

(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  
17. Mai 2018 (17.05.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2018/087159 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:  
G01N 23/04 (2018.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/078633

(22) Internationales Anmeldedatum:  
08. November 2017 (08.11.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2016 013 315.5  
08. November 2016 (08.11.2016) DE

(71) Anmelder: RAYSCAN TECHNOLOGIES GMBH  
[DE/DE]; Klingleweg 8, 88709 Meersburg (DE).

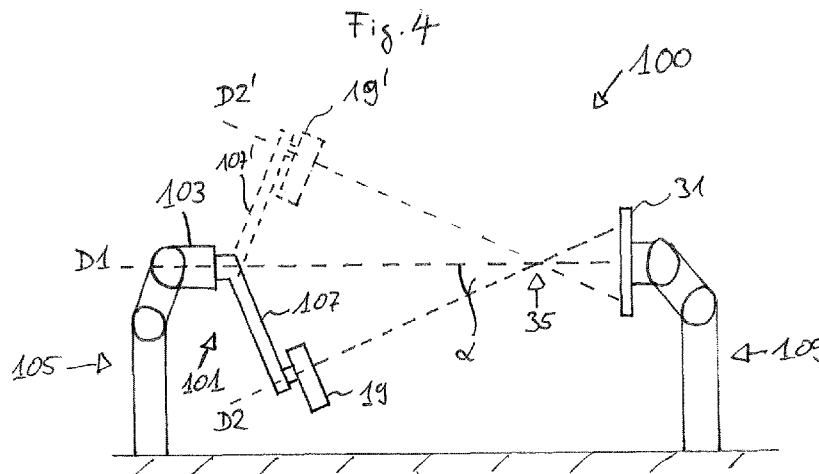
(72) Erfinder: SAUERWEIN, Christoph; Mühlbachstraße 78, 88662 Überlingen (DE). KRUMM, Michael; Andelshofer Weg 17, 88662 Überlingen (DE).

(74) Anwalt: DIEHL & PARTNER GBR; Erika-Mann-Strasse 9, 80636 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: MEASUREMENT SYSTEM AND METHOD FOR OPERATING A MEASUREMENT SYSTEM

(54) Bezeichnung: MESSSYSTEM UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES MESSSYSTEMS



(57) Abstract: A method for operating a measurement system (100) includes: generating a bundle of electromagnetic rays (25) directed along a central beam (27) by means of a radiation source (19); moving the radiation source (19) relative to an object area (35) in such a way that the central beam (27) is directed onto a radiation detector (31) during the movement, wherein the movement of the radiation source (19) relative to the object area (35) comprises: rotating the radiation source (19) about a first axis of rotation (D1), the radiation source (19) being arranged eccentrically to the first axis of rotation (D1); and rotating the radiation source (19) about a second axis of rotation (D2), the first axis of rotation (D1) and the second axis of rotation (D2) forming an acute angle ( $\alpha$ ) of at most  $80^\circ$ .

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Betreiben eines Messsystems (100) umfasst: Erzeugen eines entlang eines Zentralstrahls (27) gerichteten Bündels elektromagnetischer Strahlung (25) mittels einer Strahlungsquelle (19); Bewegen der Strahlungsquelle (19) relativ zu einem Objektbereich (35) derart, dass der Zentralstrahl (27) während der Bewegung auf einen Strahlungsdetektor (31) gerichtet ist; wobei das Bewegen der Strahlungsquelle (19) relativ zu dem Objektbereich (35) umfasst: Drehen der Strahlungsquelle (19) um eine erste Drehachse (D1), wobei die Strahlungsquelle (19) exzentrisch zur ersten Drehachse (D1) angeordnet ist; Drehen der Strahlungsquelle (19) um eine zweite Drehachse (D2), wobei die erste Drehachse (D1) und die zweite Drehachse (D2) miteinander einen spitzen Winkel ( $\alpha$ ) einschließen, welcher höchstens  $80^\circ$  beträgt.



WO 2018/087159 A1

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

## MESSSYSTEM UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES MESSSYSTEMS

Die Erfindung betrifft ein Messsystem und ein Verfahren zum Betreiben eines  
5 Messsystems. Das Verfahren und das Messsystem können dazu verwendet werden,  
Objekte und Verbindungen zwischen Objekten mittels elektromagnetischer Strahlung  
(beispielsweise Röntgenstrahlung, Gammastrahlung) zu analysieren. Insbesondere  
dienen das Verfahren und das Messsystem zur Analyse von Materialverbindungen  
(z.B. Schweißnähte, Löt-/Klebestellen, etc.) in komplex geformten Objekten, wie  
10 beispielsweise einer Fahrzeugkarosserie und dergleichen.

Herkömmliche Messsysteme, die Röntgenstrahlung einsetzen (Röntgensystem), weisen  
eine Strahlungsquelle und einen Strahlungsdetektor auf, wobei die Strahlungsquelle  
und der Strahlungsdetektor miteinander starr, d.h. unbeweglich zueinander, an einem  
15 Träger angeordnet sind. Die Strahlungsquelle und der Strahlungsdetektor sind dabei  
einander gegenüberliegend angeordnet, sodass ein zu untersuchendes Objekt  
zwischen der Strahlungsquelle und dem Strahlungsdetektor anzuordnen ist.

Durch den Träger, an welchem die Strahlungsquelle und der Strahlungsdetektor starr  
20 angeordnet sind, ist es schwierig, komplex geformte Objekte und insbesondere  
Schweißverbindungen eines komplex geformten Objekts mit den herkömmlichen  
Röntgensystemen zu untersuchen. Dadurch, dass das zu untersuchende Objekt  
zwischen der Strahlungsquelle und dem Strahlungsdetektor angeordnet werden muss,  
dass die Strahlungsquelle und der Strahlungsdetektor starr mit dem Träger verbunden  
25 sind und dass zur Tomographie das Objekt relativ zu Strahlungsquelle und  
Strahlungsdetektor bewegt werden muss, kann lediglich ein begrenzter Bereich des zu  
untersuchenden Objekts zwischen Strahlungsquelle und Strahlungsdetektor  
angeordnet und untersucht werden, ohne dass der Träger mit dem Objekt kollidiert.

Dieses Problem tritt insbesondere dann bei Verwendung von herkömmlichen  
30 Röntgensystemen auf, wenn die räumliche Struktur des Objekts mittels  
Röntgentomographie untersucht werden soll. Zur Analyse der räumlichen Struktur  
wird das zu untersuchende Objekt aus voneinander verschiedenen Raumrichtungen  
mit einer von der Strahlungsquelle erzeugten Röntgenstrahlung beleuchtet, wodurch  
35 mehrere Aufnahmen desselben Volumenbereiches des Objekts aus unterschiedlichen  
Richtungen aufgenommen werden können. Dazu ist es erforderlich, dass das zu  
untersuchende Objekt und die Anordnung aus Strahlungsquelle und  
Strahlungsdetektor relativ zueinander bewegt werden. Wie vorangehend beschrieben,

ist jedoch die Freiheit zur Anordnung von komplex geformten Objekten in herkömmlichen Röntgensystemen eingeschränkt.

5 Es ist daher ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Messsystem und ein Verfahren zum Betreiben eines Messsystems bereitzustellen, welches eine Untersuchung von komplex geformten Objekten, insbesondere deren räumlicher Struktur, ermöglicht.

10 Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren zum Betreiben eines Messsystems: Erzeugen eines Bündels elektromagnetischer Strahlung mittels einer Strahlungsquelle, wobei das Bündel entlang eines Zentralstrahls des Bündels ausgerichtet ist; Bewegen der Strahlungsquelle relativ zu einem Objektbereich derart, dass der Zentralstrahl während der Bewegung auf einen Strahlungsdetektor bzw. den Objektbereich gerichtet ist; wobei das Bewegen der Strahlungsquelle umfasst: Drehen der Strahlungsquelle um eine erste Drehachse, 15 wobei die Strahlungsquelle exzentrisch zur ersten Drehachse angeordnet ist; und Drehen der Strahlungsquelle um eine zweite Drehachse, wobei die erste Drehachse und die zweite Drehachse miteinander einen spitzen Winkel einschließen, welcher höchstens  $80^\circ$ , insbesondere höchstens  $70^\circ$  oder höchstens  $60^\circ$  beträgt.

20 Hierbei ist der Zentralstrahl als ein Strahl des Bündels elektromagnetischer Strahlung aufzufassen, welcher im Zentrum des Bündels liegt. Die Abstrahlcharakteristik der Strahlungsquelle weist beispielsweise in Richtung des Zentralstrahls ein Maximum auf.

25 Die Strahlungsquelle ist beispielsweise eine elektrisch betriebene Strahlungsquelle. Diese erzeugt das Strahlenbündel aus der ihr bereitgestellten Energie. Die Energie kann beispielsweise in Form einer Hochspannung bereitgestellt werden, welche beispielsweise über eine Hochspannungsquelle bereitgestellt wird. Die Hochspannungsquelle und die Strahlungsquelle können über ein 30 Energieversorgungskabel (z.B. ein Hochspannungskabel) miteinander elektrisch verbunden sein. Alternativ kann die Energie über eine Batterie bereitgestellt werden, welche insbesondere an der Strahlungsquelle angebracht ist.

35 Weiter alternativ kann die Strahlungsquelle eine radioaktive Quelle sein, welche elektromagnetische Strahlung durch radioaktiven Zerfall erzeugt.

Der Objektbereich ist ein räumlicher Bereich, in welchem ein zu untersuchendes Objekt angeordnet werden kann. Gemäß dem Verfahren wird der Objektbereich aus unterschiedlichen Richtungen mit dem Bündel elektromagnetischer Strahlung

belichtet, da die Strahlungsquelle relativ zu dem Objektbereich bewegt wird. Während der Bewegung der Strahlungsquelle wird diese so ausgerichtet, dass der Zentralstrahl auf einen Strahlungsdetektor des Messsystems, insbesondere auf ein Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors, gerichtet ist.

5  
Das Bewegen der Strahlungsquelle umfasst das Drehen der Strahlungsquelle um eine erste Drehachse. Die erste Drehachse kann beispielsweise den Objektbereich durchsetzen. Während der Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse ist die Strahlungsquelle exzentrisch zur ersten Drehachse angeordnet, d.h. die  
10 Strahlungsquelle, insbesondere der Ort der Strahlungsquelle, an welchem die Strahlung ausgesendet wird, ist mit einem von null verschiedenen Abstand zur ersten Drehachse angeordnet. Während der Drehung kann dieser Abstand konstant gehalten aber auch variiert werden. Durch Variation des Abstands zwischen der  
15 Strahlungsquelle und der ersten Drehachse kann die Richtung, aus der der Zentralstrahl auf den Objektbereich trifft, verändert werden. Dementsprechend kann durch Variieren des Abstands die Strahlungsquelle bezüglich des Objektbereichs optimal eingestellt werden.

Das Bewegen der Strahlungsquelle relativ zu dem Objektbereich umfasst ferner das  
20 Drehen der Strahlungsquelle um eine zweite Drehachse. Die zweite Drehachse ist von der ersten Drehachse verschieden. Die Drehung der Strahlungsquelle um die zweite Drehachse kann insbesondere während der Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse, d.h. zeitgleich, erfolgen. Die zweite Drehachse kann den Objektbereich durchsetzen. Insbesondere können sich die erste und zweite Drehachse  
25 im Objektbereich schneiden.

Der Abstand der Strahlungsquelle von der zweiten Drehachse kann bezogen auf den Abstand der Strahlungsquelle von der ersten Drehachse klein sein. Insbesondere durchsetzt die zweite Drehachse die Strahlungsquelle, sodass bei Drehung der  
30 Strahlungsquelle um die erste Drehachse die Strahlungsquelle stets an der zweiten Drehachse positioniert ist (und um diese gedreht wird). Insbesondere kann die zweite Drehachse zu dem Zentralstrahl im Wesentlichen parallel angeordnet sein.

Die erste Drehachse und die zweite Drehachse schließen miteinander einen spitzen  
35 Winkel ein. Hierin ist unter einem Winkel zwischen zwei Achsen der Winkel am Schnittpunkt der beiden Achsen zu verstehen. Sind die beiden Achsen windschief zueinander, d.h. die beiden Achsen haben keinen gemeinsamen Schnittpunkt, dann ist unter dem Winkel zwischen den beiden Achsen derjenige Winkel zu verstehen, der

zwischen der ersten Achse und der Projektion der zweiten Achse entlang der kürzesten Verbindung der beiden Achsen auf die erste Achse gebildet wird.

5 Zwei Achsen sind zueinander im Wesentlichen parallel, wenn der zwischen Ihnen gebildete Winkel kleiner als  $10^\circ$ , insbesondere kleiner als  $5^\circ$  oder kleiner als  $1^\circ$  ist.

