



(10) **DE 10 2011 100 766 A1** 2012.11.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 100 766.4**

(22) Anmeldetag: **06.05.2011**

(43) Offenlegungstag: **08.11.2012**

(51) Int Cl.: **G01T 1/10 (2011.01)**

(71) Anmelder:  
**Universität Duisburg-Essen, 45141, Essen, DE**

(74) Vertreter:  
**COHAUSZ HANNIG BORKOWSKI WIRBOTT,  
40237, Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:  
**Mukherjee, Bhaskar, 45141, Essen, DE; Konkow,  
Swetlana, 45147, Essen, DE; Lambert, Jamil,  
45147, Essen, DE; Farr, Jonathan, 45239, Essen,  
DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 10 2007 054 927 B3**  
**DE 32 01 243 A1**  
**DE 39 03 113 A1**  
**DE 697 11 199 T2**

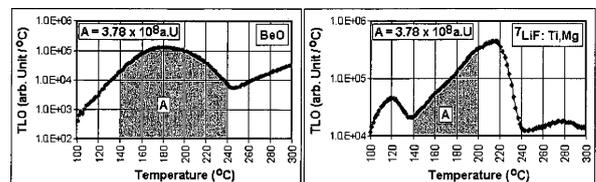
<b>US</b>	<b>7 425 705</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 855 375</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>2011 / 0 031 413</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 004 921</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 065 031</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>4 800 272</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>4 827 132</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 177 363</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>4 100 414</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>4 286 165</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 340 985</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>4 465 936</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 572 027</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 572 028</b>	<b>A</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung eines Maßes für den linearen Energietransfer ionisierender Photonen-und/oder Teilchenstrahlung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Maßes für den linearen Energietransfer (LET) ionisierender Photonen- und/oder Teilchenstrahlung, dadurch gekennzeichnet, dass eine Detektoreinheit umfassend einen ersten Detektor, mit einem ersten zur Lumineszenz stimulierbaren Material und umfassend einen zweiten Detektor, mit einem zweiten vom ersten verschiedenen zur Lumineszenz stimulierbaren Material für die Dauer eines Erfassungszeitraums ionisierender Photonen- und/oder Teilchenstrahlung ausgesetzt wird und nach dem Erfassungszeitraum nach oder während einer Stimulation vom ersten Detektor ein erstes Lumineszenzsignal und vom zweiten Detektor ein zweites Lumineszenzsignal erfasst wird und die jeweiligen Lumineszenzsignale oder davon abhängige korrigierte Signale jeweils integriert werden und ein Verhältnis der Integrale berechnet wird, welches ein Maß für den linearen Energietransfer repräsentiert.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie auch eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Maßes für den linearen Energietransfer (LET: linear energy transfer) ionisierender Photonen- und/oder Teilchenstrahlung.

**[0002]** Im Stand der Technik ist es bekannt, dass neben der Angabe einer Dosis einer Strahlung in besonderem Maße der lineare Energietransfer von Interesse ist, welcher ein Maß ist für die Wirkung der Strahlung. Der lineare Energietransfer beschreibt, wie viel Energie ein ionisierendes Teilchen oder ionisierende Photonen pro Längeneinheit an das durchdrungene Material abgeben und wird in Kiloelektronenvolt pro Mikrometer angegeben.

**[0003]** Der lineare Energietransfer stellt somit ein Maß dar für die Zahl der Ionisationen pro Wegstrecke in dem durchdrungenen Material, beispielsweise Gewebe des Menschen, und beschreibt somit zuverlässiger und aussagekräftiger die Wirkung der Strahlung auf biologisches Material als dies lediglich durch die Angabe der Dosis möglich ist. Demnach handelt es sich um einen Qualitätsfaktor für die biologische Dosis (Sv) statt lediglich einer physikalischen Dosis (Gy).

**[0004]** Trotz beispielsweise gegebener gleicher Dosis ist bei verschiedenen Strahlungsarten, wie beispielsweise Neutronenstrahlung, Elektronenstrahlung, Positronenstrahlung oder Gammastrahlung der lineare Energietransfer verschieden und somit von hohem Interesse, um festzustellen, ob einer Strahlung ausgesetzte Personen eine schädigende Wirkung erwarten müssen.

**[0005]** Bislang ist es im Stand der Technik beispielsweise bekannt, sogenannte Dosimeter einzusetzen, um die Dosis einer Strahlung festzustellen, wobei jedoch derartige Dosimeter keine Information über den linearen Energietransfer bereitstellen, somit also unsicher bleibt, ob bei der festgestellten Dosis die betreffende Person einer Schädigung ausgesetzt war oder nicht. Dosimeter der im Stand der Technik bekannten Art stellen demnach nur dann eine aussagefähige Information zur Verfügung, wenn bereits anfänglich bekannt ist, welcher Art von Strahlung die ein Dosimeter tragende Person ausgesetzt ist.

**[0006]** In einigen Situationen kann eine Aussage über die Art der Strahlung gegebenenfalls nicht vorgenommen werden, insbesondere dann, wenn eine Person nicht einer einzigen, sondern einer Mischung verschiedener Strahlungen oder auch gleicher Strahlung mit unterschiedlicher Energieverteilung ausgesetzt ist.

**[0007]** Solche Fälle treten beispielsweise auf bei Piloten sowie dem flugbegleitenden Personal, die in den üblichen Flughöhen von beispielsweise 8.000 bis 10.000 Metern der solaren kosmischen Strahlung ausgesetzt sind, die durch die Sonne erzeugt wird, beispielsweise durch Wechselwirkung hoch-energetischer Protonen aus der Sonne mit Luftmolekülen in der oberen Atmosphäre und hauptsächlich besteht aus Neutronen, Elektronen/Positronen, Protonen und Gammastrahlen, also einer nicht konstant bleibenden Mischung mehrerer Strahlungsarten.

**[0008]** Gerade das vorgenannte Flugpersonal ist aufgrund langer Arbeitszeiten im Flugzeug und somit aufgrund langer Aufenthalte in Gebieten mit solarer kosmischer Strahlung bzw. hierdurch sekundär produzierten Teilchen einem erhöhten Risiko ausgesetzt, durch ionisierende Strahlung Schäden zu erleiden. Besonders relevant ist diese Thematik beispielsweise für weibliches Flugpersonal im gebärfähigen Alter.

**[0009]** In einigen Staaten werden aus diesem Grunde z. B. bereits Piloten sowie das flugbegleitende Personal als Strahlenarbeiter eingestuft, so dass es zur Überprüfung des persönlichen Risikos einer Überwachung der während der Flüge aufgenommenen Strahlung bedarf.

**[0010]** Gerade in diesem Anwendungsbereich bei Fluglinien besteht darüber hinaus die Problematik, dass die Flughöhe, der Flugweg, die geografischen Lagen von Ziel- und Startflughäfen sowie Wetterbedingungen niemals konstant sind, somit also der Einfluss unterschiedlicher Strahlungsarten, wie beispielsweise Photonen- und/oder Teilchenstrahlung, nicht vorhersehbar ist und es somit eines Verfahrens und einer Vorrichtung bedarf, um eine verlässliche Risikobewertung vorzunehmen, beispielsweise anhand des linearen Energietransfers, der wie eingangs erklärt ein Maß für die Wirkung der Strahlung ist und somit neben der Strahlungs-dosis als das im Wesentlichen aussagekräftigere Maß anzusehen ist.

