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

(10) **DE 103 23 093 A1** 2004.12.16

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 23 093.9**
(22) Anmeldetag: **16.05.2003**
(43) Offenlegungstag: **16.12.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G01N 23/222**
G01N 23/09, G01V 5/00

(71) Anmelder:
Leonhardt, Jürgen, Prof., 10179 Berlin, DE

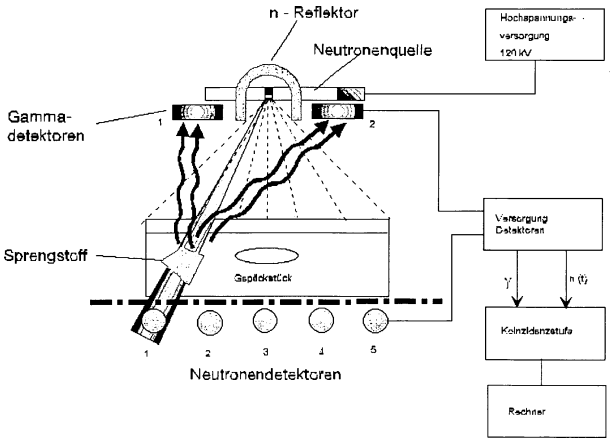
(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Nachweis von gefährlichen Gütern in Gepäckstücken**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung, die zum schnellen und zuverlässigen Auffinden und Identifizieren von gefährlichen Gütern wie Sprengstoffen, chemischen Kampfstoffen oder Narkotika in Gepäckstücken Anwendung finden können.
Dazu werden die zu untersuchenden Gepäckstücke mit schnellen Neutronen bestrahlt. Zur Auswertung erfolgt eine zeitaufgelöste Erfassung der entstehenden thermischen Neutronen sowie eine Entfaltung derer Abklingkurven und eine Registrierung der induzierten Gammastrahlung infolge inelastischer Streuung und Einfangstrahlung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung die zum schnellen und zuverlässigen Auffinden und Identifizieren von gefährlichen Gütern wie Sprengstoffen, chemischen Kampfstoffen oder Narkotika in Gepäckstücken Anwendung finden können.

Stand der Technik

[0002] Im allgemeinen Stand der Technik sind eine Vielzahl von Lösungen bekannt, die sich unter Verwendung kernphysikalischer Methoden z.B. schneller Neutronen, thermischer Neutronen, von γ-Strahlung sowie von abbildenden Systemem unter Einsatz von Röntgenstrahlung mit der Untersuchung von Gepäckstücken und Behältern auf Sprengstoffe, Drogen etc. beschäftigen.

[0003] Allen diesen Lösungen ist gemein, dass sie nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit schnelle und eindeutige Identifizierungen von Sprengstoffen/Drogen und anderen gefährlichen Gütern realisieren.

[0004] Angesichts wachsender Bedrohung durch terroristische Anschläge erlangt die berührungslose online-Messung von verborgenen Sprengstoffen, chemischen Kampfstoffen und biologischem Material in geschlossenen Containern zunehmende Bedeutung.

[0005] Die Anwendung von Neutronen für analytische Verfahren in Industrie, Landwirtschaft, Medizin und Forschung hat lange Tradition. Die Aktivierungsanalyse (NAA) ist weitgehend an stationäre Neutronenquellen wie Forschungsreaktoren und Neutronengeneratoren gebunden, die erforderlich hohe Flüsse aufweisen, um Elementgehalte im unteren Spurenbereich zu bestimmen. Der Einsatz mobiler Neutonenquellen in der geophysikalischen Bohrlocherkundung (Neutronencarrotage) bediente sich sowohl Isotopenneutronenquellen wie ^{252}Cf, $^{241}Am/Be$ (bis zu 10^6 Neutronen pro Sekunde) wie auch miniaturisierter Neutronengeneratoren, die unter Nutzung der D/T-Fusionsreaktion monoenergetische 14 MeV-Neutronen liefern und die Quellstärken bis zu einigen 10^8 n/s erreichen können.