Mit anderen Worten kann die Bewegung der Strahlungsquelle wie folgt beschrieben werden: Die erste Drehachse und die zweite Drehachse schließen miteinander einen spitzen Winkel ein, welcher höchstens  $80^\circ$ , insbesondere höchstens  $70^\circ$  oder höchstens  
10  $60^\circ$  beträgt. Die zweite Drehachse wird um die erste Drehachse gedreht und die Strahlungsquelle wird um die zweite Drehachse gedreht. Dabei ist die Strahlungsquelle exzentrisch zur ersten Drehachse angeordnet.

Das Verfahren kann mit einer Vorrichtung ausgeführt werden, welche  
15 konfigurationstechnisch so eingerichtet ist, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht mehr als  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist. Die Vorrichtung kann beispielsweise das nachfolgend beschriebene Messsystem sein. Beispielsweise ist die Bewegungsfreiheit der Elemente, die die erste Drehachse und die zweite Drehachse  
20 bereitstellen durch die Konfiguration einer die Elemente betreibenden Steuerung oder durch die Konfiguration der die Elemente bildenden Mechanik so begrenzt, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht mehr als  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist.

25 Hierzu kann die Vorrichtung Elemente umfassen, welche die erste Drehachse und die zweite Drehachse bereitstellen. Mittels einer Steuerung der Vorrichtung kann die Vorrichtung bzw. können die Elemente der Vorrichtung so gesteuert werden, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht mehr als  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist.  
30 Mit anderen Worten werden die Elemente der Vorrichtung so gesteuert, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht mehr als  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens beträgt der spitze Winkel  
35 zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse mindestens  $10^\circ$ , insbesondere mindestens  $20^\circ$  oder mindestens  $30^\circ$ .

Das Verfahren gemäß dieser weiteren Ausführungsform kann mit einer Vorrichtung ausgeführt werden, welche konfigurationstechnisch so eingerichtet ist, dass der spitze

Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht weniger als  $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist. Die Vorrichtung kann beispielsweise das nachfolgend beschriebene Messsystem sein. Beispielsweise ist die Bewegungsfreiheit der Elemente, die die erste und die zweite  
5 Drehachse bereitstellen durch die Konfiguration einer die Elemente betreibenden Steuerung oder durch die Konfiguration der die Elemente bildenden Mechanik so begrenzt, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht weniger als  $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist.

10 Hierzu kann die Vorrichtung Elemente umfassen, welche die erste Drehachse und die zweite Drehachse bereitstellen. Mittels einer Steuerung der Vorrichtung kann die Vorrichtung bzw. können die Elemente der Vorrichtung so gesteuert werden, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht  
15 weniger als  $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist. Mit anderen Worten werden die Elemente der Vorrichtung so gesteuert, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht weniger als  $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist.

20 Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens erfolgt die Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse und die Drehung der Strahlungsquelle um die zweite Drehachse in zueinander entgegengesetztem Drehsinn.

25 Der Drehsinn der Drehung der Strahlungsquelle um eine Drehachse kann rechtsdrehend oder linksdrehend sein. Gleicher Drehsinn liegt vor, wenn die Strahlungsquelle rechtsdrehend sowohl um die erste Drehachse als auch um die zweite Drehachse gedreht wird bzw. wenn die Strahlungsquelle linksdrehend um die erste Drehachse und die zweite Drehachse gedreht wird. Entgegengesetzter Drehsinn  
30 liegt vor, wenn die Strahlungsquelle rechtsdrehend um die erste Drehachse und linksdrehend um die zweite Drehachse bzw. linksdrehend um die erste Drehachse und rechtsdrehend um die zweite Drehachse gedreht wird.

Um den Drehsinn zweier zueinander nicht paralleler Achsen zu definieren, wird  
35 folgende Definition angewendet: Die Drehung der Strahlungsquelle um die erste und zweite Drehachse erfolgen in gleichem Drehsinn, wenn die Projektion der Drehung um die erste Drehachse auf eine Achse und die Projektion der Drehung um die zweite Drehachse auf die Achse, die zur ersten Drehachse und zur zweiten Drehachse jeweils nicht senkrecht ist, in dieselbe Drehrichtung erfolgt. Die Achse kann beispielsweise

die erste oder zweite Drehachse sein. Dementsprechend erfolgt die Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse und die Drehung der Strahlungsquelle um die zweite Drehachse in zueinander entgegengesetztem Drehsinn, wenn die auf die Achse projizierten Drehungen in entgegengesetzter Richtung erfolgen.

5  
Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die Winkelgeschwindigkeit der Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse gleich der Winkelgeschwindigkeit der Drehung der Strahlungsquelle um die zweite Drehachse.

10  
Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner: Drehen des Strahlungsdetektors um eine dritte Drehachse, wobei der Strahlungsdetektor exzentrisch zu der dritten Drehachse angeordnet ist.

15  
In dieser Ausführungsform wird nicht nur die Strahlungsquelle um die erste und zweite Drehachse gedreht, sondern auch der Strahlungsdetektor wird um eine dritte Drehachse gedreht. Die Drehung des Strahlungsdetektors um die dritte Drehachse erfolgt während der Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse, d.h. zeitgleich zur Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse. Dabei ist der Strahlungsdetektor exzentrisch zu der dritten Drehachse, d.h. mit einem von null  
20  
verschiedenen Abstand zu der dritten Drehachse angeordnet. Während der Drehungen der Strahlungsquelle und des Strahlungsdetektors sind beide zueinander so ausgerichtet, dass der Zentralstrahl auf den Strahlungsdetektor, insbesondere auf ein Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors, gerichtet ist.

25  
Der Abstand zwischen der dritten Drehachse und einem Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors kann in Abhängigkeit der gewünschten Vergrößerung des zu analysierenden Objektausschnitts eingestellt werden. Die Vergrößerung ist im Wesentlichen von dem Winkel zwischen der ersten Drehachse und dem Zentralstrahl des Strahlenbündels sowie dem Abstand des Objektausschnitts  
30  
von dem Strahlungsdetektor bestimmt. Der Abstand zwischen der dritten Drehachse und einem Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors kann anwendungsabhängig beispielsweise mindestens 1 cm und/oder höchstens 16 m betragen.

35  
Insbesondere können die erste Drehachse und die dritte Drehachse zueinander im Wesentlichen parallel orientiert sein. Insbesondere können die erste und dritte Drehachse fluchten.



Ein Verhältnis aus dem Abstand der Strahlungsquelle von der ersten Drehachse zu dem Abstand des Zentrums einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors von der dritten Drehachse kann beispielsweise mindestens  $1/20$ , insbesondere mindestens  $1/10$  oder mindestens  $1/5$  und/oder höchstens  $20/1$ , insbesondere höchstens  $10/1$  oder  
5 höchstens  $5/1$  betragen.

Die Drehung der Strahlungsquelle um die erste Drehachse und die Drehung des Strahlungsdetektors um die dritte Drehachse können beispielsweise im gleichem Drehsinn und/oder zueinander um im Wesentlichen  $180^\circ$  phasenverschoben  
10 und/oder mit gleicher Winkelgeschwindigkeit erfolgen.

Zueinander im Wesentlichen um  $180^\circ$  phasenverschoben bedeutet, dass die Phasenverschiebung von  $180^\circ$  eine Abweichung  $\varepsilon$  von höchstens  $10^\circ$  aufweist. Wenn die erste und dritte Drehachse fluchten, bedeutet die Phasenverschiebung von  $180^\circ$ ,  
15 dass die erste und dritte Drehachse zwischen der Strahlungsquelle und dem Strahlungsdetektor verläuft. Bei Drehung mit gleicher Winkelgeschwindigkeit bleibt die Phasenverschiebung, d.h. die relative Drehstellung der Strahlungsquelle zum Strahlungsdetektor, erhalten. Drehen sich Strahlungsquelle und Strahlungsdetektor zudem im gleichen Drehsinn um die erste bzw. dritte Drehachse bleibt die  
20 Phasenverschiebung.

Das vorangehend beschriebene Verfahren kann zum Betreiben eines Messsystems eingesetzt werden, in welchem die Strahlungsquelle von einem ersten Roboter und der Strahlungsdetektor von einem zweiten, von dem ersten Roboter verschiedenen  
25 Roboter getragen wird. Das Messsystem kann dabei so ausgebildet sein, dass der erste Roboter die Strahlungsquelle frei bewegen, d.h. relativ zum (ortsfesten) Bezugssystem des Objektbereichs translatieren und drehen kann, und dass der zweite Roboter den Strahlungsdetektor frei bewegen kann.

Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst ein Messsystem  
30 einen Strahlungsdetektor, welcher dazu konfiguriert ist, elektromagnetische Strahlung zu detektieren; eine auf den Strahlungsdetektor ausgerichtete Strahlungsquelle, welche dazu konfiguriert ist, ein Bündel elektromagnetischer Strahlung zu erzeugen und entlang eines Zentralstrahls des Bündels auszustrahlen; eine erste  
35 Bewegungsvorrichtung, welche dazu konfiguriert ist, die Strahlungsquelle relativ zu einem Objektbereich zu bewegen; wobei die erste Bewegungsvorrichtung ein erstes Basiselement und einen an dem ersten Basiselement gelagerten ersten Ausleger umfasst, wobei der erste Ausleger relativ zu dem ersten Basiselement um eine erste Drehachse drehbar ist; wobei die Strahlungsquelle relativ zu dem ersten Ausleger um

eine zweite Drehachse drehbar ist; wobei die erste Drehachse und die zweite Drehachse miteinander einen spitzen Winkel einschließen, welche höchstens  $80^\circ$ , insbesondere höchstens  $70^\circ$  oder höchstens  $60^\circ$  beträgt.

5 „Gelagert“ bedeutet, dass der erste Ausleger und das erste Basiselement miteinander verbunden sind, der erste Ausleger relativ zum ersten Basiselement jedoch bewegbar, d.h. translätierbar und/oder drehbar ist. Insbesondere bedeutet dies, dass der erste Ausleger unmittelbar, d.h. ohne ein weiteres, eine Lagerung bereitstellendes Element, an dem ersten Basiselement angebracht ist.

10 Das vorangehend beschriebene Messsystem stellt diejenigen Freiheitsgrade bereit, die erforderlich sind, damit das vorangehend beschriebene Verfahren durchgeführt werden kann. Das vorangehend beschriebene Messsystem ermöglicht es, ein in dem Objektbereich angeordnetes Objekt aus unterschiedlichen Richtungen mit dem  
15 Bündel elektromagnetischer Strahlung zu beleuchten und die das Objekt durchdringende Strahlung mit dem Strahlungsdetektor zu detektieren.

Das Messsystem kann konfigurationstechnisch so eingerichtet sein, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht mehr als  
20  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist. Beispielsweise ist eine Steuerung der ersten Bewegungsvorrichtung oder eine die erste Bewegungsvorrichtung bildende Mechanik so konfiguriert, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht mehr als  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist.

25 Der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse kann beispielsweise mindestens  $10^\circ$ , insbesondere mindestens  $20^\circ$  oder mindestens  $30^\circ$  betragen. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Objektbereich aus unterschiedlichen Richtungen beleuchtet wird.

30 Hierzu kann das Messsystem konfigurationstechnisch so eingerichtet sein, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht weniger als  $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist. Beispielsweise ist eine Steuerung der ersten Bewegungsvorrichtung  
35 oder eine die erste Bewegungsvorrichtung bildende Mechanik so konfiguriert, dass der spitze Winkel zwischen der ersten Drehachse und der zweiten Drehachse auf nicht weniger als  $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist.

Die Strahlungsquelle kann exzentrisch zur ersten Drehachse angeordnet sein, d.h. die Strahlungsquelle weist von der ersten Drehachse einen von null verschiedenen Abstand auf.

- 5 Die zweite Drehachse und der Zentralstrahl können zueinander im Wesentlichen parallel orientiert sein. Die erste und zweite Drehachse können den Objektbereich durchlaufen und sich insbesondere in diesem schneiden. In dieser Konfiguration wird der Zentralstrahl annähernd auf der Mantelfläche eines Kegels geführt, dessen Spitze im Objektbereich angeordnet ist, während die Strahlungsquelle beispielsweise eine  
10 Kreisbewegung, gesehen in einer zur ersten Drehachse senkrechten Ebene, durchläuft.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Messsystem ferner einen ersten Aktor, welcher dazu konfiguriert ist, den ersten Ausleger um die erste Drehachse zu drehen. In dieser Ausführungsform bewirkt der Aktor die Drehung des ersten  
15 Auslegers um die erste Drehachse.

