



(10) **DE 10 2012 022 526 B4** 2015.12.31

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 022 526.1**
(22) Anmeldetag: **16.11.2012**
(43) Offenlegungstag: **16.05.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.12.2015**

(51) Int Cl.: **G01N 9/24** (2006.01)
G01N 23/207 (2006.01)
G01T 1/16 (2006.01)
G01T 1/29 (2006.01)
G01N 23/20 (2006.01)
G01F 23/288 (2006.01)

Innerhalb von neun 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).

(30) Unionspriorität:
13/298,155 **16.11.2011** **US**

(73) Patentinhaber:
**Thermo Fisher Scientific Inc., Sugar Land, Tex.,
US**

(74) Vertreter:
**Patent- und Rechtsanwälte Diehl & Partner GbR,
80636 München, DE**

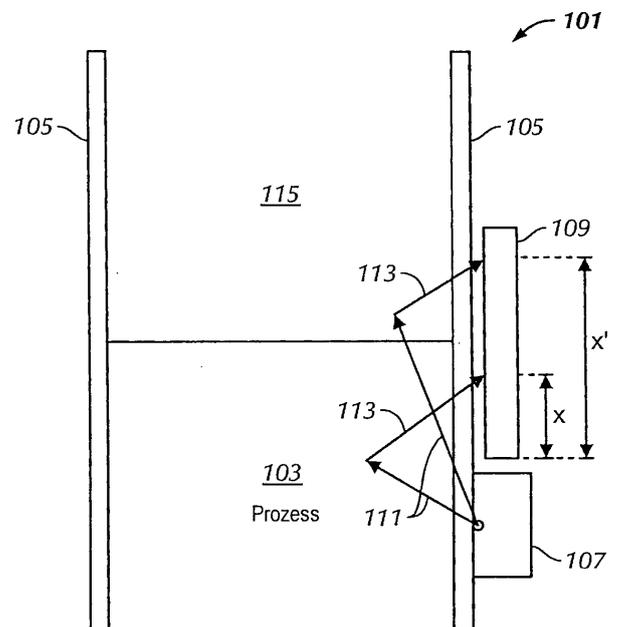
(72) Erfinder:
**Kulik, Alex, Sugar Land, Tex., US; Esin, Alexander
Joseph, Sugar Land, Tex., US; Baturin, Nikolay,
Sugar Land, Tex., US; Sen, Soovo, Houston, Tex.,
US; Brosseau, Michael George, Stafford, Tex., US**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE 000002461877 A1
DE 29 48 738 A1
DE 10 2009 012 233 A1

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Messung von Dichteprofilen durch Detektion rückgestreuter Gammastrahlen durch einen ortssensitiven Detektor**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen, umfassend:
zumindest einen ortssensitiven Gammastrahldetektor, der konfiguriert ist, nahe an einem Prozessbehälter positionierbar zu sein,
wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor konfiguriert ist,
eine Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter oder gestreuter Gammastrahlen zu erfassen und
ein Dichteprofil eines Fluids, das in dem Prozessbehälter enthalten ist, abhängig von der Verteilung zu bestimmen;
wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor einen Ionisationsdetektor aufweist;
wobei der Ionisationsdetektor umfasst:
ein Widerstandselement;
einen ersten Ausgangskontakt, der mit einem ersten Ende des Widerstandselements verbunden ist;
einen zweiten Ausgangskontakt, der mit einem zweiten Ende des Widerstandselements verbunden ist, wobei der erste Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein erstes Ausgangssignal auszugeben, und der zweite Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein zweites Ausgangssignal auszugeben.



Beschreibung

[0001] Gammastrahlen wurden dazu benutzt, um die Dichte und den Füllstand von Fluiden in Kammern zu messen unter Benutzung einer Gammastrahlquelle, welche gegenüber eines Gammastrahldetektors angeordnet ist. Diese Gammastrahlen-Durchstrahlungsmessungen der Dichte und des Befüllungs-niveaus sind nützlich, wenn die gemessenen Materialien gefährlich oder extrem heiß sind, oder wenn Messungen mit direktem Kontakt sonst nicht möglich sind. Zudem ist die Quelle und der Detektor außerhalb der Behälters angeordnet und es ist keine Veränderung des Behälters erforderlich. Gammastrahlen, welche von einer Quelle emittiert werden, können durch den Behälter oder durch Materialien innerhalb des Behälters absorbiert oder abgeschwächt werden. Die Stärke der Gammastrahlung, welche einen Detektor gegenüber der Quelle erreicht, kann benutzt werden, um die Dichte oder das Befüllungs-niveaus eines Fluids im Behälter anzuzeigen, abhängig von der Intensität der Quelle.

[0002] Wenn das Befüllungs-niveaus des Fluids gemessen wird, können beispielsweise mehrere Gammastrahl-lemittier und/oder Detektoren an gegenüberliegenden Stellen des Behälters angeordnet sein, wobei die Existenz oder Nichtexistenz eines Signals (oder eines nominellen Low-Signals) die Anwesenheit oder Abwesenheit eines Fluids im Raum zwischen Quelle und Detektor anzeigen kann. Die Größe eines Behälters in einem signal/no signal Befüllungsstands-Detektor kann viel größer sein als Größe des Behälters für einen Gammastrahl-Densitometer, wie nachfolgend beschrieben, da Dämpfe in der Kammer die Gammastrahlen nicht so hochgradig absorbieren. Beispielsweise hinsichtlich der Fluid-dichte, Fluid, das zwischen der Gammastrahl-Quelle und dem Detektor hindurchgeht, kann Gammastrahlen, welche von der Quelle emittiert werden, absorbieren oder abschwächen. Eine hohe Anzahl Strahlungs-Zählereignissen indiziert eine niedrige Fluid-dichte, während eine niedrige Anzahl von Strahlungs-Zählereignissen eine hohe Fluid-dichte indiziert.

[0003] Jedoch, Durchstrahlungs-Dichtemessungen unter Verwendung von Gammastrahlen sind nur machbar, für beschränkte Kammergrößen und/oder Fluid-dichten. Beispielsweise kann für eine ähnliche Quellgröße das Fluid bei höheren Fluid-dichten Gammastrahlen stärker absorbieren, was dazu führt, dass weniger Gammastrahlen den Detektor erreichen. Entsprechend müssen mit einer zunehmenden Behältergröße die Gammastrahlen eine größere Menge an Material (Behälter und Fluid) durchsetzen, welches die Gammastrahlen absorbiert, was dazu führt, dass weniger Gammastrahlen den Detektor erreichen. Daher sind Gammastrahl-Dichtemessungen in dieser Weise derzeit nur machbar für Kammern bis zu einem Durchmesser von einem Meter.

[0004] Ein anderer Nachteil in der derzeitigen Verwendung von Gammastrahlen für Durchstrahlungs-Dichtemessungen ist, dass der Raumwinkel, der durch einen Detektor fester Größe aufgespannt wird, und somit die Zählrate, invers mit dem Quadrat der Größe der Behälters skaliert. Die Zählrate n kann approximiert werden durch die Gleichung:

$$n \sim \Omega e^{-d/\lambda} \sim (e^{-d/\lambda})/d^2, \quad (1)$$

wobei n die Zählrate ist, d der Durchmesser des Behälters ist, und λ die Absorptionslänge ist, welche von der Dichte abhängt. Für einen Detektor fester Größe führt eine Erhöhung des Behälterdurchmessers d zu einer niedrigeren Zählrate und einer größeren Fehlerrate. Daher kann es für große Behälter in einer rauschbehafteten Umgebung unmöglich werden, das Gammastrahl-signal von störenden Hintergrundsignalen zu unterscheiden, wodurch nützliche Informationen nicht extrahiert werden können.

[0005] Um die Beschränkungen in der Dicke, Größe und der Dichte zu überwinden, kann die Intensität der Gammastrahlquelle erhöht werden, so dass dies zu einer messbaren Anzahl an Gammastrahlen resultiert, welche den Detektor erreichen. Jedoch kann die Quellenintensität, die verwendet werden kann, begrenzt sein durch Kosten, Sicherheit, Effektivität in der Verwendung von mehreren Einheiten und Betriebsschutz. Beispielsweise kann die Verwendung einer radioaktiven Quelle Bedenken hinsichtlich der Personensicherheit und der Umweltverträglichkeit aufwerfen und eine Blei- oder Wolframabschirmung erfordern, um das Personal zu schützen, sowie spezielle Vorsichtsmaßnahmen, eine spezielle Ausrüstung, und Entsorgungs- und Sanierungsabläufe. Die Gammastrahlen werden erzeugt von einer Punktquelle und nicht einer gerichteten Quelle. Daher muss sich – wenn die Größe der Quelle vergrößert wird – die Menge an Abschirmung vergrößern, um die Strahlung in andere Richtungen als der des Behälters einzudämmen. Dies führt zu zusätzlichen Kosten.

[0006] Bezüglich der Effektivität für die Verwendung mehrerer Einheiten, kann es ein chemischer Betrieb erfordern, Gammastrahl-Messgeräte für die Dichte und den Befüllungsstand an mehreren Kammern zu verwenden. Jedoch kann es, wenn die Anzahl der Messgeräte erhöht wird oder die Intensität der Gammastrahl-Quelle

len erhöht wird, um Beschränkungen in der Größe zu überwinden, kann es zu einem Übersprechen zwischen Gammastrahl-Quellen und Detektoren an benachbarten Kammern kommen, was in einer verminderten Effektivität und möglichen fehlerhaften Auslesungen resultiert.

[0007] Bezüglich des Problems, ein Dichteprofil zu messen, das heißt die Dichte als Funktion der Höhe in der Kammer, können sich ähnliche Probleme ergeben. Wird beispielsweise versucht, mehrere Einheiten an einem einzelnen Behälter zu verwenden, um das Dichteprofil des Fluids, welches in der Behälter enthalten ist, abzuschätzen, können Beschränkungen in der Größe und Übersprechen zwischen Gammastrahl-Quellen es für die existierende Technologie unmöglich machen, genaue und zuverlässige Messungen von Dichteprofilen zu erzeugen.

[0008] Hinsichtlich der Betriebssicherheit, werden aufgrund von weltweiten Besorgnisse über die Weitergabe und das mögliche Schmuggeln, oder ein anderer Transport von radioaktivem Material betriebliche Sicherheitsanforderungen durch staatliche, lokale und nationale Regierungen vorgeschrieben, welche abhängig sind abhängig von der Gesamtmenge von radioaktivem Material, welches an einem einzigen Standort vorhanden ist. Beispielsweise schreibt der Texanische Staat vor, dass zusätzliche Sicherheitsmassnahmen (beispielsweise Hintergrund-Überprüfungen, Begehbarkeit, etc.) bei Anlagen, in welchen die gesamte Aktivität in Curie einen Wert von 27 Curie übersteigt, wobei die Gesamtaktivität in Curie von einer Summe aller radioaktiven Quellen in der Anlage abhängt. Daher kann die Verwendung von größeren Quellen, um Beschränkungen der Kammergröße zu überwinden, zu einem erhöhten Bedarf an Sicherheitsvorkehrungen und daher zu erhöhten Kosten führen.

[0009] Dokument DE 2 461 877 A1 bezieht sich in einer Ausführungsform auf die Detektion eines Lunkers in einer – Metallwand eines Behälters. Dabei wird die Wandung des Behälters von außen strahlendiagnostisch untersucht. Die in der durchstrahlten Schicht nach außen abgestrahlte Streustrahlung in Form von Röntgenstrahlung und gestreuter Gammastrahlung wird über einen Kollimator richtungsselektiert und auf einen Bild-detektor projiziert.

[0010] Dokument DE 10 2009 012 233 A1 bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Minimierung des positionsbedingten Messfehlers bei einer Messung mit Röntgenstrahlung. Vor dem Detektor ist ein Richtungsfilter angeordnet, welcher nur parallel gerichtete Streustrahlung passieren lässt. Durch eine Detektoranordnung mit separat auslesbaren Detektorabschnitten kann der Abstand des Messgutes vom Detektor ermittelt werden.

