



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**29.01.2020 Patentblatt 2020/05**

(51) Int Cl.:  
**G21K 5/00 (2006.01) H01J 35/08 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **18185506.5**

(22) Anmeldetag: **25.07.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

- **Cyliax, Benno**  
**07407 Remda-Teichel (DE)**
- **Koschmieder, Martin**  
**07407 Uhlstädt-Kirchhasel (DE)**
- **Müller, Sven**  
**99198 Urbich (DE)**
- **Willing, Stefan**  
**07407 Rudolstadt (DE)**

(71) Anmelder: **Siemens Healthcare GmbH**  
**91052 Erlangen (DE)**

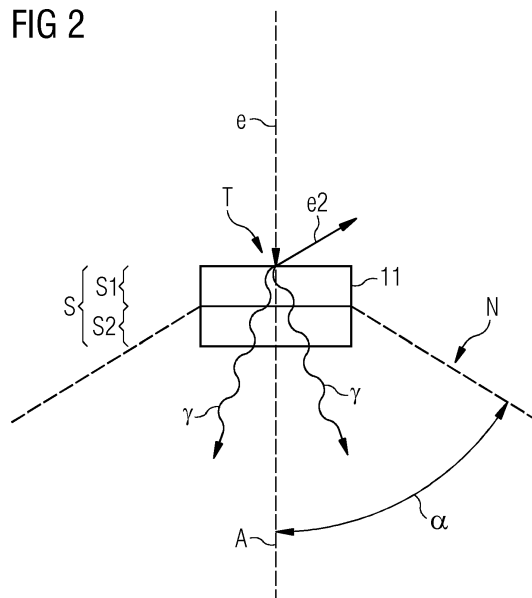
Bemerkungen:  
Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

(72) Erfinder:  
• **Möller, Marvin**  
**07751 Jena (DE)**

(54) **TARGET ZUM ERZEUGEN VON RÖNTGENSTRAHLUNG, RÖNTGENEMITTER UND VERFAHREN ZUM ERZEUGEN VON RÖNTGENSTRAHLUNG**

(57) Ein Target (11) zum Erzeugen von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) durch Beaufschlagung mit einem geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom (e), ist gemäß der Erfindung durch eine zumindest zwei metallische Schichten (S1, S2) umfassende Schichtstruktur (S) charakterisiert. Eine von dem Teilchenstrom (e) beaufschlagbare Targetoberfläche (T) ist von einer ersten Schicht (S1) der Schichtstruktur (S) gebildet, die aus einem ein erstes metallisches Element umfassendes Material besteht. Eine zweite Schicht (S2) der Schichtstruktur besteht aus einem ein zweites metallisches Element umfassenden Material. Die Ordnungszahl (Z) des ersten metallischen Elements ist kleiner als die Ordnungszahl (Z) des zweiten metallischen Elements. Die Erfindung betrifft ferner einen Röntgenemitter (10) mit einem derartigen Target und ein Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ).

FIG 2



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Target zum Erzeugen von Röntgenstrahlung durch Beaufschlagung mit einem geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner einen Röntgenemitter mit einer einen Teilchenstrom emittierenden Teilchenquelle und einer Beschleunigungsvorrichtung, insbesondere einer mehrere miteinander gekoppelte Hohlraumresonatoren umfassenden Beschleunigungsvorrichtung, die dazu ausgebildet ist, einen auf das Target gerichteten Teilchenstrom zu erzeugen.

**[0003]** Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung durch Beaufschlagung des Targets mit einem geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom.

**[0004]** Es ist bekannt, Röntgenemitter, insbesondere hochenergetische Röntgenemitter zur Bereitstellung von Röntgenstrahlung im MeV Bereich, in medizinischen und in nicht-medizinischen Anwendungen einzusetzen. Röntgenstrahlung bzw. Bremsstrahlung wird dabei in bekannter Weise dadurch erzeugt, dass ein Target mit einem Teilchenstrom aus beschleunigten und geladenen Teilchen, für gewöhnlich Elektronen, beaufschlagt wird. Dabei werden die Teilchen abgebremst, so dass diese einen Teil ihrer kinetischen Energie als Photonen- bzw. Röntgenstrahlung emittieren. Zur Beschleunigung der geladenen Teilchen bzw. Elektronen kommen insbesondere Linearbeschleuniger zum Einsatz.

**[0005]** Ein medizinischer Anwendungsbereich für derartig erzeugte Röntgenstrahlung betrifft die Strahlentherapie. Ein anderes, technisches Anwendungsfeld betrifft die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung bzw. die Durchleuchtung von Objekten insbesondere im Rahmen einer bildgebenden Sicherheitsüberprüfung oder im Rahmen einer bildgebenden Überprüfung von Frachtgut. Im letzteren Fall sind beispielsweise zur Durchleuchtung von großen Objekten, wie beispielsweise Frachtcontainer, Durchleuchtungssysteme bekannt, bei denen zur Erzeugung von Photonen im MeV-Bereich Linearbeschleuniger eingesetzt werden. Die bei der Durchstrahlung des Objekts abgeschwächte Röntgenstrahlung wird räumlich aufgelöst von einem Röntgendetektor detektiert.

**[0006]** Aus Gründen des Strahlenschutzes besteht in vielen Anwendungen die Anforderung, die außerhalb des Nutzstrahlenfeldes emittierte Röntgenstrahlung, insbesondere Streu- und Leckstrahlung, so weit wie möglich zu reduzieren. Die Reduzierung der Röntgenstrahlung außerhalb des Nutzstrahlenfeldes erfolgt typischerweise durch Abschirmungen und Kollimations-Blenden, welche maßgeblich zum Gesamtgewicht der Anlage, insbesondere des Linearbeschleunigers, beitragen.

**[0007]** Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung derart anzugeben, dass der Anteil der erzeugten Röntgenstrahlung außerhalb des gewünschten Nutzstrahlenfeldes reduziert ist.

**[0008]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Target zum Erzeugen von Röntgenstrahlung nach Anspruch 1, einen Linearbeschleuniger nach Anspruch 6 und ein Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung nach Anspruch 11.

**[0009]** Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0010]** Ein Target (auch: Streukörper) zum Erzeugen von Röntgenstrahlung durch Beaufschlagung mit einem geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom, weist gemäß der Erfindung eine zumindest zwei metallische Schichten umfassende Schichtstruktur auf. Eine von dem Teilchenstrom beaufschlagbare Targetoberfläche ist von einer ersten Schicht der Schichtstruktur gebildet, die aus einem ein erstes metallisches Element umfassenden Material besteht. Eine zweite Schicht der Schichtstruktur besteht aus einem ein zweites metallisches Element umfassenden Material. Die Ordnungszahl des ersten metallischen Elements ist kleiner als die Ordnungszahl des zweiten metallischen Elements.

**[0011]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass die Wechselwirkung der beschleunigten Teilchen, insbesondere Elektronen, mit den Atomen im Material des Targets bei gegebener Beschleunigung der Teilchen, also bei gegebener Beschleunigungsspannung, die Emission von Photonen bzw. Röntgenquanten innerhalb und außerhalb des Nutzstrahlenfeldes maßgeblich beeinflusst. Insbesondere bestimmt die Wechselwirkung zwischen dem Teilchenstrom und dem Material des Targets den Anteil und die Energie der zurückgestreuten Teilchen. Es hat sich nun gezeigt, dass diese zurückgestreuten Teilchen (auch: Sekundärelektronen) für einen signifikanten Anteil der Leck- und Streustrahlung außerhalb des Nutzstrahlenfeldes verantwortlich sind, da diese an anderen Stellen in einem der umliegenden Materialien abgebremst werden und so zur Emission von elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Röntgenstrahlung, beitragen.

**[0012]** Kern der Erfindung ist es, die Energie der zurückgestreuten Teilchen durch eine gezielte Anordnung von unterschiedlichen Materialien im Target zu reduzieren. Im Ergebnis kann dann eine erhebliche Massereduzierung durch Reduzierung der Abschirmung insbesondere entgegen der Strahlrichtung des einfallenden Teilchenstroms erfolgen.

**[0013]** Das Target gemäß der Erfindung ist so konstruiert, dass bei vergleichbarem Nutzstrahlenfeld der Anteil der zurückgestreuten Teilchen bzw. Elektroden gegenüber der bekannten Herangehensweise reduziert ist. Hierzu wird die Wechselwirkung der beschleunigten Teilchen mit den unterschiedlichen Materialien ausgenutzt. Für metallische Elemente mit einer großen Ordnungszahl (auch: Kernladungszahl, Atomnummer, Protonenzahl) ist diese Wechselwirkung im Allgemeinen stärker als mit metallischen Elementen mit geringerer Ordnungszahl. Damit ist sowohl die Ablenkung der Teilchen als Funktion der Eindringtiefe als auch die Ausbeute an erzeugter Röntgenstrahlung unterschiedlich. Um eine ma-

ximale Ausbeute an Röntgenstrahlung, insbesondere Bremsstrahlung, sicherzustellen, wäre somit das Target so auszulegen, dass die mit dem Teilchenstrom beaufschlagte bzw. beaufschlagbare Targetoberfläche aus einem Material besteht, welches Elemente mit möglichst großer Kernladungszahl umfasst.