Gemäß einer Ausführungsform hierin ist die Strahlungsquelle um die zweite Drehachse frei drehbar gelagert. In dieser Ausführungsform wird die Lage der Strahlungsquelle relativ zum ersten Ausleger nicht durch einen Aktor sondern allein  
20 durch die Lagerung der Strahlungsquelle im Ausleger und der Schwerkraft geregelt. Während der erste Aktor den ersten Ausleger um die erste Drehachse dreht, dreht sich die Strahlungsquelle frei um die zweite Drehachse.

Gemäß einer dazu alternativen Ausführungsform kann ein zweiter Aktor vorgesehen  
25 sein, welcher dazu konfiguriert ist, die Strahlungsquelle um die zweite Drehachse zu drehen, sowie eine Steuerung, welche dazu konfiguriert ist, den ersten und zweiten Aktor zu steuern. Die Steuerung kann insbesondere dazu konfiguriert sein, den ersten und zweiten Aktor so zu steuern, dass der erste Ausleger und die Strahlungsquelle um die erste bzw. zweite Drehachse im zueinander entgegengesetzten Drehsinn und/oder  
30 mit gleicher Winkelgeschwindigkeit gedreht werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Messsystem eine zweite Bewegungsvorrichtung, welche dazu konfiguriert ist, den Strahlungsdetektor relativ zum Objektbereich zu bewegen, wobei die zweite Bewegungsvorrichtung ein zweites  
35 Basiselement und einen an dem zweiten Basiselement gelagerten zweiten Ausleger umfasst, wobei der zweite Ausleger relativ zu dem zweiten Basiselement um eine dritte Drehachse drehbar ist und wobei der Strahlungsdetektor an dem zweiten Ausleger angeordnet ist.

In dieser Ausführungsform ist neben der Strahlungsquelle auch der Strahlungsdetektor drehbar gelagert. Der Strahlungsdetektor kann starr an dem zweiten Ausleger befestigt sein, d.h. fest mit diesem verbunden sei. Ferner kann der Strahlungsdetektor exzentrisch zur dritten Drehachse angeordnet sein, d.h. mit  
5 Abstand zur dritten Drehachse. Ein Abstand zwischen der dritten Drehachse und dem Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors kann beispielsweise mindestens 1 cm und/oder höchstens 16 m betragen.

Die erste Drehachse und die dritte Drehachse können zueinander im Wesentlichen  
10 parallel orientiert sein und insbesondere fluchten. Ein Verhältnis der Länge des ersten Auslegers zu der Länge des zweiten Auslegers kann beispielsweise mindestens 1/20, insbesondere mindestens 1/10 oder mindestens 1/5 und/oder höchstens 20/1, insbesondere höchstens 10/1 oder höchstens 5/1 betragen. Die Länge des Auslegers ist als seine Ausdehnung entlang derjenigen Richtung des Auslegers zu verstehen,  
15 entlang der die Ausdehnung am größten ist.

Eine Detektionsfläche des Strahlungsdetektors schließt mit der dritten Drehachse einen Winkel ein, welcher zwischen  $10^\circ$  und  $90^\circ$  betragen kann. Demgemäß kann die Detektionsfläche des Strahlungsdetektors so geneigt sein, dass der Zentralstrahl  
20 entweder senkrecht auf die Detektionsfläche trifft oder unter schrägem Einfall auf die Detektionsfläche trifft.

Das Messsystem kann ferner einen dritten Aktor aufweisen, welcher dazu konfiguriert ist, den zweiten Ausleger um die dritte Drehachse zu drehen, wobei die Steuerung  
25 ferner dazu konfiguriert ist, den dritten Aktor so zu steuern, dass der erste und zweite Ausleger um die erste bzw. dritte Drehachse im gleichen Drehsinn und/oder zueinander um im Wesentlichen  $180^\circ$  phasenverschoben und/oder mit gleicher Winkelgeschwindigkeit gedreht werden.

Das Messsystem kann ferner einen ersten Roboter und einen zweiten Roboter, welcher von dem ersten Roboter verschieden ist, umfassen, wobei der erste Roboter das erste Basiselement trägt und wobei der zweite Roboter das zweite Basiselement trägt. Das erste bzw. zweite Basiselement kann mit den weiteren Komponenten des ersten bzw. zweiten Roboters fest verbunden oder daran gelagert sein. Der erste und zweite  
30 Roboter sind dazu konfiguriert, das erste Basiselement und das zweite Basiselement relativ zueinander zu positionieren und auszurichten. Es kann vorgesehen sein, dass beim Betreiben des Messsystems zunächst das erste und zweite Basiselement relativ zueinander positioniert und ausgerichtet werden, indem der erste und zweite Roboter entsprechend angesteuert werden. Nachdem das erste und zweite Basiselement relativ

zueinander positioniert wurden, werden sie für das weitere Verfahren relativ zueinander weder verlagert noch gedreht. Allerdings kann vorgesehen sein, dass die gesamte Anordnung aus dem ersten und zweiten Basiselement relativ zum Objektbereich durch Ansteuerung des ersten und zweiten Roboters verlagert und/oder  
5 gedreht wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Messsystem ferner einen Rahmen, wobei das erste Basiselement und das zweite Basiselement starr mit dem Rahmen verbunden sind. Im Gegensatz zur vorangegangenen Beschreibung des  
10 Messsystems, in welchem das erste und zweite Basiselement durch zwei verschiedene Roboter getragen werden und damit in den Grenzen der Bewegungsfreiheit der einzelnen Roboter zueinander frei bewegbar sind, sieht diese Ausführungsform vor, dass das erste und zweite Basiselement starr miteinander über einen Rahmen verbunden sind. D.h., das erste Basiselement kann relativ zu dem Rahmen nicht  
15 bewegt werden und das zweite Basiselement kann relativ zu dem Rahmen nicht bewegt werden, da diese jeweils fest am Rahmen angebracht oder Teil des Rahmens sind.

Diese Ausführungsform weist den Vorteil auf, dass die Strahlungsquelle (und der Strahlungsdetektor) relativ zu dem Rahmen jeweils frei bewegbar sind, die Anordnung  
20 aus Strahlungsquelle und Strahlungsdetektor jedoch über den gemeinsamen Rahmen als Ganzes einfach verlagert und gedreht werden kann. Das bedeutet insbesondere, dass die erste und dritte Drehachse eine zueinander feste räumliche Anordnung aufweisen, welche als Ganzes unverändert über den Rahmen bewegt werden kann.

25  
Gegenüber der Ausführungsform, in der zwei verschiedene Roboter zum Anordnen der Strahlungsquelle und des Strahlungsdetektors verwendet werden, ist die stabile Positionierung der Strahlungsquelle und des Strahlungsdetektors zueinander in dieser Ausführungsform durch den starren Rahmen deutlich vereinfacht. Der Rahmen  
30 kann dabei so gestaltet sein, dass dieser die Bewegungsfreiheit der Anordnung aus der Strahlungsquelle und dem Strahlungsdetektor in nur sehr geringem Umfang einschränkt.

Der Rahmen kann von einem einzigen Roboter getragen werden, sodass die  
35 Anordnung aus Strahlungsquelle und Strahlungsdetektor einfach bewegt werden kann, ohne dass dadurch die relative Positionierung und Lage der Strahlungsquelle relativ zum Strahlungsdetektor verändert wird.

Obwohl durch den Rahmen das erste und zweite Basiselement starr zueinander angeordnet sind, können die Strahlungsquelle und der Strahlungsdetektor relativ zueinander durch den ersten (und zweiten) Ausleger voneinander unabhängig bewegt werden. Daher kann das Messsystem frei von einer die Strahlungsquelle und den  
5 Strahlungsdetektor starr miteinander verbindenden Struktur sein. D.h., das Messsystem weist kein Element auf, das die Strahlungsquelle und den Strahlungsdetektor starr miteinander verbindet.

Ein Abstand zwischen der Strahlungsquelle und dem Strahlungsdetektor kann  
10 mindestens 5 cm und/oder höchstens 20 m betragen.

Die Längsrichtung des ersten Auslegers schließt mit der ersten Drehachse einen spitzen Winkel ein, dessen Wert zwischen  $30^\circ$  und  $90^\circ$  betragen kann. Insbesondere können der erste Ausleger und das die erste Drehachse bereitstellende Element des  
15 Messsystems konfigurationstechnisch so konfiguriert sein, dass der spitze Winkel zwischen der Längsrichtung des ersten Auslegers und der ersten Drehachse auf nicht weniger als  $30^\circ$  und nicht mehr als  $90^\circ$  einstellbar ist. Hierdurch kann eine einfache und komfortable Lagerung zwischen der Strahlungsquelle und dem ersten Ausleger verwendet werden, ohne dass bei Drehung des ersten Auslegers um die erste  
20 Drehachse die räumlich ausgedehnte Strahlungsquelle mit dem ersten Ausleger kollidiert.

Ferner kann der erste Ausleger ein Bewegungsglied aufweisen, an welchem die Strahlungsquelle angeordnet ist und welches entlang des ersten Auslegers verlagerbar  
25 ist. Die Strahlungsquelle ist dabei um die zweite Drehachse drehbar an dem Bewegungsglied gelagert. Durch das Bewegungsglied, welches entlang des ersten Auslegers verlagerbar ist, beispielsweise durch einen Aktor, kann der Abstand der Strahlungsquelle von der ersten Drehachse wie auch die Richtung, mit der der Zentralstrahl auf den Objektbereich gerichtet ist, eingestellt werden. Die Drehbarkeit  
30 der Strahlungsquelle um die zweite Drehachse wird hierin durch eine Lagerung am Bewegungsglied bereitgestellt.

In den vorangehend beschriebenen Ausführungsformen kann der Zentralstrahl mit einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors einen spitzen Winkel einschließen,  
35 welcher kleiner als  $80^\circ$ , kleiner als  $70^\circ$  oder kleiner als  $60^\circ$  ist und/oder größer als  $50^\circ$ , insbesondere größer als  $55^\circ$  oder größer als  $60^\circ$  ist. Zudem kann die zweite Drehachse mit einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors einen spitzen Winkel einschließen, welcher kleiner als  $80^\circ$ , insbesondere kleiner als  $70^\circ$  oder kleiner als  $60^\circ$  ist und/oder größer als  $50^\circ$ , insbesondere größer als  $55^\circ$  oder größer als  $60^\circ$  ist. Die erste Drehachse

und der Zentralstrahl können miteinander einen spitzen Winkel einschließen, welcher mindestens  $10^\circ$ , insbesondere mindestens  $20^\circ$  oder mindestens  $30^\circ$  beträgt und/oder höchstens  $80^\circ$ , insbesondere höchstens  $70^\circ$  oder höchstens  $60^\circ$  beträgt.

- 5 Die erste, zweite und dritte Drehachse können voneinander paarweise verschieden sein und der erste und zweite Ausleger können voneinander verschieden sein.

Die von der Strahlungsquelle erzeugte Strahlung kann beispielsweise elektromagnetische Strahlung, Photonenstrahlung, Gammastrahlung oder  
10 Röntgenstrahlung sein. Die Strahlung kann eine Energie im Bereich von 10 keV bis 30 MeV aufweisen.

Nachfolgend werden verschiedene Ausführungsformen eines Messsystems und eines Verfahrens zum Betreiben eines Messsystems mit Bezug zu den beiliegenden  
15 Zeichnungen beschrieben.

FIG. 1 zeigt ein Messsystem zur Veranschaulichung eines Verfahrens zum Betreiben eines Messsystems.

FIG. 2 zeigt eine Ausführungsform eines Verfahrens zum Betreiben eines Messsystems.

20 FIG. 3 ist ein Diagramm zur Beschreibung der räumlichen Anordnung einer Strahlungsquelle des Messsystems bei deren Drehung um eine erste und zweite Achse.

FIG. 4 zeigt eine erste Ausführungsform eines Messsystems gemäß der vorliegenden Erfindung.

25 FIG. 5 zeigt eine zweite Ausführungsform eines Messsystems gemäß der vorliegenden Erfindung.

FIG. 6 zeigt eine dritte Ausführungsform eines Messsystems der vorliegenden Erfindung.

30 FIG. 7 zeigt eine vierte Ausführungsform eines Messsystems der vorliegenden Erfindung.

Zunächst wird mit Bezug auf die FIG. 1 bis 3 ein Verfahren zum Betreiben eines Messsystems beschrieben.

35 FIG. 1 zeigt ein Messsystem 1, welches einen ersten Roboter 3 und einen zweiten Roboter 5 umfasst, welche am Boden 7 angebracht sind. Die Roboter 3 und 5 weisen beispielsweise jeweils eine Basiseinheit 9 und einen Arm 11 auf, welche miteinander über ein Gelenk 13 verbunden sind. Über das Gelenk 13 ist der Arm 11 an der

Basiseinheit 9 gelagert, d.h. relativ zu diesem um wenigstens einen Freiheitsgrad bewegbar.