[0011] Dokument DE 29 48 738 A1 offenbart einen positionsempfindlichen Proportionalzähler. Durch eine RC-Leitungscodierung in der Impulsverarbeitungsschaltung wird eine räumliche Auflösung von Ionisierungsereignissen erhalten.

[0012] Daher existiert ein Bedarf für Gammastrahl-Dichtemessgeräte, welche an größeren Behältern verwendbar sind. Zusätzlich besteht ein Bedarf für kontaktlose Dichtemessgeräte, welche Strahlungsquellen einer geringeren Intensität benötigen. Zusätzlich existiert ein Bedarf für kontaktlose Dichtemessgeräte, welche das Dichteprofil des Fluids messen können, zusätzlich zur Dichte an einer einzelnen Stelle im Behälter.

ZUSAMMENFASSUNG

[0013] In einem Aspekt beziehen sich Ausführungsformen auf eine Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen, welche zumindest einen ortssensitiven Gammastrahldetektor aufweist, der konfiguriert ist, nahe an einem Prozessbehälter positionierbar zu sein, wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor konfiguriert ist, eine Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen zu erfassen. Der ortssensitive Gammastrahl-Detektor ist ferner konfiguriert, ein Dichteprofil eines Fluids, das in dem Prozessbehälter enthalten ist, abhängig von der Verteilung der Zählereignisse der rückgestreuten Gammastrahlen zu bestimmen.

[0014] Der ortssensitive Gammastrahldetektor kann so nahe an der Vorrichtung angeordnet sein, dass durch den ortssensitiven Gammastrahldetektor rückgestreute Gammastrahlen detektierbar sind. Die Vorrichtung kann eine Gammastrahlenquelle aufweisen, welche konfiguriert ist, Gammastrahlen in das Fluid zu emittieren. Der ortssensitive Gammastrahldetektor kann so konfiguriert und/oder angeordnet sein, dass zumindest ein Teil der Gammastrahlen, welche von der Gammastrahlquelle in das Fluid emittiert werden, und welche von dem Fluid rückgestreut werden, durch den ortssensitiven Gammastrahldetektor detektierbar sind.

[0015] Allgemein beziehen sich gemäß einem Aspekt Ausführungsformen auf ein Verfahren zum Messen eines Dichteprofiles eines Fluids in einem Prozessbehälter. Das Verfahren umfasst Emittieren von Gammastrahl-

len in das Fluid; und Erfassen einer Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen unter Verwendung zumindest eines ortssensitiven Gammastrahldetektors, der nahe am Prozessbehälter angeordnet ist. Das Verfahren weist ferner ein Bestimmen des Dichteprofiles des Fluids auf, das in dem Prozessbehälter enthalten ist, basierend auf der Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen, wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor einen Ionisationsdetektor umfasst, wobei der Ionisationsdetektor aufweist.

[0016] Allgemein beziehen sich gemäß einem Aspekt Ausführungsformen auf eine Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen, welche zumindest einen ortssensitiven Gammastrahldetektor aufweist, der konfiguriert ist, nahe an einem Prozessbehälter positionierbar zu sein. Der ortssensitive Gammastrahldetektor konfiguriert ist, eine Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen zu erfassen, und ein Dichteprofil eines Fluids, das in dem Prozessbehälter enthalten ist, zu bestimmen, basierend auf einer Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen. Der ortssensitive Gammastrahldetektor weist einen Ionisationsdetektor, auf, der ein Widerstandselement; einen ersten Ausgangskontakt, der verbunden ist mit einem ersten Ende des Widerstandselements; und einen zweiten Ausgangskontakt, der verbunden ist mit einem zweiten Ende des Widerstandselements. Die Ausgangskontakte sind konfiguriert, ein erstes, beziehungsweise ein zweites Ausgangssignal auszugeben.

[0017] Allgemein beziehen sich gemäß einem Aspekt Ausführungsformen auf ein Prozesssteuerungssystem zur Steuerung zumindest einer Prozessvariablen, wobei das Prozesssteuerungssystem einen Speicher umfasst, einen Prozessor, der operativ mit dem Speicher verbunden ist, und computerlesbare Befehle, die in dem Speicher gespeichert sind, wobei die computerlesbaren Befehle bewirken, dass der Prozessor ein Dichteprofil eines Fluids berechnet, das in einem Prozessbehälter enthalten ist. Das Dichteprofil des Fluids in dem Prozessbehälter wird berechnet basierend auf einer Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen. Die Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen wird von zumindest einem ortssensitiven Gammastrahldetektor erfasst, wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor nahe an dem Prozessbehälter angeordnet ist.

[0018] Allgemein beziehen sich gemäß einem Aspekt Ausführungsformen auf ein Computerprogrammprodukt, das computerlesbare Befehle umfasst, wobei die computerlesbaren Befehle bewirken, dass der Prozessor ein Dichteprofil eines Fluids, das in einem Prozessbehälter enthalten ist, berechnet, basierend auf einer Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen, wobei die Verteilung durch zumindest einen ortssensitiven Gammastrahldetektor erfasst wird.

[0019] Allgemein beziehen sich gemäß einem Aspekt Ausführungsformen auf ein Computerprogrammprodukt, umfassend computerlesbare Befehle, die, wenn geladen in einen Speicher eines Computers und/oder Computernetzwerks und ausgeführt von einem Computer und/oder Computernetzwerk, bewirken, dass der Computer und/oder das Computernetzwerk ein Verfahren gemäß dem vorgehend beschriebenen Aspekt durchführt.

[0020] Andere Aspekte und Vorteile werden offensichtlich aus der folgenden Beschreibung und den angefügten Ansprüchen.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0021] Fig. 1 zeigt eine schematische Grafik einer Vorrichtung zur Messung eines Dichteprofiles gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0022] Fig. 2 zeigt ein Beispiel einer schematischen Darstellung eines ortssensitiven Gammastrahldetektors gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0023] Fig. 3 zeigt eine schematische Grafik einer Vorrichtung zur Messung eines Dichteprofiles gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0024] Fig. 4A und Fig. 4B zeigen wie ein ortssensitiver Gammastrahldetektor an einem Behälter befestigt werden kann gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0025] Fig. 5 zeigt wie ein ortssensitiver Gammastrahldetektor an einem Behälter befestigt sein kann gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0026] Fig. 6 zeigt eine Kalibrierungskurve für einen Detektor für rückgestreute Gammastrahlen gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0027] Fig. 7A zeigt eine schematische Grafik einer Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0028] Fig. 7B zeigt eine simulierte Reaktion eines ortssensitiven Detektors gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0029] Fig. 8A zeigt eine schematische Grafik einer Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen entsprechend einer oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0030] Fig. 8B und Fig. 8C zeigen simulierte Reaktionen eines ortssensitiven Detektors gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0031] Fig. 9 zeigt ein Flussdiagramm gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

[0032] Fig. 10 zeigt ein System gemäß einem oder mehreren Ausführungsbeispielen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

[0033] Gemäß einem Aspekt beziehen sich Ausführungsformen auf eine Methode zur Messung des Dichteprofiles eines Fluids in einem Behälter unter Verwendung von Gammastrahlen. Gemäß weiteren Aspekten beziehen sich hier beschriebene Ausführungsformen auf eine Vorrichtung zur Messung des Dichteprofiles eines Fluids in einem Behälter unter Verwendung von Gammastrahlen.

[0034] Der hier verwendete Begriff "Rückstreuung" kann sich auf die Ablenkung von Gammastrahlen von einer ursprünglichen Richtung beziehen. In einigen Ausführungsformen kann die Rückstreuung isotrop sein, wie etwa, wenn Gammastrahlen ungerichtet in unterschiedliche Richtung gestreut werden. Die Rückstreuung kann durch Compton-Streuung verursacht sein.

[0035] Der hier verwendete Begriff "Fluid" bezieht sich auf Gase, Flüssigkeiten, und/oder feste Stoffe und Mischungen davon, welche sich in einem Behälter befinden können. Fluide können wässrige Flüssigkeiten, organische Flüssigkeiten, einphasige Systeme und Mehrphasensysteme umfassen, wie Ströme, Emulsionen und fluidisierte Partikel.

[0036] Der hier verwendete Begriff "Dichteprofil" bezieht sich auf die Dichte eines Fluids an einer Vielzahl von Orten (d. h. als eine Funktion der Position). Beispielsweise kann ein Dichteprofil eines Fluids innerhalb eines Behälters die Dichte des Fluids an einigen oder einer Vielzahl unterschiedlicher Positionen innerhalb der Behälters umfassen.

[0037] Daher ist der hier verwendete ortssensitiver Detektor ein Detektor der konfiguriert ist, ein Dichteprofil eines Fluids zu messen, wobei er zusätzlich konfiguriert ist, die Dichte oder Zählereignisse an einem einzelnen Punkt zu messen. Des weiteren ist der hier verwendete ortssensitive Detektor konfiguriert, eine Vielzahl von Detektionseignissen zu messen, beispielsweise rückgestreute Gammastrahlen, allgemeiner als Zählereignisse bezeichnet, während der ortssensitive Detektor auch konfiguriert ist, ein Signal auszugeben, das die Position (absolut oder relativ) anzeigt, wo die Gammastrahldetektion erfolgte. Des weiteren ist ein ortssensitiver Detektor konfiguriert, die Position von Gammastrahl-Detektionseignissen zu messen an einer Vielzahl, d. h. an vielen unterschiedlichen Positionen relativ zu der Position eines ortsfesten Detektors. Mit anderen Worten, ist ein ortssensitiver Detektor ein Detektor, der konfiguriert ist, die Orte einer Vielzahl von Detektionseignissen zu bestimmen.

[0038] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß einem oder mehreren Ausführungsformen. Die Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen **101** kann konfiguriert sein, das Dichteprofil eines Prozessfluids **103** innerhalb eines Behälters (nicht separat gezeigt), welcher eine Kammerwand **105** aufweist, zu messen. Die Vorrichtung **101** zur Messung von Dichteprofilen weist eine Gammastrahlquelle **107** und einen ortssensitiven Gammastrahldetektor **109** auf. Die Gammastrahlquelle **107** und der ortssensitive Gammastrahldetektor **109** können beide nahe der Wand **105** des Behälters befestigt sein oder auf andere Weise montiert sein. Gemäß einem oder mehreren der hier offenbarten Ausführungsformen kann die Gammastrahlquelle **107** Gammastrahlung **111** durch die Kammerwand **105** und in das Prozessfluid **103**, sowie in das Fluid **115** emittieren. Das Fluid **115** befindet sich über dem Prozessfluid **103**. Das Fluid **115** kann beispielsweise Luft oder Dampf des Prozessfluids **103** sein, oder andere Gase, Flüssigkeiten, und/oder Feste Stoffe, oder Mischungen davon, welche in Verbindung mit dem Prozess stehen. Die emittierte

Gammastrahlung **111** kann vom Prozessfluid **103** und **115** rückgestreut werden, und die rückgestreute Gammastrahlung **113** kann danach detektiert werden, beispielsweise an den Orten x und x' auf dem ortssensitiven Gammastrahldetektor **109**. Der Fachmann wird erkennen, dass der Inhalt der Behälter komplexer sein kann als das einfache Beispiel, das in **Fig. 1** gezeigt ist. Beispielsweise kann das Prozessfluid **103** mehrere Fluide unterschiedlicher Dichten aufweisen, wobei die Fluide separiert und/oder gemischt sein können.

[0039] **Fig. 2** zeigt ein Beispiel einer schematischen Darstellung eines ortssensitiven Gammastrahldetektors entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen. Genauer zeigt **Fig. 2** einen beispielhaften Ionisationsdetektor **201**, der als Proportionalzähler konfiguriert ist, unter Verwendung eines Widerstandselements (beispielsweise ein Anodendraht) und welcher für eine Auslesung nach der charge-division-Methode konfiguriert ist. Der Ionisationsdetektor **201** kann eine Spannungsquelle **203** aufweisen, eine Ionisationskammer **205** und ein Detektorelektronik-Modul **207**. Die Ionisationskammer **205** weist ferner ein Widerstandselement **213**, eine Elektrode **209**, Lastwiderstände **217**, **219** und Gleichspannungs-Sperrbauteile **220**, **221** auf. Die Spannungsquelle **203** kann konfiguriert sein, das Widerstandselement **213** mit einer Hochspannung (beispielsweise im kV Bereich) zu versorgen. Die Elektrode **209** kann auf eine niedrige Spannung, vorzugsweise auf Masse (d. h. 0 V), gelegt werden. Die Ionisationskammer **205** kann konfiguriert sein, die Detektionsposition x eines Gammastrahls entlang des Widerstandselements **213** zu bestimmen. Die Detektionsposition x kann unter Verwendung der Peak-Spannung zweier Ausgangssignale (d. h. Ausgangspulsen), welche durch das Detektorelektronik-Modul **207** an den Kontakten **223** und **225** gemessen wird, wobei die Kontakte **223** und **225** an den Enden des Widerstandselements angeordnet sind, wie nachfolgend beschrieben.

