die Darstellung von feinsten Strukturen in der Mamma.

Laut Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik muss der nutzbare optische Dichtebereich zwischen 1,2 und 1,6 sein. Dies gewährleistet, dass alle diagnosewichtigen Details im optimalen Schwärzungsbereich des Films dargestellt werden.

## **13. Belichtungsautomatik**

Laut der Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik ist die Benutzung einer Belichtungsautomatik vorgeschrieben. Dabei muss die Position des Messfeldes der Belichtungsautomatik variabel einstellbar sein. Eine gute Anpassung an Dicke, Dichte und Röhrenspannung der Belichtungsautomatik muss gegeben sein. Die Messkammer ist bei der Mammographie im Gegensatz zu normalen Röntgengeräten hinter dem Film gelegen. Der Grund dafür ist, dass bei der weichen Strahlung jede Messkammer auf dem Film abgebildet werden würde. Aufgabe der Belichtungsautomatik ist es, möglichst unabhängig von Brustdicke und -dichte eine mittlere optische Dichte von 1,2 – 1,6 (Vorgabe der Bundesärztekammer) zu erzielen. Die Belichtungsautomatik arbeitet mit einer Messkammer, die im Strahlengang unter der Kassette positioniert ist. Sie misst in einem repräsentativen Areal die Dosis hinter der Kassette. Ist die für die gewählte mittlere optische Filmdichte erforderliche Anschaltdosis erreicht, so schaltet die Automatik die Strahlung ab. Die Position der Messkammer ist im Allgemeinen in 3 Stufen am Rastertisch einstellbar. Ein Lichtvisier erleichtert die Einstellung. Damit die Belichtungsautomatik optimal arbeiten kann, ist die Messkammer im vorderen Brustdrittel zu positionieren. Dabei sollte ein Sicherheitsabstand von 2 cm eingehalten werden, damit die Messkammer keine Luft misst. Ansonsten kann es zu Fehlbelichtungen kommen.

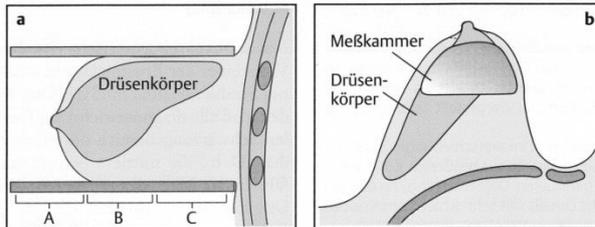
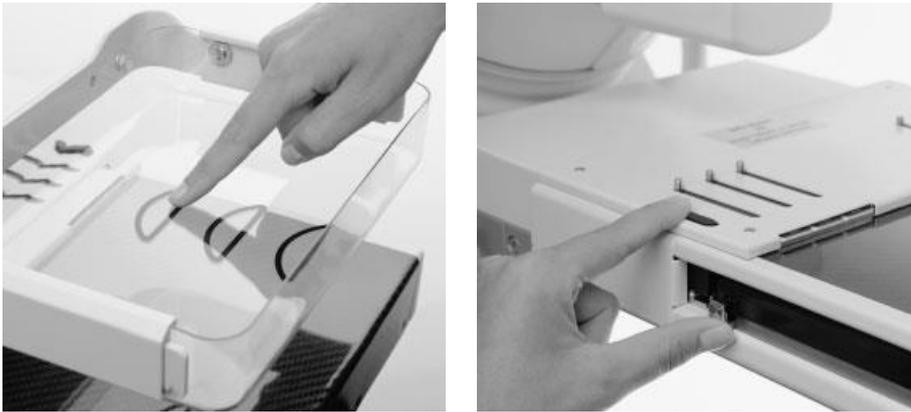


Abb. 3.7 a u. b Positionierung der Meßkammer  
**a** Seitliche Ansicht der komprimierten Brust  
 Meßkammerposition A ist schlecht (zu viel Luft durchstrahlt),  
 Meßkammerposition B ist optimal,

Meßkammerposition C ist schlecht (zu viel Fett durchstrahlt)  
**b** Aufsicht auf die komprimierte Brust: optimale Meßkammerposition

## 14. Generator

Für die Mammographie werden Hochfrequenz- bzw. Konvertergeneratoren verwendet. Sie erlauben minimale Schaltzeiten von 4ms und verursachen auch eine geringere Strahlenbelastung.

