

experimentellen Gerät zeigen ein deutliche Dosisersparungspotenzial bei gleichzeitig verbesserter Bildqualität durch solche Hardwareänderungen.

In der **Originalarbeit 6** wird ein Beispiel eines Ausschnittes aus einer Phantomaufnahme (CD-MAM-Phantom, Med. Dept. Nijmegen, Niederlande) gezeigt und die Erkennbarkeit von den simulierten Goldplättchen des Phantoms ausgewertet. Dabei zeigt sich das Potenzial zur Dosisreduktion und verbesserten Bildqualität durch monochromatisches Röntgen.

5. Weiterführende Anwendungen

Mit der Einführung der digitalen Vollfeldmammographie und der damit verbundenen, nahezu direkt zur Verfügung stehenden digitalen Bildinformation kann erstmals an eine Verbindung der Mammographie mit komplett neuartigen Röntgenverfahren gedacht werden. In diesem Zusammenhang erscheinen insbesondere die Tomosynthese und die Kontrastmittelmammographie extrem vielversprechend.

5.1. Tomosynthese

Eines der größten Probleme bei der Visualisierung von Tumoren in der Mammographie ist der Summationseffekt. So können Tumore, die in der Mammographie oft nur extrem schwer erkennbar sind, in der Präparateradiographie ohne Summation durch überlagernde Strukturen oft wesentlich deutlicher visualisiert werden.

Dieser negative Effekt der Summation kann einerseits aufgehoben werden, in dem nicht interessierende Strukturen wegsubtrahiert werden. Eine Möglichkeit dazu wird im Abschnitt 5.2. aufgezeigt. Eine andere Möglichkeit sind Schnitt- oder Schichtbildverfahren. Die digitale Mammographie ermöglicht die überlagerungsfreie Darstellung von Tumoren mit einem solchen Verfahren, der sogenannten Tomosynthese. Das Verfahren ähnelt in Grundzügen der herkömmlichen Tomographie. Es werden dabei aus verschiedenen Winkeln 5-11 Aufnahmen aufgenommen, die

allesamt eine massiv reduzierte Dosis aufweisen (laut Herstellern entspricht die Gesamtdosis bei Tomosyntheseaufnahmen ca. dem 1.5 fachen der Dosis einer Mammographie in einer Ebene). Im Gegensatz zur herkömmlichen Tomographie bleibt der Detektor (bzw. der Bildempfänger) dabei jedoch unbewegt. Aus den Aufnahmen in unterschiedlicher Projektion kann der Computer dann ein dreidimensionales Bild zusammensetzen.

