



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2008 005 373 B4 2010.02.25**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 005 373.2**  
 (22) Anmeldetag: **21.01.2008**  
 (43) Offenlegungstag: **30.07.2009**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **25.02.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01T 1/29 (2006.01)**  
**G01T 1/02 (2006.01)**  
**G01T 1/17 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE**

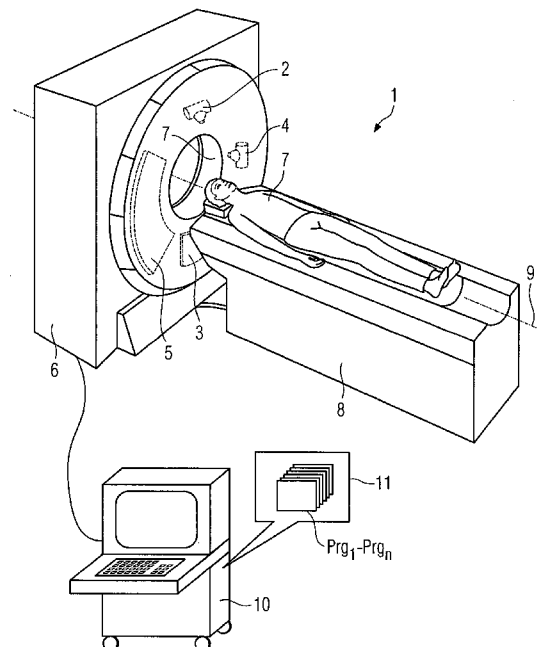
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:  
**Eversmann, Björn-Oliver, Dr., 91365 Weilersbach, DE;**  
**Heismann, Björn, Dr., 91052 Erlangen, DE;**  
**Henseler, Debora, Dr., 91052 Erlangen, DE;**  
**Janssen, Silke, Dr., 91336 Heroldsbach, DE;**  
**Niederlöhner, Daniel, Dr., 91052 Erlangen, DE**

**US 45 91 984 A**  
**US 2006/02 76 706 A1**  
**DE 10 2007 034982 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Schaltungsanordnung zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit direkt zählenden Detektoren**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bestimmung einer Strahlungsintensität mit einem Detektor (3, 5) mit zählenden Detektorelementen (3.m.n.), wobei in den Detektorelementen (3.m.n.) absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale (11) in Pulsform erzeugen, deren Anzahl und Höhe mit der auftreffenden Strahlungsintensität auf dem Detektorelement (3.m.n.) korrelieren und durch Zählen der Signalpulse (11) die Strahlungsintensität bestimmt wird, die anfallenden Signalpulse (11) in mindestens einem Detektorelement (3.m.n.) gleichzeitig mit mindestens einem kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13) und mit mindestens einem getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator (14) detektiert werden, wobei mit Hilfe dieser beiden Detektionsinformationen die Anzahl der angefallenen Signalpulse (11) bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (13) und dem Ausgang des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (14) eine logische Verknüpfung (15) derart verwendet wird, dass nach jedem Überschreiten eines Schwellwertes (17) am kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13), der ein positives Zählereignis für den kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13) darstellt, ein erstes Zählereignis beim...



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung einer Strahlungsintensität mit einem Detektor mit zählenden Detektorelementen, wobei in den Detektorelementen absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale in Pulsform erzeugen, deren Pulsanzahl und Pulshöhe mit der auftreffenden Strahlungsintensität auf dem Detektorelement korrelieren, und durch Zählen der Pulse die Strahlungsintensität bestimmt wird. Weiterhin betrifft die Erfindung auch eine Schaltungsanordnung zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit einem Detektor mit zählenden Detektorelementen, wobei in den Detektorelementen durch absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale in Pulsform erzeugt werden, deren Anzahl und gegebenenfalls Höhe mit einer auftreffenden Strahlungsintensität korrelieren und durch Zählen der Signale die auftreffende Strahlungsintensität geschätzt werden kann.

**[0002]** Im Bereich der Computertomographie (CT) wird damit begonnen zählende Detektorkonzepte zu entwickeln. Ein Problem besteht hierbei darin, die hohen Photonenflüsse zu verarbeiten, die in der CT auftreten.

**[0003]** Eine Detektionsmethode verwendet hierzu direkt konvertierende Halbleitermaterialien. In diesen erzeugt ein absorbiertes Photon freie Ladungen, die mittels eines angelegten elektrischen Feldes zur Elektrode abgesaugt werden, so dass ein Strompuls entsteht. Die Fläche – und näherungsweise auch die Höhe – dieses Pulses sind proportional zur Menge der Ladung und damit zur Energie des absorbierten Photons. Die korrekte Abtastung und Digitalisierung der entstehenden Strompulse, insbesondere die Auflösung der auftretenden Pulse in Anzahl und Höhe, ist dabei nicht trivial.

**[0004]** In der nicht vorveröffentlichten Druckschrift DE 10 2007 034 982 A1 wird eine Möglichkeit zur Steigerung der Robustheit gegenüber einer Variation der Pulsbreite bei einer getakteten Signalabtastung dargestellt, indem die Abtastrate so hoch eingestellt wird, dass dadurch der zeitliche Abtastabstand höher als die mittlere zu erwartende Pulsbreite ist. Nicht gelöst ist bei diesem Verfahren allerdings eine optimale Energieauflösung bei niedrigen Photonenflüssen am Detektor.

**[0005]** Es wird weiterhin auch auf die Druckschriften US 4,591,984 A1 und US 2006/0276706 A1 hingewiesen, aus denen ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung gemäß dem Oberbegriff der Verfahrensansprüche beziehungsweise Schaltungsansprüche hervorgeht.

**[0006]** Es ist Aufgabe der Erfindung, ein weiter ver-

bessertes Verfahren und eine verbesserte Schaltungsanordnung zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit zählenden Detektorelementen vorzustellen, welche in der Lage sind, auch bei hohen Photonenflussraten ausreichend genaue Werte auszugeben.

**[0007]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand untergeordneter Ansprüche.

**[0008]** Die Erfinder haben Folgendes erkannt: Ein Ansatz zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit zählenden Detektormaterialien ist die Verwendung eines kontinuierlichen Pulshöhendiskriminators. Bei diesem wird zu jedem Zeitpunkt, an dem das Signal eine eingestellte Schwelle überschreitet, ein Zählereignis generiert. Dieser kontinuierliche Pulshöhendiskriminator hat den Vorteil, dass er die Höhe der Signale über eine Variation einer oder mehrerer Schwellenhöhen sehr genau bestimmen kann und dabei unabhängig von einer variierenden Pulsbreite die Zählrate bestimmt. Allerdings setzt dieses Verfahren eine relativ niedrige Flussrate an Photonen, also nicht überlappende Signale voraus. Für sehr hohe Flüsse liefert das Konzept stark unterschätzte Zählerstände bis hin zu einem paralysierenden Verhalten. Diese Eigenschaft liegt darin begründet, dass der kontinuierliche Pulshöhendiskriminator immer auf eine Flanke des Signals bei der eingestellten Schwelle reagiert. Da sich bei hohen Photonenflusswerten die Pulse so überlagern, dass zwischen mehreren Pulsen das Signal nicht mehr unter den Schwellwert fällt, können die Pulse nicht aufgelöst und gezählt werden. Die Zählrate nimmt also bei zunehmendem Photonenfluss ab.