Das Gelenk 13 des Roboters 3 ist so ausgebildet, dass der Arm 11 des Roboters 3 relativ zur Basiseinheit 9 des Roboters 3 wenigstens um eine erste Drehachse D1 (gestrichelte Linie) drehbar an der Basiseinheit 9 gelagert ist. In FIG. 1 verläuft die erste Drehachse D1 in der Zeichenebene.

Der Roboter 3 umfasst ein weiteres Gelenk 15, welches eine Halterung 17 an dem Arm 11 des Roboters 3 lagert. Das Gelenk 15 ist so konfiguriert, dass die Halterung 17 relativ zu dem Arm 11 um eine zweite Drehachse D2 (gestrichelte Linie) relativ zu dem Arm 11 gedreht werden kann.

Die Halterung 17 verbindet eine Strahlungsquelle 19 mit dem Roboter 3. Durch die von dem Roboter 3 bereitgestellten Freiheitsgrade kann die Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 gedreht werden.

In diesem Beispiel ist die Strahlungsquelle 19 beispielsweise eine Röntgenröhre, welche über ein Hochspannungskabel 21 mit einer Hochspannungsquelle 23 elektrisch verbunden ist. Die Hochspannungsquelle 23 versorgt die Strahlungsquelle 19 mit einer Hochspannung, welche die Strahlungsquelle 19 dazu verwendet, ein Bündel elektromagnetischer Strahlung 25 (z.B. Röntgenstrahlung) zu erzeugen. Im Zentrum des Strahlenbündels 25 verläuft ein Zentralstrahl 27.

In einem weiteren Beispiel ist die Strahlungsquelle 19 eine geöffnete Kammer (z.B. eine kegelförmige Blende), in welcher Radioisotope angeordnet werden können. Ein Ausfahrtschlauch 21 verbindet die Kammer mit einem Radioisotopenarbeitsbehälter 23. Die Radioisotope werden in dem Radioisotopenarbeitsbehälter bereitgestellt und anschließend über den Ausfahrtschlauch 21 zu der Kammer befördert. Sind Radioisotope in der Kammer angeordnet, erzeugen diese durch Zerfall ein Bündel elektromagnetischer Strahlung 25, in dessen Zentrum ein Zentralstrahl 27 verläuft.

Die Strahlungsquelle 19 ist exzentrisch zur ersten Drehachse D1 angeordnet, d.h. die Strahlungsquelle 19 weist einen von null verschiedenen Abstand von der Drehachse D1 auf. Ferner ist die Strahlungsquelle 19 so angeordnet, dass die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 einen spitzen Winkel  $\alpha$  einschließen.

Der Roboter 5 umfasst ferner eine Halterung 29, welche einen Strahlungsdetektor 31 trägt. Die Halterung 29 ist mit dem Arm 11 des Roboters 5 über ein Gelenk 33 verbunden, welches die Halterung 29 an dem Arm 11 des Roboters 5 lagert.



Das Gelenk 13 des Roboters 5 lagert den Arm 11 des Roboters 5 an der Basiseinheit 9 des Roboters 5. Insbesondere ist das Gelenk 13 so konfiguriert, dass der Arm 11 des Roboters 5 um eine dritte Drehachse D3 (gestrichelte Linie) relativ zu der Basiseinheit 9 des Roboters 5 gedreht werden kann. Die dritte Drehachse D3 verläuft in der Zeichenebene der FIG. 1.

Vorangehend wurden die Roboter 3 und 5 beschrieben, welche jeweils eine beschränkte Anzahl an Freiheitsgraden zur Positionierung der Strahlungsquelle 19 und des Detektors 31 bereitstellen. Die Roboter 3 und 5 sind jedoch nicht auf diese Freiheitsgrade/Konfigurationen beschränkt und können insbesondere so konfiguriert sein, dass sie die Strahlungsquelle 19 und den Strahlungsdetektor 31 frei bewegen, d.h. translatieren und/oder drehen können.

Nachfolgend wird ein Verfahren zum Betreiben eines Messsystems, insbesondere des in FIG. 1 gezeigten Messsystems, mit Bezug auf FIG. 2 beschrieben. Das Verfahren ermöglicht die Untersuchung eines Objekts, welches in einem Objektbereich 35 angeordnet ist (vgl. FIG. 1). Der Objektbereich 35 befindet sich zwischen der Strahlungsquelle 19 und dem Strahlungsdetektor 31. Der Objektbereich 35 befindet sich beispielsweise an einem Schnittpunkt der ersten Drehachse D1 mit der zweiten Drehachse D2 bzw. in einem Bereich, an dem die beiden Drehachsen voneinander einen minimalen Abstand aufweisen.

Das Verfahren umfasst das Erzeugen eines Bündels elektromagnetischer Strahlung mittels einer Strahlungsquelle (Schritt S1). In diesem Beispiel wird ein Röntgenstrahlenbündel 25 mittels einer Strahlungsquelle 19 erzeugt, wobei das Röntgenstrahlenbündel 25 entlang eines Zentralstrahls 27 ausgerichtet ist (vgl. FIG. 1). Anstelle der Röntgenstrahlung kann jedoch auch eine andere elektromagnetische Strahlung verwendet werden.

Ferner umfasst das Verfahren das Bewegen der Strahlungsquelle 19 relativ zu einem Objektbereich 35, wobei die Bewegung so ausgeführt wird, dass der Zentralstrahl 27 während der Bewegung auf den Strahlungsdetektor 31 gerichtet ist (Schritt S2). Das heißt, während der Bewegung der Strahlungsquelle 19 wird diese und gegebenenfalls der Detektor 31 so bewegt, dass der Zentralstrahl 27 während der Dauer der Bewegung auf den Strahlungsdetektor 31 gerichtet bleibt. Der Strahlungsdetektor detektiert während der Bewegung der Strahlungsquelle 19 die den Objektbereich 35 durchdringenden Strahlung des Bündels 25, die auf den Strahlungsdetektor 31 trifft (Schritt S3).

Hierbei umfasst die Bewegung der Strahlungsquelle das Drehen der Strahlungsquelle 19 um eine erste Drehachse D1, wobei die Strahlungsquelle 19 exzentrisch zur ersten Drehachse D1 angeordnet ist (Schritt S21). Während der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 muss der Abstand der Strahlungsquelle 19 zur ersten Drehachse D1 nicht konstant sein und kann insbesondere variiert werden. Zudem kann vorgesehen sein, dass die Strahlungsquelle 19 die erste Drehachse D1 durchläuft, d.h. dass sich der Abstand zwischen diesen auf null reduziert. Während der überwiegenden Dauer der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 muss diese jedoch exzentrisch zur ersten Drehachse D1 angeordnet sein.

Die Bewegung der Strahlungsquelle 19 umfasst ferner das Drehen der Strahlungsquelle um eine zweite Drehachse D2, welche mit der ersten Drehachse D1 einen spitzen Winkel  $\alpha$  einschließt (Schritt S22). Der spitze Winkel  $\alpha$  kann höchstens  $80^\circ$  betragen, aber auch einen geringeren Wert annehmen. Dementsprechend wird die Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 so durchgeführt, dass der spitze Winkel  $\alpha$  während der Bewegung höchstens  $80^\circ$  beträgt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Winkel  $\alpha$  während der Bewegung zudem nicht geringer als  $10^\circ$ .

Mit anderen Worten kann die Bewegung der Strahlungsquelle 19 relativ zu dem Objektbereich 35 wie folgt beschrieben werden: Die Strahlungsquelle 19 wird um eine zweite Drehachse D2 gedreht, welche mit einer ersten Drehachse D1 einen spitzen Winkel  $\alpha$  einschließt. Die zweite Drehachse wird um die erste Drehachse gedreht.

Insbesondere kann die erste und/oder zweite Drehachse den Objektbereich 35 durchlaufen und sich insbesondere in diesem schneiden. Die Bewegung der Strahlungsquelle 19 ist in FIG. 3 beispielhaft dargestellt.

FIG. 3 zeigt eine Darstellung der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 für mehrere verschiedene Zeitpunkte während der Bewegung. Genauer gesagt, zeigt FIG. 3 die Projektion der Drehungen auf die in FIG 1 gezeigte, senkrecht zur ersten Drehachse D1 orientierte Ebene E. Dies entspricht der Sicht eines Beobachters entlang der X-Achse (vgl. FIG. 1), ausgehend vom Schnittpunkt der ersten Drehachse D1 mit der Ebene E. Dies wird durch die in den FIG. 1 und 3 gezeigten Koordinatensysteme verdeutlicht.

Die mit dem Bezugszeichen 37 versehenen Pfeile geben den Drehsinn, d.h. die Drehrichtung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 an. In FIG. 1 ist dieser Drehsinn linksdrehend, d.h. eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn.

- 5 Die mit dem Bezugszeichen 39 gekennzeichneten Pfeile geben den Drehsinn, d.h. die Drehrichtung der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse D2 an. In dem in FIG. 3 gezeigten Beispiel ist der Drehsinn der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse D2 rechtsdrehend, d.h. eine Drehung im Uhrzeigersinn.
- 10 Da die Zeichenebene der FIG. 3 senkrecht zur ersten Drehachse D1, jedoch nicht senkrecht zur zweiten Drehachse D2 ist (wegen des zwischen den beiden Achsen gebildeten spitzen Winkels  $\alpha$ , siehe FIG. 1), ist die in FIG. 3 gezeigte Drehung um die zweite Drehachse D2 als die auf die Zeichenebene der FIG. 3 projizierte Drehung zu verstehen.
- 15 Wie in FIG. 3 gezeigt, ist der Drehsinn der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 dem Drehsinn der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse D2 entgegengesetzt. Hierdurch können sich, wenn die Winkelgeschwindigkeiten der Drehungen der Strahlungsquelle 19 um die erste
- 20 Drehachse D1 bzw. die zweite Drehachse D2 gleich sind, was in einer bevorzugten Ausführungsform der Fall ist, die Drehungen gegenseitig aufheben, sodass die Strahlungsquelle 19 zwar translatiert, d.h. in ihrer Position relativ zu dem Objektbereich 35 verlagert wird, jedoch in der in FIG. 3 gezeigten Ebene keine oder lediglich eine geringe Drehbewegung im Bezugssystem des Objektbereichs
- 25 durchführt. In dem in FIG. 1 gezeigten X-Y-Koordinatensystem vollzieht die Strahlungsquelle 19 eine Verkippung um den Winkel  $2\alpha$ , wenn der Abstand der Strahlungsquelle 19 zur ersten Drehachse D1 bei Drehung um diese konstant gehalten wird, jedoch dreht sich die Strahlungsquelle 19 in dem in FIG. 3 gezeigten Y-Z-Koordinatensystem relativ zu diesem nicht. Dies hat den Vorteil, dass das
- 30 Hochspannungskabel 21, welches üblicherweise dick, schwer und unbeweglich ist, die Bewegung der Strahlungsquelle 19 einfach mitgehen kann.

Zudem wird der Objektbereich 35 durch die Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 aus unterschiedlichen Richtungen

35 belichtet, was zur Tomographie erforderlich ist. Während der Bewegung der Strahlungsquelle 19 verläuft der Zentralstrahl 27 beispielsweise entlang der Mantelfläche eines Kegels, dessen Spitze im Objektbereich 35 angeordnet ist und dessen Leitlinie der Position der Strahlungsquelle, genauer gesagt dem Austrittsort der Strahlung an der Strahlungsquelle 19 während der Bewegung, entspricht.

Wie in FIG. 3 gezeigt, kann der Abstand der Strahlungsquelle 19 von der ersten Drehachse D1 während der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die Drehachse D1 variiert werden. Dies hat beispielsweise den Vorteil, dass ein zu untersuchendes, komplex geformtes Objekt aus Richtungen beleuchtet wird, die für die Tomographie besonders vorteilhaft sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann das Verfahren ferner umfassen, dass der Strahlungsdetektor 31 um eine dritte Drehachse D3 gedreht wird, wobei der Strahlungsdetektor 31 zu der dritten Drehachse D3 exzentrisch, d.h. mit einem von null verschiedenen Abstand von dieser angeordnet ist. Dieser Schritt ist in FIG. 2 mit dem Bezugszeichen S23 versehen. Wie auch im Zusammenhang mit der Exzentrizität der Strahlungsquelle 19 beschrieben, kann auch der Strahlungsdetektor 31 vorübergehend die dritte Drehachse D3 durchlaufen.