**[0014]** Die Auslegung des Targets zeichnet sich dadurch aus, dass ein Material mit kleinerer Ordnungszahl aus Sicht des einfallenden Teilchenstroms vorgelagert ist. Mit anderen Worten ist die beaufschlagbare Targetoberfläche von der ersten Schicht gebildet, deren Material metallische Elemente mit einer kleineren Ordnungszahl aufweist. Die an die erste Schicht insbesondere unmittelbar angrenzende zweite Schicht umfasst entsprechend metallische Elemente mit größerer Ordnungszahl. Bei einer derartigen konstruktiven Ausführung des Targets ist die Ausbeute an Röntgenstrahlung pro einfallendem Teilchen etwas reduziert, jedoch ist der Anteil der rückgestreuten Teilchen, insbesondere Elektronen, wesentlich stärker reduziert. Die zur Abschwächung von Röntgenstrahlung außerhalb des vorgesehenen Nutzstrahlungsfeldes vorgesehene Abschirmung kann maßgeblich, in Anwendungsfällen insbesondere um mehr als eine Halbwertschichtdicke reduziert werden. Da die Abschirmung bei den meisten Röntgenstrahlern zur Erzeugung von hochenergetischer Röntgenstrahlung den größten Anteil am Gesamtgewicht hat, ist der Gewichtsvorteil für das Gesamtsystem bedeutsam.

**[0015]** Die Schichtstruktur des Targets umfasst zumindest zwei Schichten. In Ausgestaltung ist das Target von einer Schichtstruktur mit genau zwei Schichten gebildet.

**[0016]** In Ausgestaltung beträgt die Ordnungszahl des ersten metallischen Elements weniger als 36 und die Ordnungszahl des zweiten metallischen Elements mehr als 36. Das erste metallische Element ist beispielsweise ein Metall der dritten oder vierten Periode, wie etwa Kupfer (Cu). Das zweite metallische Element ist beispielsweise ein Metall der fünften oder sechsten Periode, wie etwa Wolfram (W).

**[0017]** In Ausgestaltung beträgt die Differenz zwischen der Ordnungszahl des zweiten metallischen Elements und der Ordnungszahl des ersten metallischen Elements zumindest 18.

**[0018]** In Ausgestaltung ist das erste und zweite Material ein Metall oder eine Metalllegierung. Im Falle, dass das erste und/oder zweite Material ein homogenes Metall ist, kann dieses insbesondere vom ersten und/oder zweiten metallischen Element gebildet sein. Ist das erste und/oder zweite Material eine Metalllegierung, so ist entsprechend das erste und/oder zweite metallische Element Bestandteil der Metalllegierung.

**[0019]** In Ausgestaltung ist das erste metallische Element Kupfer und das zweite metallische Element Wolfram. Die erste Schicht kann insbesondere aus einer Kupfer enthaltenden Metalllegierung bestehen. Die zweite Schicht kann insbesondere aus einer Wolfram enthaltenden Metalllegierung bestehen. Alternativ dazu kann die erste Schicht im Wesentlichen aus elementarem Kupfer

und die erste Schicht im Wesentlichen aus elementarem Wolfram bestehen. Der Begriff "im Wesentlichen" ist dabei so zu verstehen, dass auch Verunreinigungen durch Fremdmetalle und/oder Oxidation beinhaltet sind.

**[0020]** In Ausgestaltung liegt eine Schichtdicke der ersten Schicht im Bereich zwischen dem 0,3 bis 0,7-fachen der Reichweite von Elektronen im Material, aus dem die erste Schicht gebildet ist. Eine Schichtdicke der zweiten Schicht liegt entsprechend ebenfalls bevorzugt im Bereich zwischen dem 0,3 bis 0,7-fachen der Reichweite von Elektronen im Material, aus dem die zweite Schicht gebildet ist. Die Schichtdicke der ersten Schicht ist somit insbesondere in Abhängigkeit der mittleren Teilchenenergie des das Target beaufschlagenden Teilchenstroms so gewählt, dass zumindest ein wesentlicher Anteil der einfallenden Teilchen die erste Schicht durchdringt. Mit anderen Worten ist die mittlere Eindringtiefe der einfallenden Teilchen größer als die Schichtdicke der ersten Schicht. Die mittlere Teilchenenergie liegt insbesondere im Bereich von MeV.

**[0021]** Es versteht sich, dass der Übergang von der zumindest einen ersten Schicht zu der zumindest einen zweiten Schicht nicht zwingend abrupt verlaufen muss, vielmehr kann in Ausgestaltung vorgesehen sein, dass sich die Materialzusammensetzung des Targets von der ersten zur zweiten Schicht kontinuierlich ändert. Zur Herstellung derartiger Targets mit variierender Materialzusammensetzung bieten sich insbesondere generative Fertigungsverfahren an, wie beispielsweise Sintern, selektives Laserschmelzen oder 3D-Druck.

**[0022]** Ein Röntgenemitter mit einer einen Teilchenstrom emittierenden Teilchenquelle und einer Beschleunigungsvorrichtung, insbesondere eine mehrere miteinander gekoppelte Hohlraumresonatoren umfassende Beschleunigungsvorrichtung eines Linearbeschleunigers, ist dazu ausgebildet, einen auf ein Target, insbesondere auf das vorstehend bereits genannte Target, gerichteten Teilchenstrom zu erzeugen.

**[0023]** Gemäß der Erfindung weist das Target eine zumindest zwei metallische Schichten umfassende Schichtstruktur auf, wobei die von dem Teilchenstrom beaufschlagbare Targetoberfläche von der ersten Schicht der Schichtstruktur gebildet ist, die aus dem das erste metallische Element umfassenden Material besteht. Die zweite Schicht der Schichtstruktur ist aus dem das zweite metallische Element umfassenden Material gebildet, wobei die Ordnungszahl des ersten metallischen Elements kleiner ist als die Ordnungszahl des zweiten metallischen Elements.

**[0024]** Die Vorzüge eines Röntgenemitters mit einem derartig ausgebildeten und ausgerichteten Target ergibt sich unmittelbar aus der bisherigen Beschreibung. Da die beaufschlagbare Targetoberfläche von der ersten, Konstituenten mit niedriger Ordnungszahl umfassenden, Schicht gebildet ist, ist der Anteil insbesondere an zurückgestreuten Teilchen bzw. Elektronen reduziert. Dies verringert Streu- und Leckstrahlung, die von diesen zurückgestreuten Teilchen verursacht werden. Die Ab-

schirmung insbesondere in Rückwärtsrichtung zum einfallenden Teilchenstrom kann daher reduziert werden. Dies führt zu einer erheblichen Gewichtsreduzierung, da das Gesamtgewicht der Anlage maßgeblich von der Dimensionierung der Abschirmung bestimmt ist.

**[0025]** In Ausgestaltung ist der die Targetoberfläche beaufschlagende Teilchenstrom entlang einer Strahlachse ausgerichtet, welche im Wesentlichen senkrecht zu den zumindest zwei Schichten der Schichtstruktur verläuft. Die erste und die zweite Schicht grenzen insbesondere unmittelbar aneinander an und verlaufen beispielsweise zueinander planparallel.

**[0026]** In Ausgestaltung ist die Beschleunigungsvorrichtung dazu ausgebildet, die Teilchen im Teilchenstrom auf eine mittlere Teilchenenergie im Bereich von MeV, insbesondere im Bereich von mehr als 1MeV und weniger als 20MeV, zu beschleunigen. Die Beaufschlagung des Targets erfolgt insbesondere derart, dass die Abstrahlung der Röntgen- bzw. Bremsstrahlung zum großen Teil in Richtung des einfallenden Teilchenstroms, also nach zumindest abschnittsweiser Durchstrahlung des Targets erfolgt. In diesem Sinne kann das Target auch als Transmissionstarget bezeichnet werden. Hierbei ist insbesondere die mittlere Teilchenenergie in Abhängigkeit der Schichtdicken zumindest der einen ersten und zweiten Schicht entsprechend zu wählen.

**[0027]** In Ausgestaltung ist das Target zur Abstrahlung von Röntgenstrahlung in einem Raumwinkelbereich von weniger als  $60^\circ$  um die Strahlachse, bevorzugt von etwa  $35^\circ$  um die Strahlachse, insbesondere in Richtung, also in gedachter Verlängerung des die Targetoberfläche beaufschlagenden Teilchenstroms, angeordnet. Mit anderen Worten sind das Nutzstrahlenfeld und der einfallende Teilchenstrom auf gegenüberliegenden Seiten des Targets angeordnet.

