



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2006 030 823 A1 2008.02.21

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2006 030 823.9

(22) Anmeldetag: 30.06.2006

(43) Offenlegungstag: 21.02.2008

(51) Int Cl.⁸: G01N 24/08 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Kaltschmidt, Horst, Prof. Dr.-Ing., 85579
 Neubiberg, DE**

(74) Vertreter:

**GEYER, FEHNER & PARTNER (G.b.R.), 80687
 München**

(72) Erfinder:

gleich Anmelder

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

**MORNEBURG, Heinz (Hrsg.): Bildgebende
 Systeme für**

die medizinische Diagnostik

3, wesentl. überarb. u. erw. Aufl., Erlangen, Publics

MCD, Verl. 1995. ISBN 3-89578-002-2;;

**CALLAGHAN, Paul T.: Principles of nuclear
 magnetic**

**resonance microscopy. 1. publ. as paperback with
 corrections. Oxford, Clarendon Press, 1993, (Oxford**

science publications). ISBN: 0-19-853944-4;;

**BENE, G.J.: Nuclear Magnetism of liquid systems
 in**

the earth field range. In: Phys. Rep. ISSN

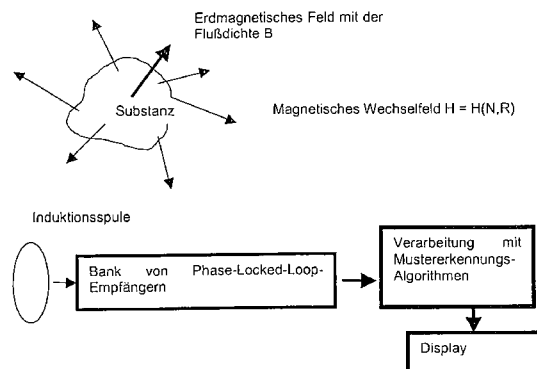
0370-1573, 1980, Vol. 58, No. 4, S. 213-267;;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(54) Bezeichnung: **Detektion von Substanzen**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Detektion einer Substanz mit mindestens einem chemischen Element ungerader Ordnungszahl beschrieben, wobei detektiert wird, ob die Substanz in einem bestimmten Volumen mit gegenüber der Umgebung erhöhter Konzentration vorkommt, wobei das Volumen einem magnetischen Gleichfeld bekannter Stärke B ausgesetzt wird, mit mindestens einer Induktionsspule elektrische Wechsignale detektiert werden, bei einem bestimmten Frequenzwert ein Amplitudenwert des Wechsignals ermittelt wird, wobei der Frequenzwert der Larmorfrequenz $f = B \cdot g$, mit g als gyromagnetisches Verhältnis des Elementes, ist und die Substanz als detektiert bezeichnet wird, wenn der Amplitudenwert über einem Schwellwert liegt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Detektion einer Substanz mit mindestens einem chemischen Element ungerader Ordnungszahl, wobei detektiert wird, ob die Substanz in einem bestimmten Volumen mit gegenüber der Umgebung erhöhter Konzentration vorkommt. Sie bezieht sich weiter auf eine Vorrichtung zur Detektion einer Substanz mit mindestens einem chemischen Element ungerader Ordnungszahl, wobei die Vorrichtung ein bestimmtes Volumen erfaßt und feststellt, ob die Substanz in dem Volumen mit gegen der Umgebung erhöhter Konzentration vorkommt.

[0002] Das hier skizzierte Verfahren verfolgt den Zweck Substanzen mit Elementen ungerader Ordnungszahl aus der Entfernung zu entdecken. Bekanntlich präzidieren Atomkerne mit einer ungeraden Ordnungszahl in einem äußeren Magnetfeld B mit der sogenannten Larmorfrequenz, die sich aus folgender Gleichung berechnet

$$f_L = B \cdot \gamma$$

wobei f_L die Larmorfrequenz und γ das gyromagnetische Verhältnis (Stoffkonstante) bezeichnen. In der Magnetresonanztomographie (MRT) wird dieser Effekt zur detaillierten Abbildung von Wasserstoffverteilungen im menschlichen Gewebe ausgenutzt, indem mittels sehr hoher, zeitlich variierender Magnetfelder synchrone Kernspinpräzessionsbewegungen angeregt und zeitlich ausgewertet werden. Dies erlaubt ein exaktes dreidimensionales Bild eines Körperteils. MRT-Systeme sind sehr aufwendig und teuer. Sie sind deshalb für Anwendungen, bei denen lediglich ermittelt werden soll, ob bestimmte Substanzen in einem Volumen in erhöhter Konzentration vorliegen, nicht geeignet.

[0003] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung sowie ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, so daß das Vorkommen einer oder mehrerer Substanzen in einem bestimmten Volumen einfach festgestellt werden kann.

[0004] Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren erfindungsgemäß gelöst, indem das Volumen einem magnetischen Gleichfeld bekannter Stärke B ausgesetzt wird, mit mindestens einer Induktionsspule elektrische Wechselsignale detektiert werden, bei einem bestimmten Frequenzwert ein Amplitudenwert des Wechselsignals ermittelt wird, wobei der Frequenzwert der Larmorfrequenz $f = B \cdot \gamma$, mit γ als gyromagnetisches Verhältnis des Elementes, ist, und die Substanz als detektiert bezeichnet wird, wenn der Amplitudenwert über einem Schwellwert liegt.