Nachfolgend hier noch einmal die aufnahmetechnischen Qualitätsanforderungen der Bundesärztekammer für die Mammographie:

⇒ Aufnahmeart: Spezialeinrichtung

⇒ Aufnahmespannung: 25 – 35 kV bezogen auf Dicke und Dichte

⇒ Wahl verschiedener Anodentarget- und Filterkombinationen in Abhängigkeit von Dicke und Dichte

⇒ Brennfleckennennwert: FFS  $\leq$  0,3, digital  $\leq$  0,4

⇒ Fokus-Detektor-Abstand:  $\geq$  60 cm, bei Spezialeinrichtung  $\geq$  55 cm

⇒ Kompression  $\geq$  10 kp

⇒ Vergrößerungstechnik zur Klärung spezieller Fragestellungen (z.B. Mikrokalk)

⇒ Belichtungsautomatik: Messfeldlage speziell einstellbar, gute

Anpassung an Dicke, Dichte und Röhrenspannung.

⇒ Mittlere optische Bruttodichte  $D = 1,2$  bis  $1,6$  bei Film-Folien-System

⇒ Expositionszeit:  $< 2$  s

⇒ Streustrahlenraster: bewegtes Spezialraster  $r 4, 27$  L/cm;  $r 5, 30$  L/cm

⇒ Nenndosis: analog  $KN \leq 100 \mu\text{Gy}$ , digital werden Grenzwerte für die mittlere Parenchymdosis (DPD)

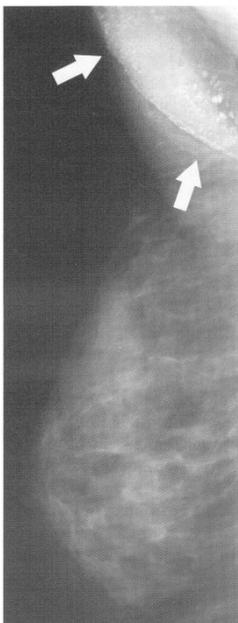
in Abhängigkeit von der Kompressionsdicke der Brust festgelegt

⇒ Bei Film-Folien-Radiographie separate Konstanzprüfung der Filmverarbeitung der Mammographie-Filme

## 4. Einstelltechnik

### 4.1. Patientenvorbereitung

Anamnese, Inspektion und Palpation durch den Arzt. Oberkörper entkleiden, Ohrringe und Halskette entfernen. Ausschluss einer Schwangerschaft. Gonadenschutz anlegen. Wichtig ist, dass die Patienten keine Cremes, Puder oder Deodorants vor der Untersuchung benutzt. Es kann sonst Vortäuschungen von Befunden kommen.



Vortäuschung von Mikroverkalkungen  
durch ein Deodorant in der Axilla

## 4.2. Standardaufnahmen

Die Mindestanforderung für die Mammographie ist laut Bundesärztekammer eine Darstellung der Mamma in zwei Ebenen.

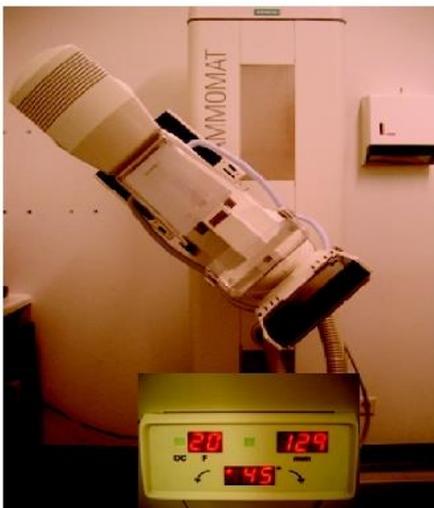
Alle Abschnitte der Brustdrüse müssen in beiden Ebenen abgebildet sein. Sollte dies in den Standardaufnahmen nicht möglich sein, so muss der Arzt Zusatzaufnahmen anordnen.

Eine korrekte Lagerung der Brust ist äußerst wichtig. Wenn nicht die ganze Brust abgebildet wird oder wenn Bereiche der Brust verdeckt sind, kann die gesamte Diagnose falsch sein. Bei einer korrekten und genauen Lagerung ist es auch leichter, eine gute Kompression zu erreichen.

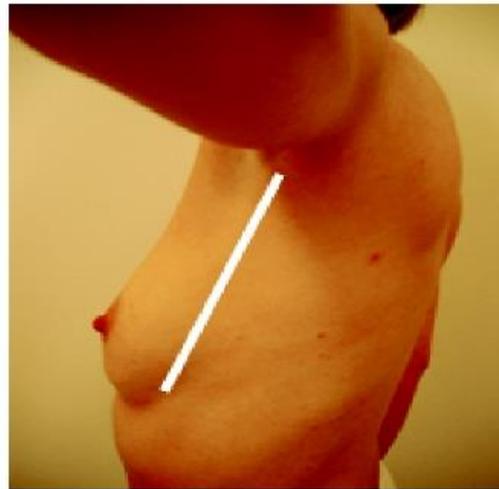
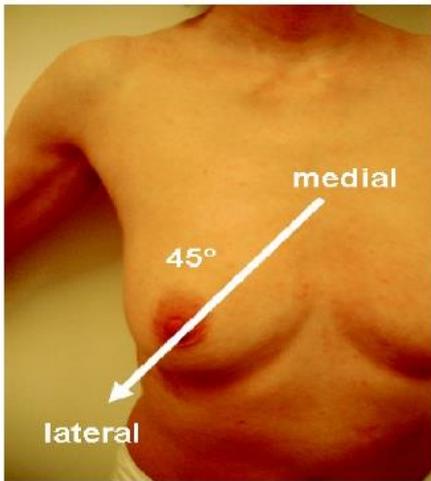
Sie sollten die Patienten grundsätzlich über den Ablauf der Untersuchung informieren. Erklären Sie, warum eine Kompression der Brust erfolgt und dass diese eventuell unangenehm sein könnte. Beobachten Sie die Patientin während der Untersuchungsdauer.

