

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. November 2008 (27.11.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/142172 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/056433

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Mai 2008 (26.05.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
07010368.4 24. Mai 2007 (24.05.2007) EP
07010369.2 24. Mai 2007 (24.05.2007) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SURGICEYE GMBH [DE/DE]; Lichtenbergstr. 8,
85748 Garching bei München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WENDLER,
Thomas [DE/DE]; Freseniusstr. 17, 81247 München
(DE). NAVAB, Nassir [DE/DE]; Schrämelstr. 185,
82147 München (DE). TRAUB, Jörg [DE/DE];
Roter-Turm-Platz 5A, 81371 München (DE).

(74) Anwälte: ZIMMERMANN, Gerd usw.; c/o Zimmer-
mann & Partner, Isartorplatz 1, 80331 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,
MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: IMAGE FORMATION APPARATUS AND METHOD FOR NUCLEAR IMAGING

(54) Bezeichnung: BILDERZEUGUNGSAPPARAT UND -METHODE ZUR NUKLEARBILDBGEBUNG

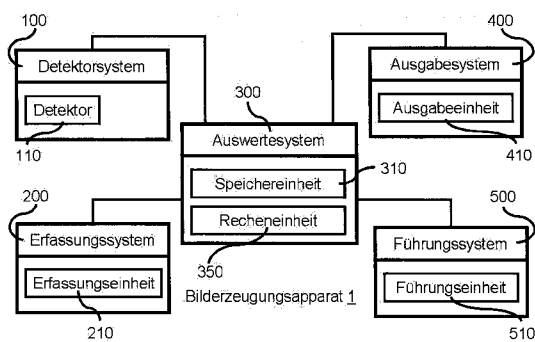


Abbildung 1

100	Detector system	400	Output system
110	Detector	410	Output unit
200	Detection system	500	Guide system
210	Detection unit	510	Guide unit
300	Analysis system	1	Image formation apparatus
310	Memory unit		
350	Computer		

(57) Abstract: The invention relates to an image formation apparatus for imaging. The image formation apparatus comprises a movable detector for the detection of radioactive radiation during a detection period, and an analysis system. The analysis system comprises an interface system for the transmission of detector data to the analysis system. The detector data comprise information on the radioactive radiation for imaging. The analysis system further comprises a program memory section having a program for the repeated calculation of at least one quality variable with regard to imaging from the detector data during the detection period.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen beweglichen Detektor zur Detektion von radioaktiver Strahlung während eines Detektionszeitraums und ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem. Die Detektordaten umfassen Informationen über die

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/142172 A2



PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

detektierte radioaktive Strahlung zur Bilderzeugung. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern der Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum wiederholten Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten während des Detektionszeitraums.

BILDERZEUGUNGSAPPARAT UND -METHODE ZUR NUKLEARBILDGEBUNG

[001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Bilderzeugungsapparate
5 und Methoden zur Bilderzeugung mit Bilderzeugungsapparaten. Spezielle
Ausführungsformen der Erfindung beziehen sich auf Bilderzeugungsapparate
zur verbesserten Bilderzeugung durch Qualitätskontrolle, durch Anweisen
eines Nutzers zur Datenerhebung und/oder durch fortlaufende Datenerhebung
mit verbesserter Verarbeitung. Typische Ausführungsformen der vorliegenden
10 Erfindung beziehen sich auf Bilderzeugungsapparate und -Methoden für
medizinische Zwecke.

HINTERGRUND

[002] Qualitativ hochwertige Bilderzeugung ist von großem Interesse für
15 einen weiten Bereich von Anwendungen. Insbesondere im medizinischen
Bereich, wo die Gesundheit eines Patienten davon abhängen kann, ist eine
bestmögliche Bilderzeugung beispielsweise als Basis für Operationen am
Patienten erforderlich.

[003] Für gewöhnlich werden medizinische Bilder entweder präoperativ oder
20 intraoperativ erzeugt. Auch ein Registrieren von Bildern ist bekannt,
beispielsweise das Registrieren eines anatomischen Bildes mit einem
funktionellen Bild, d.h., einem Bild, dass Körperaktivität sichtbar macht.
Solche registrierten Bilder können beispielsweise bei Tumoroperationen helfen
zu entscheiden, welche Gewebeteile herauszuschneiden sind. Wünschenswert
25 sind möglichst aktuelle und hochwertige Bilder, da so vermieden werden kann,
gesundes Gewebe zu schädigen oder krankes nicht zu entfernen.

[004] Hochwertige Bilder zu erzeugen stellt hohe Anforderungen an
Detektordaten zur Bilderzeugung und an ein Auswertesystem, das diese Daten

verarbeiten muss. Das gilt besonders für die Verarbeitung von Detektordaten mit beweglichen Detektoren, die beispielsweise in der Hand getragen werden.

[005] Folglich besteht Bedarf an der Verbesserung der Erhebung und Auswertung von Detektordaten und an verbesserter Bilderzeugung.

5 ZUSAMMENFASSUNG

[006] Im Lichte der obigen Ausführungen wird ein Verfahren zur Bilderzeugung gemäß den Ansprüchen 1 bis 92 und ein Bilderzeugungsapparat gemäß den Ansprüchen 93 bis 181 bereitgestellt.

- 10 [007] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen beweglichen Detektor zur Detektion von radioaktiver Strahlung während eines Detektionszeitraums. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das
- 15 Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem. Die Detektordaten umfassen Informationen über die detektierte radioaktive Strahlung zur Bilderzeugung. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern der Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter einen
- 20 Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum wiederholten Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten während des Detektionszeitraums.

- [008] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der
- 25 Bilderzeugungsapparat umfasst einen beweglichen Detektor zur Detektion von Strahlung während eines Detektionszeitraums. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem. Die Detektordaten umfassen Informationen über die

detektierte Strahlung zur Bilderzeugung. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern der Detektordaten. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Ausgabesystem zum Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in
5 Abhängigkeit von den Detektordaten, wobei sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums bezieht.

[009] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen frei beweglichen Detektor zur Detektion
10 von Strahlung während eines Detektionszeitraums. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten zur Bilderzeugung während des Detektionszeitraums. Die Detektordaten umfassen Informationen über die detektierte Strahlung. Die Detektordaten umfassen
15 weiter Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten.

20 [010] Einer weiteren Ausführungsform der Erfindung entsprechend wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen beweglichen Detektor zur Detektion von Strahlung. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von
25 Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem. Die Detektordaten umfassen Informationen über die detektierte Strahlung. Die Detektordaten umfassen weiter Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter einen
30 Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln einer

Bilderzeugungsvorschrift zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter Berücksichtigung eines Detektionsmodells. Das Detektionsmodell berücksichtigt eine Materialeigenschaft eines die Detektion beeinflussenden Materials und/oder eine Zwangsbedingung.

- 5 [011] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen beweglichen Detektor zur Detektion von Strahlung. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von
- 10 Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren von Detektordaten mit kompatiblen Daten.

- [012] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der
- 15 Bilderzeugungsapparat umfasst einen beweglichen Detektor zur Detektion von radioaktiver Strahlung während eines Detektionszeitraums. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem. Die Detektordaten
- 20 umfassen Informationen über die detektierte radioaktive Strahlung. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von gesammelten Detektordaten.
- 25 Das Auswertesystem umfasst weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum wiederholten Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert während des Detektionszeitraums.

[013] Einer weiteren Ausführungsform entsprechend wird ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst das Detektieren von radioaktiver Strahlung durch einen beweglichen Detektor während eines Detektionszeitraums. Das Verfahren umfasst weiter das Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Die Detektordaten umfassen Informationen über die detektierte Strahlung. Das Verfahren umfasst weiter ein wiederholtes Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem während des Detektionszeitraums.

10 [014] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst das Detektieren von Strahlung durch einen beweglichen Detektor des Bilderzeugungsapparats während eines Detektionszeitraums. Das Verfahren umfasst weiter das Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Die Detektordaten umfassen Informationen über die detektierte Strahlung. Das Verfahren umfasst weiter ein Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den gesammelten Detektordaten, wobei sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums bezieht.

[015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen beweglichen Detektor des Bilderzeugungsapparats während eines Detektionszeitraums. Das Verfahren umfasst weiter ein Ändern von Position und/oder Orientierung des Detektors während des Detektionszeitraums. Das Verfahren umfasst weiter ein fortlaufendes Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats während des Detektionszeitraums. Die Detektordaten umfassen Informationen über die detektierte Strahlung. Die Detektordaten umfassen weiter Information über die

Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiter ein Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem.

[016] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zur
5 Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des Bilderzeugungsapparats. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Die Detektordaten umfassen Informationen über die
10 detektierte Strahlung. Die Detektordaten umfassen weiter Information über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiter ein Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter Berücksichtigung eines Detektionsmodells. Das Detektionsmodell
15 berücksichtigt eine Materialeigenschaft eines die Detektion beeinflussenden Materials und/oder eine Zwangsbedingung.

[017] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zur
Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des
20 Bilderzeugungsapparats. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten des Detektors zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Das Verfahren umfasst weiter ein Registrieren der Detektordaten mit kompatiblen Daten durch das Auswertesystem.

[018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird ein Verfahren zur
25 Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst ein Detektieren von radioaktiver Strahlung durch einen beweglichen Detektor des Bilderzeugungsapparats während eines Detektionszeitraums. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des

- Bilderzeugungsapparats. Die Detektordaten umfassen Information über die detektierte Strahlung. Das Verfahren umfasst weiter ein Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten. Das Verfahren umfasst weiter ein wiederholtes
- 5 Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert während des Detektionszeitraums.

[019] Weitere Merkmale, Aspekte und Details, die mit hier beschriebenen Ausführungsformen kombiniert werden können, werden in den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Abbildungen offenbart.

10

KURZBESCHREIBUNG DER ABBILDUNGEN

- [020] Damit die zuvor aufgeführten Merkmale im Detail besser verstanden werden können, wird eine speziellere Beschreibung mit Bezug auf
- 15 Ausführungsformen der Erfindung gegeben. Die beigefügten Abbildungen beziehen sich auf Ausführungsformen der Erfindung und werden im folgenden kurz beschrieben:

[021] Abbildung 1 zeigt einen schematischen Aufbau eines Bilderzeugungsapparats gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

- 20 [022] Abbildung 2 zeigt ein Detektorsystem des Bilderzeugungsapparats gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

[023] Abbildung 3 zeigt ein Erfassungssystem des Bilderzeugungsapparats gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

- [024] Abbildung 4 zeigt den schematischen Aufbau eines Auswertesystems
- 25 des Bilderzeugungsapparats gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

[025] Abbildung 5 zeigt den schematischen Aufbau von Programmspeicherabschnitten des Auswertesystems gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

5 [026] Abbildung 6 zeigt ein Ausgabesystem des Bilderzeugungsapparats gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

[027] Abbildung 7 zeigt ein weiteres Ausgabesystem des Bilderzeugungsapparats gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

[028] Abbildung 8 zeigt ein Führungssystem des Bilderzeugungsapparats gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

10 [029] Abbildung 9 zeigt einen Bilderzeugungsapparat gemäß Ausführungsformen der Erfindung beim Einsatz im medizinischen Bereich;

[030] Abbildung 10 zeigt die Erstellung eines Detektionsmodells gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

15 [031] Abbildung 11 zeigt die Erstellung eines Detektionsmodells über Messungen gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

[032] Abbildung 12 zeigt einen Qualitätskontrollprozess gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

[033] Abbildung 13 zeigt einen iteratives Flussdiagramm mit einem Schritt des Anweisens eines Nutzers gemäß Ausführungsformen der Erfindung;

20 [034] Abbildung 14 zeigt einen Detektionsprozess mit einem frei beweglichen Detektor gemäß Ausführungsformen der Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[035] Im Folgenden wird detailliert Bezug genommen auf verschiedene Ausführungsformen der Erfindung, von denen einige beispielhaft durch die
5 Abbildungen illustriert werden. Jedes Beispiel wird zur Erklärung und zum besseren Verständnis der Erfindung gegeben und soll nicht als Beschränkung der Erfindung aufgefasst werden. So können Merkmale, die in einer Ausführungsform beschrieben oder illustriert werden, in Verbindung mit anderen Ausführungsformen gebracht werden, um neue Ausführungsformen zu
10 erzeugen. Beabsichtigt ist, dass solche Modifikationen und Variationen umfasst sind.

[036] Insbesondere werden Ausführungsformen der Erfindung zum besseren Verständnis meist mit Bezug auf eine Bilderzeugung für medizinische Zwecke beschrieben. Jedoch können viele der Ausführungsformen auch für die
15 Bilderzeugung in anderen Bereichen verwendet werden.

[037] Innerhalb der folgenden Beschreibung und in den Abbildungen beziehen sich gleiche Referenzzeichen auf gleiche oder ähnliche Komponenten. Im Allgemeinen werden nur Unterschiede bezüglich individueller Ausführungsformen explizit beschrieben.

20 [038] Der Ausdruck „Detektionszeitraum“, der hier verwendet wird, bezeichnet einen Zeitraum zwischen dem Beginn eines ersten Detektionsprozesses und dem Ende eines letzten Detektionsprozesses. Der erste und letzte Detektionsprozess können identisch sein, so dass der Detektionszeitraum ein Zeitraum ist, während welchem andauernd ein
25 Detektionsprozess stattfindet. Die erste und letzte Detektion können auch verschieden sein. In einen Detektionszeitraum können daher andere Prozesse fallen. Beispielsweise können solche anderen Prozesse Datenauswerteprozesse sein. Der mindestens eine Detektionsprozess, der in dem Detektionszeitraum stattfindet, wird von demselben Detektor bzw. Detektorsystem an demselben

Objekt ausgeführt. Ein Beispiel für einen Detektionszeitraum ist der Zeitraum zwischen dem ersten Messen von radioaktiver Strahlung mit einer Gamma-Sonde an einem Patienten und dem letzten Messen, wobei beispielsweise nach der letzten Messung ein letztes Bild mit der Darstellung von Körperfunktionen erzeugt werden kann. Zwischen dem ersten Messen und dem letzten Messen können durchaus auch eine oder mehrere Messpausen liegen, beispielsweise zur Datenauswertung oder gar zum Messen an einem anderen Objekt. Ein Detektionszeitraum wäre beispielsweise nicht definiert durch ein erstes Messen nur am Bein eines Patienten und durch ein weiteres Messen nur am Bauch des Patienten.

Die Angabe, dass eine Handlung „während eines Detektionszeitraums“ ausgeführt wird (oder allgemeiner während eines beliebigen Zeitraums), ist ferner nicht so zu verstehen, dass sie den gesamten Zeitraum ausfüllen müsste. Sie kann vielmehr auch nur während eines Teils des Detektionszeitraums stattfinden. Die Handlung kann auch unterbrochen sein.

[039] Der Ausdruck „frei beweglich“ wird hier im Allgemeinen so verstanden, dass die Position und/oder Orientierung eines Objekts, das frei beweglich ist, im Wesentlichen beliebig verändert werden kann. Beispielsweise ist ein Detektor, der in der Hand tragbar ist, ein frei beweglicher Detektor. Auch ein Detektor, der an einem Roboterarm mit genügend vielen Freiheitsgraden befestigt ist, ist frei beweglich, wobei der Roboterarm beispielsweise von einem Nutzer kontrolliert wird. Ein Detektor, der nur entlang einer Schiene fahrbar ist, ist beweglich, aber nicht frei beweglich.

[040] Der Ausdruck „fortlaufend“ umfasst in Bezug auf eine Handlung, z.B. „fortlaufendes Sammeln von Detektordaten“, eine andauernde oder regelmäßig wiederholte Handlung. Die zeitlichen Abstände zwischen den regelmäßigen Wiederholungen können im Prinzip beliebig kurz sein, also quasi-kontinuierlich. Jedoch ist für den Fachmann offensichtlich, dass z.B. physikalische Zwänge einem beliebig kurzen Abstand entgegenstehen können.

Beispielsweise können Detektoren sogenannte „Totzeiten“ aufweisen, so dass während solcher Totzeiten keine Detektion stattfinden kann. Folglich wäre beispielsweise auch beim fortlaufenden Sammeln von Detektordaten eine regelmäßige Wiederholung einer Datenaufnahme innerhalb des
5 Sammelvorgangs nicht innerhalb von Zeitabständen möglich, die kleiner sind als die genannten Totzeiten. Der Begriff „fortlaufend“ umfasst in Bezug auf eine Handlung aber auch eine Wiederholung oder mehrmalige Wiederholung in willkürlichen kurzen Zeitabständen. Auch willkürliche Zeitabstände können im Prinzip beliebig kurz aufeinanderfolgend sein und Einschränkungen wie die
10 oben ausgeführten gelten analog.

[041] Das „Erzeugen eines Bildes“ umfasst die Erzeugung von Bilddaten, ohne dass es notwendigerweise der Ausgabe dieser Bilddaten auf einer Ausgabeeinheit, z.B. auf einem Monitor, bedarf.

[042] Abb. 1 zeigt einen Bilderzeugungsapparat 1 gemäß Ausführungsformen
15 der Erfindung. Wie in Abb. 1 zu sehen, umfasst der Bilderzeugungsapparat 1 ein Detektorsystem 100. Das Detektorsystem 100 umfasst mindestens einen Detektor 110. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem 300. Das Auswertesystem 300 umfasst mindestens eine Speichereinheit 310 und mindestens eine Recheneinheit 350. In einigen Ausführungsformen sind
20 das Detektorsystem und das Auswertesystem durch ein Datenaustauschsystem verbunden. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat ein Erfassungssystem 200 wie in Abb. 1 gezeigt. Das Erfassungssystem 200 umfasst mindestens eine Erfassungseinheit 210. In weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat ein
25 Ausgabesystem 400. Das Ausgabesystem umfasst mindestens eine Ausgabeeinheit 410. In einigen Ausführungsformen sind das Erfassungssystem 200 und das Ausgabesystem 400 mit dem Auswertesystem 300 durch ein Datenaustauschsystem verbunden. In weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat ein Führungssystem 500. Das Führungssystem 500
30 umfasst mindestens eine Führungseinheit 510. Das Führungssystem kann mit

dem Auswertesystem durch das Datenaustauschsystem verbunden sein. Die einzelnen Systeme werden im Folgenden näher beschrieben.

Detektorsystem 100

[043] Ausführungsformen der Erfindung entsprechend umfasst das
5 Detektorsystem 100 einen Detektor 110. In typischen Ausführungsformen ist
der Detektor 110 ein Strahlungsdetektor, typischerweise ein Detektor für
radioaktive Strahlung. Gemäß einigen Ausführungsformen ist der Detektor
beweglich, gemäß bestimmten Ausführungsformen sogar frei beweglich. In
typischen Ausführungsformen ist der Detektor in der Hand tragbar. Der
10 Detektor kann eine Gammastrahlensonde, eine Betastrahlensonde, eine
Compton-Sonde, eine Gammastrahlenkamera, eine
Gammastrahlenminikamera, eine Betastrahlenkamera oder eine Compton-
Kamera sein. Der Detektor kann auch ein Detektor optischer Strahlung, ein
Detektor von Infrarotstrahlung, Röntgenstrahlung oder ein Detektor anderer
15 Strahlung sein oder eine andere Art von Detektor.

[044] Detektordaten können Informationen über die detektierte Strahlung
umfassen. Die Detektordaten können in gewissem Umfang aufbereitet sein, im
Allgemeinen sollte aber noch eine Zuordnung einzelner Datensätze zu
bestimmten Detektionseignissen oder zumindest zu einer Gruppe von
20 Detektionseignissen möglich sein. Die Detektordaten können auch Position
und/oder Orientierung des Detektors umfassen. Detektordaten können
darüberhinaus weitere Daten umfassen.

[045] Das Detektorsystem 100 umfasst in einigen Ausführungsformen
mindestens einen weiteren Detektor. Der mindestens eine weitere Detektor
25 kann dem Detektor 110 gleich oder ähnlich sein. Der mindestens eine weitere
Detektor kann auch von dem Detektor 110 verschieden sein. Der mindestens
eine weitere Detektor kann beispielsweise auch eine Ultraschallsonde, ein
Röntgendetektor, eine optische Kamera, ein optisches Mikroskop, eine
Fluoreszenzkamera, eine Autofluoreszenzkamera, ein

Magnetresonanztomografiedetektor, ein Positronemissionstomografiedetektor, kurz PET, ein Einzelphotonemissionscomputertomografiedetektor, kurz SPECT oder ein anderer Detektor sein.

[046] Abb. 2 zeigt ein Detektorsystem 100 gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. In Abb. 2 sind zwei Detektoren 110, 120 des Detektorsystems 100 gezeigt: eine Sonde 110 zum Detektieren radioaktiver Strahlung und eine optische Kamera 120. Die radioaktive Strahlung kann beispielsweise gamma-, beta-, Compton-, Röntgen- oder Alphastrahlung sein. Weiter ist eine zu detektierende radioaktive Strahlenquelle 10 abgebildet. Eine Strahlenquelle kann im Allgemeinen hier und im Folgenden eine räumlich verteilte Strahlenquelle sein, also eine räumliche Strahlungsverteilung. Eine Strahlenquelle kann aber auch eine im Wesentlichen zweidimensionale Strahlenquelle sein, d.h. eine im Wesentlichen flächige Strahlungsverteilung.

[047] Die Detektoren können wie dargestellt in der Hand gehalten werden und sind in den drei Raumrichtungen beweglich und orientierbar, d.h. frei beweglich. Weiter weisen die Detektoren 110, 120 jeweils ein Kabel zur Energieversorgung und zum Datenaustausch etwa mit dem in Abb. 1 dargestellten Auswertesystem 300 auf. Weiter weisen die Detektoren 110, 120 jeweils Markierungen zur Erfassung durch das in Abb. 3 dargestellte Erfassungssystem 200 auf, wie weiter unten zu Abb. 3 beschrieben. Es kann auch ein Erfassungssystem 200 vorgesehen werden, das ohne Markierungen auskommt, wie weiter unten beschrieben.

[048] Detektordaten wie Detektordaten mit Information über gemessene Strahlung können dem Auswertesystem 300 (s. Fig. 1) zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere kann das Auswertesystem 300 die Detektordaten sammeln.

Erfassungssystem 200

[049] Einigen Ausführungsformen entsprechend umfasst der Bilderzeugungsapparat ein Erfassungssystem 200. Gemäß einigen Ausführungsformen umfasst das Erfassungssystem 200 eine Erfassungseinheit

5 210. Die Erfassungseinheit kann eine optische, elektromagnetische, mechanische, Roboter gestützte, Radiowellen gestützte, Schallwellen gestützte, Goniometer gestützte, Potenziometer gestützte, Gyroskop gestützte, Beschleunigungsmesser gestützte, strahlungsgestützte, Röntgenstrahlung gestützte oder eine Infrarot- oder Weißlichterfassungseinheit sein oder eine

10 andere Erfassungseinheit. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Erfassungssystem 200 eine weitere Erfassungseinheit 220 oder weitere Erfassungseinheiten. Die Erfassungseinheit 220 oder die weiteren Erfassungseinheiten können Erfassungseinheiten wie die oben aufgezählten oder andersartige Erfassungseinheiten sein. Um eine Machbarkeit oder

15 Zuverlässigkeit des Erfassungssystems zu gewährleisten, enthalten Ausführungsformen mindestens zwei, mindestens drei oder mindestens vier Erfassungseinheiten.

[050] Abb. 3 zeigt ein Erfassungssystem 200 gemäß typischen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Abb. 3 zeigt zwei optische

20 Erfassungseinheiten 210 und 220. Die optischen Erfassungseinheiten 210 und 220 erfassen Markierungen 112 an der Sonde radioaktiver Strahlung 110 und Markierungen 122 an der optischen Kamera 120. Die optischen Erfassungseinheiten 210 und 220 erzeugen durch das Erfassen der Markierungen 112 und 122 Daten mit Information über die Position und/oder

25 Orientierung der Sonde 110 und der Kamera 120. In dem in Abb. 3 dargestellten Beispiel sind die optischen Erfassungseinheiten 210 und 220 genau justiert, und die Position und Orientierung der Sonde 110 und der Kamera 120 wird durch Erfassen der Position der Markierungen 112 bzw. 122 mittels bekannter Triangulationsverfahren ermittelt.

[051] Daten des Erfassungssystems wie Detektordaten mit Information über Position und/oder Orientierung können dem Auswertesystem 300 zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere kann das Auswertesystem 300 solche und andere Detektordaten sammeln.

5 Auswertesystem 300

[052] Gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung umfasst das Auswertesystem 300 ein Speichersystem 302 mit einer Speichereinheit 310. Die Speichereinheit 310 kann beispielsweise eine Computerfestplatte oder ein
10 anderes Massenspeichergerät sein oder von anderer Art sein. Gemäß Ausführungsformen der Erfindung umfasst die Speichereinheit 310 einen Datenspeicherabschnitt 320. Der Datenspeicherabschnitt 320 kann beispielsweise zum Speichern von Detektordaten verwendet werden. Der Datenspeicherabschnitt 320 kann auch zum Speichern anderer Daten verwendet werden. Gemäß einigen Ausführungsformen umfasst die
15 Speichereinheit 310 einen Programmspeicherabschnitt 330. Der Programmspeicherabschnitt 330 sowie, gemäß weiteren Ausführungsformen, weitere Programmspeicherabschnitte werden weiter unten beschrieben. Die Datenspeichereinheit 310 kann weitere Datenspeicherabschnitte und weitere Programmspeicherabschnitte umfassen. Die verschiedenen Speicherabschnitte
20 müssen nicht physikalische oder speichertechnische Einheiten bilden; verschiedene Abschnitte werden vielmehr lediglich in Bezug auf die Natur der darin gespeicherten oder zu speichernden Daten unterschieden. Das Speichersystem 302 kann weitere Speichereinheiten umfassen. Die weiteren Speichereinheiten können der Speichereinheit 310 ähnlich sein oder von
25 anderer Art sein.

[053] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem 300 ein Rechensystem 304. Das Rechensystem 304 umfasst gemäß einigen Ausführungsformen eine Recheneinheit 350. Die Recheneinheit 350 kann beispielsweise der rechnende Teil eines Computers sein, z.B. ein Prozessor.

Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Rechensystem 304 weitere Recheneinheiten, die der Recheneinheit 350 ähnlich sein oder von anderer Art sein können. Insbesondere können mindestens eine Recheneinheit und mindestens eine Speichereinheit in speziellen Geräten wie beispielsweise handelsüblichen Computern integriert sein.

[054] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem ein Schnittstellensystem 306. In einigen Ausführungsformen umfasst das Schnittstellensystem 306 eine Detektorsystemschnittstelle 306A mit einer Detektorschnittstelle 380 zum Datenaustausch mit einem Detektor, beispielsweise mit dem Detektor 110. In weiteren Ausführungsformen umfasst das Schnittstellensystem 306 ein Erfassungssystemschnittstelle 306B mit einer Erfassungseinheitenschnittstelle 390 zum Datenaustausch mit einem Erfassungssystem (z.B. dem Erfassungssystem 200 aus Abb. 3). Ein Schnittstellensystem 306 oder Teile davon können ebenfalls in speziellen Geräten wie einem handelsüblichen Computer integriert sein. In einigen Ausführungsformen kommuniziert das Auswertesystem mit anderen Teilsystemen des Bilderzeugungsapparats über solche Schnittstellensysteme mit Hilfe eines Datenaustauschsystems.

[055] In weiteren Ausführungsformen der Erfindung umfasst der Programmspeicherabschnitt 330 ein Programm. Wie in Abbildung 5 gezeigt kann das Programm beispielsweise ein Programm 330A zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts auf der Grundlage von Detektordaten sein. In anderen Ausführungsformen umfasst eine Speichereinheit weitere Programmspeicherabschnitte, beispielsweise weitere Programmspeicherabschnitte 332 und 334 mit Programm 332A zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von Detektordaten unter Berücksichtigung eines Detektionsmodells, beziehungsweise mit Programm 334A. Programm 334A umfasst Programmteil 334B zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts auf der Grundlage von Detektordaten und Programmteil

334C zum wiederholten Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts auf der Grundlage von Detektordaten.

[056] Insbesondere können Programme, die z.B. ähnliche Funktionen ausführen, auch als Programmteile eines einzigen Programms gestaltet werden
5 wie beispielsweise oben für Programm 334A beschrieben. Das Gleiche gilt auch für funktionell verschiedene Programme. In beiden Fällen gilt, dass für einen ersten Programmabschnitt mit einem ersten Programm und einen zweiten Programmabschnitt mit einem zweiten Programm, die bereitgestellt werden, der erste und zweite Programmabschnitt identisch sind, und das erste und
10 zweite Programm als Teile eines einzigen Programms aufgefasst werden.