**[0011]** Diese Problematik, sowie auch die nachfolgend beschriebene Erfindung, ist jedoch nicht auf den beispielhaft genannten Fluglinienbetrieb beschränkt.

**[0012]** Im Stand der Technik sind bereits Verfahren zur Bestimmung des linearen Energietransfers – nachfolgend auch als LET-Wert bezeichnet – bekannt, wie beispielsweise eine als TEPC bekannte Vorrichtung (tissue equivalent proportional counter), Bonner Sphere Spectrometer oder SI-Dosimeter.

**[0013]** Zwar sind in der Literatur auch bereits grundsätzlich auf thermischer Stimulation basierende Lumineszenzdosimeter (TLD) zur Messung des linearen Energietransfers diskutiert worden, diese Arten

von Dosimeter erreichen jedoch keine ausreichende Zuverlässigkeit und Aussagekraft über LET-Werte, insbesondere da je nach verwendetem Material über den Bereich gewünschter LET-Werte diese bekannten Thermolumineszenzdosimeter keine ausreichend steigende oder fallende Abhängigkeit der Lumineszenzausbeuten vom LET-Wert aufweisen, sondern teilweise Plateaus in den Abhängigkeitskurven. Daher ist die Zuordnung zwischen Lumineszenzausbeute und linearen Energietransfer nicht eindeutig.

**[0014]** So sind einzelne Thermolumineszenzdosimeter bzw. thermolumineszente Materialien nicht geeignet zur zuverlässigen Bestimmung des linearen Energietransfers (LET).

**[0015]** Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereit zu stellen, mittels denen auf einfache Art und Weise im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik eine Aussage über den linearen Energietransfer einer Strahlung ausgesetzten Person oder auch bei anderen Anwendungsgebieten bereit zu stellen. Insbesondere soll das Verfahren und die Vorrichtung geeignet sein, mit bekannten kommerziell am Markt erhältlichen strahlungsdetektierenden Materialien eingesetzt zu werden.

**[0016]** Im Weiteren werden einige Begriffe mit nachfolgenden Bedeutungen verwendet:

LET-Wert:	eine in keV/μm angegebene Größe die den linearen Energietransfer beschreibt
Lumineszenzsignal:	die messtechnisch erfasste Lumineszenzlichtintensität in Abhängigkeit von der Zeit und/oder von der Temperatur, die sich also während oder nach thermischer Stimulation mit der Zeit und/oder der Temperatur ändert
Lumineszenzausbeute:	das über die gesamte Zeit und/oder die gesamte Temperatur nach oder während der Stimulation integrierte Lumineszenzsignal, somit also der Flächeninhalt der Lumineszenz-Kurve, was der Dosis entspricht.

**[0017]** Gemäß der Erfindung wird die vorgenannte Aufgabe mit einem Verfahren zur Bestimmung eines Maßes für den linearen Energietransfer ionisierender Teilchen und/oder Photonenstrahlung gelöst, bei

dem eine Detektoreinheit, umfassend einen ersten Detektor mit einem ersten zur Lumineszenz stimulierbaren strahlungsdetektierenden Material und umfassend einen zweiten Detektor mit einem zweiten, vom ersten verschiedenen zur Lumineszenz stimulierbaren strahlungsdetektierenden Material für die Dauer eines Erfassungszeitraums ionisierender Photonen- und/oder Teilchenstrahlung ausgesetzt wird und nach dem Erfassungszeitraum nach oder während einer Stimulation vom ersten Detektor ein erstes Lumineszenzsignal und vom zweiten Detektor ein zweites Lumineszenzsignal erfasst wird und die jeweiligen Lumineszenzsignale oder davon abhängige korrigierte Signale jeweils integriert werden und ein Verhältnis der Integrale berechnet wird, welches ein Maß für den linearen Energietransfer repräsentiert.

**[0018]** Unter der Erfassung eines Lumineszenzsignales wird hier verstanden, dass eine sich mit der Zeit und/oder der Temperatur ändernde Lumineszenzlichtintensität über die Zeit und/oder über die Temperatur messtechnisch erfasst und gespeichert wird, insbesondere als jeweilige Wertepaare (Zeit, Lumineszenzintensität) bzw. (Temperatur, Lumineszenzintensität).

**[0019]** Ein wesentlicher Kerngedanke des Verfahrens ist es, statt auf die im Stand der Technik diskutierten Vorrichtungen zur Bestimmung des linearen Energietransfers auf solche Detektoren bzw. Detektormaterialien zurückzugreifen, die im Stand der Technik zur einfachen Dosismessung bereits zum Einsatz kommen, die jedoch aufgrund der hier beschriebenen Verfahrensschritte durch ein „Zueinander-in-Beziehung-setzen“ Rückschlüsse auf den linearen Energietransfer zulassen.

**[0020]** Unter den hier benannten zur Lumineszenz stimulierbaren Materialien werden allgemein jegliche strahlungsdetektierenden Materialien verstanden, die nach einer Strahlungsexposition durch eine externe Stimulation zur Lumineszenz angeregt werden können. Solche Stimulationen können beispielsweise durch Erwärmung oder auch optisch erfolgen. Bei der hier beschriebenen Erfindung kommen bevorzugt thermisch stimulierbare Materialien zum Einsatz.

**[0021]** Als solche strahlendetektierenden, zur Lumineszenz stimulierbaren Materialien können somit jegliche lumineszenzfähige Festkörper, insbesondere dotierte Festkörper zum Einsatz kommen, bei denen in Folge einer Wechselwirkung eines Luminophors mit ionisierender Photonen- oder Teilchenstrahlung Elektronenzustände im Festkörper angeregt und in langlebigen, insbesondere metastabilen Energieniveaus gespeichert werden. Durch die eingangs benannte Stimulation z. B. mit Licht oder hier bevorzugt mit Wärme können diese Elektronenzustände weiter

angeregt werden und nachfolgend rekombinieren unter Lichtaussendung.

**[0022]** Bei einem thermolumineszenten Material kann die Lichtintensität der Lumineszenz in Abhängigkeit einer Temperatur als vorgenanntes Lumineszenzsignal erfasst werden, was beispielsweise dadurch erfolgen kann, dass das thermolumineszente Material nach der erfolgten Strahlungsexposition in einem hierfür geeigneten Ofen mit einer vorgeählten Heizgeschwindigkeit erwärmt wird. Aufgrund der vorbestimmten, insbesondere konstanten Heizgeschwindigkeit entspricht somit die Änderung der Lichtintensität mit der Temperatur gleichzeitig auch einer Änderung mit der Zeit.

**[0023]** Wie eingangs erwähnt, können zwar zur Lumineszenz stimulierbare Materialien in einigen LET-Bereichen, z. B. im Bereich kleiner LET-Werte oder im Bereich großer LET-Werte keine signifikante Abhängigkeit vom linearen Energietransfer aufweisen und somit für sich alleine ungeeignet sein, eine Aussage über den linearen Energietransfer zu ermöglichen, jedoch besteht gemäß der Erfindung die Möglichkeit, mit einer Paarung aus zwei Detektoren mit unterschiedlichem strahlungsdetektierenden und zur Lumineszenz stimulierbaren Material eine verlässliche Aussage zu erhalten.