[0040] Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Ionisationskammer **205** die Form eines Zylinders aufweisen, wobei die Elektrode **209** im wesentlichen eine zylindrische Form aufweist, wobei das Widerstandselement **213** entlang der zentralen Achse des Zylinders angeordnet ist. Die Spannungsquelle **203** versorgt das Widerstandselement **213** mit einer Spannung (im kV Bereich), während die Elektrode **209** vorzugsweise auf Masse (beispielsweise 0 V) gelegt ist oder mit der Masse verbunden ist. Daher ist ein elektrisches Feld gerichtet im wesentlichen entlang einer radialen Richtung vom Widerstandselement **213** hin zur inneren Oberfläche der Elektrode **209**. Des Weiteren kann das zylindrische Volumen, welches durch die innere Oberfläche der Elektrode **209** beschränkt ist, befüllt sein mit einem elektrisch isolierenden Material, wie beispielsweise Xenon (Xe) Gas, oder dergleichen. Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen kann das Widerstandselement **213** von einem Widerstandsmaterial, wie Nichrome, Manganin, Konstantan, Edelstahl, oder dergleichen gestaltet sein. Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen kann der Widerstand des Widerstandsmaterials in einem Bereich zwischen $5 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$ bis $2 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$ liegen. Jedoch wird der Fachmann erkennen, dass das genaue Material und der genaue Widerstand welche für das Widerstandselement ausgewählt werden, variieren kann abhängig von der spezifischen Anwendung und von Designüberlegungen, wie beispielsweise Empfindlichkeit, Stabilität, Kosten, etc. Des Weiteren können Lastwiderstände **217** und **219** zwischen der Spannungsquelle **203** und den beiden Kontakten **223** und **225** verbunden sein.

[0041] Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Länge der Ionisationskammer innerhalb eines Bereiches zwischen 6 Zoll und 6 Fuß liegen. Jedoch können bestimmte Anwendungen andere Längen erfordern, die außerhalb dieses Bereiches liegen. Ferner kann entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen der Durchmesser der Ionisationskammer innerhalb eines Bereiches von 2 Zoll bis 0,5 Zoll liegen. Jedoch können bestimmte Anwendungen andere Durchmesser erfordern, die außerhalb dieses Bereiches liegen können.

[0042] Der Betrieb der Ionisationskammer **201** entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen ist nachfolgend beschrieben mit Bezug auf **Fig. 2**. Wenn ein einfallender Gammastrahl mit dem Xenongas wechselwirkt, werden eines oder mehrere Ionen innerhalb des Gases erzeugt. Die Anzahl der erzeugten Ionen hängt von der Energie der einfallenden Gammastrahls ab, wobei die Anzahl der erzeugten Ionen ansteigt mit ansteigender Energie des Gammastrahls. Bald nach der auftretenden Ionisation bewegen sich die Ionen als Reaktion auf das elektrische Feld, welches sich innerhalb des Ionisationsbehälters befindet, wobei die positiven und negativen Ionen in gegensätzliche Richtung gezogen werden hin zu gegensätzlich geladenen Elektroden. Die Ionen werden schließlich neutralisiert an der Elektrode **209** und am Widerstandselement **213**, wodurch ein Ionenstrom erzeugt wird, der direkt proportional ist zur Anzahl an Ionen, welche zu den Elektroden transportiert wurden.

[0043] Daher erzeugt die Ionisation im Xenongas durch die Streuung der Gammastrahlung an den Xenonatomten einen vorübergehenden leitfähigen Pfad **227**, der die Elektrode **209** mit dem Widerstandselement **213** verbindet an dem Ort der Ionisation durch den Gammastrahl. Daher gibt es zwei Pfade für den Ionenstrom (d. h. dem Ausgangssignal), um zur Masse abfließen. Da diese zwei Pfade parallel geschaltet sind, ist die

Größe des Ionenstroms in jedem Pfad invers proportional zum Gesamtwiderstand des jeweiligen Pfades. Der erste Ausgangs-Signalfad des Ausgangssignals transportiert einen Strom I_L , der invers proportional zum Gesamtwiderstand des ersten Pfades ist, der durch $R + \rho(x/L)$ gegeben ist, wobei ρ der Gesamtwiderstand des Widerstandselements **213** ist, L die Gesamtlänge des Widerstandselements **213** ist, x die Position der durch die Gammastrahlung induzierten Ionisation ist, gemessen vom einen Ende des Widerstandselements **213**, und R der Widerstand der Lastwiderstände **217** und **219**, oder der Widerstand für jeden der Lastwiderstände ist. Der Pfad des zweiten Ausgangssignals transportiert einen Strom I_R , der invers proportional ist zum Gesamtwiderstand des zweiten Pfades, der gegeben ist durch $R + \rho(1 - x/L)$. Daher kann die Position der Gammastrahl-Detektion bestimmt werden abhängig von einem Vergleich der zwei Spannungen, welche an den zwei Kontakten **223** und **225** anliegen. Beispielsweise ist das Verhältnis zwischen den zwei Spannungen, welche an den zwei Kontakten **223** und **225** anliegen, gegeben durch:

$$\frac{V_R}{V_L} = \frac{R + \left(\frac{x}{L}\right) \rho}{R + \left(1 - \frac{x}{L}\right) \rho} \quad (2)$$

wobei V_L die Spannung ist, gemessen am Kontakt **223** und V_R die Spannung ist, gemessen am Kontakt **225**. Genauer können V_L und V_R passender gedeutet werden als Peak-Amplituden der Ausgangssignale (d. h. der Ausgangspulse), gemessen durch das Detektor-Elektronik-Modul **207** an den Kontakten **223** und **225**. Diese Deutung basiert auf der Kurzlebigkeit der durch Gammastrahlung induzierten Ionisation. Die Gleichung (2) kann invertiert werden um den Detektionsort der Gammastrahlung zu erhalten:

$$x = L \frac{V_R \left(\frac{R}{\rho} + 1\right) - V_L \frac{R}{\rho}}{V_L + V_R} \quad (3)$$

[0044] Daher, wenn R und ρ beide bekannt sind, kann x bestimmt werden durch eine Messung von beiden V_R und V_L . Entsprechend einer oder mehreren der hier beschriebenen Ausführungsformen, kann der Widerstand ρ des Widerstandselements **213** gleich oder vergleichbar sein zum Widerstand R der Lastwiderstände **217** und **219**. Beispielsweise kann im Fall, wenn ρ gleich R ist, sich die Gleichung (3) vereinfachen zu:

$$x = L \frac{2V_R - V_L}{V_L + V_R} \quad (4)$$

[0045] Daher erlaubt eine Messung der Spannungen V_R und V_L die Bestimmung der Position x der Detektion der Gammastrahlung. Der Fachmann, wird basierend auf dieser Offenbarung erkennen, dass andere Vergleiche der Spannungen verwendet werden können, um ein ortssensitives Signal abzuleiten. Daher ist Gleichung (4) als ein Beispiel eines möglichen nützlichen Vergleiches zu verstehen.

[0046] Fig. 3 zeigt eine schematische Grafik einer Vorrichtung zur Messung eines Dichteprofiles entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen. In einer Situation, in welcher der Behälter **301** sehr lang oder sehr hoch ist, können mehrere ortssensitive Gammastrahldetektoren (beispielsweise Detektoren **303**, **305** und **307**) entlang der Länge oder Höhe des Behälters **301** angeordnet sein, wobei auch eine oder mehrere Gammastrahlquellen **309** auch entlang des Behälters angeordnet sein können. Die Anordnung mehrerer kürzerer einzelner ortssensitiver Detektoren erlaubt verbesserte thermische Eigenschaften und verbesserte Schwingungseigenschaften. Beispielsweise können systematische Änderungen in der Detektorkalibrierung assoziiert sein mit der thermischen Expansion/Kontraktion des Widerstandselements und/oder die thermische Expansion/Kontraktion des Ionisationskammergehäuses kann reduziert werden durch eine Reduzierung der Gesamtlänge des Widerstandselements und des Ionisationskammergehäuses. Die Länge des Gammastrahldetektors kann ferner so gewählt werden, dass die effiziente Kopplung der Schwingungsfrequenzen, welche in der Umgebung nahe des Detektors vorherrschen, minimiert wird. Zwar zeigt Fig. 3 die Enden des ortssensitiven Detektors teilweise überlappend, jedoch kann der Fachmann erkennen, dass andere Konfigurationen möglich sind, ohne über den Umfang der vorliegenden Offenbarung hinauszugehen. Beispielsweise können gemäß einer weiteren Ausführungsform die ortssensitiven Detektoren Ende-an-Ende angeordnet sein. Zusätzlich wird der Fachmann erkennen, dass die besonderen Erfordernisse einer gegebenen Detektorumgebung eine bestimmte Anzahl an Detektoren erfordern kann, welche eine bestimmte Länge aufweisen, oder eine bestimmte Anzahl an Gammastrahlquellen erfordern kann. Daher soll Fig. 3 ein illustratives Beispiel wiedergeben und soll nicht den Umfang der vorliegenden Offenbarung beschränken.

[0047] Die Gammastrahlquellen **107** (in **Fig. 1**) und **309** (in **Fig. 3**) können beispielsweise aufweisen: Cäsium-137, Americium-241, Radium-226, Iridium-192 und Kobalt-60, oder eine andere passende radioaktive Quelle. In einigen Ausführungsformen kann die Aktivität der Quelle in einem Bereich liegen von 0,1 mCi bis 10 Ci. In weiteren Ausführungsformen kann die Aktivität der Quelle weniger betragen als 5 Ci, in weiteren Ausführungsformen weniger als 2 Ci, in wiederum anderen Ausführungsformen weniger als 1 Ci.

[0048] Die **Fig. 4A** und **Fig. 4B** zeigen, wie ein ortssensitiver Gammastrahldetektor mit einem Montageadapter montiert sein kann an einem Behälter entsprechend einer oder mehreren der hier offenbarten Ausführungsformen. Der Montageadapter **405** kann fest an den Behälter **401** befestigt sein durch irgendeine bekannte Methode, beispielsweise durch Schweißen. Viele industrielle Anwendungen erzeugen signifikante Schwingungen, welche die Montageadapter durchdringen können und in die ortssensitiven Gammastrahldetektoren **403** gelangen. Diese Vibration kann elektrisches Rauschen verursachen durch eine Erzeugung von Kapazitätsänderungen in den Detektionselementen, welche wiederum Rauschen im System erzeugen, welche auch als Mikrofonie bekannt ist. Abhängig von der Konfiguration des ortssensitiven Gammastrahldetektors **403** kann das Rauschen in einem Frequenzbereich von 10 kHz oder mehr liegen. Die Verwendung von mechanischen Dämpfern als Teil des Tragesystems oder Stützesystems hilft, diese Effekte zu reduzieren. Das Dämpfungssystem weist eine Hülse **407** auf, die zumindest teilweise aus einem elastomeren Material gefertigt ist. Die Hülse **407** kann zwischen dem Montageadapter und dem ortssensitiven Gammastrahldetektor **403** angeordnet sein. Die Anzahl und die Position der Adapter kann variieren, entsprechend unterschiedlichen Konfigurationen des Detektors. Die Hülse **407** reduziert nicht nur das Mikrofonie-Rauschen, sondern stellt auch eine thermische Sperre bereit zwischen dem Detektor und der Kammer.