[0006] Relativ einfache analytische Anordnungen werden im Bergbau zur online-Bestimmung von Metallgehalten in Erzen, Mg/Ca-Gehalten in Speise- oder Kalisalzen auf Förderbändern angewandt. In der Metallurgie gehören die Sauerstoffbestimmung in Aluminium oder die Siliziumbestimmung in Kohlen zu den analytischen Routinen.

[0007] Summeneffekte wie die Thermalisierung schneller Neutronen an vorzugsweise leichten Kernen wie Wasserstoff ermöglichen weitere Applikationen, wie die berührungslose Messung von Phasengrenzen zwischen Wasser und Benzin in Tanks, Wasser und Erdöl in Pipelines oder Aschegehalte in Öl.

[0008] Im Rahmen von Deminig-Projekten erlangte das Neutronenrückstreu-Verfahren beträchtliche Bedeutung für die Identifizierung von Sprengstoffen in Landminen. Das Problem der Minensuche mittels Metalldetektoren besteht in der hohen Alarmrate für falsch positive Alarme, ausgelöst durch Metallcluster im Boden. Dazu wurden mit gutem Erfolg Untersuchungen auf Übungsfeldern durchgeführt, die zeigten, dass Neutronenverfahren diese Falschalarmraten beträchtlich herabsenken. Ebenfalls ergab sich ein interessanter Zugang für eine verbesserte Identifizierung organischer Stoffe, wenn die Moderation schneller Neutronen zusammen mit der prompten Gammastrahlung erfasst werden kann, die im Ergebnis inelastischer Streuung und Einfang von Neutronen entsteht.

[0009] Die aktuellen Aspekte der Terrorismusbekämpfung erfordern die schnelle Identifizierung von Sprengstoffen (bis hinab zu 10g) in Containern (vakuumverpackt, Metall), die sich in Koffern/Taschen oder auch Transportcontainern befinden.

Aufgabenstellung

[0010] Es war also Aufgabe der Erfindung eine Lösung anzugeben, die schnell, eindeutig und zuverlässig die Aufspürung gefährlicher Güter in abgeschlossenen Behältnissen ermöglich, eine geringe Nachweisgrenze besitzt und die Anzahl der Fehlanzeigen durch Falscherkennungen minimiert.

[0011] Der Einsatz von Kernstrahlung ermöglicht die direkte Bestimmung solcher Substanzen und ihre weitgehende Identifizierung.

[0012] Für die Kontrolle von Gepäck und Transportcontainern wird deshalb ein System entwickelt, das aus folgenden Komponenten besteht:

(1) Neutronengenerator, miniaturisiert, für 14 MeV-Neutronen

(2) Hochspannungsgenerator, 120 kV, DC und gepulst

(3) Neutronendetektoren für thermalisierte Neutronen, BF_6 und ^3He

(4) Gammadetektoren, spektrometrisch

(5) Elektronikteil mit Versorgungen, Verstärkern, Koinzidenzstufen, Rechner, Anzeigen

[0013] Die Lösung besteht in der kombinierten Nutzung von Neutronenbremsung und induzierter Gammastrahlung:

(a) die zeitaufgelöste Erfassung der entstehenden thermischen Neutronen und Entfaltung deren Abklingkurven,

(b) die Korrelation der Gamma-Peaks für C, O, N

(über O), Cl, F und H in Folge inelastischer Streuung und Einfangsstrahlung und der Korrelation mit realen Objekten.

Ausführungsbeispiel

[0014] Es zeigen:

[0015] **Abb.** 1 Schnittansicht der Vorrichtung

[0016] **Abb.** 2 Draufsicht

[0017] **Abb.** 3.1 Zeitprofile der Neutronendetektoren **1** bis **5**

[0018] **Abb.** 3.2 γ-Spektren, zeitgleich

[0019] Zur Illustration der Zielstellung ist das Prinzip NEUTROSCAN schematisch in **Abb.** 1 im Schnitt und in **Abb.** 2 in der Draufsicht dargestellt.

[0020] Die 14 MeV-Neutronen wurden emittiert und mittels eines Reflektors auf den Koffer auf einem Transportband gerichtet. Im Sprengstoff erfolgt eine besondere Thermalisierung, die im Detektor **1** registriert wird.