**[0024]** So kann beispielsweise für den ersten Detektor ein zur Lumineszenz stimulierbares Material verwendet werden, welches eine Abhängigkeit der Lumineszenzausbeute vom LET-Wert aufweist, bei welcher bei kleinen LET-Werten die Lumineszenzausbeute zwar mit steigendem LET-Wert in ausreichender Weise steigt jedoch für hohe LET-Werte in ein Plateau übergeht. Beispielsweise kann so als erster Detektor ein Material ausgewählt werden, dessen Lumineszenzausbeute bei kleinen LET-Werten eine positive Steigung aufweist und bei hohen LET-Werten die Steigung gegen Null geht oder sogar das Vorzeichen ändert. Berylliumoxid (BeO) ist z. B. ein solches Material.

**[0025]** Für den zweiten Detektor kann ein davon verschiedenes Material verwendet werden, welches eine LET-Abhängigkeit der Lumineszenzausbeute aufweist, in welcher für kleine LET-Werte die Lumineszenzausbeute ein Plateau zeigt, hingegen bei hohen LET-Werten eine signifikant fallende Ausbeute, beispielsweise eine bereichsweise linear fallende Abhängigkeit der Lumineszenzausbeute zeigt. So kann beim zweiten Detektor ein Material verwendet werden kann, dessen Steigung der Lumineszenzausbeute bei kleinen LET-Werten etwa Null ist und mit höheren LET-Werten negativ wird. Beispielsweise ist Lithiumfluorid, insbesondere Ti, Mg-dotierte LiF ein solches Material.

**[0026]** Die Auswahl zweier solcher Materialien und deren gleichzeitiger Einsatz in einer erfindungsgemäßen Detektoreinheit einen erfindungsgemäßen Vorteil, da sich zwischen den Kurven der Lumineszenzausbeuten in Abhängigkeit des LET-Wertes bei einer grafischen Visualisierung eine Spreizung ergibt, auf deren Grundlage das erfindungsgemäße Verfahren basiert.

**[0027]** So ist nämlich festzustellen, dass für verschiedene LET-Werte das Verhältnis der Lumineszenzausbeuten, d. h. der integrierten Lumineszenzsignale bei jedem LET-Wert für eine bestimmte Paarung zweier Detektoren, bzw. zweier verschiedener Detektormaterialien eindeutig ist.

**[0028]** Dies macht sich das erfindungsgemäße Verfahren insoweit zu nutze, als dass aus den nach einem Erfassungszeitraum erfassten Lumineszenzsignalen beider eingesetzter Detektoren jeweilige Integrale, insbesondere in vorbestimmten Integrationsgrenzen berechnet werden, deren Verhältnis zueinander ein Maß für den linearen Energietransfer, bzw. für einen LET-Wert repräsentieren.

**[0029]** In einer bevorzugten Ausführungsform kann es vorgesehen sein, als Material für den ersten Detektor Berylliumoxid, insbesondere geeignet dotiertes Berylliumoxid, als Lumineszenzdetektor einzusetzen. Hierbei ist Berylliumoxid dafür bekannt, sowohl thermisch als auch optisch stimuliert werden zu können. Berylliumoxid hat dabei hinsichtlich seiner Lumineszenzausbeute, d. h. im Sinne der Erfindung dem Integral des Lumineszenzsignals, die vorbeschriebene für sich alleine betrachtet negative Eigenschaft, dass diese mit steigenden LET-Werten zunächst steigt und sodann in ein Plateau abflacht. Hier wird Berylliumoxid als thermisch stimuliertes Material verwendet, da Berylliumoxid optisch stimuliert im Wesentlichen nur geeignet ist für die Detektion von Gammastrahlung, nicht jedoch für Hoch-LET-Teilchen. Als zweiten Detektor kann z. B. als Material Lithiumfluorid, insbesondere geeignet dotiertes Lithiumfluorid, beispielsweise mit Titan und/oder Magnesium dotiertes Lithiumfluorid, eingesetzt werden. Lithiumfluorid hat hierbei die für sich alleine betrachtet negative Eigenschaft, dass die Lumineszenzausbeute mit steigenden LET-Werten ein flaches Plateau bildet und sodann mit höheren LET-Werten abfällt. Auch Lithiumfluorid wird als thermisch stimuliertes Material eingesetzt, so dass bei dieser Paarung der erste und zweite Detektor beide thermisch stimuliert eingesetzt werden.

**[0030]** Zwischen den Lumineszenzausbeuten, d. h. den jeweiligen Integralen der Lumineszenzsignale zweier solcher gewählter Detektoren nimmt demnach mit steigendem LET-Wert der Quotient, d. h. das Verhältnis zu.

**[0031]** In erfindungsgemäß bevorzugter Ausführung wird demnach eine Paarung aus Berylliumoxid und Lithiumfluorid als jeweilige, zur Lumineszenz thermisch stimulierbare Materialien beider Detektoren eingesetzt.

**[0032]** Besonders in der eingangs beschriebenen Anwendung im Flugverkehr, sowie aber auch bei anderen möglichen Anwendungen tritt die Situation auf, dass neben Teilchenstrahlung mit hohem linearem Energietransfer die Personen auch Gammastrahlung mit relativ geringem linearem Energietransfer ausgesetzt sind.

**[0033]** Beispielsweise nimmt der Gammastrahlenanteil in Bodennähe relativ zum Teilchenstrahlungsanteil zu und kann in einer solchen Anwendung ohne Korrektur gegebenenfalls ein Messergebnis verfälschen, da Teilchenstrahlung detektierende Materialien, insbesondere die beiden vorgenannten auch eine signifikante Empfindlichkeit bzgl. Photonenstrahlung, insbesondere Gammastrahlung aufweisen.

**[0034]** In einer bevorzugten Verfahrensvariante kann es demnach vorgesehen sein, dass die eingangs beschriebene Detektoreinheit zusätzlich noch einen dritten Detektor umfasst mit einem dritten, vom ersten und zweiten verschiedenen zur Lumineszenz stimulierbaren Material, das während des vorbeschriebenen Erfassungszeitraums zumindest überwiegend, bevorzugt ausschließlich Gammastrahlung erfasst.

**[0035]** Es kann sodann vorgesehen sein, dass nach dem Erfassungszeitraum vom dritten Detektor nach oder während der Stimulation, insbesondere thermischer Stimulation ein drittes Lumineszenzsignal erfasst wird, in dessen Abhängigkeit oder in Abhängigkeit von dessen Integral aus dem ersten und zweiten Lumineszenzsignal des ersten und zweiten Detektors vor der durchzuführenden Integration ein jeweils erstes und zweites, um den jeweiligen Gammastrahlungsanteil korrigiertes Signal gebildet wird.