[0049] **Fig. 5** zeigt ortssensitive Gammastrahldetektoren, die an einem Behälter montiert sind entsprechend einer oder mehreren der hier offenbarten Ausführungsformen. In diesem Beispiel ist der Querschnitt des Behälters **501** gezeigt als kreisförmig, wie es der Fall wäre für eine zylindrische Kammer, welche horizontal, d. h. parallel zum Boden montiert ist. Ferner, entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen, können viele unterschiedliche Typen an Kammern mit unterschiedlichen Querschnittsformen verwendet werden, ohne über den Umfang der vorliegenden Offenbarung hinauszugehen. Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen können die ortssensitiven Detektoren **503** und **505** so montiert sein, dass sie das Dichteprofil des Fluids in einer oder mehreren Querrichtungen oder Querschnittsrichtungen (beispielsweise senkrecht zur Symmetrieachse) des Behälters **501** messen. Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Gammastrahlquelle **507** an oder nahe des Behälters montiert sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Gammastrahlquelle **507** an oder nahe den ortssensitiven Detektoren montiert sein.

[0050] Zwar ist in den **Fig. 4A** und **Fig. 4B** eine zylindrisch geformte Ionenkammer gezeigt, der Fachmann wird jedoch erkennen, dass verschiedene Formen für die Ionenkammer verwendet werden können, ohne über den Umfang der vorliegenden Offenbarung hinauszugehen. Beispielsweise kann die Ionenkammer die Form eines Quaders oder eines Würfels aufweisen. Die Form kann ein Paar von parallelen Platten aufweisen. Die Form der Ionenkammer kann eine andere geeignete Geometrie sein.

[0051] Der Fachmann wird erkennen, dass alternativ der ortssensitive Detektor in vielen Ausführungen konfiguriert sein kann und nicht notwendigerweise beschränkt ist auf den Proportionalzähler, wie vorhergehend im Detail beschrieben.

[0052] **Fig. 6** zeigt ein Beispiel einer empirischen Kurve, welche die Zählrate der rückgestreuten Gammastrahlen wiedergibt als eine Funktion der Dichte eines Prozessfluids entsprechend hier beschriebener Ausführungsformen. In diesem illustrativen Ausführungsbeispiel ist die Zählrate als eine Funktion der Dichte gezeigt für einen mit Xenon gefüllten Proportionalzähler, der an einem Behälter befestigt ist, wobei die Dicke der Kammerwand 1 Zoll beträgt. Wie an der **Fig. 6** zu sehen ist, erzeugt eine Dichte von 0,120 g/cc (Gramm pro Kubikzentimeter) die gleiche Zählrate, wie eine Dichte von 2,20 g/cc. Daher kann der Betriebsbereich in zwei Bereiche unterteilt werden, wie nachfolgend beschrieben.

[0053] Die Peak-Zählrate ist bezeichnet mit ρ_m . Eine oder mehrere der hier beschriebenen Ausführungsformen können innerhalb eines Bereichs betrieben werden, wo die Dichte $\rho < \rho_m$ ist, beispielsweise Dichten, welche zu linken des Maximums der Kurve in der **Fig. 6** liegen. In ähnlicher Weise können eine oder mehrere der hier offenbarten Ausführungsformen betrieben werden innerhalb eines Bereichs hoher Dichte $\rho > \rho_m$, repräsentiert durch Dichten, welche zur Rechten des Maximums der Kurve in der **Fig. 6** liegen. In vielen industriellen Anwendungen, beispielsweise in vielen Raffinerien, kann das Fluid in der Regel Öl sein, das eine Dichte von 0,8 g/cc oder höher aufweist. Entsprechend einem weiteren Beispiel können industrielle Anwendungen im Bereich Bergbau die Fluide in der Regel Wasser sein, welche eine Dichte von 1,0 g/cc oder höher aufweisen.

[0054] Die Fähigkeit, die rückgestreuten Gammastrahlen zu messen, kann abhängen von vielen Faktoren, einschließlich aber nicht beschränkt auf die Dichte des Fluids, die Dicke der Kammerwand, die Distanz zwischen Quelle und Detektor, Quellenintensität, etc. Daher wird die Abhängigkeit der Zählrate von der Dichte des Fluids variieren, abhängig von spezifischen Betriebsbedingungen. Daher soll **Fig. 6** ein illustratives Beispiel sein und soll nicht den Umfang der vorliegenden Offenbarung beschränken.

[0055] **Fig. 7A** zeigt eine schematische Darstellung einer Apparatur zur Messung eines Dichteprofiles entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen. Der Behälter **705** kann befüllt sein mit einer Mischung von Fluiden, wobei jedes der Fluide eine unterschiedliche Dichte hat. In dem in der **Fig. 7A** gezeigten Beispiel ist die Kammer **705** teilweise gefüllt mit dem Fluid **711** (beispielsweise 0,45 gcc Schaum) und teilweise mit dem Fluid **713** (beispielsweise 0,0012 gcc Luft). Eine Gammastrahlquelle **707** und ein ortssensitiver Gammastrahldetektor **709** sind beide befestigt oder auf andere Weise montiert nahe der Wand des Behälters **705**. Entsprechend einer oder mehreren der hier beschriebenen Ausführungsformen kann der ortssensitive Gammastrahldetektor **709** dazu benutzt werden, die Grenzfläche zwischen den Fluiden **711** und **713** zu bestimmen, sowie die Dichten des Fluids **711** und des Fluids **713** zu bestimmen.

[0056] **Fig. 7B** zeigt eine simulierte Reaktion eines ortssensitiven Detektors entsprechend einer oder mehreren der hier beschriebenen Ausführungsformen. In diesem Beispiel wurde eine Monte Carlo Simulation der Compton-Streuung der Gammastrahlen durchgeführt, welche die Zählrate auf dem Detektor für ein gegebenes Fluid ergibt. Konkret zeigt **Fig. 7B** eine halblogarithmische Auftragung einer Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlung auf dem ortssensitiven Detektor **709**. Der hier verwendete Begriff der Verteilung der Zählereignisse rückgestreuter Gammastrahlen ist definiert als die räumliche Verteilung der gesamten Zählereignisse, wie von dem Detektor über ein Zeitintervall dt gemessen. Ferner wird angenommen, dass die Verteilung der Zählereignisse der rückgestreuten Gammastrahlen äquivalent ist zur Verteilung der Zählrate wobei die Zählrate einfach gegeben ist durch die Anzahl N der Zählereignisse geteilt durch die Messzeit dt . **Fig. 7B** zeigt, dass bei einer halblogarithmischen Auftragung die Verteilung der Zählereignisse der rückgestreuten Gammastrahlen für ein Fluid mit einer konstanten Dichte gut wiedergegeben wird durch eine lineare Beziehung, welche eine negative Steigung m hat oder:

$$m = \frac{d}{dx} \log(N) = -\alpha\rho + \beta \quad (5)$$

wobei α und β Kalibrierungsfaktoren sind und ρ die Dichte des Fluids ist. Die Kalibrierungskonstanten können von vielen Faktoren abhängen, einschließlich aber nicht beschränkt auf Dicke der Kammerwand, Quellen-Detektor-Abstand, Quellenintensität, und Design der Ionenkammer (beispielsweise Geometrie und Art des Gases). Jedoch können α und β bestimmt werden durch Kalibrierung des Systems mit irgendwelchen zwei Kalibrierungsfluiden, welche eine bekannte Dichte aufweisen, beispielsweise Luft und Wasser.

[0057] **Fig. 7B** zeigt ferner, dass die Grenzschicht zwischen dem Schaum mit 0,45 gcc und Wasser identifiziert werden kann durch eine Unstetigkeit oder einem Knick in der Steigung der Verteilung der Zählereignisse der rückgestreuten Gammastrahlen in einer halblogarithmischen Auftragung. Daher kann die Grenzschicht lokalisiert werden ohne vorheriges Wissen der Kalibrierungskonstante α . Ferner impliziert die lineare Verteilung der Zählraten der rückgestreuten Gammastrahlen in der halblogarithmischen Auftragung, gezeigt in der **Fig. 7B**, dass für eine feste Dichte die Anzahl der Zählereignisse, gemessen auf dem ortssensitiven Detektor, exponentiell abnimmt mit zunehmender Höhe von der Gammastrahlquelle.

[0058] Unter anspruchsvollen Bedingungen, welche in vielen industriellen Prozessen auftreten, kann es schwer werden, die Position eines Zählereignisses einer Gammastrahldetektion zu bestimmen gemäß Gleichung (2). Beispielsweise führen Rauschquellen, welche beispielsweise an die Ausgangssignale V_L und V_R koppeln, zur Existenz einer Positions-Empfindlichkeitsgrenze δx . Ferner kann aufgrund der Zufallseigenschaft, d. h. der statischen Natur des physikalischen Prozesses der Gammastrahlung, der anteilige Fehler in der gemessenen Anzahl der Zählereignisse skalieren mit eins über der Wurzel der Anzahl der Zählereignisse, oder $\delta N/N \propto 1/\sqrt{N}$. Daher kann es nützlich werden, eine Binning-Technik anzuwenden, um das Rauschen zu reduzieren und/oder die statistische Unsicherheit und die Datenerfassungszeit zu verbessern durch Vergrößerung der Anzahl der Zählereignisse, welche für ein gegebenes Datenerfassungsereignis erhalten werden über eine Zeit dt . Beispielsweise kann der ortssensitive Detektor effektiv geteilt werden in eine Anzahl von virtuellen Subdetektoren der Größe δx oder größer, und alle Detektionen, welche innerhalb irgendeiner gegebenen virtuellen Subdetektorweite fallen, können aufsummiert werden, um den Fehler in den Zählereignissen zu reduzieren.

[0059] Daher, entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen, kann die Datenausgabe aus dem Detektor bearbeitet werden als ob der ortssensitive Detektor mehrere kleine virtuelle Subdetektoren umfasst,

welche jeweils eine Breite w haben, obwohl der ortssensitive Detektor eine einzelne Einheit ist (beispielsweise **Fig. 4**). Je kleiner die Abschnitte der virtuellen Subdetektoren, desto mehr Subdetektoren stehen zur Verfügung, wodurch die Ortsauflösung der Messung vergrößert wird. Größere Abschnitte der virtuellen Subdetektoren führen zu weniger virtuellen Subdetektoren und daher zu einer ungenaueren räumlichen Auflösung. Jedoch führen größere Abschnitte der Subdetektoren zu einer höheren Anzahl an Zählereignissen, welche von jedem virtuellen Subdetektoren erfasst werden, wodurch die Genauigkeit der Dichtemessung erhöht wird.

[0060] Die Abschnitte der virtuellen Subdetektoren können auch verstanden werden im Kontext der Gleichung (3). Beispielsweise können Zählereignisse, welche an einer Position $x_i \pm w/2$ detektiert werden, addiert werden oder gebinnt werden. Der nächste virtuelle Subdetektor besteht aus allen Zählereignissen, welche an der Position $(x_i + w) \pm w/2$ lokalisiert sind. Daher umfasst der n te virtuelle Subdetektor alle Zählereignisse, welche gemessen werden innerhalb des Bereichs $(x_i + n_w) \pm w/2$.

[0061] Gemäß einer oder mehreren Ausführungsbeispielen kann die Dichte an einer Position x entlang der Länge oder Höhe der Kammer gemessen werden. Beispielsweise, wenn das gesamte System kalibriert ist, kann die Messung der Dichte ρ zwischen zwei benachbarten Subdetektoren, nummeriert mit i und $i + 1$, abgeleitet werden von der Differenz der Zählereignisse zwischen den zwei Subdetektoren (d. h. der Steigung der Verteilung der Zählereignisse der rückgestreuten Gammastrahlen):

$$\rho = \alpha \frac{\log N_{i+1} - \log N_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (6)$$

[0062] **Fig. 8A** zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen. Der Behälter **805** kann befüllt werden mit einer Mischung von Fluiden, wobei jedes Fluid eine unterschiedliche Dichte haben kann oder jedes Fluid ein nichtkonstantes Dichteprofil aufweisen kann. In dem Beispiel, welches in der **Fig. 8A** gezeigt ist, ist die Kammer **805** teilweise befüllt mit den Fluiden **807**, **809**, **811**, **813**. Eine Gammastrahlquelle **815** und ein ortssensitiver Gammastrahldetektor **817** sind beide befestigt oder auf andere Weise montiert nahe der Wand des Behälters **805**. Entsprechend einem oder mehreren der hier beschriebenen Ausführungsformen wird der ortssensitive Gammastrahldetektor **817** benutzt, um die Grenzfläche zwischen verschiedenen Fluiden zu bestimmen zusätzlich zur Dichteverteilung von allen Fluiden entsprechend der Gleichung (6).