**[0009]** Ein zweiter Ansatz ist die Verwendung eines getakteten Pulshöhendiskriminators, der zu bestimmten Zeitpunkten die Signalhöhe mit einer Schwelle vergleicht und bei Überschreitung des Schwellwerts ein Zählereignis generiert. Dieses Konzept hat die Eigenschaft, dass es bei hohen Flüssen – ebenso wie der kontinuierlich arbeitende Pulshöhendiskriminator – zwar die korrekte Anzahl der Pulse unterschätzt, aber kein paralysierendes Verhalten zeigt. Für niedrige Flusswerte ist die Zählrate direkt abhängig von der mittleren Pulsbreite, so dass Schwankungen dieser problematisch sein können. Außerdem wird durch die gegenüber einer gegebenen Pulsform zeitlich zufällige Abtastung dieses Signals, die Pulshöhe meist nicht im Maximum abgetastet, so dass sich ein verschlechtertes Energieübertragungsverhalten ergibt.

**[0010]** Diese methodenspezifischen Probleme können durch eine logische Auswertung zeitkontinuierlicher und zeitdiskreter Komparatorentscheidungen gelöst werden.

**[0011]** Werden die von einem Detektor mit direkt konvertierenden Halbleitermaterialien als Sensoren stammenden Signale mit beiden Diskriminator Konzepten gleichzeitig untersucht und die Ausgangssignale der beiden Diskriminatoren von einer Logik ausgewertet, so kann bei niedrigen Flüssen der Vorteil der korrekten Energiediskriminierung der Signale durch einen kontinuierlichen Pulshöhendiskriminator und bei hohen Flüssen mit dem getakteten Pulshöhendiskriminator eine zu starke Unterschätzung der Zählrate vermieden werden. Hierzu können mit einer Logikverknüpfung die Zählereignisse für eine Zähllektronik generiert werden, wobei mit der Logikverknüpfung dafür gesorgt wird, dass keine Über- oder Unterbewertung der von dem Pulshöhendiskriminator kommenden Zählsignale stattfindet.

**[0012]** Werden beide Pulshöhendiskriminatoren parallel betrieben, wobei jeder Pulshöhendiskriminator seine Zählsignale an einen gemeinsamen Zähler abgibt, kann zur Vermeidung von ständig doppelt – und somit falsch – detektierten Signalen zwischen dem Zähler und kontinuierlichem beziehungsweise getaktetem Pulshöhendiskriminator eine Logikschialtung angeordnet werden, welche das erste Ereignis des getakteten Pulshöhendiskriminatoren nach einer Überschreitung der Schwelle – also einem Zählereignis des kontinuierliche Pulshöhendiskriminatoren – ignoriert. Weiterhin sollte hierbei die Frequenz des getakteten Pulshöhendiskriminatoren an die maximal zu erwartende Pulsbreite justiert werden, so dass ohne Überlagerung von Pulsen keine Doppeldetektion zustande kommt. Im Rahmen der Erfindung kann diese Vorgehensweise auch logisch entsprechend für ein Durchschreiten eines Schwellwertes von oben nach unten, also mit negativem Gradienten der Signalstärke, durchgeführt werden.

**[0013]** Vorteilhaft ist es auch, wenn für eine sehr breite Verteilung von Pulsbreiten – also ein breites Energiespektrum der detektierten Strahlung – die Abtastrfrequenz abhängig vom erwarteten Energiespektrum der gemessenen Strahlung gewählt wird. So kann zum Beispiel für Messungen im Rahmen der CT mit Photonenenergien im Bereich von ca. 100 keV eine relativ hohe Abtastrate und im Bereich von PET-Messungen mit 511 keV – Strahlungsenergie eine wesentlich niedrigere Abtastrate verwendet werden.

**[0014]** Die Vorteile dieses erfindungsgemäßen Konzepts sind eine bessere Signalhöhenübertragung und damit Energieübertragung als bei Verwendung nur eines getakteten Pulshöhendiskriminatoren bei deutlich geringeren Zählrateneinbußen bei hohen Flüssen im Vergleich zum kontinuierlichen Pulshöhendiskriminator. Dieses Verfahren zeigt kein paralyisierendes Verhalten. Weiterhin ist die zu bestimmende Zählrate für eine Variationsbreite die im Bereich eines Taktzyklus abläuft nicht von der Variation der

Pulsbreite abhängig.

**[0015]** Entsprechend diesem oben geschilderten Grundgedanken schlagen die Erfinder ein Verfahren zur Bestimmung einer Strahlungsintensität mit einem Detektor mit zählenden Detektorelementen vor, wobei in den Detektorelementen absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale in Pulsform erzeugen, deren Pulsanzahl und Pulshöhe mit der auftreffenden Strahlungsintensität auf dem Detektorelement korrelieren und durch Zählen der Pulse die Strahlungsintensität bestimmt wird, und die anfallenden Signale in mindestens einem Detektorelement gleichzeitig mit mindestens einem kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator und mit mindestens einem getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator detektiert werden, wobei mit Hilfe dieser beiden Detektionsinformationen die Anzahl der angefallenen Signale bestimmt wird.

**[0016]** In einer Ausführung weisen der getaktete und der kontinuierliche Pulshöhendiskriminator einen Ausgang zur Ausgabe seiner detektierten Signalinformationen auf, wobei durch logische Verknüpfung der Ausgänge des mindestens einen kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren und des mindestens einen getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren bei Übersättigung des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren eine fortschreitende Pulszählung durch den getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator stattfindet.

**[0017]** Gemäß einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsvariante, die auf die positive Flanke der Detektorsignale abstellt, ist zwischen dem Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren und dem Ausgang des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren eine logische Verknüpfung derart geschaltet, dass nach jedem Überschreiten eines unteren Schwellwertes am kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren, der ein positives Zählereignis für den kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren darstellt, ein erstes Zählereignis beim getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren nicht gezählt wird, während alle anderen Zählsignale beider Pulshöhendiskriminatoren gezählt werden. Dabei gibt der mindestens einen kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator zusätzlich zu seinem Zählsignal ein Positiv-Flanken-Signal bei Durchlaufen eines Schwellwertes mit positivem Gradienten aus. Die logische Verknüpfung der Zählsignale des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren und des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren werden in dieser Variante aufsummiert, wobei jeweils ein auf ein Positiv-Flanken-Signal folgendes Zählsignal des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren ignoriert wird.

