



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 209 706.2**
(22) Anmeldetag: **31.07.2020**
(43) Offenlegungstag: **03.02.2022**

(51) Int Cl.: **A61B 6/02 (2006.01)**
A61B 6/00 (2006.01)
G06T 7/00 (2017.01)
G01N 23/044 (2018.01)
G06T 11/00 (2006.01)
G06V 30/194 (2022.01)

(71) Anmelder:
Siemens Healthcare GmbH, München, DE

(72) Erfinder:
Wicklein, Julia, Dr., 91077 Neunkirchen, DE;
Kappler, Steffen, Dr., 91090 Effeltrich, DE

VAN SCHIE, Guido, et al. Generating synthetic mammograms from reconstructed tomosynthesis volumes. IEEE transactions on medical imaging, 2013, 32. Jg., Nr. 12, S. 2322-2331.

(56) Ermittelte Stand der Technik:

US	2016 / 0 302 746	A1
US	2018 / 0 158 228	A1
US	2019 / 0 090 834	A1
US	2019 / 0 231 292	A1
EP	3 797 698	A1
WO	2018/ 183 549	A1

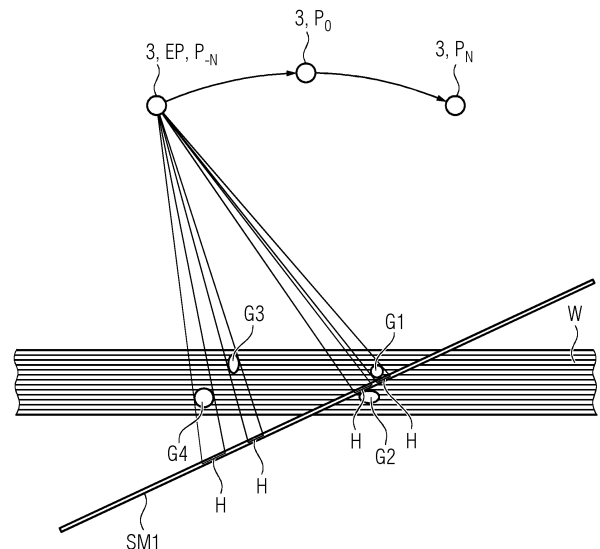
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Synthetisches Mammogramm mit reduzierter Überlagerung von Gewebeeränderungen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren (20) zum Erzeugen eines ersten synthetischen Mammogramms aufweisend die Schritte:

- Aufnehmen (21) eines Tomosynthesedatensatzes aufweisend eine Mehrzahl von Projektionsaufnahmen eines Gewebereichs unter verschiedenen Projektionsrichtungen in einem Projektionswinkelbereich,
- Rekonstruieren (22) eines Schichtbilddatensatzes basierend auf dem Tomosynthesedatensatz,
- Lokalisieren (23) von Gewebeeränderungen in dem Schichtbilddatensatz,
- Bestimmen (24) einer ersten Projektionsrichtung für ein erstes synthetisches Mammogramm basierend auf der räumlichen Verteilung der Gewebeeränderungen in dem Schichtbilddatensatz, und
- Erzeugen (25) des ersten synthetischen Mammogramms in der ersten Projektionsrichtung basierend auf dem Tomosynthesedatensatz.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen eines ersten synthetischen Mammogramms zur verbesserten Erkennung von überlagerten Strukturen bzw. Läsionen.

[0002] Die Digitale Brusttomosynthese (engl.: Digital Breast Tomosynthesis, kurz: DBT) ermöglicht eine dreidimensionale Bildgebung der Brust. Eine Mehrzahl von Schichten wird basierend auf einer Mehrzahl von aufgenommenen (Röntgen-)Projektionen in verschiedenen Höhen rekonstruiert. Es entstehen damit Schichtbilder der Brust. Die Projektionen werden unter verschiedenen Winkeln innerhalb eines eingeschränkten Winkelbereichs aufgenommen, beispielsweise in einem Winkelbereich von im Wesentlichen 50 Grad. Es können dabei beispielsweise 25 Projektionen aufgenommen werden.

[0003] Ein Vorteil der Digitalen Brusttomosynthese gegenüber einer digitalen Vollfeldmammographieaufnahme (engl.: full-field digital mammography, kurz: FFDM) ist die Möglichkeit überlappende Gewebestrukturen aufzulösen bzw. zu trennen. Besonders vorteilhaft können spikulierte Läsionen in bestimmten Schichten erkannt werden. Im Gegensatz dazu kann in einer digitalen Vollfeldmammographieaufnahme die Läsion von anderen Gewebestrukturen oder Gefäßen aus anderen Schichten überlagert sein und so eine Erkennung von Läsionen erschwert sein. Die Digitale Vollfeldmammographie hat insbesondere Vorteile hinsichtlich der Auswertungsgeschwindigkeit durch den Nutzer und der Visualisierung von Mikrokalzifikationsclustern. Daher umfassen klinische Protokolle in der Regel die Digitale Brusttomosynthese als auch die digitale Vollfeldmammographie, um die Vorteile beider Bildgebungsverfahren zu kombinieren. Nachdem jedoch bei der Digitalen Brusttomosynthese als auch bei der digitalen Vollfeldmammographie ungefähr die gleiche Dosis appliziert wird, wird durch Kombination beider Bildgebungsverfahren die Patientendosis in etwa verdoppelt im Vergleich zu einer digitalen Vollfeldmammographie allein.

[0004] Daher ist es wünschenswert ein sogenanntes synthetisches Mammogramm aus dem aufgenommenen Tomosynthesedatensatz der Digitalen Brusttomosynthese zu berechnen. Dadurch kann eine zusätzliche Dosis vermieden oder reduziert werden, wobei die Vorteile der zweidimensionalen Digitalen Vollfeldmammographie erhalten bleiben.

[0005] Die Vorwärtsprojektion eines dreidimensionalen Tomosynthesevolumentensatzes auf eine zweidimensionale Schicht führt wiederum zu überlappendem Gewebe und Strukturen bzw. Läsionen und damit werden die Vorteile der Digitalen Brusttomosynthese nicht mehr ausgeschöpft. Dieser Nachteil kann ver-

hindert werden, indem Verfahren der sogenannten Computer Aided Detection (kurz: CAD) angewendet werden. Ein CAD-Verfahren kann spezifische Regionen im Tomosynthesevolumentensatz erkennen, welche für den Radiologen bzw. Nutzer interessant sind. Die erkannten Regionen können im synthetischen Mammogramm derart hervorgehoben oder markiert werden, dass diese erkannten Regionen in der zweidimensionalen Darstellung im synthetischen Mammogramm ebenfalls sichtbar sind. Die Läsionen können dabei weiterhin überlappen.

[0006] Eine weitere Möglichkeit ist der Verwendung einer Wahrscheinlichkeitskarte basierend auf einer gewichteten Subtraktion eines Hoch-Energie- und Niedrig-Energie-Tomosynthesedatensatzes bzw. eines sogenannten Dual-Energy-Tomosynthesedatensatzes. Damit können ebenfalls interessierende Regionen erkannt werden. Das Problem von zwei oder mehr überlappenden Strukturen in der Ebene der Vorwärtsprojektion bleibt jedoch bestehen.

[0007] Aus der Druckschrift DE 10 2011 003 135 B4 ist ein Mammographieverfahren bekannt, bei dem ein simuliertes Volumen, das einen Gewebebereich darstellt, rotiert wird.

[0008] Das angezeigte rotierende synthetische Mammogramm entspricht einer Mehrzahl von zweidimensionalen synthetischen Mammogrammen, welche für verschiedenen Projektionswinkel berechnet werden. Durch Rotieren oder Blättern durch die Mehrzahl der synthetischen Mammogramme innerhalb des rotierenden synthetischen Mammogramms können verdeckte bzw. überlagerte Strukturen oder Läsionen mittels der verschiedenen Ansichtsrichtungen erkannt werden.

[0009] Die Erfinder haben das Problem erkannt, dass das Erkennen von überlagerten Strukturen bzw. Läsionen in zweidimensionalen Ansichten erschwert ist, aber zweidimensionale Ansichten gleichzeitig besonders vorteilhaft für eine schnelle Auswertung der Aufnahmen sind.

[0010] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren, ein Mammographiesystem, ein Computerprogrammprodukt und einen computerlesbaren Datenträger anzugeben, welche eine verbesserte Erkennung von überlagerten Strukturen bzw. Läsionen in einem zweidimensionalen synthetischen Mammogramm ermöglichen.

[0011] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1, ein Mammographiesystem nach Anspruch 13, ein Computerprogrammprodukt nach Anspruch 14 und einen computerlesbaren Datenträger nach Anspruch 15.

[0012] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen eines ersten synthetischen Mammogramms aufweisend die Schritte des Aufnehmens, des Rekonstruierens, des Lokalisierens, des Bestimmens und des Erzeugens. Ein Anwendungsgebiet des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Mammographie.

[0013] Im Schritt des Aufnehmens wird ein Tomosynthesedatensatz aufweisend eine Mehrzahl von Projektionsaufnahmen eines Gewebebereichs unter verschiedenen Projektionsrichtungen in einem Projektionswinkelbereich aufgenommen. Die Projektionsaufnahmen des Gewebebereichs werden durch von einer Röntgenquelle abgegebene Strahlung, die nach Durchlaufen des Gewebebereichs von einem Röntgendetektor erfasst wird, erzeugt.