**[0028]** Ein Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung durch Beaufschlagung eines Targets, insbesondere des bereits beschriebenen Targets, mit einem geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom ist dadurch charakterisiert, dass das Target eine zumindest zwei metallische Schichten umfassende Schichtstruktur aufweist. Die von dem Teilchenstrom beaufschlagte Targetoberfläche ist von der ersten Schicht der Schichtstruktur gebildet. Die erste Schicht besteht aus dem das erste metallische Element umfassenden Material und die zweite Schicht der Schichtstruktur besteht aus dem das zweite metallische Element umfassenden Material. Die Ordnungszahl des ersten metallischen Elements ist kleiner als die Ordnungszahl des zweiten metallischen Elements.

**[0029]** Die Vorzüge des Verfahrens unter Verwendung eines derartig ausgebildeten und ausgerichteten Targets ergibt sich unmittelbar aus der bisherigen Beschreibung mit Bezug auf die entsprechende Vorrichtung. Bei einer Beaufschlagung einer Targetoberfläche, die von der ersten, Konstituenten mit niedriger Ordnungszahl umfassenden, Schicht gebildet ist, ergibt sich eine veränderte Ausbeute von Röntgenstrahlung pro einfallendem Teil-

chen. Insbesondere ist der in Richtung der Strahlachse, also in Vorwärtsrichtung des Teilchenstroms emittierte Anteil der Röntgenstrahlung in Relation zu den in Rückwärtsrichtung gestreuten Teilchen verändert. Bei einer gegebenen Ausbeute von Röntgenstrahlung in Vorwärtsrichtung kann der Anteil der in Rückwärtsrichtung gestreuten Teilchen bzw. Elektronen, insbesondere gegenüber bekannten Verfahren, verringert werden.

**[0030]** In Ausgestaltung ist der die Targetoberfläche beaufschlagende Teilchenstrom entlang einer Strahlachse ausgerichtet, welche im Wesentlichen senkrecht zu den zumindest zwei Schichten der Schichtstruktur verläuft. Die zweite Schicht kann insbesondere eine dem Teilchenstrom abgewandte Seite des Targets bilden.

**[0031]** In Ausgestaltung ist das Target zur Abstrahlung von Röntgenstrahlung in einem Raumwinkelbereich von weniger als  $60^\circ$  um die Strahlachse, bevorzugt von etwa  $35^\circ$  um die Strahlachse, insbesondere in Richtung des die Targetoberfläche beaufschlagenden Teilchenstroms, angeordnet. Mit anderen Worten sind das Nutzstrahlungsfeld und der einfallende Teilchenstrom auf gegenüberliegenden Seiten des Targets angeordnet.

**[0032]** In Ausgestaltung werden die Teilchen im Teilchenstrom mit Hilfe einer Beschleunigungsvorrichtung, insbesondere mit Hilfe einer mehrere gekoppelte Hohlraumresonatoren umfassenden Beschleunigungsvorrichtung eines Linearbeschleunigers, auf eine mittlere Teilchenenergie im Bereich von MeV, insbesondere im Bereich von mehr als 1MeV und weniger als 20MeV, beschleunigt. Mit anderen Worten wird vorzugsweise ein Teilchenstrom generiert, mit dem Brems- bzw. Röntgenstrahlung in einem Spektralbereich erzeugt werden kann, die zum Durchleuchten von massiven Behältnissen, wie insbesondere den im Warenverkehr gängigen Gütercontainern, Frachtcontainern oder Eisenbahnwägen geeignet ist.

**[0033]** In Ausgestaltung wird die erzeugte Röntgenstrahlung, insbesondere Bremsstrahlung, für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, für die bildgebende Überprüfung von Frachtgut und/oder für die medizinische Strahlentherapie bereitgestellt.

**[0034]** Für eine weitere Beschreibung der Erfindung wird auf das in den Zeichnungsfiguren gezeigte Ausführungsbeispiel verwiesen. Es zeigen in einer schematischen Darstellung:

Fig. 1: den schematischen Aufbau eines Röntgenemitters mit einem Linearbeschleuniger;

Fig. 2: ein eine Schichtstruktur aufweisendes Target für den Röntgenemitter der Fig. 1;

Fig. 3: eine schematische Illustration des in Vorwärtsrichtung emittierten Röntgenbremsspektrums eines erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels im Vergleich zu einem nicht-erfindungsgemäßen Vergleichsbeispiel;

Fig. 4: eine schematische Illustration der Winkelverteilung des in Vorwärtsrichtung emittierten Röntgenbremspektrums des Ausführungsbeispiels im Vergleich zum Vergleichsbeispiel;

Fig. 5: eine schematische Illustration des in Rückwärtsrichtung zurückgestreuten Streuspektrums des Ausführungsbeispiels im Vergleich zum Vergleichsbeispiel;

Fig. 6: eine schematische Illustration der Winkelverteilung der zurückgestreuten Elektronen des Ausführungsbeispiels im Vergleich zum Vergleichsbeispiel.

[0035] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0036] Figur 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Röntgenemitters 10 mit einem Target 11, das von einem insbesondere gepulsten Teilchenstrom geladener Teilchen  $e$  beaufschlagt wird, um Röntgen- bzw. Bremsstrahlung  $\gamma$  zu erzeugen. Der Puls bzw. pulsierte Teilchenstrom  $e$  geladener Teilchen -im vorliegenden Fall sind dies Elektronen- ist mittels des Linearbeschleunigers 1 erzeugbar, welcher eine Teilchenquelle 2, beispielsweise eine Elektronenkanone, und eine Beschleunigungsvorrichtung 3, beispielsweise eine Beschleunigeröhre mit mehreren gekoppelten Hohlraumresonatoren 4, insbesondere zur Erzeugung von elektromagnetischen Wanderwellen, umfasst. Eine Energieversorgung 5 versorgt die Beschleunigungsvorrichtung 3 mit einer Hochfrequenzleistung, um innerhalb der gekoppelten Hohlraumresonatoren 4 ein hochfrequentes Wechselfeld zur Beschleunigung des Teilchenstroms zu erzeugen, welcher von der Teilchenquelle 2 in die Beschleunigungsvorrichtung zu vorgegebenen Zeitpunkten eingeschossen bzw. injiziert wird.

[0037] Die Zufuhr der Hochfrequenzleistung kann insbesondere periodisch, d. h. in Form von der Beschleunigungsvorrichtung 3 zugeführten Hochfrequenzpulsen, erfolgen. Eine Steuerung bzw. Steuerungseinrichtung 6 ist sowohl mit der Teilchenquelle 2 als auch der Energieversorgung 5 verbunden und dazu ausgebildet, das Einkoppeln oder "Einschießen" des Teilchenstroms in die Beschleunigungsvorrichtung 3 hinsichtlich der periodisch zugeführten Hochfrequenzleistung zeitlich zu synchronisieren.

[0038] Einrichtungen zur Strahlformung sind in Figur 1 nicht explizit dargestellt. Es versteht sich, dass insbesondere zwischen der Beschleunigungsvorrichtung 3 und dem Target 11 ein Umlenkmagnet angeordnet sein kann.

[0039] Der Teilchenstrom  $e$  ist parallel zur Strahlachse A auf das Target 11 gerichtet. Das Nutzstrahlenfeld N für die erzeugte Röntgenstrahlung  $\gamma$  ist im Wesentlichen auf einen kegelförmigen Raumwinkelbereich um die Strahlachse A begrenzt, wobei der Öffnungswinkel  $\alpha$  zwischen der den Raumwinkelbereich umschließenden Ke-

gelfläche und der Strahlachse A  $60^\circ$  oder weniger beträgt.

[0040] Das Target 11 weist eine Schichtstruktur S auf, die im Detail in Figur 2 dargestellt ist. Das Target 11 ist von zwei im wesentlichen homogenen Schichten S1, S2 gebildet.

[0041] Das Material der ersten Schicht S1 umfasst ein erstes metallisches Element von relativ niedriger Ordnungszahl Z. Im exemplarisch dargestellten Beispiel ist das erste metallische Element Kupfer ( $Z=29$ ). Konkret ist die erste Schicht S1 in der nicht einschränkend aufzufassenden Ausführung aus Kupfer gebildet.

[0042] In einem anderen Ausführungsbeispiel ist die erste Schicht S1 von einer Kupfer (Cu) enthaltenden Metalllegierung gebildet.