**[0018]** Eine ähnliche alternative Ausführungsvariante berücksichtigt die negative Flanke der Detektorsignale.

gnale, wobei zwischen dem Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators und dem Ausgang des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators eine logische Verknüpfung derart verwendet wird, dass nach jedem Unterschreiten eines unteren Schwellwertes am kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators ein Zählereignis beim getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators storniert wird, während alle anderen Zählsignale beider Pulshöhendiskriminatoren gezählt werden. Bei dieser Variante ist es auch günstig, wenn der mindestens eine kontinuierlich arbeitende Pulshöhendiskriminators zusätzlich zu seinem Zählsignal ein Negativ-Flanken-Signal bei Durchlaufen eines Schwellwertes mit negativem Gradienten ausgeben kann. Hierbei können durch die logische Verknüpfung die Zählsignale des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators und des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators aufsummiert werden, wobei jeweils nach einem Negativ-Flanken-Signal ein früheres Zählsignal des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators storniert wird.

**[0019]** Ergänzend zu den oben dargestellten Ausführungen kann durch den kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators zumindest auch die Pulshöhe bestimmt werden. Somit kann mit der Pulshöhenmessung die spektrale Verteilung der detektierten Strahlung bestimmt werden.

**[0020]** Neben dem erfindungsgemäßen Verfahren schlagen die Erfinder auch eine Schaltungsanordnung zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit einem Detektor mit zählenden Detektorelementen vor, wobei in den Detektorelementen durch absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale in Pulsform erzeugt werden, deren Anzahl und gegebenenfalls Höhe mit einer auftreffenden Strahlungsintensität korrelieren und durch Zählen der Signale die auftreffende Strahlungsintensität geschätzt werden kann. Hierbei sind an einem Ausgang des Detektorelements parallel ein kontinuierlich arbeitender Pulshöhendiskriminators und ein getaktet arbeitender Pulshöhendiskriminators angeschlossen, wobei jeder Pulshöhendiskriminators einen Ausgang aufweist, und die Ausgänge des mindestens einen kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators und des mindestens einen getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators über eine Logikschaltung mit einem Zähler verbunden sind.

**[0021]** Bei dieser Schaltungsanordnung kann erfindungsgemäß der Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators ein Positiv-Flanken-Signal abgeben, wenn ein Schwellwert mit positivem Gradienten, und/oder ein Negativ-Flanken-Signal, wenn ein Schwellwert mit negativem Gradienten durchlaufen wird. Die Logikschaltung ist dann derart ausgestaltet werden, dass bei Anfallen eines Positiv-Flanken-Signals das nächste Zählsignal des ge-

taktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators nicht gezählt, beziehungsweise bei Anfallen eines Negativ-Flanken-Signals ein Zählsignal des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators nicht gezählt wird.

**[0022]** In einer alternativen Ausführung kann der Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators mit einem Schalter verbunden sein, der nur im positiven Zählfall des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators eine Verbindung zwischen dem getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators und einem Zähler frei gibt.

**[0023]** Auch mit dieser Variante werden paralysierte Zustände vermieden, wobei zusätzlich und bei nicht zu großem Photonenfluss über den kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators die Pulshöhenverteilung beziehungsweise die Energieverteilung des Photonenflusses detektiert werden kann.

**[0024]** Dem Fachmann ist es dabei bekannt, dass solche logischen Schaltungen entweder hardware-basierend oder durch entsprechende Programmierung ausgeführt werden können

**[0025]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele mit Hilfe der Figuren näher beschrieben, wobei nur die zum Verständnis der Erfindung notwendigen Merkmale dargestellt sind. Hierbei werden die folgenden Bezugszeichen verwendet: **1:** CT-System, **2:** erste Röntgenröhre, **3:** erster Detektor, **3.m.n.:** Detektorelement in Spalte m und Zeile m, **4:** zweite Röntgenröhre (optional), **5:** zweiter Detektor (optional), **6:** Gantry-Gehäuse, **7:** Patient, **8:** Patientenliege, **9:** Systemachse, **10:** Steuer- und Recheneinheit, **11:** Signal, **12:** Verstärker, **13:** kontinuierlicher Pulshöhendiskriminators (KD), **14:** getakteter Pulshöhendiskriminators (GD), **15:** Logikschaltung, **16:** summierender Zähler, **17:** Schwellwert, **18:** Signalverlauf, **19:** Taktereignis des getakteten Pulshöhendiskriminators, **20:** Verhalten des kontinuierlichen Pulshöhendiskriminators; *l/b.E.:* Signale in beliebigen Einheiten, *P1-P7:* Ausgangsereignisse an den Pulshöhendiskriminators, *Prg<sub>1</sub>-Prg<sub>n</sub>:* Computerprogramme, *S1-S4:* Stadien der Logikschaltung, *t/b.E.:* Zeit in beliebigen Einheiten.

**[0026]** Es zeigen im Einzelnen:

**[0027]** **Fig. 1:** CT-System mit erfindungsgemäßem Detektor;

**[0028]** **Fig. 2:** Detektor mit Detektorelementen mit direkt konvertierendem Halbleiter und erfindungsgemäßem Zählschaltkreis mit Logikschaltung;

**[0029]** **Fig. 3:** Detektorsignal einer einfachen Photonenabsorption mit Auswertung im kontinuierlichen und im getakteten Pulshöhendiskriminators;

**[0030]** **Fig. 4:** Detektorsignal einer einfachen Photonenabsorption mit Auswertung im kontinuierlichen und im getakteten Pulshöhendiskriminator;

**[0031]** **Fig. 5:** schematische Darstellung einer Logikschaltung aus **Fig. 2** als „Zustandsautomat“ bzw. „state machine“;

**[0032]** **Fig. 6:** Detektor mit Detektorelementen mit direkt konvertierendem Halbleiter und einem alternativen erfindungsgemäßen Zählschaltkreis mit gesteuertem Schalter.

**[0033]** Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung kann in Verbindung mit beliebigen Detektoren mit zählenden Detektorelementen, beispielsweise direkt konvertierenden Halbleitermaterialien, eingesetzt werden. Lediglich beispielhaft wird hier in der **Fig. 1** ein Computertomographie-System mit erfindungsgemäß ausgestalteten Detektoren dargestellt. Dieses CT-System **1** weist ein Gantrygehäuse **6** auf, in dem sich eine Gantry mit einer Strahlungsquelle **2** befindet, die zusammen mit einem gegenüberliegenden Detektor **3** um eine Systemachse **9** rotiert. Optional kann mindestens eine zweite Strahlungsquelle **4** und ein gegenüberliegender Detektor **5** auf der Gantry angeordnet werden. Hierdurch kann je nach Ausstattung die Abtastrate erhöht oder eine andere Abtastmethode, z. B. Phasenkontrastabtastung, erreicht werden. Zur Abtastung wird zum Beispiel ein Patient **7** auf einer Patientenliege **8** durch das Messfeld geschoben, während die Strahlungsquellen **2, 4** und Detektoren **3, 5** auf der Gantry um die Systemachse **9** rotieren.

