



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 102 12 638 A 1

51 Int. Cl.⁷:
G 01 T 1/29
G 01 T 1/36
A 61 B 6/03
G 01 N 23/207
G 01 N 23/06

21 Aktenzeichen: 102 12 638.0
22 Anmeldetag: 21. 3. 2002
43 Offenlegungstag: 16. 10. 2003

DE 102 12 638 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Heismann, Björn, Dr., 91052 Erlangen, DE; Haar,
Thomas von der, Dr., 90482 Nürnberg, DE

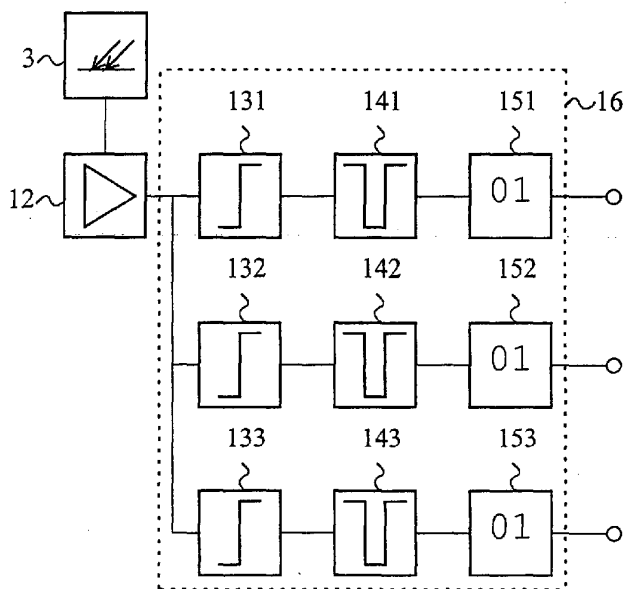
56 Entgegenhaltungen:
DE 697 11 902 T2
US 63 55 923 B2
US 62 48 990 B1
E. Hell et al., The evolution of scintillating
medical detectors, Nuclear Instruments and
Methods
in Physics Res. A 454 (2000) 40-48;
A. Shor et al., Spectroscopy with pixellated
CdZnTE gamma detectors - experiment versus
theory,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Res.
A 458 (2001) 47-54;
H.U. Schmidt, Meßelektronik in der Kernphysik,
B.G. Teubner, Stuttgart 1986, S. 171-176;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Computertomograph und Verfahren zum Nachweis von Röntgenstrahlung mit einer aus einer Vielzahl von Detektoren bestehenden Detektoreinheit

57 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Computertomographen, aufweisend eine aus einer Vielzahl von Detektoren (1) bestehende Detektoreinheit (2) zum Nachweis von Röntgenstrahlung (40), wobei die einzelnen Detektoren (1) der Detektoreinheit (2) ausgebildet sind, um einfallende Röntgenquanten der Röntgenstrahlung (40) zu empfangen und die empfangene Röntgenstrahlung (40) sowohl hinsichtlich der Intensität als auch hinsichtlich der Quantenenergie der einzelnen Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung (40) zu erfassen. Weiter wird ein entsprechendes Verfahren zum Nachweis von Röntgenstrahlung durch einen eine aus einer Vielzahl von Detektoren (1) bestehende Detektoreinheit (2) aufweisenden Computertomographen offenbart.



DE 102 12 638 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Computertomographen und ein Verfahren zum Nachweis von Röntgenstrahlung mit einer aus einer Vielzahl von Detektoren bestehenden Detektoreinheit.

[0002] Bei mannigfaltigen Problemgestaltungen der Medizin werden Untersuchungen mit Hilfe von Computertomographen durchgeführt. Auch in einigen Bereichen des Maschinenbaus, insbesondere der Materialkunde und der Flugsicherheit werden derartige Untersuchungen zu Prüfzwecken eingesetzt.

[0003] Dabei wird Röntgenstrahlung verwendet, da diese Festkörper, z. B. nichtmetallische Körper, teilweise zu durchdringen vermag, so dass Erkenntnisse über die Verteilung von Materie innerhalb des betrachteten Körpers gewonnen werden können.

[0004] Nachteilig an der Verwendung von Röntgenstrahlung ist, dass diese ab einer gewissen Dosis biologisches Gewebe schädigen kann. Deshalb ist es gerade in der Medizin erstrebenswert, die für eine Messung erforderliche Strahlendosis gering zu halten.

[0005] Zum Nachweis von Röntgenstrahlung ist bekannt, dass diese von bestimmten Szintillations-Materialien absorbiert werden kann, wobei die Energie der absorbierten Röntgenquanten in Licht umgewandelt wird. Die Anzahl der erzeugten Photonen pro Röntgenquant ist dabei im allgemeinen etwa proportional zu seiner Quantenenergie. Eine Photodiode wandelt das Licht in einen Strom, der von einem Analog-Digital-Umsetzer digitalisiert wird. Da die Selbstabsorption des Lichts im Szintillations-Material die Lichtausbeute verringert, sind dem Szintillations-Material häufig Moleküle beigemischt, die eine Frequenzverschiebung des erzeugten Lichtes bewirken, um so die Selbstabsorption des erzeugten Lichtes zu vermindern.

[0006] Weiter sind zum Nachweis von Röntgenstrahlung auch bestimmte Halbleitermaterialien bekannt, in denen die einfallende Röntgenstrahlung Ladungsträger zu erzeugen vermag. Die Anzahl der erzeugten Ladungsträger pro Röntgenquant ist dabei im allgemeinen etwa proportional zu seiner Quantenenergie.

[0007] Die bekannten Detektoren zum Nachweis von Röntgenstrahlung machen sich die vorstehend beschriebenen Effekte zu nutze. Dabei ist zu beachten, dass bei den bekannten integrierenden Detektoren pro Messung lediglich ein Messwert ermittelt wird. Somit werden die von der Vielzahl der pro Messperiode empfangenen Röntgenquanten erzeugten Lichtblitze bzw. Ladungen über die Dauer der Messperiode aufintegriert. Die Intensität der empfangenen Röntgenstrahlung (die Anzahl der empfangenen Röntgenquanten mittlerer Quantenenergie pro Zeiteinheit) ergibt sich dann durch Division des von dem Detektor aufintegrierten Wertes durch die stochastisch zu ermittelnde mittlere Quantenenergie pro Röntgenquant.

[0008] Da die in der Computertomographie zu Messzwecken emittierte Mess-Röntgenstrahlung üblicherweise ein polychromatisches Spektrum aufweist, sind in diesem Zusammenhang Aufhärtungseffekte zu berücksichtigen. Bei dem Durchgang der von einer Strahlungsquelle emittierten Mess-Röntgenstrahlung durch ein Messobjekt erfährt die Röntgenstrahlung in Abhängigkeit von der durchdrungenen Materie und der Länge des Strahlenganges durch die Materie hindurch eine z. T. starke Unterdrückung niederenergetischer Anteile ihres Spektrums. Die Streustrahlung wird dadurch ebenso wie die mittlere Quantenenergie der empfangenen Röntgenquanten zu höheren Energien im Spektrum verschoben.