### ***Mediolateral-oblique Schrägaufnahme (MLO)***

Ziel dieser Aufnahme ist die Darstellung des gesamten Drüsenkörpers, insbesondere des thoraxwandnahen Gewebes, des axillären Ausläufers des M. pectoralis und der Inframammärfalte (untere Umschlagfalte).



Der Gerätearm der mediolateralen-oblique (MLO) Aufnahme ist 45° gekippt.



Der Strahlengang führt von medial oben in einem Winkel von ca. 45° nach lateral unten. Die Winkeleinstellung orientiert sich am Verlauf des M. pectoralis. Bei schlanken Patientinnen verläuft er steiler

### Patientenpositionierung

- Die Patientin steht in einem Winkel von 45° zum Gerät.
- Der laterale Rand des M. pectoralis verläuft parallel zum Auflagetisch.
- Der Auflagetisch wird auf Höhe der Axilla gebracht, beide Schultern sind auf gleicher Ebene.
- Der Oberarm der Patientin liegt horizontal und entspannt auf dem Kassettenhalter oder Detektor.
- Die Brust wird stark angehoben und nach vorne von der Brustwand weg, in Richtung Mamille gezogen.
- Durch leichten Druck auf den Oberarmkopf entspannt sich die Schulter der Patientin.
- Die Längsseite der Kompressionsplatte liegt eng am Sternum an.
- Die obere Ecke der Kompressionsplatte wird in die Vertiefung zwischen Sternum und Klavikel positioniert.
- Die linke Hand fixiert die Brustoberseite, während der Daumen aus dem Daumengrundgelenk heraus die Inframammärfalte ausstreicht.
- Die Kompression erfolgt unter Zug.
- Das Brustgewebe wird gut entfaltet.
- Die Patientin hält die kontralaterale Brust aus dem Strahlengang.

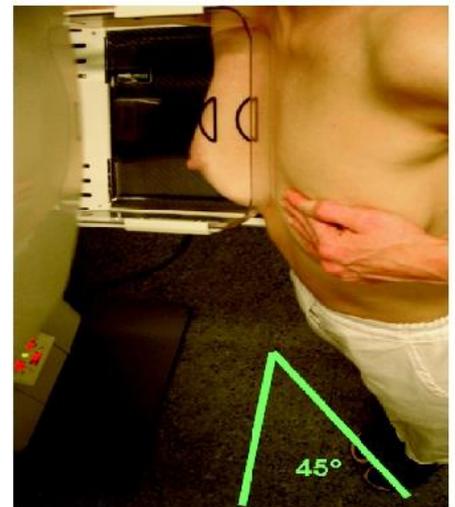
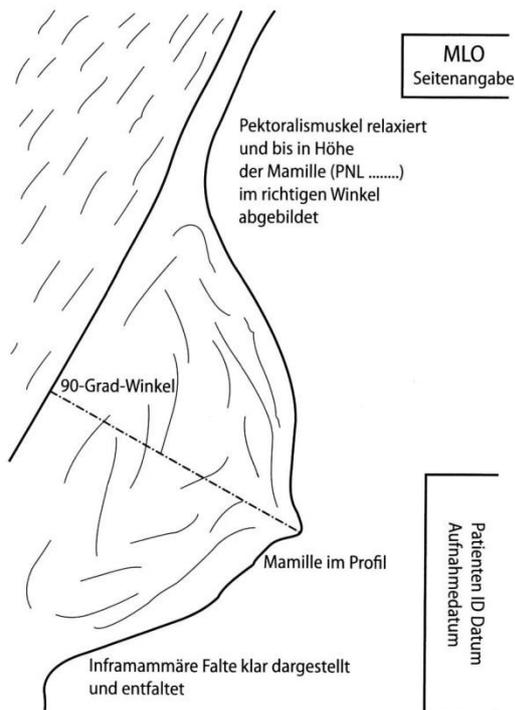


Abb. 16 Patientenpositionierung bei der MLO-Aufnahme.