[0005] Bei einer Vorrichtung der genannten Art wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß eine zur Anordnung am Volumen ausgebildete Induktionsspule vorgesehen ist, wobei das Volumen einem magnetischen Gleichfeld der Stärke B ausgesetzt ist, daß die Induktionsspule mit einer Analyseschaltung zur Analyse eines von der Induktionsspule durch Abfühlen eines Wechselfeldes erzeugten Wechselsignals elektrisch verbunden ist, daß die Analyseschaltung eine Wahleinrichtung aufweist, die mindestens einen bei der Analyse eingehenden Frequenzwert vorgibt, wobei der Frequenzwert die Larmorfrequenz $f = B \cdot \gamma$, mit γ als gyromagnetisches Verhältnis des Elementes, ist, und daß die Analyseschaltung bei dem Frequenzwert einem Amplitudenwert des Wechselsignals ermittelt, prüft, ob der Amplitudenwert einen Schwellwert überschreitet, und bei Schwellwertüberschreitung die Substanz als detektiert meldet. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0006] Der Konzentrationsunterschied wird als wichtiger Merkmalsunterschied detektiert, indem magnetische Wechselfelder erfaßt werden, die durch den mit Larmorfrequenz präzidierenden Kernspin in der Substanz enthaltener chemischer Elemente wie Wasserstoff und Stickstoff entstehen. Ein zusätzlich detektierbares Merkmal ist das Phänomen, daß ein Atom in einer Molekülbindung gegenüber demjenigen ohne Molekülbindung eine geringfügige veränderte Larmorfrequenz aufweist, die man als Merkmal einer bestimmten Verbindung erfassen kann. Zur Auffindung der Amplitudenwerte bei den Larmorfrequenzen können aus der Nachrichtentheorie bekannte Mustererkennungsverfahren, wie Korrelations- und Matched-Filter-Detektion oder auch Phase-Locked-Loop-Verfahren angewendet werden.

[0007] Das hier vorgestellte Substanzdetektions-Verfahren unterscheidet sich wesentlich von der in der Medizin verwendeten Magnetresonanztomographie, da keine Strukturauflösung erreicht oder angestrebt wird. Deshalb genügt in einer sehr einfachen, ersten Version das vorhandene erdmagnetische Feld zur Erzeugung der Larmorfrequenzen. Auch wird in einfachen Varianten des Verfahrens keine Kernresonanz angeregt, die bei der MRT zur Erzeugung von synchronen Präzessionsbewegungen unverzichtbar ist. Vielmehr wird erfindungs-

gemäß ausgenutzt, daß die unterschiedlich positionierten Kerne zwar mit der gleichen Larmorfrequenz jedoch mit zufälligen Phasenlagen präzidieren. Entgegen weit verbreiteter Ansicht ist das resultierende Wechselfeld nicht Null, vielmehr ist der Effektivwert des resultierenden Wechselfeldes gleich der n-ten Wurzel der beteiligten n-Atome. Erfindungsgemäß wird deshalb der durch die ungeordnete Kernspinpräzession bestimmte, äußerst schmalbandige Rauschprozeß mit bekannter Mittenfrequenz detektiert.

[0008] Das hier vorgeschlagene Ferndetektions- und Ortungsverfahren für Substanzen, die Atome ungerader Ordnungszahlen enthalten (SFDO), verwendet in leistungsfähigeren Varianten eine Felderregungsspule, die ein inhomogenes Magnetfeld erzeugt, einer resonanzfelderzeugenden Spule (Sendespule), einer Empfangsspule und weiteren elektronischen Komponenten zur Steuerung und Auswertung. Für die Felderregungsspule sind alle Spulenformen geeignet, die in größerer Entfernung der Spule ein möglichst großes inhomogenes Magnetfeld erzeugen. Der Einsatz einer Felderregungsspule ermöglicht eine Ortsauflösung innerhalb der Spule. Selbstverständlich erzeugt jede Spule auch außerhalb ihrer Leitungsführung ein Magnetfeld, das für das beschriebene Verfahren genutzt werden kann. In einer Anwendung, in der die Detektion unerkannt bleiben soll, wäre es von Vorteil, eine verdeckte Spule etwa in einem mit einer Plane abgedeckten Lastwagen mitzuführen und nur ihr Außenfeld zu benutzen. Die Verwendung des Außenfeldes einer Spule ist also erfindungsgemäß ebenfalls möglich und erfolgt nach dem hier beschriebenen Prinzipien.

[0009] Nachfolgend wird die Erfindung beispielshalber anhand der Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen zeigt:

[0010] Fig. 1 ein einfaches Blockschaltbild für eine erste Version der erfindungsgemäßen Substanzdetektion,

[0011] Fig. 2 ein Blockschaltbild für eine zweite Version einer erfindungsgemäßen Substanzdetektion,

[0012] Fig. 3 ein Blockschaltbild für eine dritte Version der Substanzdetektion und

[0013] Fig. 4 ein Blockschaltbild mit weiteren Details der dritten Version.

[0014] Nachfolgend wird ein einfaches erstes Substanzdetektionsverfahren anhand des Blockschaltbildes der Fig. 1, die eine entsprechende Vorrichtung zeigt, beschrieben. Die in Fig. 1 gezeigte, zu detektierende Substanz sei verdeckt, z.B. durch Gebüsch, Laub, Erde, Mauern oder dergleichen. Aufgrund des schwachen erdmagnetischen Feldes präzidieren die Wasserstoff- und Stickstoffkerne der Substanz ungeordnet, solange nicht zusätzliche magnetische Wechselfelder mit der Larmorfrequenz einwirken. Das erdmagnetische Feld beträgt ca. 0,5 Gaus, also 0,00005 Tesla. Die Larmorfrequenz der Wasserstoffatome beträgt dann ca. 2,1 kHz. Diese Wechselfelder mit der Larmorfrequenz induzieren in einer Induktionsspule sinusförmige Wechselspannungen mit Frequenzen, die gleich den zugehörigen Larmorfrequenzen sind, und Amplituden, deren Wert von der Menge und der Entfernung der zu detektierenden Substanz abhängen. Das bestimmte Volumen ist also durch Detektionsschwellen als Menge der Substanz und der Größe der Spule beeinflusst. Eine Ortsauflösung im Volumen ist nicht möglich.