[0009] Zum Nachweis der zweidimensionalen Verteilung

und somit zum Erstellen eines Bildes der einfallenden Röntgenstrahlung ist es bekannt, eine Vielzahl von gleichartigen Detektoren zu einer Detektoreinheit zum Detektieren einfallender Strahlung und zur Abgabe entsprechender Bildinformationen zusammenzufassen. Die Detektoren sind dabei vorzugsweise in einer Ebene in Form eines Rasters nebeneinander angeordnet.

[0010] Dies hat zur Folge, dass sich aufgrund von Aufhärtungseffekten für jeden Detektor einer Detektoreinheit in Abhängigkeit von der Materialverteilung in dem betrachteten Messobjekt ein unterschiedlicher Wert für die tatsächliche mittlere Quantenenergie pro Röntgenquant ergibt. Dieser tatsächliche Wert kann nur näherungsweise mittels stochastischer Methoden bestimmt werden. Insbesondere in Bereichen, in denen unterschiedliche Materialien in dem betrachteten Messobjekt aneinandergrenzen (z. B. Knochenkanten), ist die näherungsweise Bestimmung der mittleren Quantenenergie pro Röntgenquant trotz numerischen Korrekturen stark fehlerbehaftet.

[0011] Ein weitere Störgröße bei der Messung von Röntgenstrahlung mittels Computertomographen ist die je nach betrachtetem Messobjekt stärker oder weniger stark ausgeprägte Streustrahlung. Die Streustrahlung kann je nach Spektrum der emittierten Mess-Röntgenstrahlung und Art des betrachteten Messobjektes mehrere zehn Prozent der emittierten Mess-Röntgenstrahlung ausmachen. Sie führt zu einer erheblichen Kontrastverschlechterung des von den Detektoren der Detektoreinheit gewonnenen Messergebnisses.

[0012] Deshalb ist vor der Detektoreinheit bekannter Computertomographen ein Streustrahlenraster vorgesehen, durch das nur Röntgenquanten, die eine bestimmte Richtung und Energie haben (und somit für die Messung wichtig sind), hindurchtreten können.

[0013] Das Streustrahlenraster weist in der Regel ein spezielles Kollimatorsystem in Form einer Lamellenanordnung auf, so dass auch Röntgenquanten der emittierten Mess-Röntgenstrahlung, die auf die Lamellenwände treffen, absorbiert werden.

[0014] Das Vorsehen eines Streustrahlenrasters hat demnach zur Folge, dass einige Prozent der Strahlungsquanten einer zu Messzwecken emittierten Mess-Röntgenstrahlung in dem Streustrahlenraster absorbiert werden, und somit von den Detektoren nicht mehr erfasst werden können.

[0015] Folglich muss die Intensität der zu Messzwecken emittierten Strahlung aufgrund des Streustrahlenrasters entsprechend erhöht werden.

[0016] Dies führt bei medizinischen Anwendungen unvermeidbar zu einer erhöhten Patientendosis.

[0017] Weiter kann die Streustrahlung auch durch das Vorsehen eines Streustrahlenrasters häufig nicht ausreichend gut unterdrückt werden.

[0018] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Computertomograph und ein Verfahren zum Nachweis von Röntgenstrahlung mit einer aus einer Vielzahl von Detektoren bestehenden Detektoreinheit zur Verfügung zu stellen, bei dem eine auf Streustrahlungsquanten oder Aufhärtungseffekte zurückzuführende Beeinträchtigung des Messergebnisses einfach und zuverlässig vermieden wird.

[0019] Die Aufgabe wird gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Die Erfindung wird in den Unteransprüchen weitergebildet.

[0020] Die Aufgabe wird von einem Computertomograph aufweisend eine aus einer Vielzahl von Detektoren bestehende Detektoreinheit zum Nachweis von Röntgenstrahlung gelöst, wobei die einzelnen Detektoren der Detektoreinheit ausgebildet sind, um einfallende Röntgenquanten der Röntgenstrahlung zu empfangen und die eingefallene Röntgenstrahlung sowohl hinsichtlich der Intensität als auch hin-

sichtlich der Quantenenergie der einzelnen Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung zu erfassen.

[0021] Da die Detektoren der Detektoreinheit des Computertomographen gemäß der vorliegenden Erfindung ausgebildet sind, um einfallende Röntgenstrahlung zu empfangen und die empfangene Röntgenstrahlung sowohl hinsichtlich der Intensität als auch hinsichtlich der Quantenenergie der einzelnen Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung zu erfassen, wird am Ausgang der Detektoren der Detektoreinheit statt eines einzelnen Messwertes pro Messperiode ein Spektrum ausgegeben, das neben einer Information über die Anzahl der pro Messperiode empfangenen Röntgenquanten mittlerer Quantenenergie (Intensität) auch eine Information über die jeweilige Quantenenergie der Röntgenquanten (das Spektrum) der empfangenen Röntgenstrahlung enthält.

[0022] Anhand der so gewonnenen Information ist es möglich, Einflüsse, die auf Streustrahlung zurückzuführen sind, zusätzlich zu einem ggf. vorhandenen Streustrahlenrastrer weiter zu unterdrücken.

[0023] Weiter ist es durch Betrachtung des erhaltenen Spektrums besonders zuverlässig möglich, Aufhärtungseffekte in der empfangenen Röntgenstrahlung, wie sie z. B. an Knochenkanten auftreten, anhand der Verschiebung des Spektrums der empfangenen Röntgenstrahlung zu detektieren. Die so detektierten Aufhärtungseffekte können dann bei der Weiterverarbeitung der von den Detektoren der Detektoreinheit gewonnenen Information entsprechend berücksichtigt und ggf. korrigiert werden.

[0024] Bei der Weiterverarbeitung der von den Detektoren der Detektoreinheit gewonnenen Information ist weiter vorteilhaft, dass eine quantitative Auswertung der von dem erfindungsgemäßen Computertomographen gewonnenen spektralen Daten (beispielsweise durch ρ -Z-Transformation) mit den bei herkömmlichen Computertomographen bekannten Verfahren möglich ist.

[0025] Ferner weist die Elektronik der Detektoren des erfindungsgemäßen Computertomographen wesentlich geringere Analogteile als die Elektronik herkömmlich Detektoren auf, da ein Aufintegrieren einer Vielzahl von auf Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung zurückzuführenden Teil-Ereignissen nicht nötig ist. Somit kann die Elektronik des erfindungsgemäßen Computertomographen kleiner, kostengünstiger und störungssicherer bereitgestellt werden.

[0026] Zusammenfassend ist es gemäß der vorliegenden Erfindung möglich, einen Computertomograph aufweisend eine aus einer Vielzahl von Detektoren bestehende Detektoreinheit zum Nachweis von Röntgenstrahlung zur Verfügung zu stellen, bei dem eine auf Streustrahlungsquanten oder Aufhärtungseffekte zurückzuführende Beeinträchtigung des Messergebnisses einfach und zuverlässig vermieden wird.