[0063] Die **Fig. 8A** und **Fig. 8B** zeigen simulierte Reaktionen eines ortssensitiven Detektors entsprechend einer oder mehreren der hier beschriebenen Ausführungsformen, wobei eine Monte Carlo Simulation der Compton-Streuung der Gammastrahlen durchgeführt wurde. Angenommen dass jeder der virtuellen Subdetektoren kalibriert ist, kann die Dichte zwischen jedem der virtuellen Subdetektoren abgeleitet werden von den gemessenen Zählereignissen an jedem der virtuellen Subdetektoren entsprechend der Gleichung (6).

[0064] Die durchgezogenen Linien zeigen das eingegebene oder angenommene Dichteprofil des Fluids, das in der Simulation verwendet wurde. In diesem Beispiel wurde das Fluid **807** simuliert mit einer konstanten Dichte, die Fluide **809** und **811** wurden simuliert mit linearen Dichteprofilen und Fluid **813** wurde simuliert als ein leerer Raum (0 g/cc). Die einzelnen Datenpunkte zeigen die Resultate der Simulation. **Fig. 8B** zeigt die Resultate einer Simulation, in welcher der Detektor unterteilt wurde in virtuelle Subdetektoren, welche jeweils eine Breite haben von 10 cm. **Fig. 8C** zeigt die Resultate einer Simulation, wobei der Detektor unterteilt wurde in virtuelle Subdetektoren, die jeweils eine Breite von 30 cm haben. Es ist sichtbar, dass beide Konfigurationen virtueller Subdetektoren eine genaue Rekonstruktion des simulierten Dichteprofiles ergeben.

[0065] **Fig. 9** zeigt ein Flussdiagramm, welches die Schritte eines Verfahrens illustriert zum Messen eines Dichteprofiles eines Fluids in einer Prozesskammer, entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen. Während die unterschiedlichen Schritte in dem Flussdiagramm sequentiell dargestellt und beschrieben sind, wird der Fachmann erkennen, dass einige oder alle dieser Schritte in unterschiedlicher Reihenfolge ausgeführt werden können, kombiniert oder weggelassen werden können, und einige oder alle dieser Schritte können parallel ausgeführt werden können.

[0066] Im Schritt **901** werden Gammastrahlen in das Fluid emittiert. Diese Gammastrahlen können von einer passenden Gammastrahlquelle ausgehen, welche außerhalb der Prozesskammer angeordnet ist, wie vorangehend beispielsweise gezeigt in den **Fig. 1**, **Fig. 3**, **Fig. 7A** und **Fig. 8A**. Im Schritt **903** wird eine Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter Gammastrahlen (BGCD) detektiert durch einen ortssensitiven Gammastrahldetektor. Ein Beispiel eines BGCD, welches durch einen ortssensitiven Gammastrahldetektor detektiert ist, ist

gezeigt in der **Fig. 7B**. Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen kann der ortssensitive Gammastrahldetektor konfiguriert sein als ein Proportionalzähler, der eine Auslesung entsprechend der charge-division-Methode anwendet, wie vorangehend beschrieben mit Bezug auf **Fig. 2**. Jedoch wird ein Fachmann auf Grundlage der vorliegenden Offenbarung erkennen, dass irgendein passender Typ eines ortssensitiven Detektors verwendet werden kann, ohne über den Umfang der vorliegenden Offenbarung hinauszugehen, wie beispielsweise Plastiksintillatoren, etc. Im Schritt **905** wird die Steigung der BGCD berechnet an einem oder mehreren Detektionsorten entlang der Prozesskammer. Entsprechend einer oder mehreren Ausführungsformen kann die Steigung des BGCD berechnet werden für eine Vielzahl von Orten entlang der Verteilung der Zählereignissen der Gammastrahlen, entsprechend der Gleichung (6). Es sollte beachtet werden, dass für den Schritt **905** der Kalibrierungsfaktor α , gezeigt in der Gleichung (6), nicht bekannt sein muss, um die Steigung der BGCD zu bestimmen. In Schritt **907** kann das Niveau (d. h. Position, Höhe, etc.) einer Grenzfläche zwischen zwei Fluiden bestimmt werden, abhängig von der Anwesenheit irgendeiner Unstetigkeit in der Steigung der BGCD. Beispielsweise illustriert **Fig. 7B** eine Grenzfläche, welche zwischen dem Fluid **711** und **713** liegt, wobei die Grenzfläche erkennbar ist an der Unstetigkeit in der Steigung der BGCD. Im Schritt **909** kann das Dichteprofil des Fluids bestimmt werden, abhängig von der berechnenden Steigung der BGCD, unter Verwendung der Gleichung (6) und den vorbestimmten Werten der notwendigen Kalibrierungskonstanten, beispielsweise α , β und/oder irgendwelchen anderen notwendigen Offset/Kalibrierungswerten, etc.

[0067] Dichtemessgeräte auf Basis rückgestreuter Gammastrahlen, entsprechend der hier offenbarten Ausführungsformen, können die Dichte eines Fluids in einem Behälter messen, wobei die Dichte des Fluids zwischen 0 g/cc und 7,0 g/cc liegen kann. In anderen Ausführungsbeispielen kann der effektive Dichtebereich zwischen 0,1 g/cc und 4,0 g/cc liegen, in wiederum anderen Ausführungsbeispielen zwischen 0,2 g/cc und 2,0 g/cc. In weiteren Ausführungsbeispielen können eine oder mehrere ortssensitive Gammastrahldetektoren verwendet werden in Verbindung mit einem oder mehreren Gammastrahl-Durchstrahlungs-Dichtemessgeräten.

[0068] Vorteilhafterweise können die hier offenbarten Verfahren und Vorrichtungen verwendet werden, um Dichteprofile von Fluiden in Behältern zu messen, oder eine oder mehrere Grenzflächen zu lokalisieren zwischen mehreren Fluiden in einem Prozessbehälter. Die gemessenen Dichteprofile können beispielsweise den Grad des Absetzens oder Mischens anzeigen, der in einer Kammer auftreten kann. Zusätzlich kann das vertikale Dichteprofil den Grad eines Absetzens eines festen Stoffes einer Suspension zeigen, welche in dem Behälter ist. In einem weiteren Beispiel können unterschiedliche Dichteprofile einen statischen, laminaren oder turbulenten Fluss in dem Behälter anzeigen. Wo Behälter eine Komponente in einem Prozess bilden, können eine oder mehrere Prozessvariablen geändert werden in Abhängigkeit von dem Dichteprofil, wie ein Erhöhen der Mischung oder ein Verringern von Absetzungsraten. Wenn eine oder mehrere Grenzflächen zwischen Fluiden detektiert werden, können eine oder mehrere Prozessvariablen verändert werden, um das Niveau der Grenzfläche zwischen den Prozessfluiden (d. h. das Prozessniveau) innerhalb der Prozesskammer zu verändern.

[0069] In verschiedenen anderen Ausführungsformen kann die Dichte und/oder das Dichteprofil eines Fluids in einem Behälter (d. h. die Prozessdichte und/oder das Prozessdichteprofil) kontrolliert werden durch Verändern einer oder mehrerer Prozessvariablen, abhängig von der gemessenen Dichte und/oder dem gemessenen Dichteprofil. Wenn beispielsweise ein Behälter eine Komponente in einem Prozess bildet, können eine oder mehrere Prozessvariablen verändert werden, abhängig von der ortssensitiven Dichtemessung durch rückgestreute Gammastrahlen des Fluids in dem Behälter.

[0070] Ferner können eine oder mehrere der hier offenbarten Ausführungsformen implementiert werden auf irgendeiner Art von Computersystem, wie ein System zur Prozesskontrolle. Beispielsweise, wie in der **Fig. 10** gezeigt ist, kann ein Prozesskontrollsystem **1000** einen Prozessor **1002** aufweisen, der mit Speicher, wie einem Arbeitsspeicher **1004** und/oder einer Festplatte **1006** verbunden ist, und ferner viele andere Elemente und Funktionalitäten aufweisen, die typisch sind für die heutigen Computer (nicht gezeigt). Einer oder beide der Speichergeräte können Instruktionen aufweisen, welche das Prozesskontrollsystem **1000** veranlassen, ein Verfahren für eine Prozesskontrolle auszuführen, entsprechend einem oder mehreren Ausführungsbeispielen der vorliegenden Offenbarung.

[0071] Das Prozesskontrollsystem **1000** kann auch Eingabemittel aufweisen, wie eine Tastatur **1008** und eine Maus **1010**, und Ausgabemittel, wie einen Monitor **1012**. Das Prozesskontrollsystem **1000** kann über eine Netzwerkschnittstellenverbindung (nicht gezeigt) verbunden sein mit einem local area network (LAN) oder einem wide area network (beispielsweise das Internet) (nicht gezeigt). Der Fachmann wird erkennen, dass diese Eingabe- und Ausgabemittel andere Ausführungen aufweisen können, welche nicht gezeigt sind oder später entwickelt werden.

[0072] Des weiteren wird der Fachmann erkennen, dass eine oder mehrere Elemente des Prozesskontrollsystems **1000** an einem entfernten Ort angeordnet sein können und über ein Netzwerk verbunden sein können mit den anderen Elementen. Ferner können eine oder mehrere Ausführungsformen implementiert werden auf einem distributed system, welches eine Vielzahl von Knoten aufweist, wobei jeder Teil der Offenbarung (beispielsweise intrusion detection system, response rewriter, Server, Client) auf einem unterschiedlichen Knoten angeordnet sein kann innerhalb des distributed systems. In einer oder mehreren Ausführungsformen kann der Knoten einem Computersystem entsprechen. Alternativ kann der Knoten einem Prozessor mit verbundenem physischen Speicher entsprechen. Alternativ kann der Knoten einem Prozessor entsprechen mit shared memory und/oder gemeinsamen Ressourcen. Des weiteren können Softwarebefehle zur Ausführung von Ausführungsformen auf einem materiellen computerlesbaren Medium gespeichert sein, wie eine digital video disc (DVD), eine Kompaktdisk (CD), eine Diskette, ein Band oder ein anderes passendes materielles computerlesbares Speichergerät.

[0073] Vorteilhafterweise können die hier offenbarten Ausführungsformen ein Verfahren bereitstellen, um kontaktlose Messungen von Dichteprofilen durchzuführen durch Positionieren eines ortssensitiven Gammastrahldetektors relativ zu einer Gammastrahlquelle, um rückgestreute Gammastrahlen zu detektieren. Durch die kontaktlose Messung kann das Dichteprofil von Material in dem Behälter gemessen werden, wenn das Material gefährlich ist, extrem heiß ist, oder wenn direkte Kontaktmessungen nicht möglich sind. Durch die Detektion von gestreuten Gammastrahlen müssen die Gammastrahlen nicht den gesamten Behälter entlang seines Durchmessers durchsetzen, wodurch Gammastrahlquellen niedrigerer Intensität verwendet werden können und Messungen von Dichteprofilen in größeren Kammern durchgeführt werden als es derzeit möglich ist mit Durchstrahl-Messungen.