[0015] Die Wechselspannungen in der Induktionsspule werden von einer Bank von Phase-Locked-Loop-Empfängern abgefühlt, die auf die zu erwartenden Larmorfrequenzen (Wasserstoff, Stickstoff, molekülbedingte Frequenzen) abgestimmt/abstimmbare sind. Optional kann die Analyse bei einer Frequenz genügen. Auf diese Weise gelingt es, kleinste Amplitudenunterschiede, die sich zwischen den beiden Fällen „Substanz vorhanden/Substanz nicht vorhanden“ ergeben, zu detektieren. Hierzu kann ein Schwellwertwächter nachgeschaltet sein. Die Amplitudeninformationen bilden ein Muster, sie werden einem Mustererkennungsprozeß, der ein Steuergerät ausführt, zugeführt. Dort wird das aktuelle Muster mit Referenzmustern, die für bestimmte Substanzen spezifisch sind, verglichen. Die Substanz kann ein Sprengstoff sein. Es wird der Übereinstimmungsgrad ermittelt und bei Überschreiten einer vorgegebenen Schwelle wird Substanzalarm gegeben. Wie bei allen Detektionsverfahren unterliegt man bei Schwellwertentscheidungen den Fehlern „falsch positiv/falsch negativ“ (Falschalarm/Erkennungsverlustrate).

[0016] Das oben beschriebene Basiskonzept kann durch Anregungen der Wasserstoff- und Stickstoffkerne zur Kernresonanz hinsichtlich seiner Detektionsgrenzen verfeinert werden, wie Fig. 2 zeigt. Die Kernresonanzanregung erfolgt mit einer zusätzlichen, zur Empfangsspule um 90 Grad gedrehten Anregungsspule. Dabei kann gleichzeitig angeregt und empfangen werden, wobei die oben beschriebenen Empfangs- und Verarbeitungsprozesse gleichermaßen durchgeführt werden. Eine Ortsauflösung innerhalb des bestimmten Volumens ist weiterhin nicht vorgesehen.

[0017] In einem dritten Verfahren wird von der Tatsache Gebrauch gemacht, daß in Kernresonanz befindliche Kerne nach Abschalten einer Kernresonanz anregenden Quelle erst langsam wieder in Unordnung geraten. Man spricht hier von der T1-Relaxationszeit, die im Bereich Zehntelsekunden bis Sekunden liegen kann. Ein nachfolgend beschriebenes Verfahren/Gerät arbeitet deshalb mit folgenden Schritten: Zunächst werden für eine Zeit (im Sekunden-Bereich) Kernresonanzen mit den Larmorfrequenzen für Stickstoff und Wasserstoff (ggf. auch mit durch spezielle Molekülbindungen gegebenen zusätzlichen Frequenzen) durch Anlegen entsprechender sinusförmigen Spannungen an eine Anregungs- oder an die geeignet umgeschaltete Empfangsspule angeregt. Nach Abschalten der Anregungssignale wird ohne Zeitverzug die Empfangsspule abgefühlt. Es erfolgt dann der Empfangs- und Verarbeitungsprozeß wie für die erste Variante beschriebenen. Selbstverständlich können Referenzmuster speziell für diese Variante ermittelt und angewendet werden. Auch hier dient die Detektion nicht zur Strukturauflösung.

[0018] Eine vierte Version erweitert das Detektionsprinzip um eine Felderregungsspule, die das zu untersuchende Gebiet umgibt, (vgl. [Fig. 3](#)). Diese nachfolgend auch als Riesenfeldspule bezeichnete Felderregungsspule wird um das zu untersuchende Gebiet bzw. Volumen gelegt, z.B. um einen Häuserblock entlang den umgebenden Straßen. Sie erzeugt im Inneren ein inhomogenes magnetisches Gleichfeld, dessen ortsabhängige Feldstärke B berechenbar ist. Es ist also $B(x,y)$ bekannt. Dadurch ist auch für jeden Ort die für die gesuchten Elemente, z.B. Wasserstoff und Stickstoff, zu erwartende Larmorfrequenz anders. Auf der Basis dieser Informationen sucht das Detektionsgerät nach erhöhten Amplituden in den Wechselfspannungen, die die Empfangsspule abgibt. Die örtlich variierenden Larmorfrequenzen werden dabei berücksichtigt. Somit ist nicht nur die Aufgabe der Substanzdetektion gelöst, sondern darüber hinaus ist auch noch der Ort der Substanz in einem vorgegebenen Areal zumindest grob festzustellen. Eine Strukturauflösung erfolgt wiederum aber ebenfalls nicht, da die Auflösung deutlich geringer ist als die Induktionsspulenabmessung.

[0019] [Fig. 4](#) zeigt die vierte Version genauer. Ein Steuerrechner weist Eingabemittel für die Koordinaten (x, y, z) des Untersuchungsvolumens auf. Natürlich können die hier erwähnten Steuereinheiten auch alle in einem Gerät realisierbar sein. Er errechnet dann unter Zugrundelegung eines Standardwertes für den Strom/in der Felderregungsspule die ortsabhängige magnetische Feldstärke $B(x_s, y_s, z_s)$ im Volumen und daraus die sich ortsabhängig einstellende Larmorfrequenz f_L und vergleicht diese mit zuvor ermittelten Störfrequenzen (z.B. 50 AC-Brumm). Durch Verändern der Spulenbestromung wird die Larmorfrequenz so eingestellt, daß sie nicht mit einer Störfrequenz zusammenfällt oder sogar optimal zwischen 2 gegebenenfalls vorhandenen Störfrequenzen zu liegen kommt. Nun wird die sinusförmige Wechselfspannung eines die Resonanzspule speisenden Sinusgenerators auf diese Larmorfrequenz eingestellt und der Resonanzfeldspule zugeführt. Ein Sende-Empfangsintervallgeber bewirkt vorzugsweise die Entkopplung von Sende- und Empfangssignal, indem während des Sendens der Empfangsverstärker von der Empfangsspule abgekoppelt ist. Danach wird das Sendesignal abgeschaltet und der Empfangsverstärker an die Empfangsspule geschaltet. Dabei wird von der Eigenschaft präzidierender Kernspins Nutzen gezogen, daß die Richtung der Kernspins während der Relaxationszeit, die im Sekundenbereich liegt, nahezu konstant bleibt.

