



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

(10) **DE 10 2006 059 623 B3 2008.07.24**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 059 623.4**  
 (22) Anmeldetag: **14.12.2006**  
 (43) Offenlegungstag: –  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **24.07.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01S 5/02 (2006.01)**  
**H04B 7/26 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:  
**Universität Rostock, 18055 Rostock, DE**

(72) Erfinder:  
**Salomon, Ralf, Prof. Dr., 18119 Rostock, DE**

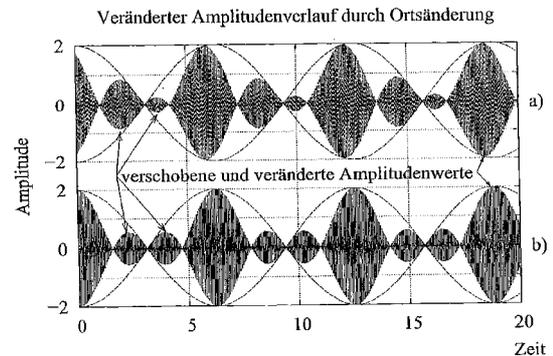
(74) Vertreter:  
**Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179 Berlin**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 19 35 739 A**  
**EP 00 47 561 A1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur Positionsbestimmung**

(57) Zusammenfassung: Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein System zur eigenständigen, und in Bezug auf die Sender, kontaktlosen Positionsbestimmung eines Empfängers anzugeben, wobei eine exakte Positionsbestimmung unter Verwendung preiswerter Empfänger und möglichst weniger Sender gewährleistet sein soll, insbesondere in Bereichen, in denen GPS-Signale nicht verfügbar sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren weist folgende Verfahrensschritte auf: Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer ersten Sendefrequenz ( $f_1$ ) mittels des ersten Senders (1), wobei die erste Sendefrequenz ( $f_1$ ) mit einer ersten Modulationsfrequenz ( $f_{M1}$ ) moduliert wird; Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer zweiten Sendefrequenz ( $f_2$ ) mittels des zweiten Senders (2), wobei die zweite Sendefrequenz ( $f_2$ ) mit einer zweiten Modulationsfrequenz ( $f_{M2}$ ) moduliert wird, und wobei sich die erste Frequenz ( $f_1$ ) von der zweiten Frequenz ( $f_2$ ) derart unterscheidet, dass sich eine Schwebung mit einer Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ausbildet; Messen mindestens einer ersten Amplitude ( $A_1$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ab einem ersten Zeitpunkt ( $t_1$ ) an einer ersten Position ( $x_1$ ) des Empfängers (4); Messen mindestens einer zweiten Amplitude ( $A_2$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ab einem zweiten Zeitpunkt ( $t_2$ ) an einer zweiten Position ( $x_2$ ) des Empfängers (4); und Ermittlung der zweiten Position ( $x_2$ ) des Empfängers (4) in Bezug zur ersten Position ( $x_1$ ) des Empfängers (4) aus der ...



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur Positionsbestimmung mit den in den Ansprüchen 1 und 31 genannten Merkmalen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Lokalisierung eines Empfängers in einer Umgebung, in der herkömmliche Positionsbestimmungssysteme, wie beispielsweise GPS, nicht verfügbar sind.

**[0002]** In vielen Bereichen, beispielsweise bei der Fahrzeugnavigation, ist die Positionsbestimmung einer Person oder eines Gegenstandes von elementarer Bedeutung. Insbesondere zur kontaktlosen Positionsbestimmung stehen heutzutage leistungsfähige Systeme, wie etwa das Global Positioning System (GPS), zur Verfügung. GPS basiert auf Satelliten, die ständig ihre sich ändernde Position und die genaue Uhrzeit ausstrahlen. Aus deren Signallaufzeit können GPS-Empfänger dann ihre eigene Position und Geschwindigkeit berechnen. Grundsätzlich reichen dazu die Signale von drei Satelliten. In der Praxis besitzen GPS-Empfänger jedoch keine Uhr, die genau genug ist, um die Laufzeiten korrekt berechnen zu können. Deshalb wird das Signal eines vierten Satelliten benötigt.

**[0003]** Nachteilhafterweise ist GPS nur in Bereichen einsetzbar, in denen ein GPS-Empfänger die von den (mindestens) vier Satelliten ausgestrahlten Signale ausreichend gut empfangen kann. Eine solche Situation ist jedoch in vielen Bereichen, in denen eine Positionsbestimmung notwendig ist, nicht gegeben. Dazu zählen beispielsweise Fahrzeugtunnel, in denen die Fahrzeugposition zur Navigation bestimmt werden soll. Häufig lassen sich GPS-Signale nicht innerhalb von Fahrzeugtunneln empfangen. Eine Ortung des Fahrzeuges kann erst nach Verlassen des Tunnels mittels GPS realisiert werden, was insbesondere dann nachteilig ist, wenn innerhalb des Tunnels mehrere Fahrtrichtungen zur Auswahl stehen, zwischen denen das Navigationssystem unterscheiden muss.

**[0004]** Ein weiteres Beispiel ist ein Getreidesilo, innerhalb dessen GPS-Signale nicht ausreichend gut empfangen werden können. Eine innerhalb des Getreidesilos vorhandene Arbeitsmaschine, deren Position überwacht werden soll, könnte nicht auf die GPS-Positionsbestimmung zurückgreifen, so dass hier alternative Maßnahmen ergriffen werden müssen.

**[0005]** Soll eine kontaktlose, eigenständige Positionsbestimmung einer Person oder eines Gegenstandes (die jeweils über einen geeigneten Empfänger verfügen) in Bereichen nicht ausreichend starker GPS-Signale vorgenommen werden, ist es bekannt, elektromagnetische Signale zu verwenden, die von

ortsnahen Sendern ausgestrahlt werden. Aus der Phasenverschiebung des vom Empfänger empfangenen Signals (vorausgesetzt, dass die Sender ortsfest angeordnet sind) kann auf die Relativbewegung des Empfängers, dessen Position bestimmt werden soll, zu einem der Sender geschlossen werden. Dazu muss die Phasenverschiebung des Empfängers zum Sender bestimmt werden. Ein Nachteil ist hierbei, dass die Phasenverschiebung zwischen Sender und Empfänger nur dann bestimmt werden kann, wenn entweder sowohl Sender als auch Empfänger über synchrone, hochpräzise Uhren verfügen oder ein zusätzliches Referenzsignal zur Hilfe genommen wird. Dies erfordert jedoch entsprechend teure technische Komponenten.

**[0006]** Aus EP 47 561 A1 ist ein Verfahren zum Bestimmen des Ortes eines mobilen Objektes mittels von mindestens zwei ortsfesten Sendestationen ausgesandten funkttechnischen Signalen bekannt. Dabei basiert die Lokalisierung auf der Laufzeit der Zeitdifferenz eines Nulldurchgangs an zwei verschiedenen Orten.