[0043] Das Material der zweiten Schicht S2 umfasst ein zweites metallisches Element von relativ großer Ordnungszahl Z. Im exemplarisch dargestellten Beispiel ist das zweite metallische Element Wolfram ( $Z=74$ ). Konkret ist die zweite Schicht S2 in der nicht einschränkend aufzufassenden Ausführung aus Wolfram (W) gebildet.

[0044] In einem anderen Ausführungsbeispiel ist die zweite Schicht S2 von einer Wolfram enthaltenden Metalllegierung gebildet.

[0045] Eine vom einfallenden Teilchenstrom  $e$  beaufschlagte Targetoberfläche T ist von der ersten Schicht S1 mit leichteren Konstituenten niedriger Ordnungszahl Z gebildet. Die zweite Schicht S2 ist in Richtung der gegenüberliegenden Austrittseite für Röntgenstrahlung  $\gamma$  orientiert.

[0046] Gegenüber einer Auslegung und Ausrichtung des Targets dergestalt, dass die vom Teilchenstrom  $e$  beaufschlagte Targetoberfläche T von einem Material mit relativ großer Ordnungszahl Z (beispielsweise Wolfram) gebildet ist, findet man eine veränderte Strahlungscharakteristik vor. Zunächst ist festzustellen, dass der Anteil an zurückgestreuten Teilchen, also der Anteil von entgegen der Einfallsrichtung gestreuten Sekundärelektronen  $e_2$ , vermindert ist. Die veränderte Strahlungscharakteristik ist in den Diagrammen der Figuren 3 bis 6 anhand von Simulationsergebnissen illustriert.

[0047] Die Auslegung des Targets 11 entsprechend dem dargestellten Ausführungsbeispiel zeichnet sich also dadurch aus, dass aus Sicht des einfallenden Teilchen- bzw. Elektronenstrahls die erste Schicht S1 aus einem Material mit kleinerer Ordnungszahl Z der zweiten Schicht S2 aus einem Material mit der größeren Ordnungszahl Z vorgelagert ist. Hierdurch wird die Ausbeute an Röntgenbremsstrahlung pro Teilchen bzw. Elektron zunächst etwas reduziert, jedoch ist der Anteil an rückgestreuten Teilchen bzw. Sekundärelektronen  $e_2$  wesentlich stärker minimiert.

[0048] Als Vergleichsbeispiel dient ein Target, dessen beaufschlagte Targetoberfläche von Wolfram gebildet ist. In den Diagrammen der Figuren 3 bis 6 sind die Kurven, welche das erfindungsgemäße Ausführungsbeispiel betreffen, durchgezogen und die des Vergleichsbeispiels gestrichelt dargestellt.

**[0049]** Figur 3 illustriert das Röntgenbremsspektrum der emittierten Röntgenstrahlung  $\gamma$  des Ausführungsbeispiels und des Vergleichsbeispiels.

**[0050]** Auf der X-Achse ist die Energie der emittierten Photonen bzw. Röntgenquanten in MeV dargestellt. Die mittlere Energie der emittierten Spektren ist auf der X-Achse als Marker X1 verzeichnet. Auf der linken Y-Achse ist die Anzahl der Photonen der entsprechenden Energie dargestellt, während auf der rechten Y-Achse das Summenprodukt des jeweiligen Spektrums als Dosisäquivalent D mit einem weiteren Marker X2 skaliert ist.

**[0051]** Es ist ersichtlich, dass die Simulation durch Anpassen der Anzahl von eingeschossenen Teilchen dahingehend angeglichen wurde, dass jeweils in Strahlrichtung, also in einem Raumwinkelbereich, der von einem Öffnungswinkel  $\alpha = \pm 50^\circ$  bezüglich der Strahlachse A definiert ist, jeweils im Wesentlichen die gleiche Strahlungscharakteristik hinsichtlich Anzahl der emittierten Photonen und emittiertem Dosisäquivalent D vorliegt. Insbesondere entsprechen die jeweils emittierten Röntgenbremsspektren des Ausführungs- und des Vergleichsbeispiels hinsichtlich ihrer mittleren Energie (X1) und Dosisäquivalent (X2) einander. Bei der Variante entsprechend dem Ausführungsbeispiel wurden hierzu etwa 1,4-mal so viele beschleunigte Teilchen benötigt wie bei der Variante gemäß dem Vergleichsbeispiel. Der Simulation des Ausführungsbeispiels liegt somit ein um das 1,4-fach erhöhter Teilchenstrom  $e$  zugrunde.

**[0052]** Figur 4 illustriert die Energiefluenz der Photonen (Y-Achse) in Abhängigkeit des Winkels (X-Achse) der in Vorwärtsrichtung, also in Richtung des einfallenden Teilchenstroms  $e$  emittierten Röntgenstrahlung  $\gamma$ . Ein Winkel  $0^\circ$  korrespondiert zu einer Trajektorie parallel zur Strahlachse A. Es ist ersichtlich, dass die Photonenverteilung über den Winkel bei dem Vergleichsbeispiel etwas stärker vorwärts gerichtet ist als beim Ausführungsbeispiel, d. h. die emittierte Röntgenstrahlung  $\gamma$  ist etwas stärker auf den achsnahen Bereich um die Strahlachse A konzentriert.

**[0053]** Die Charakteristik der zurückgestreuten, also entgegen des einfallenden Teilchenstroms  $e$  gestreuten Streuspektrums geladener Teilchen ist in Figuren 5 und 6 illustriert. Es ist eine äquivalente Darstellung wie in Figuren 3 und 4 gewählt, jedoch für die entgegen der Nutzstrahlrichtung gestreuten Teilchen bzw. Elektronen.

**[0054]** Figur 5 illustriert das in Rückwärtsrichtung zurückgestreute Streuspektrum des Ausführungsbeispiels im Vergleich zum Vergleichsbeispiel.

**[0055]** Auf der X-Achse ist die Energie der zurückgestreuten Teilchen bzw. Sekundärelektronen  $e_2$  in MeV dargestellt. Die mittlere Energie der Streuspektren ist auf der X-Achse als Marker X3, X4 verzeichnet. Auf der linken Y-Achse ist die Anzahl der zurückgestreuten Teilchen (Elektronen) der entsprechenden Energie dargestellt, während auf der rechten Y-Achse das Summenprodukt des jeweiligen Spektrums als Dosisäquivalent D mit weiteren Markern X5, X6 verzeichnet ist.

**[0056]** Sowohl die mittlere Energie X3 als auch die An-

zahl der rückgestreuten Elektronen bzw. das Dosisäquivalent X5 ist bei der Variante gemäß dem Ausführungsbeispiel deutlich geringer als die entsprechenden Werte X4, X6 des Vergleichsbeispiels. Vergleicht man die mit ihrer jeweiligen Energie gewichteten zurückgestreuten Teilchen bzw. Elektronen untereinander (siehe Dosisäquivalent), so ergibt sich ein Unterschied von etwa einem Faktor 3.

**[0057]** Die Energiefluenzverteilung der zurückgestreuten Teilchen bzw. Elektronen über den Winkel ist in Figur 6 dargestellt. Ein Winkel  $0^\circ$  korrespondiert zu einer Trajektorie antiparallel zur Strahlachse A, also einer Trajektorie, die dem einfallenden Teilchenstrom  $e$  entgegen gerichtet ist. Es ist ersichtlich, dass bei dem Ausführungsbeispiel insgesamt deutlich weniger Teilchen bei dem Ausführungsbeispiel zurückgestreut werden, als bei dem Vergleichsbeispiel.

**[0058]** Obwohl die Erfindung im Detail mit Bezug auf das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht hierdurch eingeschränkt. Andere Variationen und Kombinationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne vom wesentlichen Gedanken der Erfindung abzuweichen.

## Patentansprüche

1. Target (11) zum Erzeugen von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) durch Beaufschlagung mit einem geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom ( $e$ ), **gekennzeichnet durch** eine zumindest zwei metallische Schichten (S1, S2) umfassenden Schichtstruktur (S), wobei eine von dem Teilchenstrom ( $e$ ) beaufschlagbare Targetoberfläche (T) von einer ersten Schicht (S1) der Schichtstruktur (S) gebildet ist, die aus einem ein erstes metallisches Element umfassendes Material besteht, wobei eine zweite Schicht (S2) der Schichtstruktur aus einem ein zweites metallisches Element umfassendes Material besteht, wobei die Ordnungszahl (Z) des ersten metallischen Elements kleiner ist als die Ordnungszahl (Z) des zweiten metallischen Elements.
2. Target (11) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ordnungszahl (Z) des ersten metallischen Elements weniger als 36 und die Ordnungszahl (Z) des zweiten metallischen Elements mehr als 36 beträgt.
3. Target (11) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und zweite Material ein Metall oder eine Metalllegierung ist.
4. Target (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste metallische Element Kupfer und das zweite metallische Element Wolfram ist.