[0014] Der Tomosynthesedatensatz umfasst eine Mehrzahl von Projektionsdatensätzen. Ein Projektionsdatensatz wird für eine Projektionsrichtung aufgenommen. Die Röntgenquelle kann sich beispielsweise entlang eines Kreissegments bewegen bzw. geschwenkt werden. Alternativ können mehrere Röntgenemitter beispielsweise entlang eines Kreisbogens oder einer Gerade angeordnet sein. Der Röntgendetektor kann bevorzugt feststehend bzw. stationär angeordnet sein. Alternativ kann der Röntgendetektor beispielsweise entgegen der Bewegung der Röntgenquelle bewegt oder gekippt werden. Die Projektionsrichtung kann insbesondere durch die Einfallsrichtung des Zentralstrahls auf den Röntgendetektor oder einen Raumpunkt im Untersuchungsobjekt, hier bevorzugt der Brust, festgelegt sein. Eine zentrale Projektion kann beispielsweise unter einem Projektionswinkel von 0 Grad aufgenommen werden, dabei kann die Projektionsrichtung einer Flächennormalen der Detektionsfläche entsprechen.

[0015] Das zu untersuchende Gewebe, insbesondere die Brust, kann über dem insbesondere stationären Röntgendetektor positioniert werden, wobei das zu untersuchende Gewebe bevorzugt komprimiert wird. Das Brustgewebe kann in einer Kompressionseinheit komprimiert werden. Die Kompressionseinheit kann beispielsweise eine obere Kompressionsplatte und eine untere Kompressionsplatte umfassen. Die untere Kompressionsplatte kann beispielsweise durch die Oberseite des Röntgendetektors bzw. dessen Gehäuse ausgebildet sein.

[0016] Die Röntgenquelle kann in mehreren Schritten bzw. kontinuierlich geschwenkt werden, beispielsweise in einem Bereich von +/-25 Grad, und es können eine Mehrzahl zweidimensionaler Röntgenbilder bzw. Projektionsdatensätze aus unterschiedlichen Schwenkstellungen der Röntgenquelle bzw. aus unterschiedlichen Projektionsrichtungen aufgenommen werden. Insbesondere kann dabei ein ortsfester Röntgendetektor verwendet werden.

[0017] Die Röntgenquelle emittiert beispielsweise bei cranio-caudal-Aufnahmen Röntgenstrahlen von Positionen, die entlang einer Linie angeordnet sind, die parallel zur Achse von Schulter zu Schulter einer Patientin verläuft. Durch einen zur Brustwand parallelen Strahlengang kann erreicht werden, dass das gesamte Gewebe der Brust abgebildet wird und der Thorax nicht bestrahlt wird. Aus der Mehrzahl zweidimensionaler Röntgenbilder wird dann mittels der Rekonstruktion ein dreidimensionales Bild erzeugt.

[0018] Im Schritt des Rekonstruierens wird ein Schichtbilddatensatz basierend auf dem Tomosynthesedatensatz bzw. basierend auf der Mehrzahl von Projektionsaufnahmen rekonstruiert. Dabei wird ein Schichtbilddatensatz erzeugt.

[0019] Der Schichtbilddatensatz kann mittels einer Rückprojektion, insbesondere einer gefilterten Rückprojektion, iterativen Rekonstruktion oder algebraischen Rekonstruktion basierend auf dem Tomosynthesedatensatz erzeugt werden.

[0020] Im Schritt des Lokalisierens werden Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz lokalisiert. Eine Gewebeveränderung kann eine veränderte Gewebedichte, eine kalzifizierte Struktur, eine Läsion, eine sogenannte Masse oder eine Auffälligkeit, beispielsweise in den Schwächungswerten, sein. Es kann insbesondere eine dreidimensionale Wahrscheinlichkeitskarte für Gewebeveränderungen, insbesondere automatisch, erstellt werden. Die Gewebeveränderung kann auch als Risikoangabe für eine Malignität angegeben werden. Die Gewebeveränderung kann beispielsweise mittels eines Verfahrens des Maschinellen Lernens, eines neuronalen Netzes oder/und eines „computer aided detection“-Verfahrens (CAD-Verfahrens) bestimmt werden. Ermittelte Gewebeveränderungen können in einer dreidimensionalen Wahrscheinlichkeitskarte beispielsweise als Wahrscheinlichkeitswert eingetragen werden. Der Wahrscheinlichkeitswert kann eine Wahrscheinlichkeit für malignes Gewebe angeben. Die Wahrscheinlichkeitskarte kann beispielsweise die Lage, insbesondere mit einer x-y-z-Koordinate, und eine Ausdehnung bzw. eine räumliche Verteilung der Gewebeveränderung umfassen.

[0021] Im Schritt des Bestimmens wird eine erste Projektionsrichtung für ein erstes synthetisches Mammogramm basierend auf der räumlichen Verteilung der Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz bestimmt. Die erste Projektionsrichtung kann insbesondere automatisch bestimmt werden. Dabei kann insbesondere eine erste Projektionsrichtung bestimmt werden, mit welcher besonders viele Gewebeveränderungen getrennt voneinander und nicht überlappend in einer zweidimensionalen Darstellung dargestellt werden können. Die erste Projektionsrichtung kann auch als optimale Projektionsrichtung

tung bezeichnet werden. Mit der ersten Projektionsrichtung kann eine verbesserte Übersicht von Gewebeveränderungen dargestellt werden. In der ersten Projektionsrichtung können insbesondere mehr Gewebeveränderungen dargestellt werden als in anderen Projektionsrichtungen. Die erste Projektionsrichtung kann eine bevorzugte Projektionsrichtung sein.

[0022] Im Schritt des Erzeugens wird das erste synthetische Mammogramm in der ersten Projektionsrichtung basierend auf dem Tomosynthesedatensatz erzeugt. Es können dabei beispielsweise der Schichtbilddatensatz und/oder die Projektionsdatensätze des Tomosynthesedatensatzes verwendet werden. Das synthetische Mammogramm wird in der ersten Projektionsrichtung erzeugt. Die erste Projektionsrichtung kann von der zentralen Projektionsrichtung, beispielsweise 0 Grad, verschieden sein.

[0023] Die Berechnung des synthetischen Mammogramms bzw. einer synthetischen Projektion kann insbesondere auf Basis von dem Tomosynthesedatensatz erfolgen. Nachdem die Projektionsdatensätze nur mit einem Bruchteil der Dosis für eine digitale Vollfeld-Mammographieaufnahme aufgenommen werden, beispielsweise 1/25 der Dosis bei 25 Projektionen, leidet das Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis enorm für jede einzelne Projektion. Zudem kann mit einer Verschmierung der Information aufgrund der Bewegung der Röntgenquelle gerechnet werden. Daher erfüllt die Verwendung einer einzigen Projektionsaufnahme nicht die Anforderungen an eine Aufnahme in zufriedenstellender Qualität. Um die Information aus dem Tomosynthesevolumen möglichst vollständig im synthetischen Mammogramm zu berücksichtigen, kann eine Rückprojektion der rekonstruierten Volumendaten verwendet werden. Beispielsweise kann eine Durchschnitts-Intensitäts-Projektion (engl.: average intensity projection, AIP), ein mittleres Projektionsbild, eine Maximums-Intensitäts-Projektion (engl.: maximum intensity projection, MIP) oder ggf. eine Hoch-Interesse-Projektion (engl.: high interest projection, HIP) als Grundlage verwendet werden. Es kann der Projektionsdatensatz der ersten Projektionsrichtung als Grundlage verwendet werden. Es können alternativ oder zusätzlich weitere bekannte Verfahren zur Berechnung eines synthetischen Mammogramms verwendet werden.

[0024] Die Erfinder haben erkannt, dass eine ideale bzw. optimale bzw. optimierte Projektionsrichtung, hier die erste Projektionsrichtung, für das zweidimensionale erste synthetische Mammogramm verwendet werden kann, um die Vorteile eines rotierenden Mammogramms zurück in eine zweidimensionale Darstellung zu übertragen. Vorteilhaft kann damit eine reduzierte Auswertungszeit, die sogenannte

„reading time“, erreicht werden, insbesondere bei Screening-Anwendungen oder beim Vergleichen mit einer vorherigen Aufnahme einer vorherigen Untersuchung. Die vorherige Aufnahme kann beispielsweise ein digitale Vollfeldmammographie-Aufnahme oder ein synthetisches Mammogramm sein. Das erste synthetische Mammogramm kann zusätzlich hervorgehobene oder markierte Strukturen übertragen aus einer dreidimensionalen Wahrscheinlichkeitskarte für Gewebeveränderungen umfassen.

[0025] Die erste Projektionsrichtung kann vorteilhaft eine verbesserte Auflösung von Gewebeveränderungen erlauben. Vorteilhaft kann ein zum Überblick über die Untersuchung zunächst ein erstes synthetisches Mammogramm betrachtet werden, beispielsweise statt eines rotierenden Mammogramms oder der Ansicht vieler Schichten nacheinander. Vorteilhaft kann die Auswertungszeit des Nutzers verkürzt werden.