**[0036]** So kann beispielsweise als dritter Detektor Aluminiumoxid, insbesondere kohlenstoffdotiertes Aluminiumoxid ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ ), eingesetzt werden, welches einen zumindest thermisch stimulierbaren Lumineszenzdetektor ausbildet. Hierbei ist gerade Aluminiumoxid dafür bekannt, ausschließlich bzw. zumindest überwiegend Gammastrahlung zu detektieren, so dass dieses Material geeignet ist, zur Messung eines Gammastrahlenanteils, der auch auf die beiden erstgenannten Detektoren wirkt, um deren Lumineszenzsignal um diesen unerwünschten Gammastrahlenanteil zu bereinigen.

**[0037]** Eine Möglichkeit, einen Thermolumineszenzdetektor, der Misch-Strahlung detektiert, um einen Gammastrahlungsanteil zu korrigieren, ist z. B. be-

kannt aus der Publikation von Bhaskar Mukherjee, Darius Makowski und Stefan Simrock in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 545 (2005) 830–841. Beispielsweise kann zur Korrektur eines Detektors das dortige beschriebene Verfahren eingesetzt werden.

**[0038]** Erfindungsgemäß kann es hierfür auch vorgesehen sein, die Gammastrahlenempfindlichkeit sowohl des ersten Detektors als auch des zweiten Detektors in Relation zum dritten Detektor in einem vorgelagerten Kalibrierungsprozess zu vermessen und dieses Ergebnis sodann zu verwenden, um die Lumineszenzsignale sowohl des ersten als auch des zweiten Detektors nach einem späteren Erfassungszeitraum, in dem eine reale Strahlungsexposition stattgefunden hat, zu korrigieren in Abhängigkeit des gleichzeitig mit dem dritten Detektor erfassten Lumineszenzsignals bzw. dessen Integral, das lediglich bzw. überwiegend auf Gammastrahlung zurückzuführen ist.

**[0039]** Es kann hier zur Bildung eines korrigierten Signals aus dem Lumineszenzsignal sowohl des ersten als auch des zweiten Detektors vorgesehen sein, ein mit einem Faktor skaliertes Referenzsignal des jeweiligen Detektors von dem aufgenommenen Lumineszenzsignal dieses jeweiligen Detektors zu subtrahieren.

**[0040]** Dieses Referenzsignal eines jeden Detektors ist wie das Lumineszenzsignal dieses Detektors gegen die Zeit und/oder Temperatur aufgetragen.

**[0041]** Das Referenzsignal kann in dem vorbeschriebenen Kalibrierungsprozess ermittelt werden, bei dem der jeweilige Detektor, d. h. der erste und/oder zweite Detektor, zusammen mit dem dritten Detektor ausschließlich Gammastrahlung ausgesetzt wird (z. B.  $^{60}\text{Co}$ -Gamma-Strahlung) und dass das nach oder während der Stimulation erfasste Lumineszenzsignal des ersten bzw. zweiten Detektors jeweils dessen Referenzsignal bildet.

**[0042]** Der vorgenannte Faktor zur Skalierung kann ermittelt werden durch das Verhältnis des Integrals des bei dem Kalibrierungsprozess ermittelten Lumineszenzsignals bzw. Referenzsignals des ersten/zweiten Detektors zum Integral des Lumineszenzsignals des dritten Detektors multipliziert mit dem Integral des nach einem Erfassungszeitraum erfassten Lumineszenzsignals des dritten Detektors.

**[0043]** Das bei der Kalibrierung ermittelte Integralverhältnis (zwischen ersten und dritten Detektor bzw. zweitem und drittem Detektor) kann auch als ein Normierungsfaktor angesehen werden, der auf das jeweilige Referenzsignal angewendet werden kann, um ein normiertes Referenzsignal für jeden (ersten und zweiten) Detektor zu bilden, das für eine späte-

re Korrektur nach Multiplikation mit dem Integral des Lumineszenzsignals des dritten Detektors verwendet werden kann.

**[0044]** Wie bereits eingangs erwähnt, können neben den optisch stimulierbaren Lumineszenzmaterialien in besonders bevorzugter Ausgestaltung des Verfahrens sowie auch einer bevorzugten Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens als Detektoren thermisch zur Lumineszenz stimulierbaren Materialien eingesetzt werden.

**[0045]** Hier kann jeweils ein Lumineszenzsignal dieser einsetzbaren Materialien in Abhängigkeit eines Temperaturwertes erfasst werden, wofür beispielsweise die Materialien dieser Detektoren in dafür geeignete Ofen eingelegt werden, wobei sodann in einem Erwärmungsschritt mit einer insbesondere konstanten Temperaturerhöhung pro Zeiteinheit das Lumineszenzsignal, d. h. die Lichtintensität erfasst wird.

**[0046]** Bei dieser thermischen Stimulation kann es sodann in einer bevorzugten Ausführung des Verfahrens vorgesehen sein, dass zur Bestimmung des Integrals des Lumineszenzsignals oder des korrigierten Signals des ersten Detektors die Integration von dessen Signal in einem ersten Temperaturteilbereich der thermischen Stimulation durchgeführt wird und zur Bestimmung des Integrals des Lumineszenzsignals oder korrigierten Signals des zweiten Detektors die Integration von dessen Signal in einem zweiten Temperaturteilbereich der thermischen Stimulation durchgeführt wird.

**[0047]** Es ist für diesen bevorzugten Verfahrensschritt demnach vorgesehen, die Integration des Lumineszenzsignals sowohl bei dem ersten als auch dem zweiten Detektor nicht über den insgesamt bei der thermischen Stimulation überfahrenen Temperaturbereich vorzunehmen, sondern die Integration zu beschränken zwischen einer jeweils für jeden Detektor insbesondere einmalig in einem Kalibrierungsschritt festzulegenden unteren und oberen Temperaturgrenze, wobei diese untere und obere Temperaturgrenze den jeweiligen Temperaturteilbereich definieren.

**[0048]** Bevorzugterweise kann der erste und zweite Temperaturteilbereich für jeden Detektor in einem Kalibrierungsschritt festgelegt werden, bei welchem der erste und zweite Detektor ausschließlich einem bekannten Strahlungsspektrum von Teilchen oder Photonen ausgesetzt wird, wobei die jeweiligen Temperaturbereiche sodann so gewählt werden, dass bei diesen jeweiligen Temperaturteilbereichen das Verhältnis der Integrale der Lumineszenzsignale beider Detektoren gleich 1 ist.

**[0049]** Diese Art, bei der Integration der Lumineszenzsignale über die Temperatur, eine Beschrän-

kung der Integration zwischen zwei festzulegenden Temperaturgrenzen vorzunehmen, beruht auf der Erkenntnis, dass die Lumineszenzausbeuten der beiden gewählten Detektormaterialien des ersten und zweiten Detektors in Abhängigkeit vom linearen Energietransfer bei gleicher Bestrahlung bei einem bestimmten LET-Wert gleich sind, sich also die jeweiligen Kurven der über den LET-Wert aufgetragenen Lumineszenzausbeuten einander schneiden.

**[0050]** In diesem Schnittpunkt ist demnach das Verhältnis der Lumineszenzausbeuten gleich 1 bei dem vorausgesetzten bekannten im Kalibrierungsschritt verwendeten Strahlungsspektrum. Z. B. kann die Kalibrierung mit  $^{60}\text{Co}$ -Strahlung vorgenommen werden oder auch mit Neutronenstrahlung des CERN oder Strahlung des DESY.