[0027] Gemäß eines ersten bevorzugten Ausführungsform weisen die Detektoren der Detektoreinheit eine Vielzahl von parallel geschalteten Vergleichern mit jeweils einem Schwellenwert auf, und ist jedem Vergleichler ein Zähler zugeordnet, wobei die Vergleichler ausgebildet sind, um den jeweils zugehörigen Zähler um eine Einheit zu erhöhen, wenn die Quantenenergie eines Röntgenquants der empfangenen Röntgenstrahlung den Schwellenwert des jeweiligen Vergleichlers überschreitet.

[0028] Durch einen derartigen Aufbau des Detektors ist es auf besonders einfache Weise möglich, sowohl die Intensität als auch das Spektrum der empfangenen Röntgenstrahlung zu erfassen. Da ferner die Anzahl der empfangenen Röntgenquanten mit einer gewissen Quantenenergie von allen Zählern der Vergleichler mit niedrigeren Schwellenwerten mit

erfasst werden, werden keine Ereignisse verworfen. Die Anzahl der Röntgenquanten mit einer Quantenenergie innerhalb eines Schwellenwertbereichs kann dann einfach aus der Differenz der Zählerstände zweier Vergleichler mit benachbarten Schwellenwerten berechnet werden. Dabei profitiert man von der Korrelation der Zählraten bei Zählern, so dass der statistische Fehler bei der Subtraktion nicht ansteigt.

[0029] Vorzugsweise sind die Schwellenwerte der Vergleichler frei einstellbar, so dass der erfindungsgemäße Computertomograph an verschiedene zu betrachtende Messobjekte und verschiedenen Messverfahren angepasst werden kann.

[0030] Die von den Detektoren der Detektoreinheit gewonnenen Informationen lassen sich besonders einfach weiterverarbeiten, wenn die Detektoren der Detektoreinheit eine Vielzahl von Pulslogiken aufweisen. Die Pulslogiken bewirken eine zeitliche Normierung der Ausgangssignale der Vergleichler. Dabei ist jeweils eine Pulslogik den jeweiligen Vergleichlern nachgeschaltet und den jeweiligen Zählern vorgeschaltet.

[0031] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist der erfindungsgemäße Computertomograph ferner eine Strahlungsquelle zum Emittieren von Röntgenstrahlung mit einer vorgegebenen Intensität und einem vorgegebenen Spektrum, eine Übertragungseinrichtung zum Übertragen der von den Detektoren der Detektoreinheit erfassten Informationen an eine Auswerteeinrichtung, und eine Auswerteeinrichtung auf. Dabei ist die Auswerteeinrichtung ausgebildet, um anhand der von den Detektoren der Detektoreinheit erfassten Informationen unter Berücksichtigung der Intensität und des Spektrums der von der Strahlungsquelle emittierten Röntgenstrahlung ein Messergebnis von einem Messobjekt, welches von der Röntgenstrahlung durchdrungen wird, zu berechnen.

[0032] Mit einem solchen Aufbau ist es durch Vergleichen der Intensität und des Spektrums der von einer Strahlungsquelle emittierten Röntgenstrahlung mit der von den Detektoren der Detektoreinheit des erfindungsgemäßen Computertomographen erfassten Intensität und dem Spektrum der empfangenen Röntgenstrahlung auf besonders einfache und zuverlässige Weise möglich, ein besonders detailliertes Messergebnis von einem betrachteten Messobjekt zu berechnen.

[0033] Bevorzugt weisen die Detektoren der Detektoreinheit eine Empfangsfläche für die Röntgenstrahlung auf, die aus Gadoliniumoxisulfid-Keramik, Bismuth-Germanium-Oxid oder Lutetium-Oxyorthosilikat gebildet ist. Diese sehr schnellen Szintillator-Materialien ermöglichen die in dem erfindungsgemäßen Computertomographen vorzugsweise verwendete Zählrate von bis zu 10 MHz bei Pixelgrößen von etwa $1/50 \text{ mm}^2$.

[0034] Alternativ können die Detektoren jedoch auch eine direktwandelnde Empfangsfläche für die Röntgenstrahlung aufweisen, die vorzugsweise aus Cadmium-Zink-Tellurid oder Cadmium-Tellurid gebildet ist.

[0035] Der Vorteil direktwandelnder Detektoren ist insbesondere darin zu sehen, dass ein großer Teil einer für die Weiterverarbeitung eines von dem Detektor erzeugten Signals erforderlichen Auswertelektronik in die Detektoren integriert werden kann, so dass die Komplexität der Detektoreinheit nicht zuletzt aufgrund der Reduzierung der Anzahl der herauszuführenden Leitungen reduziert werden kann.

[0036] Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird auch von einem Verfahren zum Nachweis von Röntgenstrahlung durch einen eine aus einer Vielzahl von Detektoren bestehende Detektoreinheit aufweisenden Computertomographen gelöst, bei dem die mittels eines Detek-

tors der Detektoreinheit empfangene Röntgenstrahlung sowohl hinsichtlich der Intensität als auch hinsichtlich der Quantenenergie der einzelnen Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung erfasst wird.

[0037] Gemäß einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist der Schritt der Erfassung der mittels des Detektors der Detektoreinheit empfangenen Röntgenquanten die folgenden Schritte auf:

- Detektion eines in dem Detektor in Folge eines empfangenen Röntgenquants erzeugten Signals, dessen Signalthöhe proportional zur Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants ist;
- Vergleich der Signalthöhe mit einer Vielzahl von vorgegebenen Schwellenwerten;
- Erhöhung eines jeweils einem Bereich zwischen zwei benachbarten Schwellenwerten zugeordneten Zählers um eine Einheit, wenn die Signalthöhe des Signals in dem Bereich zwischen den beiden benachbarten Schwellenwerten liegt.

[0038] Da die Zählerstände der Zähler am Ende einer Messperiode somit sowohl eine Information über die Anzahl an empfangenen Röntgenquanten als auch über die jeweilige Quantenenergie der empfangenen Röntgenquanten erhalten, ist es ein leichtes, anhand der Zählerstände der Zähler sowohl die Intensität als auch das Spektrum der empfangenen Röntgenstrahlung anzugeben.

[0039] Gemäß einer alternativen zweiten besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist der Schritt der Erfassung der mittels des Detektors der Detektoreinheit empfangenen Röntgenquanten die folgenden Schritte auf:

- Detektion eines in dem Detektor in Folge eines empfangenen Röntgenquants erzeugten Signals, dessen Signalthöhe proportional zur Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants ist;
- Vergleich der Signalthöhe mit einer Vielzahl von vorgegebenen Schwellenwerten;
- Erhöhung von Zählern, die jeweils einem Schwellenwert zugeordnet sind, um eine Einheit, wenn die Signalthöhe des Signals den jeweiligen Schwellenwert überschreitet.