[0026] Gemäß einem Aspekt der Erfindung weist das erste synthetische Mammogramm einen minimalen Überlapp von Gewebeveränderungen aus unterschiedlichen Schichten des Schichtbilddatensatzes auf. Die Gewebeveränderungen können insbesondere in der Tiefe, also über mehrere Schichten, verteilt im Untersuchungsgewebe verteilt sein. Die Gewebeveränderungen können zudem unterschiedliche oder ähnliche räumliche Ausdehnungen aufweisen, sowohl flächig innerhalb der Schichtebene also auch innerhalb einer oder mehrerer Schichtdicken. In der Projektion entlang einer Projektionsrichtung können damit Überlappungen von Gewebeveränderungen vorhanden sein. Durch den Überlapp können überlappende Gewebeveränderungen nicht separiert werden. Durch den Überlapp können Gewebeveränderungen durch Gewebeveränderungen in einer anderen Schicht überdeckt bzw. verdeckt werden. Es kann beispielsweise ein Maximierungsverfahren angewendet werden, um die erste Projektionsrichtung zu bestimmen, in welcher beispielsweise die meisten Gewebeveränderungen oder flächenmäßig in der Projektion die höchste Belegung mit Gewebeveränderungen ausgebildet sind. Es kann ein minimaler Überlapp von Gewebeveränderungen erreicht werden. Vorteilhaft kann die Diagnose verbessert werden. Vorteilhaft kann das erste synthetische Mammogramm als eine verbesserte Übersichtsaufnahme, beispielsweise zu Beginn der Auswertung, verwendet werden.

[0027] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird im Schritt des Lokalisierens eine Wahrscheinlichkeitskarte für Gewebeveränderungen erzeugt. Die Wahrscheinlichkeitskarte kann auch als Läsions-Wahrscheinlichkeitskarte bezeichnet werden. Gefundene oder vermutete Gewebeveränderungen können in einer insbesondere dreidimensionalen Wahrscheinlichkeitskarte eingetragen werden. Die Wahrschein-

lichkeitskarte kann beispielsweise eine Wahrscheinlichkeit für eine Gewebeveränderung bzw. für malignes Gewebe angeben. Die Wahrscheinlichkeitskarte kann vorteilhaft die Verteilung von Gewebeveränderungen tiefenaufgelöst im Tomosynthesevolumen umfassen. Die Wahrscheinlichkeitskarte kann als ein Volumen zur Darstellung von Gewebeveränderungen verstanden werden.

[0028] Die drei Dimensionen der Wahrscheinlichkeitskarte können sich beispielsweise in der Schichtebene und in Stapelrichtung der Schichten erstrecken. Die Wahrscheinlichkeitswerte können Raumpunkten oder Voxeln innerhalb des Tomosynthesevolumens zugeordnet sein. Die Koordinaten der Raumpunkte bzw. Voxel können in kartesischen Koordinaten angegeben sein.

[0029] Gemäß einem Aspekt der Erfindung werden im Schritt des Bestimmens mehrere Vorwärtsprojektionsdatensätze mittels Vorwärtsprojektion der Wahrscheinlichkeitskarte für jeweils eine unterschiedliche Projektionsrichtung erzeugt. Es kann ein minimaler bzw. verringerter Überlapp von Gewebeveränderungen in der zweidimensionalen Darstellung beispielsweise durch eine Vorwärtsprojektion einer Wahrscheinlichkeitskarte für Gewebeveränderungen bzw. für maligne Regionen erreicht werden. Der Überlapp kann auch als Überlappung, Verdeckung oder Überlagerung bezeichnet werden. Der Überlapp kann sich insbesondere auf eine zweidimensionale Darstellung beziehen. Die insbesondere dreidimensionale Wahrscheinlichkeitskarte kann mittels Vorwärtsprojektion in einer Projektionsrichtung in einen Vorwärtsprojektionsdatensatz abgebildet werden. Für unterschiedliche Projektionsrichtungen können entsprechend unterschiedliche Vorwärtsprojektionsdatensätze erzeugt werden. Vorteilhaft können unterschiedliche Vorwärtsprojektionsdatensätze bzw. unterschiedliche Projektionsrichtungen hinsichtlich der Verteilung von Gewebeveränderungen in der Projektion verglichen werden.

[0030] Beispielsweise kann für jede Projektionsrichtung der Aufnahme des Tomosynthesedatensatzes ein Vorwärtsprojektionsdatensatz bestimmt werden. Beispielsweise kann für eine Mehrzahl von Projektionsrichtungen der Aufnahme des Tomosynthesedatensatzes ein Vorwärtsprojektionsdatensatz bestimmt werden. Beispielsweise kann für jede zweite Projektionsrichtung ein Vorwärtsprojektionsdatensatz bestimmt werden. Die Anzahl der zu bestimmenden Vorwärtsprojektionsdatensätze kann beispielsweise von der Gesamtzahl der Gewebeveränderungen in der Wahrscheinlichkeitskarte abhängen. Je mehr Gewebeveränderungen in der Wahrscheinlichkeitskarte verzeichnet sind, desto mehr Projektionsrichtungen können herangezogen werden.

[0031] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird für eine Mehrzahl von Projektionsrichtungen ein Parameterwert basierend auf der flächigen Verteilung der Wahrscheinlichkeitswerte für Gewebeveränderungen im Vorwärtsprojektionsdatensatz bestimmt.

[0032] Für einen Vergleich der Projektionsrichtungen hinsichtlich der Verteilung der Gewebeveränderungen kann ein Parameter bzw. ein Parameterwert dazu bestimmt werden. Der Parameter kann beispielsweise für alle Untersuchungen gleich gewählt werden. Alternativ kann der Parameter beispielsweise in Abhängigkeit der Anzahl der Gewebeveränderungen in der Wahrscheinlichkeitskarte gewählt werden.

[0033] Ein Parameter zur Bestimmung einer optimalen bzw. ersten Projektionsrichtung kann beispielsweise die Anzahl verbundener Komponenten bzw. Elemente innerhalb der zweidimensionalen Darstellung bzw. dem Vorwärtsprojektionsdatensatz sein. Die Anzahl der verbundenen Elemente in dem vorwärtsprojizierten Bild und damit die Projektionsrichtung kann als optimal bezeichnet werden, wenn die Anzahl der verbundenen Elemente nah an der Anzahl der Gewebeveränderungen in der dreidimensionalen Wahrscheinlichkeitskarte ist.

[0034] Ein Parameter zur Bestimmung einer optimalen bzw. ersten Projektionsrichtung kann beispielsweise die Anzahl von hervorgehobenen oder markierten Pixeln innerhalb der zweidimensionalen Darstellung bzw. dem Vorwärtsprojektionsdatensatz sein. Durch die Maximierung der Anzahl hervorgehobener oder markierter Pixel im Vorwärtsprojektionsdatensatz bzw. im synthetischen Mammogramm kann die optimale bzw. erste Projektionsrichtung bestimmt werden. Die flächige Verteilung kann in einer Belegung von Bildelementen mit der Information eine Gewebeveränderung angegeben werden. Die flächige Verteilung kann ein Flächenmaß für Gewebeveränderungen in der Projektion angeben.

[0035] Der Parameterwert des Parameters kann insbesondere eine natürliche oder reelle positive Zahl sein. Es können mehrere Parameter, beispielsweise zu einem Parameter und entsprechend einem gemeinsamen Parameterwert, kombiniert werden.

[0036] Der Parameter und dessen Parameterwert kann insbesondere ein Maß für Gewebeveränderungen sein, insbesondere die Anzahl von Regionen mit mindestens einer Gewebeveränderung bzw. von Gewebeveränderungen, die Anzahl von Läsionen, die Anzahl von verbundenen Elementen bzw. Gewebeveränderungen, die Fläche der Gewebeveränderungen in der Projektion oder die Anzahl der hervorgehobenen Bildelemente bzw. Pixel in der Projektion. Vorteilhaft kann eine optimale Projektionsrich-

tung automatisch über einen numerischen Wert bestimmt werden.

[0037] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird im Schritt des Bestimmens die Projektionsrichtung mit dem maximalen Parameterwert als erste Projektionsrichtung bestimmt. Die Projektionsrichtung, der der maximale Parameterwert zugeordnet ist, kann als erste Projektionsrichtung bestimmt werden.

[0038] Es können die Parameterwerte für die unterschiedlichen Projektionsrichtungen verglichen werden. Idealerweise kann ein maximaler Parameterwert bestimmt werden. Die Projektionsrichtung aufweisend den maximalen Parameterwert kann insbesondere als optimale Projektionsrichtung ausgebildet sein, um die Gewebeveränderungen verbessert darzustellen. Die Projektionsrichtung, der der maximale Parameterwert zugeordnet ist, kann als erste Projektionsrichtung gewählt werden. Vorteilhaft kann eine optimale Projektionsrichtung vereinfacht bestimmt werden. Die optimale Projektionsrichtung bzw. erste Projektionsrichtung können insbesondere automatisch bestimmt werden.