In dieser Ausführungsform sind die Drehungen so abgestimmt, dass der Zentralstrahl während der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 fortwährend auf den Strahlungsdetektor 31, insbesondere ein Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors 31, gerichtet bleibt. Wie in FIG. 1 gezeigt, können die erste Drehachse D1 und die dritte Drehachse D3 zueinander parallel orientiert sein und insbesondere, wie in FIG. 1 gezeigt, fluchten.

Im Unterschied zur Strahlungsquelle 19, welche neben der Drehung um die erste Drehachse D1 auch um die zweite Drehachse D2 gedreht wird, kann vorgesehen sein, dass der Strahlungsdetektor 31 ausschließlich um die dritte Drehachse D3 und nicht um weitere Drehachsen während der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 gedreht wird. In diesem Fall wäre beispielsweise das Gelenk 33 des Roboters 5 starr voreingestellt und würde eine Drehung der Halterung 29 relativ zu dem Arm 11 des Roboters 5 unterbinden.

Während, wie in FIG. 3 gezeigt, die Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 linksdrehend und die Drehung der Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse D2 rechtsdrehend, also in entgegengesetztem Drehsinn, erfolgt, kann vorgesehen sein, dass die Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 und die Drehung des Strahlungsdetektors 31 um die dritte Drehachse D3 im gleichen Drehsinn und/oder zueinander um im Wesentlichen  $180^\circ$  phasenverschoben und/oder mit gleicher Winkelgeschwindigkeit erfolgt. Entsprechend der FIG. 3 würde der Strahlungsdetektor 31 eine linksdrehende, d.h. gegen den Uhrzeigersinn

gerichtete Drehung um die dritte Drehachse D3 vollziehen. Der Winkel von im Wesentlichen  $180^\circ$  wird in dem Y-Z-Koordinatensystem der FIG. 3 gemessen.

5 Nachfolgend werden mit Bezug zu den FIG. 4 bis 7 Ausführungsformen eines Messsystems beschrieben.

FIG. 4 zeigt eine erste Ausführungsform eines Messsystems gemäß der vorliegenden Erfindung. Das Messsystem 100 umfasst eine Strahlungsquelle 19, welche dazu konfiguriert ist, ein Bündel elektromagnetischer Strahlung (z.B. Röntgenstrahlung) zu erzeugen und entlang eines Zentralstrahls des Strahlenbündels auszustrahlen (vgl. Schritt S1 in FIG. 2). Das Strahlenbündel und der Zentralstrahl sind in den FIG. 4 bis 7 nicht dargestellt. Diese sind im Zusammenhang mit FIG. 1 beschrieben. Ferner umfasst das Messsystem 100 einen Strahlungsdetektor 31, welcher dazu konfiguriert ist, die elektromagnetische Strahlung zu detektieren (vgl. Schritt S3 in FIG. 2).

15 Das Messsystem 100 umfasst ferner eine erste Bewegungsvorrichtung 101, welche dazu konfiguriert ist, die Strahlungsquelle 19 relativ zu einem Objektbereich 35 zu bewegen. Die erste Bewegungsvorrichtung 101 umfasst ein erstes Basiselement 103, welches Teil eines Statives oder Roboters 105 ist. Ferner umfasst die erste Bewegungsvorrichtung 101 einen ersten Ausleger 107, welcher an dem ersten Basiselement 103 um eine erste Drehachse D1 drehbar gelagert ist. Daher ist der erste Ausleger 107 relativ zu dem ersten Basiselement 103 um die erste Drehachse D1 drehbar. Die Strahlungsquelle 19 ist relativ zu dem ersten Ausleger 107 um eine zweite Drehachse D2 drehbar. Hierzu kann die Strahlungsquelle 19 direkt an dem ersten Ausleger 107 gelagert sein. Alternativ kann der erste Ausleger ein nicht dargestelltes Bewegungsglied aufweisen, an welchem die Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse drehbar gelagert ist und welches entlang des ersten Auslegers 107 verlagerbar ist. Durch das Bewegungsglied kann die Position der Strahlungsquelle 19 relativ zu dem ersten Ausleger 107 eingestellt und verändert werden. Die erste Bewegungsvorrichtung 101 ermöglicht die Bewegung der Strahlungsquelle 19 relativ zu dem Objektbereich 35 (vgl. Schritte S2, S21, S22 in FIG. 2).

Die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 schließen miteinander einen spitzen Winkel  $\alpha$  ein, welcher höchstens  $80^\circ$  beträgt.

35 Der Strahlungsdetektor 31 wird von einem Stativ oder einem Roboter 109 gehalten. In der vorliegenden Ausführungsform ist der Strahlungsdetektor 31 fest bezüglich des Objektbereichs 35 angeordnet. Insbesondere durchläuft die erste Drehachse D1 den Strahlungsdetektor 31, insbesondere ein Zentrum einer Detektionsfläche des

Strahlungsdetektors 31. Die Komponenten des Messsystems, insbesondere der Abstand zwischen der Strahlungsquelle 19 und dem Strahlungsdetektor 31 sowie der Winkel  $\alpha$  und die Position des Strahlungsdetektors 31 bezüglich der ersten Drehachse D1, sind so eingestellt, dass bei Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 der Zentralstrahl auf den Strahlungsdetektor 31 gerichtet ist und bleibt.

FIG. 4 zeigt in gestrichelter Darstellung die Strahlungsquelle 19' und den ersten Ausleger 107' in einer weiteren Position während der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1. Der erste Ausleger 107' ist gegenüber dem Ausleger 107 um  $180^\circ$  bezüglich des ersten Basiselements 103 um die erste Drehachse D1 gedreht. Hierdurch wurde auch die zweite Drehachse D2 um die erste Drehachse D1 gedreht und ist daher mit D2' gekennzeichnet. Dementsprechend wurde die Strahlungsquelle 19 wie in FIG. 3 dargestellt bewegt, wobei im Gegensatz zur Darstellung der FIG. 3 der Abstand zwischen der Strahlungsquelle 19 und der ersten Drehachse D1 konstant geblieben ist.

Gemäß der in FIG. 3 dargestellten Bewegung ist der Drehsinn der Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 dem Drehsinn der Drehung der Strahlungsquelle 19 und die zweite Drehachse D2 entgegengesetzt. Zur Drehung des ersten Auslegers 107 relativ zu dem ersten Basiselement 103 um die erste Drehachse D1 kann das Messsystem einen nicht gezeigten ersten Aktor umfassen, welche dazu konfiguriert ist, den ersten Ausleger 107 um die erste Drehachse D1 zu drehen. Zur Drehung der Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse kann die Strahlungsquelle beispielsweise um die zweite Drehachse frei drehbar gelagert sein. In diesem Fall dreht sich die Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse D2 gemäß der auf sie wirkenden Schwerkraft. Wird als Strahlungsquelle eine mittels Energieversorgungskabels (z.B. Hochspannungskabel) versorgte Strahlungsquelle verwendet, kann die freie Drehung um die zweite Drehachse maßgeblich durch das Energieversorgungskabel bzw. dessen Zugkraft an der Strahlungsquelle bestimmt sein. Alternativ kann ein nicht gezeigter zweiter Aktor vorgesehen sein, welcher dazu konfiguriert ist, die Strahlungsquelle 19 um die zweite Drehachse D2 zu drehen. Eine Steuerung kann den ersten und zweiten Aktor so steuern, dass der erste Ausleger 107 und die Strahlungsquelle 19 im zueinander entgegengesetzten Drehsinn und/oder mit gleicher Winkelgeschwindigkeit um die erste bzw. zweite Drehachse gedreht werden (vgl. FIG. 3).

FIG. 5 zeigt eine zweite Ausführungsform eines Messsystems gemäß der vorliegenden Erfindung. Das Messsystem 100A umfasst die mit Bezug zu FIG. 4 beschriebene erste Bewegungsvorrichtung 101, welche von einem Stativ/Roboter 105 getragen wird.

5 Im Unterschied zu der in FIG. 4 gezeigten Ausführungsform umfasst das Messsystem 100A (FIG. 5) ferner eine zweite Bewegungsvorrichtung 111. Die zweite Bewegungsvorrichtung 111 umfasst ein zweites Basiselement 113 und einen an dem zweiten Basiselement 113 um eine dritte Drehachse D3 drehbar gelagerten zweiten Ausleger 117. Damit ist der zweite Ausleger 117 relativ zu dem zweiten Basiselement  
10 113 um die dritte Drehachse D3 drehbar. Der Strahlungsdetektor 31 ist an dem zweiten Ausleger 117 angeordnet. In dem vorliegenden Beispiel ist der Strahlungsdetektor 31 exzentrisch zur dritten Drehachse D3 angeordnet und mit dem zweiten Ausleger 117 fest verbunden. Alternativ kann der Strahlungsdetektor drehbar und/oder verlagerbar an bzw. zu dem zweiten Ausleger 117 an diesem befestigt sein.  
15 Durch diese Konfiguration kann der Strahlungsdetektor 31 im Vergleich zu der in FIG. 4 gezeigten Ausführungsform kleiner ausgebildet sein. Die zweite Bewegungsvorrichtung 111 ermöglicht die Bewegung des Strahlungsdetektors um die dritte Drehachse (vgl. Schritt S23 in FIG. 2).

20 Eine Detektionsfläche des Strahlungsdetektors, auf welche der Zentralstrahl gerichtet ist, kann mit der dritten Drehachse D3 einen Winkel einschließen, welcher beispielsweise zwischen  $45^\circ$  und  $90^\circ$  beträgt. In FIG. 5 beträgt dieser Winkel  $90^\circ$ , weshalb der Zentralstrahl 27 schräg auf der Detektionsfläche des Strahlungsdetektors 31 auftrifft. Alternativ kann der Strahlungsdetektor 31 so im zweiten Basiselement 113  
25 gelagert sein, dass der Winkel zwischen der Detektionsfläche des Strahlungsdetektors 31 und der dritten Drehachse D3 so eingestellt ist, dass der Zentralstrahl 27 senkrecht auf den Strahlungsdetektor 31 trifft.

Wie in FIG. 5 gezeigt, können die erste Drehachse D1 und die dritte Drehachse D3  
30 parallel zueinander orientiert sein, und insbesondere, wie in FIG. 5 gezeigt, fluchten.

Zur Drehung des zweiten Auslegers 117 um die dritte Drehachse kann das Messsystem ferner einen nicht gezeigten dritten Aktor umfassen, welcher dazu konfiguriert ist, den zweiten Ausleger 117 um die dritte Drehachse D3 (relativ zu dem zweiten  
35 Basiselement 113) zu drehen. Eine Steuerung kann den dritten Aktor so steuern, dass der erste Ausleger 107 und der zweite Ausleger 117 im gleichen Drehsinn und/oder zueinander um im Wesentlichen  $180^\circ$  phasenverschoben und/oder mit gleicher Winkelgeschwindigkeit um die erste Drehachse D1 bzw. die dritte Drehachse D3 gedreht werden.

Das erste Basiselement 103 kann von einem ersten Roboter 105 getragen werden und das zweite Basiselement 113 kann von einem zweiten Roboter 109 getragen werden. Während die in FIG. 5 gezeigte Ausführungsform den Vorteile aufweist, dass die erste  
5 Bewegungsvorrichtung 101 und die zweite Bewegungsvorrichtung 111 unabhängig voneinander durch den ersten Roboter 105 und den zweiten Roboter 109 angeordnet werden können, besteht die Schwierigkeit, dass während der Bewegung der Strahlungsquelle 19 um die erste und zweite Drehachse die erste Drehachse D1 und die dritte Drehachse D3 in einem stabilen räumlichen Verhältnis zueinander  
10 anzuordnen sind. Diese Schwierigkeit wird von den in den FIG. 6 und 7 gezeigten Ausführungsformen gelöst.

FIG. 6 zeigt eine dritte Ausführungsform eines Messsystems 100B gemäß der vorliegenden Erfindung. FIG. 7 zeigt eine vierte Ausführungsform eines Messsystems  
15 100C gemäß der vorliegenden Erfindung. Das Messsystem 100B entspricht im Wesentlichen dem in FIG. 4 gezeigtem Messsystem 100 und das Messsystem 100C entspricht im Wesentlichen dem in FIG. 5 gezeigten Messsystem 100A.

Im Unterschied zu den in FIG. 4 und 5 gezeigten Ausführungsformen werden die erste  
20 Bewegungsvorrichtung 101 und die zweite Bewegungsvorrichtung 111 nicht von verschiedenen voneinander getrennten Stativen oder Robotern getragen, sondern von einem Rahmen 119, welcher das erste Basiselement 103 der ersten Bewegungsvorrichtung 101 und den Strahlungsdetektor 31 (FIG. 6) bzw. das zweite Basiselement 113 der zweiten Bewegungsvorrichtung 111 (FIG. 7) starr miteinander  
25 verbindet. Durch den Rahmen 119 sind daher das erste Basiselement 103 und der Strahlungsdetektor 31 in dem Messsystem 100B starr mit dem Rahmen verbunden. In dem Messsystem 100C sind das erste Basiselement 103 und das zweite Basiselement 113 starr mit dem Rahmen verbunden. Insbesondere können das erste Basiselement 103 und das zweite Basiselement 113 integraler Bestandteil des Rahmens 119 sein oder  
30 an diesem starr befestigt sein. Starr bedeutet, dass keine gelagerte Verbindung zwischen Komponenten besteht.