[057] Weiter können in Ausführungsformen, in denen ein erster Programmabschnitt mit einem ersten Programm und ein zweiter Programmabschnitt mit einem zweiten Programm bereitgestellt werden, sowohl der erste Programmabschnitt mit dem zweiten identisch sein als auch
15 das erste Programm mit dem zweiten.

Ausgabesystem 400

[058] Mit Bezug auf Abb. 6 umfasst der Bilderzeugungsapparat gemäß weiteren Ausführungsformen ein Ausgabesystem 400. Das Ausgabesystem 400 umfasst in einigen Ausführungsformen eine Ausgabeeinheit 410. Die
20 Ausgabeeinheit 410 kann eine visuelle, akustische oder haptische Ausgabeeinheit sein oder eine Kombinationsform davon. In einigen Ausführungsformen ist die Ausgabeeinheit 410 eine Ausgabeeinheit zum Anzeigen von Bildern oder einer Anweisung an einen Nutzer. Ein Nutzer ist in der Regel ein Mensch. Alternativ kann ein Nutzer aber auch ein anderes
25 Lebewesen oder ein unbelebtes Objekt sein, z.B. eine Maschine.

[059] In weiteren Ausführungsformen umfasst das Ausgabesystem 400 weitere Ausgabeeinheiten. Diese können von ähnlicher Art sein wie die Ausgabeeinheit 410 oder von anderer Art.

[060] Ausgabeeinheiten gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können realitätsabbildend sein, eine virtuelle Realität abbilden oder eine erweiterte Realität abbilden. Eine Ausgabeeinheit einer erweiterten Realität kann beispielsweise ein reales Bild mit virtuellen Bildern kombinieren.

- 5 [061] Gemäß Ausführungsformen der Erfindung kann eine Ausgabeeinheit unter anderen eine der folgenden sein: Monitor, optisch durchscheinender Monitor, Stereomonitor, am Kopf befestigte Stereodisplays, akustische frequenzcodierte Rückkopplungssysteme, akustische pulscodierte Rückkopplungssysteme, Krafrückkopplungsjoysticks oder
- 10 Kraftdrehmomentrückkopplungsjoysticks oder andere Arten von visuellen, akustischen und/oder haptischen Ausgabeeinheiten oder Kombinationen davon.

- [062] Abb. 6 zeigt eine Ausgabeeinheit 410 gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. In Abb. 6 ist die Ausgabeeinheit 410 eine optische Ausgabeeinheit, speziell ein Monitor. Abb. 6 zeigt weiter eine akustische
- 15 Ausgabeeinheit 420. In Abb. 6 ist die akustische Ausgabeeinheit ein Lautsprecher.

[063] Abb. 7 zeigt eine Abbildungseinheit 430 in Form eines kopfmontierten visuellen Displays.

Führungssystem 500

- 20 [064] In weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat ein Führungssystem 500, wie etwa in Abb. 8 dargestellt. Das Führungssystem 500 umfasst gemäß einigen Ausführungsformen eine Führungseinheit 510. Eine Führungseinheit 510 kann beispielsweise ein Objekt durch einen Roboterarm führen. Die Führungseinheit 510 kann auch einen Nutzer führen. Das Führen
- 25 kann ebenfalls robotergestützt sein oder aber auf optischen, akustischen oder haptischen Signalen oder auf einer Kombination davon beruhen. Die in Abb. 8 dargestellte Führungseinheit 510 führt einen Nutzer durch haptische Signale. In Abb. 8 dient die Führungseinheit 510 dem besseren Führen eines chirurgischen

Instruments 40 beim Eingriff in einen Körper 30. Die Führungseinheit gibt beispielsweise einen Widerstand, sei es durch mechanische Hinderung oder durch Reizung von Muskeln mittels elektrischer Impulse.

[065] Die Führungseinheit 510 oder weitere Führungseinheiten können auch
5 durch eine Ausgabeeinheit des Ausgabesystems gebildet werden, wenn die Führung des Benutzers durch eine entsprechende Ausgabe bewerkstelligt wird. Das Führungssystem 500 kann daher sogar identisch mit dem Ausgabesystem 400 sein.

[066] In weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat ein
10 Datenaustauschsystem. Wie in Abb. 1 zu sehen, dient das Datenaustauschsystem dem Austausch von Daten zwischen Systemen des Bilderzeugungsapparats, beispielsweise dem Austausch von Daten zwischen Detektorsystem und Auswertesystem, zwischen Erfassungssystem und Auswertesystem, zwischen Ausgabesystem und Auswertesystem, oder
15 zwischen Führungssystem und Auswertesystem (wie in Abb. 1 durch entsprechende Verbindungslinien dargestellt ist). Das Datenaustauschsystem kann sich in einigen Ausführungsformen auf Schnittstellen wie die Detektorschnittstelle 380 oder die Erfassungssystemschnittstelle 390 stützen. Allgemein kann der Austausch von Daten durch eine Verbindung der Systeme
20 erfolgen mit Hilfe von Leitungen oder aber kabellos oder auf sonst eine Weise.

[067] Abbildung 9 zeigt, gemäß Ausführungsformen der Erfindung, einen Körperteil eines Menschen oder anderen Lebewesens, in welchen radioaktive Substanzen eingebracht worden sind, sogenannte Tracer, die sich in bestimmten Regionen bevorzugt anreichern oder die dort stecken bleiben. Die
25 Regionen oder räumlichen Gebiete, in denen die radioaktiven Substanzen angereichert bzw. steckengeblieben sind, können als abgeschlossene Gebiete aufgefasst werden, die eine Quelle von radioaktiver Strahlung umfassen.

[068] Abb. 9 zeigt weiter einen Detektor für radioaktive Strahlung 110. Der Detektor 110 misst die radioaktive Strahlung, die von der Quelle innerhalb des

Körpers ausgeht. Weiter zeigt Abb. 9 ein Laparoskop 120, das Daten zur Erzeugung eines optischen Bildes des Körperinneren aufnimmt. Die von dem Detektor für radioaktive Strahlung 110 und dem Laparoskop 120 aufgenommenen Daten werden in dem Auswertesystem (nicht gezeigt) gesammelt und verarbeitet. Weiter werden die Positionen und/oder Orientierungen der beiden Detektoren über Markierungen 112 und 122 erfasst, und die entsprechenden Daten werden vom Auswertesystem gesammelt. Aus allen diesen Daten erzeugt das Auswertesystem anhand einer Bilderzeugungsvorschrift sowohl ein optisches Bild des Körperinneren aufgrund der Daten des Laparoscops als auch ein funktionelles Bild, das Körperfunktionen wie Stoffwechsel sichtbar macht, aufgrund der Daten des Detektors für radioaktive Strahlung. Das Bild kann insbesondere dreidimensional sein.

[069] Auf einer Ausgabeeinheit 410 werden das optische, anatomische Bild und das funktionelle Bild überlagert und z.B. dreidimensional dargestellt. Die Überlagerung wurde aufgrund einer Registrierung des optischen Bildes mit dem anatomischen Bild durch das Auswertesystem erzeugt.

[070] Weiter zeigt Abb. 9 ein chirurgisches Instrument 40, dessen Position und/oder Orientierung ebenfalls erfasst werden. Die erfassten Daten des chirurgischen Instruments werden ebenfalls durch das Auswertesystem verarbeitet. Auf diese Weise kann ein Bild des chirurgischen Instruments und seiner Lage im Körperinneren durch die Auswerteeinheit bestimmt werden. Dieses Bild kann mit dem anatomischen und optischen Bild ebenfalls registriert werden und auf der Auswerteeinheit 410 angezeigt werden.

[071] Ist insbesondere das funktionelle Bild hochwertig und aktuell, und ist die Registrierung mit dem optischen Bild und dem Instrumentenbild gut, ermöglicht die Ausgabe der registrierten Bilder auf der Anzeigeeinheit einem Operierenden eine präzise Kontrolle des Eingriffs.

[072] Jedoch sind die Bilder vorbekannter Bilderzeugungsapparate und entsprechender Verfahren zur Bilderzeugung oft Bilder, die in Operationen eingesetzt werden, in der Regel nicht aktuell. Das gilt zum Beispiel für präoperative Bilder, seit deren Aufnahme sich das Gewebe und seine Funktionen bereits verändert haben können. Werden intraoperative Bilder verwendet, so ergeben sich insbesondere bei Verwendung von beweglichen Detektoren Probleme damit, dass hierfür vorbekannte Auswertesysteme nicht in der Lage sind, ein hochwertiges Bild zu garantieren. Es besteht hier zur Verbesserung der Bilderzeugung Bedarf an einer Qualitätskontrolle, insbesondere an einer Qualitätskontrolle bereits während der Erfassung der Detektordaten. Eine solche Qualitätskontrolle kann auch eine fortlaufende Qualitätskontrolle sein. Ferner ist zur Verbesserung der Bilderzeugung ein verbesserter Datensatz wünschenswert, was durch Anleiten zum Detektieren gesichert werden kann. Speziell bei beweglichen oder gar in der Hand tragbaren Detektoren stellt die Erfassung von Detektordaten, die prinzipiell zu jedem Zeitpunkt bei einer beliebigen Position und/oder Orientierung des Detektors aufgenommen werden können, eine Herausforderung dar. Zur Verbesserung der Bilderzeugung ist es ferner wünschenswert, vorhandene Information wie beispielsweise über anatomische Gegebenheiten, Detektoreigenschaften, andere Materialeigenschaften, die die Detektion beeinflussen, oder über Zwangsbedingungen zu verwenden. Zur Verbesserung der Bilderzeugung kann auch ein Verbessern des Registrierens der Bilder beitragen. Auch ein Verändern und Verbessern der Abbildungsvorschrift schon während des Detektionszeitraums kann die Bilderzeugung insgesamt verbessern.

[073] Gemäß Ausführungsformen der Erfindung werden Mittel zum Verbessern der Bilderzeugung bereitgestellt.

Sammeln von Detektordaten

[074] Gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden Detektordaten von dem Auswertesystem gesammelt. Hierbei können Position und/oder Orientierung des Detektors von einem Erfassungssystem erfasst
5 worden sein. Die Detektordaten umfassen in einigen Ausführungsformen Informationen über die detektierte radioaktive Strahlung. In weiteren Ausführungsformen umfassen die Detektordaten Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Beispielsweise können Daten mit Informationen über die detektierte Strahlung synchronisiert mit Daten über
10 die Position und/oder Orientierung des Detektors gesammelt werden. Zur Synchronisation von Daten siehe WO 2007/131561, insbesondere Seite 3, Zeilen 1 bis 6 und Zeilen 27 bis 33, und Seite 6, Zeilen 22 bis 30, hier eingebunden durch Referenz. Die WO 2007/131561 ist darüberhinaus in Gänze durch Referenz eingebunden. In weiteren Ausführungsformen werden die
15 Detektordaten in dem Auswertesystem gespeichert.

[075] In weiteren Ausführungsformen detektiert ein Detektor Strahlung während eines Detektionszeitraums. Diese Strahlung kann radioaktive, bzw. Kernstrahlung sein. Unter solcher radioaktiver Strahlung wird auch Strahlung verstanden, die mittelbar durch radioaktive Zerfälle erzeugt wird,
20 beispielsweise Ionisationsstrahlung eines Alpha-Teilchens. Ausführungsformen der Erfindung, in denen ein Detektor radioaktive Strahlung misst, umfassen daher auch das Detektieren solcher sekundären Strahlung.

Bilderzeugung und Bilderzeugungsvorschrift

25 [076] In weiteren Ausführungsformen erzeugt das Auswertesystem aus den Detektordaten durch eine Bilderzeugungsvorschrift ein Bild. In typischen Ausführungsformen ist dieses Bild ein Bild der Strahlungsverteilung und damit der Strahlungsquellen in einem räumlichen Gebiet.

- [077] Gemäß weiteren Ausführungsformen ist die Bilderzeugungsvorschrift eine lineare Vorschrift. Hierbei wird typischerweise eine Abbildungsmatrix H , auch Systemmatrix genannt, auf einen Vektor $f = (f_1, f_2, \dots, f_N)$ angewendet. Der Vektor f enthält Bildinformationen. Typischerweise wird zur Darstellung eines
- 5 Bildes eines räumlichen Gebietes dieses räumliche Gebiet in Bildelemente (Voxel) aufgeteilt. Jeder Index $i=1, 2, \dots, N$ des Vektors f ist dann einem bestimmten Bildelement zugeordnet. Informationen bezüglich dieser Bildelemente (z.B. Strahlungsintensität in dem jeweiligen Bildelement) bilden die Einträge f_i des Vektors f zu dem entsprechenden Index i .
- 10 [078] Die Detektordaten werden ebenfalls in einem Vektor $g = (g_1, g_2, \dots)$ zusammengefasst. Jeder Index $k=1, \dots, M$ ist dabei einer Messung (oder gemittelten Messreihe, s.u.) eines Detektors zugeordnet, und der Eintrag g_k enthält das Ergebnis der bei dieser Messung gemessenen Strahlungsintensität.
- [079] Die Einträge H_{ki} der Abbildungsmatrix H modellieren den Einfluss
- 15 einer normierten Strahlungsquelle an der dem Index i zugeordneten Position auf die k -te Messung. Die Abbildungsmatrix H enthält in ihren Einträgen H_{ki} Informationen über Positionen und Orientierungen des Detektors für radioaktive Strahlung. Da sich die verschiedenen Beiträge linear überlagern, ist bei einer Strahlungsverteilung f_i ein Ergebnis der Messung zu erwarten, das in
- 20 etwa durch den Vektor $g_{\text{prognostiziert}_k} = \sum_i H_{ki} f_i$ gegeben ist. In Matrix-Schreibweise (mit „ $*$ “ als Matrix-Produkt):

$$g_{\text{prognostiziert}} = H * f$$

- Ein solcher Vektor $g_{\text{prognostiziert}}$ kann mit einem Vektor g_{gemessen} verglichen werden, der tatsächliche Detektordaten mit Information über
- 25 detektierte Strahlung beinhaltet. Bei diesem Vergleich sind selbstverständlich verschiedene Messfehler, z.B. Beiträge externer Strahlungsquellen, Unzulänglichkeiten des Detektors, statistische Fehler, etc. zu berücksichtigen.

[080] Die Bilderzeugung kann nun derart beschrieben werden, einen Vektor f mit Bildinformation bezüglich der Strahlungsverteilung in einem räumlichen Gebiet zu finden, der mit den tatsächlich gemessenen Daten über nukleare Strahlung am besten in Einklang steht. Ein konzeptioneller Ansatz hierfür ist
 5 eine Minimierung des Abstands

$$|H*f - g_{\text{gemessen}}|,$$

[081] über alle geschätzten Strahlungsverteilungen, deren jeweilige Bildinformation in einem jeweiligen Vektor f codiert ist. Hierbei bezeichnet $|\cdot|$ eine geeignete Abstandsnorm. In typischen Ausführungsformen wird $|\cdot|$ durch
 10 die L_2 -Norm berechnet. Diese Minimierung kann als iterativer Prozeß implementiert sein. Der involvierte Minimierungsprozess kann beispielsweise durch algebraische Rekonstruktionstechniken, Maximum Likelihood Erwartungswertmaximierung, Pseudoinversion mittels Singulärwertdekomposition, Gauss-Seidel Inversion, sukzessive
 15 Überrelaxierung, Jacobi Inversion, multiplikative algebraische Rekonstruktionstechniken, simultane iterative Rekonstruktionstechniken oder durch andere Techniken ausgeführt werden. Auch Regularisierungsmethoden wie Tikhonov Regularisierung, Gesamtvariationsregularisierung und andere Regularisierungen können verwendet werden. Vor diesem Hintergrund ist die
 20 Bilderzeugungsvorschrift so definiert, dass sie in erster Linie durch die Matrix H gebildet wird. Aber auch der zu benutzende Algorithmus zum Lösen des Minimierungsproblems sowie der zu verwendende Startvektor einer iterativen Lösung sind Teil der Bilderzeugungsvorschrift.

[082] In weiteren Ausführungsformen ist die Bilderzeugungsvorschrift nicht
 25 linear. Auch für solche nicht-linearen Bilderzeugungsvorschriften können analoge Verfahren angewendet werden.

Detektionsmodelle

[083] Ausführungsformen entsprechend können Bilderzeugungsvorschriften, insbesondere die oben beschriebene Matrix H , aufgrund mindestens eines Detektionsmodells erzeugt oder verbessert werden. Detektionsmodelle können verändert oder angepasst werden, insbesondere aufgrund neuer Detektordaten.

- 5 Detektionsmodelle können gemäß einigen Ausführungsformen verbessert oder fortlaufend verbessert werden. Verbesserte oder fortlaufend verbesserte Detektionsmodelle können zur Verbesserung einer Bilderzeugungsvorschrift verwendet werden.

- [084] Bei einer linearen Bilderzeugungsvorschrift gemäß Ausführungsformen
10 der vorliegenden Erfindung können die Einträge der Abbildungsmatrix durch Detektionsmodelle berechnet werden. Solche Detektionsmodelle können durch algebraische, analytische, numerische oder statistische Methoden erstellt sein oder aufgrund von Messdaten erstellt sein oder durch Kombination davon. In
15 einigen Ausführungsformen werden Detektionsmodelle durch Messung an einer radioaktiven Punktquelle erstellt, die verschieden positioniert wird und deren Strahlung aus verschiedenen Positionen und Orientierungen vermessen wird. Durch solche Messungen oder durch geeignete Detektionsmodelle wird Information beispielsweise über mindestens eine Materialeigenschaft
mindestens eines Materials gewonnen bzw. genutzt. Im Fall einer
20 Bilderzeugung für medizinische Zwecke können beispielsweise Materialeigenschaften von im Raum verteilten Materialien wie Operationstisch, Gerätschaften, aber auch der Patient selbst bestimmt werden.

- [085] Materialeigenschaften umfassen die Abschwächung zwischen Quelle und Detektor, und eine Streuung zwischen Quelle und Detektor, die
25 Materialeigenschaften von Materialien zwischen der Quelle und dem Detektor, die Abschwächung durch einen Detektorschild oder ein Streuen durch ein Detektorschild, die Abschwächung im Detektor selbst und die Streuung im Detektor selbst.

[086] Weiter können sowohl analytische als auch algebraische, numerische statistische oder Kombinationsdetektionsmodelle neben Materialeigenschaften auch Zwangsbedingungen berücksichtigen. Beispiele für Zwangsbedingungen sind der relative Raumwinkel zwischen einem Detektor und einem
5 Quellbereich von Strahlung, die Abmessungen des Detektors, oder aber ein Nichtvorhandensein von Material oder Materie. Zwangsbedingungen erlauben, gewisse Bildvektoren f von vorneherein auszuschließen und dadurch bessere Ergebnisse des oben beschriebenen Minimierungsproblems zu erreichen.

[087] Abbildung 10 zeigt schematisch die Übersetzung von realen Objekten
10 und einem realen Detektionsprozess in ein Detektionsmodell und einen simulierten Detektionsprozess. Gemäß Ausführungsformen der Erfindung werden reale Objekte wie ein Detektor 110, ein Körper 30 und eine sich innerhalb des Körpers befindliche Strahlungsquelle 10 auf Daten eines Detektionsmodells abgebildet. Dabei beschreiben Daten bezüglich des
15 Detektors einen virtuellen Detektor 110a, Daten bezüglich des Körpers einen virtuellen Körper 30a und Daten bezüglich der Strahlungsquelle eine virtuelle Strahlungsquelle 10a.

[088] Abbildung 11 illustriert die Ermittlung eines Detektionsmodells aufgrund von Messungen. Eine radioaktive Punktquelle 50 emittiert
20 radioaktive Strahlung 52 in alle Raumrichtungen. Ein Detektor 110 vermisst an verschiedenen Positionen und mit verschiedenen Orientierungen (zweite Position/Orientierung gestrichelt dargestellt) die Strahlungsquelle 50, wodurch Informationen über Materialeigenschaften gewonnen werden. Materialeigenschaften können beispielsweise diejenigen eines Körpers 30
25 umfassen. Aus den Messdaten kann ein Detektionsmodell gewonnen werden. Das Detektionsmodell kann die Information der Messdaten und weiter Information wie beispielsweise die Detektorgeometrie berücksichtigen.

[089] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung entsprechend wird ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt.

Das Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des Bilderzeugungsapparats. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Das Detektieren kann während eines Detektionszeitraums erfolgen. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein
5 Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. In typischen Ausführungsformen umfassen die Detektordaten Informationen über die detektierte Strahlung. In weiteren typischen Ausführungsformen umfassen die Detektordaten Information über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiter das Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch
10 das Auswertesystem zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter Berücksichtigung eines Detektionsmodells. In typischen Ausführungsformen berücksichtigt das Detektionsmodell eine Materialeigenschaft eines die Detektion beeinflussenden Materials und/oder eine Zwangsbedingung.

15 [090] Gemäß weiteren Ausführungsformen ist der Detektor beweglich. Gemäß weiteren Ausführungsformen ist der Detektor frei beweglich. In anderen Ausführungsformen ist der Detektor in der Hand tragbar. In typischen Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein erneutes, wiederholtes oder fortlaufendes Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch das
20 Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats, typischerweise während des Detektionszeitraums.

[091] In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren weiter ein Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem. In weiteren Ausführungsformen umfasst das
25 Verfahren ein erneutes oder wiederholtes Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem. Typischerweise findet das Ermitteln, das erneut Ermitteln, das wiederholte Ermitteln, oder ein fortlaufendes Ermitteln während des Detektionszeitraums statt.

[092] Insbesondere ist das Detektionsmodell gemäß Ausführungsform der Erfindung algebraisch, analytisch, numerisch, statistisch oder aufgrund von Messdaten oder durch Kombinationen davon erstellt.

[093] In weiteren Ausführungsformen berücksichtigt das Detektionsmodell
5 mindestens eine weitere Materialeigenschaft und/oder mindestens eine weitere Zwangsbedingung. Materialeigenschaften können das Detektionsmodell beispielsweise aufgrund folgender Effekte beeinflussen: Abschwächung von Strahlung, Streuung von Strahlung, Beugung von Strahlung, Brechen von Strahlung, Einfluss von elektromagnetischen Feldern, Einfluss von
10 Hintergrundstrahlung, Signalrauschen oder Einfluss von Fehlern in den Messungswerten des Detektors sowie in der Messung von Position und/oder Orientierung des Detektors. Ausführungsformen der Erfindung können Detektionsmodelle, die diese oder andere Effekte berücksichtigen, umfassen.

[094] Verfahren zur Bilderzeugung gemäß Ausführungsformen der Erfindung
15 können auch mindestens eine Zwangsbedingung berücksichtigen, wobei die Zwangsbedingung beispielsweise der relative Raumwinkel zwischen dem Detektor und dem Quellbereich der Strahlung, die Abmessung des Detektors oder ein Nichtvorhandensein eines Materials sein können.

[095] Gemäß weiteren Ausführungsformen wird ein Bilderzeugungsapparat
20 zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen Detektor zur Detektion von Strahlung. Der Detektor kann ein beweglicher Detektor sein. Der Detektor kann ein frei beweglicher Detektor sein. Der Detektor kann ein in der Hand tragbarer Detektor sein. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein
25 Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem. Typischerweise umfassen Detektordaten Daten mit Informationen über die detektierte Strahlung. Typischerweise umfassen Detektordaten auch Daten mit Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors zur

Bilderzeugung. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift zur Bilderzeugung
5 auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter der Berücksichtigung eines Detektionsmodells. In typischen Ausführungsformen berücksichtigt das Detektionsmodell mindestens eine Materialeigenschaft mindestens eines die Detektion beeinflussenden Materials und/oder mindestens eine Zwangsbedingung.

10 [096] In weiteren Ausführungsformen ist das Schnittstellensystem ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem. Dabei umfassen die Detektordaten typischerweise Informationen über die detektierte Strahlung. Typischerweise umfassen diese Daten auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des
15 Detektors. Gemäß weiteren Ausführungsformen ist das Schnittstellensystem ein Schnittstellensystem zur fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem zur Bilderzeugung. Die Detektordaten können wieder Informationen über die detektierte Strahlung und/oder Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors umfassen. Typischerweise ist die
20 Übermittlung eine Übermittlung während des Detektionszeitraums.

[097] Gemäß weiteren Ausführungsformen berücksichtigt das Detektionsmodell eine Abschwächung von Strahlung, eine Streuung von Strahlung, eine Beugung von Strahlung, eine Brechung von Strahlung, den Einfluss von elektromagnetischen Feldern, den Einfluss von
25 Hintergrundstrahlung, ein Signalrauschen, den Einfluss von Fehlern in den Messungswerten des Detektors sowie in der Messung von Position und/oder Orientierung des Detektors oder weitere Effekte. In noch weiteren Ausführungsformen berücksichtigt das Detektionsmodell Zwangsbedingungen wie den relativen Raumwinkel zwischen dem Detektor und einem Quellbereich

der Strahlung, die Abmessung des Detektors oder ein Nichtvorhandensein eines Materials oder Kombinationen dieser Zwangsbedingung.

- [098] Gemäß weiteren Ausführungsformen werden Bilderzeugungsvorschriften verändert. Insbesondere werden bei linearen
5 Bilderzeugungsvorschriften die Einträge der Abbildungsmatrix oder Systemmatrix verändert. In typischen Ausführungsformen wird die Systemmatrix verändert, sobald weitere Messdaten zur Verfügung stehen. Speziell kann die Minimierung der Norm der Differenz zwischen H angewendet auf f und g_{gemessen} erneut minimiert werden, sobald weitere
10 Messdaten zur Verfügung stehen. Folglich umfassen Ausführungsformen typischerweise ein fortlaufendes Verändern der Bilderzeugungsvorschrift. Auch die Detektionsmodelle können fortlaufend angepasst und verbessert werden.

Registrierung

- 15 [099] Gemäß weiteren Ausführungsformen werden Detektordaten mit kompatiblen Daten registriert. In einigen Ausführungsformen sind die kompatiblen Daten durch eine Abbildungsvorschrift aus einem vorgegebenen Bild gewonnen. Ein solches vorgegebenes Bild kann beispielsweise ein zuvor erfasstes (präoperativ aufgenommenes) anatomisches oder körperfunktionelles
20 Bild sein. Im Falle einer linearen Abbildungsvorschrift kann diese durch eine Abbildungsmatrix H dargestellt werden wie oben beschrieben. Diese Matrix H kann von einem Lagevektor T abhängen, in welchem Informationen über die relative Lage und/oder Orientierung zwischen dem Detektor und der Quelle der Strahlung erfasst ist. Hierbei kann T eine relative Lage im Sinne einer rigiden
25 Registrierung, oder im Sinne einer deformierbaren Registrierung beschreiben. Die Matrix $H(T)$, d.h. abhängig von T , wird auf einen Vektor f_{Bild} angewendet, wie oben beschrieben, um einen Vektor mit dem Bild zugeordneten (theoretischen) Detektordaten $g = H(T) * f_{\text{Bild}}$ zu erhalten.

[0100] Die in g enthaltene Information stellt prognostizierte oder virtuelle oder simulierte Detektordaten dar, die Simulationsdetektordaten genannt werden. Wie zuvor enthält ein Vektor g_{gemessen} Information über detektierte Strahlung. Das Format (d.h. die Struktur des Vektors g) der Simulationsdetektordaten ist mit dem der gemessenen Detektordaten g_{gemessen} kompatibel. Ein Registrieren von Detektordaten mit solchen kompatiblen Daten findet statt, gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung, indem der Abstand $|H(T) \cdot f_{\text{Bild}} - g_{\text{gemessen}}|$ minimiert wird, d.h. zwischen g und g_{gemessen} . Der Abstand $|\cdot|$ kann beispielsweise durch die L2-Norm gegeben sein. Die Minimierung findet über alle Lage-Vektoren T statt, um als Ergebnis der Minimierung einen optimalen Lage-Vektor T zu erhalten. Bei Verwendung dieses optimalen Lage-Vektors T wird durch die Matrix $H(T)$ den gemessenen Detektordaten ein Bildvektor zugeordnet, das mit dem Bildvektor des vorgegebenen Bildes kompatibel und registriert ist.