[0021] Der im Koffer befindliche Sprengstoff bewirkt am Detektor **1** eine erhöhte Zählrate thermalisierter Neutronen, die auf die Möglichkeit vorhandenen Sprengstoffs (und/oder Drogen etc.) hinweist. Gelangen zur gleichen Zeit Gammaquanten, typisch für C, O und (N), auf die Gammadetektoren, ist der Sprengstoff identifiziert. Aus den Verhältnissen Wasserstoff zu Sauerstoff, Kohlenstoff zu Sauerstoff/Stickstoff ergibt sich der Sprengstofftyp. Treten Cl- und F-Linien auf, sind chemische Kampfstoffe im Spiel. Tritt Si auf, so lässt dies auf Glascontainer schließen.

[0022] Die Draufsicht auf die erfindungsgemäße Vorrichtung ist in **Abb.** 2 dargestellt.

[0023] Im Falle des Vorhandenseins von Sprengstoff ergeben sich die folgenden Bilder an den Detektoren:
Die Zeitprofile (**Abb.** 3.1) an der Neutronendetektoren **1–5** zeigen, welches typische Signal das Vorhandensein von Sprengstoff im Transportbehälter an der angegeben Stelle verursachen würde. Die zeitgleich aufgenommenen γ-Spektren (**Abb.** 3.2) werden mittels einer Koinzidenzvorrichtung in Relation zu den Neutronennachweiskurven gesetzt und ermöglichen so eine eindeutige Identifizierung der typischen Gefahrstoffe.

[0024] Das Erscheinen von C, O infolge ineleastischer Streuung belegt das Vorhandensein von Sprengstoff/Drogen.

[0025] Die Vorrichtung ist gekennzeichnet durch

eine schaltbare miniaturisierte Neutronenquelle mit einer Quellstärke von einigen 10^8 Neutronen pro Sekunde. Diese ermöglicht eine Flussdichte von 10^4 Neutronen/cm^2·s), bezogen auf einen Kofferquerschnitt von 1 m^2, die für die sichere Auffindung von Explosiva mit einer Masse von 10 g (TNT, RDX ...) notwendig ist.

– die Formierung eines gerichteten 14 MeV-Neutronenstrahls durch die Ergänzung der Neutronenquelle mit einem effektiven Reflektor, der eine annähernde 2π-Geometrie ermöglicht.
– eine Anordnung von Detektoren zur Erfassung thermalisierter Neutronen in Abhängigkeit von deren Abklingverhalten. Dazu wird ein Detektorarray bestehend aus ^{3}He- oder $^{10}BF_3$-Zählrohren genutzt. Zeigt einer oder mehrere dieser Detektoren eine anormal hohe Zahl thermalisierter Neutronen, so haben sie beim Kofferdurchgang eine hohe Wasserstoffkernkonzentration passiert.
– eine Anordnung von Gamma-detektoren, die den Nachweis induzierter Gammastrahlungen des Wasserstoffs, Kohlenstoffs, Sauerstoffs, Siliziums und Stickstoffes und anderer Elemente spektrometrisch ermöglicht.
– eine Steuerelektronik zur Datenfusion der von den Neutronen- und Gammadetektoren gelieferten Signale.
– eine Koinzidenzapparatur als Teil der Datenverarbeitung, die die zeitliche Zuordnung von n-Zeitspektren und Gammaspektren und damit die Sprengstoffidentifizierung ermöglicht.
– einen Vergleichrechner mit einer Bibliothek typischer „Fingerprints" von typischen Gepäckinhalten mit und ohne Sprengstoffen.
– Korrelationsmessungen an einem Funktionsmuster des NeutroScan mittels realer Gepäckstücke
– Gestaltung biologischer Abschirmeinheiten, die in Sandwichanordnung schnelle Neutronen bremsen und dann absorbieren.

[0026] Das Verfahren zeichnet sich durch die Bestandteile

Spektrometrie (Zeit, Energie)

[0027] Die Messanordnung zur Erfassung thermalisierter Neutronen soll zeitaufgelöste Spektren erbringen, die Informationen über den zurückgelegten Weg und die dabei passierten Materialien erbringen, wobei die zeitaufgelösten Kurven anhand typischer Muster entschlüsselt (geeicht, normiert) werden.