In dem in FIG. 7 gezeigten Beispiel schließt die Detektionsfläche des Strahlungsdetektors 31 mit der dritten Drehachse D3 einen von  $90^\circ$  verschiedenen  
35 Winkel ein.

Wie in den FIG. 6 und 7 gezeigt, wird der Rahmen 119 von einem Roboter 121 getragen. Dieser kann den Rahmen und damit die Anordnung bestehend aus der Strahlungsquelle 19 und dem Strahlungsdetektor 31 räumlich anordnen, ohne dass



die erste und dritte Drehachse zueinander verlagert werden. Nachdem der Rahmen 119 angeordnet ist, kann ein zu untersuchendes Objekt einfach unter Drehung der Strahlungsquelle 19 um die erste Drehachse D1 und die zweite Drehachse D2 (sowie durch Drehung des Strahlungsdetektors 31 um die dritte Drehachse D3) untersucht werden, ohne dass eine weitere Ausrichtung der Komponenten, die das Basiselement 103 und den Detektor 31/das zweite Basiselement 113 tragen, erforderlich ist, da diese durch den Rahmen 119 starr miteinander verbunden sind.

Die in den FIG. 4 bis 7 gezeigten Ausführungsformen zeichnen sich ferner dadurch aus, dass die Messsysteme frei von einer die Strahlungsquelle 19 und den Strahlungsdetektor 31 starr miteinander verbindenden Struktur sind. Das bedeutet, dass es kein Element in dem Messsystem gibt, welches die Strahlungsquelle 19 und den Strahlungsdetektor 31 miteinander starr verbindet.

In den vorangehend beschriebenen Ausführungsformen sind die Strahlungsquelle 19 und der Strahlungsdetektor 31 relativ zueinander und relativ zum Objektbereich 35 voneinander unabhängig durch die erste Bewegungsvorrichtung (und die zweite Bewegungsvorrichtung) bewegbar. Das bedeutet, dass die Strahlungsquelle 19 und der Strahlungsdetektor 31 relativ zueinander bewegbar sind. Dies bedeutet ferner, dass die Strahlungsquelle 19 relativ zum Objektbereich 35 durch die erste Bewegungsvorrichtung 101 bewegt werden kann ohne dass hierdurch der Strahlungsdetektor 31 automatisch mit bewegt wird und vice versa.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Betreiben eines Messsystems (100, 100A, 100B, 100C), umfassend:  
Erzeugen eines entlang eines Zentralstrahls (27) gerichteten Bündels  
5 elektromagnetischer Strahlung (25) mittels einer Strahlungsquelle (19) (Schritt S1);  
Bewegen der Strahlungsquelle (19) relativ zu einem Objektbereich (35) derart,  
dass der Zentralstrahl (27) während der Bewegung auf einen Strahlungsdetektor  
(31) gerichtet ist (Schritt S2);  
10 wobei das Bewegen der Strahlungsquelle (19) relativ zu dem Objektbereich (35)  
umfasst:
- Drehen der Strahlungsquelle (19) um eine erste Drehachse (D1) (Schritt S21), wobei die Strahlungsquelle (19) exzentrisch zur ersten Drehachse (D1) angeordnet ist;
  - 15 – Drehen der Strahlungsquelle (19) um eine zweite Drehachse (D2) (Schritt S22), wobei die erste Drehachse (D1) und die zweite Drehachse (D2) miteinander einen spitzen Winkel ( $\alpha$ ) einschließen, welcher höchstens  $80^\circ$ , insbesondere höchstens  $70^\circ$  oder höchstens  $60^\circ$  beträgt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
wobei das Verfahren mit einer Vorrichtung ausgeführt wird, welche Elemente umfasst, die die erste Drehachse (D1) und die zweite Drehachse (D2) bereitstellen;  
und  
wobei das Verfahren ferner umfasst:  
25 Steuern der Elemente der Vorrichtung derart, dass der spitze Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der ersten Drehachse (D1) und der zweiten Drehachse (D2) auf nicht mehr als  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
wobei die erste Drehachse (D1) und die zweite Drehachse (D2) den Objektbereich (35) durchsetzen, insbesondere sich im Objektbereich (35) schneiden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
wobei die Drehung der Strahlungsquelle (19) um die erste Drehachse (D1) und  
die Drehung der Strahlungsquelle (19) um die zweite Drehachse (D2) in  
zueinander entgegengesetztem Drehsinn erfolgt und/oder  
5 wobei die Winkelgeschwindigkeit der Drehung der Strahlungsquelle (19) um die  
erste Drehachse (D1) gleich der Winkelgeschwindigkeit der Drehung der  
Strahlungsquelle (19) um die zweite Drehachse (D2) ist und/oder  
wobei der spitze Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der ersten Drehachse (D1) und der zweiten  
Drehachse (D2) mindestens  $10^\circ$ , insbesondere mindestens  $20^\circ$  oder mindestens  
10  $30^\circ$  beträgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
wobei das Verfahren mit einer Vorrichtung ausgeführt wird, welche Elemente  
umfasst, die die erste Drehachse (D1) und die zweite Drehachse (D2) bereitstellen;  
15 und  
wobei das Verfahren ferner umfasst:  
Steuern der Elemente der Vorrichtung derart, dass der spitze Winkel ( $\alpha$ ) zwischen  
der ersten Drehachse (D1) und der zweiten Drehachse (D2) auf nicht weniger als  
 $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist.  
20
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, ferner umfassend:  
Variieren des Abstands zwischen der Strahlungsquelle (19) und der ersten  
Drehachse (D1) während des Drehens der Strahlungsquelle (19) um die erste  
Drehachse (D1).  
25
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, ferner umfassend:  
Drehen des Strahlungsdetektors (31) um eine dritte Drehachse (D3) (Schritt S23),  
wobei der Strahlungsdetektor (31) exzentrisch zu der dritten Drehachse (D3)  
angeordnet ist.  
30
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei ein Abstand zwischen der dritten Drehachse  
(D3) und dem Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors (31)  
mindestens 1 cm und/oder höchstens 16 m beträgt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die erste Drehachse (D1) und die dritte Drehachse (D3) zueinander im Wesentlichen parallel orientiert sind, insbesondere fluchten.
- 5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei ein Verhältnis aus dem Abstand der Strahlungsquelle (19) von der ersten Drehachse (D1) zu dem Abstand des Zentrums einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors (31) von der dritten Drehachse (D3)
- 10 – mindestens  $1/20$ , insbesondere mindestens  $1/10$  oder mindestens  $1/5$ ; und/oder
- höchstens  $20/1$ , insbesondere höchstens  $10/1$  oder höchstens  $5/1$  beträgt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei die Drehung der Strahlungsquelle (19) um die erste Drehachse (D1) und die Drehung des Strahlungsdetektors (31) um die dritte Drehachse (D3)
- 15 – im gleichen Drehsinn und/oder
- zueinander um  $180^\circ + \varepsilon$ ;  $-10^\circ \leq \varepsilon \leq 10^\circ$  phasenverschoben und/oder
- mit gleicher Winkelgeschwindigkeit erfolgt.
- 20 12. Messsystem (100, 100A, 100B, 100C), umfassend:
- einen Strahlungsdetektor (31), welcher dazu konfiguriert ist, elektromagnetische Strahlung zu detektieren;
- eine auf den Strahlungsdetektor (31) ausgerichtete Strahlungsquelle (19), welche
- 25 dazu konfiguriert ist, ein Bündel elektromagnetischer Strahlung (25) zu erzeugen und entlang eines Zentralstrahls (27) des Bündels (25) auszustrahlen;
- eine erste Bewegungsvorrichtung (101), welche dazu konfiguriert ist, die Strahlungsquelle (19) relativ zu einem Objektbereich (35) zu bewegen;
- wobei die erste Bewegungsvorrichtung (101) ein erstes Basiselement (103) und
- 30 einen an dem ersten Basiselement (103) gelagerten ersten Ausleger (107) umfasst, wobei der erste Ausleger (107) relativ zu dem ersten Basiselement (103) um eine erste Drehachse (D1) drehbar ist;
- wobei die Strahlungsquelle (19) relativ zu dem ersten Ausleger (107) um eine zweite Drehachse (D2) drehbar ist;

wobei die erste Drehachse (D1) und die zweite Drehachse (D2) miteinander einen spitzen Winkel ( $\alpha$ ) einschließen, welcher höchstens  $80^\circ$ , insbesondere höchstens  $70^\circ$  oder höchstens  $60^\circ$  beträgt.

- 5 13. Messsystem nach Anspruch 12, wobei eine Steuerung der ersten Bewegungsvorrichtung (101) oder eine die erste Bewegungsvorrichtung (101) bildende Mechanik so konfiguriert, dass der spitze Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der ersten Drehachse (D1) und der zweiten Drehachse (D2) auf nicht mehr als  $80^\circ$ , insbesondere nicht mehr als  $70^\circ$  oder nicht mehr als  $60^\circ$  einstellbar ist.
- 10
14. Messsystem nach Anspruch 12 oder 13, wobei der spitze Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der ersten Drehachse (D1) und der zweiten Drehachse (D2) mindestens  $10^\circ$ , insbesondere mindestens  $20^\circ$  oder mindestens  $30^\circ$  beträgt.
- 15
15. Messsystem nach Anspruch 14, wobei eine Steuerung der ersten Bewegungsvorrichtung (101) oder eine die erste Bewegungsvorrichtung (101) bildende Mechanik so konfiguriert, dass der spitze Winkel ( $\alpha$ ) zwischen der ersten Drehachse (D1) und der zweiten Drehachse (D2) auf nicht weniger als  $10^\circ$ , insbesondere nicht weniger als  $20^\circ$  oder nicht weniger als  $30^\circ$  einstellbar ist.
- 20
16. Messsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei die Strahlungsquelle (19) exzentrisch zur ersten Drehachse (D1) angeordnet ist; und/oder wobei die zweite Drehachse (D2) und der Zentralstrahl (27) zueinander im Wesentlichen parallel orientiert sind.
- 25
17. Messsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 16, ferner umfassend: einen ersten Aktor, welcher dazu konfiguriert ist, den ersten Ausleger (107) um die erste Drehachse (D1) zu drehen.
- 30
18. Messsystem nach Anspruch 17, ferner umfassend: einen zweiten Aktor, welcher dazu konfiguriert ist, die Strahlungsquelle (19) um die zweite Drehachse (D2) zu drehen; eine Steuerung, welche dazu konfiguriert ist, den ersten und zweiten Aktor so zu steuern, dass der erste Ausleger (107) und die Strahlungsquelle (19)
- 35 – im zueinander entgegengesetzten Drehsinn und/oder

– mit gleicher Winkelgeschwindigkeit  
um die erste Drehachse (D1) bzw. zweite Drehachse (D2) gedreht werden.

- 5 19. Messsystem nach Anspruch 17, wobei die Strahlungsquelle (19) um die zweite Drehachse (D2) frei drehbar gelagert ist.
- 10 20. Messsystem (100A, 100C) nach einem der Ansprüche 12 bis 19, ferner umfassend: eine zweite Bewegungsvorrichtung (111), welche dazu konfiguriert ist, den Strahlungsdetektor (31) relativ zum Objektbereich (35) zu bewegen; wobei die zweite Bewegungsvorrichtung (111) ein zweites Basiselement (113) und einen an dem zweiten Basiselement (113) gelagerten zweiten Ausleger (117) umfasst, wobei der zweite Ausleger (117) relativ zu dem zweiten Basiselement (113) um eine dritte Drehachse (D3) drehbar ist, wobei der Strahlungsdetektor (31) an dem zweiten Ausleger (117) angeordnet ist.
- 15 21. Messsystem nach Anspruch 20, wobei der Strahlungsdetektor (31) starr an dem zweiten Ausleger (117) befestigt ist und/oder wobei der Strahlungsdetektor (31) exzentrisch zur dritten Drehachse (D3) angeordnet ist und/oder wobei ein Abstand zwischen der dritten Drehachse (D3) und dem Zentrum einer Detektionsfläche des Strahlungsdetektors (31) mindestens 1 cm und/oder höchstens 16 m beträgt.
- 20 22. Messsystem nach Anspruch 20 oder 21, wobei die erste Drehachse (D1) und die dritte Drehachse (D3) zueinander im Wesentlichen parallel orientiert sind, insbesondere fluchten; und/oder wobei ein Verhältnis der Länge des ersten Auslegers (107) zu der Länge des zweiten Auslegers (117)
- 25 30 – mindestens  $1/20$ , insbesondere mindestens  $1/10$  oder mindestens  $1/5$ ; und/oder – höchstens  $20/1$ , insbesondere höchstens  $10/1$  oder höchstens  $5/1$  beträgt.