[0101] In typischen Ausführungsformen wird die Minimierung durch Algorithmen wie beispielsweise den Best-Neighbour-Ansatz, einen Simplex-Optimierer, den Levenberg-Marquardt Algorithmus, den steilsten Gradientenabstieg, den konjugierten Gradientenabstieg oder andere ausgeführt.

[0102] Die Registrierung kann jedoch nicht nur durch Vergleich der Detektordaten g wie oben beschrieben, sondern auch durch direkten Vergleich der aus den Detektordaten gewonnenen Bilddaten f mit dem vorgegebenen Bild erfolgen. Dieser Vergleich kann etwa durch einen Bildvergleich mit den oben zu g beschriebenen Methoden, oder etwa durch einen Vergleich einzelner hierfür vorgesehener Markierungspunkte erfolgen. Weiter sind auch andere Registrierungsmethoden möglich.

[0103] Der oben beschriebene Bildvergleich erlaubt es ferner, eine Abschätzung der Qualität von gesammelten Daten zu erreichen (als der Abweichung zwischen den aus den Detektordaten gewonnenen Bilddaten von dem vorgegebenen Bild).

[0104] Daten können mit kompatiblen Daten auch indirekt registriert werden. Unter indirekter Registrierung versteht sich ein Registrieren eines ersten Datensatzes mit einem dritten Datensatz vermittels eines zweiten Datensatzes. Hierfür wird zunächst der erste Datensatz mit dem zweiten Datensatz registriert, z.B. wie oben beschrieben. Dann wird der zweite Datensatz mit dem dritten Datensatz registriert. Unter Verwendung dieser Registrierung wird schließlich der erste mit dem dritten Datensatz registriert. Beispielsweise kann der erste Datensatz aus einem Basisbild wie zum Beispiel einem präoperativ aufgenommenen anatomischen Bild gewonnen worden sein. Der zweite Datensatz kann beispielsweise Detektordaten zu einem ersten Zeitpunkt entsprechen und der dritte Datensatz Detektordaten zu einem späteren Zeitpunkt. Ist die Registrierung des ersten Datensatzes, der aus dem Basisbild hergeleitet worden ist, mit dem zweiten Datensatz gelungen, erleichtert die Ähnlichkeit des zweiten und dritten Datensatzes aus Detektordaten eine Registrierung, wenn indirekte Registrierung verwendet wird wie oben beschrieben.

[0105] In weiteren Ausführungsformen wird ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des Bilderzeugungsapparats. Das Detektieren kann während eines Detektionszeitraums erfolgen. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Detektor kann beweglich sein. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in der Hand tragbar sein. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Typischerweise umfassen die Detektordaten Informationen über die detektierte Strahlung. Typischerweise umfassen die Detektordaten auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiter ein Registrieren der Detektordaten mit kompatiblen Daten durch das Auswertesystem. In weiteren Ausführungsformen sind die kompatiblen Daten Detektordaten. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren zur

Bilderzeugung ein Erzeugen von Simulationsdetektordaten basierend auf einem Basisbild durch das Auswertesystem. Die kompatiblen Daten können Simulationsdetektordaten sein. In weiteren Ausführungsformen wird zum Registrieren der Detektordaten mindestens eine Vergleichsfunktion verwendet.

- 5 [0106] In weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein indirektes Registrieren der Simulationsdetektordaten mit Detektordaten über zweite kompatible Daten. In einigen Ausführungsformen sind die zweiten kompatiblen Daten Detektordaten. In anderen Ausführungsformen sind die zweiten kompatiblen Daten zweite Simulationsdetektordaten basierend auf
10 einem zweiten Basisbild.

- [0107] Vergleichsfunktionen können beispielsweise Kreuzkorrelation Transinformation, Blockentropien, Korrelationsraten, Kosinusmaß, erweiterte Jaccard-Ähnlichkeit, verhältnismäßige Bilduniformität, Summen von Quadrateabständen oder Summen von Absolutwerten von Abständen oder
15 weitere Vergleichsfunktionen sein.

- [0108] In weiteren Ausführungsformen ist das Basisbild ein anatomisches oder körperfunktionelles Bild. In anderen Ausführungsformen ist das zweite Basisbild ein anatomisches oder körperfunktionelles Bild. Anatomische Bilder können beispielsweise eine Computertomografie, eine
20 Magnetresonanztomografie, ein Ultraschallbild, ein optisches Bild oder ein Röntgenbild sein. Körperfunktionelle Bilder können beispielsweise eine Positronenemissionstomografie, abgekürzt PET, eine Einzelphotonenemissionscomputertomografie, abgekürzt SPECT, oder eine optische Tomografie sein.

- 25 [0109] In weiteren Ausführungsformen wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen Detektor zur Detektion von Strahlung. Der Detektor kann beweglich sein. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in der Hand tragbar sein. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Detektor kann ein Detektor

zum Detektieren während eines Detektionszeitraums sein. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten zur Bilderzeugung und das Auswertesystem. Typischerweise
5 umfassen die Detektordaten Informationen über die detektierte Strahlung. Typischerweise umfassen die Detektordaten auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Schnittstellensystem kann auch ein Schnittstellensystem zur fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem sein. Das Auswertesystem umfasst
10 weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren von Detektordaten mit kompatiblen Daten.

[0110] In weiteren Ausführungsformen sind die kompatiblen Daten Detektordaten. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem weiter ein Programmspeicherabschnitt mit einem Programm
15 zum Erzeugen von Simulationsdetektordaten basierend auf einem Basisbild. In weiteren Ausführungsformen sind die kompatiblen Daten Simulationsdetektordaten. Gemäß weiteren Ausführungsformen ist das Programm zum Registrieren programmiert um zum Registrieren von Detektordaten mit kompatiblen Daten mindestens eine Vergleichsfunktion zu
20 verwenden.

[0111] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum indirekten Registrieren der Simulationsdetektordaten mit Detektordaten über zweite
kompatible Daten. Die zweiten kompatiblen Daten können Detektordaten sein.
25 Die zweiten kompatiblen Daten können zweite Simulationsdetektordaten sein basierend auf einem zweiten Basisbild.

[0112] Die Vergleichsfunktionen können beispielsweise Vergleichsfunktionen wie die oben beschriebenen oder andere Vergleichsfunktionen sein. Ferner kann

das Basisbild oder das zweite Basisbild dieselben oder ähnliche Eigenschaften besitzen wie oben beschrieben.

[0113] Ausführungsformen der Erfindung umfassen auch das Registrieren von Bildern. Diese Bilder können beispielsweise aus Detektordaten oder anderen
5 Datensätzen erzeugt worden sein. Eine Registrierung von Bildern erfolgt beispielsweise durch Maximierung der Ähnlichkeit oder Minimierung der Unähnlichkeit beider Bilder. Für die Minimierung der Unähnlichkeit oder Maximierung der Ähnlichkeit können Vergleichsfunktionen wie Kreuzkorrelationen, Transinformationen, Blockentropien, Korrelationsraten,
10 Kosinusmaß (engl.: Cosine Measure), erweiterte Jaccard-Ähnlichkeit (engl.: Extended Jaccard Similarity), verhältnismäßige Bilduniformität (engl.: Ratio Image Uniformity), Summen von Quadratabständen oder Summen von Absolutwerten von Abständen verwendet werden. Es können aber auch andere informationstheoretische Vergleichsfunktionen verwendet werden. Für den
15 Minimierungs- oder Maximierungsprozess selbst können Optimierungsalgorithmen mit Algorithmen wie die oben bereits erwähnten verwendet werden oder andere. Bilder können auch punktweise registriert werden. Dazu werden speziell ausgewählte Punkte in beiden Bildern in Beziehung gesetzt. Die Auswahl kann automatisch oder interaktiv erfolgen.
20 Algorithmen zur punktweisen Registrierung können zum Beispiel der Umeyama oder der Walker Algorithmus sein.

[0114] Schließlich ist auch eine indirekte Bildregistrierung möglich. Das Vorgehen umfasst in diesem Fall das Registrieren eines dritten Bildes mit einem zweiten Bild, das Registrieren eines ersten Bildes mit dem dritten Bild
25 und das Registrieren des ersten Bildes mit dem zweiten Bild unter Verwendung der Registrierung des ersten Bildes mit dem dritten Bild. Die Bilder wie auch im Fall des Registrierens von Datensätzen beispielsweise anatomische oder körperfunktionelle Bilder sein. Solche Bilder können aus Detektordaten gewonnen sein. Die Bilder können aber auch durch andere Detektoren des
30 Detektorsystems gewonnen worden sein wie beispielsweise durch

Computertomografie, Magnetresonanztomografie, Ultraschallsonografie, Kameraaufnahme einer optischen Kamera oder durch ein Röntgengerät. Beispiele für organfunktionelle Bilder sind aus den Detektordaten gewonnene Bilder, aber auch Positronenemissionstomografie, abgekürzt PET, Einzelphotonenemissionscomputertomografie, abgekürzt SPECT, oder optische Tomografie.

[0115] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst ein Verfahren zur Bilderzeugung ein Erzeugen eines ersten Bildes auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem. In gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren weiter ein Registrieren des ersten Bildes mit einem zweiten Bild. Zur Registrierung des ersten Bildes mit dem zweiten Bild kann eine Minimierung der Unähnlichkeit oder Maximierung der Ähnlichkeit verwendet werden. In einigen Ausführungsformen wird zur Minimierung oder Maximierung mindestens eine Vergleichsfunktion verwendet. Vergleichsfunktionen können die oben genannten oder andere Vergleichsfunktionen sein.

[0116] Weiteren Ausführungsformen entsprechend umfasst ein Verfahren zur Bilderzeugung ein Registrieren eines dritten Bildes mit einem zweiten Bild, ein Registrieren des ersten Bildes mit einem dritten Bild, ein Registrieren des ersten Bildes mit einem zweiten Bild unter Verwendung der Registrierung des ersten Bildes mit dem dritten Bild.

[0117] In einigen Ausführungsformen ist das zweite Bild ein anatomisches Bild. In anderen Ausführungsformen ist das zweite Bild ein körperfunktionelles Bild. Ein anatomisches Bild kann eines der oben beschriebenen anatomischen Bilder oder ein anderes anatomisches Bild sein. Ein körperfunktionelles Bild kann eines der oben beschriebenen körperfunktionellen Bilder oder ein anderes körperfunktionelles Bild sein.

Qualitätskontrolle

[0118] Um hochwertige, insbesondere aktuelle, hochwertige Bilder erzeugen zu können, stellen Ausführungsformen der Erfindung Verfahren und Geräte zur Kontrolle der Qualität sowohl der Detektordaten als auch der erzeugten Bilder bereit. In einigen Ausführungsformen geschieht eine Qualitätskontrolle fortlaufend. Auf diese Weise wird die Güte und Gültigkeit eines erzeugten Bildes überprüft. In weiteren Ausführungsformen geschieht die Qualitätskontrolle bereits während des Detektionszeitraums.

[0119] Abbildung 12 zeigt einen typischen Prozess der Qualitätskontrolle gemäß Ausführungsformen der Erfindung. Dargestellt ist eine Zeitachse 620, die den Verlauf der Zeit (von links nach rechts) symbolisiert. In Abbildung 12 ist weiter ein Detektionszeitraum 622 gezeigt. Ferner ist, bezogen auf die gleiche Zeitachse, ein Qualitätswertermittlungszeitraum 624 abgebildet. Typischerweise beginnt der Qualitätswertermittlungszeitraum 624 nach dem Beginn des Detektionszeitraums, wenn bereits Detektordaten verfügbar sind. Der Qualitätswertermittlungszeitraum 624 kann vor dem, gleichzeitig mit dem oder nach dem Detektionszeitraum enden. Typischerweise endet der Qualitätswertermittlungszeitraum 624 nach dem Detektionszeitraum. Die Abstände zwischen Markierungen auf der Strecke, die den Qualitätswertermittlungszeitraum 624 symbolisiert, symbolisieren ihrerseits Zeiträume, in denen ein Qualitätsermittlungsprozess wie beispielsweise das Ermitteln eines Qualitätswerts durch die Auswerteeinheit stattfindet. Die Abstände 626 und 628 symbolisieren den ersten, bzw. letzten Qualitätsermittlungsprozess. In weiteren Ausführungsformen der Erfindung wird ein Warnsignal 629 ausgegeben, wenn erfasste, bzw. von der Auswerteeinheit gesammelte Daten eine Qualitätskontrolle nicht bestehen. Ein solches Warnsignal kann beispielsweise akustisch, optisch, haptisch oder durch Kombination davon ausgegeben werden. Ein solches Warnsignal kann einem Nutzer, beispielsweise einem Operierenden, vergegenwärtigen, dass Bilder, die

aus den Detektordaten erzeugt werden, zumindest zum Zeitpunkt der Ausgabe des Warnsignals möglicherweise nicht vertrauenswürdig sind.

[0120] Die Qualitätskontrolle findet typischerweise anhand von mindestens einem Qualitätskriterium statt. Bezüglich eines oder mehrerer
5 Qualitätskriterien wird ein Qualitätswert berechnet. Es können auch mehrere Qualitätswerte zu einem, bzw. mehreren Qualitätskriterien berechnet werden, beispielsweise wenn ein von einer jeweiligen Bildregion abhängiger Qualitätswert ermittelt wird. Hierbei kann beispielsweise die Gültigkeit oder Güte eines Bildes zurückgewiesen werden, wenn ein solcher Qualitätswert
10 eines oder mehrere Qualitätskriterien nicht erfüllt, d.h. diesen nicht genügt. Andersherum kann ein Bild als gültig anerkannt werden, wenn ein Qualitätswert einem Qualitätskriterium genügt oder mehreren Qualitätskriterien genügt. Hier und im Folgenden kann statt eines Bildes auch eine bestimmte, dem jeweiligen Qualitätswert zugeordnete Bildregion
15 verstanden werden.

[0121] Beispiele für Qualitätskriterien sind folgende: die Ähnlichkeit zwischen einem ersten Bild und einem zweiten Bild, wobei eines der Bilder oder beide Bilder aus Detektordaten erzeugt sein können, die Konditionierung einer Bilderzeugungsvorschrift zur Erzeugung eines Bildes, die Relevanz von Daten
20 wie beispielsweise Detektordaten für ein Bildelement, die Plausibilität der Bilderzeugung aus Daten wie Detektordaten oder anhand des zweiten Bildes, die Uniformität von Daten wie Detektordaten, oder das Falscherzeugungsrisiko aufgrund von fehlerhaften Daten wie Detektordaten.

[0122] Die Ähnlichkeit zwischen einem ersten und einem zweiten Bild kann
25 ähnlich bestimmt werden wie im Fall der Registrierung. Insbesondere können auch bereits registrierte Bilder wiederum miteinander auf Ähnlichkeit verglichen werden. Die Bilder können hierbei durch direkte Bildregistrierung oder durch Datenregistrierung registriert worden sein. Die Bilder können

beispielsweise anatomische oder organfunktionelle Bilder sein, wie die oben bereits beschriebenen oder weitere.

[0123] Ist gemäß einigen Ausführungsformen die Bilderzeugungsvorschrift eine lineare Vorschrift, so kann die Konditionierung einer Bilderzeugungsvorschrift beispielsweise durch die Konditionierung der Abbildungsmatrix oder der Systemmatrix gegeben sein. Insbesondere kann in einem linearen, diskreten Fall die Konditionszahl der Abbildungsmatrix H (siehe oben) berechnet werden. Die Konditionszahl kann durch Analyse des Spektrums der Singulärwerte der Matrix oder durch ähnliche Matrixdekompositionsmaße berechnet werden (z.B. Verhältnis von größtem zu kleinstem Eigenwert, oder Anzahl der einen Schwellwert über- oder unterschreitenden Eigenwerte). In diesem Beispiel ist das Qualitätskriterium ein Schwellenwert für die Konditionierungszahl. Ist die berechnete Konditionierungszahl, d.h. der Qualitätswert, kleiner (bzw. größer, je nach Definition der Konditionierungszahl) als dieser Schwellenwert, so erfüllen die Daten wie beispielsweise Detektordaten das Qualitätskriterium nicht, und folglich wird ein daraus erzeugtes Bild zurückgewiesen. Ist auf der anderen Seite die berechnete Konditionierungszahl größer (bzw. kleiner) als der Schwellenwert, so wird die Güte der Daten wie zum Beispiel Detektordaten und ein daraus rekonstruiertes Bild akzeptiert.

[0124] Ähnlich kann die mit dem englischen Fachausdruck *Sparsity* (Dünnbesetztheit) einer Matrixzeile oder -spalte bezeichnete Größe als Qualitätswert, und ein Schwellenwert bezüglich dieser Größe als Qualitätskriterium verwendet werden. Eine Zeile oder eine Spalte einer Matrix ist dünn besetzt (*sparse*), wenn weniger als eine durch den Schwellenwert festgelegte Zahl von Einträgen von Null (bzw. numerisch Null, d.h. kleiner als ein vorgegebener epsilon-Schwellenwert) verschieden ist. Ist eine Matrixspalte zu dünn besetzt, hängt ein Bildelement von nur wenigen Messungen ab, und es besteht für dieses Bildelement daher ein hohes Falscherzeugungsrisiko. Ist eine Matrixzeile zu dünn besetzt, so ist der dieser Zeile zugeordnete Messwert für

nur wenige Bildelemente verantwortlich, d.h. hat umgekehrt ein übermäßig hohes Gewicht für diese Bildelemente, was wiederum ein hohes Falscherzeugungsrisiko mit sich bringen kann.

[0125] Entsprechend kann auch die Relevanz von Daten für ein Bildelement als Qualitätskriterium verwendet werden. Für eine lineare Bilderzeugungsvorschrift kann beispielsweise die Relevanz einer Zeile oder Spalte mit einem Schwellenwert für die Summe aller Einträge einer Zeile oder Spalte verknüpft werden.

[0126] Die Plausibilität einer Bilderzeugung berücksichtigt beispielsweise eine Zwangsbedingung. Beispiele für Zwangsbedingungen sind die Maximalmenge von Strahlung, der Gradient der Summe der Maximalstrahlung, minimale Strahlung, Strahlung, die in Bildelementen zuzuordnen ist, welche offensichtlich keine Strahlungsquellen enthalten können (zum Beispiel luftgefüllte Volumina), und weitere. Je nach Grad der Plausibilität kann ein entsprechender Qualitätswert zugeordnet werden.

[0127] Die Uniformität von Detektordaten wird durch die räumliche Verteilung der Messungen bestimmt. Uniforme Messungen liegen vor, wenn die Messungen gleichmäßig um das zu rekonstruierende Gebiet verteilt sind. Ein Maß für die Uniformität wird durch die Abweichung der tatsächlichen Messungen von einer vollkommen uniformen Messung gebildet. Das Qualitätskriterium ist durch einen Schwellenwert bezüglich dieser Uniformität gebildet.

[0128] In typischen Ausführungsformen der Erfindung wird eine Qualitätskontrolle basierend auf den oben genannten oder anderen Qualitätskriterien fortlaufend, vorzugsweise quasi-kontinuierlich ausgeführt (wie in Abb. 12 dargestellt). In weiteren Ausführungsformen wird das Ergebnis der Qualitätskontrolle durch das Ausgabesystem an einen Nutzer ausgegeben. Insbesondere kann die Ausgabe wie oben beschrieben visuell, akustisch oder haptisch erfolgen. Beispielsweise kann die Ausgabe durch eine Vergrößerung

der Bildauflösung an der entsprechenden Bildregion erfolgen. Dadurch wird der Nutzer vor falschem Vertrauen in möglicherweise fehlerhafte Bilder bewahrt.

[0129] Gemäß weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird
5 ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen Detektor. Das Detektieren kann während eines Detektionszeitraums erfolgen. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Detektor kann beweglich sein. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in
10 der Hand tragbar sein. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. In typischen Ausführungsformen umfassen die Detektordaten Informationen über die detektierte Strahlung. In weiteren typischen Ausführungsformen umfassen die Detektordaten Informationen über
15 die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiter ein Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem. In typischen Ausführungsformen ist das Ermitteln ein wiederholtes Ermitteln oder ein fortlaufendes Ermitteln, typischerweise während des Detektionszeitraums.

20 [0130] In weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein erneutes, wiederholtes oder fortlaufendes Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch das Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats, vorzugsweise während des Detektionszeitraums.

[0131] In weiteren Ausführungsformen wird der mindestens eine Qualitätswert
25 bezüglich mindestens eines Qualitätskriteriums ermittelt. Ein Qualitätskriterium kann beispielsweise die Ähnlichkeit zwischen einem aus den gesammelten Detektordaten erzeugten ersten Bild und einem zweiten Bild sein, die Konditionierung einer Bilderzeugungsvorschrift zur Erzeugung eines Bildes aus den gesammelten Detektordaten, die Relevanz der gesammelten

Detektordaten für ein Bildelement, die Plausibilität einer Bilderzeugung aus den gesammelten Detektordaten, die Uniformität der gesammelten Detektordaten, oder das Falscherzeugungsrisiko aufgrund von fehlerhaften Detektordaten. Daneben können weitere Qualitätskriterien verwendet werden.

- 5 [0132] In weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein Ausgeben des mindestens einen ermittelten Qualitätswerts an einen Nutzer. Ferner umfassen weitere Ausführungsformen ein Ausgeben einer Warnung an einen Nutzer, wenn der mindestens eine Qualitätswert mindestens ein Qualitätskriterium nicht erfüllt. Das Ausgeben des Qualitätswerts oder der
10 Warnung kann visuell, akustisch, haptisch oder durch Kombination davon erfolgen.

- [0133] In weiteren Ausführungsformen wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen Detektor zur Detektion von Strahlung. Der Detektor kann ein Detektor zum
15 Detektieren von Strahlung während eines Detektionszeitraums sein. Der Detektor kann beweglich sein. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in der Hand tragbar sein. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur
20 Übermittlung von Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem. Typischerweisen umfassen Detektordaten Informationen über die detektierte radioaktive Strahlung. Typischerweise umfassen Detektordaten auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern
25 der Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter ein Pogrammspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln mindestens einen Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten. Das Programm kann auch ein Programm zum erneuten, wiederholten oder fortlaufenden Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der

Bilderzeugung aus den Detektordaten sein. Dabei kann das Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts während des Detektionszeitraums stattfinden.

[0134] In weiteren Ausführungsformen ist das Schnittstellensystem ein Schnittstellensystem zur erneuten, wiederholten oder fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem. Die Übermittlung kann während des Detektionszeitraums stattfinden. Die Detektordaten können Informationen über die detektierte Strahlung umfassen. Die Detektordaten können auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors umfassen.

10 [0135] In weiteren Ausführungsformen ist das Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts ein Programm zum Ermitteln, erneuten Ermitteln, wiederholten Ermitteln oder fortlaufenden Ermitteln eines Qualitätswerts bezüglich mindestens eines Qualitätskriteriums.

[0136] In weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung weiter ein Ausgabesystem, das mindestens eine Ausgabeeinheit umfasst. In weiteren Ausführungsformen ist die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben des mindestens einen ermittelten Qualitätswerts an einen Nutzer. In weitere Ausführungsformen ist die oder eine weitere Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben einer Warnung an einen Nutzer, wenn der mindestens eine Qualitätswert mindestens einem Qualitätskriterium nicht genügt. Die eine Ausgabeeinheit oder weitere Ausgabeeinheiten können Ausgabeeinheiten für Anweisungen oder Warnungen an den Nutzer in visueller, akustischer, haptischer Form oder in einer Kombinationsform davon sein. Die Ausgaben können kombiniert sein mit einer Anweisung an einen Nutzer zur Verbesserung des Qualitätswerts, wie weiter unten beschrieben.

Verbesserung der Bilderzeugung

[0137] Ausführungsformen der Erfindung entsprechend werden Verfahren und Apparate zur Bilderzeugung bereitgestellt, bei denen die Qualität der Bilderzeugung verbessert wird. In typischen Ausführungsformen wird die Qualität fortlaufend verbessert. Insbesondere kann die Qualität während des Detektionszeitraums bereits verbessert werden oder fortlaufend verbessert werden.

[0138] In typischen Ausführungsformen erfolgt die Bilderzeugung aufgrund einer linearen Bilderzeugungsvorschrift. Diese kann beispielsweise durch die Anwendung einer Abbildungsmatrix oder Systemmatrix H auf einen Vektor f erfolgen, wobei H und f die oben erklärten Bedeutungen haben. Die Bilderzeugung kann, wie oben beschrieben, durch Vergleich des Ergebnisvektors $g = H \cdot f$ mit dem Detektordaten-Vektor g_{gemessen} erfolgen (bzw. durch äquivalente Verfahren). Die Bilderzeugung, auch Rekonstruktion genannt, erfolgt wie oben beschrieben durch Minimierung des Abstands von Vektor g und Vektor g_{gemessen} als Funktion von f .

[0139] Eine Verbesserung der Bilderzeugung kann auf verschiedene Arten geschehen, welche umfassen: Verbessern des Anfangswertes von Vektor f im Minimierungsproblem, Verbessern der Bilderzeugungsvorschrift, insbesondere der Abbildungsmatrix H .

[0140] Als Anfangswert für das Minimierungsproblem kann beispielsweise ein Vektor f_{Anfang} verwendet werden, dessen enthaltene Information aus einem vorgegebenen Bild abgeleitet ist, zum Beispiel aus einem präoperativen anatomischen oder organfunktionellen Bild. Dies hilft zu vermeiden, bei der Lösung des Minimierungsproblems eine falsche Lösung zu erhalten (etwa ein lokales Minimum, das nicht der gewünschten Lösung entspricht). Auch kann die Berechnungszeit verringert werden, da bereits mit einer annähernd korrekten Lösung begonnen wird. Somit kann eine gute Lösung des

Minimierungsproblems, d.h. ein gutes Bild f , mit vermindertem Aufwand erhalten werden.

[0141] Eine Verbesserung der Abbildungsvorschrift bzw. der Abbildungsmatrix H kann insbesondere unter Berechnen von mindestens
5 einem Qualitätswert erfolgen, wobei der Qualitätswert derselbe wie bei der Qualitätskontrolle der Daten beschrieben (s.o.) oder ein weiterer Qualitätswert sein kann. Zusätzlich wird die Abbildungsmatrix H unter Berücksichtigung des Qualitätswerts verändert. Insbesondere wird die Abbildungsmatrix H so verändert, dass die veränderte Matrix H einem oder mehreren Qualitätskriterien
10 besser genügt.

[0142] Beispielsweise können Zeilen oder Spalten, die gemäß des Schwellenwerts bezüglich der Sparsity einer Matrix als zu dünn besetzt erkannt wurden, eliminiert werden. Ebenso können Zeilen oder Spalten der Abbildungsmatrix H eliminiert werden, die dem Kriterium der Relevanz nicht
15 genügt haben. Statt einer reinen Elimination können auch ähnliche Zeilen und Spalten kombiniert werden, wobei auch die zugehörigen Bildelemente (Einträge von f) bzw. Detektormesswerte (Einträge von g) entsprechend kombiniert werden.

[0143] Die Uniformität kann ferner beispielsweise verbessert werden, indem
20 die Detektordaten benachbarter Messungen kombiniert werden, so dass eher uniform verteilte effektive Messungen erhalten werden. Durch derartige Kombinationen wird die Abbildungsmatrix kleiner und auch aus diesem Grund wird die Rekonstruktion numerisch besser lösbar.

[0144] Durch diese Kombination können andererseits Informationen verloren
25 gehen. Um den Informationsverlust zumindest teilweise zu kompensieren, kann den aus mehreren Werten gemittelten Einträgen ein erhöhtes Gewicht beigemessen werden, der ihrer höheren statistischen Signifikanz Rechnung zu tragen. Beispielsweise kann der Beitrag solcher Einträge zur Abstandsnorm $|\bullet|$ ein erhöhtes Gewicht erhalten.

[0145] Gemäß weiteren Ausführungsformen werden zur Verbesserung der Bilderzeugung folgende weitere Methoden verwendet:

Verwendung von Oberflächeninformation

[0146] Wenn die Oberfläche des räumlichen Gebiets bekannt ist, das die Strahlungsquelle umfasst, können mögliche Abbildungen eliminiert werden, die Informationen über Bildelemente enthalten, die nicht innerhalb dieser Oberfläche liegen. Insbesondere kann diese Oberfläche beispielsweise die Körperoberfläche eines Patienten sein. Diese kann abgescannt werden durch Laserbereichsscanner, Laseroberflächenmusterscanner, Laserpointeroberflächenscanner, stereoskopische Kamerasysteme, Time-Of-Flight-Kameras und weitere Oberflächenerfassungssysteme.