5. Target (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Schichtdicke der ersten Schicht (S1) im Bereich zwischen dem 0,3 bis 0,7-fachen der Reichweite von Elektronen im Material der ersten Schicht liegt und eine Schichtdicke der zweiten Schicht (S2) im Bereich zwischen dem 0,3 bis 0,7-fachen der Reichweite von Elektronen im Material der zweiten Schicht liegt.
6. Target (11) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) mittels eines generativen Fertigungsverfahrens, insbesondere mittels Sintern, selektivem Laserschmelzen oder 3D-Druck, gebildet ist, insbesondere derart, dass die Materialzusammensetzung des Targets (11) zwischen der zumindest einen ersten und der zumindest einen zweiten Schicht (S1, S2) kontinuierlich variabel ist.
7. Röntgenemitter (10) mit einer ersten Teilchenstrom (e) emittierenden Teilchenquelle (2) und einer Beschleunigungsvorrichtung (3), insbesondere einer mehreren miteinander gekoppelten Hohlraumresonatoren (4) umfassenden Beschleunigungsvorrichtung (3) eines Linearbeschleunigers (1), die dazu ausgebildet ist, einen auf ein Target (11) gerichteten Teilchenstrom (e) zu erzeugen, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11), insbesondere das gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche ausgebildete Target (11), eine zumindest zwei metallische Schichten (S1, S2) umfassende Schichtstruktur (S) aufweist, wobei eine von dem Teilchenstrom (e) beaufschlagbare Targetoberfläche (T) von einer ersten Schicht (S1) der Schichtstruktur (S) gebildet ist, die aus einem ersten metallischen Element umfassendes Material besteht, wobei eine zweite Schicht (S2) der Schichtstruktur (S) aus einem zweiten metallischen Element umfassendes Material besteht, wobei die Ordnungszahl (Z) des ersten metallischen Elements kleiner ist als die Ordnungszahl (Z) des zweiten metallischen Elements.
8. Röntgenemitter (10) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der die Targetoberfläche (T) beaufschlagende Teilchenstrom (e) entlang einer Strahlachse (A) ausgerichtet ist, welche im Wesentlichen senkrecht zu den zumindest zwei Schichten (S1, S2) der Schichtstruktur (S) verläuft.
9. Röntgenemitter (10) nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschleunigungsvorrichtung (3) dazu ausgebildet ist, die Teilchen im Teilchenstrom (e) auf eine mittlere Teilchenenergie im Bereich von MeV, insbesondere im Bereich von mehr als 1 MeV und weniger als 20 MeV, zu beschleunigen.
10. Röntgenemitter (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) zur Abstrahlung von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) in einem Raumwinkelbereich von weniger als  $60^\circ$  um die Strahlachse (A), bevorzugt von etwa  $35^\circ$  um die Strahlachse (A), insbesondere in Richtung der die Targetoberfläche (T) beaufschlagenden Teilchenstroms (e), angeordnet ist.
11. Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) durch Beaufschlagung eines Targets (11) mit einem geladenen Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom (e) **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) eine zumindest zwei metallische Schichten (S1, S2) umfassende Schichtstruktur (S) aufweist, wobei eine von dem Teilchenstrom (e) beaufschlagte Targetoberfläche (T) von einer ersten Schicht (S1) der Schichtstruktur (S) gebildet ist, die aus einem ersten metallischen Element umfassendes Material besteht, wobei eine zweite Schicht (S2) der Schichtstruktur (S) aus einem zweiten metallischen Element umfassendes Material besteht, wobei die Ordnungszahl (Z) des ersten metallischen Elements kleiner ist als die Ordnungszahl (Z) des zweiten metallischen Elements.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der die Targetoberfläche (T) beaufschlagende Teilchenstrom (e) entlang einer Strahlachse (A) ausgerichtet ist, welche im Wesentlichen senkrecht zu den zumindest zwei Schichten (S1, S2) der Schichtstruktur (S) verläuft.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) zur Abstrahlung von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) in einem Raumwinkelbereich von weniger als  $60^\circ$  um die Strahlachse (A), bevorzugt von etwa  $35^\circ$  um die Strahlachse (A), insbesondere in Richtung der die Targetoberfläche (T) beaufschlagenden Teilchenstroms (e), angeordnet ist.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilchen im Teilchenstrom (e) mit Hilfe einer Beschleunigungsvorrichtung (3), insbesondere mit Hilfe einer mehreren gekoppelten Hohlraumresonatoren (4) umfassenden Beschleunigungsvorrichtung (3) eines Linearbeschleunigers (1), auf eine mittlere Teilchenenergie im Bereich von MeV, insbesondere im Bereich von mehr als 1 MeV und weniger als 20 MeV, beschleunigt werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erzeugte Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ), insbesondere Bremsstrahlung, für die nicht zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, für die bildgebende Überprüfung von Frachtgut und/oder

für die medizinische Strahlentherapie bereitgestellt wird.

#### Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

1. Röntgenemitter (10) mit einer einen Teilchenstrom (e) emittierenden Teilchenquelle (2) und einer Beschleunigungsvorrichtung (3), insbesondere einer mehreren miteinander gekoppelte Hohlraumresonatoren (4) umfassenden Beschleunigungsvorrichtung (3) eines Linearbeschleunigers (1), die dazu ausgebildet ist, einen auf ein Target (11) gerichteten Teilchenstrom (e) zu erzeugen, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) eine zumindest zwei metallische Schichten (S1, S2) umfassende Schichtstruktur (S) aufweist, wobei eine aus Sicht des einfallenden Teilchenstroms (e) vorgelagerte, vom Teilchenstrom (e) beaufschlagte Targetoberfläche (T) von einer ersten Schicht (S1) der Schichtstruktur (S) gebildet ist, die aus einem ersten metallischen Element umfassendes Material besteht, wobei eine nachgelagerte zweite Schicht (S2) der Schichtstruktur (S) aus einem zweiten metallischen Element umfassendes Material besteht, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ordnungszahl (Z) des ersten metallischen Elements weniger als 36 und die Ordnungszahl (Z) des zweiten metallischen Elements mehr als 36 beträgt.
2. Röntgenemitter (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der die Targetoberfläche (T) beaufschlagende Teilchenstrom (e) entlang einer Strahlachse (A) ausgerichtet ist, welche im Wesentlichen senkrecht zu den zumindest zwei Schichten (S1, S2) der Schichtstruktur (S) verläuft.
3. Röntgenemitter (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Beschleunigungsvorrichtung (3) dazu ausgebildet ist, die Teilchen im Teilchenstrom (e) auf eine mittlere Teilchenenergie im Bereich von MeV, insbesondere im Bereich von mehr als 1MeV und weniger als 20MeV, zu beschleunigen.
4. Röntgenemitter (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) zur Abstrahlung von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) in einem Raumwinkelbereich von weniger als 60° um die Strahlachse (A), bevorzugt von etwa 35° um die Strahlachse (A), insbesondere in Richtung des die Targetoberfläche (T) beaufschlagenden Teilchenstroms (e), angeordnet ist.
5. Röntgenemitter (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und zweite Material ein Metall oder eine Me-

talllegierung ist.

6. Röntgenemitter (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste metallische Element Kupfer und das zweite metallische Element Wolfram ist.
7. Röntgenemitter (10) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilchen im Teilchenstrom (e) Elektronen sind und eine Schichtdicke der ersten Schicht (S1) im Bereich zwischen dem 0,3 bis 0,7-fachen der Reichweite von solchen Elektronen im Material der ersten Schicht liegt und eine Schichtdicke der zweiten Schicht (S2) im Bereich zwischen dem 0,3 bis 0,7-fachen der Reichweite von solchen Elektronen im Material der zweiten Schicht liegt.
8. Röntgenemitter (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) mittels eines generativen Fertigungsverfahrens, insbesondere mittels Sintern, selektivem Laserschmelzen oder 3D-Druck, gebildet ist, insbesondere derart, dass die Materialzusammensetzung des Targets (11) zwischen der zumindest einen ersten und der zumindest einen zweiten Schicht (S1, S2) kontinuierlich variabel ist.
9. Verfahren zum Erzeugen von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) durch Beaufschlagung eines Targets (11) mit einem geladene Teilchen, insbesondere Elektronen, enthaltenden Teilchenstrom (e), wobei das Target (11) eine zumindest zwei metallische Schichten (S1, S2) umfassende Schichtstruktur (S) aufweist, wobei eine aus Sicht des einfallenden Teilchenstroms (e) vorgelagerte, vom Teilchenstrom (e) beaufschlagte Targetoberfläche (T) von einer ersten Schicht (S1) der Schichtstruktur (S) gebildet ist, die aus einem ersten metallischen Element umfassendes Material besteht, wobei eine nachgelagerte zweite Schicht (S2) der Schichtstruktur (S) aus einem zweiten metallischen Element umfassendes Material besteht, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ordnungszahl (Z) des ersten metallischen Elements weniger als 36 und als die Ordnungszahl (Z) des zweiten metallischen Elements mehr als 36 beträgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der die Targetoberfläche (T) beaufschlagende Teilchenstrom (e) entlang einer Strahlachse (A) ausgerichtet ist, welche im Wesentlichen senkrecht zu den zumindest zwei Schichten (S1, S2) der Schichtstruktur (S) verläuft.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Target (11) zur Abstrahlung von Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ) in einem Raumwinkelbereich von weniger als 60° um die Strahlachse (A), bevorzugt von etwa 35° um die Strahlachse (A),