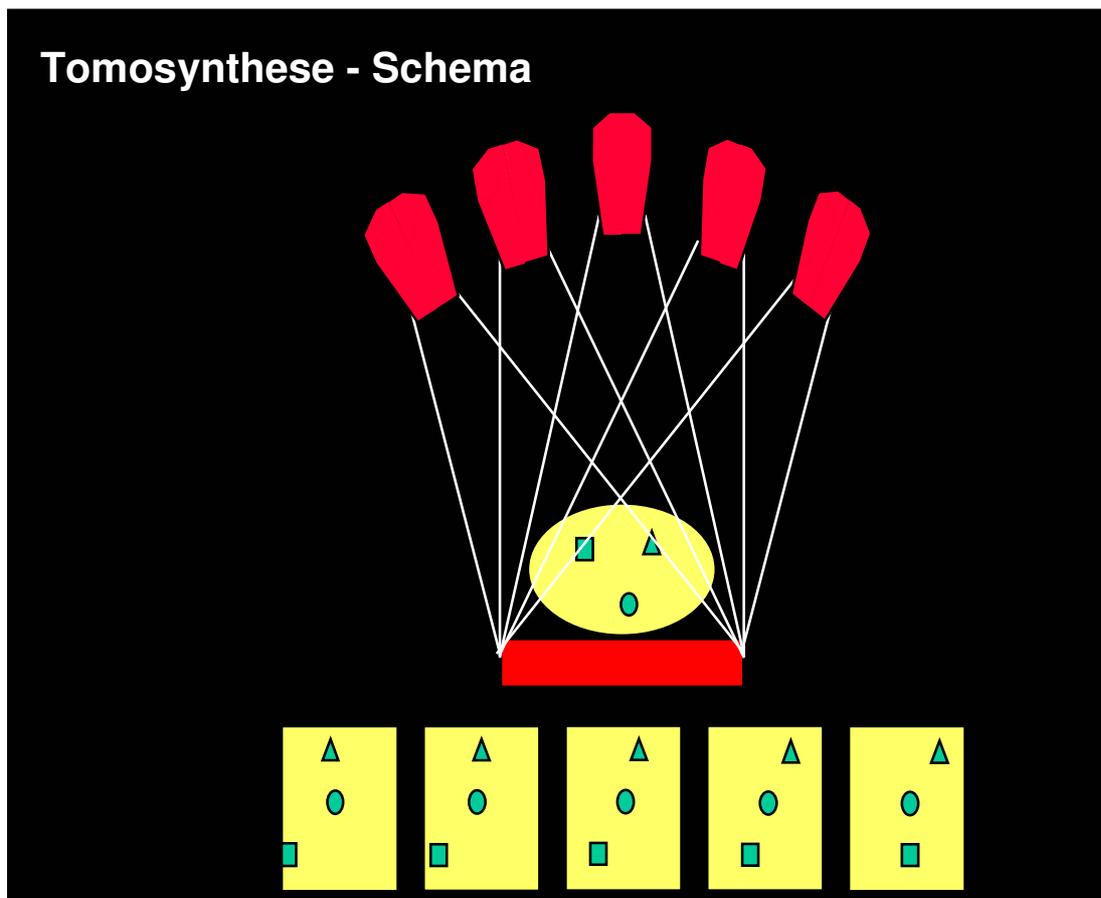


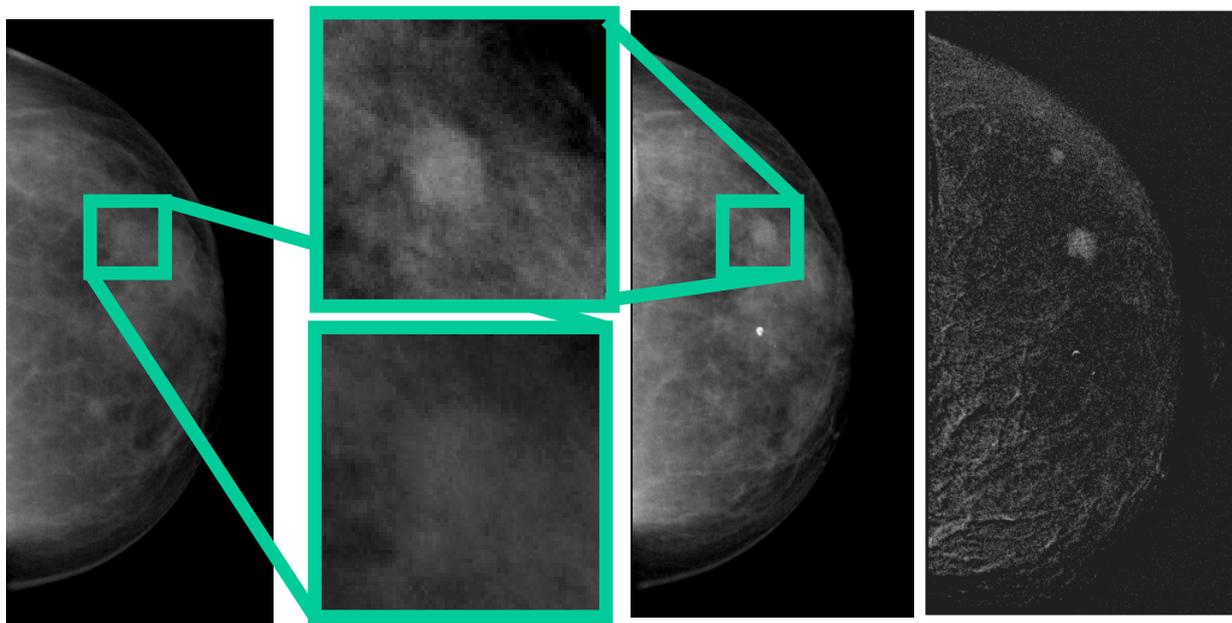
Abb. 10: Schemazeichnung Tomosynthese

Abbildung 10 zeigt schematisch den Ablauf einer Tomosyntheseaufnahme. Normalerweise wird bei der Durchführung der Tomosynthese auf den Einsatz von Streustrahlenrastern verzichtet. Das vermehrte Rauschen in den Einzelaufnahmen durch die stark reduzierte Dosis (das Verfahren sollte keine höhere Dosis aufweisen als eine normale digitale Mammographie) kann in diesem Fall nicht einfach durch Addition der Einzelaufnahmen ausgeglichen werden, da die einzelnen Aufnahmen ja

gegeneinander versetzt aufgenommen werden. Inwieweit dies die Detektion von Mikroverkalkungen beeinträchtigt, muss Gegenstand zukünftiger Studien sein. Zusätzlich erscheint es problematisch, dass nicht die gesamte Detektorgröße zur Tomosynthese ausgenutzt werden kann, insbesondere wenn herkömmliche 18x24 cm große Detektoren verwendet werden. Trotz dieser Probleme eröffnet sich mit der Tomosynthese, ggf. auch in Verbindung mit der Kontrastmittelmammographie, eine vielversprechende Möglichkeit für zukünftige Mammographieverfahren.

5.2. Kontrastmittelmammographie

Prinzipiell ist das Kontrastmittelverhalten von Tumoren im Bereich der Brust in zahlreichen Studien untersucht worden. Schon früh wurde der Effekt von Kontrastmitteln auf die Sichtbarkeit von Brusttumoren im CT beschrieben [35]. Obwohl neuere Untersuchungen mit Multislice-CT diesen Effekt erneut aufgreifen, bleibt die Untersuchung vom