**[0007]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein System zur eigenständigen, und in Bezug auf die Sender, kontaktlosen Positionsbestimmung eines Empfängers anzugeben, wobei eine exakte Positionsbestimmung unter Verwendung preiswerter Empfänger und möglichst weniger Sender gewährleistet sein soll, insbesondere in Bereichen, in denen GPS-Signale nicht verfügbar sind. Des Weiteren soll auf die Verwendung von Referenzsignalen oder hochpräzisen, synchronen Uhren oder ähnlichen Zeitmesseinrichtungen verzichtet werden können.

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im Anspruch 1 (Verfahrensanspruch) sowie im Anspruch 31 (Vorrichtungsanspruch) Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

**[0009]** Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass mit preiswerten Sendern und Empfängern die Position eines Empfängers auch in (für GPS-Signale) schwer zugänglichen Gebieten, exakt und schnell bestimmt werden kann. In einer bevorzugten Ausführungsvariante werden lediglich 2 Sender und ein Empfänger benötigt. Daher eignet sich das erfindungsgemäße System beispielsweise als Ergänzung für GPS-Empfänger in Bereichen schwacher oder nicht vorhandener GPS-Signale, die entsprechende, vom erfindungsgemäßen System ausgesandte Signale empfangen, und so ihre Position im Bereich der Sender alternativ zum GPS bestimmen können. Hierdurch wird eine gute Alternative bzw. Ergänzung zur GPS-Positionsbestimmung geschaffen.

**[0010]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Be-

stimmung der Position eines beweglichen Empfängers weist folgende Verfahrensschritte auf:

- Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer ersten Sendefrequenz mittels eines ersten Senders, wobei die erste Sendefrequenz mit einer ersten Modulationsfrequenz moduliert wird,
- Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer zweiten Sendefrequenz mittels eines zweiten Senders, wobei die zweite Sendefrequenz mittels einer zweiten Modulationsfrequenz moduliert wird, und wobei die erste Sendefrequenz und die zweite Sendefrequenz derart gewählt werden, dass sich eine (niederfrequente) Schwebung (mit einer Schwebungsfrequenz  $f_s$ ) ausbildet,
- Messen mindestens einer ersten Amplitude der Schwebungsfrequenz ab einem ersten Zeitpunkt an einer ersten Position des Empfängers und
- Messen mindestens einer zweiten Amplitude der Schwebungsfrequenz ab einem zweiten, später folgenden Zeitpunkt an einer zweiten Position des Empfängers und
- Ermitteln der zweiten Position des Empfängers in Bezug auf die erste Position aus der mindestens ersten und zweiten gemessenen Amplitude der Schwebungsfrequenz.

**[0011]** Die Idee der Erfindung besteht demnach darin, dass eine Modulation der Trägerfrequenzen (erste und zweite Sendefrequenz) zu einer Schwebung führt, die neben einer maximalen (Schwebungs-)Amplitude auch weitere Nebenmaxima aufweist, deren Amplitude phasenabhängig ist. Daher kann die Phasenverschiebung der Schwebung und damit die Relativbewegung des Empfängers zwischen dem ersten Zeitpunkt und dem zweiten Zeitpunkt durch einfache Amplitudenmessung des niederfrequenten Schwebungssignals rekonstruiert werden. Dazu ist es vorgesehen, dass mindestens ein Nebenmaximum der modulierten Schwebungsfrequenz bestimmt und aus diesem Amplitudenwert die Phasenverschiebung des Empfängers relativ zu den mindestens zwei Sendern und somit die Relativbewegung des Empfängers während des entsprechenden Zeitintervalls ( $t_2 - t_1$ ) bestimmt werden kann. Als erste und zweite Sendefrequenzen werden vorzugsweise freie Sendefrequenzen verwendet. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass ein sich bewegender Empfänger kontinuierlich die Amplituden der Schwebungsfrequenz misst und aus der Veränderung dieser Amplituden, bevorzugt aus der Veränderung der Amplituden der Nebenmaxima, fortlaufend seine Relativbewegung und somit seine Position bestimmt. Ist dem Empfänger seine anfängliche absolute Position (beispielsweise durch Empfang eines GPS-Signals) bekannt, kann der Empfänger nun nachfolgend durch Bestimmung seiner Relativposition bei anfänglich bekannter Absolutposition auch die Absolutposition kontinuierlich weiter bestimmen. Es ist besonders bevorzugt, die Sende- und Modulationsfrequenzen derart zu wählen, dass das Schwebungssignal (je Perio-

de) neben einem globalen Hauptmaximum mindestens ein Nebenmaximum (bevorzugt zwischen 2 und 5 Nebenmaxima) aufweist.

**[0012]** Ein besonderer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass lediglich die Amplitude des niederfrequenten Schwebungssignals gemessen und daraus bereits die Relativbewegung des Empfängers zwischen den beiden Sendern bestimmt werden kann. Die Verwendung eines Referenzsignals oder einer hochsynchronen Uhr ist nicht notwendig. Da die Sender beispielsweise innerhalb eines Tunnels positioniert werden können, wäre es möglich, die Position eines in einen Tunnel durchfahrenden Pkw (auch bei Nichtempfang eines GPS-Signals) hochpräzise und sehr preiswert zu bestimmen.

**[0013]** Vorzugsweise sind die mindestens zwei Sender räumlich konstant und ortsfest zueinander angeordnet. Vorzugsweise sind die erste und zweite Modulationsfrequenz jeweils eine ganze Vielfache oder ein ganzes Teil der Schwebungsfrequenz (die erste und zweite Modulationsfrequenz unterscheiden sich jeweils von der Schwebungsfrequenz). Weiterhin ist es bevorzugt, die Messung der Amplitude des Schwebungssignals durch den Empfänger mit einer solchen hohen (Abtast-)Frequenz durchzuführen und auszuwerten, dass sich der Empfänger innerhalb eines Messintervalls höchstens um den Betrag  $\lambda/2$  (halbe Wellenlänge der Schwebungsfrequenz) bewegt haben kann. So ist es beispielsweise für die Positionsbestimmung von Kraftfahrzeugen möglich, eine höchstmögliche Geschwindigkeit für Kraftfahrzeuge (beispielsweise 500 km/h) anzusetzen und die minimale Scan-Periode, mit der die Amplitude der Schwebungsfrequenz gemessen werden muss, entsprechend zu bestimmen. Da aus der Amplitude der Schwebungsfrequenz eine Phasenverschiebung ermittelt wird, ist es notwendig, dass der bewegte Empfänger innerhalb einer Scan-Periode höchstens eine Entfernung von  $\lambda/2$  (entspricht einer Phasenverschiebung von  $\pi$ ) zurückgelegt hat.