**Qualitätskriterien für eine optimal positionierte MLO-Schrägaufnahme sind:**

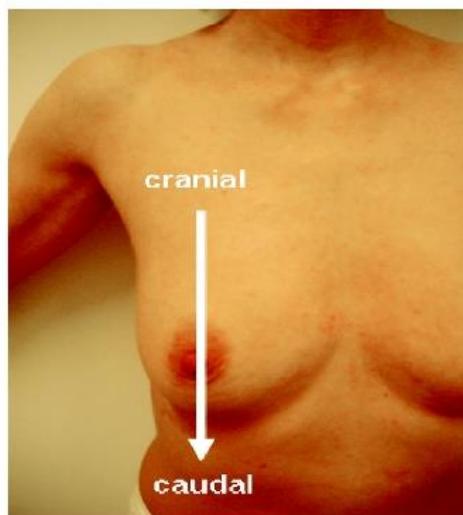
- Der Pektoralismuskel soll mindestens bis auf Höhe der Mamille im Bild miterfasst sein.
- Er soll mit einem 20° Winkel abgebildet sein.
- Kaudal soll die Inframammärfalte gerade noch abgebildet sein.
- Das Drüsengewebe soll gut aufgespreizt sein.

***Kranio-kaudale Aufnahme***

Ziel dieser Einstellung ist vor allem die Darstellung des medialen Brustgewebes, aber auch der laterale Anteil sollte zur Abbildung kommen.



Die Geräteposition bei der kranio-kaudalen Aufnahme ist 0°.



Der Strahlengang bei der kranio-kaudalen Aufnahme

## Patientenpositionierung

- Die Patientin steht aufrecht, 10° nach medial gedreht und ca. 5 cm vom Aufnahmetisch entfernt, damit sie sich später ein wenig nach vorne ins Gerät lehnen kann.
- Der Kopf schaut zur Gegenseite.
- Die Schulter ist locker, nicht nach oben gezogen, der Arm liegt entspannt auf dem Bauch.
- Die MTRA/RT steht medial zur Patientin.
- Die Brust der Patientin, somit auch die inframammäre Umschlagfalte, wird bis zur Grenze der natürlichen Beweglichkeit (ca. 2 cm) angehoben.
- Der Aufnahmetisch wird darunter positioniert.
- Die gedachte mittlere Längsachse der Brust bildet einen rechten Winkel zur Thoraxwand.
- Die Brust wird nach vorne von der Brustwand weg, leicht nach lateral gezogen.
- Das Brustdrüsengewebe ist gut aufgespreizt und wird unter Zug komprimiert.

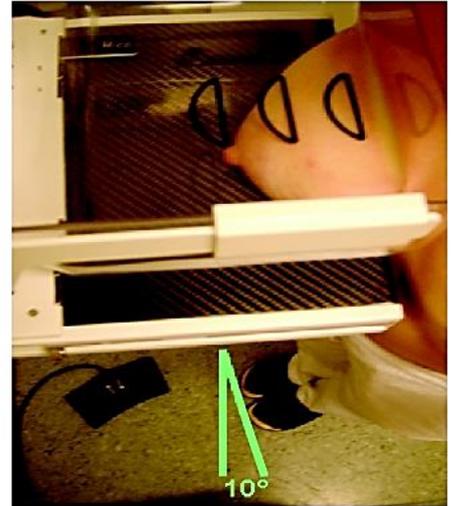
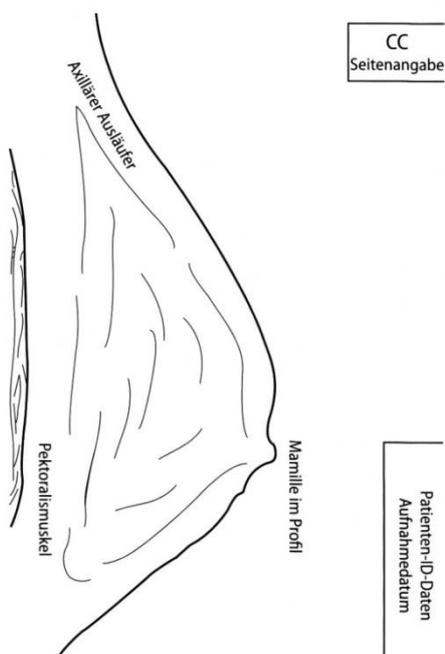


Abb. 20 Patientenpositionierung bei der kraniokaudalen Aufnahme.



## Qualitätskriterien für eine optimal positionierte kranio-kaudale Aufnahme:

- Das gesamte Brustparenchym soll auf der Aufnahme abgebildet werden.
- Das dem Brustmuskel nächstgelegene Fettgewebe soll als ein dunkler Rand abgebildet werden und dahinter soll der Pektoralismuskel erkennbar sein.
- Die Mamille ist im Profil abzubilden.