[0039] Gemäß einem Aspekt der Erfindung werden die bestimmten Parameterwerte miteinander verglichen, und im Fall von mindestens zwei Parameterwerten im Bereich zwischen dem maximalen bestimmten Parameterwert und 90 Prozent des maximalen bestimmten Parameterwertes, wird diejenige Projektionsrichtung als erste Projektionsrichtung gewählt, welche am nächsten zu einer Zentralprojektionsrichtung angeordnet ist. Im Fall von einem weiteren Parameterwert in Bezug auf eine von der ersten Projektionsrichtung verschiedene weitere Projektionsrichtung mit einer Abweichung von bis zu 10 Prozent vom einem maximalen Parameterwert, kann beispielsweise diejenige Projektionsrichtung am nächsten zur Zentralprojektionsrichtung als erste Projektionsrichtung gewählt werden.

[0040] Liegen zwei oder mehr Parameterwerte einschließlich des maximalen Parameterwertes in einem engen Wertebereich, so können prinzipiell die zugeordneten Projektionsrichtungen geeignet oder optimal sein. Liegen zwei oder mehr Parameterwerte einschließlich des maximalen Parameterwertes in einem engen Wertebereich, so kann aus den Projektionsrichtungen, die diesen Parameterwerten zugeordnet sind, eine Projektionsrichtung als erste Projektionsrichtung, insbesondere automatisch, ausgewählt werden.

[0041] Im Fall von mehreren optimalen oder geeigneten Projektionswinkeln, kann die Projektionsrichtung, welche am nächsten zur Zentralprojektionsrichtung bzw. zur Projektionsrichtung unter einer Röntgenquellenstellung von 0 Grad liegt, gewählt werden. Vorteilhaft können bei einer Projektionsrichtung um

etwa 0 Grad bzw. bei der zentralen Projektionsrichtung Artefakte, beispielsweise Verschmierungen, reduziert werden.

[0042] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Überlappungsparameter für den Überlapp von Gewebeveränderungen aus unterschiedlichen Schichten des Schichtbilddatensatzes ermittelt.

[0043] Der Überlappungsparameter kann beispielsweise eine Fläche oder eine Anzahl von zusammenhängenden Bildelementen mit Informationen mindestens einer Gewebeveränderung umfassen. Die Informationen der mindestens einen Gewebeveränderung können ihren Ursprung in verschiedenen Schichten des Schichtbilddatensatzes haben. Eine größere Fläche kann ein Hinweis auf mehrere in der Projektion, insbesondere teilweise, überlappende Gewebeveränderungen sein. Beispielsweise kann eine mittlere Fläche der Gewebeveränderungen für einen Vorwärtsprojektionsdatensatz oder für mehrere Projektionsdatensätze, insbesondere einzeln, bevorzugt gemeinsam, bestimmt werden. Im Falle einer Abweichung von beispielsweise mindestens einem Faktor 2 vom Mittelwert, kann es sich entweder um eine große Gewebeveränderung oder einen Überlapp von mehreren Gewebeveränderungen handeln. Falls eine Abweichung vom Mittelwert, beispielsweise einem Faktor 2, nur in einer Projektionsrichtung zu beobachten ist, kann dies ein Hinweis darauf sein, dass es sich um einen Überlapp handelt. Der Schwellwert kann sich beispielsweise auf eine Abweichung vom Mittelwert beziehen. In obigem Beispiel wäre der Schwellwert Faktor 2 des Mittelwerts. Der Schwellwert kann sich beispielsweise auf eine Größe der Fläche beziehen.

[0044] Der Überlappungsparameter kann eine Anzahl der Gewebeveränderungen in den Vorwärtsprojektionsdatensätzen umfassen. Es kann für mehrere Projektionsrichtungen jeweils im Vorwärtsprojektionsdatensatz eine Anzahl von Gewebeveränderungen bzw. zusammenhängenden Elementen bestimmt werden. Die zu erwartende Anzahl der Gewebeveränderungen kann einem vorbestimmten Wert gemäß der Wahrscheinlichkeitskarte entsprechen. Die zu erwartende Anzahl kann der Anzahl der Gewebeveränderungen in der Wahrscheinlichkeitskarte entsprechen. Eine Schwankung der Anzahl der Gewebeveränderungen in den Vorwärtsprojektionsdatensätzen in Abhängigkeit der Projektionsrichtung kann ein Hinweis auf einen Überlapp von Gewebeveränderungen geben. Eine niedrigere Anzahl kann auf einen Überlapp hinweisen. Eine höhere Anzahl kann auf geringeren Überlapp hinweisen. Ein Schwellwert kann basierend auf der erwarteten Anzahl festgelegt werden, beispielsweise mittels einer prozentualen Abweichung. Ein Schwellwert kann vorbestimmt sein. Der Schwellwert kann beispielsweise auf statistischen Werten basieren. Der

Schwellwert kann beispielsweise auf der komprimierten Brustdicke basieren. Eine Projektionsrichtung mit einer Anzahl nahe an der erwarteten Anzahl kann insbesondere der ersten Projektion entsprechen. Der Schwellwert kann basierend auf einer Abweichung oder Differenz basierend auf der erwarteten Anzahl und der Anzahl im Vorwärtsprojektionsdatensatz festgelegt werden. Beispielsweise kann eine Differenz von 2 als Schwellwert festgelegt sein.

[0045] Im Rahmen der Vorwärtsprojektion können Bildelemente mit einem Eintrag von mehr als einer Gewebeveränderung, insbesondere aus unterschiedlichen Schichten, aus der Wahrscheinlichkeitskarte mit einem Überlappungskennner markiert werden. Der Schwellwert kann dabei über die Anzahl oder der Abstand der beitragenden Schichten festgelegt werden. Der Schwellwert kann damit beispielsweise ein Abstand von einer Schicht sein. Eine Gewebeveränderung kann sich über mehrere Schichten erstrecken. Für den Schwellwert hinsichtlich einer Anzahl von beitragenden Schichten kann ein statistisch oder erfahrungsgemäß bekannter Wert bezüglich der Ausdehnung von Gewebeveränderungen herangezogen werden.

[0046] Es kann eine Vorwärtsprojektion einer binären Wahrscheinlichkeitskarte erstellt werden, bei der jede Gewebeveränderung auf eine Schicht mit maximaler Ausdehnung reduziert wird. Damit kann eine zweidimensionale Karte, bei der alle Einträge größer 1 auf Überlappung mehrerer Gewebeveränderungen hinweist, erzeugt werden. Für die zentralen Projektionen kann dies bei Reduzierung auf eine Schicht in z-Richtung ermöglicht werden. Bei den äußeren Projektionen kann man diese Schicht parallel zur entsprechenden Projektionsrichtung legen, um Fehler an den Randbereichen der Gewebeveränderungen zu vermeiden.

[0047] Vorteilhaft kann ein Überlapp bzw. eine Überlappung von Gewebeveränderungen quantifiziert werden. Vorteilhaft kann beispielsweise der Nutzer auf einen Überlapp hingewiesen werden.

[0048] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird bei einem Überlappungsparameter oberhalb eines Schwellwertes das erste synthetische Mammogramm in zwei Schichtbilder unterteilt. Der Schwellwert kann insbesondere so definiert sein, dass bei einem Überschreiten ein Hinweis auf einen Überlapp vorliegen kann. Bei Überschreiten des Schwellwertes durch den Überlappungsparameter können für das erste synthetische Mammogramm zwei sogenannte dicke Schichten erzeugt werden. Das erste synthetische Mammogramm kann damit in zwei Schichten aufgeteilt werden. Die beiden Schichten können insbesondere das Tomosynthesevolumen hälftig aufgeteilt darstellen. Alternativ kann die Schichtdicke für die beiden Schichten unterschied-

lich sein, beispielsweise in Abhängigkeit von der Dichte bzw. Verteilung von Gewebeveränderungen in der Wahrscheinlichkeitskarte in Bezug auf die Tiefe im Untersuchungsobjekt.

[0049] Es können damit mehr als ein synthetisches zweidimensionales Bild, insbesondere in der zentralen Projektionsrichtung, erzeugt werden. Bei einem Hinweis auf eine besonders hohe Anzahl an Gewebeveränderungen kann die zentrale Projektionsrichtung bevorzugt als erste Projektionsrichtung gewählt oder bestimmt werden.

[0050] Die Unterteilung in mindestens zwei Schichtbilder kann damit einer Rekonstruktion eines Tomosynthesevolumens mit sehr dicken und gleichzeitig wenigen Schichten entsprechen. Die Anzahl der Schichten kann dabei insbesondere minimal gewählt werden, so dass überlappende Strukturen bzw. Gewebeveränderungen reduziert oder bevorzugt vermieden werden. Vorteilhaft kann die Auswertung von Aufnahmen mit insbesondere vielen Gewebeveränderungen vereinfacht werden.