**[0014]** Vorzugsweise sind die erste und zweite Sendefrequenz, die erste und zweite Modulationsfrequenz und demzufolge die Schwebungsfrequenz konstant. Weiterhin ist es bevorzugt, dass die erste Modulationsfrequenz gleich der zweiten Modulationsfrequenz gewählt wird. Durch geeignete Wahl der Sende- und Modulationsfrequenzen (und damit der Schwebungsfrequenz) führt die Phasenverschiebung des Empfängers (aufgrund seiner Bewegung zwischen den Sendern) zu einer besonders starken Variation der Amplitude der Schwebungsfrequenz (insbesondere des mindestens einen Nebenmaximums), so dass eine besonders störungsfreie Positionsbestimmung bzw. der Einsatz besonders preiswerter technischer Komponenten (Sender und Empfänger) möglich ist.

**[0015]** Vorzugsweise wird die Schwebungsfrequenz in einem Bereich zwischen 10 MHz und 100 MHz eingestellt. In den vorgenannten Ausführungsbeispielen, in denen zwei Sender vorhanden sind, lässt sich die Position des Empfängers und damit die Bewegung des Empfängers entlang der Verbindungslinie der beiden Sender exakt bestimmen.

**[0016]** Soll die Position eines Empfängers nicht entlang einer Linie, sondern innerhalb einer Ebene bestimmt werden, ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass jeweils ein erster, ein zweiter und ein dritter Sender elektromagnetische Strahlung mit einer ersten, zweiten und dritten Sendefrequenz aussenden, wobei die erste Sendefrequenz mit einer ersten Modulationsfrequenz, die zweite Sendefrequenz mit einer zweiten Modulationsfrequenz und die dritte Sendefrequenz mit einer dritten Modulationsfrequenz moduliert wird und wobei sich die erste, zweite und dritte Sendefrequenz jeweils derart voneinander unterscheiden, dass sich eine (niederfrequente) Schwebung ausbildet und wobei die Amplitude der niederfrequenten Schwebungsfrequenz zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemessen wird und aus der Amplitude der Schwebungsfrequenz (insbesondere aus der Amplitude des mindestens einen Nebenmaximums) zu unterschiedlichen Zeitpunkten die Relativbewegung des Empfängers innerhalb des entsprechenden Zeitintervalls bestimmt wird. Die oben gemachten Ausführungen zu bevorzugten Frequenzen sowie die Merkmale der Patentansprüche 2–22 sollen für dieses Ausführungsbeispiel analog gelten. Für eine räumliche (dreidimensionale) Positionsbestimmung kann das System auch auf vier oder mehr Sender erweitert werden.

**[0017]** Die Anforderungen an den Empfänger steigen jedoch nicht, da dieser lediglich die Amplitude der niederfrequenten Schwebungsfrequenz messen muss und daraus seine Position (über die Relativbewegung) bestimmen kann. Bevorzugt ist es vorgesehen, dass die Sendefrequenzen und die Modulationsfrequenzen genormt sind. Dann kann der Empfänger nach Messung der Amplituden zu unterschiedlichen Zeitpunkten selbstständig durch entsprechende mathematische Umformungen seine Relativposition bestimmen. Der Rechenaufwand steigt offensichtlich mit der Anzahl der Sender. Es ist bevorzugt vorgesehen, dass der Empfänger ein entsprechendes Datenverarbeitungsgerät aufweist, welches aus der ersten und zweiten Sendefrequenz, der ersten und zweiten Modulationsfrequenz und den mindestens zwei gemessenen Amplituden die Relativbewegung rechnerisch bestimmt. Alternativ kann es vorgesehen sein, dass der Empfänger über eine Datentabelle verfügt, aus der er bei gemessenen Amplitudenwertepaaren die entsprechende Relativposition entnehmen kann.

**[0018]** Alternativ ist es jedoch auch möglich, dass

das erfindungsgemäße System zur Positionsbestimmung je nach Anwendungsbereich mit unterschiedlichen (auch zeitlich variablen) Sende- und Modulationsfrequenzen arbeitet und die Sender möglicherweise in unterschiedlichen Abständen zueinander positioniert sind oder positioniert werden. Dann ist es erfindungsgemäß vorgesehen, dass mindestens einer der Sender dem Empfänger entsprechende Daten über die Sende- und Modulationssequenzen übermittelt, so dass der Empfänger dann mittels eines Datenverarbeitungsgerätes und der übermittelten Daten nach Messung von Amplitudenpaaren seine Relativbewegung selbstständig rechnerisch bestimmen kann.

**[0019]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

**[0020]** Es zeigen:

**[0021]** Fig. 1 das erfindungsgemäße System zur Positionsbestimmung in einer schematischen Darstellung,

**[0022]** Fig. 2a das von einem Empfänger gemessene Schwebungssignal an einem ersten Ort, sofern die erste und zweite Sendefrequenz nicht moduliert wurde (Stand der Technik),

**[0023]** Fig. 2b das von einem Empfänger gemessene Schwebungssignal an einem zweiten Ort, wobei die Sendefrequenzen nicht moduliert worden sind (Stand der Technik),

**[0024]** Fig. 3a das von einem Empfänger gemessene Schwebungssignal an einem ersten Ort gemäß der Erfindung, wenn sowohl die erste als auch die zweite Sendefrequenz moduliert wurden,

**[0025]** Fig. 3b das von einem Empfänger gemessene Schwebungssignal gemäß der Erfindung an einem zweiten Ort, der gegenüber dem ersten Ort (Fig. 3a) verschoben ist,

**[0026]** Fig. 4a das von einem Empfänger gemessene Schwebungssignal gemäß der Erfindung an einem ersten Ort, welches mittels dreier Sender erzeugt wurde, und

**[0027]** Fig. 4b das von einem Sender gemessene Schwebungssignal an einem zweiten Ort gemäß der Erfindung.

**[0028]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Systems. Dieses erfindungsgemäße System besteht aus einem ersten Sender 1 und einem zweiten Sender 2. Der erste Sender 1 sendet elektromagnetische Strahlung mit einer ersten Sendefrequenz  $f_1$  und der zweite Sender 2 entsprechend elektromagnetische Strahlung mit ei-

ner zweiten Frequenz  $f_2$ . Die Sendefrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  sind derart gewählt, dass sich eine Schwebungsfrequenz  $f_s$ , vorzugsweise zwischen 0,1 MHz und 100 MHz ausbildet. Erfindungsgemäß sind die Sender **1**, **2** mit dem Modulator **3** verbunden, der die Sendefrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  jeweils mit einer Modulationsfrequenz  $f_{M1}$  und  $f_{M2}$  moduliert. Die Modulationsfrequenzen sind vorzugsweise eine ganzes Vielfaches oder ein ganzer Teil der Schwebungsfrequenz. Der Modulator **3** moduliert die Sendefrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  der Sender **1**, **2** entsprechend.