insbesondere in Richtung des die Targetoberfläche (T) beaufschlagenden Teilchenstroms (e), angeordnet ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Teilchen im Teilchenstrom (e) mit Hilfe einer Beschleunigungsvorrichtung (3), insbesondere mit Hilfe einer mehrere gekoppelte Hohlraumresonatoren (4) umfassenden Beschleunigungsvorrichtung (3) eines Linearbeschleunigers (1), auf eine mittlere Teilchenenergie im Bereich von MeV, insbesondere im Bereich von mehr als 1MeV und weniger als 20MeV, beschleunigt werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erzeugte Röntgenstrahlung ( $\gamma$ ), insbesondere Bremsstrahlung, für die nicht zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, für die bildgebende Überprüfung von Frachtgut und/oder für die medizinische Strahlentherapie bereitgestellt wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

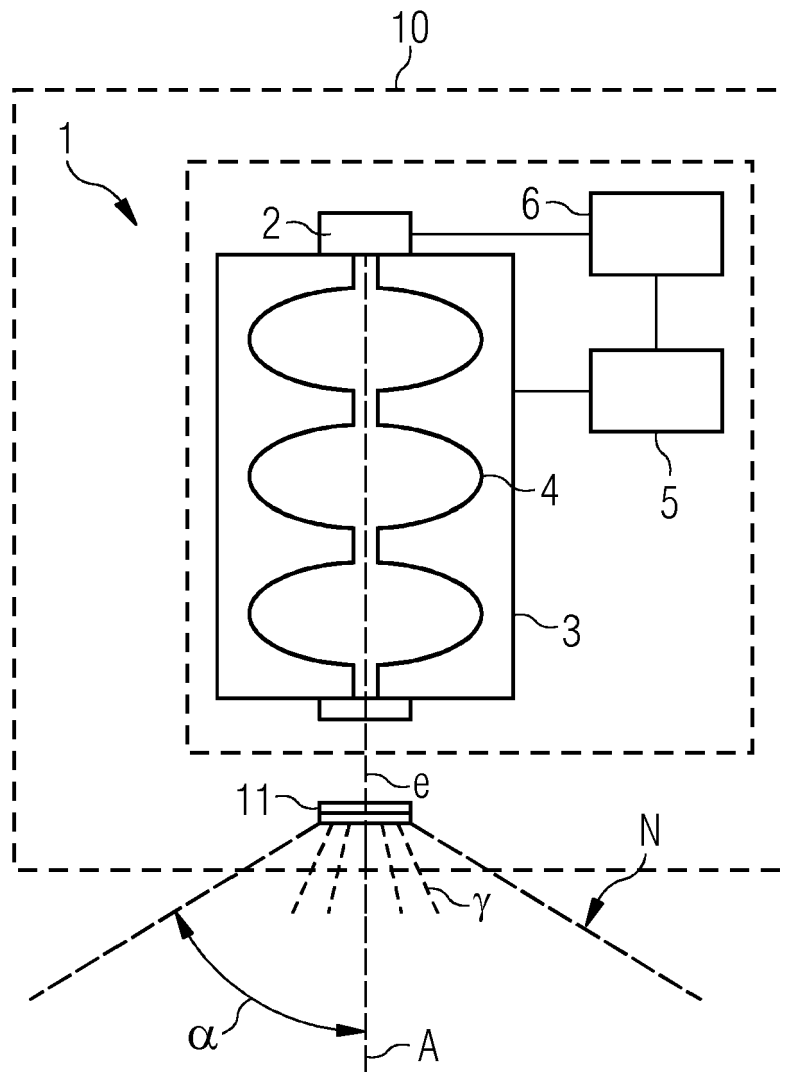


FIG 2

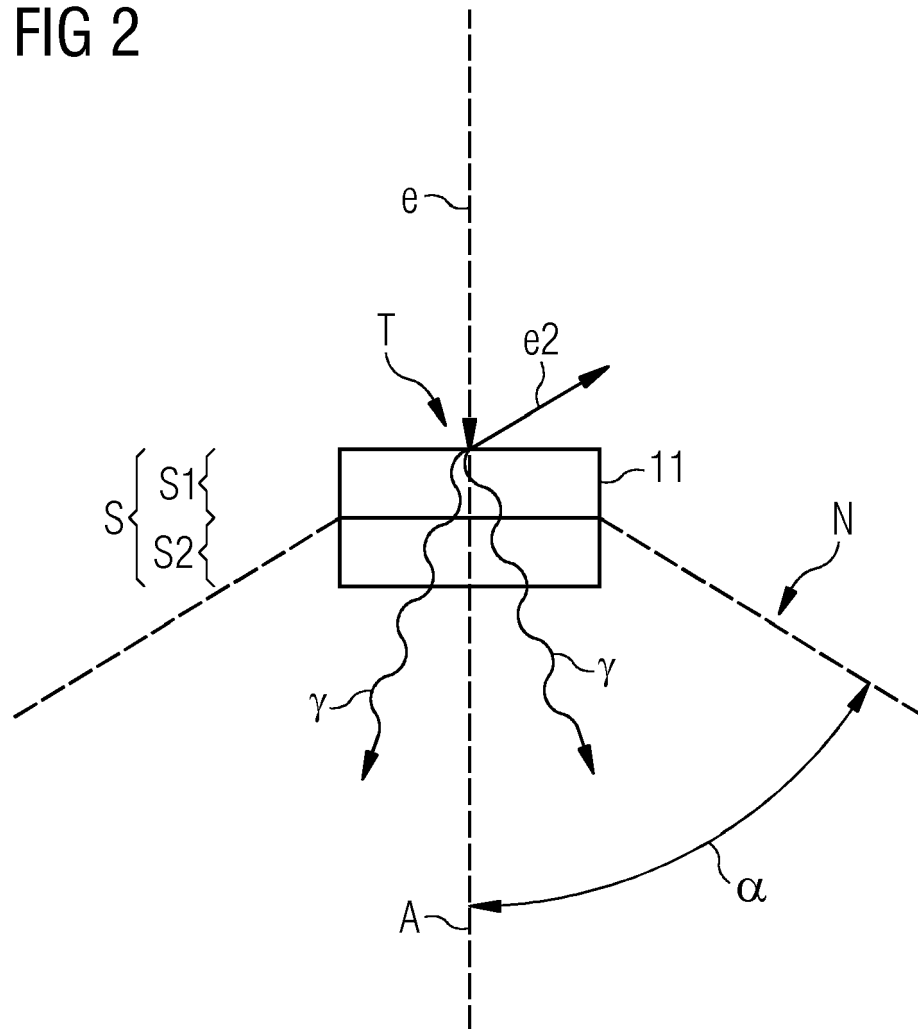


FIG 3

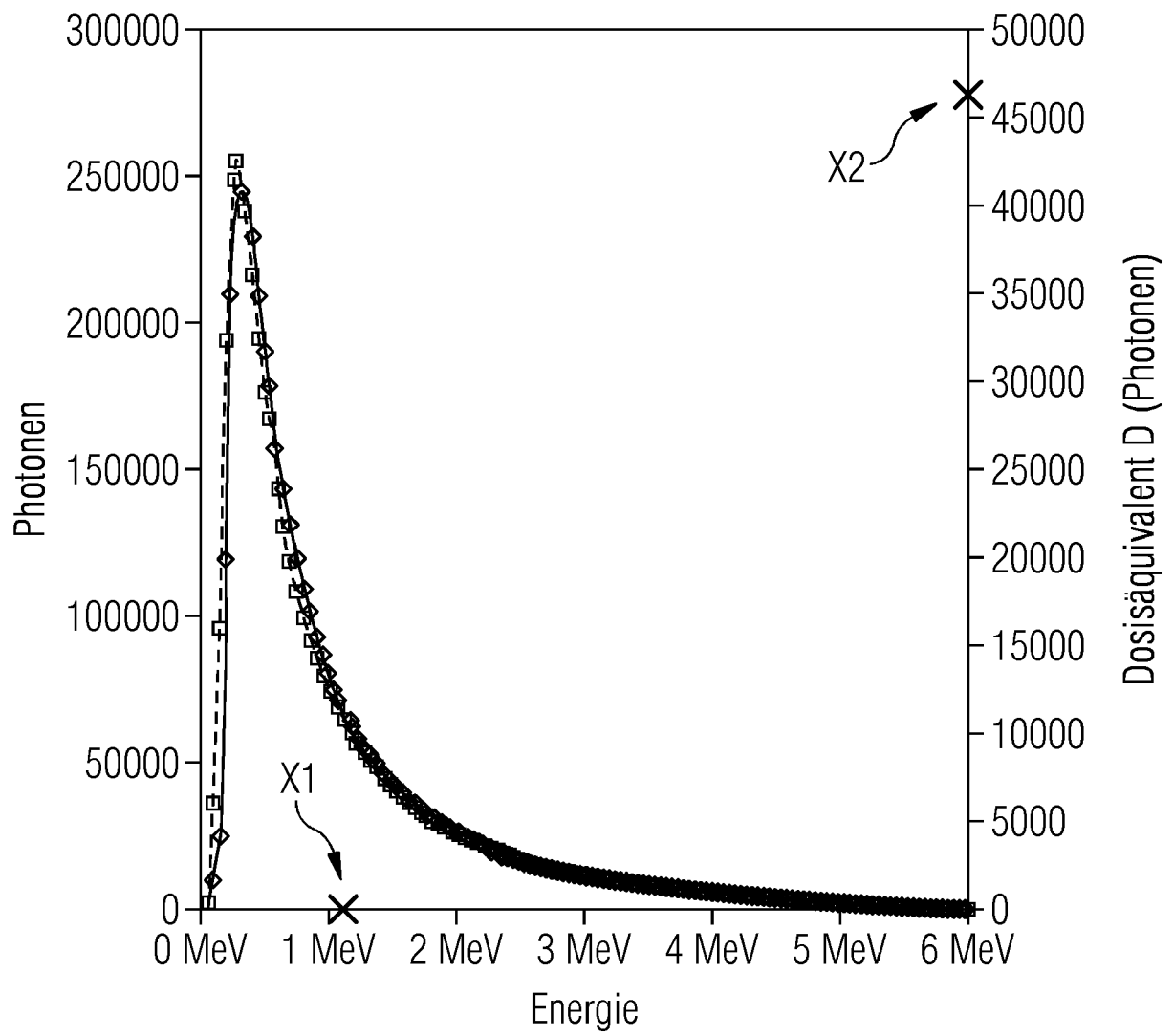


FIG 4

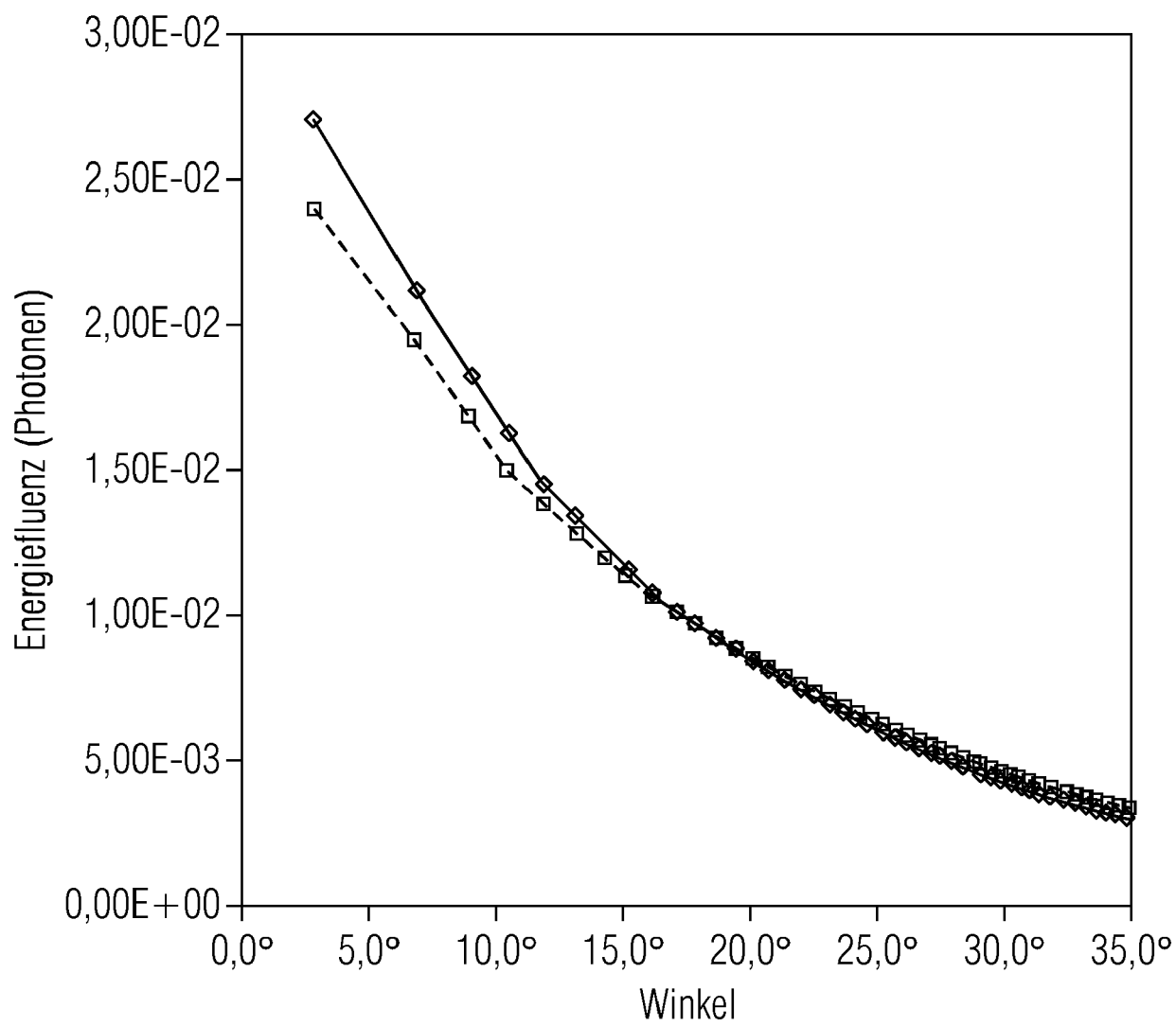


FIG 5

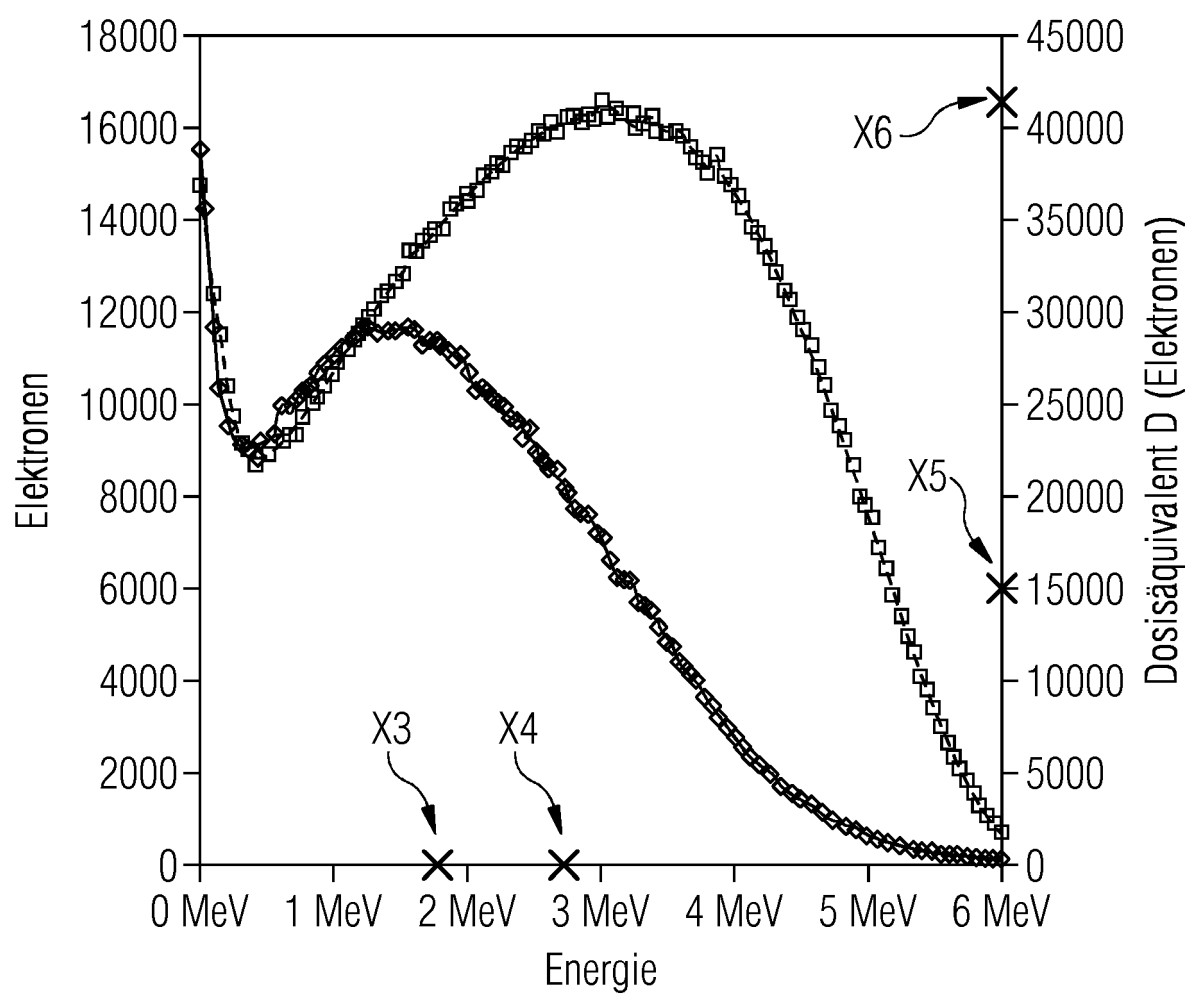
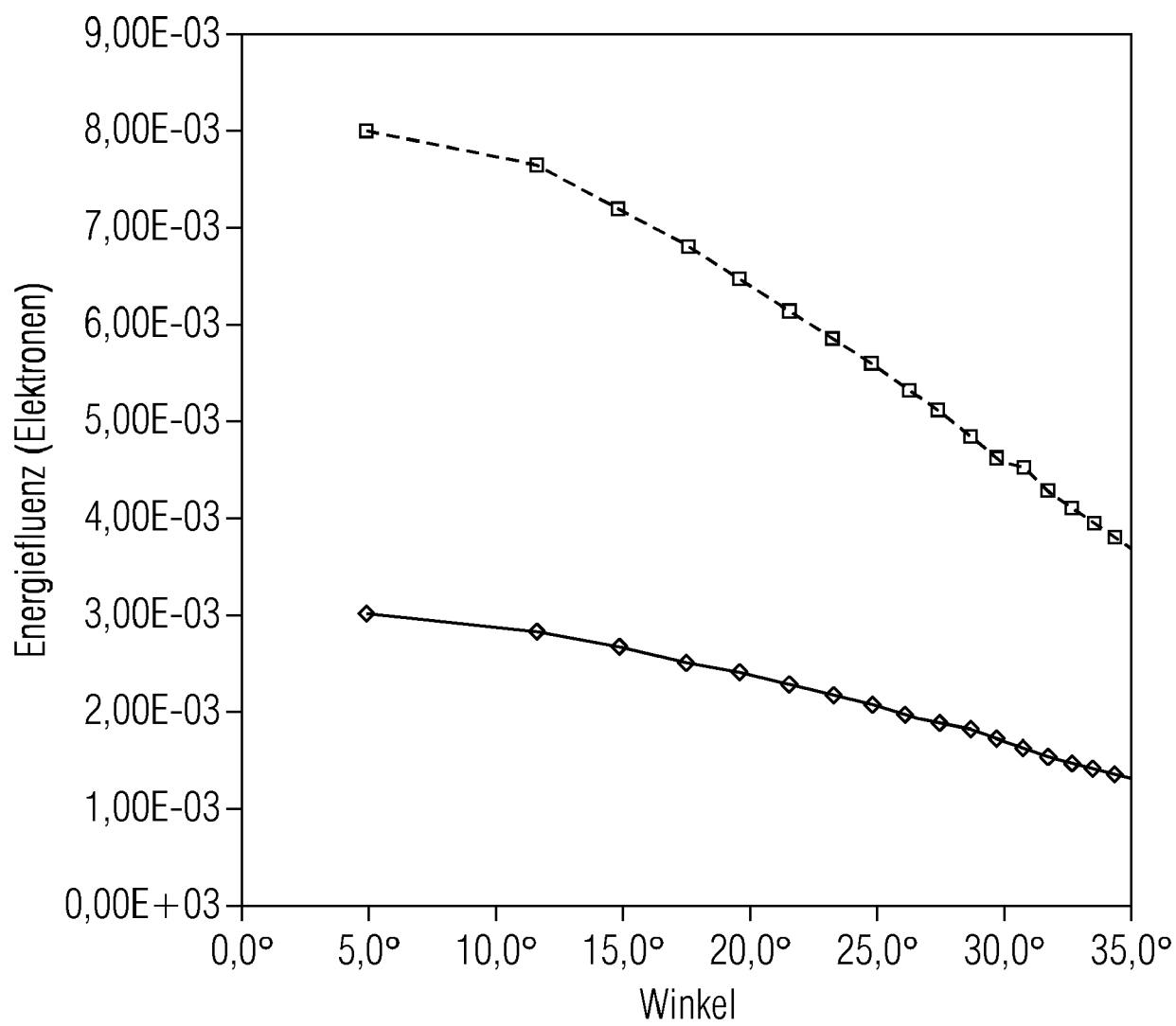


FIG 6





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 18 18 5506

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                                              | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2016/345418 A1 (WHITTUM DAVID [US] ET AL) 24. November 2016 (2016-11-24)<br>* Absätze [0004], [0005], [0049] - [0053], [0086], [0087], [0090] - [0092], [0100]; Abbildungen 1,4,5,8 *                         | 1,3,5-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | INV.<br>G21K5/00<br>H01J35/08      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2016/336140 A1 (NONOGUCHI MASAHIRO [JP] ET AL) 17. November 2016 (2016-11-17)<br>* Absätze [0006], [0031] - [0034]; Abbildungen 1,2 *                                                                         | 1-7,11,15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2011/051899 A1 (SCHUMACHER RICHARD [US] ET AL) 3. März 2011 (2011-03-03)<br>* Absätze [0002], [0003], [0023] - [0028]; Abbildungen 1-3 *                                                                      | 