[0040] Besonders vorteilhaft an dieser Vorgehensweise ist, dass keine Ereignisse verworfen werden, da die Anzahl der empfangenen Röntgenquanten mit einer gewissen Quantenenergie von allen Zählern mit niedrigerem Schwellenwert mit erfasst wird. Die Anzahl der Röntgenquanten mit einer Quantenenergie innerhalb eines Schwellenwertbereichs kann dann einfach aus der Differenz der Zählerstände der Zähler zweier Vergleicher mit benachbarten Schwellenwerten berechnet werden.

[0041] Weiter ist es vorteilhaft, wenn ein in dem Detektor in Folge eines empfangenen Röntgenquants erzeugtes Signal verworfen wird, wenn die ermittelte Signalthöhe des Signals kleiner als ein niedrigster Schwellenwert ist.

[0042] Auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es besonders vorteilhaft, wenn die Schwellenwerte frei einstellbar sind.

[0043] Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist das erfindungsgemäße Verfahren ferner die folgenden Schritte auf:

- Übertragung der mittels der Detektoren gewonnenen Informationen an eine Auswerteeinrichtung;
- Berechnung eines Messergebnisses von einem

Messobjekt, welches von der Röntgenstrahlung durchdrungen wird, mittels der Auswerteeinrichtung anhand der von den Detektoren erfassten Informationen unter Berücksichtigung der Intensität und des Spektrums der von einer Strahlungsquelle emittierten Röntgenstrahlung.

[0044] Mit einem solchen Verfahren ist es durch Vergleichen der Intensität und des Spektrums der von einer Strahlungsquelle emittierten Röntgenstrahlung mit der von den Detektoren der Detektoreinheit erfassten Intensität und dem Spektrum der empfangenen Röntgenstrahlung auf besonders einfache und zuverlässige Weise möglich, Streustrahlungseinflüsse und Aushärtungseffekte zu korrigieren und so ein besonders detailliertes Messergebnis von einem betrachteten Messobjekt zu berechnen.

[0045] Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Zuhilfenahme von Figuren beschrieben. In den Figuren sind gleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Dabei zeigen

[0046] Fig. 1 eine aus einer Vielzahl von Detektoren bestehende Detektoreinheit eines Computertomographen zum Nachweis von Röntgenstrahlung,

[0047] Fig. 2 schematisch wesentliche Elemente eines Detektors des erfindungsgemäßen Computertomographen gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform,

[0048] Fig. 3 eine prinzipielle Weiterbildung des Detektors von Fig. 2,

[0049] Fig. 4 schematisch wesentliche Elemente eines bevorzugten Messaufbaus mit dem erfindungsgemäßen Computertomographen, und

[0050] Fig. 5 ein Ablaufdiagramm einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Nachweis von Röntgenstrahlung mit einem eine aus einer Vielzahl von Detektoren bestehende Detektoreinheit aufweisenden Computertomographen.

[0051] In Fig. 1 ist eine aus einer Vielzahl von Detektoren bestehende Detektoreinheit eines Computertomographen zum Nachweis von Röntgenstrahlung gezeigt.

[0052] Die einzelnen Detektoren **1** der Detektoreinheit **2** haben jeweils den gleichen Aufbau und weisen jeweils eine Empfangsfläche **4** für Röntgenstrahlung auf.

[0053] In der gezeigten bevorzugten Ausführungsform weisen die Empfangsflächen **4** der Detektoren ein Szintillator-Material, in dem einfallende Röntgenquanten in Licht umgewandelt werden, auf. Dabei ist die Zahl der von einem empfangenen Röntgenquant erzeugten Photonen in etwa proportional zu der Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants. Als Szintillator-Material findet in Fig. 1 Bismuth-Germanium-Oxid ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) Verwendung. Alternativ sind jedoch auch Gadoliniumoxisulfid ($\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$)-Keramik oder Lutetium-Oxyorthosilikat (Lu_2SiO_5) aufgrund der Schnelligkeit dieser Szintillator-Materialien sehr gut geeignet.

[0054] Alternativ können die Empfangsflächen **3** der Detektoren jedoch auch aus Cadmium-Zink-Tellurid (CdZnTe) oder Cadmium-Tellurid (CdTe) aufgebaut sein, da diese Materialien in Folge eines empfangenen Röntgenquants direkt (d. h. ohne den Umweg über Licht) ein elektrisches Signal ausgeben können. Der Wert/die Höhe des Signals (in Form einer erzeugten Ladung oder Spannung oder eines erzeugten Stroms) ist dabei in etwa proportional zu der Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants. Vorteilhaft an direkt wandelnden Detektoren ist insbesondere, dass einen Teil einer (nicht gezeigten) weiterverarbeitenden Auswerteelektronik für die Detektoren direkt in den jeweiligen Detektor integriert werden kann.

[0055] In Fig. 2 sind schematisch wesentliche Elemente

eines Detektors des erfindungsgemäßen Computertomographen gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform gezeigt.

[0056] Wie vorstehend erläutert wird in der Empfangsfläche **3** des in **Fig. 2** gezeigten Detektors **1** in Folge eines empfangenen Röntgenquants ein Signal erzeugt, dessen Signalthöhe proportional zu der Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants ist. Dieses Signal wird von einem Verstärker **12** verstärkt.

[0057] An den Verstärker **12** ist eine Erfassungsschaltung **16** angeschlossen, die drei parallel geschaltete Vergleichere **131**, **132** und **133** aufweist.

[0058] Jedem der parallel geschalteten Vergleichere **131**, **132** und **133** ist ein anderer frei einstellbarer Schwellenwert zugewiesen. In dem gezeigten Beispiel ist dem Vergleichere **131** der niedrigste und dem Vergleichere **133** der höchste Schwellenwert zugewiesen.

[0059] Die Vergleichere **131**, **132** und **133** sind ausgebildet, um das von dem Verstärker **12** ausgegebene Signal mit ihrem jeweiligen Schwellenwert zu vergleichen und ein positives Signal auszugeben, wenn das von dem Verstärker **12** empfangene Signal höher als der jeweilige Schwellenwert ist.

[0060] In Serie mit den Vergleichern **131**, **132** und **133** ist jeweils eine Pulslogik **141**, **142** und **143** geschaltet. Die Pulslogik **141**, **142** und **143** ist jeweils ausgebildet, um eine zeitliche Normierung der Ausgangssignale der Vergleichere **131**, **132** und **133** zu bewirken. Weiter ist in Serie zu der Pulslogik **141**, **142** und **143** jeweils ein Zähler **151**, **152** und **153** geschaltet.

[0061] Infolge eines von dem jeweiligen Vergleichere **131**, **132** und **133** ausgegebenen und von der jeweiligen Pulslogik **141**, **142** und **143** normierten positiven Signals wird der jeweilige Zähler **151**, **152** und **153** um eine Einheit erhöht.

[0062] Dabei sind die Pulslogiken **141**, **142** und **143** vorzugsweise untereinander synchronisiert und weisen eine nicht gezeigte gemeinsame Steuerleitung auf.