**[0029]** Der Empfänger **4**, der sich zwischen den Sendern **1**, **2** bewegt, kann nun seine Position eigenständig und kontaktlos bestimmen. Ein besonderer Vorteil besteht darin, dass der Sender **4** weder über eine hochsynchrone Uhr, noch ein Referenzsignal verfügen muss. Weiterhin kann der Empfänger **4** preiswert hergestellt werden, da er lediglich zur Messung der Amplitude des niederfrequenten Schwebungssignals geeignet sein muss. Aus nacheinander folgenden Messungen der Amplitude des Schwebungssignals kann der Empfänger **4** stets seine Relativposition und damit im Laufe mehrerer Messungen seine Bewegung zwischen den Sendern **1**, **2** bestimmen. Ist dem Empfänger **4** seine anfängliche, absolute Position zwischen den Sendern **1**, **2** bekannt, kann er auch kontinuierlich sein absolute Position aus seiner Relativbewegung berechnen.

**[0030]** Das erfindungsgemäße Bestimmen der Position des Empfängers **4** soll nachstehend näher erläutert werden.

**[0031]** Fig. 2a zeigt ein Schwebungssignal nach dem Stand der Technik. Ein solches Schwebungssignal würde der Empfänger **4** beispielsweise empfangen, wenn die zur Schwebung führenden Sendefrequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  nicht moduliert wären. Zwar würde sich bei der Bewegung des Empfängers **4** dessen relative Position zu den Sendern **1**, **2** ändern und damit eine Phasenverschiebung des empfangenen Schwebungssignals erfolgen (siehe Fig. 2b), jedoch könnte der Empfänger im Falle nichtmodulierter Sendefrequenzen (wie in der Fig. 2a, 2b) seine Relativbewegung nur dann bestimmen, wenn er mit den Sendern synchronisiert wäre oder ein Referenzsignal von mindestens einem Sender erhielte. Hierdurch würden jedoch entsprechend höhere Anforderungen an die Sender und den Empfänger gestellt, so dass das entsprechende Verfahren deutlich aufwändiger wäre. Ein weiterer Nachteil bestünde in einer erhöhten Störanfälligkeit eines solchen Systems.

**[0032]** Werden jedoch die Sendefrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  erfindungsgemäß moduliert (siehe Fig. 3a), wird auch das Schwebungsbild, also die vom Empfänger **4** empfangene Schwebungsfrequenz in ihrer Intensität (Amplitude) moduliert. Die vom Empfänger gemessene Schwebungsamplitude weist, wie in Fig. 3a

ersichtlich, ein Hauptmaximum und zwei Nebenmaxima auf. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel betragen die Senderfrequenzen  $f_1 = 16,07$  MHz und  $f_2 = 15,76$  MHz. Die resultierende Schwebungsfrequenz beträgt  $f_s = 0,32$  MHz und die Modulationsfrequenzen betragen  $f_{M1} = f_{M2} = 0,16$  MHz. Die Zeitwerte (der x-Achsen der Fig. 2–Fig. 4) sind mit dem Faktor  $10^{-6}$  s zu versehen.

**[0033]** Die erfindungsgemäße Idee besteht darin, dass sich das Modulationsbild der Schwebung sehr stark ändert (siehe Fig. 3b), wenn sich der Empfänger **4** zwischen den Sendern **1**, **2** bewegt, wodurch eine Phasenverschiebung der Sendesignale hervorgerufen wird. Eine solche Phasenverschiebung führt zu einer Veränderung der Amplitude der Nebenmaxima (des mindestens einen Nebenmaximums). Der Empfänger **4** kann nun die Amplitude des mindestens einen Nebenmaximums bestimmen und daraus sehr einfach seine Relativverschiebung berechnen. Dazu ist es allerdings notwendig, dass der Empfänger neben den mindestens zwei Amplitudenwerten sämtliche Sende- und Modulationsfrequenzen kennt. In Fig. 3b befand sich der Empfänger genau zwischen den Sendern **1**, **2**; im Vergleich dazu beträgt die Relativverschiebung des Empfängers **4** (in Fig. 3a) zirka  $\Delta x = 3$  mm.

**[0034]** Sind diese stets konstant, ist es beispielsweise auch möglich, die Amplitudenwertepaare in eine Datentabelle mit entsprechend korrelierten Relativverschiebungen aufzubereiten, so dass der Empfänger nach Messung aufeinanderfolgende Amplituden des mindestens einen Nebenmaximums aus einer entsprechenden Datentabelle seine Relativbewegung entnehmen kann. Es ist daher erfindungsgemäß vorgesehen, einerseits die Sendefrequenzen  $f_1$  und  $f_2$  derart einzustellen, dass sich eine Schwebung ausbildet und andererseits die Modulationsfrequenzen derart zu wählen, dass die sich ausbildende Schwebung mindestens ein Nebenmaximum (dessen Amplitude phasenabhängig ist) aufweist.

**[0035]** Eine Rückrechnung der Relativbewegung aus den Sende- und Modulationsfrequenzen kann in einfacher Weise mittels bekannter mathematischer Algorithmen vorgenommen werden. Für vorgegebene Sende- und Modulationsfrequenzen kann die Amplitude der Schwebungsfrequenz in Abhängigkeit der Phasenverschiebung (also der Relativbewegung) durch entsprechende mathematische Superposition der modulierten Sendefrequenzen berechnet werden. Das Auflösen der entsprechenden Gleichungen nach der Phasenverschiebung bzw. der Relativbewegung kann dann explizit oder auch numerisch unter Zuhilfenahme entsprechender Rechenprogramme, wie beispielsweise Mathematica, vorgenommen werden.

**[0036]** Die Fig. 4a und 4b zeigen ein weiteres Aus-

führungsbeispiel gemäß der vorliegenden Erfindung. Im Ausführungsbeispiel wurden drei voneinander beabstandete Sender verwendet, die jeweils auf entsprechenden Sendefrequenzen zur Ausbildung einer Schwebungssequenz senden. Die Modulationsfrequenzen der einzelnen Sender wurden derart eingestellt, dass die Schwebungsfrequenz neben dem Hauptmaximum weitere vier Nebenmaxima aufweist. Wie aus **Fig. 4a** ersichtlich ist, weist das Schwebungsbild für eine anfängliche Phase (erste Position des Senders – siehe **Fig. 4a**) ein charakteristisches Schwebungsbild auf, in dem offensichtlich das links neben dem Hauptmaximum liegenden Nebenmaximum eine deutlich höhere Amplitude als die restlichen Nebenmaxima aufweist. Bewegt sich nun der Empfänger **4** relativ zu den drei Sendern (und erreicht dadurch die zweite Position – siehe **Fig. 4b**), führt dies zu einer Phasenverschiebung, die zu einer Änderung der Amplitude der Nebenmaxima führt. Insbesondere ist ersichtlich, dass das links neben dem Hauptmaximum liegende Nebenmaximum eine im Vergleich zu **Fig. 4a** deutlich reduzierte Amplitude aufweist. Aus der Veränderung der Amplituden der Nebenmaxima kann nun in vorbeschriebener Weise auf die Position (Relativbewegung) des Empfängers **4** geschlossen werden.