[0020] Senden und Empfangen erfolgen also günstigerweise intermittierend. Alternativ ist eine orthogonale Ausrichtung der Felder möglich. Das abgetastete Empfangssignal u_E wird in einem Kreuzkorrelator mit dem Sendesignal u_S kreuzkorreliert. In einem nachgeschalteten Spitzenwertdetektor wird der Maximalwert der Kreuzkorrelationsfunktion Ψ_{\max} ermittelt und einem Auswerterechner übergeben, der den maximalwert dem Ort oder Ortsbereich zuordnet, welcher durch die Frequenzwahl festgelegt ist. Nach gleicher Prozedur werden weitere Werte ermittelt und so das Volumen in der Spule abgetastet. An demjenigen Raumpunkt mit den Koordinaten (x_s, y_s, z_s) , an der Ψ_{\max} maximal ist, befindet sich die zu detektierende Substanz. Schließlich kann weiterführend die Menge der Substanz auf nachfolgend beschriebene Weise abgeschätzt werden.

[0021] Die beschriebene Anordnung (vgl. Bild 4) kann auch zur Überwachung eines Eintrags oder Transportes einer gesuchten Substanz und in einen Raum oder in ein Areal (z.B. Straße) eingesetzt werden. Es sind mehrere Vorgehensweisen, die sich alle am oben beschriebenen Ansatz orientieren, möglich. Nachfolgend ist ein Beispiel angegeben:

Gegebenenfalls unter Berücksichtigung einer vorangegangenen Störfrequenzanalyse wird eine geeignete Larmorfrequenz festgelegt. Im Steuerrechner wird ausgehend von der Spulenbestromung zunächst die zugehörige magnetische Feldstärke B und die dazu gehörenden Raumpunkte ermittelt, an denen diese Feldstärke vorliegt. Diese Raumpunkte bilden einen „Überwachungsschlauch“ innerhalb des Felderregungsareals. Nun wird im intermittierenden Betrieb gesendet und empfangen und festgestellt, ob die empfangene Amplitude aus der Empfangsspule einen Schwellwert übersteigt. In dem Moment, in dem der Schwellwert überstiegen wird, wurde die gesuchte Substanz in den „Überwachungsschlauch“ eingebracht.

[0022] Die spezielle Auslegung des Systems hängt von der Größe des Untersuchungsvolumen V_U ab, in dem eine bestimmte Masse

$$M_s = \frac{G_s}{g}$$

der aufzuspürenden Substanz deponiert ist (G_s Gewicht der zu detektierenden Substanz, $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$). Im Untersuchungsvolumen wird der Feldverlauf $B(x, y, z)$ berechnet oder experimentell ermittelt. Dann erhält man für jeden Raumpunkt (x, y, z) eine Larmorfrequenz

$$f_L(x, y, z) = \gamma_s \cdot B(x, y, z)$$

[0023] D.h. zu jeder Larmorfrequenz gehört ein bestimmter Raumpunkt. Falls das Erregungsfeld der Riesenspule von den Rändern der Erregungsspule monoton bis zur Mitte bis zu einem Feldminimum abnimmt, ist die Zuordnung von magnetischer Feldstärke und Koordinaten im Feldminimum eindeutig. Um dieses Feldminimum herum liegen schlauchartige Teilräume/der obige „Überwachungsschlauch“, in denen überall die gleiche magnetische Feldstärke und damit Larmorfrequenz vorliegt. Sind diese Teilräume größer als das zulässige Untersuchungsvolumen, so wird – wie aus dem MRT – Verfahren bekannt – ein Phasenkodierungsverfahren zur Diskriminierung einzelner Raumpunkte angewendet. Das Phasenkodierungsverfahren macht von der Tatsache Gebrauch, daß präzidierende Atomkerne, die ein und demselben Erregerfeld ausgesetzt sind, mit unterschiedlicher Phase präzidieren, je nachdem wie weit sie von der Resonanzregerspule und der Empfangsspule entfernt sind. Größe und Ort des Untersuchungsvolumen wird also mit Hilfe des ausgewerteten Larmorfrequenz-Intervalls festgelegt und – wenn notwendig – durch das Phasenintervall näher eingegrenzt.

[0024] Mit der Festlegung eines Untersuchungsvolumens

$$V_U(x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z)$$

ist auch der zu untersuchende Larmorfrequenz-Bereich

$$f_L + \Delta f_L = \gamma_s \cdot B(x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z)$$

festgelegt bzw. vice versa.

[0025] Als quantitative Aussage über das Untersuchungsvolumen V_U erhielt der Erfinder folgenden Zusammenhang:

$$\frac{V_U}{\text{Liter}} = 3,7 \cdot \frac{G_s}{G_{s,mol}} \cdot N \quad (9),$$

mit $G_{s,mol}$ Molgewicht der zu detektierenden Substanz, N Anzahl der Stickstoffatome in der zu detektierenden Substanz.

[0026] Für das System der [Fig. 4](#) mit Hilfe der oben angegebenen physikalischen Zusammenhänge hängt die Reichweite also ab vom zu detektierenden Mindestgewicht G_s der Substanz, der Auslegung der Empfangsspule (Windungszahl w , Spulenfläche A , Widerstand R_E , Temperatur des Spulenleiters T_U) und den Empfangsverstärkereigenschaften (Bandbreite Δf_L ; Eigenrauschen, charakterisiert durch die Rauschtemperatur T_V). Die in der Empfangsspule induzierte Wechselspannung U erweist sich als Funktion des Gewichts G_s der zu detektierenden Substanz und der Anzahl N spintragender Atome (mit derselben ungeraden Ordnungszahl) in einem Molekül der zu detektierenden Substanz und der Entfernung zwischen der zu detektierenden Substanz und der Empfangsspule:

$$U = \frac{1}{2} w \cdot A \cdot \mu_0 \frac{1}{R^3} \frac{G_s}{G_{s,mol}} N \cdot L \cdot \mu_p \cdot f_L,$$

mit dem magnetischem Moment $\mu_p = 1,4 \cdot 10^{-26} \frac{\text{J}}{\text{T}} = 1,4 \cdot 10^{-26} \text{ Am}^2$ eines Protons, der bekannten physikalischen Konstante μ_0 und $L = 6,03 \cdot 10^{23}$. Innerhalb der Reichweite R muß die in der Empfangsspule induzierte Wechselspannung signifikant (mind. Faktor 3) größer sein als der Effektivwert der Rauschspannung U_{rauschen} der Empfangsspule und des nachfolgenden Meßverstärkers im zu untersuchenden Frequenzband Δf_L .