**[0051]** Es können demnach für dieses Kalibrations-Strahlungsspektrum bzw. aus einer Kalibrierungsmessung, bei welcher das bekannte Strahlungsspektrum eingesetzt wird, die unteren und oberen Grenztemperaturen für die Integration bei jedem der Detektoren so gewählt werden, dass das Verhältnis der Integrale der Lumineszenzsignale dieser beiden eingesetzten Detektormaterialien bei diesem bekannten Strahlungsspektrum unter Benutzung dieser Integrationsgrenzen ein Verhältnis von 1 ergibt.

**[0052]** Werden sodann für die zukünftigen Messungen unter unbekanntem Strahlungsspektrum nach dem Erfassungszeitraum realer Strahlungsexposition für die Durchführung der Integration gemäß der hier beschriebenen Erfindung bei den beiden Detektoren die im Kalibrierungsschritt verwendeten jeweiligen Temperaturgrenzen verwendet, so entspricht das Verhältnis der beiden Integrale einem Maß für den linearen Energietransfer aufgrund der Strahlung, welche die Detektoreinheit während des Erfassungszeitraums ausgesetzt war.

**[0053]** Unter Berücksichtigung einer konstanten Heizgeschwindigkeit bei der thermischen Stimulation kann bei alternativer Erfassung des Lumineszenzsignals über die Zeit statt der zuvor beschriebenen Integration über die Temperatur in äquivalenter Weise eine Integration über die Zeit erfolgen, da wegen der Konstanz der Heizgeschwindigkeit zu jeder Zeit eine festgelegte Temperatur gegeben ist. In diesem Fall sind die jeweiligen Integrationsgrenzen durch eine untere und obere Integrations-Grenzzeit gegeben.

**[0054]** Zur Bildung einer Vorrichtung, d. h. insbesondere einer Detektoreinheit zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es vorgesehen sein, dass diese einen ersten, zweiten und dritten Detektor umfasst mit jeweils verschiedenen, zur Lumineszenz stimulierbaren Materialien, insbesondere thermisch stimulierbaren Materialien. Hier ist es in bevorzugter Ausführung vorgesehen, als ersten Detek-

tor Berylliumoxid zu wählen, als zweiten Detektor Lithiumfluorid und als dritten lediglich Gamma-Strahlen detektierenden Detektor Aluminiumoxid. Selbstverständlich sind diese genannten Materialien mit geeigneter Dotierung zu wählen, wie z. B. eingangs genannt.

**[0055]** In bevorzugter Ausgestaltung einer solchen Detektoreinheit kann diese als ein lichtdichtes und bevorzugt feuchtigkeitsdichtes Gehäuse ausgebildet sein, in welchem die drei Detektoren bzw. Materialien angeordnet sind, bevorzugterweise in einer dreieckigen Geometrie, da hierdurch die räumliche Lage der einzelnen Detektoren zueinander hinsichtlich des Abstands am besten minimiert werden kann, so dass für den Erfassungszeitraum im Wesentlichen sicher gestellt ist, dass jeder der Detektoren dasselbe Strahlungsspektrum erfasst.

**[0056]** Die Detektoreinheit kann als lichtdichtes und bevorzugt feuchtigkeitsdichtes Gehäuse beispielsweise aus einem Kunststoff, insbesondere PVC ausgebildet sein, der bevorzugterweise eine Materialstärke aufweist, die so gering ist, dass moderierende Effekte, d. h. das Abbremsen von Teilchenstrahlung durch dieses Material vernachlässigbar ist.

**[0057]** Beispielsweise können die drei Detektoren zwischen zwei Gehäuseschalen angeordnet sein, bei denen zumindest eine der Gehäuseschalen, gegebenenfalls beide Gehäuseschalen, Ausnehmungen zum Einlegen und späteren Entnehmen der Detektormaterialien aufweisen. In einer Ausführungsform kann es auch vorgesehen sein, eine Detektoreinheit auszubilden aus drei einzelnen Platten, die gestapelt aufeinander liegen, wobei die mittlere Platte drei Ausnehmungen, insbesondere in Dreieckskonfiguration aufweist, in welche die Detektormaterialien eingelegt werden können.

**[0058]** Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung eines Gehäuses kann es vorgesehen sein, dieses Gehäuse mit einem faradayschen Käfig zu umgeben, um insbesondere den Einfluss von Elektronen zu minimieren. Ein solcher faradayscher Käfig kann z. B. ausgebildet sein durch Ummantelung des Gehäuses mit einer Metallfolie oder auch durch eine mittels Bedampfung aufgebrachte Metallschicht. Hierbei kann als jeweils eingesetztes Metall beispielsweise Gold oder auch Kupfer gewählt werden. Zur Vermeidung von Streueffekten sollte die Ummantelung möglichst dünn gewählt sein.

**[0059]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend beschrieben.

**[0060]** Die [Fig. 1](#) zeigt grafisch aufgetragen die Lumineszenzausbeute von einerseits Berylliumoxid und andererseits Lithiumfluorid als jeweils thermisch stimulierbare Lumineszenzmaterialien in Abhängigkeit

vom linearen Energietransfer. Die hier dargestellten Abhängigkeiten wurden vermessen unter Kobalt 60 Gammastrahlung mit beiden Detektormaterialien, wobei sich ergibt, dass für einen linearen Energietransfer von 0,31 Kiloelektronenvolt pro Mikrometer die Lumineszenzausbeute, d. h. das Integral der Lumineszenzsignale, gleich ist, somit also das Verhältnis gleich 1 ist.

**[0061]** Die [Fig. 1](#) verdeutlicht zum einen, dass jedes der beiden hier verwendeten Materialien, also sowohl Berylliumoxid als auch Lithiumfluorid, für sich alleine ungeeignet sind, um über einen interessierenden Bereich des linearen Energietransfers eine quantitative Aussage über den Energietransfer bei einer Strahlungsexposition vorzunehmen. Erkennbar liegt dies daran, dass Berylliumoxid lediglich in einem Bereich für kleine LET-Werte ein etwa linear steigendes Verhalten der Lumineszenzausbeute zeigt, hingegen bei hohen LET-Werten ein Plateau aufweist. Für hohe LET-Werte ist daher Berylliumoxid ungeeignet, um aufgrund einer Messung Rückschlüsse auf den LET-Wert zuzulassen.

**[0062]** Lithiumfluorid zeigt hingegen für kleine LET-Werte ein Plateau der Lumineszenzausbeute, so dass keine ausreichenden Rückschlüsse auf den linearen Energietransfer für kleine Werte möglich sind, jedoch zeigt Lithiumfluorid für hohe LET-Werte eine stark abfallende Lumineszenzausbeute.

**[0063]** Auffällig und besonders wesentlich für das erfindungsgemäße Verfahren ist es hier, dass die Kurven der beiden Lumineszenzausbeuten der hier gewählten Materialien einander schneiden bei etwa 0,31 Kiloelektronenvolt pro Mikrometer und von diesem Punkt ausgehend für steigende LET-Werte eine immer größer werdende Spreizung aufweisen, was hier bedeutet, dass das Verhältnis  $R(\text{BeO/LiF})$  der Lumineszenzausbeuten beider Materialien mit steigenden LET-Werten zunimmt, wie es die [Fig. 2](#) verdeutlicht.