#### Bezugszeichenliste

- 1 erster Sender
- 2 zweiter Sender
- 3 Modulator
- 4 Empfänger

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Position eines beweglichen Empfängers (**4**), wobei mindestens zwei Sender (**1, 2**) vorgesehen sind, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer ersten Sendefrequenz ( $f_1$ ) mittels des ersten Senders (**1**), wobei die erste Sendefrequenz ( $f_1$ ) mit einer ersten Modulationsfrequenz ( $f_{M1}$ ) moduliert wird,
- Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer zweiten Sendefrequenz ( $f_2$ ) mittels des zweiten Senders (**2**), wobei die zweite Sendefrequenz ( $f_2$ ) mit einer zweiten Modulationsfrequenz ( $f_{M2}$ ) moduliert wird, und wobei sich die erste Frequenz ( $f_1$ ) von der zweiten Frequenz ( $f_2$ ) derart unterscheidet, dass sich eine Schwebung mit einer Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ausbildet,
- Messen mindestens einer ersten Amplitude ( $A_1$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ab einem ersten Zeitpunkt ( $t_1$ ) an einer ersten Position ( $x_1$ ) des Empfängers (**4**),
- Messen mindestens einer zweiten Amplitude ( $A_2$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ab einem zweiten Zeitpunkt ( $t_2$ ) an einer zweiten Position ( $x_2$ ) des Empfängers (**4**), und
- Ermittlung der zweiten Position ( $x_2$ ) des Empfän-

gers (**4**) in Bezug zur ersten Position ( $x_1$ ) des Empfängers (**4**) aus der mindestens einen ersten Amplitude ( $A_1$ ) und der mindestens einen zweiten Amplitude ( $A_2$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Sender (**1, 2**) in einem räumlich konstanten Abstand zueinander angeordnet werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Sender (**1, 2**) ortsfest angeordnet werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die erste und zweite Modulationsfrequenz ( $f_{M1}$ ,  $f_{M2}$ ) jeweils von der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) unterscheiden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Modulationsfrequenz ( $f_{M1}$ ) ein Ganzes Vielfaches der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) beträgt oder die Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ein Ganzes Vielfaches der ersten Modulationsfrequenz ( $f_{M1}$ ) beträgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Modulationsfrequenz ( $f_{M2}$ ) ein Ganzes Vielfaches der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) beträgt oder die Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ein Ganzes Vielfaches der zweiten Modulationsfrequenz ( $f_{M2}$ ) beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Position des Empfängers (**4**) fortlaufend erfolgt, wobei jeweils nach erfolgter Positionsbestimmung die ermittelte Position ( $x_2$ ) des Empfängers (**4**) als neue, bekannte Position des Empfängers (**4**) zur Bestimmung der Position ( $x_3$ ) des Empfängers (**4**) zu einem späteren Zeitpunkt ( $t_3$ ) verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die absoluten Positionsdaten des Empfängers (**4**) kontinuierlich aus den fortlaufend gemessenen Amplitudenwerten ( $A_1$ ,  $A_2$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) sowie aus den anfänglich bekannten, absoluten Positionsdaten ( $x_1$ ) des Empfängers (**4**) bestimmt werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sendefrequenz ( $f_1$ ) größer als die zweite Sendefrequenz ( $f_2$ ) ist.

10. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Bedingung:

$$1,2 \cdot f_2 > f_1 > f_2$$

erfüllt ist, wobei  $f_1$  die erste Sendefrequenz und  $f_2$  die zweite Sendefrequenz ist.

11. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Bedingung:  $1,1 \cdot f_2 > f_1 > f_2$  erfüllt ist.

12. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Bedingung:  $1,05 \cdot f_2 > f_1 > 1,01 \cdot f_2$  erfüllt ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sendefrequenz ( $f_1$ ) und die zweite Sendefrequenz ( $f_2$ ) aus dem Bereich zwischen 100 MHz und 2 GHz ausgewählt sind.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sendefrequenz ( $f_1$ ) und die zweite Sendefrequenz ( $f_2$ ) derart ausgewählt sind, dass die Differenz zwischen erster Sendefrequenz ( $f_1$ ) und zweiter Sendefrequenz ( $f_2$ ) im Bereich von 10 MHz bis 100 MHz liegt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Empfänger (4) entlang der Verbindungslinie zwischen dem ersten Sender (1) und dem zweiten Sender (2) bewegt.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Relativbewegung des Empfängers (4) während aufeinanderfolgender Messzeitpunkte entlang der Verbindungslinie zwischen dem ersten Sender (1) und dem zweiten Sender (2) ermittelt wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich mindestens ein dritter Sender vorgesehen ist, wobei der erste Sender, der zweite Sender und der dritte Sender jeweils voneinander beanstandet angeordnet werden, wobei zusätzlich elektromagnetische Strahlung einer dritten Sendefrequenz mittels des dritten Senders ausgesendet wird, und die dritte Sendefrequenz mit einer dritten Modulationsfrequenz moduliert wird, und wobei sich die erste, zweite und dritte Sendefrequenz jeweils derart voneinander unterscheiden, dass sich eine Schwebung mit einer Schwebungsfrequenz ausbildet.

18. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Empfänger (4) in der durch ersten Sender, zweiten Sender und dritten Sender aufgespannten Ebene bewegt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 und 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Relativbewegung des Empfängers (4) während aufeinanderfolgender Messzeitpunkte entlang der durch ersten Sender, zweiten Sender und dritten Sender aufgespannten Ebene ermittelt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 und 24, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb eines ersten Zeitintervalls ( $I_1$ ) der erste und der zweite Sender mit ihrer jeweils modulierten Sendefrequenz senden, wobei der dritte Sender innerhalb eines ersten Zeitintervalls ( $I_1$ ) nicht sendet, und innerhalb eines zweiten Zeitintervalls ( $I_2$ ) der erste und der dritte Sender mit ihrer jeweils modulierten Sendefrequenz senden, wobei der zweite Sender innerhalb eines zweiten Zeitintervalls ( $I_2$ ) nicht sendet, und wobei innerhalb des ersten Zeitintervalls ( $I_1$ ) und des zweiten Zeitintervalls ( $I_2$ ) jeweils mindestens zwei Amplituden der Schwebungsfrequenz zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten gemessen werden und, aus den während des ersten Zeitintervalls ( $I_1$ ) gemessenen Amplituden der Schwebungsfrequenz eine erste Relativbewegung des Empfängers (4) entlang einer ersten Verbindungslinie zwischen dem ersten Sender und dem zweiten Sender ermittelt wird, und aus den während des zweiten Zeitintervalls ( $I_2$ ) gemessenen Amplituden der Schwebungsfrequenz eine zweite Relativbewegung des Empfängers (4) entlang einer zweiten Verbindungslinie zwischen dem ersten Sender und dem dritten Sender ermittelt wird, und aus der ersten Relativbewegung entlang einer ersten Verbindungslinie und der zweiten Relativbewegung entlang einer zweiten Verbindungslinie die Relativbewegung des Empfängers (4) entlang der durch ersten Sender, zweiten Sender und dritten Sender aufgespannten Ebene ermittelt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Zeitintervalle ( $I_1$ ), in denen der erste und der zweite Sender mit ihrer jeweils modulierten Sendefrequenz senden und der dritte Sender nicht sendet, und die zweiten Zeitintervalle ( $I_2$ ), in denen der erste und der dritte Sender mit ihrer jeweils modulierten Sendefrequenz senden und der zweite Sender nicht sendet, alternieren und die Relativbewegung des Empfängers (4) entlang der durch ersten Sender, zweiten Sender und dritten Sender aufgespannten Ebene kontinuierlich ermittelt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die absoluten Positionsdaten des Empfängers (4) kontinuierlich aus den fortlaufend bestimmten Relativbewegungen des Empfängers (4) entlang der durch ersten Sender, zweiten Sender und dritten Sender aufgespannte

Ebene sowie aus den anfänglich bekannten, absoluten Positionsdaten des Empfängers (4) bestimmt werden.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an den Empfänger (4) über mindestens einen der Sender (1, 2) Daten über die erste Sendefrequenz ( $f_1$ ), die erste Modulationsfrequenz ( $f_{M1}$ ) die zweite Sendefrequenz ( $f_2$ ) und die zweite Modulationsfrequenz ( $f_{M2}$ ) übermittelt werden.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 23–29, dadurch gekennzeichnet, dass an den Empfänger (4) über mindestens einen der drei Sender Daten über die Abstände mindestens zweier Senderpaare, die erste Sendefrequenz, die erste Modulationsfrequenz, die zweite Sendefrequenz, die zweite Modulationsfrequenz, die dritte Sendefrequenz und die dritte Modulationsfrequenz übermittelt werden.

25. System zum Aussenden und Empfangen von Positionsdaten sowie zur Positionsbestimmung, aufweisend:

- einen ersten Sender (1) zum Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer ersten Sendefrequenz ( $f_1$ ),
- einen ersten Modulator zur Modulation der ersten Sendefrequenz ( $f_1$ ) mit einer ersten Modulationsfrequenz ( $f_{M1}$ ),
- einen zweiten Sender (2) zum Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer zweiten Sendefrequenz ( $f_2$ ),
- einen zweiten Modulator zur Modulation der zweiten Sendefrequenz ( $f_2$ ) mit einer zweiten Modulationsfrequenz ( $f_{M2}$ ),
- wobei sich die erste Frequenz ( $f_1$ ) von der zweiten Frequenz ( $f_2$ ) derart unterscheidet, dass sich eine Schwebung mit einer Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ausbildet,
- Mittel zum Messen mindestens einer ersten Amplitude ( $A_1$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ab einem ersten Zeitpunkt ( $t_1$ ) an einer ersten Position ( $x_1$ ) des Empfängers (4),
- Mittel zum Messen mindestens einer zweiten Amplitude ( $A_2$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ) ab einem zweiten Zeitpunkt ( $t_2$ ) an einer zweiten Position ( $x_2$ ) des Empfängers (4), und
- Mittel zur Bestimmung der zweiten Position ( $x_2$ ) des Empfängers (4) in Bezug zur ersten Position ( $x_1$ ) aus der mindestens einen ersten Amplitude ( $A_1$ ) und der mindestens einen zweiten Amplitude ( $A_2$ ) der Schwebungsfrequenz ( $f_s$ ).

26. System nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Sender (1, 2) in einem räumlich konstanten Abstand zueinander angeordnet sind.

27. System nach einem der Ansprüche 31 und

32, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Sender (1, 2) ortsfest angeordnet sind.

28. System nach einem der Ansprüche 31–33, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Modulator und der zweite Modulator durch einen Modulator ausgebildet sind, der sowohl mit dem ersten Sender (1) als auch mit dem zweiten Sender (2) verbunden ist.

29. System nach einem der Ansprüche 31–34, aufweisend:

- einen dritten Sender zum Aussenden elektromagnetischer Strahlung einer dritten Sendefrequenz,
- einen dritten Modulator zur Modulation der dritten Sendefrequenz mit einer dritten Modulationsfrequenz,
- und wobei sich die erste, zweite und dritte Sendefrequenz jeweils derart voneinander unterscheiden, dass sich eine Schwebung mit einer Schwebungsfrequenz ausbildet.

30. System nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass der Empfänger (4) in der durch ersten Sender, zweiten Sender und dritten Sender aufgespannten Ebene angeordnet ist.

31. System nach einem der Ansprüche 35 und 36, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zum periodischen Aktivieren und Deaktivieren der Sender derart, dass innerhalb eines ersten Zeitintervalls ( $I_1$ ) der erste und der zweite Sender mit ihrer jeweils modulierten Sendefrequenz senden und der dritte Sender innerhalb eines ersten Zeitintervalls ( $I_1$ ) nicht sendet, und dass innerhalb eines zweiten Zeitintervalls ( $I_2$ ) der erste und der dritte Sender mit ihrer jeweils modulierten Sendefrequenz senden und der zweite Sender innerhalb eines zweiten Zeitintervalls ( $I_2$ ) nicht sendet.