[0147] Auch kann derartige Oberflächeninformation aufgrund der Geometrie eines durch das Erfassungssystem erfassten Objekts und seiner erfassten Trajektorie ermittelt sein: Falls das Objekt etwa nicht in das Patientengewebe eindringen kann, so müssen die durch das Objekt selbst überstrichenen Raumbereiche luftgefüllt sein und können daher keine Strahlungsquelle enthalten. Insbesondere kann das Objekt durch den Detektor selbst gebildet werden bzw. integral mit dem Detektor sein.

Benutzung anatomischer Information

[0148] Wenn, etwa im Fall der medizinischen Bildgebung, die Anatomie in einem Gebiet des erzeugten Bildes bekannt ist, können Zwangsbedingungen aufgrund der Kenntnis der Anatomie gesetzt und berücksichtigt werden. Beispielsweise kann eine Zwangsbedingung sein, dass Körperteile wie Knochen oder die Luftröhre (die z.B. bei einem bestimmten Tracer keine radioaktiven Strahlenquellen darstellen können) keine Strahlungsaktivität aufweisen können. Auf diese Weise können mögliche Abbildungen eliminiert werden, die fälschlicherweise diesen Bereichen eine Strahlungsaktivität zuschreiben würden. Anatomische Information kann beispielsweise durch

zuvor aufgenommene anatomische Bilder erhalten werden. Diese können mit aktuellen Daten registriert sein. Auch Standard-Daten etwa aus anatomischen Atlanten können verwendet werden, welche ebenfalls mit aktuellen erzeugten Bildern registriert sein können. Anatomische Information kann aber auch
5 aktuell erhalten werden durch weitere Detektoren des Detektorsystems wie beispielsweise Ultraschallgeräte, Computertomografen, Radiografen, optische Kameras, Magnetresonanztomografiegeräte und weitere.

Benutzung weiterer Strahlungsdetektoren

[0149] Das Detektorsystem kann auch weitere Strahlungsdetektoren umfassen.
10 Während Detektordaten können ebenfalls verwendet werden zur Bilderzeugung. Die weiteren Detektoren können Strahlungsdetektoren sein, insbesondere Strahlungsdetektoren für radioaktive Strahlung. Die weiteren Detektoren können bewegliche Strahlungsdetektoren sein. Die weiteren Strahlungsdetektoren können auch fixierte Strahlungsdetektoren sein.
15 Beispielsweise kann der Tisch, auf dem die Strahlungsverteilung liegt, eine Gammakamera enthalten. In weiteren Ausführungsformen werden Boden-, Decken-, und/oder Wanddetektoren verwendet.

[0150] Gemäß weiteren Ausführungsformen wird ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das
20 Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des Bilderzeugungsapparats. Das Detektieren kann während eines Detektionszeitraums erfolgen. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Detektor kann beweglich sein. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in der Hand tragbar sein. Das Verfahren umfasst weiter ein
25 Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Typischerweise umfassen Detektordaten Informationen über die detektierte Strahlung. Typischerweise umfassen Detektordaten auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiterhin ein Ermitteln einer

Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten. Das Verfahren umfasst weiter ein Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert. In typischen Ausführungsformen ist das Verändern ein
5 wiederholtes oder fortlaufendes Verändern der Bilderzeugungsvorschrift. Das Verändern findet typischerweise während des Detektionszeitraums statt.

[0151] In weiteren Ausführungsformen ist das Sammeln von Detektordaten ein erneutes, wiederholtes oder fortlaufendes Sammeln von Detektordaten. In weiteren Ausführungsformen ist das Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift
10 ein erneutes, wiederholtes oder fortlaufendes Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift. Typischerweise findet das Ermitteln, das erneute Ermitteln, das wiederholte Ermitteln oder das fortlaufende Ermitteln während eines Detektionszeitraums statt.

[0152] In weiteren Ausführungsformen wird der mindestens eine Qualitätswert
15 bezüglich mindestens eines Qualitätskriteriums ermittelt. Qualitätskriterien können dieselben Qualitätskriterien wie die im Abschnitt Qualitätskontrolle beschriebenen sein oder weitere Qualitätskriterien. Weitere Qualitätskriterien können Kriterien auf der Grundlage von Zwangsbedingungen sein. Solche Zwangsbedingungen können aus dem Verwenden von
20 Oberflächeninformationen, anatomischen Informationen oder anderen Informationen sein. Auch kann der Einsatz weiterer Strahlungsdetektoren und damit weiterer Detektordaten zum Verändern, erneuten Verändern, wiederholten Verändern oder fortlaufenden Verändern der Bilderzeugungsvorschrift verwendet werden.

25 [0153] In weiteren Ausführungsformen wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen Detektor zur Detektion von Strahlung. Der Detektor kann ein Detektor zum Detektieren während eines Detektionszeitraums sein. Der Detektor beweglich sein. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in der Hand

tragbar sein. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem zur Bilderzeugung. Detektordaten
5 umfassen typischerweise Informationen über die detektierte Strahlung. Detektordaten umfassen typischerweise auch Informationen über Positionierung und/oder Orientierung des Detektors. Das Auswertesystem umfasst weiter ein Datenspeicherabschnitt zum Speichern von Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter ein Programmspeicherabschnitt mit einem
10 Programm zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von gesammelten Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter ein Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert. Das Verändern ist typischerweise ein erneutes, wiederholtes
15 oder fortlaufendes Verändern der Bilderzeugungsvorschrift. Das Programm zum Verändern, erneuten Verändern, wiederholten Verändern oder fortlaufenden Verändern der Bilderzeugungsvorschrift ist, gemäß typischen Ausführungsformen, ein Programm zum Verändern, erneuten Verändern, wiederholten Verändern oder fortlaufenden Verändern der
20 Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert während eines Detektionszeitraums.

[0154] In weiteren Ausführungsformen ist das Schnittstellensystem ein Schnittstellensystem zur erneuten, wiederholten oder fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem. Typischerweise ist
25 das Übermitteln ein Übermitteln während eines Detektionszeitraums.

[0155] In typischen Ausführungsformen ist das Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts ein Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts bezüglich mindestens eines Qualitätskriteriums. Qualitätskriterien können die weiter oben im Abschnitt „Qualitätskontrolle“
30 beschriebenen Qualitätskriterien oder andere sein.

[0156] In weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat weiter ein Ausgabesystem mit mindestens einer Ausgabeeinheit. In weiteren Ausführungsformen ist die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben des mindestens einen ermittelten Qualitätswerts an einen Nutzer. In anderen
5 Ausführungsformen ist die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben einer Warnung an einen Nutzer, wenn der mindestens eine Qualitätswert mindestens ein Qualitätskriterium nicht erfüllt. Das Ausgeben eines Qualitätswerts oder einer Warnung an einen Nutzer kann in visueller, akustischer oder haptischer Form oder in einer Kombinationsform erfolgen.

10 Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer

[0157] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung umfassen das Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer. Ein Nutzer kann ein menschlicher Nutzer sein. Ein Nutzer kann auch ein anderes Lebewesen sein. Alternativ kann ein Nutzer auch ein lebloses Objekt sein, zum Beispiel eine Maschine.
15 Insbesondere umfassen typische Ausführungsformen das Ausgeben an einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von bereits gesammelten Detektordaten. Typische Ausführungsformen umfassen ein fortlaufendes Anweisen zur Detektion aufgrund einer fortlaufenden Qualitätskontrolle, welche oben beschrieben
20 wurde. Das Ausgeben erfolgt durch das Ausgabesystem, insbesondere in optischer, akustischer oder haptischer Form oder durch Kombination davon. Speziell werden Anweisungen zum weiteren Bewegen des Detektors gegeben, sodass bei Befolgen die Qualität der gesammelten Detektordaten verbessert wird. Typischerweise werden Anweisungen zum weiteren Bewegen des
25 Detektors in Abhängigkeit von den gesammelten Detektordaten ausgegeben, so dass sich bei Befolgen die Qualität der Detektordaten voraussichtlich am stärksten verbessern wird. Die Anweisungen können beispielsweise als Ausgabe eines Pfeiles erfolgen, der in eine Richtung weist, in der weitere Messungen vorgenommen werden sollen.

[0158] Typischerweise geht dem Ausgeben einer Anweisung die Berechnung der aktuellen Qualität oder Güte oder Gültigkeit der gesammelten Detektordaten voran und eine Berechnung, wie sich die Qualität der Daten verändern würde, wenn weitere Detektordaten zur Verfügung ständen, insbesondere Detektordaten mit Information über die detektierte Strahlung gemessen aus verschiedenen Orientierungen und Positionen des Detektors.

[0159] Abbildung 13 zeigt iterative Verfahrensschritte gemäß Ausführungsformen der Erfindung. Einer der iterativen Schritte ist ein Bewegen des Detektors. In typischen Ausführungsformen wird ein frei beweglicher, beispielsweise tragbarer Detektor verwendet. Nach oder während des Bewegens erfolgt ein Detektieren 614 von Strahlung durch den Detektor. Anschließend oder währenddessen erfolgt ein Sammeln 615 von Detektordaten mit Information über die detektieren Strahlung durch das Auswertesystem. Typischerweise werden weitere Detektordaten wie Position und/oder Orientierung des Detektors gesammelt, in der Regel synchronisiert mit den Detektordaten mit Information über die detektiert Strahlung. Auf der Grundlage der Detektordaten findet ein Ermitteln 616 eines Qualitätskriteriums durch die Auswerteeinheit statt. Anschließend erfolgt eine Ausgabe 618 einer Anweisung an einen Nutzer. Ausführungsformen der Erfindung entsprechend weist die Ausgabe 618 einen Nutzer zum Bewegen des Detektors in einer Weise an, dass eine den Anweisungen entsprechende Bewegung zur nachfolgenden Erfassung von brauchbaren Detektordaten führt. Brauchbare Detektordaten sind typischerweise Detektordaten, die eine Bilderzeugung verbessern.

[0160] Typischerweise wird diejenige Position und Orientierung des Detektors, die die Qualität voraussichtlich am meisten verbessert, dem Nutzer ausgegeben. Eine Ausgabe, beispielsweise in akustischer Form, kann in Form eines sich intensivierenden Signallautes dargestellt werden. Eine Ausgabe in haptischer Form kann beispielsweise die Vermittlung eines Gefühls eines Widerstandes oder eines Gezogenwerdens sein. Diese Vermittlung kann z.B.

durch mechanische Führung oder durch elektrische Stimulierung von Muskeln oder Gehirn erfolgen.

[0161] Zur Berechnung der Orientierung und Positionen, die die Abbildung voraussichtlich verbessern, können auch anatomische oder organfunktionelle
5 Bilder verwendet werden.

[0162] Gemäß weiteren Ausführungsformen wird ein Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des Bilderzeugungsapparats. Das Detektieren kann während eines
10 Detektionszeitraums stattfinden. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Detektor kann beweglich sein. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in der Hand tragbar sein. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Typischerweise umfassen die Detektordaten
15 Informationen über die detektierte Strahlung. Typischerweise umfassen die Detektordaten auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiter ein Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den gesammelten Detektordaten. Gemäß typischen Ausführungsformen bezieht
20 sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums.

[0163] Gemäß weiteren Ausführungsformen ist das Sammeln ein erneutes, wiederholtes oder fortlaufendes Sammeln von Detektordaten. In weiteren Ausführungsformen ist das Ausgeben einer Anweisung ein erneutes,
25 wiederholtes oder fortlaufendes Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Strahlungsdetektors. In typischen Ausführungsformen umfasst das Ausgeben, erneute Ausgeben, wiederholte Ausgeben oder fortlaufende Ausgeben eine Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Strahlungsdetektors das Ausgeben derjenigen Position

- und/oder Orientierung des Detektors, deren Einnehmen durch den Detektor gemäß einer Prognose die Bilderzeugung gemäß mindestens einem Qualitätswert verbessern würde. Typischerweise werden diejenigen Positionen und/oder Orientierungen ausgegeben, deren Einnehmen durch den Detektor gemäß einer Prognose die Bilderzeugung gemäß einem Qualitätswert am stärksten verbessern würde. Das Ausgeben kann visuell, akustisch, haptisch oder durch Kombination davon erfolgen. In weiteren Ausführungsformen wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen Detektor zur Detektion von Strahlung.
- 5 Der Detektor kann ein Detektor zur Detektion von Strahlung während eines Detektionszeitraums sein. Der Detektor kann beweglich, frei beweglich, oder in der Hand tragbar sein. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von
- 10 Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem. Detektordaten umfassen typischerweise Informationen über die detektierte Strahlung. Detektordaten umfassen typischerweise auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Auswertesystem umfasst weiter ein Datenspeicherabschnitt zum Speichern der Detektordaten. Der
- 15 Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Ausgabesystem zum Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den Detektordaten. In typischen Ausführungsformen bezieht sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums.
- 20 [0164] In weiteren Ausführungsformen ist das Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten ein Schnittstellensystem zur erneuten, wiederholten oder fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem. In weiteren Ausführungsformen ist das Ausgabesystem zum Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer ein Ausgabesystem zum Ausgeben
- 25 einer erneuten, wiederholten oder fortlaufenden Anweisung an einen Nutzer
- 30

zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den Detektordaten. Typischerweise beziehen sich die Anweisungen zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums. In typischen Ausführungsformen ist die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben derjenigen Position und/oder Orientierung des Detektors deren Einnehmen durch den Detektor gemäß einer Prognose die Bilderzeugung gemäß mindestens einem Qualitätswerts verbessern würde, insbesondere am stärksten verbessern würde. Die Ausgabeeinheit kann eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben in visueller, akustischer oder haptische Form oder in einer Kombinationsform davon sein.

10 Freihanderfassung

[0165] Intrinsische Probleme einer Verarbeitung von Detektordaten, die insbesondere bei einem frei beweglichen Detektor wie einem Freihanddetektor auftreten, entstehen dadurch, dass Messungen im Prinzip zu jedem Zeitpunkt und mit beliebiger Position und/oder Orientierung des Detektors erfolgen können. Dadurch können beispielsweise Daten aufgenommen werden, bei denen der Detektor überhaupt nicht auf die zu detektierende Strahlenquelle gerichtet ist. Ähnliche oder weitere Quellen für unbrauchbare Daten existieren. Solche Daten können die Bilderzeugung verschlechtern. Beispielsweise können solche Daten eine Abbildungsmatrix bezüglich Relevanz oder Sparsity verschlechtern.

[0166] Abbildung 14 zeigt einen frei beweglichen Detektor 110, der entlang einer beliebigen Trajektorie bewegt wird. Die Bewegungsrichtung wird durch Pfeile entlang der Trajektorie gekennzeichnet. Positionen und Orientierungen, die auf die zeitlich erste Position und Orientierung folgen, sind gestrichelt dargestellt. Der Detektor 110 misst zu verschiedenen, im Allgemeinen beliebigen Zeitpunkten die Emissionen einer Strahlungsquelle 10 innerhalb eines räumlichen Gebiets 30. Die Strahlungsquelle 10 kann beispielsweise eine radioaktive Strahlungsverteilung sein im Körper eines Lebewesens. Abbildung 14 zeigt mindestens eine Position und Orientierung 630 des Detektors, die

voraussichtlich zu unbrauchbaren Detektordaten hinsichtlich der gemessenen Strahlung führen. Unbrauchbare Detektordaten verschlechtern typischerweise die Bilderzeugung.

[0167] Aus diesem und weiteren Gründen benötigt eine Datenerfassung mit
5 frei beweglichen Detektoren noch mehr als eine Detektion mit fixen oder
beschränkt beweglichen Detektoren eine Qualitätskontrolle. Neben der
Qualitätskontrolle kann eine Verbesserung der Bilderzeugungsvorschrift
erfolgen.

[0168] Gemäß Ausführungsformen der Erfindung findet eine
10 Qualitätskontrolle und/oder eine aktive Verbesserung der
Bilderzeugungsvorschrift bereits während des Detektionszeitraums statt im
Gegensatz zu einer Nachauswahl, englisch „post selection“. In typischen
Ausführungsformen findet eine Qualitätskontrolle wiederholt oder fortlaufend
statt, typischerweise quasi-kontinuierlich.

15 [0169] Ebenso kann eine Verbesserung der Abbildungsvorschrift wiederholt
oder fortlaufend, typischerweise quasi-kontinuierlich stattfinden. Eine
Verbesserung kann erfolgen wie beispielsweise im Abschnitt „Verbesserung
der Bilderzeugung“ beschrieben oder auf andere Art.

[0170] Gemäß weiteren Ausführungsformen wird ein Verfahren zur
20 Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat bereitgestellt. Das
Verfahren umfasst ein Detektieren von Strahlung durch einen beweglichen
Detektor des Bilderzeugungsapparats. Typischerweise findet das Detektieren
während eines Detektionszeitraums statt. Der Detektor kann frei beweglich
sein. Der Detektor kann in der Hand tragbar sein. Die Strahlung kann
25 radioaktive Strahlung sein. Das Verfahren umfasst weiter das Ändern von
Position und/oder Orientierung des Detektors. In typischen Ausführungsformen
findet das Ändern von Position und/oder Orientierung des Detektors während
des Detektionszeitraums statt. Das Ändern kann ein freies Ändern von Position
und/oder Orientierung des Detektors sein. Das Ändern kann auch ein erneutes,

wiederholtes oder fortlaufendes Ändern sein. Das Verfahren umfasst weiter ein Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats. Typischerweise ist das Sammeln ein erneutes, wiederholtes oder fortlaufendes Sammeln von Detektordaten. Typischerweise
5 findet das Sammeln während des Detektionszeitraums statt. Die Detektordaten umfassen gewöhnlich Informationen über die detektierte Strahlung. Die Detektordaten umfassen gewöhnlich auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Das Verfahren umfasst weiter ein Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten
10 durch das Auswertesystem.

[0171] In weiteren Ausführungsformen findet das Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts erneut, wiederholt oder fortlaufend statt, typischerweise während des Detektionszeitraums. In weiteren Ausführungsformen wird der mindestens eine Qualitätswert bezüglich mindestens eines Qualitätskriteriums
15 ermittelt. Qualitätskriterien können beispielsweise Qualitätskriterien wie die im Abschnitt „Qualitätskontrolle“ beschrieben sein oder andere Qualitätskriterien. Gemäß weiteren Ausführungsformen wird ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung bereitgestellt. Der Bilderzeugungsapparat umfasst einen beweglichen Detektor zur Detektion von Strahlung. Der bewegliche Detektor
20 ist, gemäß typischen Ausführungsformen, ein Detektor zur Detektion von Strahlung während eines Detektionszeitraums. Der Detektor kann frei beweglich sein. Der Detektor kann in der Hand tragbar sein. Die Strahlung kann radioaktive Strahlung sein. Der Bilderzeugungsapparat umfasst weiter ein Auswertesystem. Das Auswertesystem umfasst ein Schnittstellensystem zur
25 fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem. Typischerweise umfassen Detektordaten Informationen über die detektierte Strahlung. Typischerweise umfassen die Detektordaten auch Informationen über die Position und/oder Orientierung des Detektors. Gemäß weiteren Ausführungsformen ist das Schnittstellensystem ein
30 Schnittstellensystem zur fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten

während des Detektionszeitraums. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Datenspeicher zum Speichern von Detektordaten. Das Auswertesystem umfasst weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den
5 Detektordaten.

[0172] Gemäß weiteren Ausführungsformen ist das Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswertes ein Programm zum erneuten, wiederholten oder fortlaufenden Ermitteln mindestens eines Qualitätswertes hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten. In typischen Ausführungsformen ist das
10 Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswertes ein Programm zum Ermitteln, erneuten Ermitteln, wiederholten Ermitteln oder fortlaufenden Ermitteln mindestens eines Qualitätswertes hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten während des Detektionszeitraums.

[0173] In weiteren Ausführungsformen ist das Programm zum Ermitteln
15 mindestens eines Qualitätswertes ein Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswertes bezüglich mindestens eines Qualitätskriteriums. Das mindestens eine Qualitätskriterium kann ein Qualitätskriterium wie im Abschnitt „Qualitätskontrolle“ beschrieben sein oder ein anderes Qualitätskriterium.

[0174] Weiteren Ausführungsformen der Erfindung entsprechend, die mit anderen Ausführungsformen kombiniert werden können, umfasst das Verfahren zur Bilderzeugung die Erzeugung eines Bildes durch Minimierung der Unähnlichkeit oder Maximierung der Ähnlichkeit, wobei vorzugsweise mindestens eine Rekonstruktionsmethode zur Minimierung oder Maximierung
20 verwendet wird. Die mindestens eine Rekonstruktionsmethode kann eine algebraische Rekonstruktionsmethode, abgekürzt ART, ein Maximum-Likelihood-Erwartungswertmaximierungsalgorithmus, abgekürzt MLEM, ein iteratives Matrizeninversionsverfahren wie das Jacobi-Verfahren, das Gauss-Seidel-Verfahren oder das Überrelaxierungsverfahren, ein direktes
25

Matrizeninversionsverfahren wie die Singulärwertdekomposition oder ein regularisiertes Matrizeninversionsverfahren wie die Singulärwertdekomposition mit Tikhonov-Regularisierung sein.

[0175] Gemäß weiteren Ausführungsformen der Erfindung, die mit anderen
5 Ausführungsformen kombiniert werden können, ist das Verfahren zur
Bilderzeugung ein Verfahren zur Bilderzeugung für medizinische Zwecke.
Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren zur Bilderzeugung
ein Sammeln von Körperdaten eines Lebewesens durch das Auswertesystem.
Typischerweise umfassen die Körperdaten die Atemfrequenz und/oder die
10 Herzfrequenz. Typischerweise umfassen die Körperdaten auch Daten bezüglich
Form, Position und/oder Orientierung des Körpers. In weiteren typischen
Ausführungsformen werden die Körperdaten bezüglich der Atemfrequenz
und/oder der Herzfrequenz synchronisiert mit den Körperdaten bezüglich
Form, Position und/oder Orientierung des Körpers gesammelt. Das Erfassen
15 der Körperdaten des Lebewesens kann beispielsweise durch das
Erfassungssystem erfolgen.

[0176] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren zur
Bilderzeugung weiter ein Verändern einer Bilderzeugungsvorschrift aufgrund
der gesammelten Körperdaten. Insbesondere können dadurch Bewegungen des
20 Körpers, beispielsweise durch Atmung oder Herzschlag, bei der Bilderzeugung
berücksichtigt werden. Dies führt zu einer verbesserten Bilderzeugung. Auch
das Registrieren von Bildern oder das Registrieren von Detektordaten wird
dadurch erleichtert.

[0177] Gemäß weiteren Ausführungsformen, die mit anderen
25 Ausführungsformen kombiniert werden können, umfasst das Verfahren zur
Bilderzeugung ein Sammeln von Daten mindestens eines Instruments,
vorzugsweise eines medizinischen Instruments, durch das Auswertesystem.
Weiteren Ausführungsformen entsprechend umfasst das Verfahren weiter ein
Registrieren von Daten medizinischer Instrumente mit Detektordaten und/oder

Simulationsdetektordaten durch das Auswertesystem. In typischen Ausführungsformen umfasst das Verfahren weiter ein Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage des Registrierens.

[0178] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren weiter ein
5 Erfassen von Daten medizinischer Instrumente durch das Erfassungssystem.

[0179] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein Erzeugen eines Instrumentenbildes auf der Grundlage der gesammelten Instrumentendaten durch das Auswertesystem. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren weiter ein Registrieren des
10 Instrumentenbildes mit dem ersten Bild und/oder dem zweiten Bild und/oder dem dritten Bild und/oder mit einem bereits registrierten Bild. Ferner umfasst das Verfahren typischerweise ein Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage des Registrierens.

[0180] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein
15 Ausgeben des Kombinationsbildes durch das Ausgabesystem. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein Anweisen eines Nutzers zur Benutzung der medizinischen Instrumente auf der Grundlage des Kombinationsbildes. Gemäß noch weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren ein Führen des Nutzers beim Benutzen der medizinischen
20 Instrumente durch ein Führungssystem auf der Grundlage der Instrumentendaten. Das Führungssystem kann eine Führungseinheit umfassen, die ein Nutzer auf haptische, akustische oder visuelle Weise führt oder durch Kombination davon.

[0181] Insbesondere kann das Anweisen eines Nutzers zum Benutzen der
25 medizinischen Instrumente auf der Grundlage des Kombinationsbildes oder das Führen eines Nutzers beim Benutzen der medizinischen Instrumente durch ein Führungssystem beispielsweise durch Visualisierung einer virtuellen Realität, Visualisierung einer erweiterten Realität, Schicht- und Vielschichtvisualisierung, frequenzmodulierten Ton, amplitudenmodulierten

Ton, pulsmodulierten Ton, durch Kombination derselben oder auf andere Weise erfolgen.

[0182] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Verfahren zur Bilderzeugung ein Positionieren des Lebewesens. Das Positionieren kann
5 beispielsweise durch ein Positionierungssystem erfolgen, das eine Positionierungseinheit umfasst. Eine solche Positionierungseinheit kann das Lebewesen gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung in jeder gewünschten Position und/oder Orientierung positionieren.

[0183] Gemäß weiteren Ausführungsformen der Erfindung ist der
10 Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung für medizinische Zwecke. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat mindestens einen Sensor zum Erfassen von Körperdaten eines Lebewesens. Typischerweise umfassen die Körperdaten Atemfrequenz und/oder Herzfrequenz des Lebewesens. Gemäß weiteren
15 Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat eine Erfassungseinheit zum Erfassen von Körperdaten des Lebewesens. Typischerweise umfassen die Körperdaten die Form, Position und/oder Orientierung des Körpers. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem weiter einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum synchronisierten
20 Sammeln von Körperdaten des Lebewesens. Typischerweise umfasst das Auswertesystem weiter einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern der synchronisierten Körperdaten des Lebewesens. Weiteren Ausführungsformen entsprechend umfasst das Auswertesystem weiter einen Programmabschnitt mit einem Programm zum Verändern einer Bilderzeugungsvorschrift aufgrund
25 der gesammelten Körperdaten.

[0184] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats weiter eine Schnittstelle zum Sammeln von Daten mindestens eines Instruments, typischerweise mindestens eines medizinischen Instruments. Weiter umfasst das Auswertesystem gemäß Ausführungsformen

der Erfindung einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erzeugen eines Instrumentenbildes auf der Grundlage der Instrumentendaten.

[0185] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren von
5 Daten medizinischer Instrumente mit Detektordaten und/oder Simulationsdetektordaten. Weiter umfasst das Auswertesystem in einigen Ausführungsformen einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage der Ausgabe des Programms zum Registrieren der Daten medizinischer Instrumente.

10 [0186] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Auswertesystem einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren des Instrumentenbildes mit dem ersten Bild und/oder dem zweiten Bild und/oder dem dritten Bild und/oder mit einem bereits registrierten Bild. Weiter umfasst
15 das Auswertesystem typischerweise einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage der Ausgabe des Programms zum Registrieren des Instrumentenbildes.

[0187] Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst das Ausgabesystem des Bilderzeugungsapparats eine Ausgabeeinheit zur Ausgabe des Kombinationsbildes. Gemäß weiteren Ansprüchen umfasst das Ausgabesystem
20 eine Ausgabeeinheit zum Anweisen eines Nutzers zur Benutzung der medizinischen Instrumente auf der Grundlage des Kombinationsbildes. Gemäß weiteren Ausführungsformen umfasst der Bilderzeugungsapparat ein Führungssystem zum Führen des Nutzers beim Benutzen der medizinischen Instrumente auf der Grundlage der Instrumentendaten. Das Führungssystem
25 umfasst mindestens eine Führungseinheit.

[0188] Sowohl die Ausgabeeinheit zum Anweisen eines Nutzers zum Benutzen der medizinischen Instrumente auf der Grundlage des Kombinationsbildes als auch das Führungssystem zum Führen des Nutzers beim Benutzen der medizinischen Instrumente können Signale an den Nutzer in haptischer,

akustischer oder visueller Form oder in Kombinationsform davon vermitteln.
Die Ausgabeeinheit kann auch identisch mit der Führungseinheit des
Führungssystems sein. Die Ausgabeeinheit kann auch verschieden von der
Führungseinheit des Führungssystems sein. Die Ausgabeeinheit und/oder die
5 Führungseinheit können Einheiten zur Visualisierung einer virtuellen Realität,
zur Visualisierung einer erweiterten Realität, zur Schicht- und
Vielschichtvisualisierung, zur frequenzmodulierten Tonausgabe, zur
amplitudenmodulierten Tonausgabe, zur pulsmodulierten Tonausgabe oder zur
Ausgabe von Kombinationen derselben sein oder Einheiten zur Ausgabe auf
10 anderem Weg.