Kontrastmittelverhalten von Brusttumoren zur Zeit im klinischen Alltag in erster Linie der MRT (Kernspintomographie) vorbehalten. MRT-Kontrastmittel werden bei dieser Fragestellung schon seit den 80er Jahren eingesetzt. Seit wenigen Jahren steht mit der direkten digitalen Vollfeldmammographie ein Verfahren zur Verfügung, welches den praktikablen Einsatz von Kontrastmitteln auch in der Röntgenmammographie erlaubt. Ziel der Kontrastmittelmammographie ist es, eine Verbesserung der Visualisierung von Tumoren durch Kontrastmittel zu erreichen **[Originalarbeit 7]**. Das Prinzip ist dabei aus der Kernspintomographie bzw. aus der Computertomographie bekannt: nach der Durchführung einer Leeraufnahme wird Kontrastmittel intravenös verabreicht. Anschließend werden Aufnahmen in unterschiedlichen Zeitintervallen durchgeführt, von denen die Leeraufnahme zur besseren Visualisierung des Enhancements subtrahiert werden kann (dynamische Kontrastmittelmammographie). Abb. 11 zeigt ein Beispiel für eine Kontrastmittelmammographie mit Originalaufnahme, Aufnahme nach KM-Applikation sowie Subtraktionsaufnahme.



Nativ

60 sec post KM

Subtraktion

Abb. 11: Dynamische Kontrastmittelmammographie – Beispiel

In diesem Beispiel ist in der Originalaufnahme kein Tumor sichtbar, die Subtraktionsaufnahme zeigt einen größeren und einen kleineren Herd mit KM-Enhancement. Histologisch erwies sich der größere Herd als papillomatöses Mammakarzinom, der kleinere Herd wurde als benigne (Fibroadenom) klassifiziert.