32. System nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Zeitintervalle ( $I_1$ ) und die zweiten Zeitintervalle ( $I_2$ ) periodisch alternieren.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

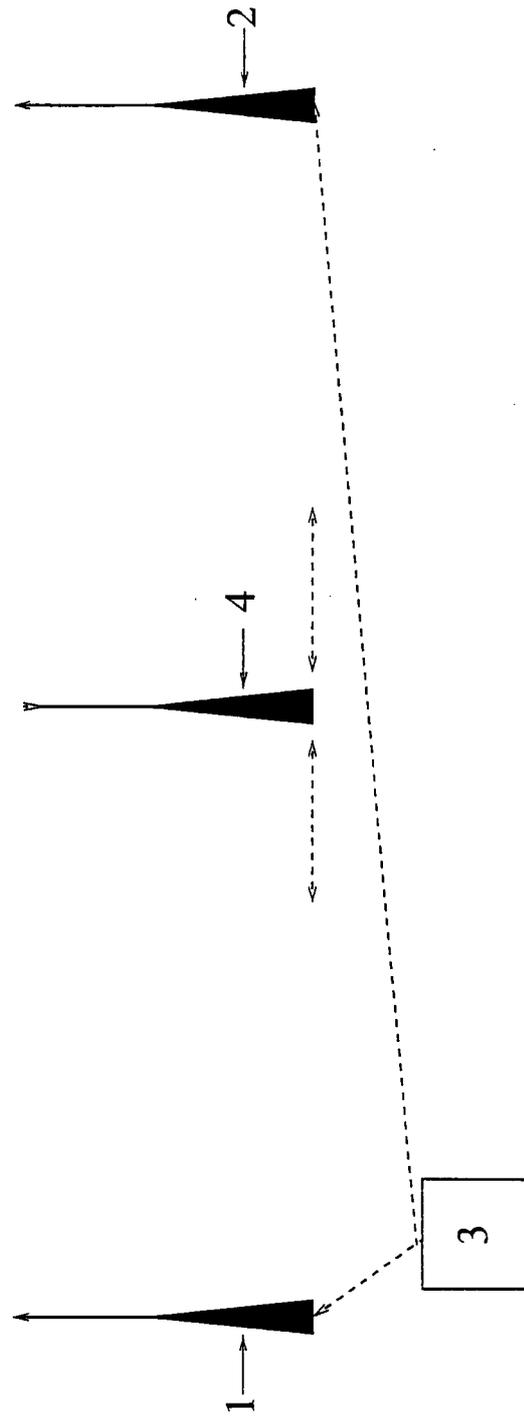


Fig. 1