[0074] Obwohl die Offenbarung beschrieben wurde mit einer begrenzten Anzahl von Ausführungsbeispielen, wird der Fachmann auf Grundlage dieser Offenbarung erkennen, dass andere Ausführungsbeispiele möglich sind, welche nicht über den Umfang der vorliegenden Offenbarung hinausgehen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen, umfassend:
 zumindest einen ortssensitiven Gammastrahldetektor, der konfiguriert ist, nahe an einem Prozessbehälter positionierbar zu sein,
 wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor konfiguriert ist,
 eine Verteilung von Zählereignissen rückgestreuter oder gestreuter Gammastrahlen zu erfassen und
 ein Dichteprofil eines Fluids, das in dem Prozessbehälter enthalten ist, abhängig von der Verteilung zu bestimmen;
 wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor einen Ionisationsdetektor aufweist;
 wobei der Ionisationsdetektor umfasst:
 ein Widerstandselement;
 einen ersten Ausgangskontakt, der mit einem ersten Ende des Widerstandselements verbunden ist;
 einen zweiten Ausgangskontakt, der mit einem zweiten Ende des Widerstandselements verbunden ist, wobei
 der erste Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein erstes Ausgangssignal auszugeben, und der zweite Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein zweites Ausgangssignal auszugeben.
2. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß Anspruch 1, ferner aufweisend zumindest eine Gammastrahlquelle, die ausgebildet ist, Gammastrahlen in das Fluid zu emittieren.
3. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Ionisationsdetektor befüllt ist mit einem elektrisch isolierenden Material.
4. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Ionisationsdetektor zum Betrieb als ortssensitiver Proportionalzähler konfiguriert ist.
5. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor konfiguriert ist, eine Auslesung nach der charge-division-Methode vorzunehmen.
6. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend:

ein Detektorelektronik-Modul, das konfiguriert ist, eine Detektionsposition eines gestreuten oder rückgestreuten Gammastrahls zu bestimmen, basierend auf einem Vergleich zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal;
wobei das erste Ausgangssignal vom ersten Kontakt ausgegeben wird und das zweite Ausgangssignal vom zweiten Kontakt ausgegeben wird.

7. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, ferner aufweisend:

ein Detektorelektronik-Modul, das konfiguriert ist, eine Detektionsposition eines gestreuten oder rückgestreuten Gammastrahls zu bestimmen, unter Verwendung einer Beziehung zwischen dem ersten und dem zweiten Ausgangssignal.

8. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß Anspruch 6 oder 7, wobei das Detektorelektronik-Modul ferner konfiguriert ist, die Detektionsposition zu bestimmen, basierend auf der Formel

$$x = L \frac{V_R \left(\frac{R}{\rho} + 1 \right) - V_L \frac{R}{\rho}}{V_L + V_R}.$$

9. Vorrichtung zur Messung von Dichteprofilen gemäß einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei das Detektorelektronik-Modul ferner konfiguriert ist, eine Fluidichte an einem Ort in dem Prozessbehälter zu messen durch Berechnen einer Steigung der Verteilung an der Detektionsposition.

10. Verfahren zum Messen eines Dichteprofiles eines Fluids in einem Prozessbehälter, umfassend:
Emittieren von Gammastrahlen in das Fluid; und

Erfassen einer Verteilung von Zählereignissen gestreuter oder rückgestreuter Gammastrahlen unter Verwendung zumindest eines ortssensitiven Gammastrahldetektors, der nahe am Prozessbehälter angeordnet ist;
Bestimmen des Dichteprofiles des Fluids, das in dem Prozessbehälter enthalten ist, basierend auf der Verteilung;

wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor einen Ionisationsdetektor umfasst, wobei der Ionisationsdetektor aufweist:

ein Widerstandselement;

einen ersten Ausgangskontakt, der mit einem ersten Ende des Widerstandselements verbunden ist; und

einen zweiten Ausgangskontakt, der mit einem zweiten Ende des Widerstandselements verbunden ist;

wobei der erste Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein erstes Ausgangssignal auszugeben und der zweite Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein zweites Ausgangssignal auszugeben.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei das Erfassen der Verteilung ferner umfasst:

Bestimmen einer Detektionsposition eines gestreuten oder rückgestreuten Gammastrahls, basierend auf einem Vergleich zwischen dem ersten Ausgangssignal und dem zweiten Ausgangssignal, wobei das erste Ausgangssignal vom ersten Ausgangskontakt ausgegeben wird und das zweite Ausgangssignal vom zweiten Ausgangskontakt ausgegeben wird.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, wobei das Bestimmen der Detektionsposition unter Verwendung des ersten und zweiten Ausgangssignals vorgenommen wird gemäß der Formel

$$x = L \frac{V_R \left(\frac{R}{\rho} + 1 \right) - V_L \frac{R}{\rho}}{V_L + V_R}.$$

13. Verfahren gemäß Anspruch 11 oder 12, ferner aufweisend:

Berechnen einer Steigung der erfassten Verteilung an der Detektionsposition.

14. Prozesssteuerungssystem zur Steuerung zumindest einer Prozessvariablen, wobei das Prozesssteuerungssystem umfasst:

einen Speicher;

einen Prozessor, der operativ mit dem Speicher verbunden ist; und

computerlesbare Befehle, die in dem Speicher gespeichert sind, wobei die computerlesbaren Befehle bewirken, dass der Prozessor ein Dichteprofil eines Fluids, das in einem Prozessbehälter enthalten ist, berechnet, basierend auf einer Verteilung von Zählereignissen gestreuter oder rückgestreuter Gammastrahlen, wobei die Verteilung von zumindest einem ortssensitiven Gammastrahldetektor erfasst wurde, wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor nahe an dem Prozessbehälter angeordnet ist;
wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor einen Ionisationsdetektor aufweist;
wobei der Ionisationsdetektor umfasst:
ein Widerstandselement;
einen ersten Ausgangskontakt, der mit einem ersten Ende des Widerstandselements verbunden ist;
einen zweiten Ausgangskontakt, der mit einem zweiten Ende des Widerstandselements verbunden ist, wobei der erste Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein erstes Ausgangssignal auszugeben, und der zweite Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein zweites Ausgangssignal auszugeben.

15. Prozesssteuerungssystem gemäß Anspruch 14, ferner umfassend computerlesbare Befehle, die in dem Speicher gespeichert sind, wobei die computerlesbaren Befehle bewirken, dass der Prozessor die zumindest eine Prozessvariable verändert, basierend auf dem berechneten Dichteprofil.

16. Prozesssteuerungssystem gemäß Anspruch 14 oder 15, wobei die Prozessvariable zumindest eines der folgenden ist:
eine Prozessdichte, ein Prozessniveau und ein Prozessdichteprofil.

17. Computerprogrammprodukt, das computerlesbare Befehle umfasst, wobei die computerlesbaren Befehle bewirken, dass der Prozessor ein Dichteprofil eines Fluids, das in einem Prozessbehälter enthalten ist, berechnet, basierend auf einer Verteilung von Zählereignissen gestreuter oder rückgestreuter Gammastrahlen, wobei die Verteilung durch zumindest einen ortssensitiven Gammastrahldetektor erfasst wird;
wobei der ortssensitive Gammastrahldetektor einen Ionisationsdetektor aufweist;
wobei der Ionisationsdetektor umfasst:
ein Widerstandselement;
einen ersten Ausgangskontakt, der mit einem ersten Ende des Widerstandselements verbunden ist;
einen zweiten Ausgangskontakt, der mit einem zweiten Ende des Widerstandselements verbunden ist, wobei der erste Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein erstes Ausgangssignal auszugeben, und der zweite Ausgangskontakt konfiguriert ist, ein zweites Ausgangssignal auszugeben.

18. Computerprogrammprodukt, umfassend computerlesbare Befehle, die, wenn geladen in einen Speicher eines Computers und/oder Computernetzwerks und ausgeführt von einem Computer und/oder Computernetzwerk, bewirken, dass der Computer und/oder das Computernetzwerk ein Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13 durchführt.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