1-3,5-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | DE 25 33 348 A1 (CA ATOMIC ENERGY LTD) 24. Juni 1976 (1976-06-24)<br>* Seite 1 *<br>* Seite 4, letzter Absatz; Abbildung 1 *<br>* Seite 5, letzter Absatz *<br>* Seite 9 *                                       | 1-15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                    |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Anonymous: "Messingwerk - Wikipedia",<br>6. Juni 2012 (2012-06-06), XP055558057,<br>Gefunden im Internet:<br>URL:https://de.wikipedia.org/wiki/Messingwerk<br>[gefunden am 2019-02-18]<br>* das ganze Dokument * | 1-3,5,6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                    |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                    |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                  | Abschlußdatum der Recherche<br><b>19. Februar 2019</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Prüfer<br><b>Krauss, Jan</b>       |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                                                  | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                    |

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 18 18 5506

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-02-2019

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| US 2016345418 A1                                   | 24-11-2016                    | US 2009140177 A1                  | 04-06-2009                    |
|                                                    |                               | US 2012134467 A1                  | 31-05-2012                    |
|                                                    |                               | US 2016345418 A1                  | 24-11-2016                    |
|                                                    |                               | WO 2009051697 A1                  | 23-04-2009                    |
| US 2016336140 A1                                   | 17-11-2016                    | EP 3093867 A1                     | 16-11-2016                    |
|                                                    |                               | JP 6377572 B2                     | 22-08-2018                    |
|                                                    |                               | JP 2016213078 A                   | 15-12-2016                    |
|                                                    |                               | US 2016336140 A1                  | 17-11-2016                    |
| US 2011051899 A1                                   | 03-03-2011                    | CN 102498541 A                    | 13-06-2012                    |
|                                                    |                               | EP 2474017 A2                     | 11-07-2012                    |
|                                                    |                               | US 7831021 B1                     | 09-11-2010                    |
|                                                    |                               | US 2011051899 A1                  | 03-03-2011                    |
|                                                    |                               | WO 2011025740 A2                  | 03-03-2011                    |
| DE 2533348 A1                                      | 24-06-1976                    | CA 1003892 A                      | 18-01-1977                    |
|                                                    |                               | DE 2533348 A1                     | 24-06-1976                    |
|                                                    |                               | FR 2295559 A1                     | 16-07-1976                    |
|                                                    |                               | GB 1497308 A                      | 05-01-1978                    |
|                                                    |                               | JP S5178188 A                     | 07-07-1976                    |
|                                                    |                               | SE 406247 B                       | 29-01-1979                    |
|                                                    |                               | US 3999096 A                      | 21-12-1976                    |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82