Nichtrekonstruierbare Phasenverschiebung durch Ortsänderung

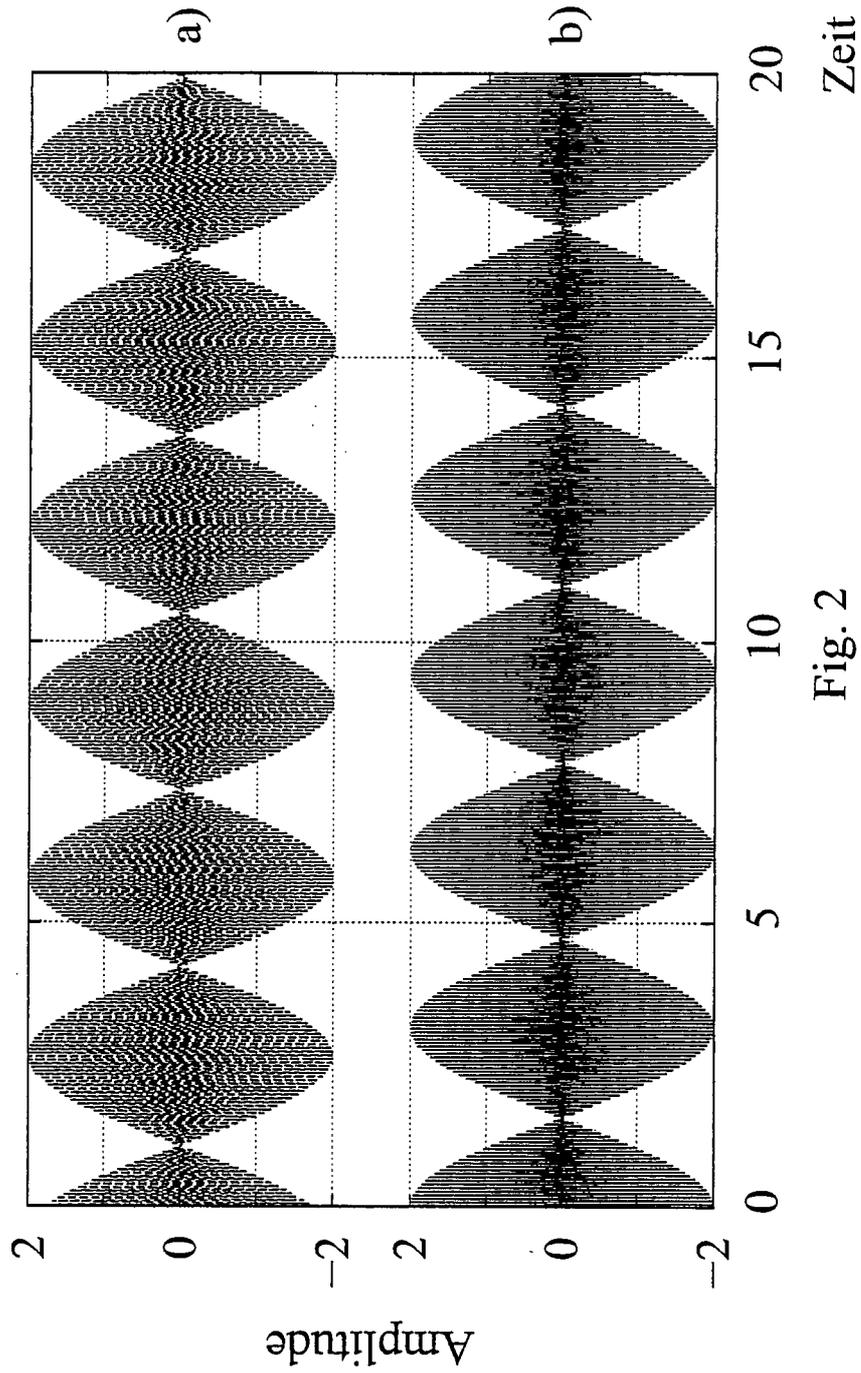


Fig. 2

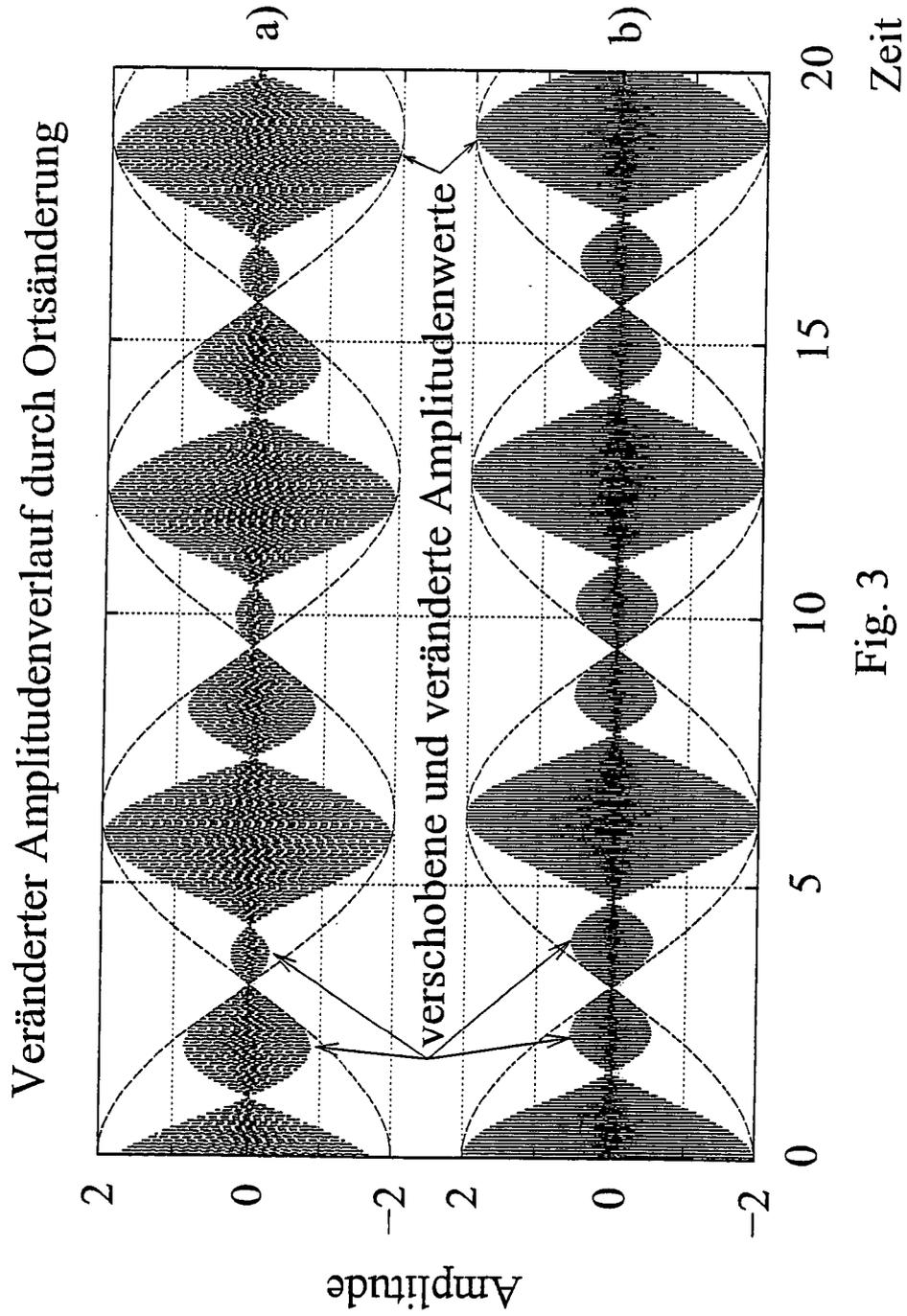


Fig. 3

Veränderter Amplitudenverlauf durch Ortsänderung, (x/y)

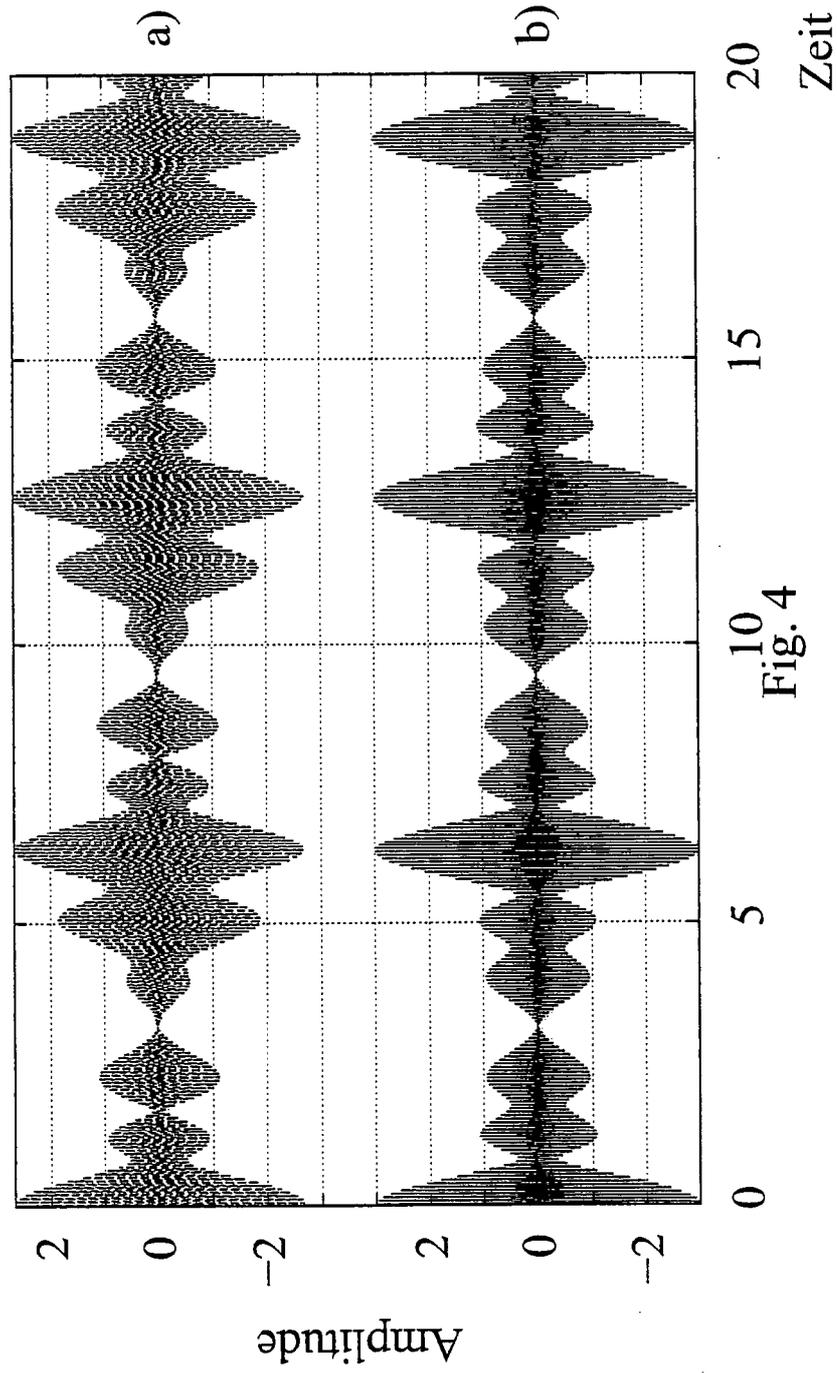


Fig. 4