23. Messsystem nach einem der Ansprüche 20 bis 22, wobei eine Detektionsfläche des Strahlungsdetektors (31) mit der dritten Drehachse (D3) einen Winkel einschließt, welcher zwischen  $10^\circ$  und  $90^\circ$  beträgt.
- 5 24. Messsystem nach einem der Ansprüche 20 bis 23 in Verbindung mit einem der Ansprüche 17 bis 19, ferner umfassend:  
einen dritten Aktor, welcher dazu konfiguriert ist, den zweiten Ausleger (117) um die dritte Drehachse (D3) zu drehen;  
wobei die Steuerung ferner dazu konfiguriert ist, den dritten Aktor so zu steuern,  
10 dass der erste und zweite Ausleger (107, 117)  
– im gleichen Drehsinn und/oder  
– zueinander um  $180^\circ + \varepsilon$ ;  $-10^\circ \leq \varepsilon \leq 10^\circ$  phasenverschoben und/oder  
– mit gleicher Winkelgeschwindigkeit  
um die erste Drehachse (D1) bzw. dritte Drehachse (D3) gedreht werden.
- 15 25. Messsystem (100A) nach einem der Ansprüche 20 bis 24, ferner umfassend:  
einen ersten Roboter (105), welcher das erste Basiselement (103) trägt, und  
einen von dem ersten Roboter (105) verschiedenen zweiten Roboter (109),  
welcher das zweite Basiselement (113) trägt.
- 20 26. Messsystem (100C) nach einem der Ansprüche 20 bis 24, ferner umfassend:  
einen Rahmen (119), wobei das erste Basiselement (103) und das zweite  
Basiselement (113) starr mit dem Rahmen (119) verbunden sind.
- 25 27. Messsystem nach Anspruch 26, ferner umfassend:  
einen Roboter (121), welcher den Rahmen (119) trägt, wobei insbesondere der  
Rahmen (119) am Roboter (121) drehbar gelagert ist.
- 30 28. Messsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 27, wobei das Messsystem frei von  
einer die Strahlungsquelle (19) und den Strahlungsdetektor (31) starr  
miteinander verbindenden Struktur ist.
- 35 29. Messsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 28, wobei die Längsrichtung des  
ersten Auslegers (107) mit der ersten Drehachse (D1) einen spitzen Winkel  
einschließt, dessen Wert zwischen  $30^\circ$  und  $90^\circ$  beträgt.

30. Messsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 29, wobei ein Abstand zwischen der Strahlungsquelle (19) und dem Strahlungsdetektor (31) mindestens 5 cm und/oder höchstens 20 m beträgt.

5

31. Messsystem nach einem der Ansprüche 12 bis 30, wobei der erste Ausleger (107) ein Bewegungsglied aufweist, an welchem die Strahlungsquelle (19) angeordnet ist und welches entlang des ersten Auslegers (107) verlagerbar ist und wobei die Strahlungsquelle (19) am dem Bewegungsglied um die zweite Drehachse (D2) drehbar gelagert ist.

10



Fig. 1

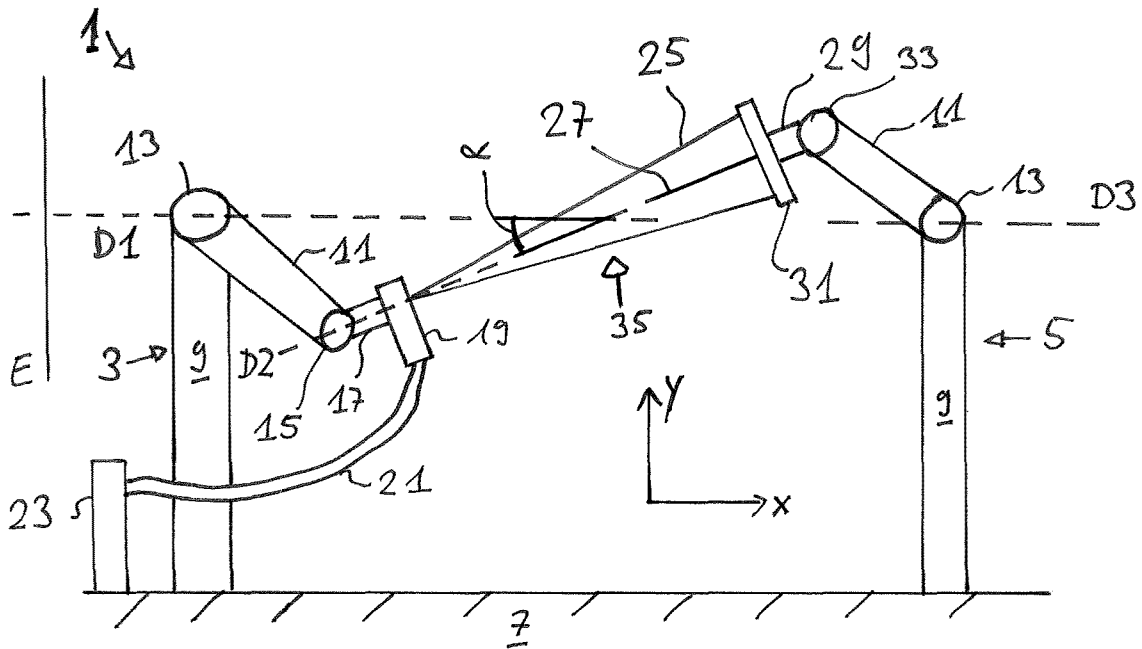
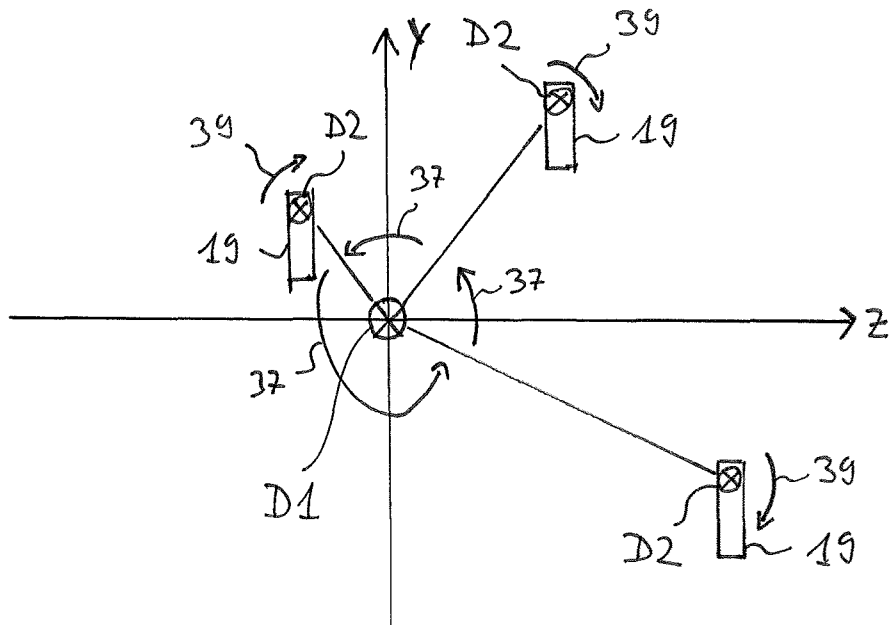