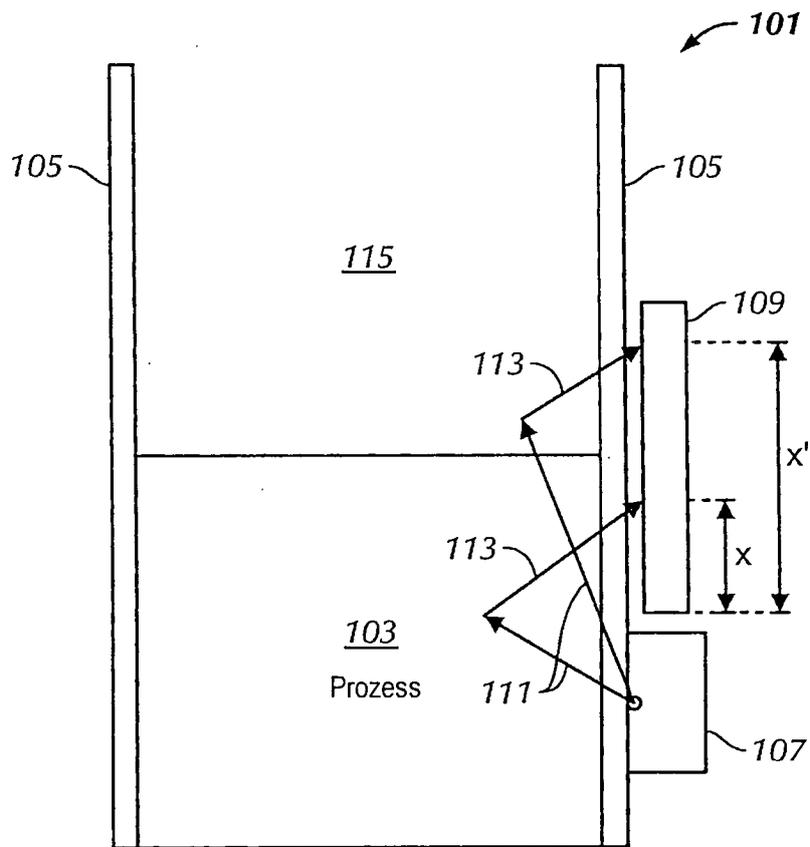


FIG. 1

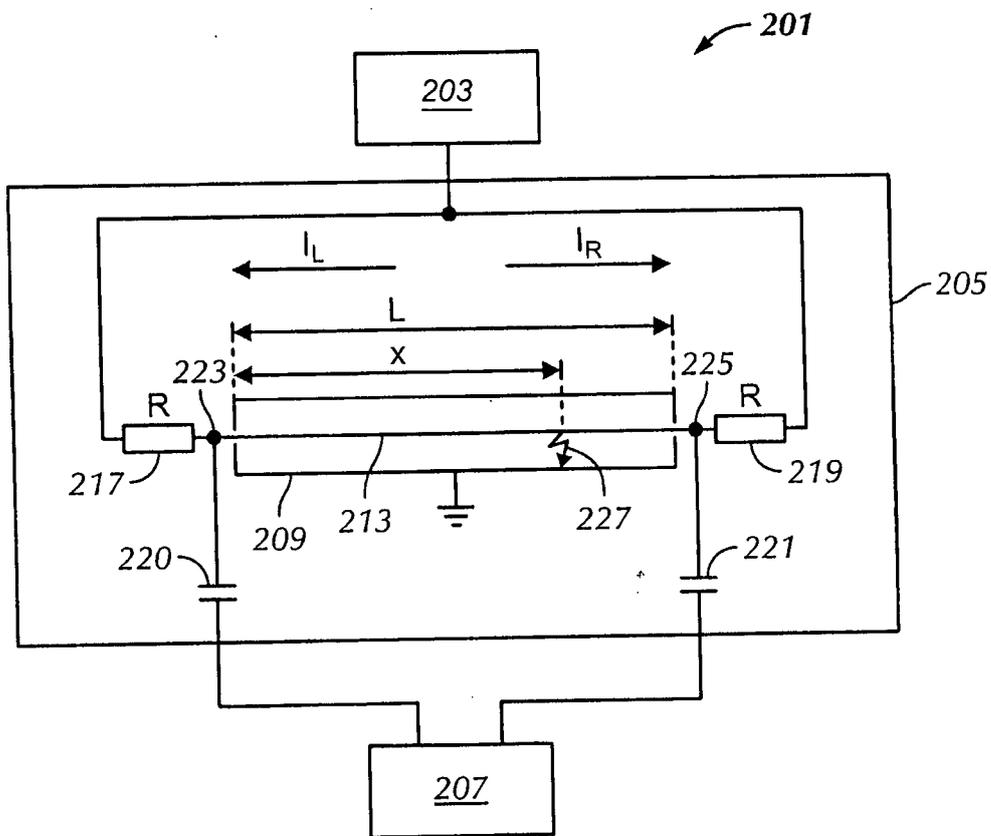
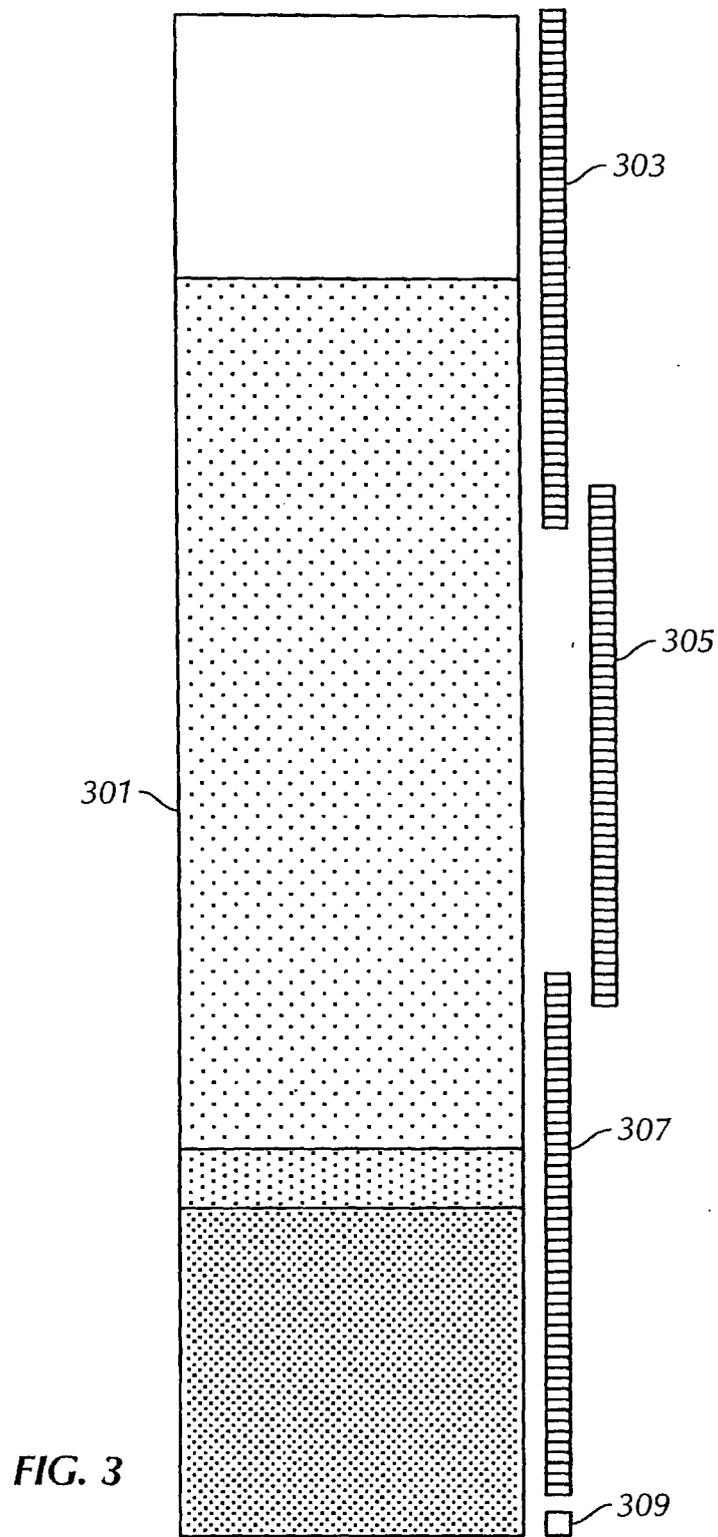


FIG. 2



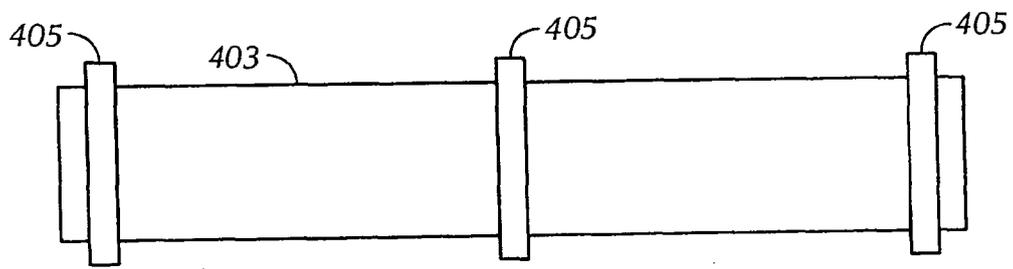


FIG. 4A

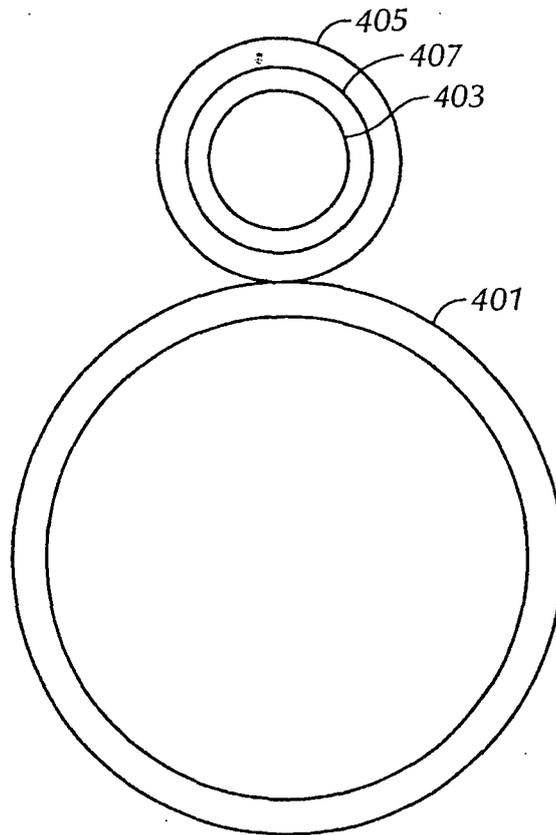


FIG. 4B

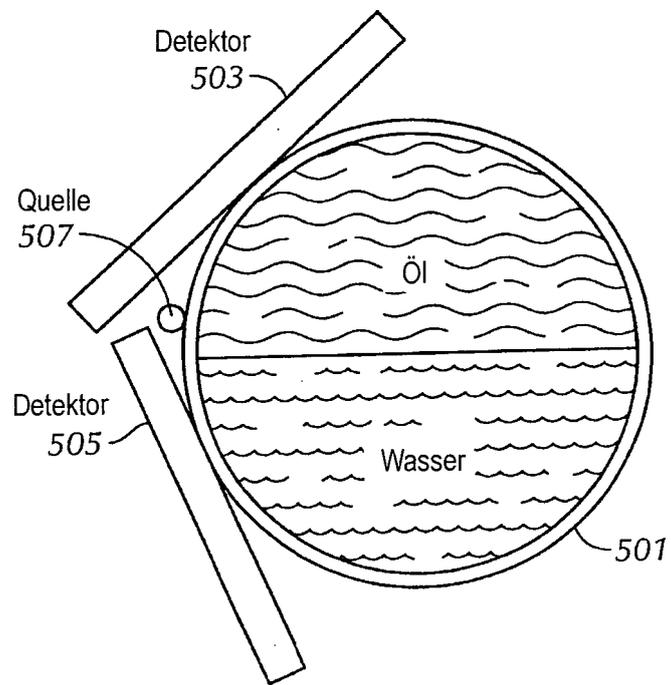
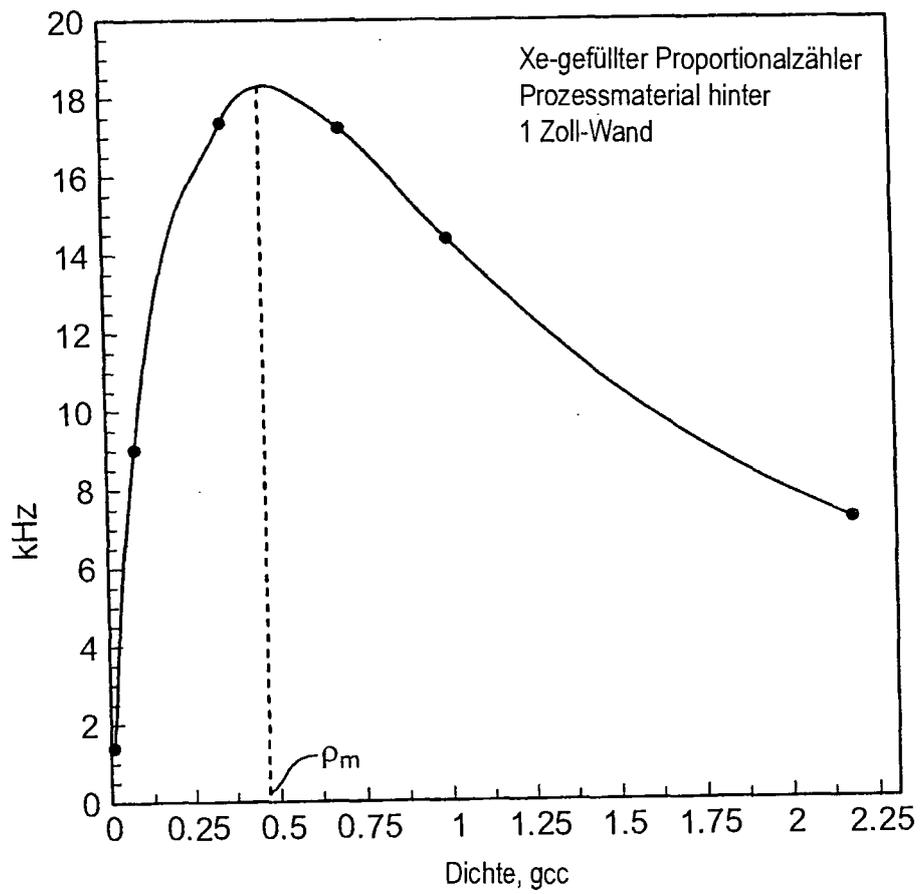