[0027] Also gilt für eine Empfangsspule mit Wirkwiderstand $R_E = \rho_{\text{Leiter}} \frac{L}{q}$ (L Leiterlänge, q Leiterquerschnitt, ρ spezifischer Widerstand, T_L Leitertemperatur) und einem Meßverstärker mit Rauschtemperatur T_V und Bandbreite Δf_L

$$R \leq \sqrt[3]{\frac{w \cdot A \cdot \mu_0 \cdot G_S \cdot N \cdot L \cdot \mu_P \cdot f_L}{6 \cdot G_{S,\text{mol}} \cdot \sqrt{k \cdot R_{\text{Spule}} \cdot \Delta f_L \cdot (4 \cdot T_L + T_V)}}},$$

wobei

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{W_S}{K}$$

ist. Dabei ist es hier vorteilhaft, die Bandbreite Δf_L gemäß der Korrelationszeit

$$\tau = \frac{1}{\Delta f_L}$$

einzustellen.

[0028] Bei TNT als zu detektierenden Substanz gilt $N = 3$ und $G_{S,\text{mol}} = 227$ gr.

[0029] Verwendet man einen geraden Leiter, der einen Strom $I = 1000$ A führt, erhält man in 10 m Abstand ein Untersuchungsvolumen von $V_U = 11,1$ l, also ein Würfel mit einer Kantenlänge von $\Delta x_S = 0,22$ m für die Detektion von 1 Mol. Die an der Kante sich einstellende Larmorfrequenz ist $f_L(x_S = 10,22 \text{ m}) = 106$ Hz.

[0030] Mit einer Bandbreite von $\Delta f_L = 2$ Hz und einer Rauschtemperatur $T_V = 1000$ K, die für einen nicht besonders rauschfreien Verstärker leicht zu realisieren ist, einer kreisförmigen Empfangsspule mit einem Durchmesser von einem Meter ($A = 0,79 \text{ m}^2$, Kupferleiter mit einem Querschnitt $q = 0,1 \text{ mm}^2$ und Windungszahl $w = 1000$) ergibt sich bei Raumtemperatur dann eine Detektionsreichweite von

$$R \leq \sqrt[3]{\frac{1000 \cdot 0,79 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 6,03 \cdot 10^{23} \cdot 1,41 \cdot 10^{-26} \cdot 104}{6 \cdot \sqrt{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 534 \cdot 2 \cdot (4 \cdot 300 + 1000)}}} = 42 \text{ m}.$$

[0031] Steigerungen der Reichweite sind durch Optimierung der Empfangsspule und des Meßverstärkers sowie der Felderregungsanordnung und des Untersuchungsvolumens mit der daraus resultierenden Bandbreite möglich.

[0032] Dem vorgelegten Erfindungsgedanken zufolge ist jede beliebige Spulenform, die im Untersuchungsbereich ein berechenbares Magnetfeld erzeugt, geeignet. Mit Hilfe des Biot-Savart'schen Gesetzes ist bei bekanntem geometrischen Verlauf der stromführenden Leiter für jeden beliebigen Raumpunkt das zugehörige Magnetfeld berechenbar.

[0033] Bei den hier vorgestellten Berechnungen wurde zur Vereinfachung nur ein gerader Abschnitt der Spule betrachtet und das Untersuchungsvolumen in der Nähe dieses Abschnittes gelegt, so daß die Beiträge weiterer entfernter liegender Stromleitungen vernachlässigt werden können.

[0034] Numerische Methoden zur Berechnung des Magnetfeldes, das durch beliebig geführte stromdurchflossene Leiter erzeugt wird, sind dem Fachmann bekannt und können hier mit Vorteil Anwendung finden.

[0035] Aus Gründen des einfachen Transportes und der Auslegbarkeiten der Riesenfeldspule ist diese vorzugsweise als Spulenstrang, der aus einem Bündel vieler hintereinander geschalteten flexiblen Drähten besteht und auf einer Trommel aufgewickelt ist, ausgebildet. Der Spulenstrang ist zweckmäßigerweise an seinen Enden mit einem geeigneten Vielfachstecker versehen. Im Anwendungsfall wird der Spulenstrang von der Transporttrommel abgewickelt und um das zu untersuchende Areal gelegt und vermöge des Vielfachsteckers zu einer Spule zusammengeschlossen.