**[0034]** Die vom Detektor **3** und/oder **5** detektierten Signale können direkt in erfindungsgemäßer Weise in einer Detektorelektronik verarbeitet werden oder entsprechend verstärkt in einer zentralen Rechenstation **10** verarbeitet werden. Dort können auch Computerprogramme  $\text{Prg}_1$ – $\text{Prg}_n$  hinterlegt sein, welche im Betrieb unter anderem das erfindungsgemäße Verfahren durchführen.

**[0035]** Es wird darauf hingewiesen, dass das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung nicht auf tomographische Anwendungen beschränkt ist, sondern mit jedem teilchen- oder photonendetektierenden Detektor mit zählenden Detektorelementen anwendbar ist.

**[0036]** Eine erste und bevorzugte Variante einer Schaltungsanordnung ist in der **Fig. 2** schematisch dargestellt. Diese zeigt den Detektor **3** mit einer Vielzahl von schachbrettartig angeordneten Detektorelementen **3.m.n.** die jeweils ihre Signale **11** an einen Verstärker **12** weitergeben. Im Verstärker **12** werden die Stromsignale **11** verstärkt und an den kontinuierlich betriebenen Pulshöhendiskriminator **13** und den parallel dazu geschalteten und getaktet betriebenen

Pulshöhendiskriminator **14** weitergeleitet. In den Pulshöhendiskriminatoren **13** und **14** werden entsprechend dem empfangenen Signal und entsprechend der jeweiligen Arbeitsweise Zählsignale erzeugt, die dann zu der nachgeordneten Logikschaltung **15** übertragen werden. Entsprechend der erfindungsgemäßen Logikschaltung werden die Zählsignale an den Zähler **16** weitergeleitet.

**[0037]** Die Logikschaltung ist in diesem Falle so ausgelegt, dass nach jedem Überschreiten eines unteren Schwellwertes am kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator **13**, der ein positives Zählereignis für den kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator darstellt, ein erstes Zählereignis beim getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator **14** nicht gezählt wird, während alle anderen Zählsignale beider Pulshöhendiskriminatoren **13** und **14** weitergeleitet werden.

**[0038]** Das Verhalten des Algorithmus bei der Detektion eines Pulses ist in der **Fig. 3** gezeigt. Oben ist ein Diagramm mit dem Verlauf **18** des Detektorsignals zu erkennen, das mit dem detektierten Strom I/b.E. gegenüber der Zeit t/b.E. aufgetragen ist. Die Kreise **19** stellen das Verhalten des getakteten Pulshöhendiskriminatoren **14** dar, wobei unten liegende Kreise Takte ohne Zählung und oben liegende Kreise Takte mit positiver Zählung bedeuten. Die Linie **20** zeigt das Verhalten des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren **13**, der mit Überschreiten des Detektorsignals **18** über den Schwellwert **17** ein Positiv-Flanken-Signal bei P3 ausgibt und mit Unterschreiten des Schwellwertes **17** ein Negativ-Flanken-Signal bei P5 ausgibt.

**[0039]** Diese Situation ist in der unterhalb des Diagramms angeordneten Tabelle dargestellt. Hier sind in der ersten Spalte die Ereignispositionen P1 bis P6 eingetragen; die zweite Spalte enthält die Positiv-Flanken-Signale des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren – hier die Bits 0 oder 1 –; die dritte Spalte zeigt entsprechend die Negativ-Flanken-Signale; die vierte Spalte enthält die Signale des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren und in der letzten Spalte sind die von der Logikschaltung an den Zähler ausgegebenen Zählsignale dargestellt.

**[0040]** Aufgrund der geschilderten Logik wird in diesem Beispiel, das einen einzigen Strompuls zeigt, tatsächlich nur das eine Zählsignal des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminatoren gewertet, während das erste – und hier einzige – Zählsignal des getakteten Pulshöhendiskriminatoren ignoriert wird.

**[0041]** Während in der **Fig. 3** ein Pulsereignis dargestellt ist, zeigt die **Fig. 4** in gleicher Weise das Auftreten zweier leicht überlappender Pulsereignisse, die sich hier durch die dicht beieinander liegende Peaks im Signalverlauf **18** darstellen. Entsprechend

der zuvor geschilderten Zähllogik wird auch hier wieder das erste – und einzige – Zählereignis des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators gewertet. Da der Signalpegel zwischen den beiden Scheitelwerten bzw. Peaks nicht unter den Schwellwert fällt entsteht kein weiteres Zählsignal vom kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator, obwohl ein weiteres Signal folgt. Würden zeitlich dicht gedrängt weitere Pulsereignisse folgen, so wären auch diese durch den kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator nicht auflösbar. Dieses Problem wird nun erfindungsgemäß dadurch umgangen, dass nachfolgend alle Zählsignale des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators, hier das Zählsignal an der Position P5, gezählt werden. Auf diese Weise wird einerseits eine Paralyse der Pulszählung bei zeitlich dicht auftretenden Pulsereignissen vermieden, wobei trotzdem bei zeitlich ausreichend auseinander liegenden Pulsereignissen – also niedrigen Strahlungsintensitäten – die Vorteile eines kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators genutzt werden können und eine spektrale Auflösung der gemessenen Strahlung durch einen kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator ermöglicht wird.

**[0042]** Die geschilderte Logik bei dem doppelten Pulsereignis ist in der unterhalb des Diagramms angeordneten Tabelle nochmals dargestellt. Hier sind in der ersten Spalte die Ereignispositionen P1 bis P7 eingetragen; die zweite Spalte enthält die Positiv-Flanken-Signale des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators – hier die Bits 0 oder 1 –; die dritte Spalte zeigt entsprechend die Negativ-Flanken-Signale; die vierte Spalte enthält die Signale des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators und in der letzten Spalte sind die von der Logikschaltung an den Zähler ausgegebenen Zählsignale dargestellt. Im gezeigten Beispiel werden also entsprechend dem tatsächlichen Ereignis auch zwei Zählsignale ausgegeben.

**[0043]** Die oben geschilderte Logik ist in der [Fig. 5](#) nochmals in Form eines Zustandsübergangsdigramms eines „Zustandsautomats“ bzw. „state machine“ oder eines „endlichen Zustandsautomats“ bzw. „finite state machine“ wiedergegeben.

**[0044]** Dieses Diagramm zeigt die logischen Zustände S1 bis S4 der Logikschaltung. Die Bewegung des Systems zwischen den unterschiedlichen Zuständen S1–S4 wird durch die Ereignisse „positive Flanke“, „negative Flanke“ und „Taktereignis“ gesteuert. Zusätzlich existiert eine Zustandsvariable „arm“, die speichert, ob Signale des getakteten Pulshöhendiskriminators gezählt werden.