[0063] Wird bei der in **Fig. 2** gezeigten besonders bevorzugten Ausführungsform eines Detektors des erfindungsgemäßen Computertomographen somit ein Röntgenquant empfangen, dessen Quantenenergie über dem Schwellenwert des Vergleichers **132** und somit auch über dem Schwellenwert des Vergleichers **131**, aber unter dem Schwellenwert des Vergleichers **133** liegt, so geben sowohl der Vergleichere **131** als auch der Vergleichere **132** ein positives Ausgangssignal aus. Infolge dessen werden die Zähler **151** und **152** um eins erhöht. Der Vergleichere **133** gibt hingegen ein negatives Ausgangssignal aus, und der dem Vergleichere **133** zugehörige Zähler **153** bleibt unverändert.

[0064] Wird in dem gezeigten Beispiel ein Röntgenquant empfangen, dessen Quantenenergie über dem Schwellenwert des Vergleichers **131** aber unter dem Schwellenwert des Vergleichers **132** und somit auch unter dem Schwellenwert des Vergleichers **133** liegt, so wird entsprechend nur der Zähler **151** um eins erhöht, wohingegen die Zähler **152** und **153** unverändert bleiben.

[0065] Wird hingegen ein Röntgenquant empfangen, dessen Quantenenergie unter dem Schwellenwert des Vergleichers **131** liegt, so wird das Röntgenquant von keinem der Zähler **151**, **152** und **153** erfasst.

[0066] Somit ist es durch geschickte Wahl des niedrigsten Schwellenwertes möglich, Streustrahlungseinschüsse von vornherein auszuschließen, da diese von keinem Zähler erfasst werden.

[0067] Wie aus den vorgezeigten Beispielen leicht deutlich wird, lässt sich die Zahl der empfangenen Röntgenquanten, deren Quantenenergie einem jeweiligen Schwellenwertbereich entspricht, einfach durch Differenz der Zäh-

lerstände der Zähler von Vergleichern benachbarter Schwellenwerte berechnen.

[0068] Die in **Fig. 2** gezeigte besonders bevorzugte Ausführungsform ermöglicht der besseren Übersichtlichkeit wegen lediglich eine spektrale Unterscheidung von Röntgenquanten in vier Quantenenergie-Bereiche (unter dem Schwellenwert des Vergleichers **131**, zwischen den Schwellenwerten der Vergleichere **131** und **132**, zwischen den Schwellenwerten der Vergleichere **132** und **133** und über dem Schwellenwert des Vergleichers **133**).

[0069] Um ausgehend hiervon eine in der Praxis wünschenswerte höhere spektrale Auflösung der empfangenen Röntgenstrahlung zu erreichen, ist es lediglich erforderlich, in der Erfassungsschaltung **16** eine größere Anzahl von parallel geschalteten Vergleichern mit unterschiedlichen Schwellenwerten vorzusehen. Wie in **Fig. 3** angedeutet, ist jedem Vergleichere wiederum eine Pulslogik sowie ein Zähler zuzuordnen. Folglich lässt sich so auf einfache Weise eine nahezu beliebig feine spektrale Auflösung der von der Empfangsfläche **3** des Detektors **1** empfangenen Röntgenstrahlung erreichen.

[0070] Somit wird mit dem vorstehend beschriebenen Detektor **1** der Detektoreinheit **2** des erfindungsgemäßen Computertomographen die empfangene Röntgenstrahlung sowohl hinsichtlich der Intensität als auch hinsichtlich der Quantenenergie der einzelnen Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung erfasst.

[0071] Gemäß einer in **Fig. 4** gezeigten besonders bevorzugten Ausführungsform ist es weiter besonders vorteilhaft, wenn der erfindungsgemäße Computertomograph neben einer Strahlungsquelle **41** zum Emittieren von Röntgenstrahlung **40** mit einer vorgegebenen Intensität und einem vorgegebenen Spektrum eine Übertragungseinrichtung **43** zum Übertragen der von den Detektoren **1** der Detektoreinheit **2** erfassten Informationen an eine Auswerteeinrichtung **44** aufweist.

[0072] Dabei ist die Auswerteeinrichtung **44** vorzugsweise ausgebildet, um anhand der von den Detektoren **1** der Detektoreinheit **2** erfassten Informationen unter Berücksichtigung der Intensität und des Spektrums der von der Strahlungsquelle **41** emittierten Röntgenstrahlung **40** ein Messergebnis von einem Messobjekt **42**, welches von der Röntgenstrahlung **40** der Strahlungsquelle **41** durchdrungen wird, zu berechnen.

[0073] Mit diesem Aufbau kann ein besonders genaues und fehlerfreies Messergebnis erhalten werden, da Streustrahlungseinflüsse sowie Aushärtungseffekte wirkungsvoll detektiert, quantifiziert und somit auch korrigiert werden können.

[0074] Unter Bezugsname auf **Fig. 5** wird im Folgenden anhand eines Flussdiagramms eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Nachweis von Röntgenstrahlung mit einem eine aus einer Vielzahl von Detektoren **1** bestehende Detektoreinheit **2** aufweisenden Computertomographen beschrieben.

[0075] Erfindungsgemäß wird bei dem Verfahren die mittels eines Detektors **1** der Detektoreinrichtung **2** empfangene Röntgenstrahlung **40** sowohl hinsichtlich der Intensität als auch hinsichtlich der Quantenenergie eines einzelnen Röntgenquants der empfangenen Röntgenstrahlung **40** erfasst.

[0076] Gemäß der in **Fig. 5** gezeigten bevorzugten Ausführungsform weist der Schritt des Erfassens der mittels eines jeweiligen Detektors **1** der Detektoreinheit **2** empfangenen Röntgenquanten die folgenden Schritte auf:

In einem ersten Schritt **S1** wird der Detektor **1** kontinuierlich auf einfallende Röntgenquanten überwacht, um ein von dem Detektor **1** infolge eines empfangenen Röntgenquants aus-

gegebenes Analog-Signal zu detektieren. Dabei ist der Detektor **1** so aufgebaut, dass der Wert (die Höhe) des ausgegebenen Signals proportional zu der Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants ist (wie es beispielsweise bei Szintillations-Detektoren der Fall ist). Bei diesem ausgegebenen Signal kann es sich beispielsweise um einen elektrischen Strom oder eine Spannung oder Ladung mit einer gewissen Höhe handeln.

[0077] Wird in Schritt S2 ein infolge eines empfangenen Röntgenquants von dem Detektor **1** erzeugtes Signal detektiert, so wird der Wert des erzeugten Signals zum Feststellen der Quantenenergie des das Signal verursachenden empfangenen Röntgenquants in Schritt S3 zunächst mit einem ersten, niedrigsten Schwellenwert verglichen.

[0078] Wird in Schritt S4 entschieden, dass der Wert des Signals größer als der niedrigste Schwellenwert ist, so wird ein dem niedrigsten Schwellenwert zugehöriger Zähler **151** im folgenden Schritt S5 um eine Einheit erhöht.

[0079] Andernfalls kehrt das Verfahren zu Schritt S1 zurück, in dem der Detektor **1** kontinuierlich auf einfallende Röntgenquanten überwacht wird.