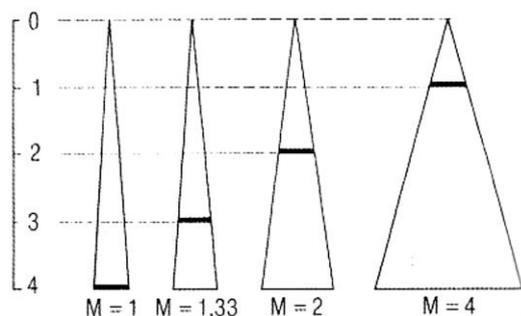
Als Zusatzaufnahmen gibt es noch die 90° seitliche Projektion, die entweder medio-lateral oder latero-medial angefertigt wird. Weitere Zusatzaufnahmen sind die Kleopatra-Aufnahme und die Cleavage-Aufnahme.

## ***Vergrößerungsaufnahmen***

Wenn die Standardaufnahmen verdächtige Strukturen dargestellt haben, kommt die Vergrößerungstechnik zum Einsatz. Diese Strukturen können durch die Vergrößerung genauer betrachtet werden.

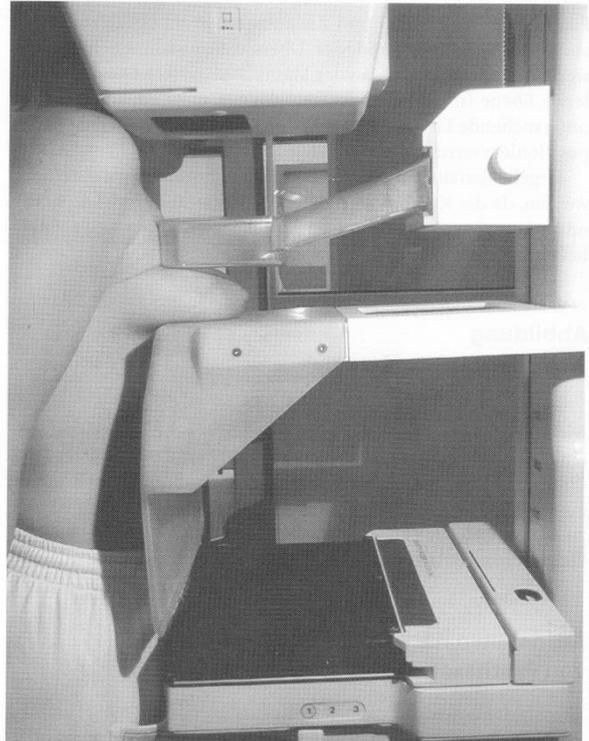
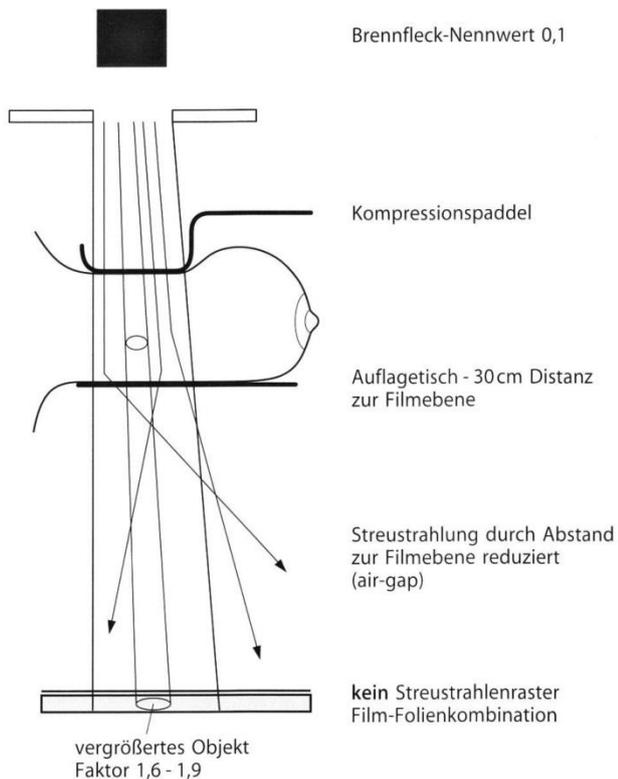
Durch die Vergrößerung des Objekt-Film-Abstandes auf etwa 30 cm wird eine direkte vergrößerte Darstellung des Mammagewebes erzielt.

Vergrößerungsprinzip:



Bei der Zentralprojektion wird das abgebildete Objekt im Bild vergrößert dargestellt. Jede Röntgenaufnahme ist somit eine Vergrößerungsaufnahme. Das Objekt wird umso mehr vergrößert, je weiter es von der Bildebene entfernt ist. Diese Erscheinung beruht auf der Divergenz der Röntgenstrahlung.