Koinzidenzstufe

[0028] Für die Erfassung zeitgleicher Ereignisse im Gamma- und Neutronenspektrum wird Koinzidenzstufe eingesetzt, die eine verbesserte Lokalisierung interessierender Substanzen ermöglichen.

Zeitabhängigkeit

[0029] Die Zeitabhängigkeiten thermalisierter Neutronen in Abhängigkeit verschiedener Standardanordnungen ermöglicht die Bestimmung von falsch positiv/negativen Alarmraten.

Entfaltung von Zerfallskurven

[0030] Die Entfaltung von Zerfallskurven thermalisierter Neutronen enthält in Abhängigkeit von der Ordnungszahl und der Dichte passierter Materialien Abweichungen von der idealen Zerfallsform im homogenen Medien. Diese werden nach Fouriertransformation bzw. Wafelet-Verfahren als charakteristische Informationen genutzt.

Datenfusion von Neutronenspektren und Gammadaten

[0031] Datenfusion von Neutronenspektren und Gammadaten wird die Aussage über verdeckte Sprengstoffe (hoher O-Gehalt!!) präzisieren. Darum werden Korrelationen mit Standardmaterialien durchgeführt.

[0032] Das Rechnersystem enthält in einer Programmbibliothek Informationen aus einem „Lern"-(Kalibrierungs)prozeß) in dem folgende Datenzusammenhänge, gewonnen aus Vergleichsmessungen mit realen Systemen, enthalten sind:

Funktion Signal = F (Geometrie und Inhalt von Koffern)

[0033] Korrelationsuntersuchungen wurden nach Ergebnissen der Datenfusion an realen Systemen wie Koffer, Taschen mit unterschiedlichen Inhalten durchgeführt. Die Funktion Signal = F (Geometrie und Inhalt von Koffern) wurde für eine große Zahl von Fällen bestimmt, die in einer Bibliothek abgelegt werden. Nach Bestimmung von möglichst vielen Beziehungen der Funktion Signal = F (Geometrie und Inhalt von Koffern) für reale Systeme erfolgt die Bestimmung der FP/FN-Raten des Systems.

[0034] Im Ergebnis der Korrelationsuntersuchungen wurde die Gestaltung einer Bibliothek mit typischen Mustern möglich, auf die ein schneller Zugriff im internen Rechner möglich ist. Ein Abgleich aktueller Spektren und in der Bibliothek abgelegter ist im Sekundentakt möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Nachweis von gefährlichen Gütern in Gepäckstücken, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus einer gepulsten Neutronenquelle 14 MeV-Neutronen auf das zu untersuchende Behältnis gerichtet eingestrahlt werden, dass sich unter einer Transportvorrichtung für die zu untersuchenden Behältnisse ein Array aus Neutronenzählrohren befindet, deren Signale bezüglich des zeitlichen Abklingverhaltens der thermalisierten Neutronen ausgewertet werden und Aussagen über das Vorhandensein von N-, O-, C-Atomen sowie weitere Elemente liefern, dass weiterhin Szintillatordetektoren für die induzierte γ-Strahlung vorhanden sind, deren Signale über eine Koinzidenzanordnung mit den Signalen des zeitlichen Abklingverhaltens der thermalisierten Neutronen verglichen und ausgewertet werden, wobei Aussagen über das Vorhandensein und des Mengenverhältnis von N, O, C, sowie weiterer Elemente, z.B. F, Cl gewonnen werden, die nach einer Auswertung über einen an realen Objekten kalibrierten Rechner Aussagen über die Anwesenheit und die Menge von Sprengstoffen, Drogen, Kampfstoffen zulassen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlung der gepulsten Neutronenquelle mittels zwischengefügten Moderatoren bezüglich der Energie variiert wird.