**[0045]** Im Fall, dass kein Signal über einem Schwellwert liegt, ist das System im Zustand S1. Diesen Zustand verlässt das System in den Zustand S2, wenn das Ereignis „positive Flanke“ des kontinuierli-

chen Pulshöhendiskriminators eintritt. Bei diesem Übergang wird außerdem ein Zählsignal „Zähler ++“ ausgelöst und die Variable „arm“ auf „0“ gesetzt.

**[0046]** Tritt im Zustand S2 das Ereignis „negative Flanke“ vom kontinuierlichen Pulshöhendiskriminator ein, geht das System wieder in den Zustand S1 zurück.

**[0047]** Tritt im Zustand S2 das Ereignis „Taktereignis“ vom getakteten Pulshöhendiskriminator ein, so geht das System über den Zwischenzustand S3 in den Zustand S4 über, wobei die Variable „arm“ auf „1“ gesetzt wird.

**[0048]** Tritt im Zustand S4 das Ereignis „Taktereignis“ vom getakteten Pulshöhendiskriminator ein, so bleibt das System im Zustand S4, es wird jedoch ein Zählsignal „Zähler ++“ ausgelöst.

**[0049]** Tritt im Zustand S4 das Ereignis „negative Flanke“ vom kontinuierlichen Pulshöhendiskriminator ein, so geht das System in den Zustand S1 über, wobei außerdem die Variable „arm“ auf „0“ gesetzt wird.

**[0050]** Hierbei ist die Variable „arm“ nötig, um zu entscheiden, ob „Taktereignis“ bei „arm“ = „1“ gezählt wird oder bei „arm“ = „0“ nicht gezählt wird. Hierdurch wird erreicht, dass das erste „Taktereignis“ nach einem Positiv-Flanken-Signal nicht gezählt wird. Weiterhin bedeuten in diesem Diagramm „tief“: kein ist Ereignis über der Schwelle, „hoch“: Signal ist über der Schwelle, „arm1“: Variable „arm“ = „1“ und „arm0“: Variable „arm“ = „0“.

**[0051]** Eine andere alternative Variante zum parallelen Betrieb eines kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators und eines getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators ist in der [Fig. 6](#) beschrieben. Grundsätzlich kann hier der gleiche Aufbau der Schaltungsanordnung wie in [Fig. 2](#) verwendet werden, allerdings wird als Logikschaltung **15** ein durch das Zählsignal des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators **13** gesteuerter Schalter verwendet, der nur dann Zählsignale des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators **14** zum Zähler **16** durchlässt, wenn ein positives Zählsignal anliegt. Die Steuerung des Schalters kann auch derart erfolgen, dass das ausgegebene Bit für ein Positiv-Flanken-Signal den Schalter in der Logikschaltung **15** auf Durchgang stellt, während ein Negativ-Flanken-Signal den Schalter öffnet. Hiermit kann durch Einstellen des Schwellwertes die Empfindlichkeit der Schaltungsanordnung variiert werden, es kann parallel am kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator die spektrale Strahlungsverteilung gemessen werden und es besteht keine Gefahr einer Paralyse der Schaltungsanordnung durch zu hohe Strahlungsintensitäten.

**[0052]** Ergänzend kann der getaktete Pulshöhendiskriminator auch dazu genutzt werden, die Zeitdauer des Stromsignals über der vorgegebenen Schwelle zu bestimmen. Hierfür kann die Taktrate des getakteten Pulshöhendiskriminators deutlich höher sein, als die maximale Pulsbreite der gemessenen Strahlung dies ergeben würde. Über statistische Betrachtungen kann aus der oben genannten Zeitdauer die Anzahl der Impulse geschätzt und somit ein Unterschätzen der Zählrate weitgehend vermieden werden.

**[0053]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Strahlungsintensität mit einem Detektor (3, 5) mit zählenden Detektorelementen (3.m.n.), wobei in den Detektorelementen (3.m.n.) absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale (11) in Pulsform erzeugen, deren Anzahl und Höhe mit der auftretenden Strahlungsintensität auf dem Detektorelement (3.m.n.) korrelieren und durch Zählen der Signale (11) die Strahlungsintensität bestimmt wird, die anfallenden Signale (11) in mindestens einem Detektorelement (3.m.n.) gleichzeitig mit mindestens einem kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13) und mit mindestens einem getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator (14) detektiert werden, wobei mit Hilfe dieser beiden Detektorsinformationen die Anzahl der angefallenen Signale (11) bestimmt wird,

**dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (13) und dem Ausgang des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (14) eine logische Verknüpfung (15) derart verwendet wird, dass nach jedem Überschreiten eines Schwellwertes (17) am kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13), der ein positives Zählereignis für den kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13) darstellt, ein erstes Zählereignis beim getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator (14) nicht gezählt wird, während alle anderen Zählereignisse beider Pulshöhendiskriminatoren (13, 14) gezählt werden, wobei

der kontinuierlich arbeitende Pulshöhendiskriminator (13) zusätzlich zu seinem Zählereignis ein Positiv-Flanken-Signal bei Durchlaufen eines Schwellwertes (17) mit positivem Gradienten ausgeben kann, und die logische Verknüpfung (15) die Zählereignisse des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (13) und des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (14) aufsummiert, wobei jeweils ein auf ein

Positiv-Flanken-Signal folgendes Zählereignis des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (14) ignoriert wird.

2. Verfahren zur Bestimmung einer Strahlungsintensität mit einem Detektor (3, 5) mit zählenden Detektorelementen (3.m.n.), wobei in den Detektorelementen (3.m.n.) absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale (11) in Pulsform erzeugen, deren Anzahl und Höhe mit der auftretenden Strahlungsintensität auf dem Detektorelement (3.m.n.) korrelieren und durch Zählen der Signale (11) die Strahlungsintensität bestimmt wird, die anfallenden Signale (11) in mindestens einem Detektorelement (3.m.n.) gleichzeitig mit mindestens einem kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13) und mit mindestens einem getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator (14) detektiert werden, wobei mit Hilfe dieser beiden Detektorsinformationen die Anzahl der angefallenen Signale (11) bestimmt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (13) und dem Ausgang des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (14) eine logische Verknüpfung derart verwendet wird, dass nach jedem Unterschreiten eines unteren Schwellwertes (17) am kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13) ein früheres Zählereignis beim getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminator (14) storniert wird, während alle anderen Zählereignisse beider Pulshöhendiskriminatoren (13, 14) gezählt werden, wobei

der kontinuierlich arbeitende Pulshöhendiskriminator (13) zusätzlich zu seinem Zählereignis ein Negativ-Flanken-Signal bei Durchlaufen eines Schwellwertes (17) mit negativem Gradienten ausgeben kann, und

die logische Verknüpfung (15) die Zählereignisse des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (13) und des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (14) aufsummiert, wobei jeweils nach Auftreten eines Negativ-Flanken-Signals ein früheres Zählereignis des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (14) storniert wird.

3. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Patentansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminator (13) zumindest auch die Pulshöhe bestimmt wird.

4. Verfahren gemäß dem voranstehenden Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Pulshöhenmessung die spektrale Strahlungsverteilung bestimmt wird.

5. Schaltungsanordnung zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit einem Detektor (3, 5) mit zählenden Detektorelementen (3.m.n.), wobei in den

Detektorelementen (**3.m.n.**) durch absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale (**11**) in Pulsform erzeugt werden, deren Anzahl und/oder Höhe mit einer auftreffenden Strahlungsintensität korrelieren und durch Zählen der Signalepulse (**11**) die auftreffende Strahlungsintensität geschätzt werden kann, an einem Ausgang mindestens eines der Detektorelemente (**3.m.n.**) parallel mindestens ein kontinuierlich arbeitender Pulshöhendiskriminator (**13**) und mindestens ein getaktet arbeitender Pulshöhendiskriminator (**14**) angeschlossen sind, jeder Pulshöhendiskriminator (**13, 14**) einen Ausgang aufweist, und die Ausgänge des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**13**) und des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**14**) über eine Logikschaltung (**15**) mit einem Zähler (**16**) verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**13**) ein Positiv-Flanken-Signal aufweisen kann, wenn ein Schwellwert (**17**) mit positivem Gradienten durchlaufen wird, und die Logikschaltung (**15**) derart ausgestaltet ist, dass bei Anfallen eines Positiv-Flanken-Signals das nächste Zählsignal des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**14**) nicht gezählt wird.

6. Schaltungsanordnung zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit einem Detektor (**3, 5**) mit zählenden Detektorelementen (**3.m.n.**), wobei in den Detektorelementen (**3.m.n.**) durch absorbierte oder teilabsorbierte Photonen einer Strahlung elektrische Signale (**11**) in Pulsform erzeugt werden, deren Anzahl und/oder Höhe mit einer auftreffenden Strahlungsintensität korrelieren und durch Zählen der Signalepulse (**11**) die auftreffende Strahlungsintensität geschätzt werden kann, an einem Ausgang mindestens eines der Detektorelemente (**3.m.n.**) parallel mindestens ein kontinuierlich arbeitender Pulshöhendiskriminator (**13**) und mindestens ein getaktet arbeitender Pulshöhendiskriminator (**14**) angeschlossen sind, jeder Pulshöhendiskriminator (**13, 14**) einen Ausgang aufweist, und die Ausgänge des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**13**) und des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**14**) über eine Logikschaltung (**15**) mit einem Zähler (**16**) verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgang des kontinuierlich arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**13**) ein Negativ-Flanken-Signal aufweisen kann, wenn ein Schwellwert (**17**) mit negativem Gradienten durchlaufen wird, und die Logikschaltung (**15**) derart ausgestaltet ist, dass bei Anfallen eines Negativ-Flanken-Signals ein früheres Zählsignal des getaktet arbeitenden Pulshöhendiskriminators (**14**) storniert wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