**[0064]** Hier entspricht der Wert  $R(\text{BeO/LiF})$  dem Verhältnis der Integrale der Lumineszenzsignale von Berylliumoxid und Lithiumfluorid bei einer beispielhaften Kobalt-60-Gammabestrahlung, welches verdeutlicht, dass in Abhängigkeit des Verhältnisses der Integrale der Lumineszenzsignale dieser verschiedenen Lumineszenzdetektormaterialien ein Maß für den linearen Energietransfer mit hoher Aussagekraft bereitgestellt ist.

**[0065]** Hier kann beispielsweise die Messkurve der [Fig. 2](#) durch eine Potenzfunktion angefitet werden, um aufgrund der aus den Messungen nach einem Erfassungszeitraum ermittelten jeweiligen Integrale durch Quotientenbildung auf das Maß für den linearen Energietransfer schließen zu können und aus der Kalibrierung unter Nutzung der Abhängigkeit in der [Fig. 2](#) einen konkreten LET-Wert zu bestimmen.

**[0066]** Die [Fig. 3](#) verdeutlicht das Durchführen eines Kalibrierungsschrittes, bei dem sowohl der ausgewählte Berylliumoxid- als auch der ausgewählte Lithiumfluoriddetektor einer gleichen Strahlung, nämlich in diesem Beispiel Kobalt-60-Gammastrahlung ausgesetzt wird, bei welcher beide Detektormaterialien bei einem linearen Energietransfer von 0,31 Kilo-elektronenvolt pro Mikrometer gleiche Lumineszenzausbeute zeigen.

**[0067]** Da zu diesem LET-Wert bekannt ist, dass das Verhältnis der Integrale der Lumineszenzsignale beider Detektoren gleich 1 sein muss, besteht nun die Möglichkeit, für die Integration der jeweiligen Lumineszenzsignale beider Detektoren, deren Signale in der [Fig. 3](#) dargestellt sind, die Integrationsgrenzen, Insbesondere die obere und untere Integral-Grenztemperatur so festzulegen, dass bei Verwendung dieser Integrationsgrenzen das Verhältnis der Integrale der beiden Lumineszenzsignale gleich 1 ist.

**[0068]** Hier kann im Wesentlichen der für die Integration verwendete Temperaturteilbereich, hier beispielsweise bei Berylliumoxid von 140–240 Grad und bei Lithiumfluorid von 140–200 Grad, beinahe frei gewählt werden, wesentlich ist hier lediglich die Wahl des Temperaturbereichs wie erwähnt so vorzunehmen, dass das Verhältnis der Integrale gleich 1 ist.

**[0069]** Bevorzugterweise werden die Integrationsgrenzen so gewählt, dass zumindest eine der Integrationsgrenzen nahe an einem Minimum des Lumineszenzsignals liegt.

**[0070]** So ist dies hier für Berylliumoxid bezüglich der Grenze von 240 Grad, d. h. hier der oberen Integrationsgrenze vorgenommen worden, hingegen für Lithiumfluorid bei der unteren Temperaturgrenze von 140 Grad. Hierdurch werden z. B. mit Bezug auf Lithiumfluorid starke, einem Fading ausgesetzte Lumineszenzsignale für die Auswertung ausgeblendet. Diese einem Fading unterliegenden Lumineszenzsignale bewegen sich hier in einem Bereich von etwa 100–140 Grad und gehen z. B. auf klimatische Bedingungen zurück, unter denen die Strahlungsexposition des Detektors erfolgte. Bevorzugt werden also die Integrationsgrenzen so gewählt, dass der Beitrag zum Integral aus z. B. klimatischen Umgebungsbedingungen reduziert sind.

**[0071]** Sind nun in dem Kalibrierungsprozess, in diesem Beispiel unter Kobalt 60 Gammabestrahlung, die Grenzen für die Integration festgelegt, so werden diese Integrationsgrenzen für zukünftige Messungen unter den realen Erfassungsbedingungen ebenso verwendet.

**[0072]** Die Lumineszenzsignale der [Fig. 3](#) können demnach in einer praktischen Anwendung eines Detektors in gleicher Weise auch den charakteristi-

schen Verlauf des Lumineszenzsignals nach einer realen Strahlungsexposition darstellen, gegebenenfalls nach einer Bereinigung um den Gammastrahlungsuntergrund aufgrund einer separaten Kalibrierungsmessung, wie sie im allgemeinen Teil beschrieben wurde.

**[0073]** Unter Verwendung der so festgestellten Integrationsgrenzen bildet demnach das Verhältnis der Integrale beider Lumineszenzsignale der verwendeten Detektorpaarung einen Wert für den linearen Energietransfer gemäß [Fig. 2](#).

**[0074]** Das hier gegebene Beispiel einer Kalibrierung mit beispielsweise Kobalt 60 Gammastrahlung beschränkt den Gegenstand der Erfindung nicht. Es ist selbstverständlich in gleicher Weise möglich, andere Strahlungen bekannter spektraler Zusammensetzung zu verwenden, um die vorgenannte Kalibrierung durchzuführen. In gleicher Weise besteht z. B. die Möglichkeit, das bekannte Neutronenspektrum z. B. des DESY oder des CERN zu verwenden, um eine alternative Kalibrierung gemäß [Fig. 1–Fig. 3](#) vorzunehmen. Insbesondere eine Kalibrierung mit dem Neutronenspektrum des CERN hat hier den Vorteil, dass dieses Neutronenspektrum im Wesentlichen dem tatsächlichen Neutronenspektrum in der oberen Erdatmosphäre entspricht, welchem Piloten und Flugbegleiterpersonal ausgesetzt ist, so dass es insbesondere für die Anwendung einer Vorrichtung der vorbeschriebenen Art zur Bestimmung des linearen Energietransfers der diese flugbegleitenden Personen und Piloten ausgesetzt sind, bevorzugt vorgesehen sein kann, die Kalibrierung und somit die Festlegung der oberen und unteren Temperaturgrenzen bei den zur Lumineszenz stimulierbaren Detektormaterialien anhand einer Kalibrierung der CERN-Neutronenspektrums vorzunehmen.

**[0075]** In einer bevorzugten Anwendung kann es demnach vorgesehen sein, Vorrichtungen der vorbeschriebenen Art für Flugpersonal bereitzustellen, deren jeweilige drei Detektoren zueinander in einem vorgelagerten Kalibrierungsschritt insoweit kalibriert sind, als dass beispielsweise die Integrationsgrenzen für den ersten und zweiten Detektor ermittelt und in einer Datenbank gespeichert werden.

**[0076]** Im Verhältnis zwischen erstem und dritten Detektor sowie zweiten und dritten Detektor wird jeweils die relative Empfindlichkeit bezogen auf den Gammastrahlenanteil des ersten bzw. zweiten Detektors festgelegt und ebenso in einer Datenbank zur späteren Auswertung gespeichert.