[0036] In bestimmten Stör-Situationen kann es Vorteile bringen, wenn man dem Gleichstrom in der Riesenfeldspule einen kleinen, evtl. sinus-förmigen Wechselstrom überlagert. Dann geben die mit den Larmor-Frequenzen präzidierenden Kerne frequenzmodulierte Signale ab, die mit bekannten rauschbefreienden Fre-

quenzdemodulationsverfahren detektiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion einer Substanz mit mindestens einem chemischen Element ungerader Ordnungszahl, wobei detektiert wird, ob die Substanz in einem bestimmten Volumen mit gegenüber der Umgebung erhöhter Konzentration vorkommt, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Volumen einem magnetischen Gleichfeld bekannter Stärke B ausgesetzt wird, mit mindestens einer Induktionsspule elektrische Wechselsignale detektiert werden, bei einem bestimmten Frequenzwert ein Amplitudenwert des Wechselsignals ermittelt wird, wobei der Frequenzwert der Larmorfrequenz $f = B \cdot \gamma$, mit γ als gyromagnetisches Verhältnis des Elementes, ist, und die Substanz als detektiert bezeichnet wird, wenn der Amplitudenwert über einem Schwellwert liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für mehrere Frequenzwerte je ein Amplitudenwert ermittelt wird und die Substanz als detektiert bezeichnet wird, wenn die zu den Frequenzwerten gewonnenen Amplitudenwerte ein bestimmtes Muster zeigen.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Gleichfeld das Erdmagnetfeld verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein örtlich inhomogenes Gleichfeld verwendet und die Inhomogenität bei der Frequenzwertwahl berücksichtigt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Volumen mit einer das Gleichfeld erzeugenden Spule umgeben wird.

6. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zum Gleichfeld ein elektro-magnetisches Wechselfeld mit der bestimmten Frequenz in das Volumen eingestrahlt wird, um Kernresonanzen in der Substanz anzuregen, wobei entweder durch Wahl getrennter Zeitfenster für Einstrahlung und Detektion oder durch orthogonale Ausrichtung von eingestrahlttem Wechselfeld und Wirkungsrichtung der Induktionsspule die Einstrahlung und die Detektion entkoppelt werden.

7. Verfahren nach den Ansprüchen 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die innerhalb der Spule erzeugte Inhomogenität des Gleichfeldes und die dadurch bedingten Larmor-Frequenzen als Funktion des Ortes berechnet wird und die bestimmte Resonanz-Frequenz des Wechselfeldes auf eine der Larmor-Frequenzen eingestellt, und dadurch eine ortsauflösende Detektion innerhalb des Volumens bewerkstelligt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die bestimmte Resonanz-Frequenz zum zumindest teilweisen Abtasten des Volumens verändert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Wahl der bestimmten Resonanz-Frequenz ein Teilvolumen ausgewählt wird und detektiert wird, ob dorthin die zu detektierende Substanz verbracht wird.

10. Vorrichtung zur Detektion einer Substanz mit mindestens einem chemischen Element ungerader Ordnungszahl, wobei die Vorrichtung ein bestimmtes Volumen erfaßt und feststellt, ob die Substanz in dem Volumen mit gegen der Umgebung erhöhter Konzentration vorkommt, dadurch gekennzeichnet, daß eine zur Anordnung am Volumen ausgebildete Induktionsspule vorgesehen ist, wobei das Volumen einem magnetischen Gleichfeld der Stärke B ausgesetzt ist, das die Induktionsspule mit einer Analyseschaltung zur Analyse eines von der Induktionsspule durch Abfühlen eines Wechselfeldes erzeugten Wechselsignals elektrisch verbunden ist, daß die Analyseschaltung eine Wahleinrichtung aufweist, die mindestens einen bei der Analyse eingehenden Frequenzwert vorgibt, wobei der Frequenzwert die Larmorfrequenz $f = B \cdot \gamma$, mit γ als gyromagnetisches Verhältnis des Elementes, ist, und daß die Analyseschaltung bei dem Frequenzwert einem Amplitudenwert des Wechselsignals ermittelt, prüft, ob der Amplitudenwert einen Schwellwert überschreitet, und bei Schwellwertüberschreitung die Substanz als detektiert meldet.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Wahleinrichtung mehrere von der Analyseschaltung berücksichtigte Frequenzen vorgibt und daß die Analyseschaltung die Substanz als detektiert meldet, wenn die zu den Frequenzen gewonnenen Amplitudenwerte ein bestimmtes Muster zeigen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Erzeugung eines magnetischen Gleichfeldes in Form einer das Volumen umgebenden Spule.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet durch Mittel zum kurzzeitigen Einstrahlen eines elektro-magnetischen Wechselfeldes zusätzlich zum Gleichfeld mit einer bestimmten Resonanz-Frequenz in das bestimmte Volumen, um Kernresonanzen des Elementes anzuregen, wobei entweder durch Wahl getrennter Zeitfenster für Einstrahlung und Detektion oder durch orthogonale Ausrichtung von eingestrahltm Wechselfeld und Wirkungsrichtung der Induktionsspule die Einstrahlung und die Detektion entkoppelt werden.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß ein Steuerrechner vorgesehen ist, der die innerhalb der Spule bewirkte Inhomogenität des Gleichfeldes und die dadurch bedingten Larmorfrequenzen berechnet und die bestimmte Resonanzfrequenz auf eine der Larmorfrequenzen einstellt und so eine orts-auflösende Detektion innerhalb des Volumens bewirkt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Steuerrechner die bestimmte Resonanzfrequenz zum Abtasten des Volumens verstellt.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktionsspule mit einer Bank von Phase-Locked-Loop-Empfängern verbunden ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung vorgesehen ist, die die Stärke des magnetischen Gleichfeldes im Bereich der Induktionsspule ermittelt und der Wahleinrichtung zur Berücksichtigung bei der Vorgabe des Frequenzwertes zuführt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