Aus geometrischen Gründen steigt dabei die Unschärfe. Deshalb wird ein Feinstfokus mit einem Nennwert von 0,1 mm verwendet. Der geringere Fokus-Objekt- Abstand führt zu einer gesteigerten Strahlenbelastung. Dies wird dadurch ausgeglichen, dass bei der Vergrößerungsmammographie kein Streustrahlenraster eingesetzt wird.



In der digitalen Mammographie findet die Vergrößerungstechnik keine Anwendung, weil die Bilder digital mit dem Computer vergrößert werden können.

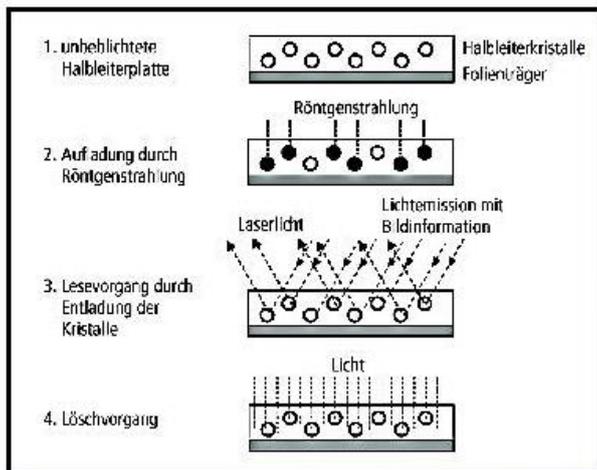
## 5. Digitale Mammographie

### Die Digitale Mammographie

Die Untersuchung wird wie eine konventionelle Mammographie mit Röntgenstrahlen durchgeführt. Es erfolgt aber keine Belichtung auf Film, sondern eine digitale Umwandlung. Man unterscheidet hierbei:

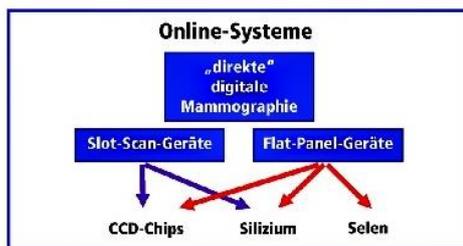
- Speicherfolienmammographie – (CR-Mammographie) und
- Digitale Vollfeld Mammographie

Bei der Speicherfolienmammographie werden Folien genutzt, die eine bestimmte Eigenschaft der Röntgenstrahlen ausnutzen: Sie können in Halbleiterkristallen Elektronen auf höhere Energieebenen heben. In geeignetem Material wird so das Abbild, ähnlich wie bei einem Röntgenbild, bis zum Auslesen mit einem Laserstrahl konserviert. Der Vorteil: Die Halbleiterkristall-Folien können bis zu 40.000 mal ausgelesen werden. Das Speicherfoliensystem kann an jeder konventionellen analogen Mammographie-Einrichtung mit einer Laser-Auslesehardware-Einheit (Imager) eingesetzt werden.



**Abb. 11: Speicherfolie.** Schematische Darstellung der unbelichteten Lumineszenzfolie, der Entstehung des latenten Bildes, des Auslesevorganges und des Löschvorganges (nach Prof. Dr. Th. Laubenberger)

Bei der Digitalen Vollfeld-Mammographie erfolgt die Umwandlung noch einfacher, nämlich über eine Detektorplatte. Die Daten werden also digital gespeichert. Man unterscheidet Flat-Panel-Geräte und Slot-Scan-Geräte:



**Abb. 12: Übersichtgraphik der Online-Systeme.**

## Flat-Panel-Systeme

Bei dem Flat-Panel-System werden die Röntgenquanten zunächst von einem Cäsium-Jodid-Szintillator absorbiert und in Licht konvertiert. Die nadelähnliche Struktur und parallele Anordnung der CsJ-Kristalle minimiert die Streuung und bietet einen hohen Wirkungsgrad in der Ausbeute der Röntgenquanten. Eine Matrix von Photodioden, die auf eine Siliziumplatte aufgebracht sind, erfasst das Licht und wandelt es in elektrische Ladung um. Jede Photodiode stellt ein Pixel dar. Die an jedem Pixel auftretende Ladung wird in digitale Daten umgewandelt und zu einem Bildprozessor weitergeleitet.

In Selen-Systemen wird die Röntgenstrahlung direkt in Ladungsverschiebungen in der Schicht aus amorphem Silizium umgewandelt, die zur Bildgebung ausgenutzt werden können.

Der Vollfelddetektor wird wie ein Film-Folien-System belichtet. Die Millionen Pixel werden simultan belichtet. Die amorphe Selentechnologie ermöglicht eine direkte Umwandlung der einfallenden Strahlung in elektronische Information. Die Ladungsverteilung wird mit Hilfe von Transistoren (TFT) abgeleitet und dann digital gemessen.