Die zur Zeit im Röntgen verwendeten Kontrastmittel basieren auf Jodverbindungen. Bei der niederenergetischen Strahlung, wie sie in der Mammographie meistens verwendet wird, sind auch andere Verbindungen als Kontrastmittel vorstellbar (z.B. Bismuthbutrol und bromhaltige Verbindungen) **[Originalarbeit 8]**. Exemplarisch wurden daher schon Versuche zur Visualisierung solcher Substanzen in der Mammographie durchgeführt. Versuche an Patientinnen wurden jedoch bisher ausschließlich mit zugelassenen, jodhaltigen Kontrastmitteln durchgeführt. Diese jodhaltigen Verbindungen sind im Röntgenbild in vivo deutlicher sichtbar, wenn härtere Röntgenstrahlung (möglichst jenseits der K-Kante von Jod) angewendet wird. Daher sind prinzipielle Änderungen am Mammographiegerät selber notwendig. So sollte zur Visualisierung von Jod vor den Untersuchungen ein Kupferfilter in den Strahlengang eingebracht werden. Eine Anpassung der Parameter an die Dichte und Dicke der Brust ist ebenfalls erforderlich.

Insgesamt zeigen die ersten Veröffentlichungen zur digitalen dynamischen Mammographie [36-38], dass es sich um ein vielversprechendes Verfahren handelt.

6. Diskussion

Obwohl es sich bei der herkömmlichen Mammographie um kein perfektes Verfahren handelt, wird die Mammographie derzeit als Mittel der Wahl zur Reduktion der Brustkrebsmortalität und zur Abklärung klinisch suspekter Befunde angesehen[39]. Dabei wird jedoch in Kauf genommen, dass zumindest in Screeninguntersuchungen mit Mammographie ca. jeder 4. Tumor übersehen wird [11, 40]. Wünschenswert wäre daher prinzipiell eine Verbesserung des Verfahrens.

Die digitale Mammographie bietet in diesem Zusammenhang neue Möglichkeiten in der Brustkrebsdiagnostik, die jedoch bisher nicht von allen Autoren uneingeschränkt als positiv bewertet werden. So wird die im Vergleich zur konventionellen Mammographie eingeschränkte Ortsauflösung von einigen Autoren als kritisch angesehen [41]. Dabei wird die Ortsauflösung von der Mehrheit der Autoren als limitierender Faktor für die Beurteilung der Morphologie von Mikroverkalkungen gehalten [42-46] - vereinzelt wird jedoch auch die Auffassung vertreten, dass auch die Beurteilung von Herdbefunden durch verminderte Ortsauflösung eingeschränkt sein könnte [47]. Schon die ersten Phantomstudien mit Kontrast-Detail-Phantomen konnten jedoch zeigen, dass die Detektion der in der Mammographie relevanten Veränderungen in der digitalen Mammographie der Detektion in der konventionellen Mammographie überlegen ist [48-51]. Dabei wurden die Untersuchungen zumeist auf eine Detailgröße beschränkt, die der minimalen Größe von in der konventionellen Mammographie sichtbaren Mikroverkalkungen entspricht. Diese Details konnten in der digitalen Mammographie besser detektiert werden – unabhängig von der Pixelgröße, die zwischen 50 und 100µm in Studien getestet wurde [15]. Einschränkend muss zu Phantomuntersuchungen gesagt werden, dass diese die Realität nicht in ausreichendem Maße widerspiegeln [52]. So wurde in den meisten Phantomstudien den Untersuchern die Möglichkeit gegeben, eine unrealistische Darstellung des Phantoms am Monitor zu wählen (z.B. Betonung der Kontraste durch sehr enge Fenstereinstellung). Solche unrealistischen