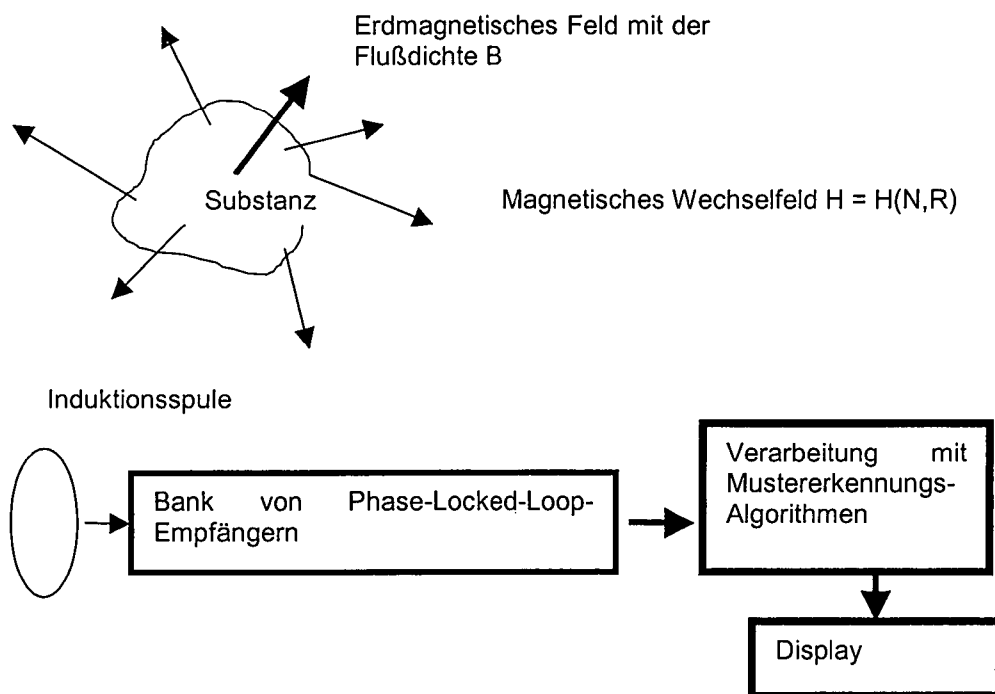


Fig. 1

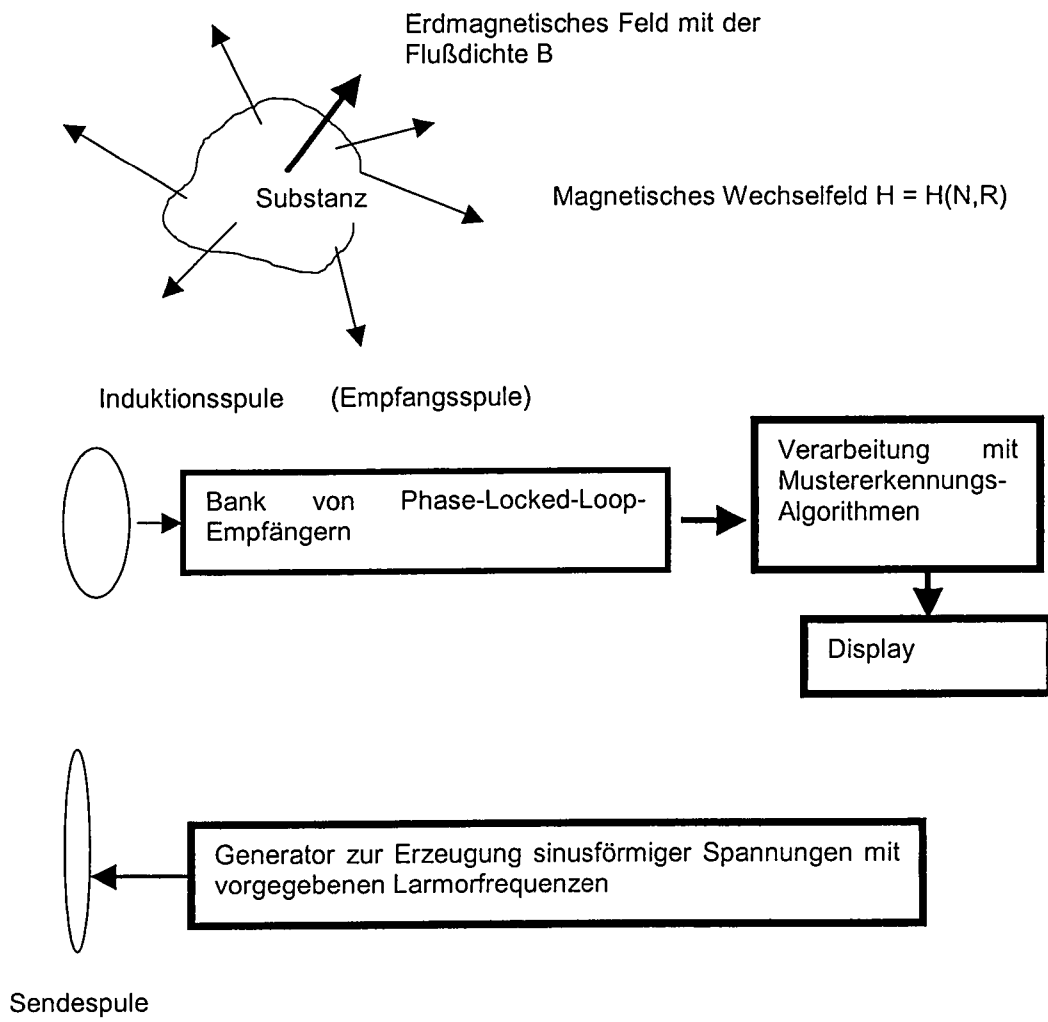


Fig. 2