[0051] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird bei einem Überlappungsparameter oberhalb eines Schwellwertes ein erstes synthetisches Mammogramm in einer ersten Projektionsrichtung und ein zweites synthetisches Mammogramm in einer von der ersten Projektionsrichtung verschiedenen zweiten Projektionsrichtung erstellt. Die erste und zweite Projektionsrichtung können bevorzugt möglichst weit voneinander entfernt sein. Beispielsweise können das erste und zweite synthetische Mammogramm für die maximal entfernten Projektionsrichtungen, beispielsweise -25 Grad und +25 Grad, erzeugt werden. Beispielsweise können das erste und das zweite synthetische Mammogramm für geeignete Projektionsrichtungen mit einem Mindestabstand von 5 oder 10 Grad erzeugt werden. Beispielsweise können das erste und das zweite synthetische Mammogramm für die zentrale Projektionsrichtung und eine geeignete Projektionsrichtung erzeugt werden. Beispielsweise können das erste und das zweite synthetische Mammogramm für minimal entfernte optimale Projektionsrichtungen erzeugt werden.

[0052] Im Fall, dass keine eindeutige optimale Projektionsrichtung zur Auflösung aller überlappender Gewebeveränderungen gefunden werden kann, können zwei synthetische zweidimensionale Bilder erzeugt werden. Vorteilhaft kann die Auswertung von Aufnahmen mit insbesondere vielen Gewebeveränderungen vereinfacht werden.

[0053] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird die Gewebeveränderung im ersten synthetischen Mammogramm und/oder im zweiten synthetischen Mammogramm hervorgehoben oder markiert. Die Gewebeveränderungen können im ersten und/oder zwei-

ten synthetischen Mammogramm gemäß der Wahrscheinlichkeitskarte, insbesondere farblich, hervorgehoben oder markiert werden. Die Markierung kann beispielsweise durch ein Symbol oder eine Umrandung der Gewebeveränderung erfolgen. Von einer Gewebeveränderung im ersten und/oder zweiten synthetischen Mammogramm kann, beispielsweise mittels Auswahl oder Klick auf einer Anzeigeeinheit oder alternativ in einem automatischen Arbeitsablauf, eine Navigation in das Schichtbild bzw. die Schicht des Tomosynthesevolumens mit der Gewebeveränderung erfolgen. Vorteilhaft kann die Auswertung der Tomosyntheseaufnahme vereinfacht werden.

[0054] Gemäß einem Aspekt der Erfindung weist das Verfahren ferner den Schritt des Anzeigens von mindestens einem der nachfolgenden auf:

- eines ersten synthetischen Mammogramms,
- eines ersten synthetischen Mammogramms mit einer Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen,

in Verbindung mit mindestens einem der nachfolgenden:

- ein synthetisches Mammogramm in einer Zentralprojektionsrichtung,
- ein synthetisches Mammogramm in einer Zentralprojektionsrichtung mit einer Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen,
- ein Schichtbilddatensatz.

[0055] Die Zentralprojektionsrichtung kann auch als zentrale Projektionsrichtung bezeichnet werden. Beispielsweise können folgende Szenarien als Anzeigereihenfolge vorgesehen sein:

- erstes synthetisches Mammogramm, Tomosynthesevolumen als Stapel von Schichtbildern;
- synthetisches Mammogramm in zentraler Projektionsrichtung (insbesondere 0 Grad), erstes synthetisches Mammogramm, Tomosynthesevolumen als Stapel von Schichtbildern;
- erstes synthetisches Mammogramm mit Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen, Tomosynthesevolumen als Stapel von Schichtbildern;
- synthetisches Mammogramm in zentraler Projektionsrichtung (insbesondere 0 Grad) mit Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen, erstes synthetisches Mammogramm mit Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen, Tomosynthesevolumen als Stapel von Schichtbildern;
- erstes synthetisches Mammogramm, erstes synthetisches Mammogramm mit Hervorhe-

bung oder Markierung von Gewebeveränderungen, Tomosynthesevolumen als Stapel von Schichtbildern;

- synthetisches Mammogramm in zentraler Projektionsrichtung (insbesondere 0 Grad), synthetisches Mammogramm in zentraler Projektionsrichtung (insbesondere 0 Grad) mit Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen, erstes synthetisches Mammogramm, synthetisches Mammogramm in zentraler Projektionsrichtung (insbesondere 0 Grad) mit Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen, erstes synthetisches Mammogramm mit Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen, Tomosynthesevolumen als Stapel von Schichtbildern.

[0056] In den Szenarien können jeweils die sogenannten Findings bzw. Gewebeveränderungen in den Bildern dargestellt werden. Durch Auswahl der Gewebeveränderung oder Klick auf die Gewebeveränderung kann eine Navigation in das Tomosynthesevolumen bzw. Schichtbild aufweisend die Gewebeveränderung erfolgen. Im Fall einer Erzeugung eines, insbesondere ersten, synthetischen Mammogramms mit und ohne Hervorhebung bzw. Markierung der Gewebeveränderungen kann zwischen beiden Versionen sanft gewechselt werden. Vorteilhaft kann die Erkennung von Gewebeveränderungen verbessert werden.

[0057] Die Erfindung betrifft ferner ein Mammographiesystem zum Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Das Mammographiesystem kann insbesondere eine Aufnahmeeinheit, eine Rekonstruktionseinheit, eine Lokalisierungseinheit, eine Bestimmungseinheit und eine Erzeugungseinheit aufweisen. Das Mammographiesystem ist zum Erzeugen eines ersten synthetischen Mammogramms ausgelegt. Das Mammographiesystem kann ferner eine Anzeigeeinheit, beispielsweise einen Bildschirm, und eine Eingabeeinheit umfassen. Die Anzeigeeinheit kann beispielsweise als berührungsempfindlicher Bildschirm ausgestaltet sein, der Eingaben durch Berühren des Bildschirms erlaubt.

[0058] Die Aufnahmeeinheit kann zum Aufnehmen eines Tomosynthesedatensatzes ausgelegt sein. Die Aufnahmeeinheit ist insbesondere ausgelegt, um eine Mehrzahl von Projektionsaufnahmen eines Gewebebereichs unter verschiedenen Projektionsrichtungen in einem Projektionswinkelbereich aufzunehmen. Die Aufnahmeeinheit kann insbesondere eine in dem Projektionswinkelbereich schwenkbare Röntgenquelle und einen zugeordneten Röntgendetektor umfassen. Die Rekonstruktionseinheit kann zum Rekonstruieren eines Schichtbilddatensatzes basierend auf dem Tomosynthesedatensatz ausgelegt sein. Die Lokalisierungseinheit kann zum Lokali-

sieren von Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz ausgelegt sein. Die Bestimmungseinheit kann zum Bestimmen einer ersten Projektionsrichtung für ein erstes synthetisches Mammogramm basierend auf der räumlichen Verteilung der Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz ausgelegt sein. Die Erzeugungseinheit kann zum Erzeugen des ersten synthetischen Mammogramms in der ersten Projektionsrichtung basierend auf dem Tomosynthesedatensatz ausgelegt sein. Vorteilhaft kann das erfindungsgemäße Verfahren durch das Mammographiesystem durchgeführt werden. Die Einheiten des Mammographiesystems können insbesondere miteinander verbunden sein, insbesondere über eine direkte, physische Verbindung in Form einer Kabelverbindung oder über eine ggf. kabellose Netzwerkverbindung.

[0059] Die Erfindung betrifft ferner ein Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches direkt in eine Speichereinrichtung einer Steuereinrichtung eines Mammographiesystems ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen, wenn das Computerprogramm in der Steuereinrichtung des Mammographiesystems ausgeführt wird. Die Erfindung betrifft ferner ein computerlesbares Medium, auf welchem von einer Rechneinheit einlesbare und ausführbare Programmabschnitte gespeichert sind, um alle Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens auszuführen, wenn die Programmabschnitte von dem Mammographiesystem ausgeführt werden. Vorteilhaft kann das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere automatisch durchgeführt werden.

[0060] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt:

Fig. 1 schematisch ein erfindungsgemäßes Mammographiesystem;

Fig. 2 schematisch eine Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 3 schematisch eine Darstellung eines synthetischen Mammogramms in einer zentralen Projektionsrichtung;

Fig. 4 schematisch eine Darstellung eines synthetischen Mammogramms in einer Projektionsrichtung P_N ;

Fig. 5 schematisch eine Darstellung eines ersten synthetischen Mammogramms in einer ersten Projektionsrichtung; und

Fig. 6 schematisch eine Darstellung eines ersten synthetischen Mammogramms unterteilt in zwei Schichtbilder.

[0061] Die **Fig. 1** zeigt eine beispielhafte Ausführung des erfindungsgemäßen Mammographiesystems 1. Das Mammographiesystem 1 umfasst eine schwenkbare Röntgenquelle 3, die einem Röntgendetektor 5 zugeordnet wird. Das Untersuchungsobjekt 9 bzw. die Brust wird auf einer Oberfläche des Röntgendetektors 5 angeordnet, so dass diese Oberfläche des Röntgendetektors 5 als untere Kompressionsplatte dient. Das Untersuchungsobjekt wird zwischen einer oberen Kompressionsplatte 7 und dem Röntgendetektor 5 komprimiert. Die Röntgenquelle 3, der Röntgendetektor 5 und die obere Kompressionsplatte 7 sind mit der Aufnahmeeinheit 11 verbunden.