[0189] Gemäß weiteren Ausführungsformen der Erfindung umfasst der
Bilderzeugungsapparat weiter ein Positionierungssystem zum Positionieren des
Lebewesens. Das Positionierungssystem umfasst mindestens eine
Positionierungseinheit. In typischen Ausführungsformen kann die
15 Positionierungseinheit das Lebewesen in jeder gewünschten Position und/oder
Orientierung im Raum positionieren.

[0190] Im Folgenden werden einige zusätzliche Ausführungsformen
beschrieben (Ausführungsform 1 bis 30):

- 20 1. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-
Visualisierung und bildgeführte Operation basierend auf
präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren, das
Gerät umfassend:
 - (a) ein Strahlungsdetektor;
 - 25 (b) ein Nachverfolgungssystem, um synchron die Position und
Orientierung des besagten Strahlungsdetektors zu erfassen und
sein Auslesen;
 - (c) ein präoperatives Nuklearbild;

- (d) ein Datenverarbeitungssystem, welches mit dem Strahlungsdetektor und dem Nachverfolgungssystem kommuniziert und fähig ist, das präoperative Nuklearbild zu lesen, um eine dreidimensionale Rekonstruktion des Nuklearbildes und/oder die Berechnung eines zugehörigen Qualitätswertes zu erlauben aus einer Liste von Auslesedaten, Positionen und Orientierungen des Strahlungsgerätes und des präoperativen Nuklearbildes; und
- (e) ein Display, um das rekonstruierte Bild darzustellen.
2. Ein Gerät für intraoperative dreidimensionale Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren, das Gerät umfassen:
- (a) ein Strahlungsdetektor;
- (b) ein Nachverfolgungssystem, um synchron die Position und Orientierung des besagten Strahlungsdetektors und seiner Auslesedaten zu erfassen;
- (c) ein präoperatives Nuklearbild;
- (d) ein Datenverarbeitungssystem, welches mit dem Strahlungsdetektor und dem Nachverfolgungssystem kommuniziert und fähig ist, das präoperative Nuklearbild zu lesen, um die räumliche Registrierung der Liste von Auslesedaten, Positionen und Orientierungen des Strahlungsgerätes zu erlauben; und
- (e) ein Display, um die registrierten Bilder darzustellen.
3. Ein Gerät für intraoperative dreidimensionale Nuklearbildgebung, dreidimensionale Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie in Ausführungsform 2 beschrieben und auch umfassend ein System für

korrekte Patientenpositionierung basierend auf der Ausgabe der Registrierung.

4. Eine Vorrichtung für intraoperative dreidimensionale
5 Nuklearbildgebung, dreidimensionale Visualisierung und bildgeführte
Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten
Strahlungsdetektoren wie in den Ausführungsformen 1 und 2
beschrieben und ferner umfassend:
(a) eine dreidimensionale Bildgebungsvorrichtung;
10 (b) ein zweites Nachverfolgungssystem, welches dasselbe ist wie das
erste Nachverfolgungssystem oder mit dem ersten
Nachverfolgungssystem kommuniziert und mit diesem co-registriert ist
und die Position und Orientierung der dreidimensionalen
Bildgebungsvorrichtung bestimmt; und
15 (c) eine zweite Datenverarbeitungseinheit, die dieselbe ist wie das erste
Datenverarbeitungssystem oder mit dem ersten
Datenverarbeitungssystem kommuniziert und die mit der
dreidimensionalen Bildgebungsvorrichtung kommuniziert und mit dem
zweiten Nachverfolgungssystem und dadurch ermöglicht, die Position
20 und Orientierung des Körperteils zu bestimmen, welcher abgebildet
wird, und so die relative Position und Orientierung des Körperteils, der
abgebildet wird, und des Strahlungsdetektors zu berechnen und eine
Bewegungs- und Deformationskompensation zu erlauben; und/oder
Abschwächung und/oder Streuungskorrektur basierend auf den
25 dreidimensionalen Bildern zu erlauben.
5. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung
und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und
nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie in Ausführungsform 4
30 beschrieben, wobei die dreidimensionale Bildgebungsvorrichtung der
Gestalt ist, dass sie zum Beispiel Ultraschallbilder, Röntgen basierte

- Bilder, Magnetresonanztomografiebilder, optische Bilder, kontrastierte
Ultraschallbilder, kontrastierte Röntgen basierte Bilder, funktionelle
Magnetresonanztomografiebilder, Farbstoff basierte optische Bilder,
Fluoreszenzbilder, Reflexionsbilder, Autofluoreszenzbilder, usw.
5 generiert.
6. Ein Gerät für intraoperative dreidimensionale Nuklearbildgebung,
dreidimensionale Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend
auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie
10 in den Ausführungsformen 1 oder 2 beschrieben, und weiter umfassend:
(a) künstliche Markierungen, welche auf oder in dem Körperteil
positioniert sind, welches abgebildet wird; und
(b) ein zweites Nachverfolgungssystem, welches dasselbe ist wie das
erste Nachverfolgungssystem oder mit dem ersten
15 Nachverfolgungssystem kommuniziert, und welches die Position und
Orientierung der besagten künstlichen Markierung bestimmt und mit
der Datenverarbeitungseinheit kommuniziert, sodass es erlaubt, die
Position und Orientierung des Körperteils, welcher abgebildet wird, und
des Strahlungsdetektors zu berechnen und Bewegungs- und/oder
20 Deformationskompensation zu erlauben.
7. Ein Gerät für intraoperative dreidimensionale Nuklearbildgebung,
dreidimensionale Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend
auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie
25 in den Ausführungsformen 1 oder 2 beschrieben und auch umfassend
einen kalibrierten Sensor, um die Position und Orientierung des
Körperteils, der abgebildet wird, zu überwachen, wobei der Sensor mit
der Datenauswertungseinheit kommuniziert, sodass er es erlaubt, die
relative Position und Orientierung des Körperteils, der abgebildet wird,
30 und des Strahlungsdetektors zu berechnen und Bewegungs- und/oder
Deformationskompensation zu erlauben.

8. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, dreidimensionale Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in den Ausführungsformen 1 oder 2 und auch umfassend einen Sensor, um die Atmung und das Herzsignal des Patienten zu überwachen, wobei der Sensor mit der Datenverarbeitungseinheit kommuniziert, sodass ein Phasenetikett an jeder Auslesung, Position und Orientierung des Strahlungsdetektors angeheftet wird, und so Bewegungs- und/oder Deformationskompensation für Atmung, Herzschlag oder beides zu erlauben.
9. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen ferner umfassend:
- (a) wenigstens ein chirurgisches Werkzeug und
 - (b) ein drittes Nachverfolgungssystem, um das chirurgische Werkzeug nachzuverfolgen, wobei das dritte Nachverfolgungssystem dasselbe ist wie das erste Nachverfolgungssystem oder mit dem ersten Nachverfolgungssystem kommuniziert, sodass die relative Position und Orientierung der chirurgischen Werkzeuge und des rekonstruierten dreidimensionalen Bildes oder registrierten präoperativen Bildes berechnet werden kann und benutzt werden kann, um
 - (a) Instrumente zu Regionen erhöhter Aufnahme zu führen;
 - (b) Instrumente weg von Regionen erhöhter Aufnahme zu führen;
 - (c) Instrumente zu Regionen niedriger Aufnahme zu führen;
 - (d) Instrumente weg von Regionen niedriger Aufnahme zu führen;
 - (e) die Strahlungsauslesung an der Spitze eines jeden Instruments zu simulieren, welche jedes Instrument ergeben würde, wenn es eine Gammasonde wäre;

(f) chirurgische Instrumente auf dem Display anzuzeigen; und/oder
(g) zu entdecken und einen Operierenden zu warnen, wenn die
Gültigkeit der Bilder verloren geht aufgrund des Eingriffs in das
rekonstruierte oder registrierte Volumen durch die Instrumente.

5

10. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung
und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und
nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der
vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen weiter umfassend:

10

(a) ein virtuelles Realitätsdisplay und/oder
(b) ein Display erweiterter Realität, sodass die rekonstruierten 3D-
gamma-emittierenden Bilder oder die registrierten präoperativen Bilder
visuell akustisch haptisch oder in einer kombinierten Art

15

dreidimensional dargestellt werden können, und/oder insbesondere
räumlich registriert mit der Bildgeometrie irgendeiner Kamera, wobei
die Kamera umfasst Laparoskopkameras und Kameras basierend auf
chirurgischen Mikroskopen, optische und Bild hindurch sehende
kopfmontierte Displays, optische und Bild hindurch sehende
stereoskopische chirurgische Mikroskope, optische und Bild hindurch
sehende Displays.

20

11. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung
und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und
nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der
vorangehenden oder einem der folgenden Ausführungsformen, wobei
der Strahlungsdetektor eines der folgenden ist:

25

- Gammasonde;
- Betasonde;
- Gammakamera;
- Betakamera;
- Minigammakamera;

30

oder eine Kombination derselben.

12. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung
und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und
5 nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der
vorangehenden oder einem der folgenden Ausführungsformen, wobei
besagte Nachverfolgungssysteme externe Nachverfolgungssysteme
sind, zum Beispiel einschließend optische Nachverfolgungssysteme,
magnetische Nachverfolgungssysteme, mechanische oder Roboterarm
10 basierte Nachverfolgungssysteme, Radiowellen basierte
Nachverfolgungssysteme, Schallwellen basierte
Nachverfolgungssysteme, usw., oder interne Nachverfolgungssysteme,
welche zum Beispiel beinhalten Beschleunigungsmesser basierte
Nachverfolgungssysteme, Potentiometer basierte
15 Nachverfolgungssysteme, usw., oder eine Kombination von externen
Nachverfolgungssystemen und/oder internen
Nachverfolgungssystemen.
13. Ein Vorrichtung für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-
20 Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen
Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in
einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen, wobei
besagte Displays folgendes sind:
(a) visuelle Displays, zum Beispiel Monitorsysteme, welche zum
25 Beispiel umfassen: Monitore, optische durchscheinende Monitore,
Stereomonitore, stereooptisch durchscheinende kopfmontierte Displays,
etc.;
(b) akustische Displays, die umfassen zum Beispiel frequenzkodierte
Rückkopplungssysteme, pulskodierte Rückkopplungssysteme, etc.;

- (c) haptische Displays, die umfassen zum Beispiel
Kraftrückkopplungsjoysticks,
Kraftdrehmomentrückkopplungsjoysticks, etc. oder
(d) irgendeine Kombination von visuellen akustischen und/oder
5 haptischen Displays.
14. Ein Gerät für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung
und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und
nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der
10 vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen , weiter umfassend:
(a) ein Speichersystem für die involvierte Information, welches mit der
ersten und zweiten Datenverarbeitungseinheit kommuniziert und/oder
(b) eine dritte Datenverarbeitungseinheit, welche mit der ersten und
zweiten Datenverarbeitungseinheit kommuniziert, sodass die
15 vollständige Information oder ein Teil davon als
Dokumentationsmaterial gespeichert wird und/oder ein automatischer
Report der Prozedur erzeugt wird.
15. Eine Vorrichtung für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-
20 Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen
Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren im Wesentlichen wie
hierin beschrieben und mit Referenz zu und/oder wie illustriert in den
beigefügten Abbildungen.
- 25 16. Eine Vorrichtung für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-
Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen
Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in
einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen , und
weiter umfassend einen Sensor und/oder eine weitere
30 Datenverarbeitungseinheit, die dieselbe sein kann wie die erste
Datenverarbeitungseinheit oder mit der ersten

Datenverarbeitungseinheit kommuniziert für die Onlineberechnung oder das Aufspüren des Fehlers in der Position und Orientierung von irgendeinen der nachverfolgten Objekte und/oder des Fehlers in der Auslese der Strahlungsanzeigen.

5

17. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren, welche umfasst:
 - (a) die Detektion von Strahlung durch einen Strahlungsdetektor;
 - 10 (b) die synchrone Erfassung der Position und Orientierung des besagten Strahlungsdetektors und seiner Anzeige;
 - (c) das Auslesen von mindestens einem präoperativen Nuklearbild;
 - (d) die 3D-Rekonstruktion eines Nuklearbildes aus einer Liste von Anzeigen, Positionen und Orientierungen des Strahlungsgerätes und präoperativen Nuklearbildes und/oder die Berechnung eines
 - 15 zugehörigen Qualitätswertes; und
 - (e) das Anzeigen des rekonstruierten Bildes.
18. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren, welche umfasst:
 - (a) die Detektion von Strahlung durch einen Strahlungsdetektor;
 - (b) die synchrone Erfassung von Position und Orientierung des besagten Strahlungsdetektors und seiner Anzeige;
 - 20 (c) das Auslesen von mindestens einem präoperativen Nuklearbild;
 - (d) die räumliche Registrierung einer Liste von Auslesen, Positionen und Orientierungen des Strahlungsgerätes; und
 - 25 (e) die Anzeige des registrierten Bildes.
19. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen

30

Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in Ausführungsform 16, wobei die Registrierung erfolgreich ist durch Rückprojektion der Auslesedaten, Positionen und Orientierungen des Strahlungsdetektors auf eine 3D-radioaktive Verteilung.

5

20. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in Ausführungsform 16, wobei die Registrierung erfolgreich ist durch Vorwärtsprojizieren des präoperativen Nuklearbildes auf die Positionen und Orientierung des Strahlungsdetektors.
- 10
21. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in Ausführungsform 16, welche weiter umfasst:
- 15
- (a) das korrekte Positionieren eines Patienten basierend auf der Ausgabe der Registrierung; und/oder
- (b) die Anpassung von Operationsplänen, wobei besagte Ausgabe verwendet wird.
- 20
22. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in den Ausführungsformen 15 oder 16, welche auch umfasst:
- 25
- (a) die Erzeugung von 3D-Bildern durch Benutzung von 3D-Bildgebungsvorrichtungen;
- (b) das synchrone Erfassen von Position und Orientierung der besagten 3D-Bildgebungsvorrichtungen;

- (c) die Bestimmung von Position und Orientierung und/oder der Verformung des Körperparts, welches abgebildet wird, aus den 3D-Bildern;
- (d) die Berechnung von relativen Positionen und Orientierung und Verformung des Körperteils, der abgebildet wird, und des Strahlungsdetektors;
- (e) die Kompensation von Bewegung und/oder Verformung des Körperteils, der abgebildet wird, aufgrund dieser relativen Position und Orientierung, und/oder die Kompensation der Abschwächung und/oder Streuung basierend auf 3D-Bildern.
23. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in den Ausführungsformen 15 oder 16, welche auch umfasst:
- (a) die Überwachung der Position und Orientierung und/oder Verformung des Körperteils, der abgebildet wird, durch Verwendung eines kalibrierten Sensors;
- (b) die Berechnung der relativen Positionen und Orientierung und/oder Verformung des Körperteils, der abgebildet wird, und des Strahlungsdetektors; und
- (c) die Kompensation von Bewegung und/oder Verformung des Körperteils, der abgebildet wird, aufgrund dieser relativen Position und Orientierung.
24. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in den Ausführungsformen 15 oder 16, welche auch umfasst:
- (a) das Benutzen von künstlichen Markierungen, die auf oder in dem Körperpart, der abgebildet wird, positioniert sind;

- (b) das Erfassen der Position und Orientierung der besagten künstlichen Markierung;
- (c) die Bestimmung der Position und Orientierung des Körperteils, der abgebildet wird, basierend auf besagten Position und Orientierung der künstlichen Markierung;
- (d) die Berechnung von relativen Positionen und Orientierungen des Körperteils, der abgebildet wird, und des Strahlungsdetektors; und
- (e) die Kompensation der Bewegung und/oder Deformation des Körperteils, der abgebildet wird, aufgrund dieser relativen Position und Orientierung.
25. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in den Ausführungsformen 15 oder 16, welche auch umfasst:
- (a) das Überwachen der Atmung und des Herzsignals des Patienten durch einen Sensor;
- (b) die Bestimmung einer Phase für jedes Auslesen, Position und Orientierung des Strahlungsdetektors;
- (c) die Kompensation der Bewegung und/oder Deformation aufgrund von Atmung, Herzschlag oder beidem aufgrund dieser Phasen.
26. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen, welche auch umfasst:
- (a) die Benutzung von mindestens einem chirurgischen Werkzeug;
- (b) die Bestimmung der relativen Positionen und Orientierung der chirurgischen Werkzeuge und des rekonstruierten 3D-Bildes oder registrierten präoperativen Bildes;

(c) die Benutzung dieser relativen Position und Orientierung, um (1) Instrumente zu Regionen erhöhter Aufnahme zu führen, (2) Instrumente weg von Regionen erhöhter Aufnahme zu führen, (3) Instrumente zu Regionen niedriger Aufnahme zu führen, (4) Instrumente weg von Regionen niedriger Aufnahme zu führen, (5) die Strahlungsanzeige auf der Spitze eines jeden Instruments zu simulieren, welche gegeben wäre, wenn jedes Instrument eine Gammasonde wäre, (6) chirurgische Instrumente auf dem Display zu zeigen, und/oder (7) zu Detektieren und einen Operierenden zu warnen, wenn die Gültigkeit der Bilder verloren geht durch den Eingriff in das rekonstruierte und registrierte Volumen durch die Instrumente.

27. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen, welche weiter umfasst:

(a) das Anzeigen von rekonstruierten Bildern oder von registrierten präoperativen Bildern entweder visuell, akustisch, haptisch oder in einer kombinierten Art und Weise in 3D, und/oder insbesondere räumlich registriert mit der Abbildungsgeometrie einer jeden Kamera.

28. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen, welche weiter umfasst:

(a) das Speichersystem für die komplette Information oder eines Teiles davon für Dokumentationszwecke; und/oder
(b) die Erzeugung eines automatischen Reports der Prozedur.

29. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren wie beschrieben in einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen, welche
5 weiter umfasst:
(a) die Onlineberechnung oder das Aufspüren von Fehlern in der Position und Orientierung irgendeines der nachverfolgten Objekte und/oder des Fehlers in der Auslesung der Strahlungsanzeigen; und
(b) das Anzeigen der besagten Fehler, um ein Vertrauenslevel zu den
10 Anzeigen zuzuweisen und/oder die Kompensation der besagten Fehler, um die erfasste Information zu benutzen gemäß des Vertrauenslevels, und folglich fähig zu sein, die Fehler zu korrigieren.
30. Eine Methode für intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung und bildgeführte Operation, basierend auf präoperativen
15 Daten und nachverfolgten Strahlungsdetektoren im Wesentlichen wie hier beschrieben und mit Referenz zu/oder wie illustriert in den beigefügten Abbildungen.
- 20 [0191] Im Folgenden werden noch weitere zusätzliche Ausführungsformen beschrieben (weitere Ausführungsform 31 bis 51):
31. Eine Vorrichtung für zuverlässige intraoperative 3D-tomografische Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven
25 Raumverteilungen und bildgeführte Operationen unter Benutzung von Strahlungsdetektoren, wobei die Vorrichtung umfasst:
(a) ein Strahlungsdetektor;
(b) ein Nachverfolgungssystem, um die Position und Orientierung des besagten Strahlungsdetektors synchron zu erfassen;

- (c) eine erste Datenverarbeitungseinheit, welche mit dem besagten Strahlungsdetektor und dem Nachverfolgungssystem kommuniziert und fähig ist, die Qualität der erfassten Daten zu evaluieren und die benötigten Projektionen für verlässliche 3D-Rekonstruktion zu bestimmen;
- (d) eine zweite Datenverarbeitungseinheit, die mit besagtem Strahlungsdetektor und dem Nachverfolgungssystem kommuniziert und fähig ist, eine 3D-Rekonstruktion auszuführen, basierend auf den Anzeigen des Strahlungsdetektors und den entsprechenden Positionen und Orientierungen;
- (e) ein Display, das mit besagter Datenverarbeitungseinheit kommuniziert und fähig ist, einem Operierenden die benötigten Projektionen für eine verlässliche Rekonstruktion zu zeigen und/oder ihn zu führen;
- (f) ein zweites Display, das mit der besagten Datenverarbeitungseinheit kommuniziert und fähig ist, einem Operierenden die gültig rekonstruierten 3D Gamma aussendenden Bilder zu zeigen und solchermäßen zu erlauben, ihn/sie zu führen, um die Messung zu verbessern.
32. Eine Vorrichtung zur verlässlichen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß Ausführungsform 31, wobei die erste und zweite Datenverarbeitungseinheit dieselbe sind oder miteinander kommunizieren.
33. Eine Vorrichtung für verlässliche intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren

gemäß Ausführungsform 31, wobei das erste und zweite Display dasselbe sind oder miteinander kommunizieren.

34. Ein Gerät für verlässliche intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-
5 Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß Ausführungsform 31, wobei der Strahlungsdetektor einer der folgenden ist: Gammasonde, Betasonde, Gammakamera, Betakamera, Minigammakamera oder eine Kombination dieser.
- 10 35. Ein Gerät für verlässliche intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß Ausführungsform 31, wobei das Nachverfolgungssystem ein externes
15 Nachverfolgungssystem ist, welches zum Beispiel beinhaltet ein optisches Nachverfolgungssystem, magnetisches Nachverfolgungssystem, mechanisches oder Roboterarm basiertes Nachverfolgungssystem, ein Radiowellen basiertes Nachverfolgungssystem, ein Schallwellen basiertes
20 Nachverfolgungssystem, usw., oder ein internes Nachverfolgungssystem, welches beinhaltet zum Beispiel ein Beschleunigungsmesser basiertes Nachverfolgungssystem, ein Potentiometer basiertes Nachverfolgungssystem, usw., oder irgendeine Kombination eines externen Nachverfolgungssystems und/oder internen
25 Nachverfolgungssystems.
36. Ein Gerät für verlässliche intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-
Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß
30 Ausführungsform 31, wobei das Display eines der folgenden ist:

- (a) ein visuelles Display, zum Beispiel ein Monitorsystem, zum Beispiel umfassend: Monitore und optische durchscheinende Monitore, Stereomonitore, stereooptische durchscheinende kopfmontierte Displays, usw.;
- 5 (b) ein akustisches Display, zum Beispiel umfassend frequenzkodierte Rückkopplungssysteme, pulskodierte Rückkopplungssysteme, etc.;
- (c) ein haptisches Display, zum Beispiel umfassend Kraftrückkopplungsjoystick, Kraftdrehmomentrückkopplungsjoysticks, etc., oder
- 10 (d) eine Kombination von visuellen akustischen und/oder haptischen Displays.
37. Eine Methode für verlässliche intraoperative 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und
- 15 bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren, welche umfasst:
- (a) das synchrone Erfassen von Auslesedaten des Strahlungsdetektors und die Position und Orientierung des besagten Strahlungsdetektors;
- (b) die Auswertung der Qualität der erfassten Auslesedaten, Positionen und/oder Orientierungen;
- 20 (c) die Berechnung des benötigten Satzes von Projektionen, die benötigt werden, um eine zuverlässige 3D-Rekonstruktion zu erlauben;
- (d) das Anzeigen der besagten Menge oder einer Untermenge davon oder der Information, die fähig ist, den Operierenden zu führen, um die benötigten Projektionen zu erfassen;
- 25 (e) die 3D-Rekonstruktion eines gültigen 3D gamma-emittierenden Bildes und/oder die Berechnung eines zugehörigen Qualitätswertes.
38. Eine Vorrichtung zu zuverlässigen intraoperativen 3D-
- 30 Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung

von Strahlungsdetektoren gemäß Ausführungsform 31, auch umfassend:

- (a) mindestens ein chirurgisches Werkzeug; und
- (b) ein zweites Nachverfolgungssystem, um chirurgische Werkzeuge nach zu verfolgen, wobei das zweite Nachverfolgungssystem dasselbe ist wie das erste Nachverfolgungssystem oder mit dem ersten Nachverfolgungssystem kommuniziert, sodass die relative Position und Orientierung der chirurgischen Werkzeuge und des rekonstruierten gültigen 3D gamma-emittierenden Bildes berechnet werden können und benutzt werden können, um (a) die Instrumente zu Regionen hoher Aufnahme zu führen, (b) die Instrumente weg von Regionen hoher Aufnahme zu führen, (c) die Instrumente zu Regionen niedriger Aufnahme zu führen, (d) die Instrumente weg von Regionen niedriger Aufnahme zu führen, (e) die Strahlungsanzeige an der Spitze eines jeden Instruments zu simulieren, welche gegeben wäre, wenn jedes Instrument ein Strahlungsdetektor wäre, (f) chirurgische Instrumente auf dem Display zu zeigen, und/oder (g) zu Detektieren und einen Operierenden zu warnen, wenn die Gültigkeit der Bilder verloren geht aufgrund des Eingriffs in das rekonstruierte Volumen durch die Instrumente.

39. Eine Methode zur verlässlichen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß Ausführungsform 35, wobei die relative Position und Orientierung von chirurgischen Instrumenten benutzt wird, um (a) die Instrumente zu Regionen hoher Aufnahme zu führen, (b) die Instrumente weg von Regionen hoher Aufnahme zu führen, (c) die Instrumente zu Regionen niedriger Aufnahme zu führen, (d) die Instrumente weg von Regionen niedriger Aufnahme zu führen, (e) die

- Strahlungsanzeige zu berechnen, die chirurgische Instrumente mit ihren gegebenen Positionen und Orientierungen messen würde, wenn sie als Strahlungsdetektoren benutzt würden, (f) die chirurgischen Instrumente zu zeigen in co-registrierter Form mit dem rekonstruierten gültigen 3D gamma-emittierenden Bildern auf dem Display, und/oder (g) zu Detektieren und den Operierenden zu warnen, wenn die Gültigkeit der Bilder verloren geht durch den Eingriff in das rekonstruierte Volumen durch die Instrumente.
- 5
- 10 40. Eine Vorrichtung zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß einer vorangehenden oder einer folgenden Ausführungsform, weiter umfassend:
- 15 (a) ein Sensor, um die Atmung und das Herzsignal des Patienten zu überwachen, wobei der Sensor mit der Datenverarbeitungseinheit kommuniziert;
- (b) ein Sensor, um die Position und Orientierung und/oder die Verformung des Körperteils, der mit dem System, das mit der Datenverarbeitungseinheit kommuniziert, abgebildet wird, und/oder
- 20 (c) Nachverfolgungsmarkierungen, die platziert sind auf oder in dem Körperteil, das mit dem System und einem dritten Nachverfolgungssystem abgebildet wird, wobei das dritte Nachverfolgungssystem dasselbe wie das erste oder das zweite Nachverfolgungssystem ist oder mit dem ersten oder zweiten Nachverfolgungssystem kommuniziert oder mit den Daten
- 25 verarbeitenden Einheiten kommuniziert, sodass jede Auslese des Strahlungsdetektors, der Position und Orientierung und/oder Verformung berechnet werden kann in Relation zu dem Körperteil, der abgebildet wird, oder das diesen ein Phasenetikett zugewiesen werden kann, betreffs der Bewegung und/oder des Verformungszykluses, um
- 30

Bewegungs- und/oder Deformationskompensation zu erlauben in der Rekonstruktion und/oder der Anzeige.