## Slot-Scan-Geräte

Bei Slot-Scan- Geräten wird die Brust mit einem schmalen, schlitzförmigen Detektor bogenförmig abgetastet. Da dabei nur der abgescannte Bereich belichtet werden soll, muss sich die Röntgenquelle gleichsinnig mit dem Detektor bewegen. Auf ein Streustrahlenraster kann bei dieser Lösung verzichtet werden.

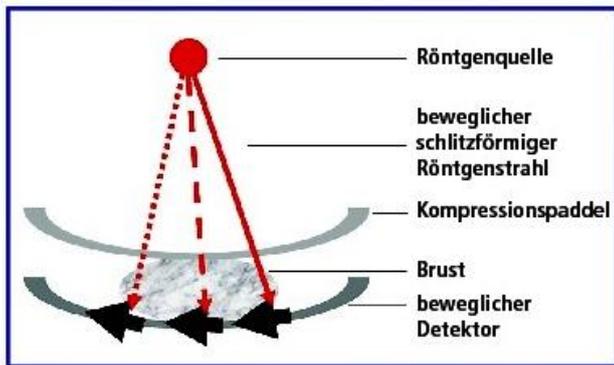
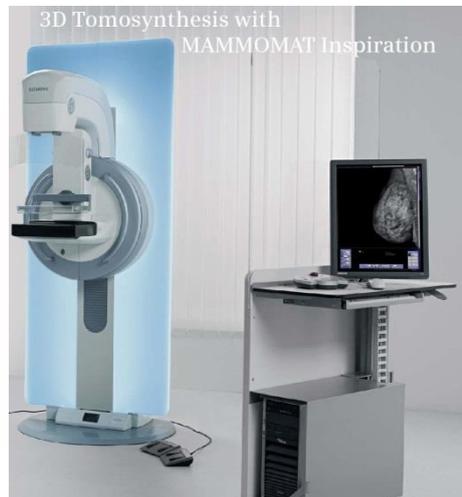


Abb. 13: Darstellung der Funktion eines Slot-Scan-Gerätes.



## Nachbearbeitung digitaler Bilddaten

In der digitalen Mammographie wird die Bildgebung in drei Teilschritte aufgeteilt:

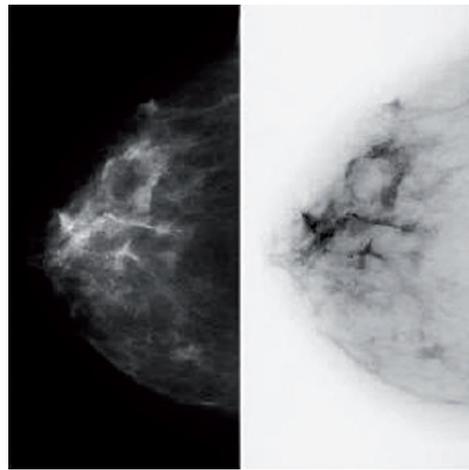
- Bildaufnahme
- Bildverarbeitung
- Bildwiedergabe

Jeder dieser Teilschritte kann einzeln optimiert werden. Bei der Bildwiedergabe kann eine Nachbearbeitung (Post-Processing) durchgeführt werden. Wesentliche Schritte sind:

- Segmentation (Aufteilung in Abschnitte)
- Zooming
- Inversion (Umkehrung Schwarz – Weiß)
- Variation von Bildkontrast und Helligkeit

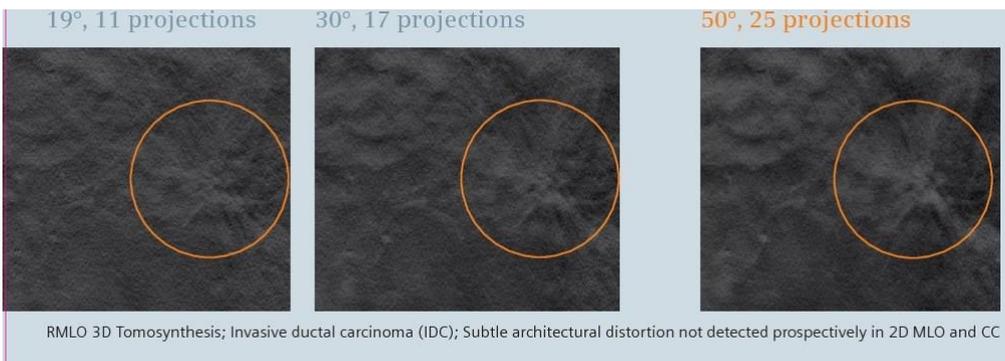


Zooming



Inversion

Bei der Tomosynthese (Slot-Scan-Gerät) ist es möglich durch digitale Nachverarbeitung 3-D- Bilder herzustellen. Aus mehreren, leicht gegeneinander versetzten Mammographien lassen sich durch Rechenoperationen mit dem Computer Tiefeninformationen gewinnen. Die Detektion von Mikrokalk und kleinen Karzinomen wird verbessert.