FIG 1

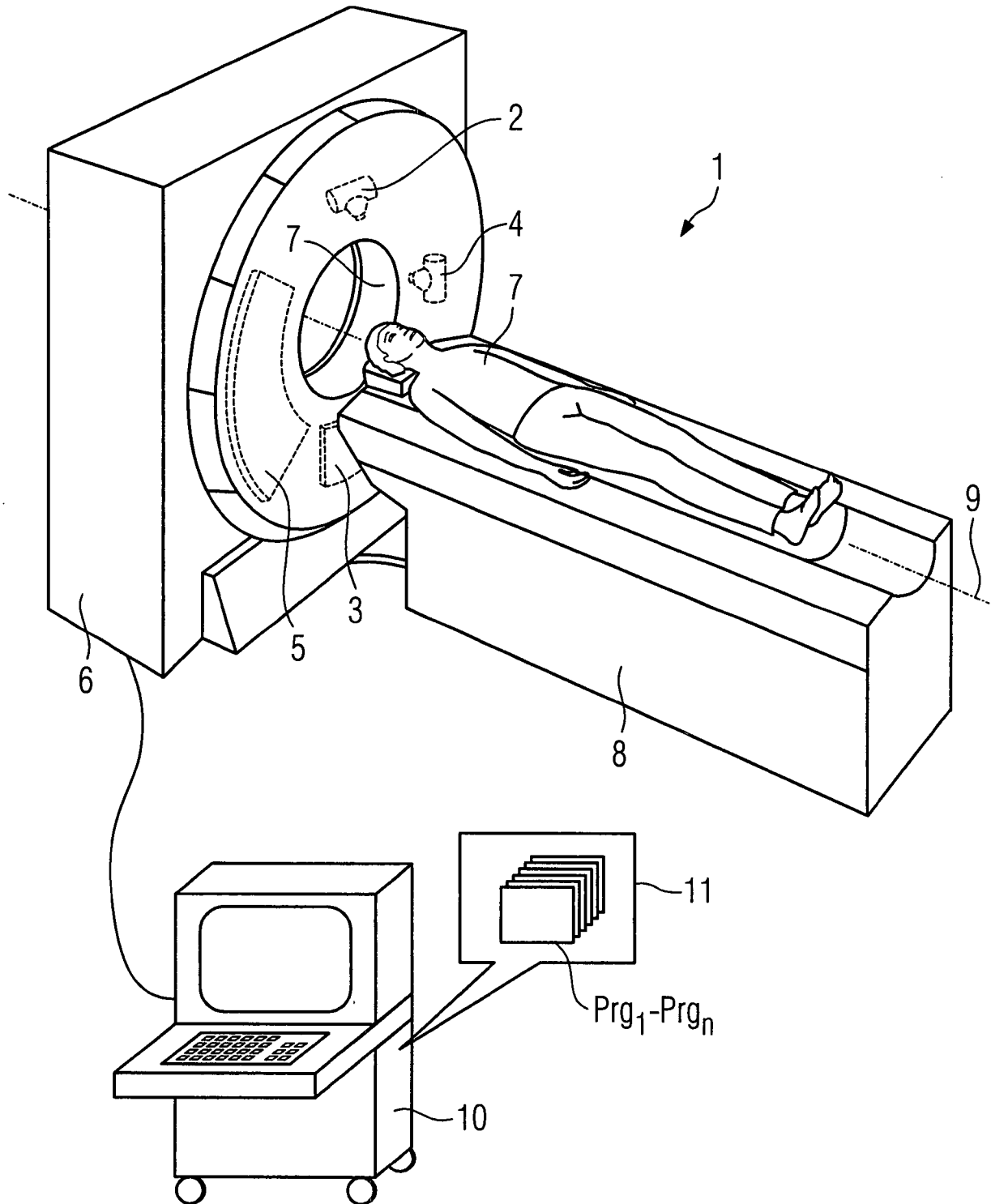


FIG 2

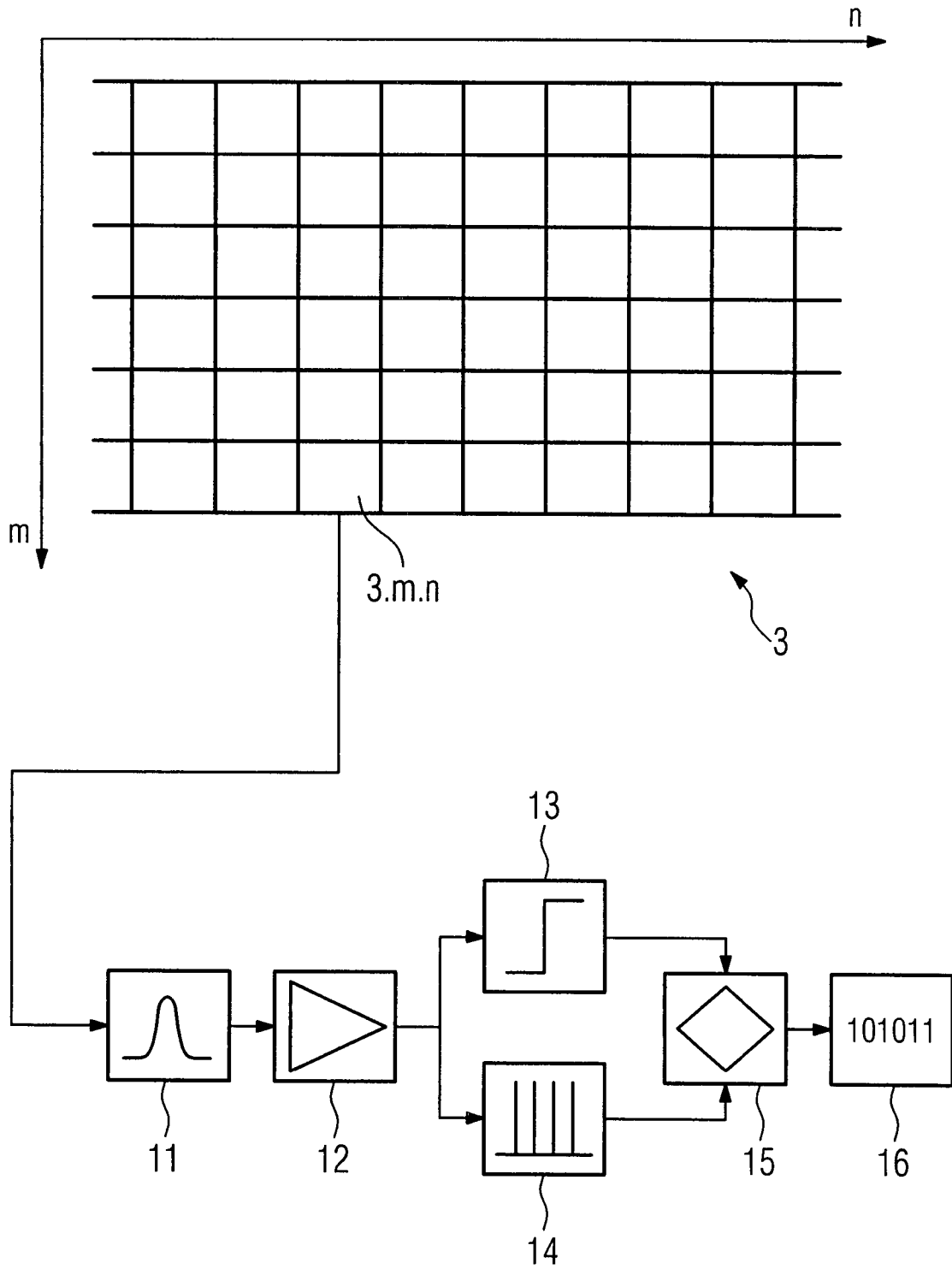
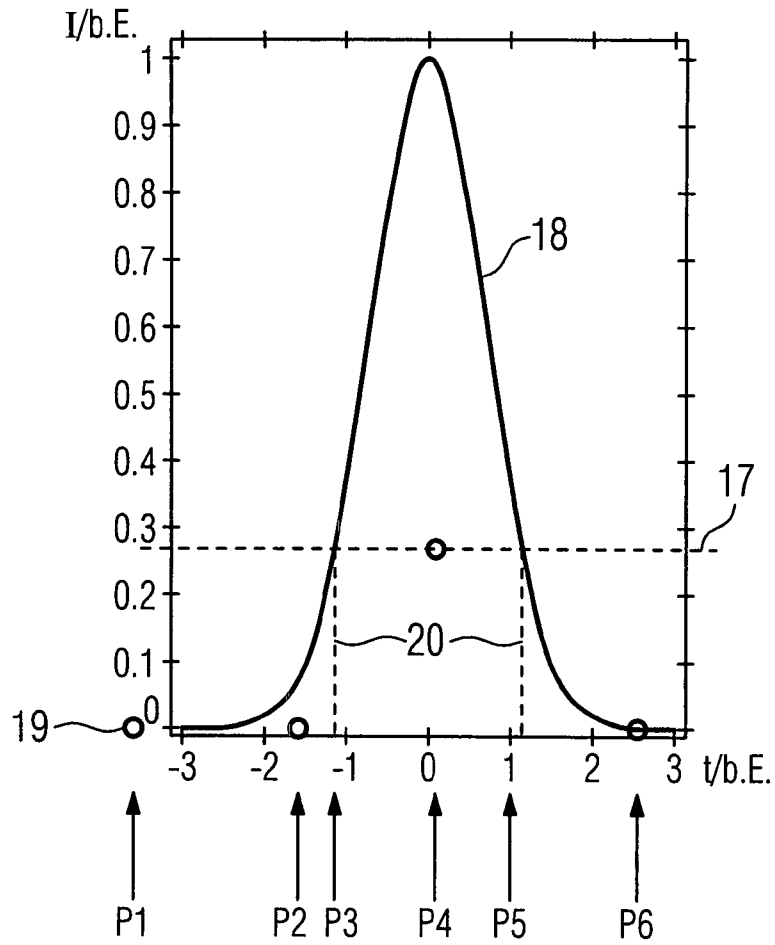
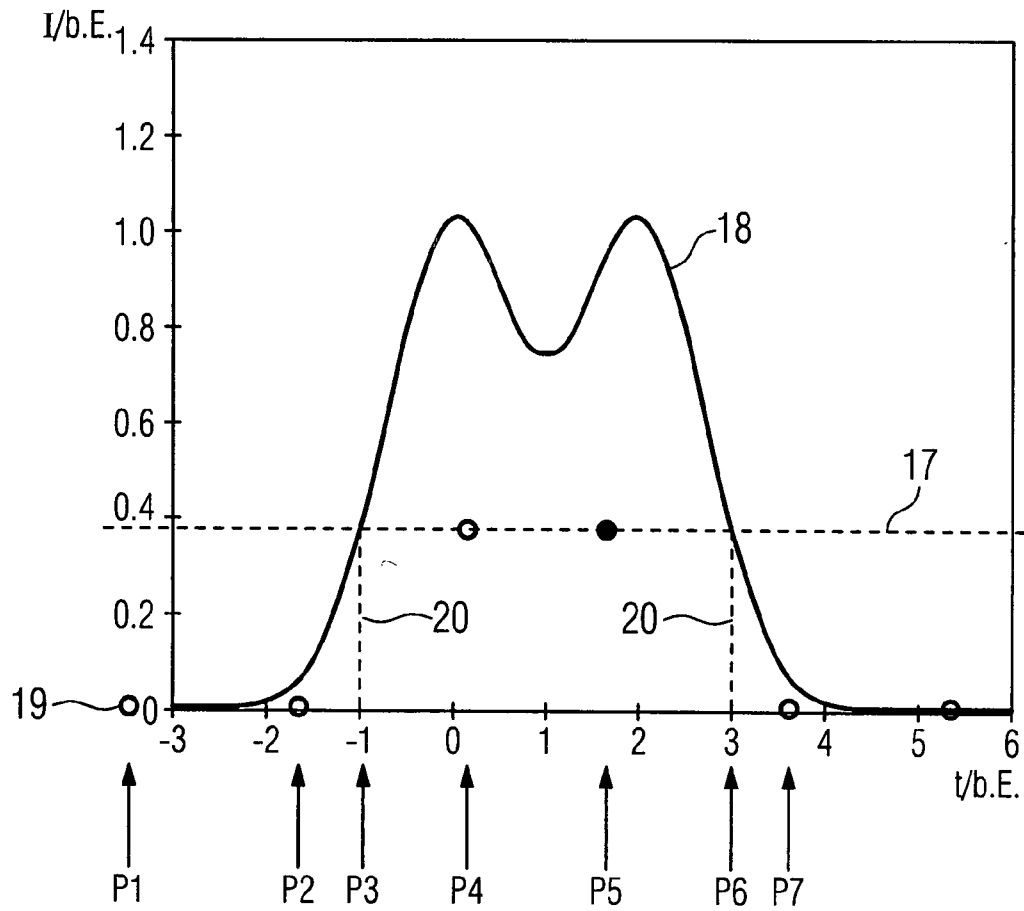