41. Eine Methode zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß irgendeiner der vorangegangenen oder folgenden Ausführungsformen, welche weiter umfasst:
- (a) das Überwachen der Atmung oder des Herzsignals des Patienten,
- (b) die Überwachung der Position und Orientierung und/oder der Verformung des Körperteils, das mit dem System abgebildet wird, und/oder
- (c) das Nachverfolgen der Markierungen, welche platziert sind auf oder in dem Körperteil, der mit dem System abgebildet wird, sodass jede Auslese des Strahlungsdetektors, Position und Orientierung und/oder Verformung berechnet werden kann relativ zu dem Körperteil, der abgebildet wird, oder diesen ein Phasenetikett zugewiesen werden kann, betreffs der Bewegung und/oder des Deformationszyklus, um Bewegungs- und/oder Deformationskompensation zu erlauben in der Rekonstruktion und/oder der Anzeige.
42. Eine Vorrichtung zur verlässlichen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß irgendeiner der vorangegangenen oder folgenden Ausführungsformen, weiter umfassend:
- (a) ein Display virtueller Realität und/oder
- (b) ein Display erweiterter Realität,
- sodass das rekonstruierte gültige 3D gamma-emittierende Bild angezeigt werden kann auf akustische visuelle, haptische oder in einer kombinierten Art in 3D, und/oder insbesondere räumlich registriert mit

- der Bildgeometrie irgendeiner Kamera, umfassend
Laparaoskopkamas und Kamas basiert auf chirurgischen
Mikroskopen, optischen und optisch durchscheinenden kopfmontierten
Anzeigen, optischen und optisch durchscheinenden stereoskopischen
5 chirurgischen Mikroskopen, optischen und optisch durchscheinenden
Displays.
43. Eine Methode zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung,
3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und
10 bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren
gemäß irgendeiner vorangehenden oder folgenden Ausführungsform,
weiter umfassend: das Anzeigen des rekonstruierten gültigen 3D
gamma-emittierenden Bildes in
(a) einem Display virtueller Realität und/oder
15 (b) einem Display erweiterter Realität,
sodass das Bild visuell akustisch, haptisch oder in einer kombinierten
Art und Weise in 3D dargestellt werden kann, und/oder insbesondere
räumlich registriert mit der Bildgeometrie irgendeiner Kamera,
umfassend Laparoskopkamas und Kamas basiert auf chirurgischen
20 Mikroskopen, optischen und optisch durchscheinenden kopfmontierten
Displays, optischen und optisch durchscheinenden stereoskopischen
chirurgischen Mikroskopen, optischen und optisch durchscheinenden
Displays.
- 25 44. Eine Vorrichtung zur zuverlässigen intraoperativen 3D-
Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven
Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung
von Strahlungsdetektoren gemäß den Ausführungsformen 31, 37, 39
oder 41, weiter umfassend:
30 (a) mindestens eine 3D-Abbildungsvorrichtung und ein viertes
Nachverfolgungssystem, das die Position und Orientierung der

Abbildungsvorrichtung bestimmt, und welches dasselbe ist wie das erste, zweite oder dritte Nachverfolgungssystem oder mit diesem kommuniziert und/oder

5 (b) wenigstens ein Eingang für co-registrierte 3D-Bilder, wobei die 3D-Abbildungsvorrichtung, das vierte Nachverfolgungssystem und der Eingang für co-registrierte 3D-Bilder mit der ersten und zweiten Datenverarbeitungseinheit kommunizieren, sodass das rekonstruierte gültige 3D gamma-emittierende Bild angezeigt werden kann auf co-registrierter Art und Weise mit den 3D-Bildern und/oder benutzt
10 werden kann, um Abschwächungs- und/oder Streuungskorrektur auszuführen auf den 3D gamma-emittierenden Bildern, welche zum Beispiel Ultraschallbilder, Röntgen basierte Bilder, Magnetresonanztomografiebilder, optische Bilder, kontrastierte Ultraschallbilder, kontrastierte Röntgen basierte Bilder,
15 funktionalmagnetische Resonanztomografiebilder, Farbstoff basierte optische Bilder, Fluoreszenzbilder, Reflektionsbilder, Autofluoreszenzbilder, usw. sind.

45. Eine Methode zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung,
20 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß irgendeiner der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen , weiter umfassend:
(a) die co-registrierte Erfassung von anatomischen oder funktionellen
25 Bildern, die von mindestens einem 3D-Gerät stammen und/oder
(b) die Verwendung von zuvor erfassten co-registrierten 3D-Bildern, die von mindestens einer 3D-Bildgebungsvorrichtung stammen, sodass die rekonstruierten gültigen 3D gamma-emittierenden Bilder angezeigt werden können, auf co-registrierte Weise mit den 3D-Bildern und/oder
30 sodass die 3D gamma-emittierenden Bilder korrigiert werden können in

Bezug auf Abschwächung und/oder Streuung, indem 3D-Bilder benutzt werden.

46. Ein Gerät zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen, vorzugsweise unter Verwendung von Strahlungsdetektoren, gemäß irgendeiner der vorangehenden oder nachfolgenden Ausführungsformen, weiter umfassend:
- (a) ein Speichersystem für die involvierte Information, das mit der ersten und zweiten Datenverarbeitungseinheit kommuniziert und/oder
- (b) eine dritte Datenverarbeitungseinheit, die mit der ersten und zweiten Datenverarbeitungseinheit kommuniziert, sodass die vollständigen Informationen oder ein Teil davon gespeichert werden als Dokumentationsmaterial und/oder ein automatischer Report der Prozedur erzeugt wird.
47. Eine Methode zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren gemäß einer der Ausführungsformen 36, 38, 40, 42 oder 44, weiter umfassend:
- (a) das Speichern von involvierter Information und/oder
- (b) die automatische Erzeugung von Dokumentationsmaterial.
48. Eine Vorrichtung zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren wie in irgendeiner der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen beschrieben, weiter umfassend: einen Sensor und/oder eine weitere Datenverarbeitungseinheit, die dieselbe sein kann wie die erste Datenverarbeitungseinheit oder mit der ersten

Datenverarbeitungseinheit kommuniziert, für die Onlineberechnung oder das Aufspüren von Fehlern in der Position und Orientierung eines jeden nachverfolgten Objekts und/oder des Fehlers in den Auslesedaten der Strahlungsanzeigen.

5

49. Eine Methode zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren wie in einer der vorangehenden oder folgenden Ausführungsformen beschrieben, weiter umfassend:
- 10 (a) die Onlineberechnung oder das Aufspüren von Fehlern in der Position und Orientierung eines jeden nachverfolgten Objektes und/oder des Fehlers in der Auslesung einer jeden Strahlungsanzeige; und
- 15 (b) das Anzeigen der besagten Fehler, um ein Vertrauenslevel den Anzeigen zuzuweisen und/oder die Kompensation der besagten Fehler, um die erfasste Information gemäß des Vertrauenslevels zu benutzen und so fähig zu sein, die Fehler zu kompensieren.
- 20 50. Eine Vorrichtung zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren im Wesentlichen wie hier beschrieben und mit Referenz zu oder und/oder wie illustriert in den beigefügten
- 25 Abbildungen.
51. Eine Methode zur zuverlässigen intraoperativen 3D-Nuklearbildgebung, 3D-Visualisierung von radioaktiven Raumverteilungen und bildgeführter Operationen unter Verwendung von Strahlungsdetektoren
- 30 im Wesentlichen wie hierin beschrieben und mit Referenz zu und/oder wie illustriert in den beigefügten Abbildungen.

[0192] Während das Vorangehende auf Ausführungsformen der Erfindung gerichtet ist, können andere und weitere Ausführungsformen der Erfindung aufgestellt werden ohne vom Schutzbereich der Erfindung abzuweichen, der
5 durch die nachfolgenden Ansprüche bestimmt wird.

Ansprüche

1. Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat,
welches umfasst:
 - 5 - Detektieren von radioaktiver Strahlung durch einen beweglichen Detektor während eines Detektionszeitraums;
 - Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats,
 wobei die Detektordaten Information über die detektierte
10 Strahlung umfassen; und
 - wiederholtes Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem während des Detektionszeitraums.
- 15 2. Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat,
welches umfasst:
 - Detektieren von Strahlung durch einen beweglichen Detektor des Bilderzeugungsapparats während eines Detektionszeitraums;
 - Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein
20 Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats,
 wobei die Detektordaten Information über die detektierte Strahlung umfassen; und
 - Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den gesammelten
25 Detektordaten,
 wobei sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums bezieht.
3. Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat,
30 welches umfasst:

- Detektieren von Strahlung durch einen beweglichen Detektor des Bilderzeugungsapparats während eines Detektionszeitraums;
- Ändern von Position und/oder Orientierung des Detektors während des Detektionszeitraums;
- 5 - fortlaufendes Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats während des Detektionszeitraums,
 - wobei die Detektordaten Information über die detektierte Strahlung umfassen;
 - 10 und wobei die Detektordaten Information über die Position und/oder Orientierung des Detektors umfassen; und
 - Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem;
- 15 4. Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat, welches umfasst:
 - Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des Bilderzeugungsapparats;
 - Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein
 - 20 Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats,
 - wobei die Detektordaten Information über die detektierte Strahlung umfassen;
 - und wobei die Detektordaten Information über die Position und/oder Orientierung des Detektors umfassen; und
 - 25 - Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter Berücksichtigung eines Detektionsmodells;
 - wobei das Detektionsmodell eine Materialeigenschaft eines
 - 30 die Detektion beeinflussenden Materials und/oder eine Zwangsbedingung berücksichtigt.

5. Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat, welches umfasst:
- 5 - Detektieren von Strahlung durch einen Detektor des Bilderzeugungsapparats;
 - Sammeln von Detektordaten des Detektors zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats;
 - 10 - Registrieren der Detektordaten mit kompatiblen Daten durch das Auswertesystem.
6. Verfahren zur Bilderzeugung durch einen Bilderzeugungsapparat, welches umfasst:
- 15 - Detektieren von radioaktiver Strahlung durch einen beweglichen Detektor des Bilderzeugungsapparats während eines Detektionszeitraums;
 - Sammeln von Detektordaten zur Bilderzeugung durch ein Auswertesystem des Bilderzeugungsapparats, wobei die Detektordaten Information über die detektierte Strahlung umfassen;
 - 20 - Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten; und
 - wiederholtes Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert während des Detektionszeitraums.
 - 25
- 30 7. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Strahlung radioaktive Strahlung ist.

8. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Detektor beweglich ist.
- 5 9. Verfahren zur Bilderzeugung nach Anspruch 8,
wobei der Detektor frei beweglich ist.
10. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Detektieren während eines Detektionszeitraums
10 erfolgt.
11. Verfahren zur Bilderzeugung nach Anspruch 10, wobei das Verfahren
weiter umfasst:
- fortlaufendes Sammeln von Detektordaten zur
15 Bilderzeugung durch das Auswertesystem des
Bilderzeugungsapparats während des Detektionszeitraums.
12. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die gesammelten Detektordaten Information über die
20 detektierte Strahlung umfassen.
13. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die gesammelten Detektordaten Information über die
Position und/oder Orientierung des Detektors umfassen.
25
14. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den
gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem.
30
15. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei das Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem während des Detektionszeitraums erfolgt.

- 5 16. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- erneutes oder wiederholtes Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem.
- 10
17. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das erneute oder das wiederholte Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts aus den gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem während des Detektionszeitraums erfolgt.
- 15
18. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Ändern von Position und/oder Orientierung des Detektors während des Detektionszeitraums.
- 20
19. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den gesammelten Detektordaten und/oder von dem mindestens
- 25
- einen ermittelten Qualitätswert, wobei sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums bezieht.
- 30
20. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:

- Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten.
- 5 21. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter Berücksichtigung eines Detektionsmodells erfolgt,
- 10 wobei das Detektionsmodell eine Materialeigenschaft eines die Detektion beeinflussenden Materials und/oder eine Zwangsbedingung berücksichtigt.
- 15 22. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Registrieren der Detektordaten mit kompatiblen Daten durch das Auswertesystem.
- 20 23. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert während des Detektionszeitraums.
- 25 24. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Verfahren weiter umfasst:
- erneutes oder wiederholtes Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert während des Detektionszeitraums.

25. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der mindestens eine Qualitätswert bezüglich mindestens
eines Qualitätskriteriums ermittelt wird.
- 5 26. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der mindestens eine Qualitätswert bezüglich mindestens
eines Qualitätskriteriums ermittelt wird,
wobei das mindestens eine Qualitätskriterium
ausgewählt ist aus einer Menge umfassend:
- 10 - der Grad der Ähnlichkeit zwischen einem aus den gesammelten
Detektordaten erzeugten ersten Bild und einem zweiten Bild;
- die Konditionierung einer Bilderzeugungsvorschrift zur
Erzeugung eines Bildes aus den gesammelten Detektordaten;
- die Relevanz der gesammelten Detektordaten für ein Bildelement;
15 - die Plausibilität einer Bilderzeugung aus den gesammelten
Detektordaten;
- die Plausibilität einer Bilderzeugung durch Vergleich mit einem
zweiten Bild;
- die Uniformität der gesammelten Detektordaten;
20 - das Falscherzeugungsrisiko aufgrund von fehlerhaften
Detektordaten;
- eine beliebige Kombination aus den obengenannten Kriterien.
27. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
25 wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Ausgeben des mindestens einen ermittelten Qualitätswerts
an einen Nutzer.
28. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
30 wobei das Verfahren weiter umfasst:

- Ausgeben einer Warnung an einen Nutzer, wenn der mindestens eine Qualitätswert einen Schwellwert nicht erreicht.

- 5 29. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum
weiteren Bewegen des Strahlungsdetektors das Ausgeben
derjenigen Position und/oder Orientierung des Detektors
umfasst, deren Einnehmen durch den Detektor gemäß einer
10 Prognose die Bilderzeugung gemäß mindestens einem
Qualitätswert verbessern würde.
- 15 30. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum
weiteren Bewegen des Strahlungsdetektors das Ausgeben
derjenigen Position und/oder Orientierung des Detektors
umfasst, deren Einnehmen durch den Detektor gemäß einer
Prognose die Bilderzeugung gemäß mindestens einem
Qualitätswert am stärksten verbessern würde.
- 20 31. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Ausgeben der Anweisung an den Nutzer auf einem
Ausgabesystem mit mindestens einer Ausgabeeinheit
- visuell
 - 25 - akustisch
 - haptisch
- oder durch Kombinationen davon erfolgt.
- 30 32. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Detektionsmodell
- algebraisch

- analytisch
- numerisch
- statistisch
- aufgrund von Messdaten

5 oder durch Kombinationen davon erstellt ist.

33. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die berücksichtigte Materialeigenschaft das
Detektionsmodell aufgrund von Effekten aus einer Menge von
10 Effekten beeinflusst, wobei die Menge von Effekten
- eine Abschwächung von Strahlung
 - eine Streuung von Strahlung
 - eine Beugung von Strahlung
 - eine Brechung von Strahlung
 - 15 - den Einfluss von elektromagnetischen Feldern
 - den Einfluss von Hintergrundstrahlung
 - ein Signalrauschen
 - den Einfluss von Fehlern in der Detektion der Strahlung,
der Position und/oder der Orientierung
- 20 umfasst.

34. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die berücksichtigte Zwangsbedingung aus einer Menge
von Zwangsbedingungen ist, wobei diese Menge von
25 Zwangsbedingungen umfasst:
- den relativen Raumwinkel zwischen dem Detektor und
einem Quellbereich der Strahlung;
 - die Abmessungen des Detektors;
 - ein Nichtvorhandensein eines Materials.

30

35. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die kompatiblen Daten die Detektordaten sind.

36. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:

- 5 - Erzeugen von Simulationsdetektordaten basierend auf
einem Basisbild durch das Auswertesystem.

37. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die kompatiblen Daten die Simulationsdetektordaten sind.

10

38. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei zum Registrieren mindestens eine Vergleichsfunktion
verwendet wird.

- 15 39. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- indirektes Registrieren der Simulationsdetektordaten mit
Detektordaten über zweite kompatible Daten.

- 20 40. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die zweiten kompatiblen Daten Detektordaten sind.

41. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die zweiten kompatiblen Daten zweite
25 Simulationsdetektordaten sind basierend auf einem zweiten
Basisbild.

42. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
30 - Erzeugen eines ersten Bildes auf der Grundlage der
gesammelten Detektordaten durch das Auswertesystem.

43. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:

- 5
- Registrieren des ersten Bildes mit einem zweiten Bild durch Minimierung der Unähnlichkeit oder Maximierung der Ähnlichkeit.

44. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei zur Minimierung der Unähnlichkeit oder Maximierung
10 der Ähnlichkeit mindestens eine Vergleichsfunktion verwendet wird.

45. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:

- 15
- Registrieren eines dritten Bildes mit einem zweiten Bild;
 - Registrieren des ersten Bildes mit dem dritten Bild;
 - Registrieren des ersten Bildes mit dem zweiten Bild unter Verwendung der Registrierung des ersten Bildes mit dem dritten Bild.

20

46. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die mindestens eine Vergleichsfunktion aus einer Menge
von Funktionen stammt,

25 wobei diese Menge von Funktionen folgende Funktionen umfasst

- Kreuzkorrelationen;
- Transinformation;
- Blockentropien;
- Korrelationsraten;
- 30 - Kosinusmaß;
- Erweiterte Jaccard-Ähnlichkeit;

- Verhältnismäßige Bilduniformität;
- Summen von Quadratabständen;
- Summen von Absolutwerten von Abständen;
- Kombinationen daraus.

5

47. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem auf der Grundlage von Information geschieht, die in einem Vergleichsbild enthalten ist.

10

48. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift durch das Auswertesystem auf der Grundlage von Information beginnt, die in einem Vergleichsbild enthalten ist.

15

49. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Vergleichsbild ein Bild ist, das auf der Grundlage von Information aus radioaktiver Strahlung erzeugt wurde.

20

50. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswert während des Detektionszeitraums zu einer Verbesserung des mindestens einen Qualitätswerts hinsichtlich mindestens eines Qualitätskriteriums führt.

25

51. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das mindestens eine Qualitätskriterium ein Kriterium aus einer Menge von Kriterien ist, wobei die Menge folgende Kriterien umfasst:

30

- der Grad der Ähnlichkeit zwischen einem aus den gesammelten Detektordaten erzeugten ersten Bild und einem zweiten Bild;
 - die Konditionierung einer Bilderzeugungsvorschrift zur Erzeugung eines Bildes aus den gesammelten Detektordaten;
 - die Relevanz der gesammelten Detektordaten für ein Bildelement;
 - die Plausibilität einer Bilderzeugung aus den Detektordaten;
 - die Plausibilität einer Bilderzeugung durch Vergleich mit einem zweiten Bild;
 - die Uniformität der gesammelten Detektordaten;
 - das Falscherzeugungsrisiko aufgrund von fehlerhaften Detektordaten.
52. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Detektor in der Hand tragbar ist.
53. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Detektor eine Gammastrahlensonde, eine Betastrahlensonde, eine Comptonsonde, eine Gammastrahlenkamera, eine Gammastrahlenminikamera, eine Betastrahlenkamera oder eine Comptonkamera ist.
54. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem mindestens eine Recheneinheit und mindestens eine Speichereinheit umfasst.
55. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Verfahren weiter umfasst:

- Ausgeben eines Bildes auf einem Ausgabesystem mit mindestens einer Ausgabeeinheit.
56. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
5 wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Ausgeben eines registrierten Bildes auf einem Ausgabesystem mit mindestens einer Ausgabeeinheit.
57. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
10 wobei die mindestens eine Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit virtueller oder erweiterter Realität ist.
58. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- 15 - Speichern einzelner oder aller gesammelten Daten in mindestens einer Speichereinheit des Auswertesystems.
59. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- 20 - Erstellen einer Dokumentation auf der Grundlage der gespeicherten Daten durch das Auswertesystem.
60. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- 25 - Erfassen von Detektordaten beinhaltend eine Information über Position und/oder Orientierung des Detektors durch ein Erfassungssystem.
61. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
30 wobei das Erfassungssystem mindestens eine Erfassungseinheit umfasst,

wobei die mindestens eine Erfassungseinheit aus einer Menge von Erfassungseinheiten ist,

wobei die Menge umfasst:

- 5
 - optische
 - Infrarot-
 - Weißlicht-
 - elektromagnetische
 - mechanische
 - robotergestützte
 - 10
 - radiowellengestützte
 - schallwellengestützte
 - goniometergestützte
 - potentiometergestützte
 - gyroskopgestützte
 - 15
 - beschleunigungsmessergestützte
 - strahlungsgestützte
 - röntgengestützte
- Erfassungseinheiten.

20 62. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Strahlung von einer mindestens einer
Strahlungsquelle ausgeht, die sich innerhalb eines
abgeschlossenen räumlichen Gebiets befindet.

25 63. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Bilderzeugungsvorschrift eine lineare
Abbildungsvorschrift ist.

30 64. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die lineare Abbildungsvorschrift in dem Anwenden einer
Matrix auf einen ersten Vektor besteht.

65. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der erste Vektor Information über die räumliche
Verteilung der mindestens einen Strahlungsquelle umfasst.
- 5
66. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Ermitteln einer linearen Abbildungsvorschrift in dem
Ermitteln oder Verändern der Matrix und/oder des ersten
Vektors besteht.
- 10
67. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei Information, die in dem Vergleichsbild enthalten ist, bei
einem ersten Ermitteln einer linearen Abbildungsvorschrift in
dem ersten Vektor als Information über die räumliche
Verteilung der mindestens einen Strahlungsquelle dient.
- 15
68. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Bilderzeugung für medizinische Zwecke erfolgt.
- 20
69. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das abgeschlossene räumliche Gebiet einen Körper bzw.
einen Teil des Körpers eines Lebewesens umfasst.
70. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Lebewesen Atmung und Herzschlag hat.
- 25
71. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Sammeln von Körperdaten bezüglich Atmung und / oder
Herzschlag des Lebewesens, welche insbesondere Atemfrequenz
und/oder Herzfrequenz umfassen, durch das Auswertesystem.
- 30

72. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- 5 - Sammeln von Körperdaten des Lebewesens, wobei die Daten
Form, Position und/oder Orientierung des Körpers umfassen,
durch das Auswertesystem.
73. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- 10 - Erfassen der Körperdaten des Lebewesens durch das
Erfassungssystem.
74. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Körperdaten bezüglich Atmung und / oder Herzschlag
15 mit den Körperdaten bezüglich Form, Position und/oder
Orientierung des Körpers synchronisiert sind.
75. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- 20 - Verändern einer Bilderzeugungsvorschrift aufgrund der
gesammelten Körperdaten.
76. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Basisbild und/oder zweite Basisbild ein anatomisches
25 Bild ist.
77. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das zweite Bild ein anatomisches Bild ist.
- 30 78. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei das anatomische Bild eine Computertomographie, eine Magnetresonanztomographie, ein Ultraschallbild, ein optisches Bild oder ein Röntgenbild ist.

- 5 79. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Basisbild und/oder zweite Basisbild ein
körperfunktionelles Bild ist.
80. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
10 wobei das zweite Bild ein körperfunktionelles Bild ist.
81. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das körperfunktionelle Bild eine
Positronenemissionstomographie, abgekürzt PET, eine
15 Einzelphotonenemissionscomputertomographie, abgekürzt
SPECT, oder eine optische Tomographie ist.
82. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
20 - Sammeln von Daten medizinischer Instrumente durch das
Auswertesystem.
83. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
25 - Registrieren von Daten medizinischer Instrumente mit
Detektordaten und/oder Simulationsdetektordaten durch das
Auswertesystem;
- Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage des
Registrierens.

84. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Erfassen von Daten medizinischer Instrumente durch das Erfassungssystem.
- 5
85. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Erzeugen eines Instrumentenbildes auf der Grundlage der gesammelten Instrumentendaten durch das Auswertesystem.
- 10
86. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Registrieren des Instrumentenbildes mit dem ersten Bild und/oder dem zweiten Bild und/oder dem dritten Bild und/oder mit einem bereits registrierten Bild; und
 - 15 - Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage des Registrierens.
87. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
20 wobei das Verfahren weiter umfasst:
- Ausgeben des Kombinationsbildes durch das Ausgabesystem.
88. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
- 25 - Anweisen eines Nutzers zum Benutzen der medizinischen Instrumente auf der Grundlage des Kombinationsbildes.
89. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:

- Führen des Nutzers beim Benutzen der medizinischen Instrumente durch ein Führungssystem auf der Grundlage der Instrumentendaten.

- 5 90. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Führungssystem eine Führungseinheit umfasst,
wobei die Führungseinheit eine Führungseinheit aus einer
Menge von Führungseinheiten ist, wobei die Menge umfasst:
- 10 - haptische
 - akustische
 - visuelle
Führungseinheiten und Kombinationen davon.
- 15 91. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
 - Positionieren des Lebewesens.
- 20 92. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Verfahren weiter umfasst:
 - Detektieren von Strahlung durch mindestens einen sekundären
Detektor.

93. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung, welcher umfasst:
- einen beweglichen Detektor zur Detektion von radioaktiver Strahlung während eines Detektionszeitraums; und
 - ein Auswertesystem, welches umfasst:
 - ein Schnittstellensystem zur Übermittlung, an das Auswertesystem, von Detektordaten mit Information über die detektierte radioaktive Strahlung zur Bilderzeugung,
 - einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern der Detektordaten, und
 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum wiederholten Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten während des Detektionszeitraums.
94. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung, welcher umfasst:
- einen beweglichen Detektor zur Detektion von Strahlung während eines Detektionszeitraums;
 - ein Auswertesystem, welches umfasst:
 - ein Schnittstellensystem zur Übermittlung, an das Auswertesystem, von Detektordaten mit Information über die detektierte Strahlung zur Bilderzeugung,
 - einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern der Detektordaten,
 - ein Ausgabesystem zum Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den Detektordaten,
 - wobei sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums bezieht.

95. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung, welcher umfasst:

- einen frei beweglichen Detektor zur Detektion von Strahlung während eines Detektionszeitraums;
- ein Auswertesystem, welches umfasst:

5 ein Schnittstellensystem zur fortlaufenden Übermittlung, an
das Auswertesystem, von Detektordaten mit Information über
die detektierte Strahlung und mit Information über die
Position und/oder Orientierung des Detektors zur
Bilderzeugung während des Detektionszeitraums,
10 einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von
Detektordaten,
einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum
Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der
Bilderzeugung aus den Detektordaten.

15

96. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung, welcher umfasst:

- einen Detektor zur Detektion von Strahlung;
- ein Auswertesystem, welches umfasst:

20 ein Schnittstellensystem zur Übermittlung, an das
Auswertesystem, von Detektordaten mit Information über die
detektierte Strahlung und mit Information über die Position
und/oder Orientierung des Detektors zur Bilderzeugung,
einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von
Detektordaten,
25 einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum
Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift zur Bilderzeugung
auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter
Berücksichtigung eines Detektionsmodells,
welches eine Materialeigenschaft eines die Detektion
30 beeinflussenden Materials und/oder eine
Zwangsbedingung berücksichtigt.

97. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung, welcher umfasst:

- einen Detektor zur Detektion von Strahlung;
- ein Auswertesystem, welches umfasst:
 - ein Schnittstellensystem zur Übermittlung von Detektordaten zur Bilderzeugung an das Auswertesystem,
 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren von Detektordaten mit kompatiblen Daten.

98. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung, welcher umfasst:

- einen beweglichen Detektor zur Detektion von radioaktiver Strahlung während eines Detektionszeitraums;
- ein Auswertesystem, welches umfasst:
 - ein Schnittstellensystem zur Übermittlung, an das Auswertesystem, von Detektordaten mit Information über die detektierte radioaktive Strahlung zur Bilderzeugung,
 - einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von Detektordaten,
 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von gesammelten Detektordaten,
 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum wiederholten Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätswerts während des Detektionszeitraums.

99. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Detektor beweglich ist.
- 5 100. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Detektor frei beweglich ist.
- 10 101. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei die Strahlung radioaktive Strahlung ist.
- 15 102. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Detektor die Strahlung während eines Detektionszeitraums detektiert.
- 20 103. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Schnittstellensystem ein Schnittstellensystem zur Übermittlung, an das Auswertesystem, von Detektordaten mit Information über die detektierte Strahlung zur Bilderzeugung ist.
- 25 104. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Schnittstellensystem ein Schnittstellensystem zur Übermittlung, an das Auswertesystem, von Detektordaten mit Information über die detektierte Strahlung und mit Information
30 über die Position und/oder Orientierung des Detektors zur Bilderzeugung ist.

105. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

5 wobei das Schnittstellensystem ein Schnittstellensystem zur fortlaufenden Übermittlung von Detektordaten an das Auswertesystem mit Information über die detektierte Strahlung und mit Information über die Position und/oder Orientierung des Detektors zur Bilderzeugung ist.

10 106. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Datenspeicherabschnitt.

15 107. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern der Detektordaten.

108. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- 20
- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten während des Detektionszeitraums.

25 109. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

30 wobei das Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts auch ein Programm zum erneuten oder wiederholten Ermitteln eines Qualitätswerts hinsichtlich der Bilderzeugung aus den Detektordaten während des Detektionszeitraums ist.

110. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- 5 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten.

111. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- 10 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten unter Berücksichtigung eines Detektionsmodells,
15 welches eine Materialeigenschaft eines die Detektion beeinflussenden Materials und/oder eine Zwangsbedingung berücksichtigt.

112. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- 20 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren der Detektordaten mit kompatiblen Daten.

113. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- 25 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Ermitteln einer Bilderzeugungsvorschrift zur Bilderzeugung auf der Grundlage der gesammelten Detektordaten.

114. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

30

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätskriterium.

5 115. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätskriterium während des
- 10 Detektionszeitraums.

116. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum
- 15 wiederholten Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätskriterium.

117. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum
- 20 wiederholten Verändern der Bilderzeugungsvorschrift auf der Grundlage von mindestens einem Qualitätskriterium während des Detektionszeitraums.

25 118. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Bilderzeugungsapparat weiter umfasst:

- ein Ausgabesystem, das mindestens eine Ausgabeeinheit umfasst.

119. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

30 Ansprüche, wobei die Auswerteeinheit weiter umfasst:

- eine Ausgabeschnittstelle zum Übermitteln von Daten an das Ausgabesystem.

120. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den Detektordaten ist, wobei sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums bezieht.

121. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben einer Anweisung an einen Nutzer zum weiteren Bewegen des Detektors in Abhängigkeit von den Detektordaten und/oder von dem mindestens einen ermittelten Qualitätswert ist, wobei sich die Anweisung zumindest auf einen Teil des verbleibenden Detektionszeitraums bezieht.

122. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts ein Programm zum Ermitteln mindestens eines Qualitätswerts bezüglich mindestens eines Qualitätskriteriums ist.

123. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit zum Ausgeben des mindestens einen ermittelten Qualitätswerts an einen Nutzer ist.

124. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

5 wobei die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit ist zum Ausgeben einer Warnung an einen Nutzer, wenn der mindestens eine Qualitätswert mindestens ein Qualitätskriterium nicht erfüllt.

125. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

10 wobei die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit ist zum Ausgeben derjenigen Position und/oder Orientierung des Detektors, deren Einnehmen durch den Detektor gemäß einer Prognose die Bilderzeugung gemäß mindestens einem Qualitätswert verbessern würde.

15

126. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

20 wobei die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit ist zum Ausgeben derjenigen Position und/oder Orientierung des Detektors, deren Einnehmen durch den Detektor gemäß einer Prognose die Bilderzeugung gemäß mindestens einem Qualitätswert am stärksten verbessern würde.

127. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

25 wobei die Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit ist zum Ausgeben einer Anweisung an den Nutzer in

- visueller
- akustischer
- 30 - haptischer

Form oder in einer Kombinationsform davon.

128. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei das Detektionsmodell

- 5 - algebraisch
 - analytisch
 - numerisch
 - statistisch
 - aufgrund von Messdaten, oder
 - 10 - durch Kombinationen davon
- erstellt ist.

129. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

- 15 wobei die berücksichtigte Materialeigenschaft das
 - Detektionsmodell aufgrund von Effekten aus einer Menge von
 - Effekten beeinflussen, wobei die Menge von Effekten
 - eine Abschwächung von Strahlung
 - eine Streuung von Strahlung
 - 20 - eine Beugung von Strahlung
 - eine Brechung von Strahlung
 - den Einfluss von elektromagnetischen Feldern
 - den Einfluss von Hintergrundstrahlung
 - ein Signalrauschen
 - 25 - den Einfluss von Fehlern in der Position und/oder
 - Orientierung
- umfasst.

130. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

30 Ansprüche,

wobei die berücksichtigte Zwangsbedingung aus einer Menge von Zwangsbedingungen ist, wobei diese Menge von Zwangsbedingungen umfasst:

- 5
- den relativen Raumwinkel zwischen dem Detektor und einem Quellbereich der Strahlung;
 - die Abmessungen des Detektors;
 - ein Nichtvorhandensein eines Materials.

10 131. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die kompatiblen Daten die Detektordaten sind.

15 132. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erzeugen von Simulationsdetektordaten basierend auf einem Basisbild.

20 133. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die kompatiblen Daten die Simulationsdetektordaten sind.

25 134. Verfahren zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Programm programmiert ist, um zum Registrieren von Detektordaten mit kompatiblen Daten mindestens eine Vergleichsfunktion zu verwenden.

30 135. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum indirekten Registrieren der Simulationsdetektordaten mit Detektordaten über zweite kompatible Daten.

5 136. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die zweiten kompatiblen Daten Detektordaten sind.

10 137. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei die zweiten kompatiblen Daten zweite Simulationsdetektordaten sind basierend auf einem zweiten Basisbild.

15 138. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Datenspeicherabschnitt zum Speichern von Detektordaten und Bilddaten.

20 139. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren des ersten Bildes mit einem zweiten Bild durch Minimierung der Unähnlichkeit oder Maximierung der
- 25 Ähnlichkeit zwischen dem ersten und dem zweiten Bild.

140. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

30 wobei das Programm zum Registrieren des ersten Bildes mit einem zweiten Bild programmiert ist, zur Minimierung oder

Maximierung mindestens eine Vergleichsfunktion zu verwenden.

141. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

5 Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren des ersten Bildes mit einem dritten Bild
 - einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren des ersten Bildes mit einem zweiten Bild unter
- 10 Verwendung der Programmausgabe des Programms zur Registrierung des ersten Bildes mit dem dritten Bild.

142. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

Ansprüche,

15 wobei die mindestens eine Vergleichsfunktion aus einer Menge von Funktionen stammt,

wobei diese Menge von Funktionen folgende Funktionen umfasst

- Kreuzkorrelationen;
- 20 - Transinformation;
- Blockentropien;
- Korrelationsraten;
- Summen von Quadratabständen;
- Kosinusmaß;
- 25 - Erweiterte Jaccard-Ähnlichkeit;
- Verhältnismäßige Bilduniformität;
- Summen von Absolutwerten von Abständen;
- Kombinationen daraus.

30 143. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

Ansprüche,

wobei das Programm zum Ermitteln einer
Bilderzeugungsvorschrift Information berücksichtigt, die in
einem Vergleichsbild enthalten ist.

- 5 144. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
 Ansprüche,
 wobei das Programm zum Ermitteln einer
 Bilderzeugungsvorschrift anfänglich Information berücksichtigt,
 die in einem Vergleichsbild enthalten ist.

10

145. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
 Ansprüche,
 wobei das Vergleichsbild ein Bild ist, das auf der Grundlage von
 Information aus radioaktiver Strahlung erzeugt wurde.

15

146. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
 Ansprüche,
 wobei das Programm zum Ermitteln einer
 Bilderzeugungsvorschrift ein Programm ist, dessen Ausführung
20 eine Verbesserung des mindestens einen Qualitätswerts
 hinsichtlich mindestens eines Qualitätskriteriums vorsieht.

147. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
 Ansprüche,

25

wobei das mindestens eine Qualitätskriterium ein Kriterium
aus einer Menge von Kriterien ist,

wobei die Menge folgende Kriterien umfasst:

- die Ähnlichkeit und/oder Unähnlichkeit zwischen einem aus den
gesammelten Detektordaten erzeugten ersten Bild und einem
30 zweiten Bild;

- die Konditionierung einer Bilderzeugungsvorschrift zur Erzeugung eines Bildes aus den gesammelten Detektordaten;
- die Relevanz der gesammelten Detektordaten für ein Bildelement;
- die Plausibilität einer Bilderzeugung aus den Detektordaten;
- 5 - die Plausibilität einer Bilderzeugung durch Vergleich mit einem zweiten Bild;
- die Uniformität der gesammelten Detektordaten;
- das Falscherzeugungsrisiko aufgrund von fehlerhaften Detektordaten.

10

148. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

15 wobei der Detektor in der Hand tragbar ist.

149. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

20 wobei der Detektor eine Gammastrahlensonde, eine Betastrahlensonde, eine Comptonsonde, eine Gammastrahlenkamera, eine Gammastrahlenminikamera, eine Betastrahlenkamera oder eine Comptonkamera ist.

150. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

25 wobei das Auswertesystem mindestens eine Recheneinheit und mindestens eine Speichereinheit umfasst.

151. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

30

wobei die mindestens eine Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit ist zur Ausgabe eines Bildes.

152. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

5 Ansprüche,

wobei die mindestens eine Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit ist zur Ausgabe eines registrierten Bildes.

153. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

10 Ansprüche,

wobei die mindestens eine Ausgabeeinheit eine Ausgabeeinheit virtueller oder erweiterter Realität ist.

154. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

15 Ansprüche, wobei die Auswerteeinheit weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erstellen einer Dokumentation auf der Grundlage der gespeicherten Daten.

20 155. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

Ansprüche, wobei der Bilderzeugungsapparat weiter umfasst:

- ein Erfassungssystem zum Erfassen von Detektordaten über Position und/oder Orientierung des Detektors.

25 156. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen

Ansprüche,

wobei das Erfassungssystem mindestens eine Erfassungseinheit umfasst,

wobei die mindestens eine Erfassungseinheit aus einer Menge von Erfassungseinheiten ist,

30

wobei die Menge umfasst:

- 5
- optische
 - Infrarot-
 - Weißlicht-
 - elektromagnetische
 - mechanische
 - robotergestützte
 - radiowellengestützte
 - schallwellengestützte
 - goniometergestützte
 - 10 - potentiometergestützte
 - gyroskopgestützte
 - beschleunigungsmessergestützte
 - strahlungsgestützte
 - röntngestützte
- 15 Erfassungseinheiten.

157. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

- 20 wobei der Detektor ein Detektor ist zum Detektieren von Strahlung mindestens einer Strahlungsquelle, die sich innerhalb eines abgeschlossenen räumlichen Gebiets befindet.

158. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

- 25 wobei der Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung ein Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung für medizinische Zwecke ist.

159. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

30

wobei das abgeschlossene räumliche Gebiet der Körper eines Lebewesens ist.

160. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
5 Ansprüche,
wobei das Lebewesen Atmung und Herzschlag hat.
161. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
10 Ansprüche, wobei das Erfassungssystem weiter umfasst:
- mindestens einen Sensor zum Erfassen von Körperdaten
bezüglich Atmung und/oder Herzschlag des Lebewesens, welche
insbesondere Atemfrequenz und/oder Herzfrequenz umfassen.
- 15 162. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
Ansprüche, wobei das Erfassungssystem weiter umfasst:
- eine Erfassungseinheit zum Erfassen von Körperdaten des
Lebewesens, wobei die Daten Form, Position und/oder
Orientierung des Körpers umfassen.
- 20 163. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:
- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum
synchronisierten Sammeln von Körperdaten des Lebewesens.
- 25 164. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen
Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:
- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum
Verändern einer Bilderzeugungsvorschrift aufgrund der
30 gesammelten Körperdaten.

165. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Basisbild ein anatomisches Bild ist.
- 5 166. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das zweite Bild ein anatomisches Bild ist.
- 10 167. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das anatomische Bild eine Computertomographie, eine Magnetresonanztomographie, ein Ultraschallbild oder ein Röntgenbild ist.
- 15 168. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Basisbild ein körperfunktionelles Bild ist.
- 20 169. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das zweite Bild ein körperfunktionelles Bild ist.
- 25 170. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das organfunktionelle Bild eine Positronenemissionstomographie, abgekürzt PET, eine Einzelphotonenemissionscomputertomographie, abgekürzt SPECT, oder eine optische Tomographie ist.
- 30 171. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- eine Schnittstelle zum Sammeln von Daten medizinischer Instrumente.

5 172. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Erfassungssystem weiter umfasst:

- eine Erfassungseinheit zum Erfassen von Daten medizinischer Instrumente.

10 173. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erzeugen eines Instrumentenbildes auf der Grundlage der Instrumentendaten.

15

174. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren von Daten medizinischer Instrumente mit Detektordaten und/oder Simulationsdetektordaten;

20

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage der Ausgabe des Programms zum Registrieren der Daten medizinischer Instrumente.

25

175. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Auswertesystem weiter umfasst:

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Registrieren des Instrumentenbildes mit dem ersten Bild und/oder dem zweiten Bild und/oder dem dritten Bild und/oder mit einem bereits registrierten Bild;

30

- einen Programmspeicherabschnitt mit einem Programm zum Erzeugen eines Kombinationsbildes auf der Grundlage der Ausgabe des Programms zum Registrieren des Instrumentenbildes.

5

176. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Ausgabesystem weiter umfasst:

- eine Ausgabeeinheit zur Ausgabe des Kombinationsbildes.

10

177. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das Ausgabesystem weiter umfasst:

- eine Ausgabeeinheit zum Anweisen eines Nutzers zum Benutzen der medizinischen Instrumente auf der Grundlage des Kombinationsbildes.

15

178. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Bilderzeugungsapparat weiter umfasst:

- ein Führungssystem zum Führen des Nutzers beim Benutzen der medizinischen Instrumente auf der Grundlage der

20

Instrumentendaten.

179. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche,

wobei das Führungssystem eine Führungseinheit umfasst,

25

wobei die Führungseinheit eine Führungseinheit aus einer Menge von Führungseinheiten ist, wobei die Menge umfasst:

- haptische
- akustische
- visuelle

30

Führungseinheiten und Kombinationen davon.

180. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Bilderzeugungsapparat weiter umfasst:

- Positionierungssystem zum Positionieren des Lebewesens.

5 181. Bilderzeugungsapparat zur Bilderzeugung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Bilderzeugungsapparat weiter umfasst:

- mindestens einen sekundären Detektor zum Detektieren von Strahlung.

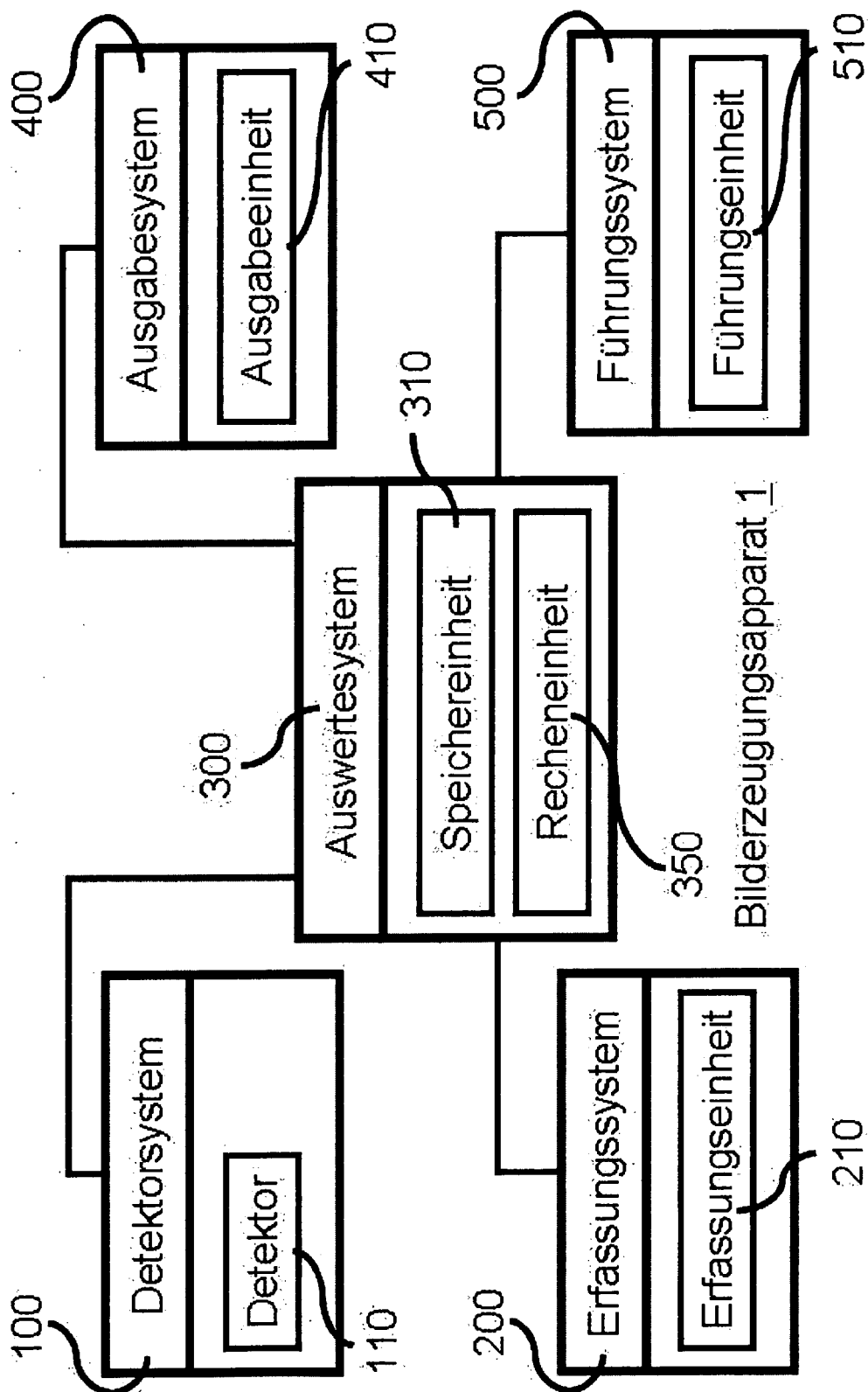


Abbildung 1

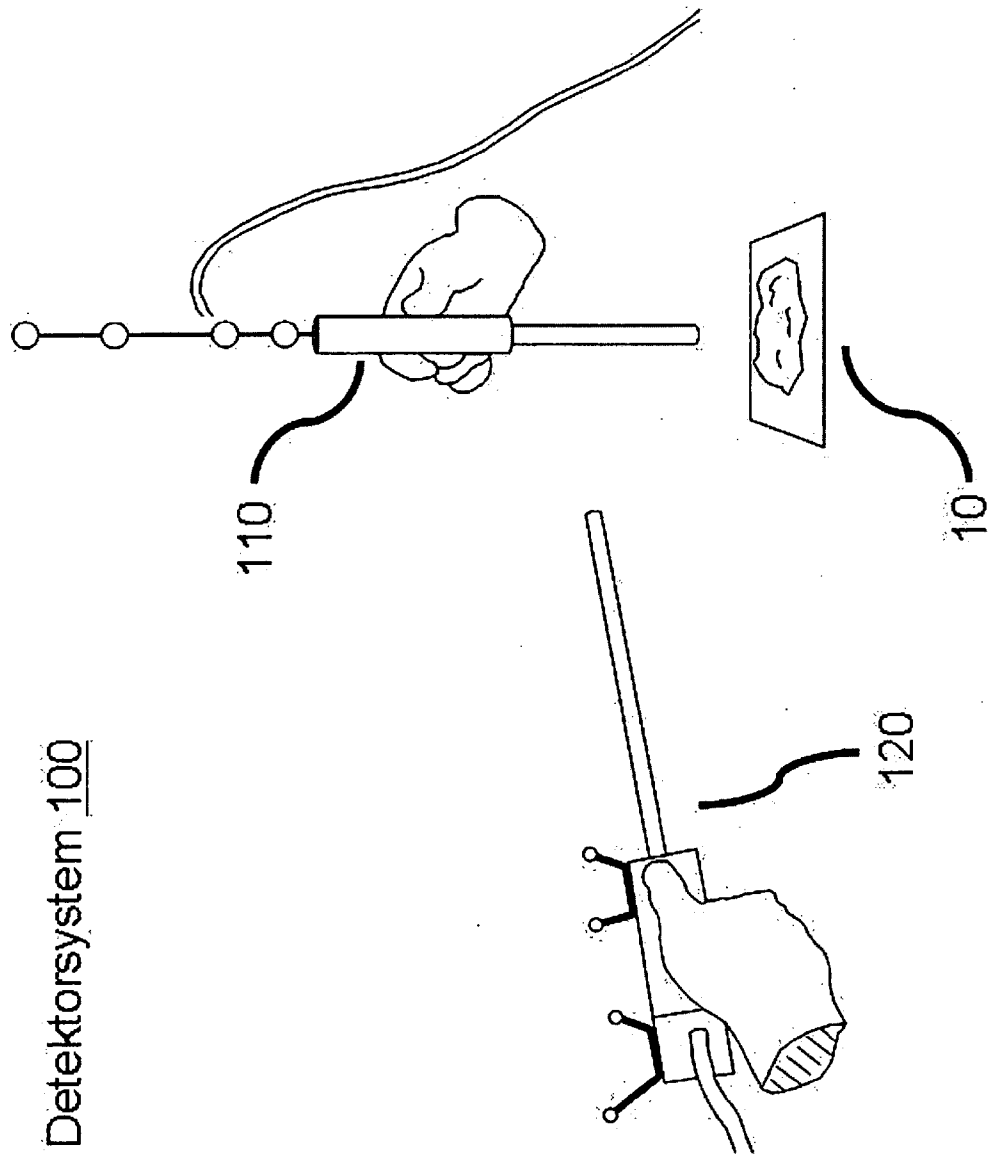


Abbildung 2

Detektorsystem 100

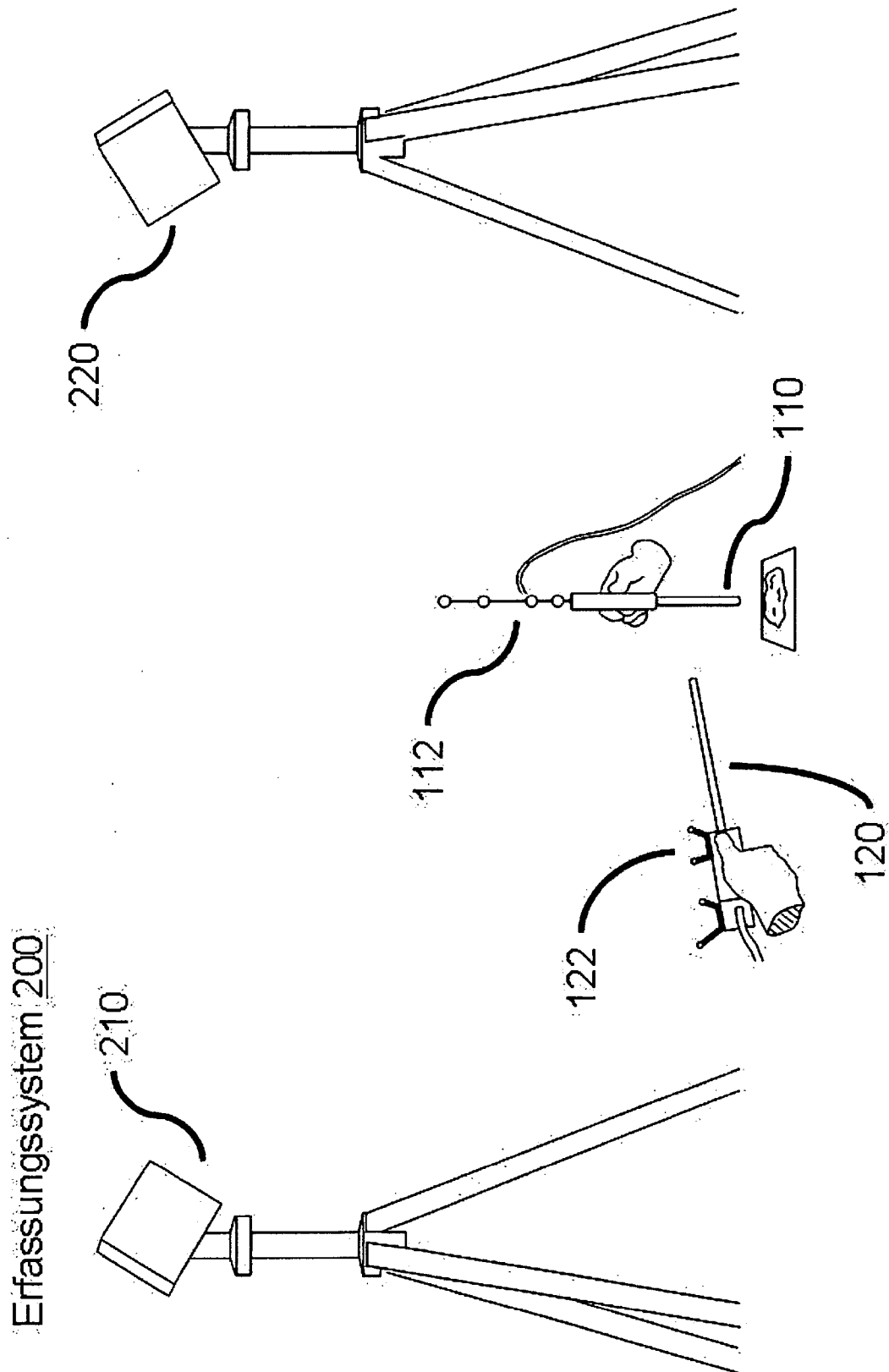
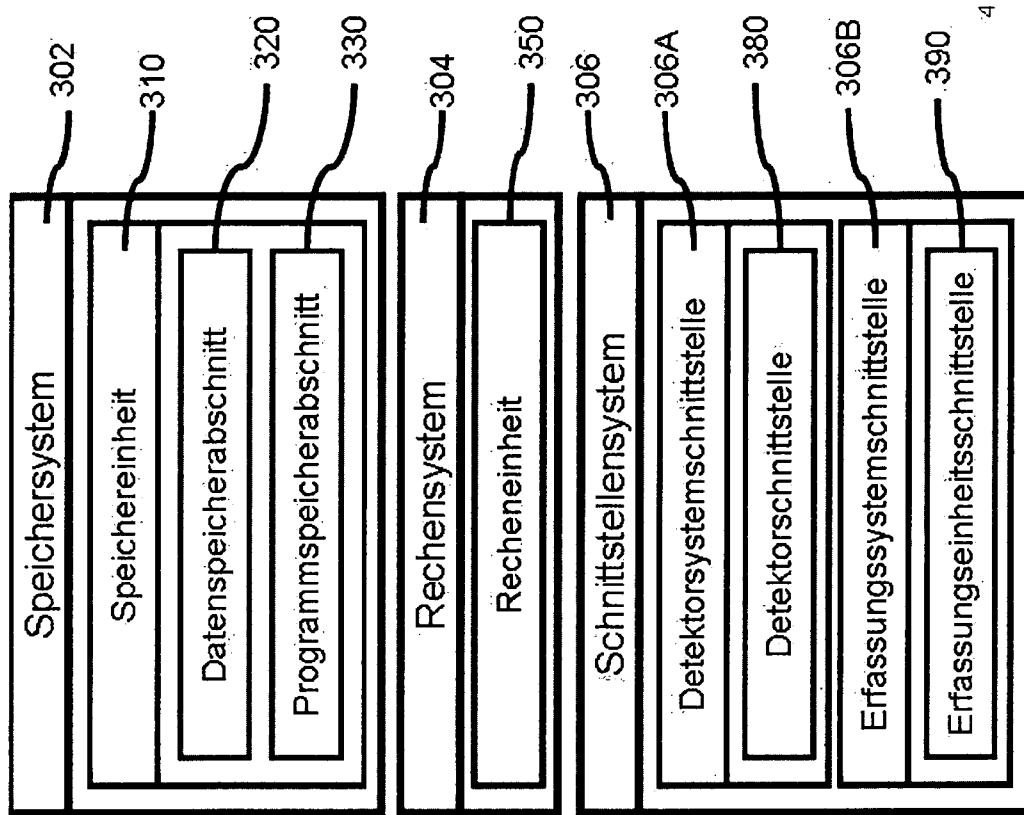