[0080] Wurde in Schritt S4 entschieden, dass der Wert des Signals größer als der niedrigste Schwellenwert ist, so wird das Signal nach dem Erhöhen des dem niedrigsten Schwellenwert zugeordneten Zählers **151** (siehe Schritt S5) in Schritt S6 mit dem nächsthöheren Schwellenwert verglichen.

[0081] Wird im folgenden Schritt S7 entschieden, dass der Wert des Signals größer als dieser nächsthöhere Schwellenwert ist, so wird auch der diesem Schwellenwert zugehörige Zähler **152, 153** in Schritt S8 inkrementiert.

[0082] Anschließend wird das Signal wieder in Schritt S6 mit dem jeweils nächsthöheren Schwellenwert verglichen.

[0083] Wird in Schritt S7 entschieden, dass der Signalwert kleiner als der jeweilige Schwellenwert ist, so kehrt das Verfahren zu Schritt S1 zurück, in dem der Detektor **1** kontinuierlich auf einfallende Röntgenquanten überwacht wird.

[0084] Es ist zu beachten, dass einzelne Schritte des in Verbindung mit Fig. 5 beschriebene Verfahrens (insbesondere die Schritte S3, S4, S5 und S6, S7, S8), wenn sie von der elektronischen Erfassungsschaltung nach Fig. 2 durchgeführt werden, vorzugsweise nicht – wie in Fig. 5 gezeigt – seriell, sondern parallel verarbeitet werden. Dabei ist eine Taktung der Schritte in Fig. 2 von der Pulslogik vorgegeben und beträgt vorzugsweise einige MHz.

[0085] Wie aus der anhand Fig. 5 erläuterten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens deutlich wird, wird ein von dem Detektor **1** infolge eines empfangenen Röntgenquants erzeugtes Signal verworfen, wenn der Signalwert kleiner als der niedrigste Schwellenwert ist. Damit ist es möglich, durch geeignete Wahl des niedrigsten Schwellenwertes Streustrahlungseinflüsse weitgehend auszuschließen.

[0086] Dabei sind die Schwellenwerte jedoch prinzipiell frei einstellbar, so dass auch ein niedrigster Schwellenwert von Null oder nahe Null denkbar ist. Ein solch niedriger Schwellenwert hat den Vorteil, dass kein Ereignis verworfen wird.

[0087] Nach Ablauf des vorstehend beschriebenen Verfahrens lässt sich die Anzahl der eingefallenen Röntgenquanten mit einer Quantenenergie, die einem bestimmten Schwellenbereich entspricht, leicht durch Differenz der Zählerstände der benachbarten Schwellenwerten zugeordneten Zähler bestimmen.

[0088] In der beschriebenen besonders bevorzugten Ausführungsform läuft das in Fig. 5 dargestellte Verfahren in einer Erfassungsschaltung **16** ab, die in jeden Detektor **1** der Detektoreinheit **2** des erfindungsgemäßen Computertomo-

graphen integriert ist.

[0089] Gemäß einer nicht eigens dargestellten alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann im Gegensatz zu der vorstehend beschriebenen Ausführungsform auch nur jeweils derjenige Zähler um eine Einheit erhöht werden, der jeweils einem Bereich zwischen zwei benachbarten Schwellenwerten zugeordnet ist, wohingegen die anderen Zähler konstant bleiben. Dies ermöglicht ohne weitere Berechnungen eine direkte Ausgabe der Anzahl der eingefallenen Röntgenquanten mit einer einem gewissen Schwellenbereich zugeordneten Quantenenergie.

[0090] Schaltungstechnisch realisieren lässt sich diese alternative Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besonders einfach beispielsweise dadurch, dass jedem Zähler ein UND-Gatter mit einem invertierenden Eingang vorgeschaltet ist. In diesem Fall sind die Ausgänge der Vergleichs benachbarter Schwellenwerte (ggf. über eine Pulslogik) mit den Eingängen dieses UND-Gatters zu verbinden.

[0091] Auch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es besonders vorteilhaft, wenn das Verfahren zudem die Schritte einer Übertragung der mittels der Detektoren **1** gewonnenen Information an eine Auswerteinrichtung **44** und einer Berechnung eines Messergebnisses von einem Messobjekt **42**, welches von der Röntgenstrahlung **40** durchdrungen wird, mittels der Auswerteinrichtung **44** umfasst. Dabei erfolgt die Berechnung des Messergebnisses durch die Auswerteinrichtung **44** anhand der von den Detektoren **1** erfassten Information unter Berücksichtigung der Intensität und des Spektrums der von einer Strahlungsquelle **41** emittierten Röntgenstrahlung **40**. Somit können bei der Berechnung des Messergebnisses des Messobjektes **42** neben den Streustrahlungseinflüssen auch Aufhärtungseinflüsse mit hoher Fehlersicherheit korrigiert werden.

[0092] Zusammenfassend ist es gemäß der vorliegenden Erfindung durch die Erfassung von sowohl Intensität als auch Spektrum von einer mit einem Detektor **1** einer Detektoreinheit **2** eines Computertomographen empfangenen Röntgenstrahlung **40** möglich, einen Computertomograph und ein Verfahren zum Nachweis von Röntgenstrahlung **40** mit einer aus einer Vielzahl von Detektoren **1** bestehenden Detektoreinheit **2** zur Verfügung zu stellen, bei dem eine auf Streustrahlungsquanten oder Aufhärtungseffekte zurückzuführende Beeinträchtigung des Messergebnisses einfach und zuverlässig vermieden wird.

Patentansprüche

1. Computertomograph, aufweisend eine aus einer Vielzahl von Detektoren (**1**) bestehende Detektoreinheit (**2**) zum Nachweis von Röntgenstrahlung (**40**), wobei die einzelnen Detektoren (**1**) der Detektoreinheit (**2**) ausgebildet sind, um einfallende Röntgenquanten der Röntgenstrahlung (**40**) zu empfangen und die empfangene Röntgenstrahlung (**40**) sowohl hinsichtlich der Intensität als auch hinsichtlich der Quantenenergie der einzelnen Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung (**40**) zu erfassen.

2. Computertomograph nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

dass die Detektoren (**1**) der Detektoreinheit (**2**) eine Vielzahl von parallel geschalteten Vergleichern (**131, 132, 133**) mit jeweils einem Schwellenwert aufweisen, und

dass jedem Vergleichs (**131, 132, 133**) ein Zähler (**151, 152, 153**) zugeordnet ist, und die Vergleichs (**131, 132, 133**) ausgebildet sind, um den jeweils zugehörigen Zähler (**151, 152, 153**) um eine Einheit zu erhöhen, wenn die Quantenenergie eines Röntgenquants

der empfangenen Röntgenstrahlung (**40**) den Schwellenwert des jeweiligen Vergleichers (**131, 132, 133**) überschreitet.

3. Computertomograph nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwellenwerte der Vergleichs- 5 (**131, 132, 133**) frei einstellbar sind.