FIG 3



	KD ↗	KD ↘	GD	#
P1	-	-	0	0
P2	-	-	0	0
P3	1	0	-	1
P4	-	-	1	0
P5	0	1	-	0
P6	-	-	0	0

FIG 4



	KD ↗	KD ↘	GD	#
P1	-	-	0	0
P2	-	-	0	0
P3	1	0	-	1
P4	-	-	1	0
P5	-	-	1	1
P6	0	1	-	0
P7	-	-	0	0

FIG 5

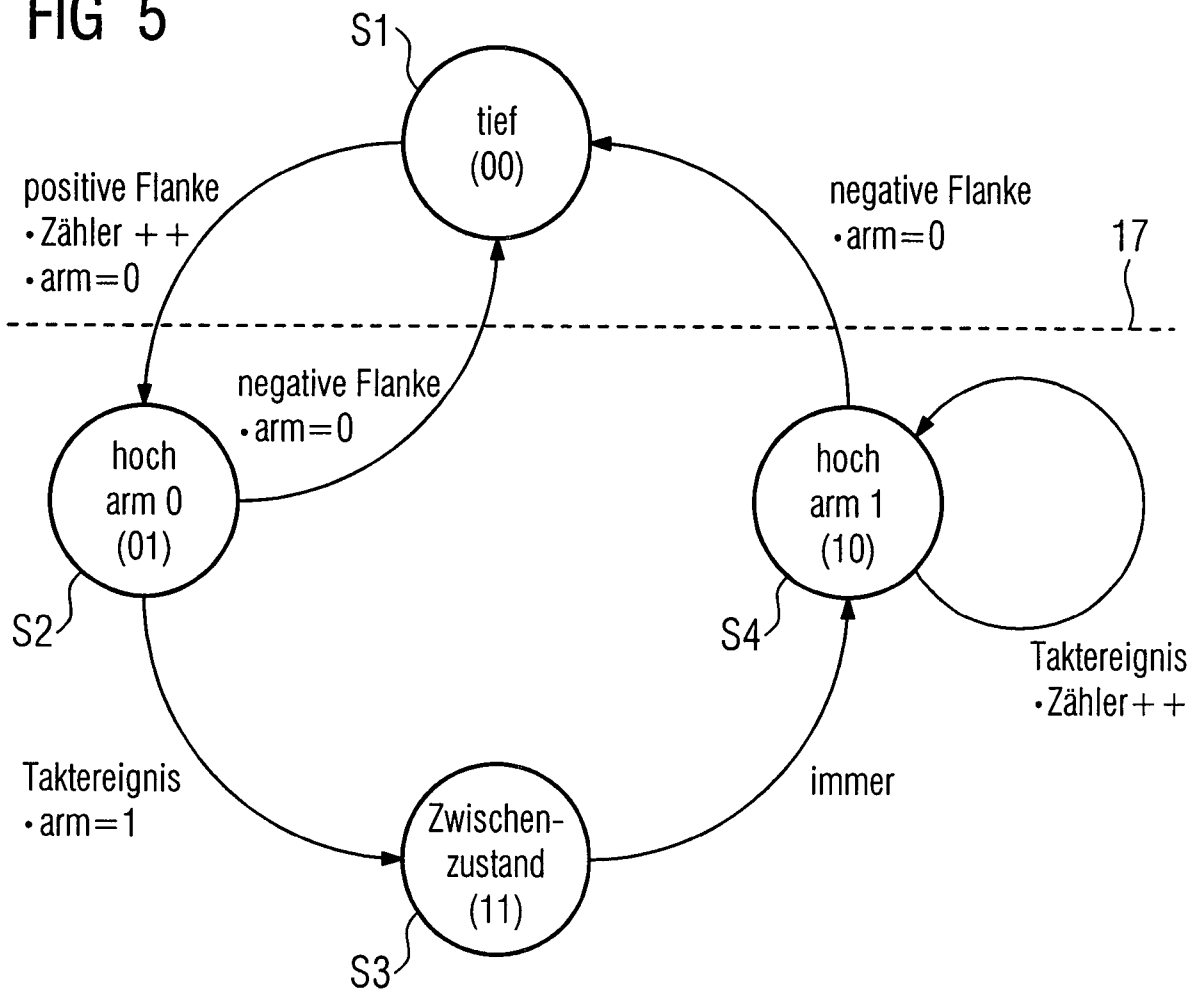


FIG 6