Abbildung 3



Auswertesystem 300

Abbildung 4

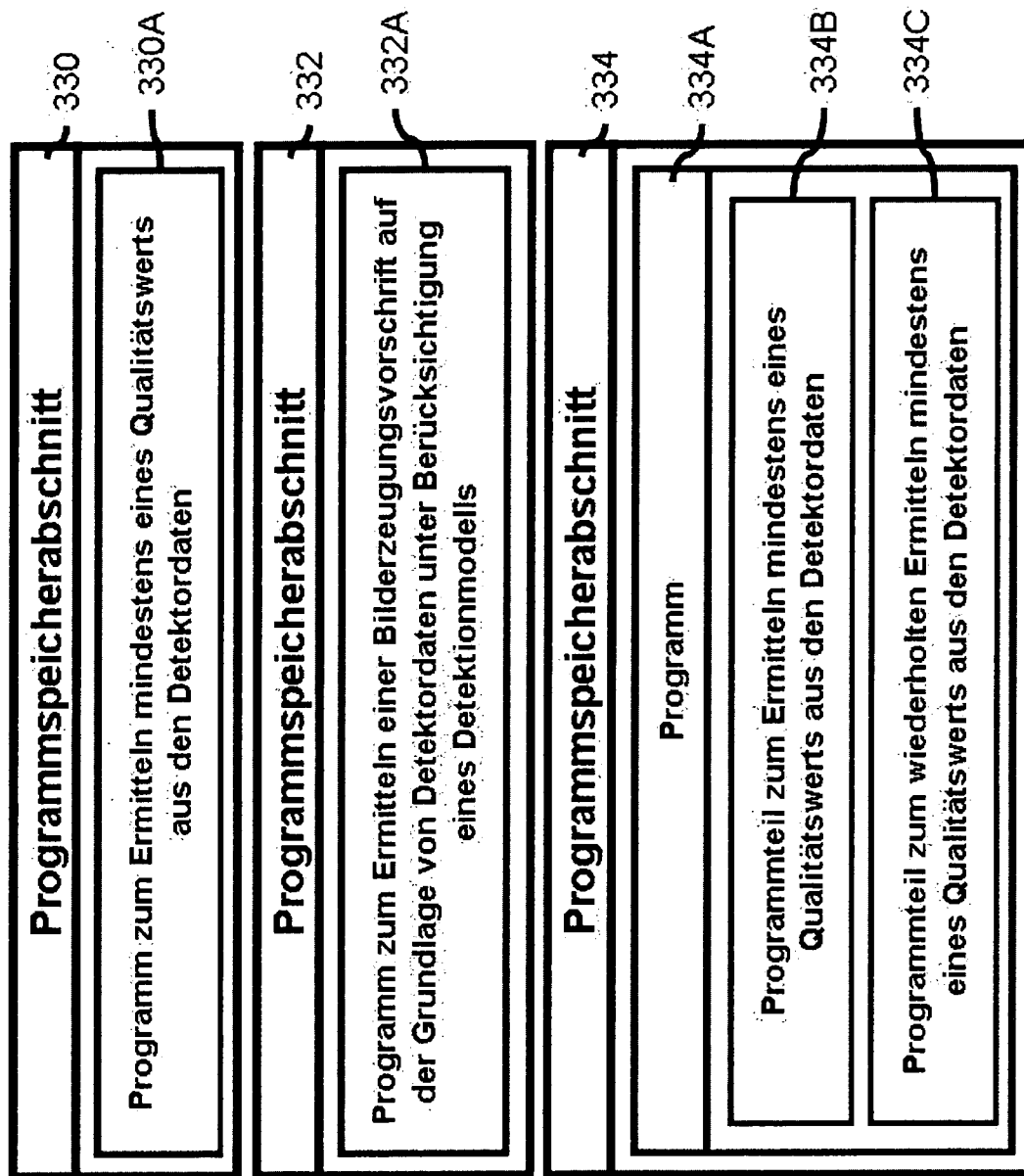


Abbildung 5

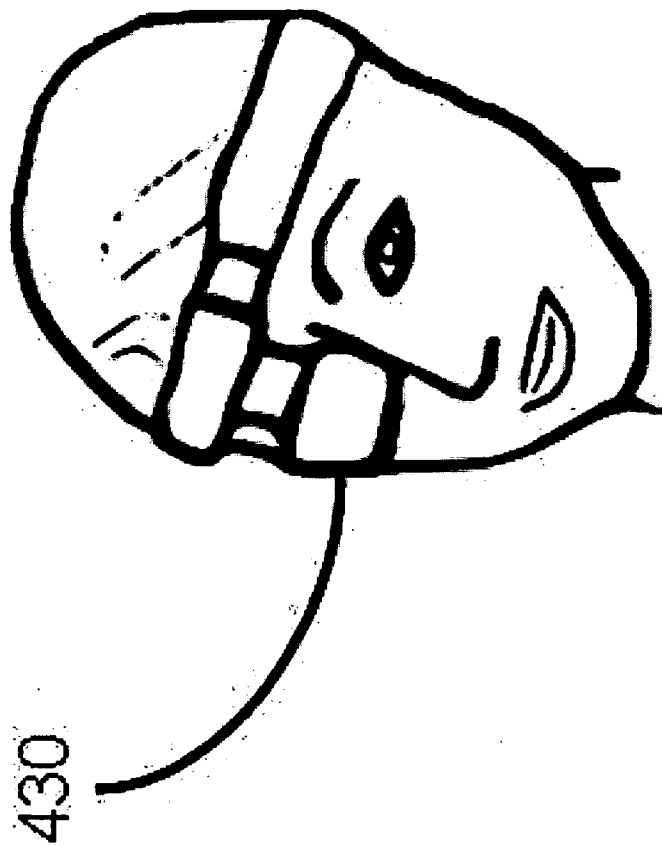


Abbildung 7

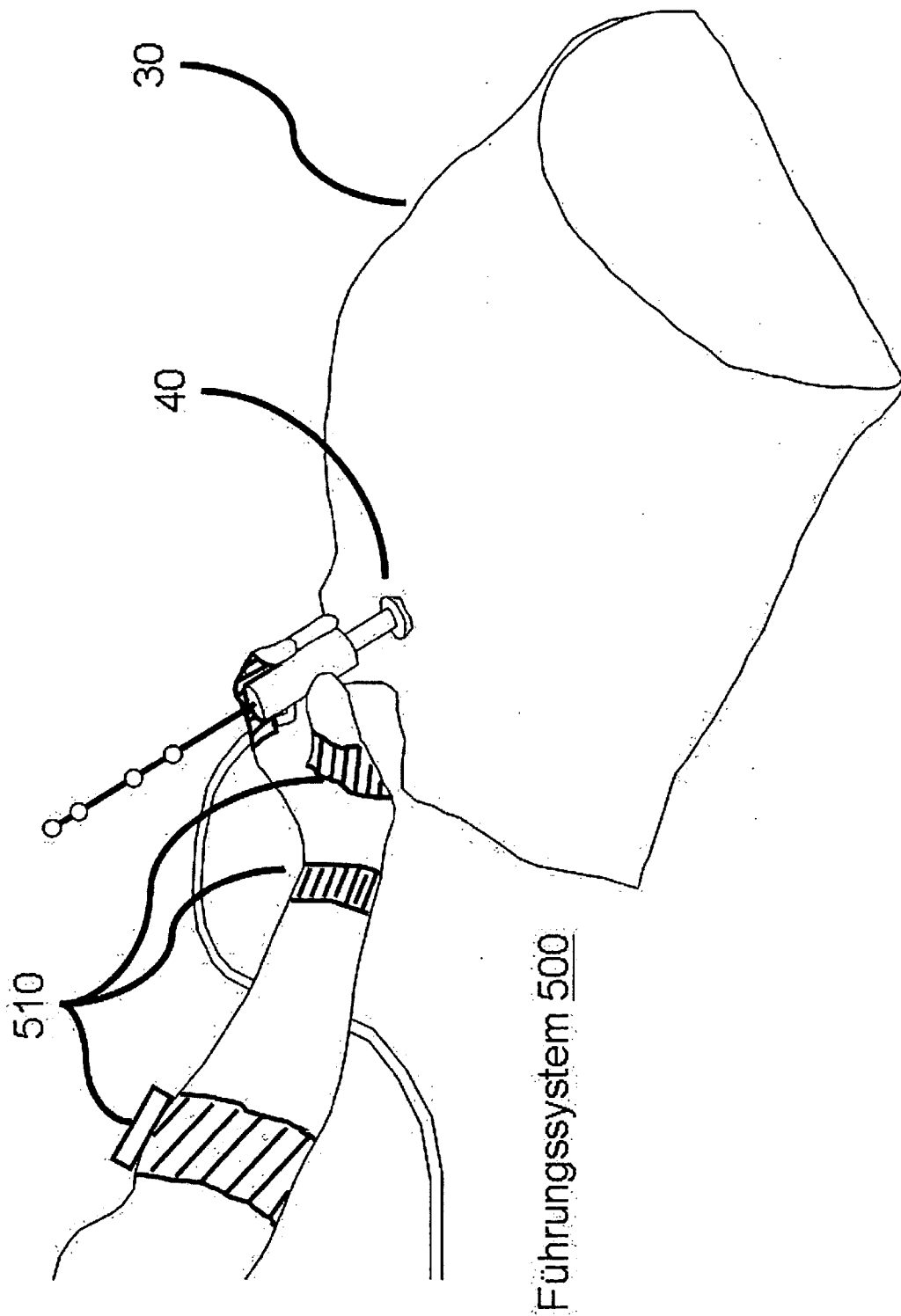


Abbildung 8

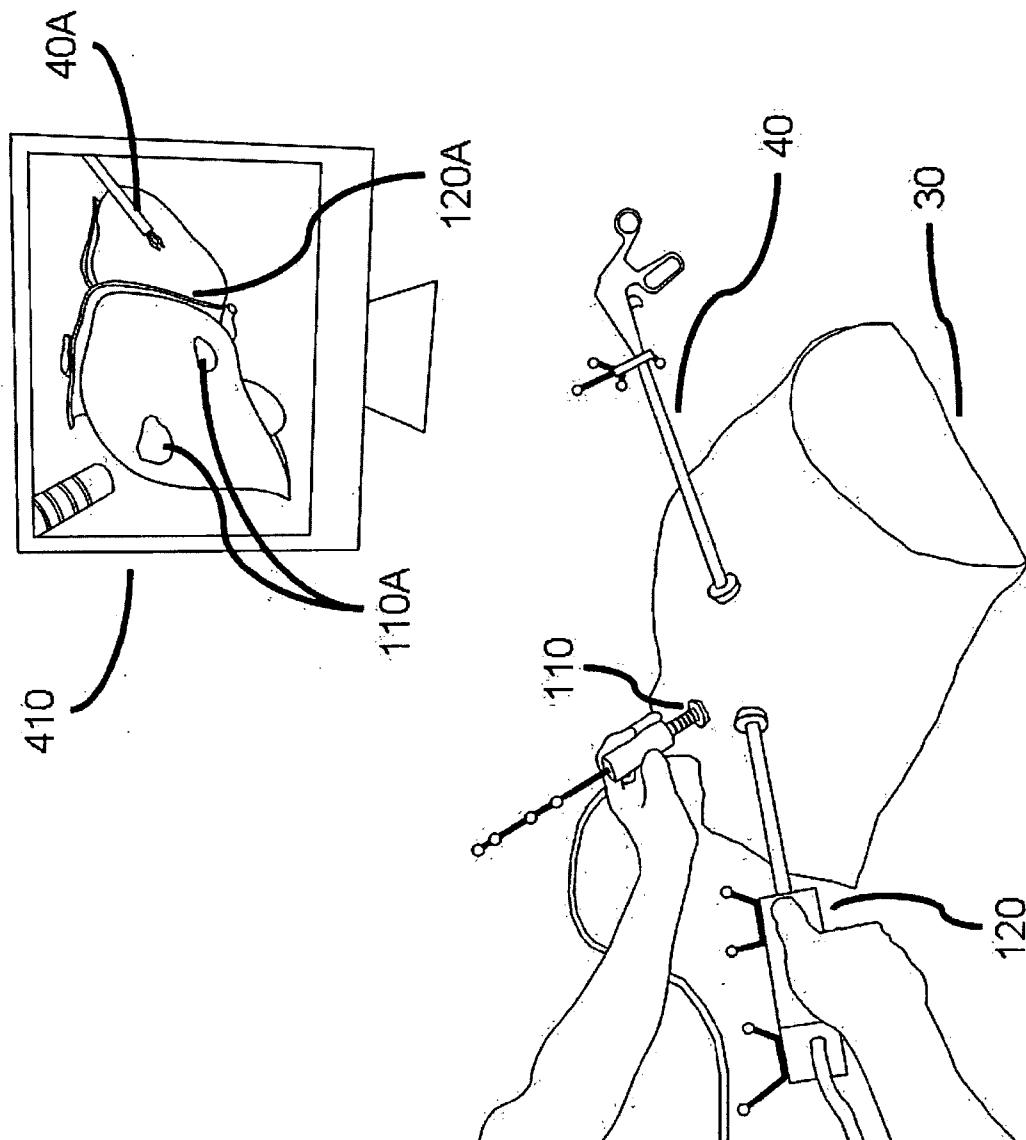


Abbildung 9

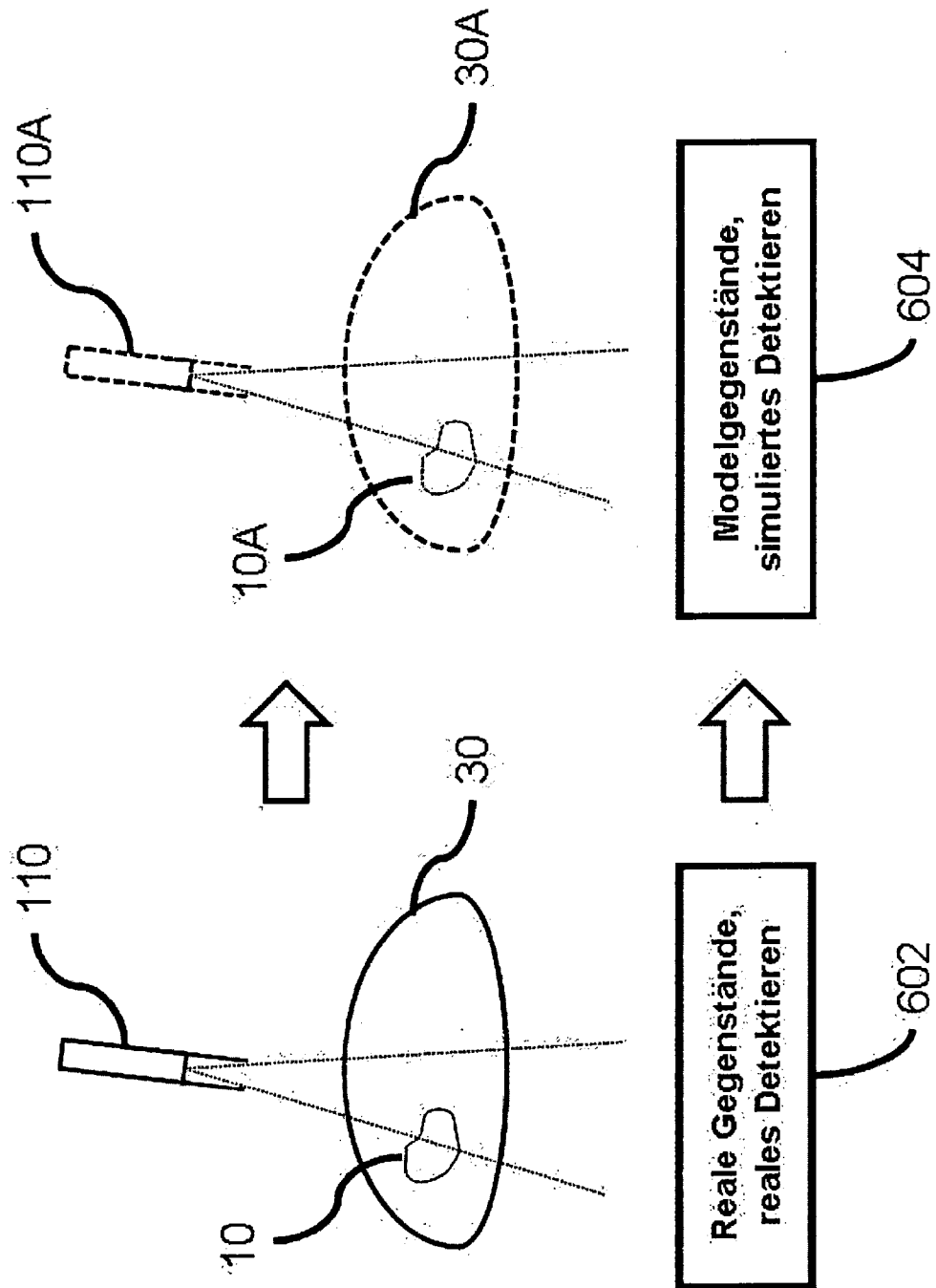


Abbildung 10

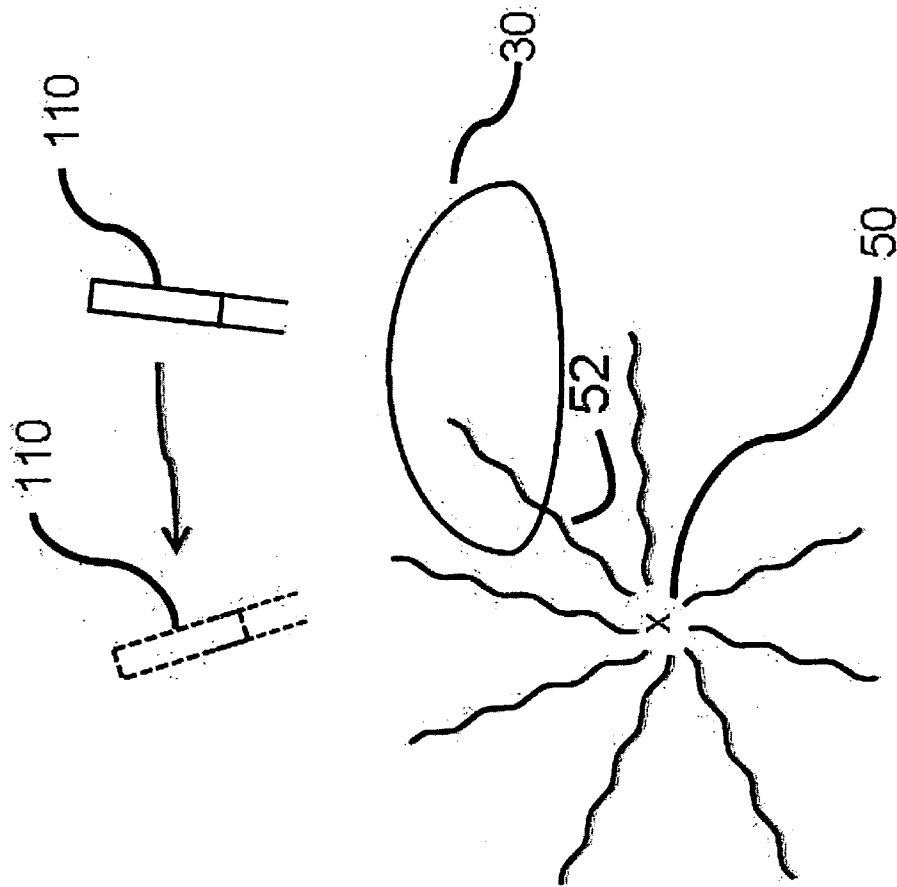


Abbildung 11

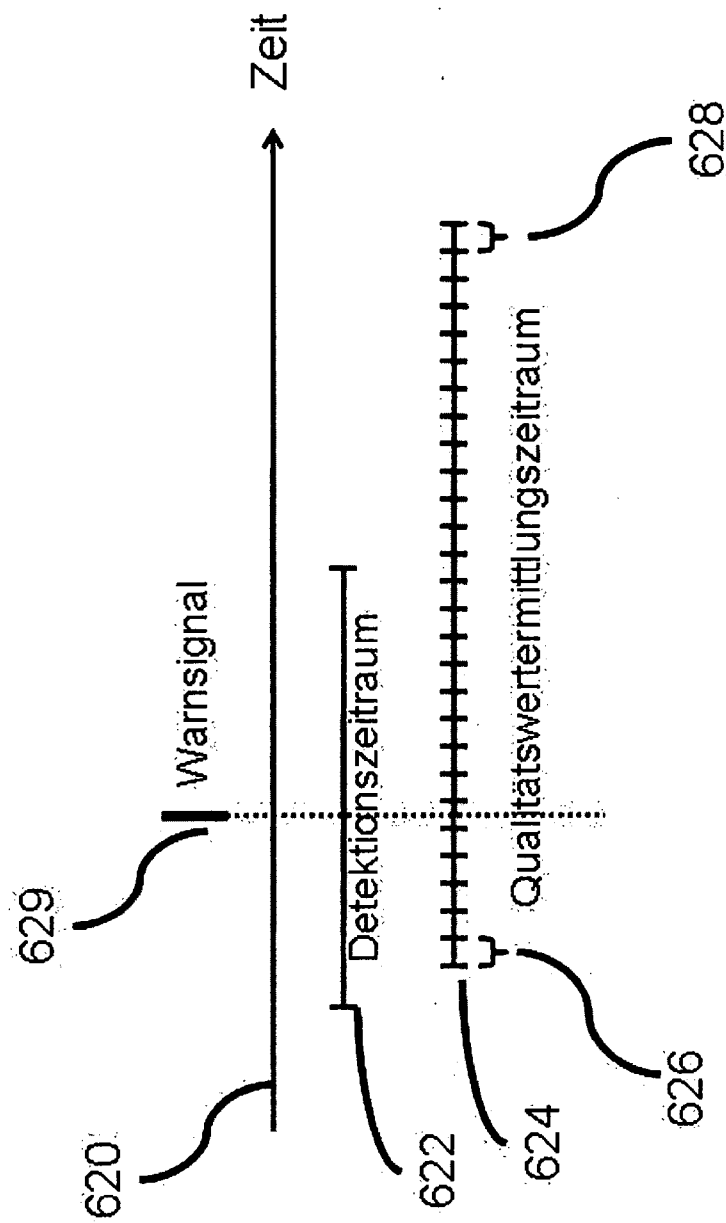


Abbildung 12

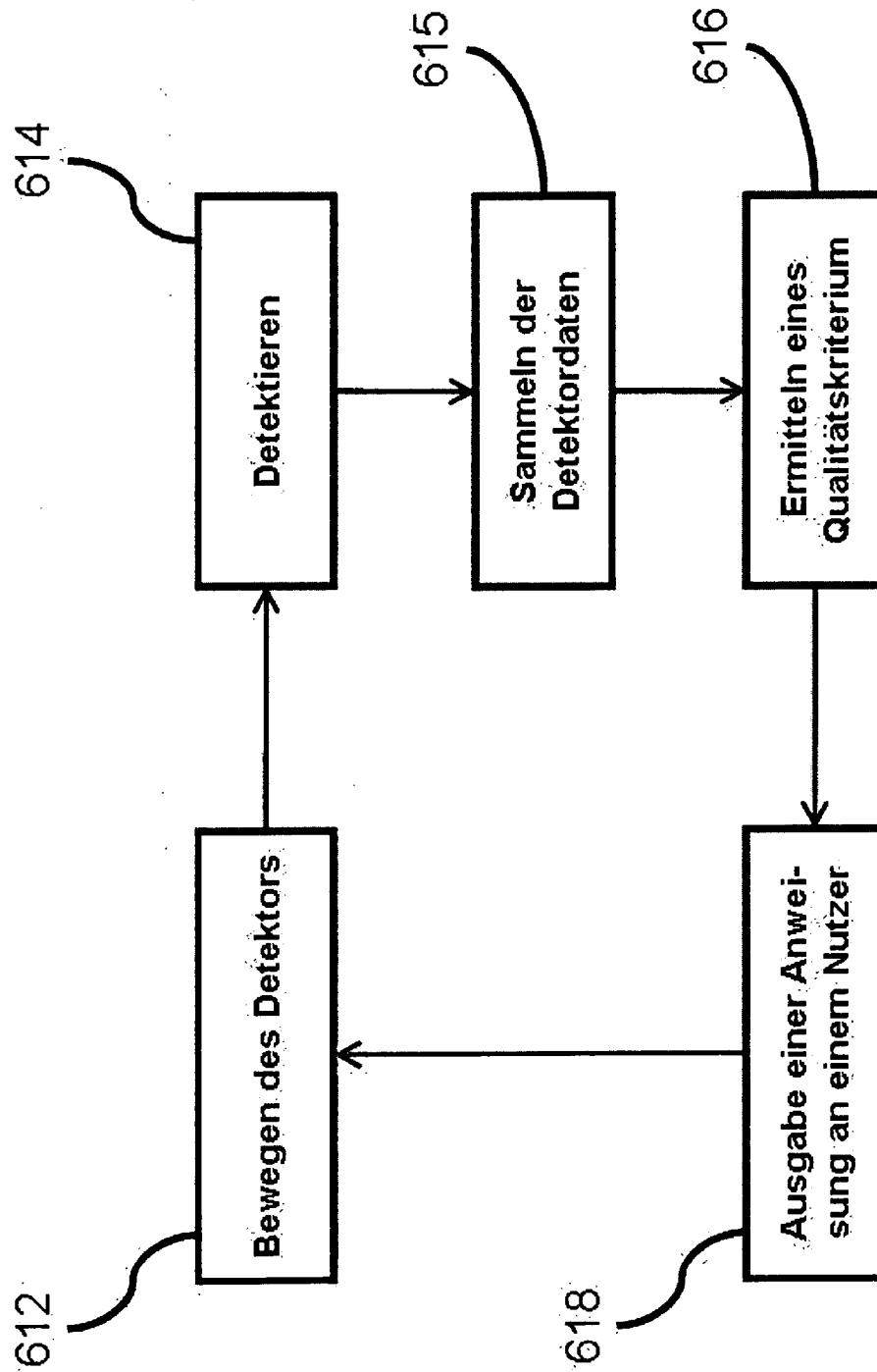


Abbildung 13

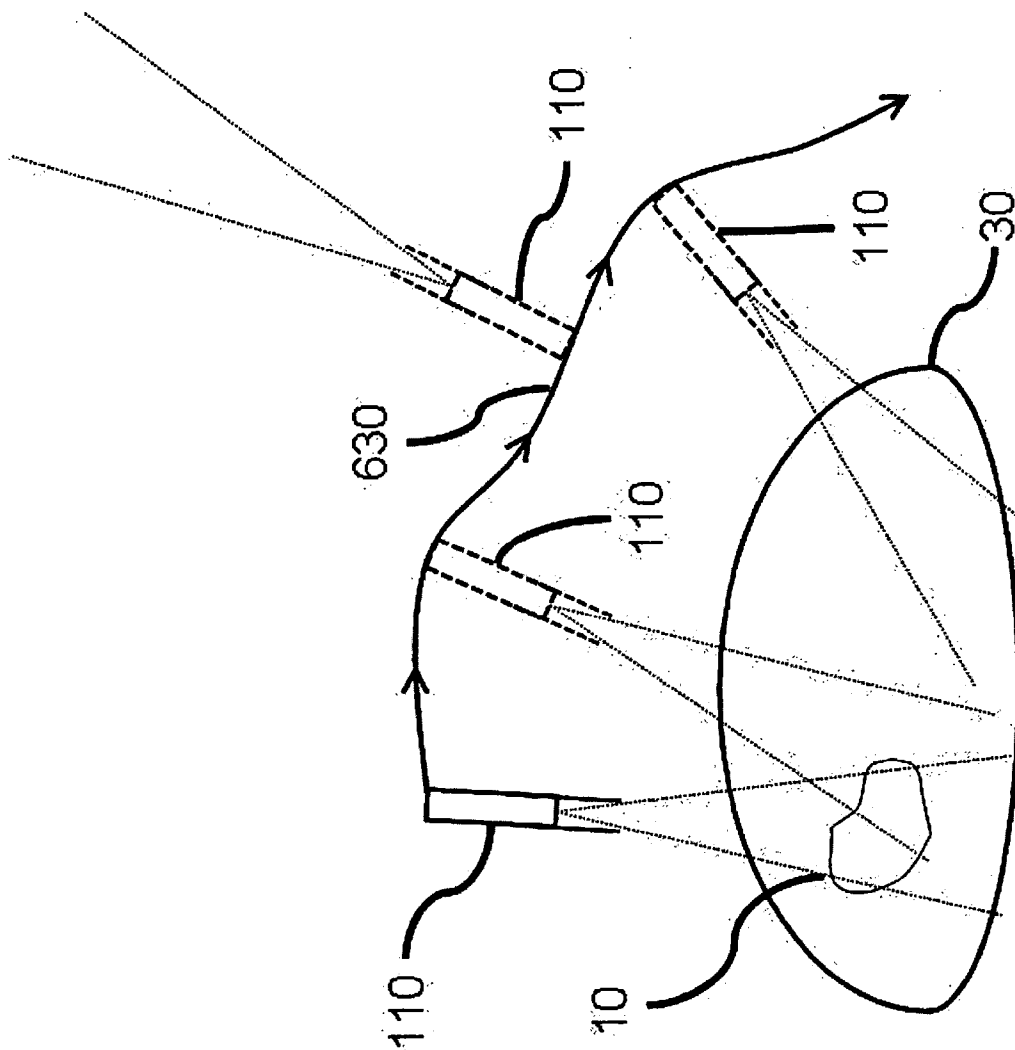


Abbildung 14