4. Computertomograph nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (**1**) der Detektoreinheit (**2**) eine Vielzahl von Pulslogiken (**141, 142, 143**) aufweisen, wobei jeweils eine Pulslogik (**141, 142, 143**) den jeweiligen Vergleichern (**131, 132, 133**) nachgeschaltet und den jeweiligen Zählern (**151, 152, 153**) vorgeschaltet ist, und die Pulslogiken (**141, 142, 143**) eine zeitliche Normierung der Ausgangssignale der Vergleichs- 10 (**131, 132, 133**) bewirken.

5. Computertomograph nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Computertomograph ferner aufweist: eine Strahlungsquelle (**41**) zum Emittieren von Röntgenstrahlung (**40**) mit einer vorgegebenen Intensität 20 und einem vorgegebenen Spektrum;

eine Übertragungseinrichtung (**43**) zum Übertragen der von den Detektoren (**1**) der Detektoreinheit (**2**) erfassten Informationen an eine Auswerteeinrichtung (**44**); eine Auswerteeinrichtung (**44**), die ausgebildet ist, um 25 anhand der von den Detektoren (**1**) der Detektoreinheit (**2**) erfassten Informationen unter Berücksichtigung der Intensität und des Spektrums der von der Strahlungsquelle (**41**) emittierten Röntgenstrahlung (**40**) ein Messergebnis von einem Messobjekt (**42**), welches von 30 der Röntgenstrahlung (**40**) durchdrungen wird, zu berechnen.

6. Computertomograph nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (**1**) der Detektoreinheit (**2**) eine Empfangsfläche (**3**) 35 für die Röntgenstrahlung (**40**) aufweisen, die aus Gadoliniumoxisulfid-Keramik, Bismuth-Germanium-Oxid oder Lutetium-Oxyorthosilikat gebildet ist.

7. Computertomograph nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (**1**) 40 der Detektoreinheit (**2**) eine direktwandelnde Empfangsfläche (**3**) für die Röntgenstrahlung (**40**) aufweisen, die aus Cadmium-Zinc-Tellurid oder Cadmium-Tellurid gebildet ist.

8. Verfahren zum Nachweis von Röntgenstrahlung 45 durch einen eine aus einer Vielzahl von Detektoren (**1**) bestehende Detektoreinheit (**2**) aufweisenden Computertomographen, bei dem die mittels eines Detektors (**1**) der Detektoreinheit (**2**) empfangene Röntgenstrahlung (**40**) sowohl hinsichtlich der Intensität als auch 50 hinsichtlich der Quantenenergie der einzelnen Röntgenquanten der empfangenen Röntgenstrahlung (**40**) erfasst wird.

9. Verfahren zum Nachweis von Strahlung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, 55 dass die Erfassung der mittels des Detektors (**1**) der Detektoreinheit (**2**) empfangenen Röntgenquanten die folgenden Schritte aufweist:

- Detektion eines in dem Detektor (**1**) in Folge eines empfangenen Röntgenquants erzeugten Signals, dessen Signalthöhe proportional zur Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants ist; 60
- Vergleich der Signalthöhe mit einer Vielzahl von vorgegebenen Schwellenwerten;
- Erhöhung eines jeweils einem Bereich zwischen zwei benachbarten Schwellenwerten zugeordneten Zählers (**151, 152, 153**) um eine Einheit, wenn die Signalthöhe des Signals in dem Bereich 65

zwischen den beiden benachbarten Schwellenwerten liegt.

10. Verfahren zum Nachweis von Strahlung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassung der mittels des Detektors (**1**) der Detektoreinheit (**4**) empfangenen Röntgenquanten die folgenden Schritte aufweist:

- Detektion eines in dem Detektor (**1**) in Folge eines empfangenen Röntgenquants erzeugten Signals, dessen Signalthöhe proportional zur Quantenenergie des empfangenen Röntgenquants ist;
- Vergleich der Signalthöhe mit einer Vielzahl von vorgegebenen Schwellenwerten;
- Erhöhung von Zählern (**151, 152, 153**), die jeweils einem Schwellenwert zugeordnet sind, um eine Einheit, wenn die Signalthöhe des Signals den jeweiligen Schwellenwert überschreitet.

11. Verfahren zum Nachweis von Strahlung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein in dem Detektor (**1**) in Folge eines empfangenen Röntgenquants erzeugtes Signal verworfen wird, wenn die ermittelte Signalthöhe des Signals kleiner als ein niedrigster Schwellenwert ist.

12. Verfahren zum Nachweis von Strahlung nach Anspruch 9, 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwellenwerte frei einstellbar sind.

13. Verfahren zum Nachweis von Strahlung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren ferner die folgenden Schritte aufweist:

- Übertragung der mittels der Detektoren (**1**) gewonnenen Informationen an eine Auswerteeinrichtung (**44**);
- Berechnung eines Messergebnisses von einem Messobjekt (**42**), welches von der Röntgenstrahlung (**40**) durchdrungen wird, mittels der Auswerteeinrichtung (**44**) anhand der von den Detektoren (**1**) erfassten Informationen unter Berücksichtigung der Intensität und des Spektrums der von einer Strahlungsquelle (**41**) emittierten Röntgenstrahlung (**40**).