FIG. 5

**FIG. 6**

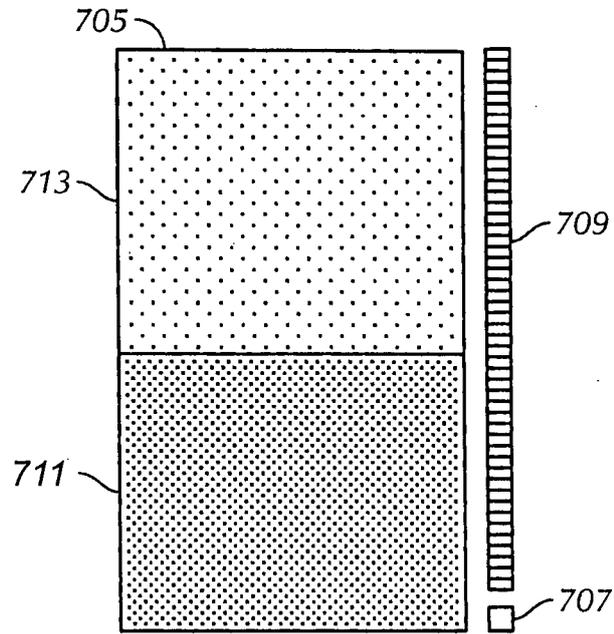


FIG. 7A

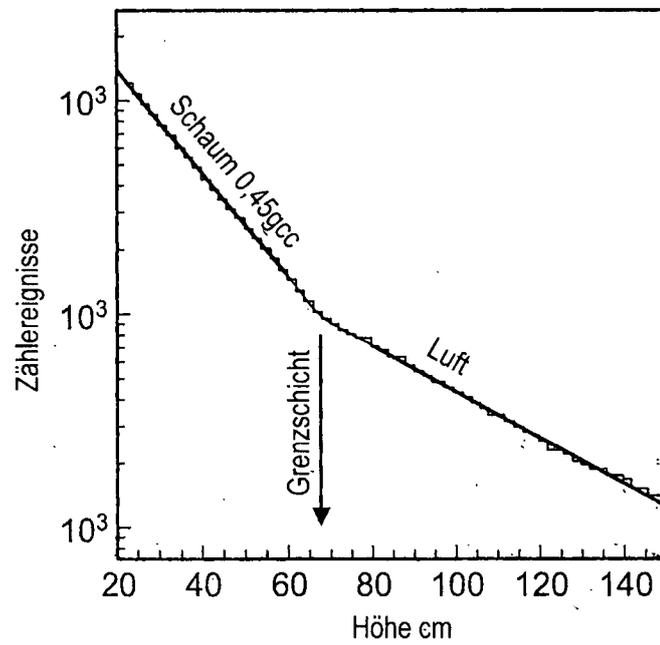


FIG. 7B

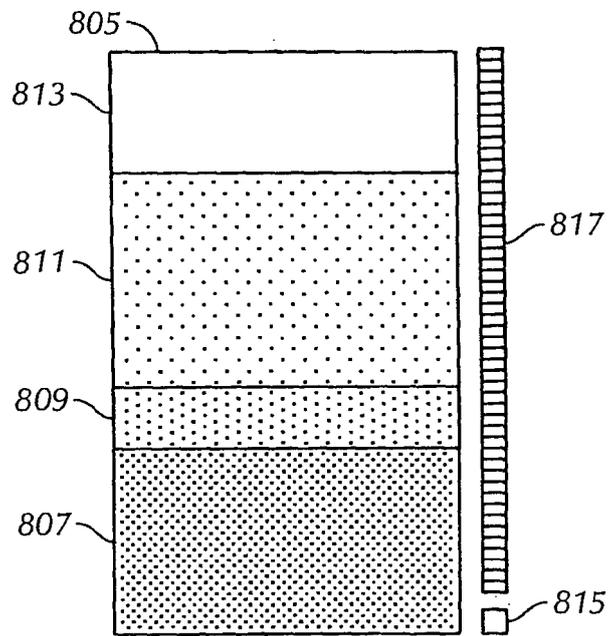


FIG. 8A

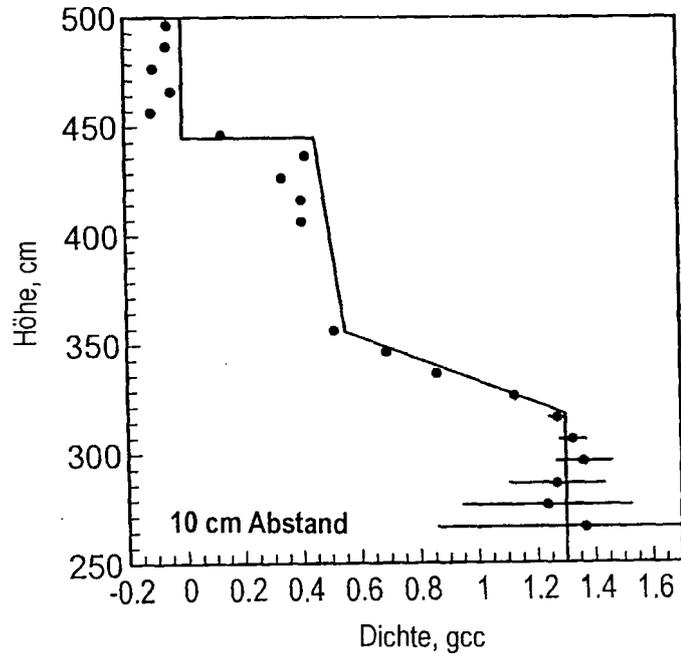


FIG. 8B

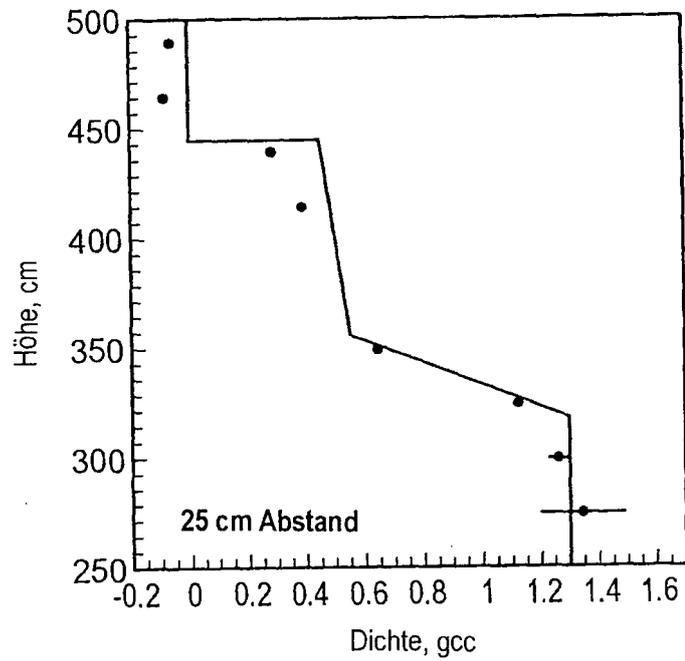


FIG. 8C

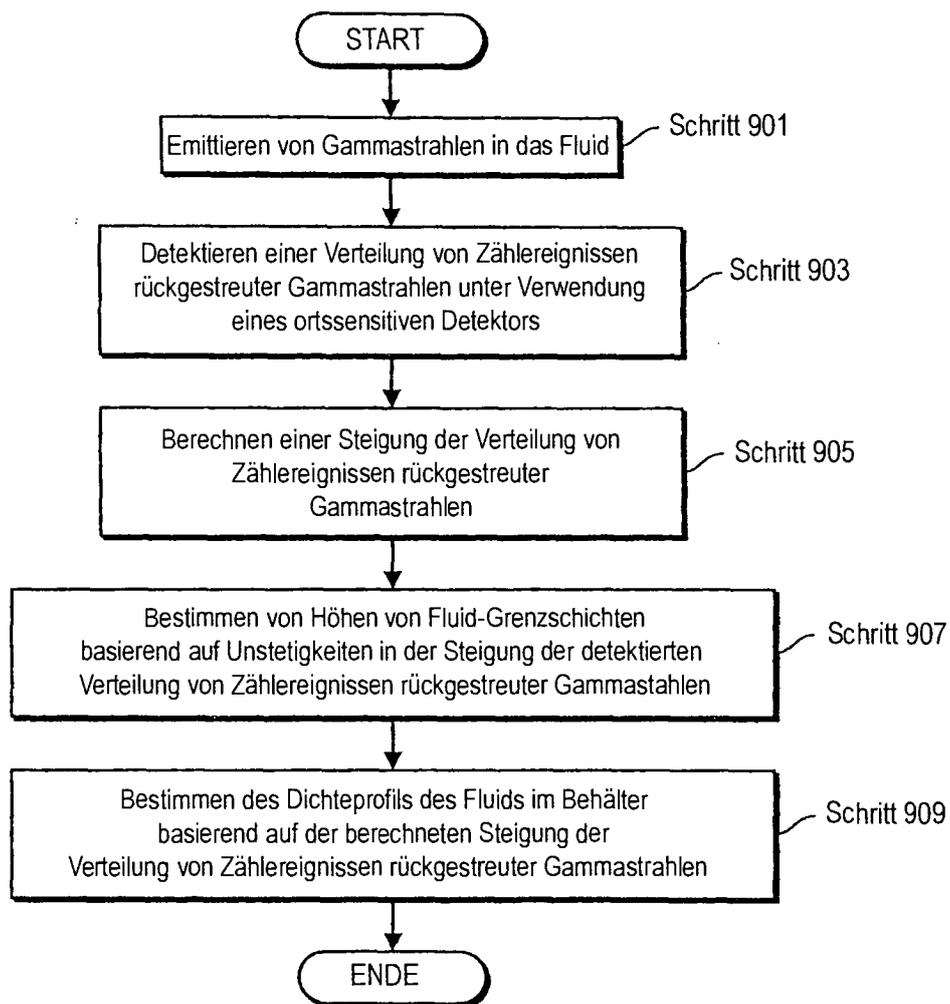


FIG. 9

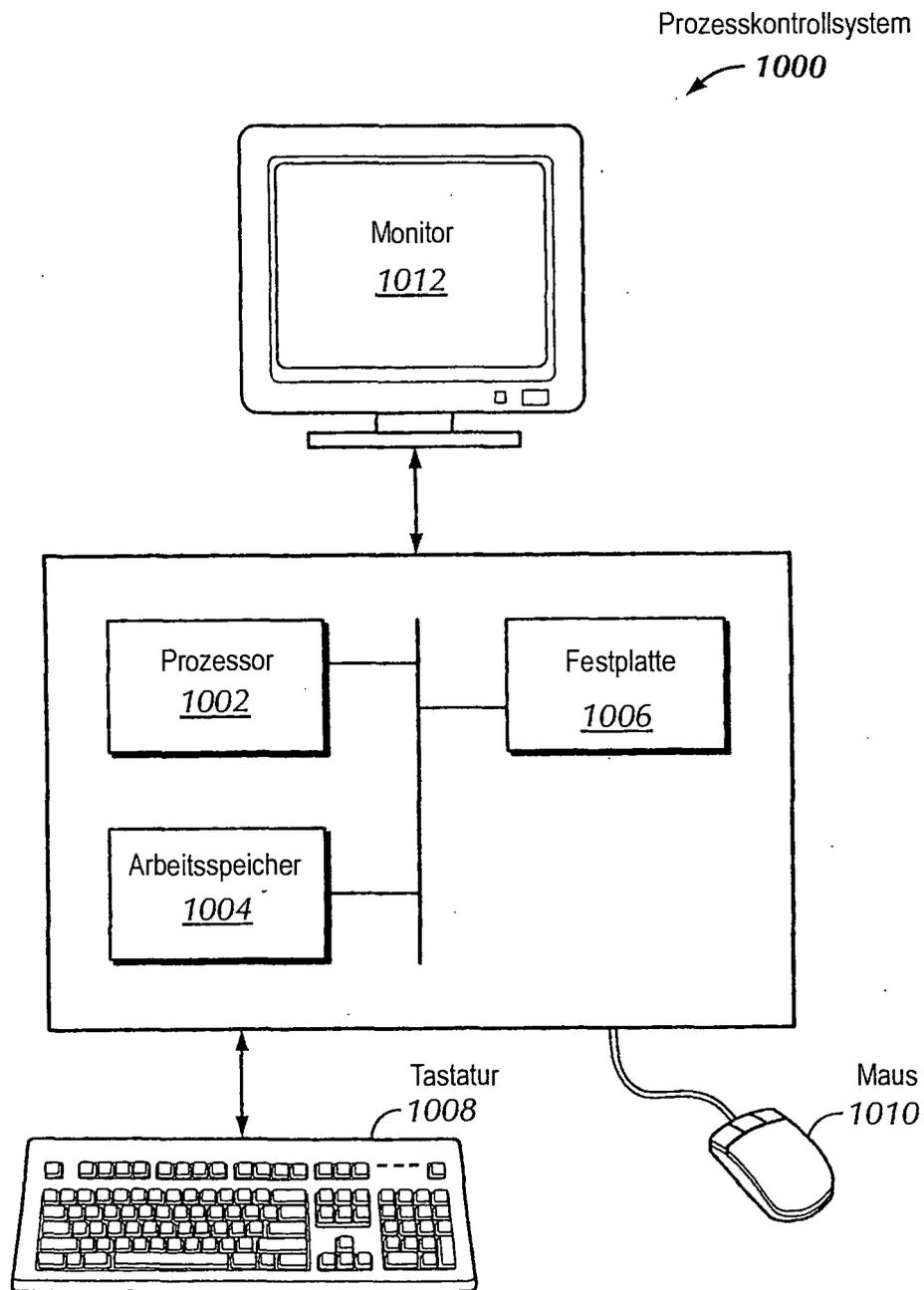


FIG. 10