Fig. 3



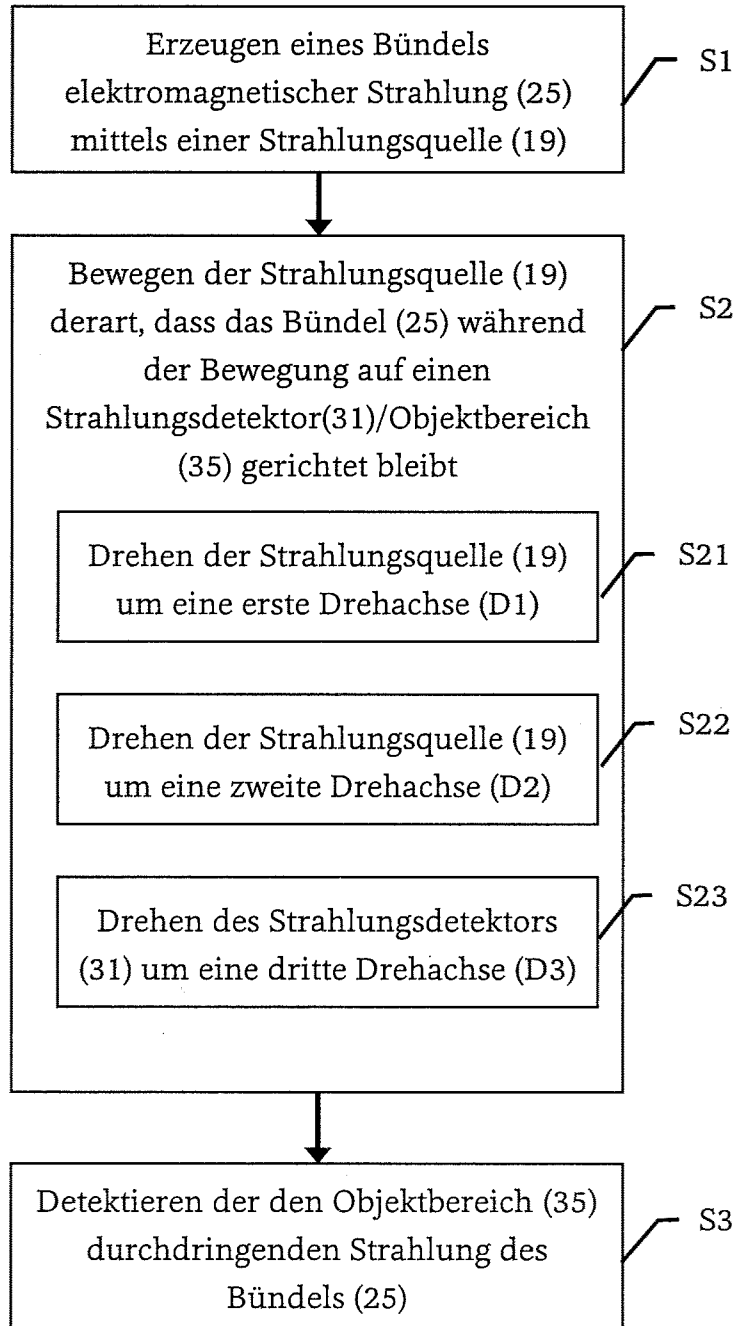
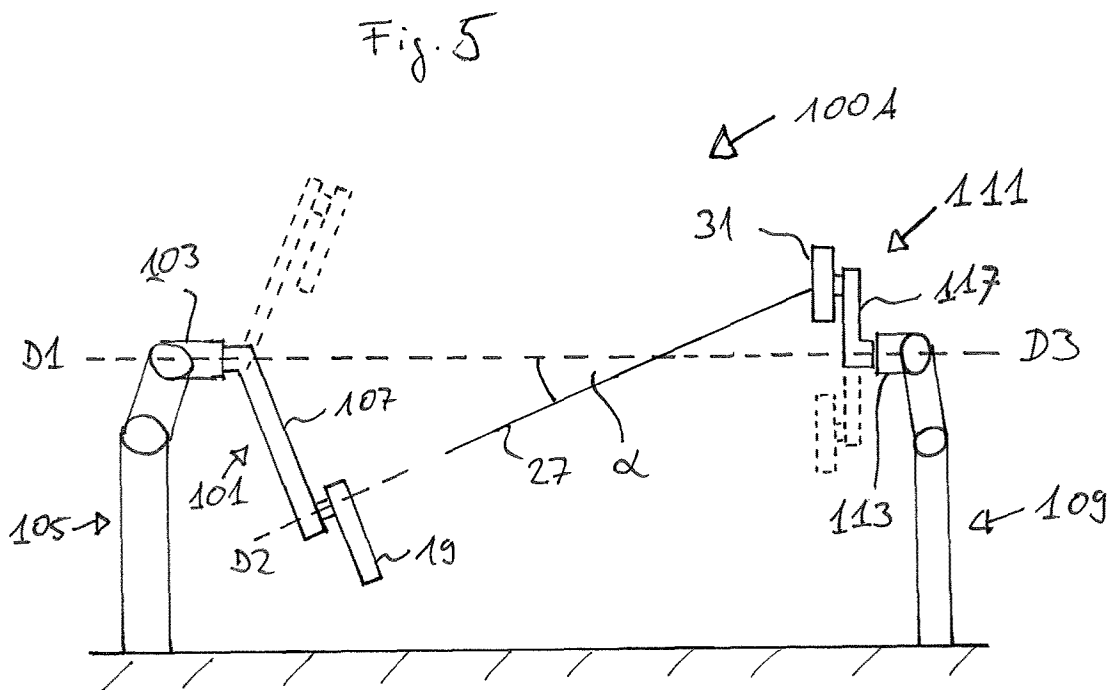
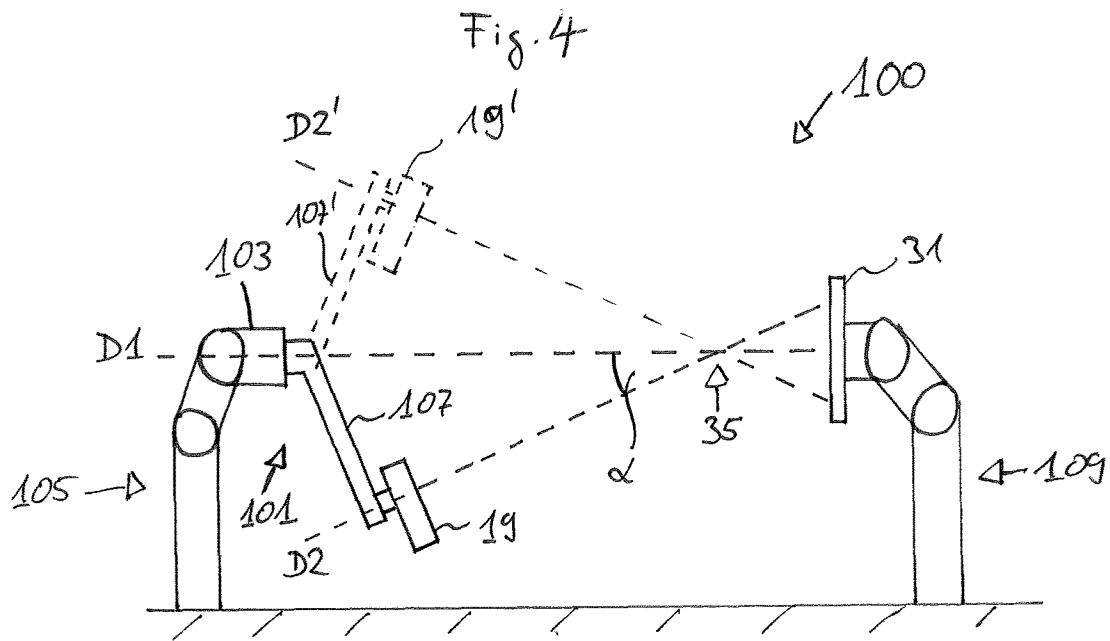
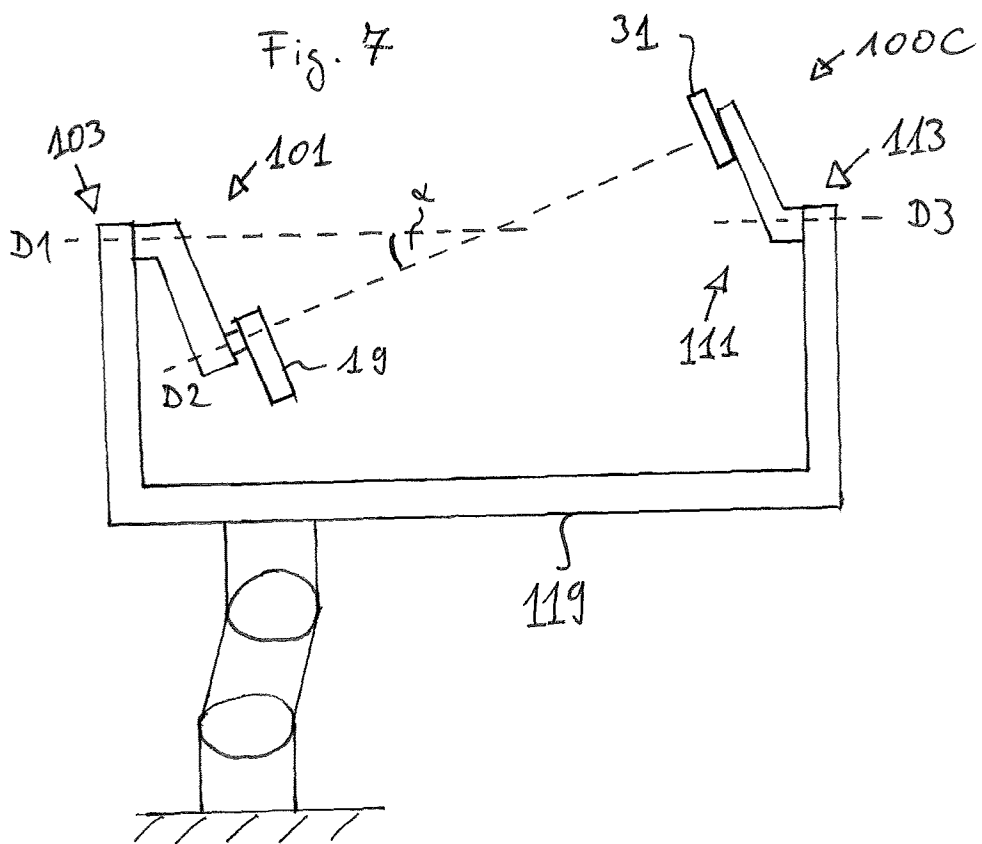
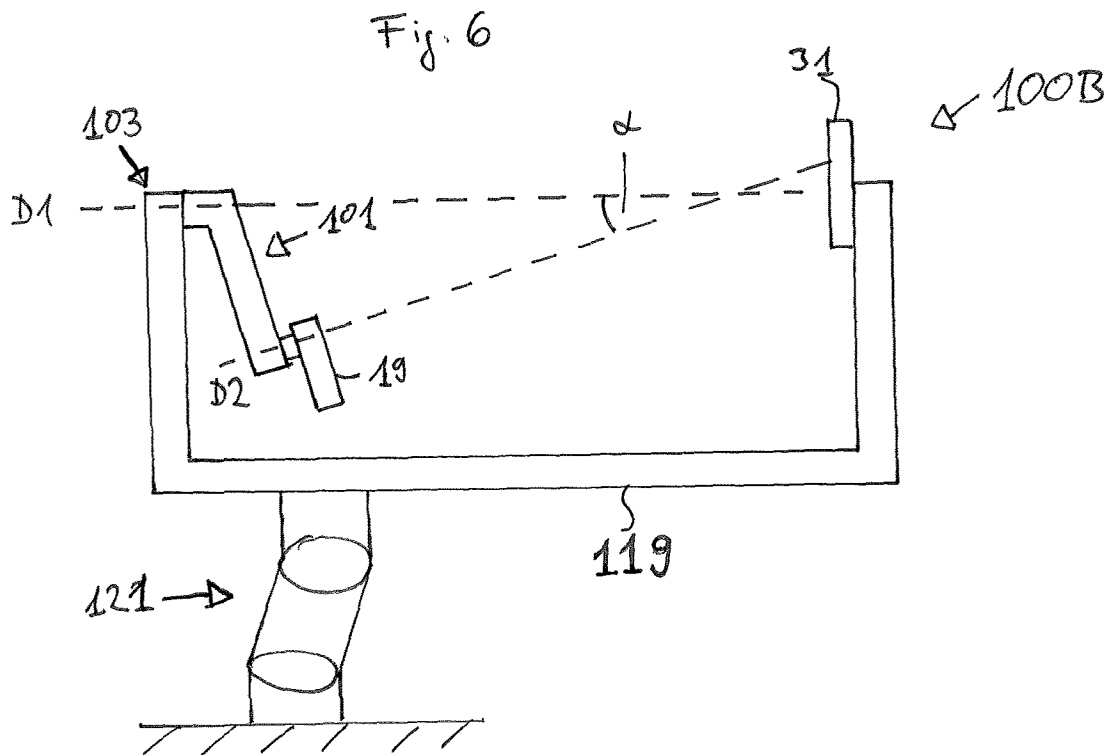


Fig. 2





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/078633

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01N23/04  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 435 715 B1 (BETZ ROLAND [DE] ET AL) 20 August 2002 (2002-08-20)  abstract; figure 1 column 2, line 30 - column 4, line 5 -----	1,2, 4-25, 28-31
X	DE 699 38 384 T2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 2 April 2009 (2009-04-02)  paragraphs [0011], [0022] - [0030]; figure 3 -----	1-7,10, 11, 13-20, 22-25, 28,29
X	DE 199 58 864 A1 (PHILIPS CORP INTELLECTUAL PTY [DE]) 13 June 2001 (2001-06-13) abstract; figures 1-3 -----	1,12,20, 26,27
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  2 February 2018	Date of mailing of the international search report  09/02/2018
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Steinmetz, Johannes

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/078633

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2006 028327 B3 (SIEMENS AG [DE]) 31 January 2008 (2008-01-31) abstract paragraphs [0026] - [0031]; figures 1,2 -----	1,12
X	DE 102 15 982 A1 (SIEMENS AG [DE]) 6 November 2003 (2003-11-06) paragraph [0018] - paragraph [0022]; figures 1-4 -----	1,12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/078633

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 6435715	B1	20-08-2002	DE 19855213 A1	29-06-2000
			JP 2000166906 A	20-06-2000
			US 6435715 B1	20-08-2002
-----				
DE 69938384	T2	02-04-2009	DE 69938384 T2	02-04-2009
			EP 1004271 A1	31-05-2000
			JP 2000185035 A	04-07-2000
			US 6200024 B1	13-03-2001
-----				
DE 19958864	A1	13-06-2001	DE 19958864 A1	13-06-2001
			EP 1106141 A2	13-06-2001
			JP 2001218757 A	14-08-2001
			US 2001005410 A1	28-06-2001
-----				
DE 102006028327	B3	31-01-2008	DE 102006028327 B3	31-01-2008
			JP 5765868 B2	19-08-2015
			JP 2008000601 A	10-01-2008
			US 2008013690 A1	17-01-2008
-----				
DE 10215982	A1	06-11-2003	DE 10215982 A1	06-11-2003
			US 2004008820 A1	15-01-2004
-----				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01N23/04 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) G01N		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 435 715 B1 (BETZ ROLAND [DE] ET AL) 20. August 2002 (2002-08-20)  Zusammenfassung; Abbildung 1 Spalte 2, Zeile 30 - Spalte 4, Zeile 5 -----	1,2, 4-25, 28-31
X	DE 699 38 384 T2 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 2. April 2009 (2009-04-02)  Absätze [0011], [0022] - [0030]; Abbildung 3 -----	1-7,10, 11, 13-20, 22-25, 28,29
X	DE 199 58 864 A1 (PHILIPS CORP INTELLECTUAL PTY [DE]) 13. Juni 2001 (2001-06-13) Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 ----- -/--	1,12,20, 26,27
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
2. Februar 2018		09/02/2018
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Steinmetz, Johannes



## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2006 028327 B3 (SIEMENS AG [DE]) 31. Januar 2008 (2008-01-31) Zusammenfassung Absätze [0026] - [0031]; Abbildungen 1,2 -----	1,12
X	DE 102 15 982 A1 (SIEMENS AG [DE]) 6. November 2003 (2003-11-06) Absatz [0018] - Absatz [0022]; Abbildungen 1-4 -----	1,12

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/078633

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6435715	B1	20-08-2002	DE 19855213 A1 29-06-2000
			JP 2000166906 A 20-06-2000
			US 6435715 B1 20-08-2002
-----			
DE 69938384	T2	02-04-2009	DE 69938384 T2 02-04-2009
			EP 1004271 A1 31-05-2000
			JP 2000185035 A 04-07-2000
			US 6200024 B1 13-03-2001
-----			
DE 19958864	A1	13-06-2001	DE 19958864 A1 13-06-2001
			EP 1106141 A2 13-06-2001
			JP 2001218757 A 14-08-2001
			US 2001005410 A1 28-06-2001
-----			
DE 102006028327	B3	31-01-2008	DE 102006028327 B3 31-01-2008
			JP 5765868 B2 19-08-2015
			JP 2008000601 A 10-01-2008
			US 2008013690 A1 17-01-2008
-----			
DE 10215982	A1	06-11-2003	DE 10215982 A1 06-11-2003
			US 2004008820 A1 15-01-2004
-----			