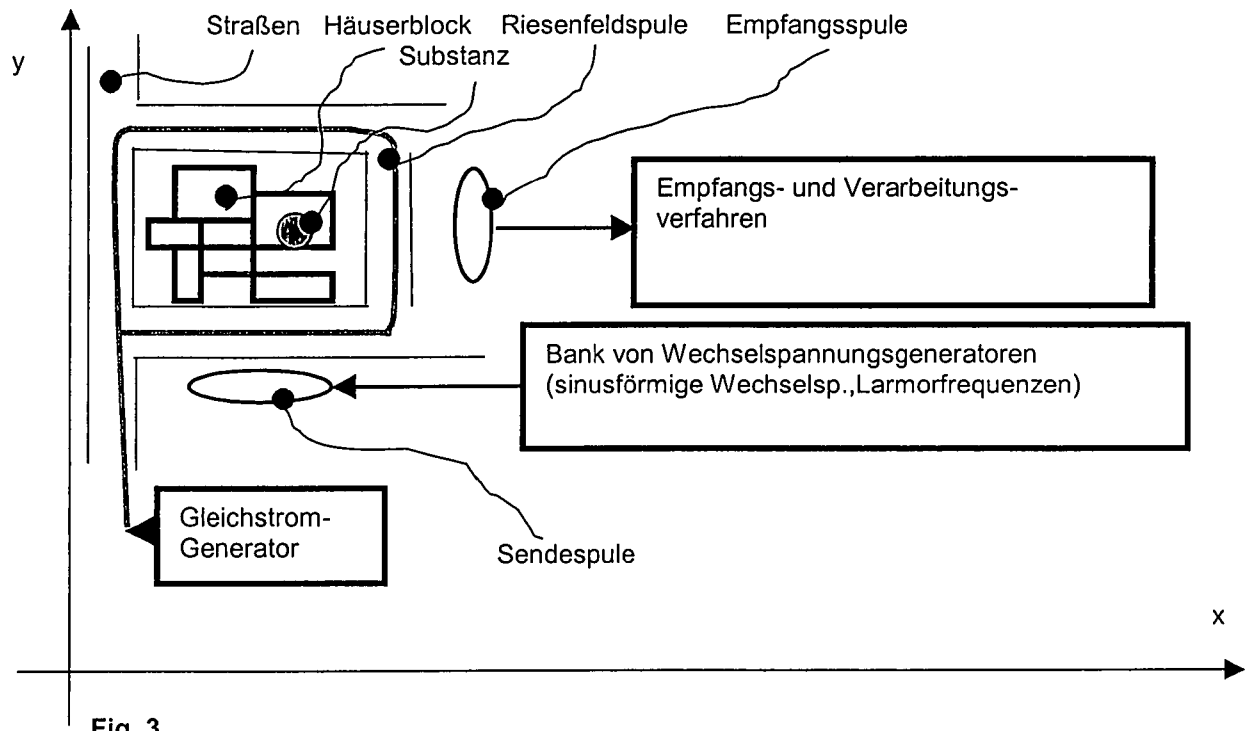


Fig. 3

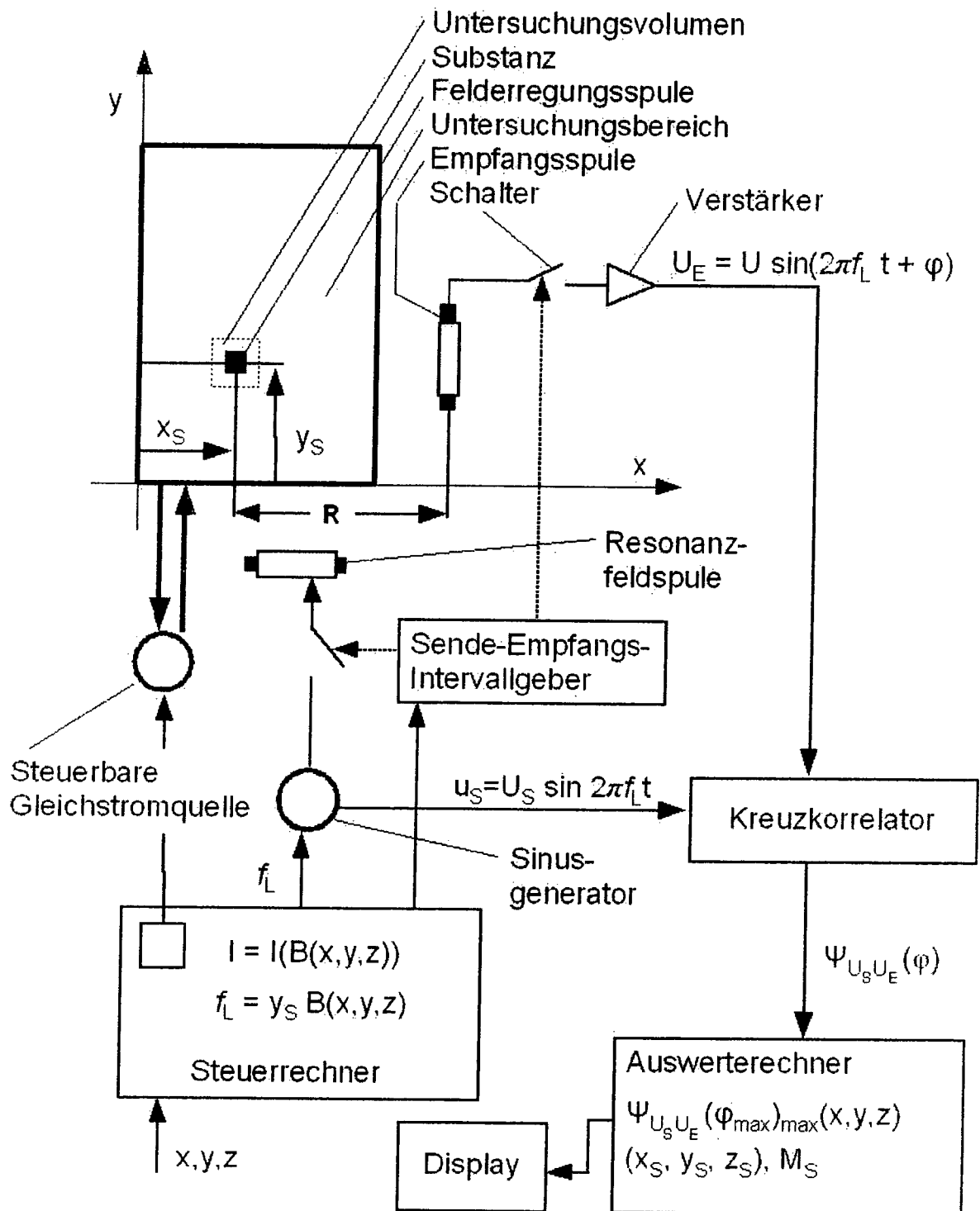


Fig. 4