**[0077]** So können Detektoren der eingangs beschriebenen Art mit drei verschiedenen Detektormaterialien, hier beispielsweise Berylliumoxid, Lithiumfluorid und Aluminiumoxid bevorzugt als Thermolumineszenzmaterialien eingesetzt werden, um diese

vom Flugpersonal mitzuführen und nach einem Erfassungszeitraum Werte für den linearen Energietransfer zu bestimmen, dem die jeweilige dem Detektor zugeordnete Person ausgesetzt war.

**[0078]** Hierfür können die Materialien jedes der drei Detektoren, z. B. in einem entsprechend geeigneten Ofen thermisch zur Lumineszenz angeregt und die Intensität der Lumineszenz als Lumineszenzsignal über die Temperatur bzw. die Zeit erfasst werden.

**[0079]** Anhand der ermittelten Gesamtgammadosis des dritten, z. B. aluminiumoxidbasierten Detektors kann ein jeweiliges skaliertes Referenzsignal als Gammauntergrund von jedem der Lumineszenzsignale des ersten und zweiten Detektors in Abzug gebracht werden, um deren Lumineszenzsignale um den Gammaanteil zu bereinigen. Das zum ersten und zum zweiten Detektor gehörende jeweilige Referenzsignal kann wiederum in einer Datenbank nach Ermittlung in einem Kalibrierungsschritt gespeichert sein.

**[0080]** Die sodann bereinigten Lumineszenzsignale werden in den zuvor festgelegten Grenzen integriert und das Verhältnis dieser Integrale gebildet, um sodann, so wie es beispielsweise die [Fig. 2](#) zeigt, anhand einer hinterlegten Regressionsfunktion aus dem ermittelten Integralverhältnis den LET-Wert zu bestimmen.

**[0081]** Für die Durchführung der Kalibration des ersten und zweiten Detektors hinsichtlich des zu korrigierenden Gammastrahlungsanteils kann es vorgesehen sein, in einem Kalibrierungsschritt mit beispielhaftem Bezug auf den ersten Detektor unter Strahlung von Kobalt 60 sowohl das Lumineszenzsignal von dem ersten Detektor, hier Berylliumoxid als auch dem dritten Detektor, hier Aluminiumoxid, aufzunehmen.

**[0082]** Es kann sodann das Lumineszenzsignal des ersten Detektors, hier Berylliumoxid, als Referenzsignal über die Temperatur oder Zeit gespeichert werden, welches in zukünftigen Anwendungen des Detektors und dem dann erfassten Lumineszenzsignal in Abzug gebracht wird unter Berücksichtigung eines Skalierungsfaktors, der basiert auf dem Verhältnis der bei der Kobalt-60 Kalibration ermittelten Integrale über den gesamten Integrationsbereich der thermischen oder optischen Stimulation, multipliziert mit dem Integral des Lumineszenzsignals über den gesamten Stimulationsbereich des dritten Detektors, das sich bei konkreter Messanwendung in jedem Einzelfall ergibt. In gleicher Weise erfolgt die Kalibration für den zweiten Detektor.

**[0083]** So kann also beispielsweise auch das Verhältnis der Integrale, welches sich aus dem Kalibra-

tionsschritt unter reiner Gammastrahlung, wie beispielsweise Kobalt 60 Strahlung ergibt, für die jeweilige Paarung aus erstem und dritten bzw. zweiten und dritten Detektor in gleicher Weise in einer Datenbank zur späteren Verwendung gespeichert werden. Dieser Verhältniswert muss somit für die spätere Verwendung lediglich multipliziert werden mit dem Integral des Lumineszenzsignals des dritten Detektors, um sodann skaliert mit diesem Faktor das jeweilige Referenzsignal in Abzug zu bringen und das korrigierte Signal bereitzustellen, zur Integration zwischen den bei dem zuvor beschriebenen Kalibrationsschritt festgelegten Grenzwerten.

**[0084]** Nach Stimulation und Erfassung der Lumineszenzsignale können die erfindungsgemäßen Detektoreinheiten wiederverwendet werden.

**[0085]** Das erfindungsgemäße Verfahren oder die Vorrichtung zeigen deutlich, dass trotz der Tatsache, dass einzelne, zu Lumineszenz stimulierende Materialien für sich alleine genommen nicht geeignet sind, um aussagekräftige Informationen über den linearen Energietransfer zu gewinnen, so doch die Kombination zweier solcher gezielt ausgewählter verschiedener Detektormaterialien die Möglichkeit erschließt, aussagekräftige LET-Werte nach einer Strahlungsexposition der jeweiligen Detektorpaarung zu erzielen.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Bhaskar Mukherjee, Darius Makowski und Stefan Simrock in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 545 (2005) 830–841 [[0037](#)]

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Maßes für den linearen Energietransfer (LET) ionisierender Photonen- und/oder Teilchenstrahlung, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Detektoreinheit umfassend einen ersten Detektor, mit einem ersten zur Lumineszenz stimulierbaren Material und umfassend einen zweiten Detektor, mit einem zweiten vom ersten verschiedenen zur Lumineszenz stimulierbaren Material für die Dauer eines Erfassungszeitraums ionisierender Photonen- und/oder Teilchenstrahlung ausgesetzt wird und nach dem Erfassungszeitraum nach oder während einer Stimulation vom ersten Detektor ein erstes Lumineszenzsignal und vom zweiten Detektor ein zweites Lumineszenzsignal erfasst wird und die jeweiligen Lumineszenzsignale oder davon abhängige korrigierte Signale jeweils integriert werden und ein Verhältnis der Integrale berechnet wird, welches ein Maß für den linearen Energietransfer repräsentiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem von der Detektoreinheit umfassten dritten Detektor mit einem dritten, vom ersten und zweiten verschiedenen zur Lumineszenz stimulierbaren Material während des Erfassungszeitraumes überwiegend, bevorzugt ausschließlich Gamma-Strahlung erfasst wird, wobei nach dem Erfassungszeitraum vom dritten Detektor nach oder während einer Stimulation ein drittes Lumineszenzsignal erfasst wird, in dessen Abhängigkeit oder in Abhängigkeit von dessen Integral aus dem ersten und zweiten Lumineszenzsignal ein jeweiliges erstes und zweites um den jeweiligen Gammastrahlungsanteil korrigiertes Signal gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bildung eines korrigierten Signals von dem Lumineszenzsignal eines ersten und/oder zweiten Detektors ein mit einem Faktor skaliertes Referenzsignal dieses jeweiligen Detektors subtrahiert wird, insbesondere wobei das Referenzsignal des jeweiligen Detektors ermittelt wird in einem Kalibrierungsprozess, bei dem der jeweilige Detektor zusammen mit dem dritten Detektor ausschließlich Gammastrahlung ausgesetzt wird und das nach oder während einer Stimulation erfasste Lumineszenzsignal des ersten und/oder zweiten Detektors dessen jeweiliges Referenzsignal bildet, insbesondere wobei der Faktor zur Skalierung ermittelt wird durch das beim Kalibrierungsprozess bestimmte Verhältnis des Integrals des Referenzsignals zum Integral des Lumineszenzsignals des dritten Detektors multipliziert mit dem Integral des nach dem Erfassungszeitraum erfassten Lumineszenzsignal des dritten Detektors.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet dass als Detektoren thermisch zur Lumineszenz stimulierbare Materiali-

en eingesetzt werden und zur Bestimmung des Integrals des Lumineszenzsignals oder des korrigierten Signals des ersten Detektors dessen Integration in einem ersten Temperaturteilbereich oder Zeitteilbereich durchgeführt wird und zur Bestimmung des Integrals des Lumineszenzsignals oder des korrigierten Signals des zweiten Detektors dessen Integration in einem zweiten Temperaturteilbereich oder Zeitteilbereich durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und zweite Temperaturteilbereich oder Zeitteilbereich in einem Kalibrierungsschritt, bei welchem der erste und zweite Detektor ausschließlich einem bekannten Strahlungs-/Teilchenspektrum ausgesetzt werden, derart gewählt werden, dass bei diesen Teilbereichen das Verhältnis der Integrale gleich Eins ist.