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

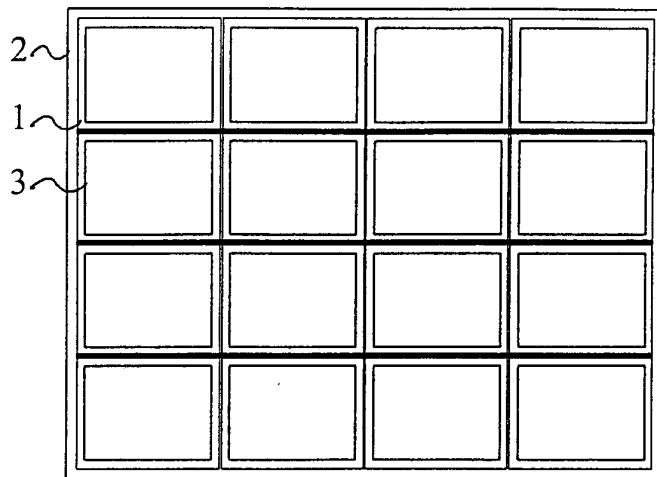


Fig. 1

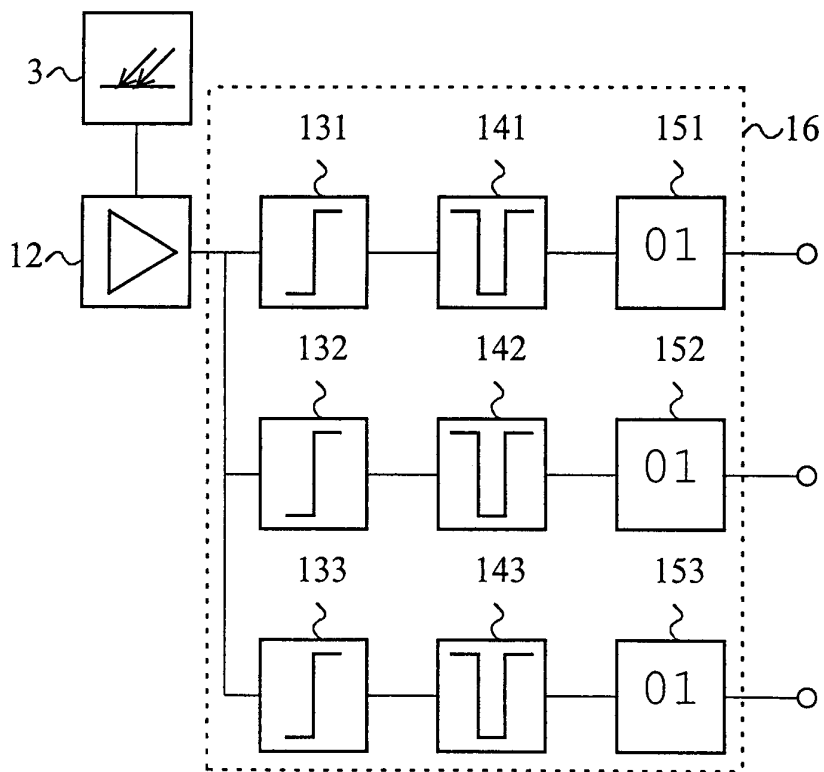


Fig. 2

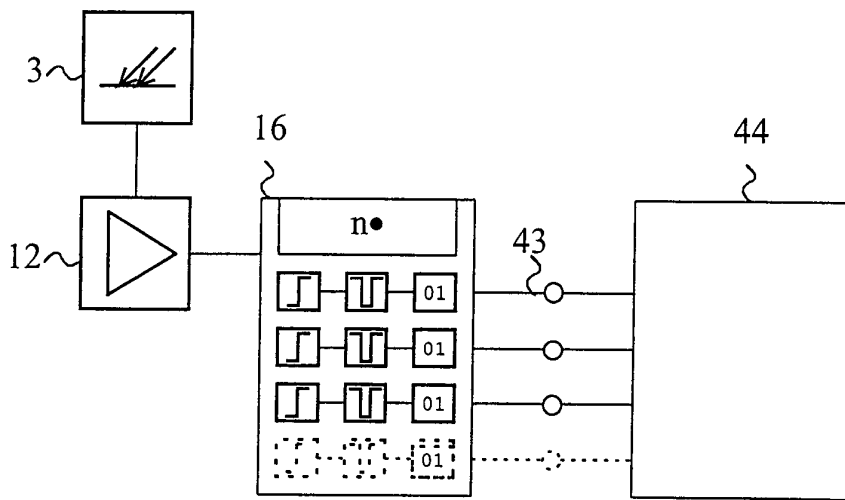


Fig. 3

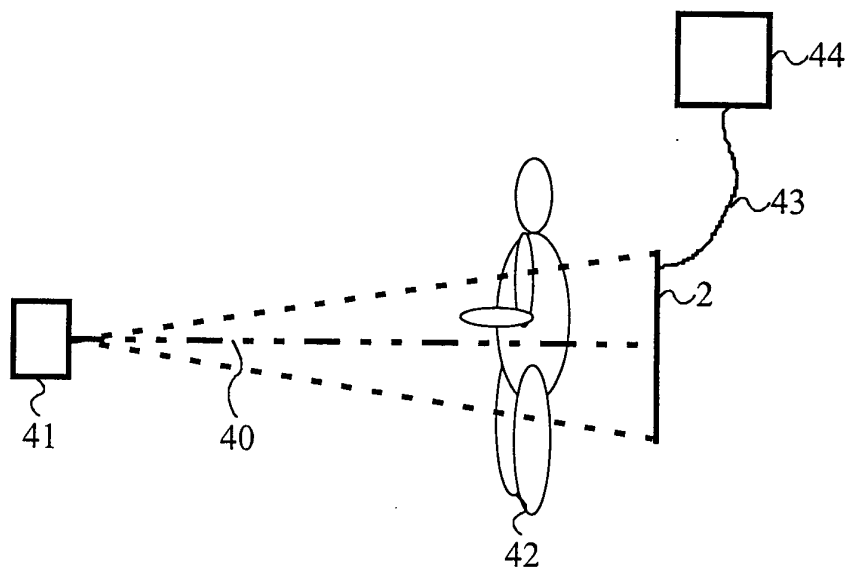


Fig. 4

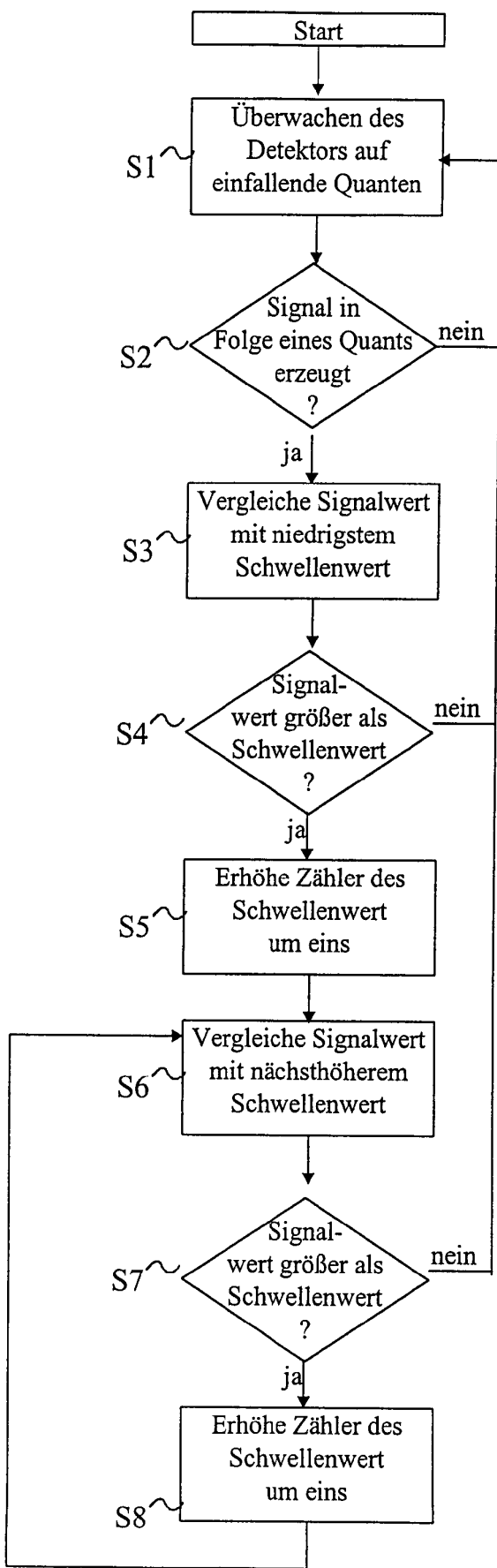


Fig. 5