## 6. Ergänzende diagnostische Verfahren zu Untersuchung derMamma

Dazu gehören folgende Verfahren:

- Ultraschall
- (Stereotaktische) Feinnadelbiopsie
- Magnetresonanztomographie der Mamma
- Galaktographie (Füllung der Milchgänge mit Röntgenkontrastmittel)

## 7. BI-RADS-Klassifikation und ACR-Dichteindex

Die BI-RADS Klassifikation (**B**reast **I**maging **R**eporting **A**nd **D**ata **S**ystem) ist eine Empfehlung des American College of Radiology unter anderem zur Vereinheitlichung mammographischer Befunde auf internationaler Ebene, was für die Festlegung des weiteren diagnostischen bzw. therapeutischen Vorgehen sehr hilfreich ist.

**Tab. 1: Handlungsempfehlungen des American College of Radiology**  
(nach [2]).

BI-RADS Kategorie	Befund der MG	Malignomrisiko	Empfehlung
0	abschließende Beurteilung nicht möglich	unklar	Zusatzuntersuchung indiziert (Screening)
1	normale MG	0 %	keine spezielle Empfehlung
2	gutartiger Befund	0 %	keine spezielle Empfehlung
3	wahrscheinlich gutartiger Befund	< 2 %	MG-Kontrolle in 6 Monaten
4	unklar, verdächtig	2–94 %	Biopsie
5	hochverdächtig mit typischen Malignitätskriterien	> 95 %	Biopsie, Therapieplanung
6	histologisch gesicherte maligne Veränderung	100 %	Therapieplanung

Daneben hat das American College of Radiology (ACR) vorgeschlagen, die Dichte der Brust anzugeben, um einen Anhalt für die zu erwartende Sensitivität (Aussageempfindlichkeit) der Mammographie zu haben:

- ACR-Dichteindex 1: Involutionsbrust (altersbedingte Rückbildung des Drüsenkörpers der Brust und Ersatz durch Fettgewebe)
- ACR-Dichteindex 2: fibroglanduläres Muster (ca. 25% Drüsenkörper, sonst Fettgewebe)
- ACR-Dichteindex 3: heterogen dichter Drüsenkörper (ca. 75% Drüsenkörper, sonst Fettgewebe)
- ACR-Dichteindex 4: extrem dichter Drüsenkörper (weiße Brust)

Je dichter der Drüsenkörper (Dichtegrad 3 und 4) ist, umso mehr nimmt die Sensitivität der Mammographie ab, der Brustultraschall ist dann umso wichtiger und ein kürzeres Kontrollintervall von etwa 1 Jahr ist notwendig.

#### Literatur:

- Becht, Bittner, Ohmstede et.al, **Lehrbuch der röntgendiagnostischen Einstelltechnik**, 6. Auflage, 2008, Springer Verlag, Heidelberg
- Feldmann, Hilde, **Digitale Mammographie 2**, MTA-Dialog, Dezember 2007
- Fellner, F.A. et.al, **Mammakarzinom**, Radiopraxis, 1/2008
- Goretzki, Günter, **Medizinische Strahlenkunde**, 2. Auflage, 2004, Urban & Fischer Verlag, München
- Heinz, Otte, **Mammadiagnostik für MTRA und Ärzte**, 1. Auflage, 2002, Springer Verlag, Berlin
- Heywang-Köbrunner, Sylvia, **Bildgebende Mammadiagnostik**, 1. Auflage, 1996, Thieme Verlag, Stuttgart
- Hoxter, Schenz, **Röntgenaufnahmetechnik (Siemens)**, 14. Auflage, 1991, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München
- Kleeberg, Anja, **Mammographie auf einem Blick**, MTA-Dialog, Oktober 2008
- Laubenberger, **Technik der medizinischen Radiologie**, 6. Auflage, 1994, Deutsche Ärzte-Verlag, Köln
- Nowak, Hans-Peter, **Kompodium der Röntgeneinstelltechnik**, 2. Auflage, 2011, ixray GmbH, Rothenturm/Schweiz

#### Internet:

- <http://www.radiologie.de/untersuchungsmethoden-im-ueberblick/mammographie/grundlagen-und-technik.html>
- <http://www.idr.med.uni-erlangen.de/vhb/KursGynRad.htm>
- <http://www.gynrad.idr.med.uni-erlangen.de/Passau/P12/P12.htm>
- <http://www.medical.siemens>
- [http://www.rtaustria.at/rich\\_files/attachments/downloads/leseprobe\\_Radiopraxis.pdf](http://www.rtaustria.at/rich_files/attachments/downloads/leseprobe_Radiopraxis.pdf)