6. Vorrichtung zur Bestimmung eines Maßes für den linearen Energietransfer (LET) ionisierender Photonen- und/oder Teilchenstrahlung, dadurch gekennzeichnet, dass sie als eine Detektoreinheit ausgebildet ist, die einen ersten Detektor mit einem ersten zur Lumineszenz stimulierbaren Material, insbesondere Berylliumoxid und einen zweiten Detektor mit einem zweiten vom ersten verschiedenen zur Lumineszenz stimulierbaren Material, insbesondere Lithiumfluorid und einen dritten Detektor mit einem dritten, vom ersten und zweiten verschiedenen zur Lumineszenz stimulierbaren und überwiegend, bevorzugt ausschließlich Gamma-Strahlung detektierenden Material, insbesondere Aluminiumoxid umfasst, mit denen gleichzeitig für die Dauer eines Erfassungszeitraums ionisierende Photonen- und/oder Teilchenstrahlung erfassbar ist und von jedem Detektor separat nach dem Erfassungszeitraum nach oder während der Stimulation, insbesondere thermische oder optische Stimulation ein jeweiliges Lumineszenzsignal erfassbar ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoreinheit als ein lichtundurchlässiges, insbesondere feuchtigkeitsundurchlässiges Gehäuse ausgebildet ist, in dem die drei Detektoren, insbesondere in einer dreieckigen Geometrie, angeordnet sind.

8. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse von einem Faradayschen Käfig umgeben ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Faradaysche Käfig ausgebildet ist durch Ummantelung des Gehäuses mit einer Metallfolie, oder durch eine mittels Bedampfung aufgebraute Metallschicht, insbesondere wobei das Metall als Gold- oder Kupfer gewählt ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse aus einem, insbesondere lichtundurchlässigen und feuchteundurchlässigem Kunststoff, insbesondere PVC gebildet ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

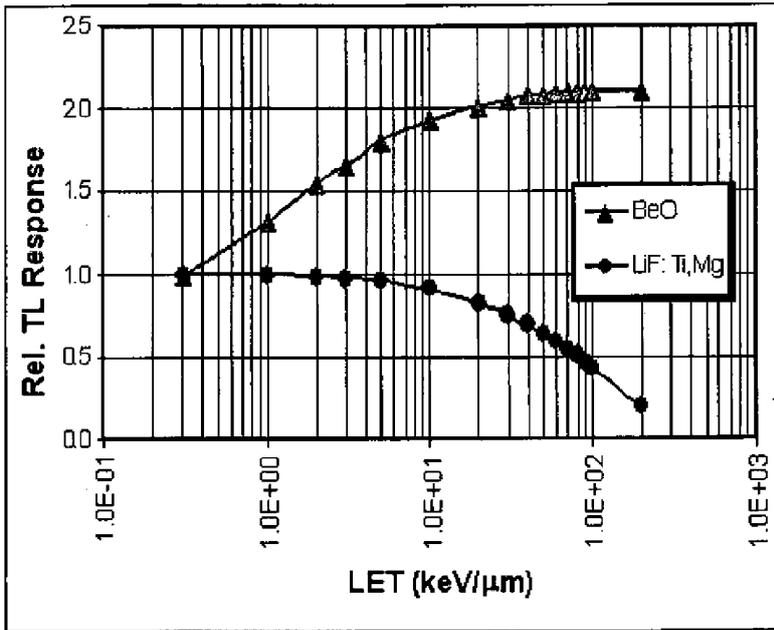


Fig. 1

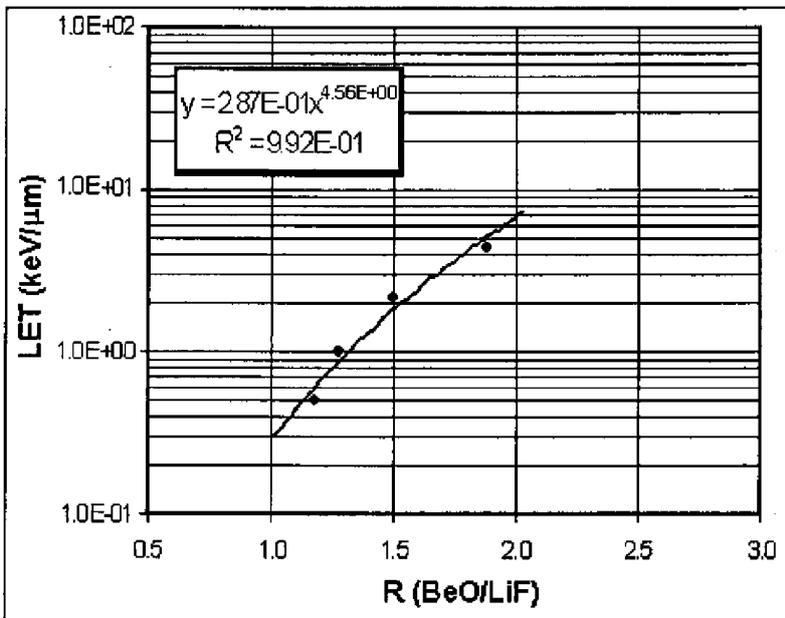


Fig. 2

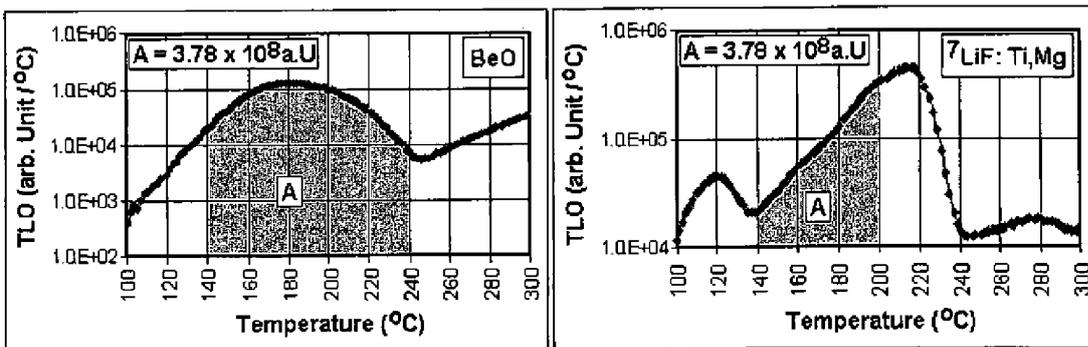


Fig. 3