3. Vorrichtung zum Nachweis von gefährlichen Gütern in Gepäckstücken, dadurch gekennzeichnet, dass über einer Transportvorrichtung für die zu untersuchenden Behältnisse eine gepulste Neutronenquelle angeordnet ist, deren Neutronenstrom durch einen Neutronenreflektor auf die Behältnisse gerichtet wird, dass unter der Transportvorrichtung ein Array aus Neutronenzählrohren zum Nachweis des zeitlichen Abklingverhaltens der thermalisierten Neutronen angeordnet ist, dass weiterhin Gamma-Detektoren zum Nachweis der induzierten Gammastrahlung vorhanden sind, wobei die Auswertung des zeitlichen Abklingverhaltens der thermalisierten Neutronen und der induzierten Gammastrahlung über eine Koinzidenzanordnung und eine Rechneranordnung erfolgt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die bestrahlten Bereiche durch Sandwichstrukturen zum Schutz der Umgebung abgeschirmt sind.

5. Anordnung nach Anspruch 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Array aus Neutronenzählrohren durch BF_6-Zählrohre realisiert wird.

6. Anordnung nach Anspruch 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Array aus Neutronenzählrohren durch ^{3}He-Zählrohre realisiert wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

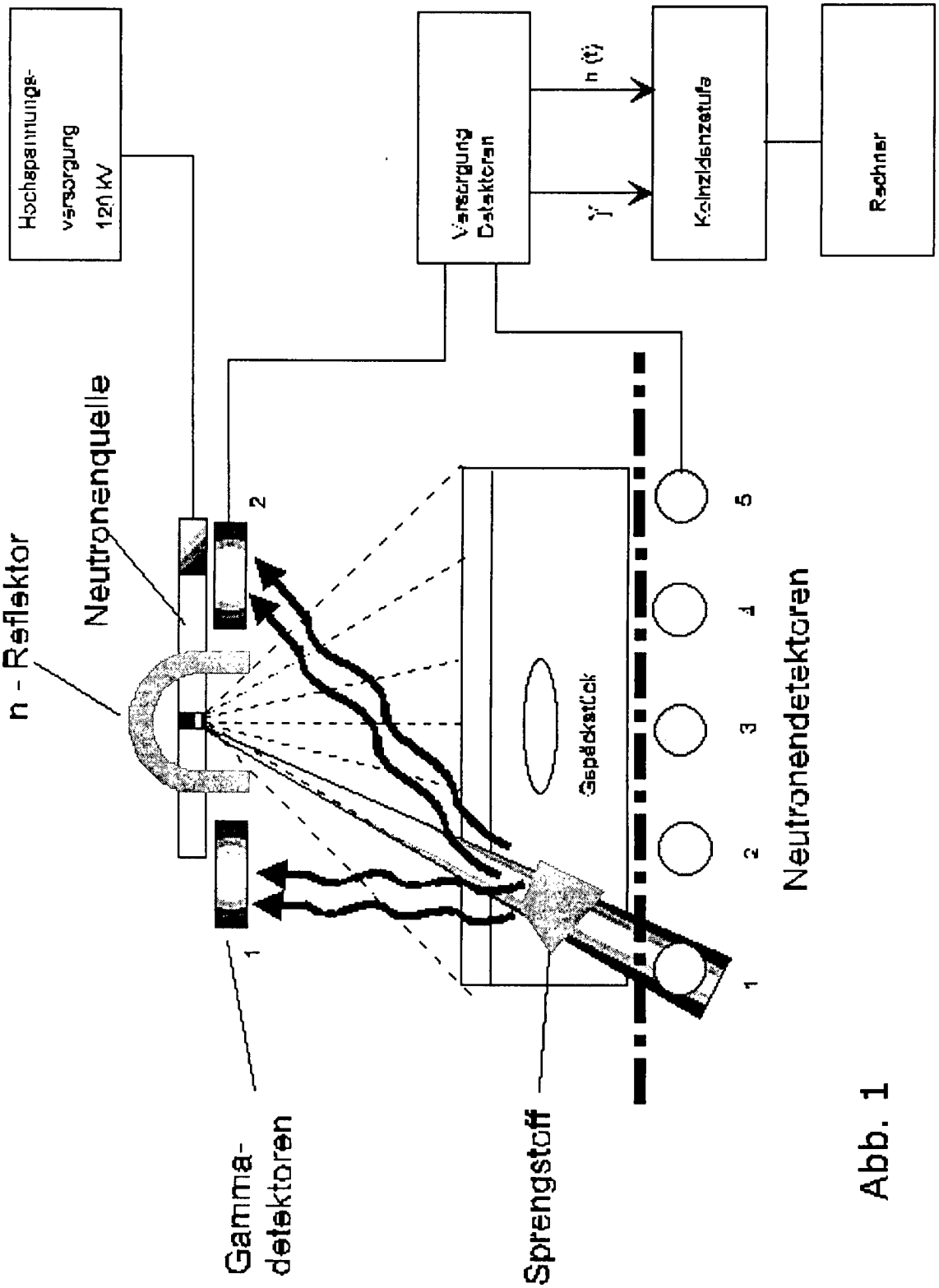


Abb. 1

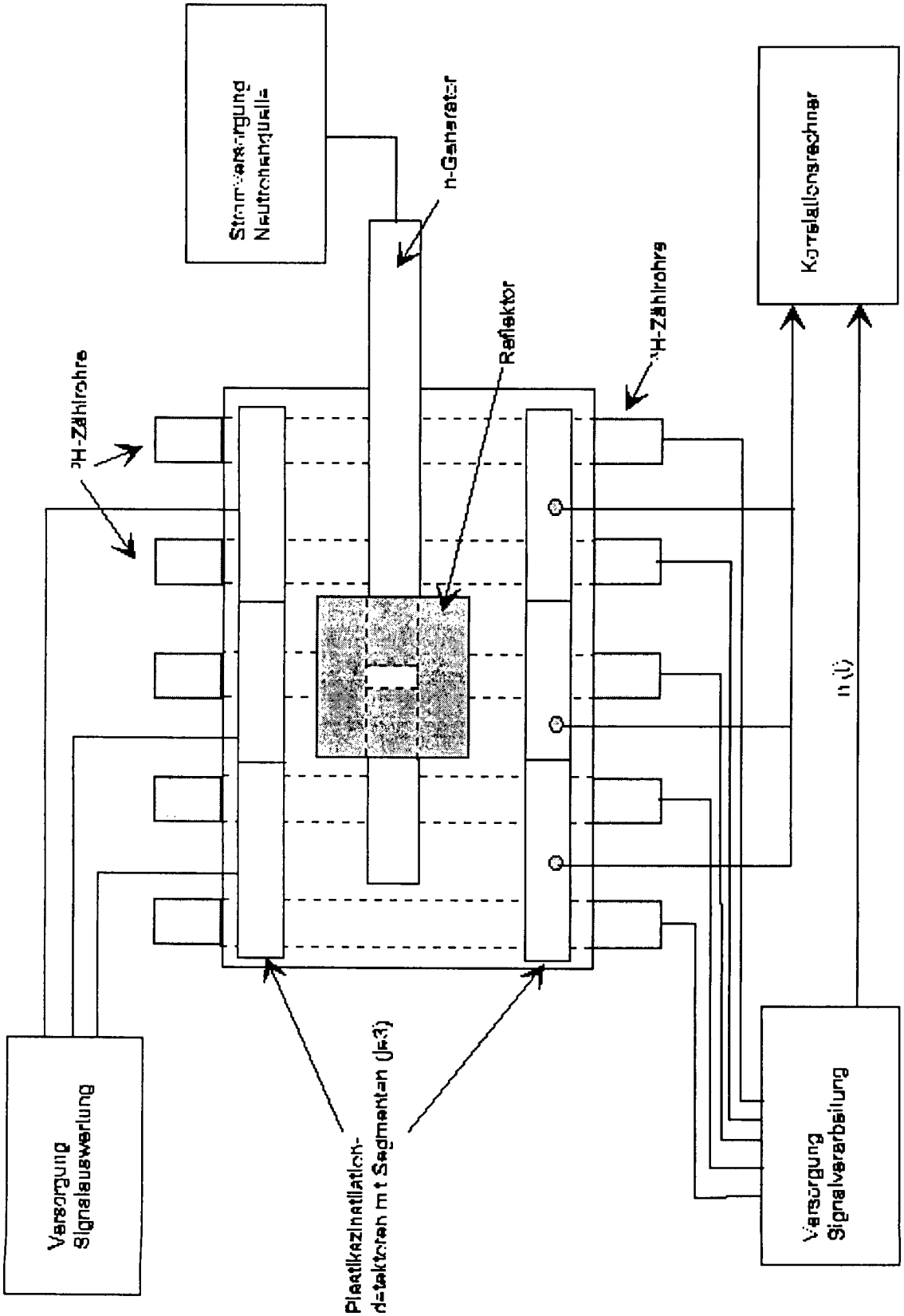

Reflektor
Versorgung Signalauswertung
Versorgung Signalverarbeitung

Abb.2

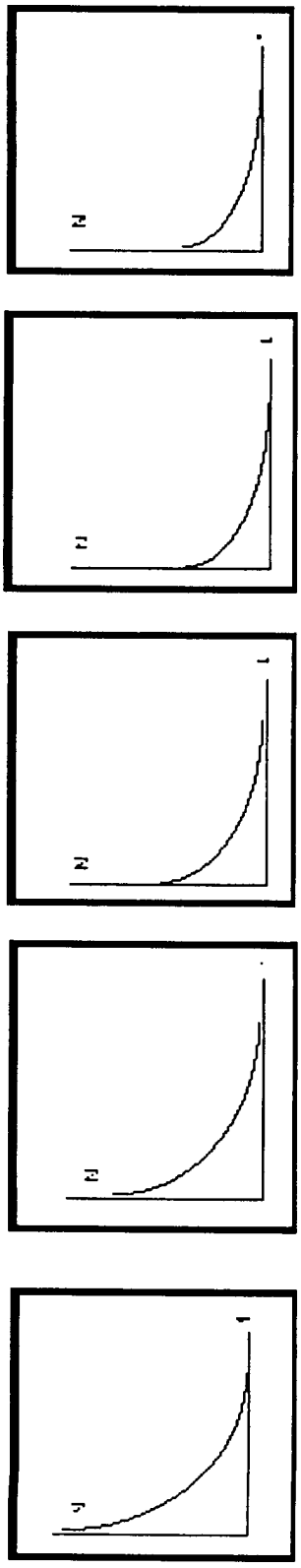


Abb. 3.1

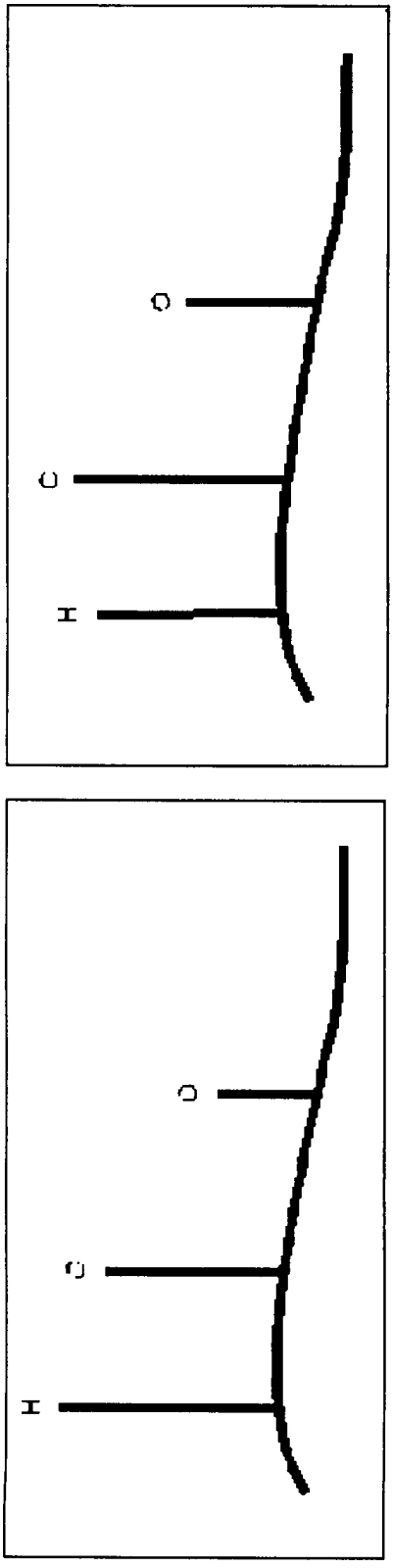


Abb. 3.2