[0062] Mittels Schwenken der Röntgenquelle 3 relativ zum Untersuchungsobjekt 9 bzw. dem Röntgendetektor 5 können die Projektionsrichtungen $\dots P_{-1}, P_0, P_1 \dots$ eingestellt werden, welche in einem Projektionswinkelbereich 4 von beispielsweise -25 Grad bis 25 Grad liegen können.

[0063] Die Steuereinrichtung bzw. Rechneinheit 10 umfasst die Aufnahmeeinheit 11, die Rekonstruktionseinheit 12, die Lokalisierungseinheit 13, die Bestimmungseinheit 14 und die Erzeugungseinheit 15. Eine Anzeigeeinheit 16 und eine Eingabeeinheit 17 sind mit der Rechneinheit 10 verbunden.

[0064] Die **Fig. 2** zeigt beispielhaft eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens 20 zum Erzeugen eines ersten synthetischen Mammogramms. Das Verfahren 20 weist die Schritte des Aufnehmens 21, des Rekonstruierens 22, des Lokalisierens 23, des Bestimmens 24 und des Erzeugens 25 auf. Ferner kann das Verfahren 20 den Schritt des Anzeigens 26 umfassen.

[0065] Im Schritt des Aufnehmens 21 wird ein Tomosynthesedatensatz aufweisend eine Mehrzahl von Projektionsaufnahmen eines Gewebebereichs unter verschiedenen Projektionsrichtungen in einem Projektionswinkelbereich aufgenommen. Im Schritt des Rekonstruierens 22 wird ein Schichtbilddatensatz basierend auf dem Tomosynthesedatensatz rekonstruiert. Im Schritt des Lokalisierens 23 werden Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz lokalisiert. Im Schritt des Bestimmens 24 wird eine erste Projektionsrichtung für ein erstes synthetisches Mammogramm basierend auf der räumlichen Verteilung der Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz bestimmt. Im Schritt des Erzeugens 25 wird das erste synthetische Mammogramm in der ersten Projektionsrichtung basierend auf dem Tomosynthesedatensatz erzeugt. Im Schritt des Anzeigens 26 kann das erste synthetische Mammogramm angezeigt werden.

[0066] Die **Fig. 3** zeigt beispielhaft eine Darstellung eines synthetischen Mammogramms SM in einer

zentralen Projektionsrichtung P_0 . Die Wahrscheinlichkeitskarte W mit der Mehrzahl von Schichten weist die Gewebeveränderungen G_1, G_2, G_3, G_4 auf. Die Wahrscheinlichkeitskarte W kann in den Schichten eines Tomosynthesevolumens dargestellt werden. Die Gewebeveränderungen können auch als sogenannte Regions-of-Interest bezeichnet werden. Die Wahrscheinlichkeitskarte wird in der zentralen Projektionsrichtung P_0 vorwärtsprojiziert. In der Projektion auf die Detektorebene werden drei verbundene Elemente gezeigt. In der zentralen Projektionsrichtung P_0 werden damit diese Gewebeveränderungen G_1, G_2, G_3, G_4 entsprechend im synthetischen Mammogramm SM auf die hervorgehobenen Bereich H abgebildet. Die Gewebeveränderungen G_3, G_4 werden in getrennten hervorgehobenen Bereichen H abgebildet. Die Gewebeveränderungen G_1, G_2 werden als verbundene Elemente in einem gemeinsamen hervorgehobenen Bereich H abgebildet. Die Gewebeveränderungen G_1, G_2 sind damit untrennbar im synthetischen Mammogramm SM abgebildet, obwohl sie in unterschiedlichen Tiefen der Wahrscheinlichkeitskarte ausgebildet sind. Damit liegt ein Überlapp der Gewebeprojektionen G_1, G_2 im synthetischen Mammogramm SM vor, d.h. zwei Gewebeveränderungen G_1, G_2 überlappen in der zentralen Projektionsrichtung P_0 .

[0067] Die **Fig. 4** zeigt beispielhaft eine Darstellung eines synthetischen Mammogramms in einer Projektionsrichtung P_N . Die Wahrscheinlichkeitskarte W ist gleich dem Beispiel in **Fig. 3**. Die Wahrscheinlichkeitskarte wird in der Projektionsrichtung P_N vorwärtsprojiziert. Die Projektionsrichtung P_N ist beispielhaft 25 Grad. Für die Projektionsrichtung P_N sind in der Vorwärtsprojektion nur noch zwei verbundene Elemente als hervorgehobene Bereich H zu erkennen bzw. differenzierbar. Die Gewebeveränderungen G_1, G_2 und die Gewebeveränderungen G_3, G_4 überlappen jeweils, so dass diese im synthetischen Mammogramm SM nicht trennbar dargestellt werden.

[0068] Die **Fig. 5** zeigt beispielhaft eine Darstellung eines ersten synthetischen Mammogramms in einer ersten Projektionsrichtung EP . Die Wahrscheinlichkeitskarte W ist gleich dem Beispiel wie in **Fig. 3** und **Fig. 4**. Die erste Projektionsrichtung EP ist beispielhaft -25 Grad und entspricht damit in diesem Beispiel der Projektionsrichtung P_{-N} . Das erste synthetische Mammogramm SM_1 zeigt vier verbundene Element in hervorgehobenen Bereichen H . Damit sind die Gewebeveränderungen G_1, G_2, G_3, G_4 einzeln auflösbar. Es liegt kein Überlapp vor.

[0069] Die **Fig. 6** zeigt beispielhaft eine Darstellung eines ersten synthetischen Mammogramms SM_1 unterteilt in zwei Schichtbilder S_1, S_2 . Die Gewebeveränderungen G_1, G_2 würden wie in **Fig. 3** gezeigt überlappen. Um dies zu vermeiden, werden für das erste synthetische Mammogramm SM_1 zwei

Schichtbilder S_1, S_2 erzeugt. Im Schichtbild S_1 wird eine obere Hälfte der Wahrscheinlichkeitskarte W bzw. des Tomosynthesevolumens abgebildet. Im Schichtbild S_2 wird eine untere Hälfte der Wahrscheinlichkeitskarte W bzw. des Tomosynthesevolumens abgebildet. Damit wird die Gewebeveränderung G_1 im Schichtbild S_1 und die Gewebeveränderung G_2 im Schichtbild S_2 abgebildet. Damit können die Gewebeveränderungen G_1, G_2 separiert dargestellt werden.

[0070] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- DE 102011003135 B4 [0007]

Patentansprüche

1. Verfahren (20) zum Erzeugen eines ersten synthetischen Mammogramms aufweisend die Schritte:

- a. Aufnehmen (21) eines Tomosynthesedatensatzes aufweisend eine Mehrzahl von Projektionsaufnahmen eines Gewebebereichs unter verschiedenen Projektionsrichtungen in einem Projektionswinkelbereich,
- b. Rekonstruieren (22) eines Schichtbilddatensatzes basierend auf dem Tomosynthesedatensatz,
- c. Lokalisieren (23) von Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz,
- d. Bestimmen (24) einer ersten Projektionsrichtung für ein erstes synthetisches Mammogramm basierend auf der räumlichen Verteilung der Gewebeveränderungen in dem Schichtbilddatensatz, und
- e. Erzeugen (25) des ersten synthetischen Mammogramms in der ersten Projektionsrichtung basierend auf dem Tomosynthesedatensatz.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste synthetische Mammogramm einen minimalen Überlapp von Gewebeveränderungen aus unterschiedlichen Schichten des Schichtbilddatensatzes aufweist.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei im Schritt des Lokalisierens eine Wahrscheinlichkeitskarte für Gewebeveränderungen erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei im Schritt des Bestimmens mehrere Vorwärtsprojektionsdatensätze mittels Vorwärtsprojektion der Wahrscheinlichkeitskarte für jeweils eine unterschiedliche Projektionsrichtung erzeugt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei für eine Mehrzahl von Projektionsrichtungen ein Parameterwert basierend auf der flächigen Verteilung der Wahrscheinlichkeitswerte für Gewebeveränderungen im Vorwärtsprojektionsdatensatz bestimmt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei im Schritt des Bestimmens die Projektionsrichtung mit dem maximalen Parameterwert als erste Projektionsrichtung bestimmt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die bestimmten Parameterwerte miteinander verglichen werden, und im Fall von mindestens zwei Parameterwerten im Bereich zwischen dem maximalen bestimmten Parameterwert und 90 Prozent des maximalen bestimmten Parameterwertes, diejenige Projektionsrichtung als erste Projektionsrichtung gewählt wird, welche am nächsten zu einer Zentralprojektionsrichtung angeordnet ist.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein Überlappungsparameter für den Überlapp von Gewebeveränderungen aus unterschiedlichen Schichten des Schichtbilddatensatzes ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei bei einem Überlappungsparameter oberhalb eines Schwellwertes das erste synthetische Mammogramm in zwei Schichtbilder unterteilt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei bei einem Überlappungsparameter oberhalb eines Schwellwertes ein erstes synthetisches Mammogramm in einer ersten Projektionsrichtung und ein zweites synthetisches Mammogramm in einer von der ersten Projektionsrichtung verschiedenen zweiten Projektionsrichtung erstellt wird.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Gewebeveränderung im ersten synthetischen Mammogramm und/oder im zweiten synthetischen Mammogramm hervorgehoben oder markiert wird.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend den Schritt des Anzeigens von mindestens einem der nachfolgenden:

- a. eines ersten synthetischen Mammogramms,
- b. eines ersten synthetischen Mammogramms mit einer Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen, in Verbindung mit mindestens einem der nachfolgenden:
- c. ein synthetisches Mammogramm in einer Zentralprojektionsrichtung,
- d. ein synthetisches Mammogramm in einer Zentralprojektionsrichtung mit einer Hervorhebung oder Markierung von Gewebeveränderungen,
- e. ein Schichtbilddatensatz.

13. Mammographiesystem zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche.

14. Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm, welches direkt in eine Speichereinrichtung einer Steuereinrichtung eines Mammographiesystems ladbar ist, mit Programmabschnitten, um alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen, wenn das Computerprogramm in der Steuereinrichtung des Mammographiesystems ausgeführt wird.

15. Computerlesbares Medium, auf welchem von einer Rechneinheit einlesbare und ausführbare Programmabschnitte gespeichert sind, um alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 auszuführen, wenn die Pro-

grammabschnitte von dem Mammographiesystem
ausgeführt werden.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

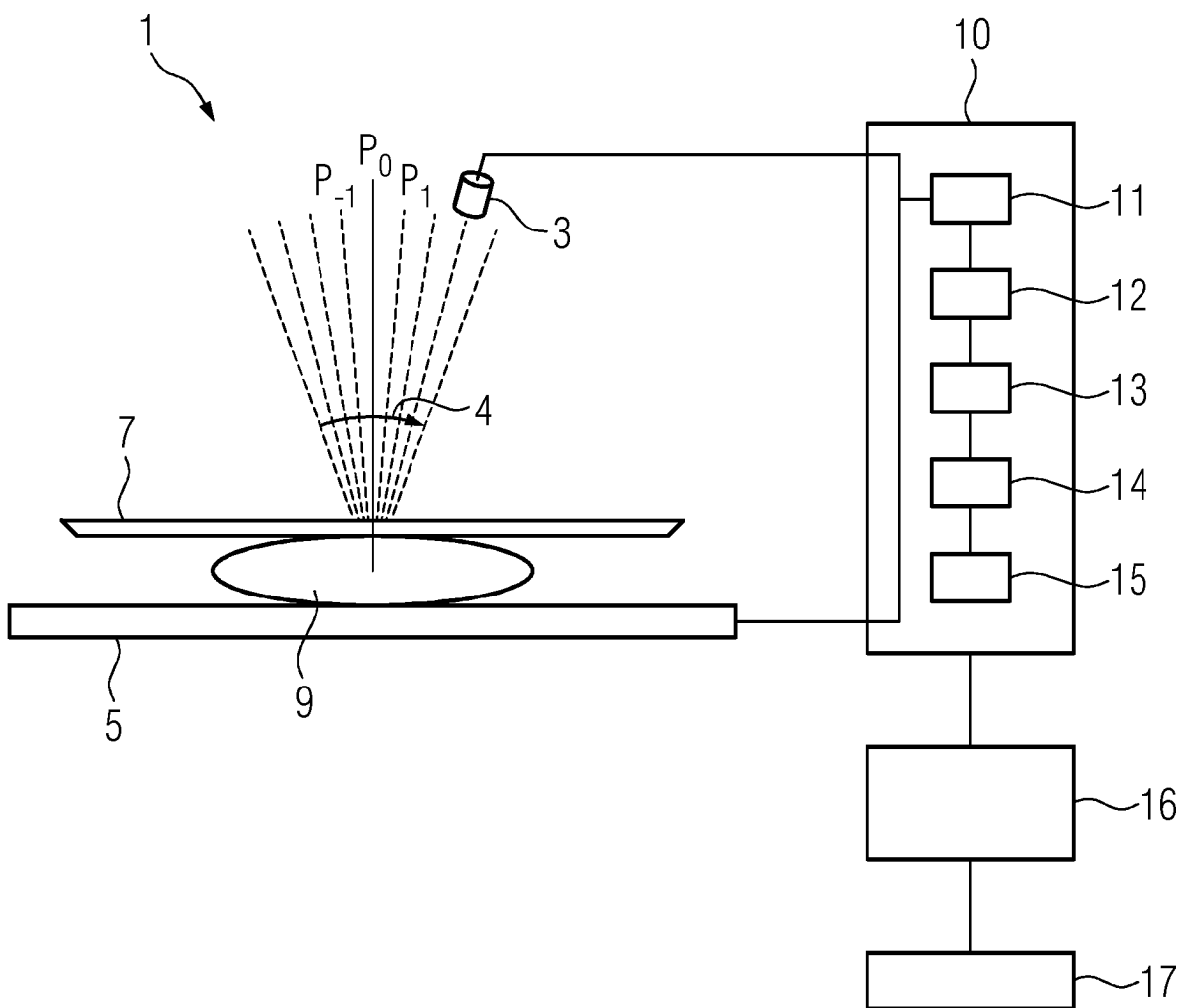


FIG 2

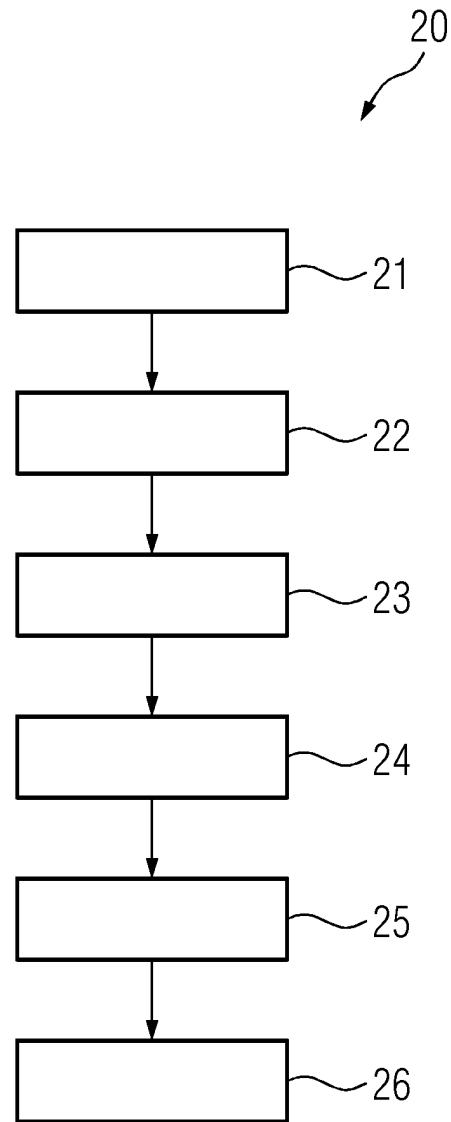


FIG 3

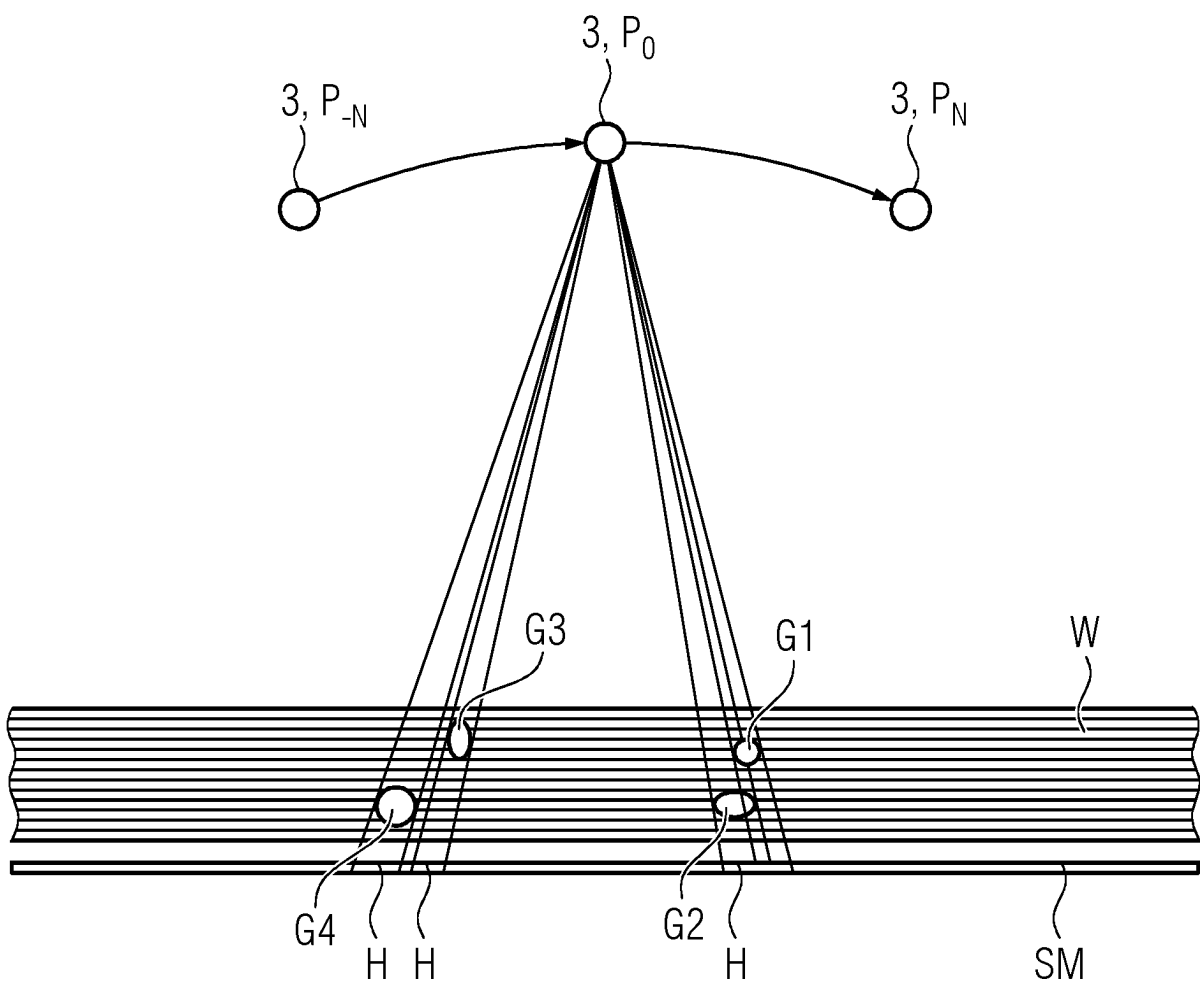


FIG 4

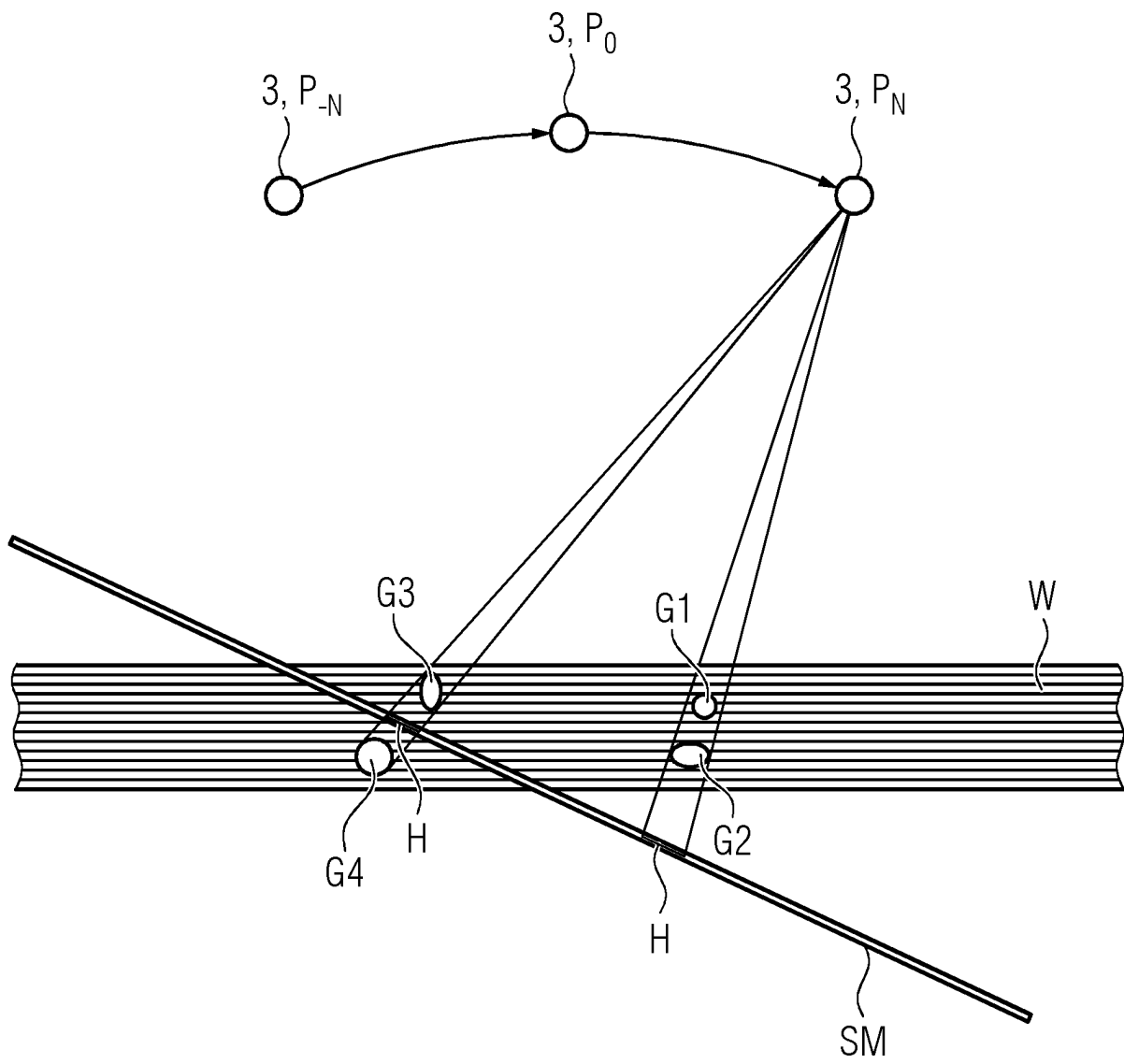


FIG 5

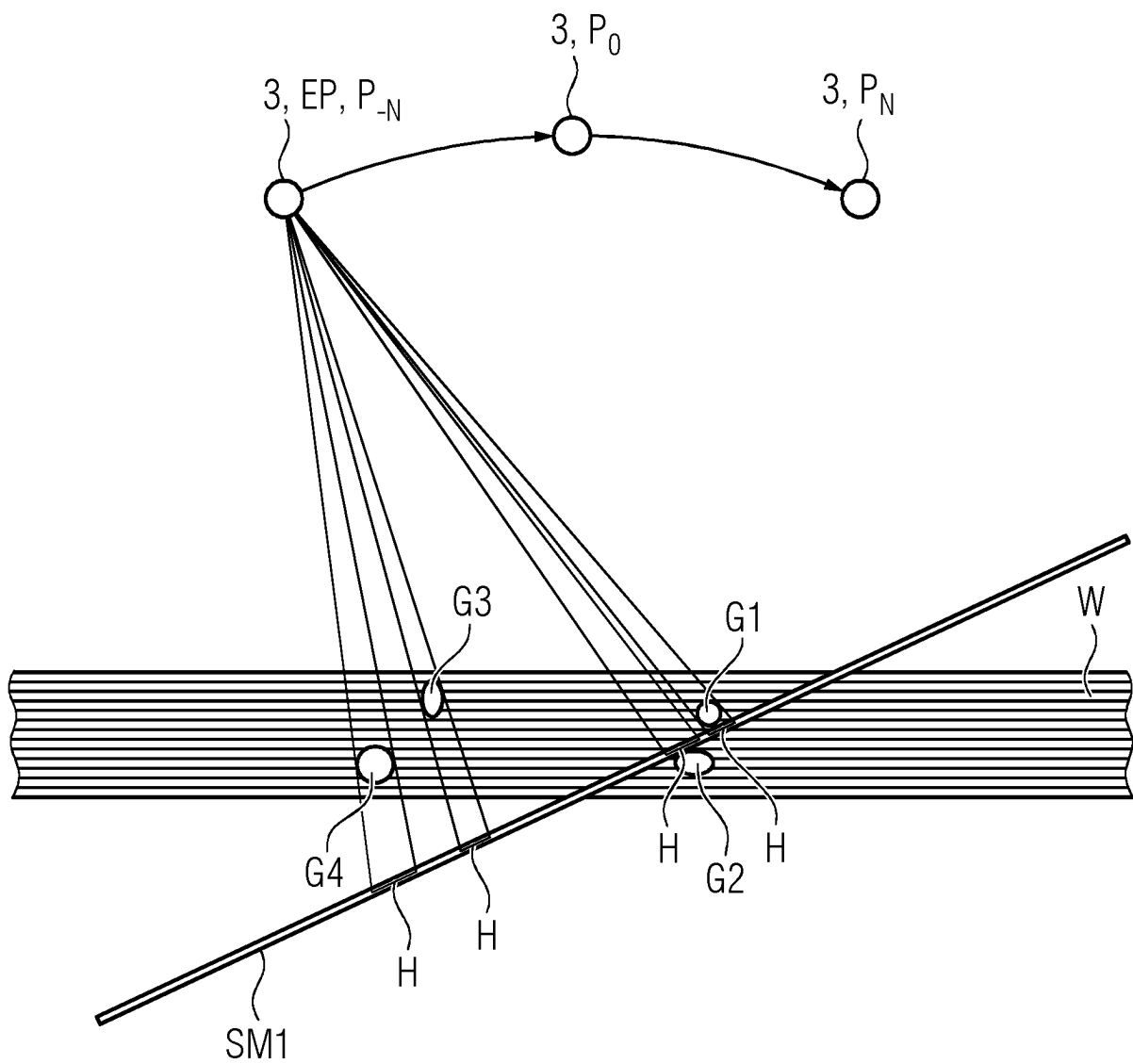


FIG 6

