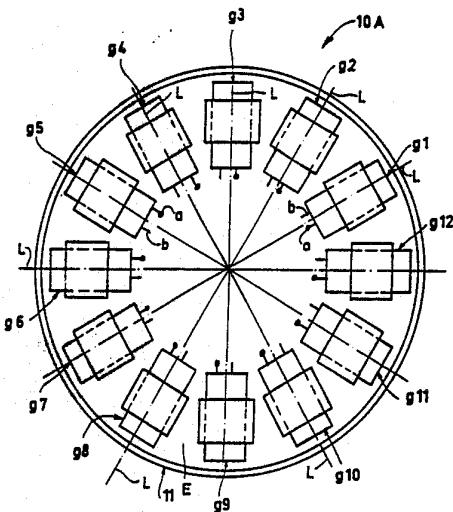




PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 5 : G01V 1/20		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 91/06017 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 2. Mai 1991 (02.05.91)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE90/00785 (22) Internationales Anmeldedatum: 15. Oktober 1990 (15.10.90) (30) Prioritätsdaten: P 39 34 745.1 18. Oktober 1989 (18.10.89) DE		(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE90/00785 (22) Internationales Anmeldedatum: 15. Oktober 1990 (15.10.90) (30) Prioritätsdaten: P 39 34 745.1 18. Oktober 1989 (18.10.89) DE	
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): WASAGCHEMIE SYTHEN GESELLSCHAFT MIT BE-SCHRÄNKTER HAFTUNG [DE/DE]; Werkstr. 111, D-4358 Haltern-Sythen (DE). (71)(72) Anmelder und Erfinder: BAULE, Heinrich [DE/DE]; Am Waldschlößchen 13, D-4630 Bochum 1 (DE).		(74) Anwälte: OSTRIGA, Harald usw. ; Stresemannstr. 6-8, D-5600 Wuppertal 2 (DE). (81) Bestimmungsstaaten: AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), DK (europäisches Patent), ES (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), GR (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), JP, LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US.	
		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(54) Title: SEISMIC DIRECTIONAL SENSOR FOR TERRESTRIAL SOUND (54) Bezeichnung: SEISMISCHER RICHTSENSOR FÜR BODENSCHALL (57) Abstract <p>A seismic directional sensor for terrestrial sound has at least one geophone with a pronounced directional characteristic. The electrical vibration measurement signals obtained in different peripheral angular positions of the radial longitudinal axis of the geophone and compared with each other correlate with the direction of a seismic beam which runs perpendicular to the longitudinal axis of the geophone which is inoperative in its neutral peripheral angular position. The neutral peripheral angular position is determined from the quotients of the amplitudes of the measurement signals which are determined both sides in the vicinity of the neutral peripheral angular position in operative peripheral angular positions of the geophone. The vibration profile of each measurement signal is in opposite phase to that of the other side. The seismic directional sensor is of simple construction, easy to operate and can be handled in the same manner in all circumstances to obtain precise measurements.</p>			
(57) Zusammenfassung <p>Ein seismischer Richtsensor für Bodenschall weist mindestens ein Geophon mit ausgeprägter Richtcharakteristik auf. Die bei unterschiedlichen Umfangswinkelpositionen der radialen Längsachse des Geophons erhaltenen, miteinander zu vergleichenden, elektrischen Schwingungs-Meßsignale korrelieren mit der Richtung eines seismischen Strahls, die quer zur Längsachse des sich in seiner neutralen Umfangswinkelposition befindlichen unwirksamen Geophons verläuft. Die neutrale Umfangswinkelposition wird durch den Quotienten der Amplituden der Meßsignale bestimmt, welche auf beiden Seiten benachbart der neutralen Umfangswinkelposition in wirksamen Umfangswinkelpositionen des Geophons ermittelt werden. Hierbei ist der Schwingungsverlauf der Meßsignale bezüglich der jeweils anderen Seite gegenphasig. Der seismische Richtsensor gestaltet bei verhältnismäßig einfacherem Aufbau und leichter Bedienbarkeit eine universelle Handhabungsweise mit genauen Meßergebnissen.</p>			



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	ES	Spanien	MG	Madagaskar
AU	Australien	FI	Finnland	ML	Mali
BB	Barbados	FR	Frankreich	MR	Mauritanien
BE	Belgien	GA	Gabon	MW	Malawi
BF	Burkina Faso	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BJ	Benin	HU	Ungarn	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	SD	Sudan
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SN	Senegal
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SU	Soviet Union
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CM	Kamerun	LU	Luxemburg	TG	Togo
DE	Deutschland	MC	Monaco	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark				

- 1 -

5

10

Seismischer Richtsensor für Bodenschall

15

Die Erfindung betrifft einen seismischen Richtsensor für Bodenschall mit mindestens einem Geophon mit ausgeprägter Richtcharakteristik, dessen bei unterschiedlichen Umfangswinkelpositionen seiner radialen Längsachse erhaltene, miteinander zu vergleichende, elektrische Schwingungs-Meßsignale mit der Richtung eines seismischen Strahls korrelieren, die quer zur Längsachse des sich in seiner neutralen Umfangswinkelposition befindlichen unwirksamen Geophons verläuft. Der vorbekannte Richtsensor ist beschrieben in einem Lehrbuch von E. F. SAWARENSKY und D. D. KIRNOS: "Elemente der Seismologie und Seismometrie", Seiten 339-344, erschienen im Jahr 1960, im folgenden kurz "SAWARENSKY und KIRNOS" genannt.

Richtsensoren für Bodenschall werden insbesondere im Niederfrequenzbereich unter ca. 1000 Hz und im Infraschallbereich unter ca. 25 Hz zur Ortung künstlicher und natürlicher

35

- 2 -

seismischer Quellen benötigt. Dazu gehören z.B. die Lokalisierung des Ortes von Gewinnungssprengungen aller Art unter und über Tage einschließlich der seismischen Lagerstättenerkundung und der Flözwelloseismik, von Rammen, Maschinen und Fahrzeugen, von Erdbeben, Gebirgsschlägen, Gasexplosionen und 5 Klopfzeichen Verschütteter ebenso wie Bodenerschütterungen durch Luftschallanregung.

Die besonders wichtigen Parameter für die Ortsbestimmung eines seismischen Herdes sind das Azimut α und der Emergenz- 10 oder Auftauchwinkel ϵ des seismischen Strahls am Beobachtungs- ort.

Abweichend vom eingangs beschriebenen Stand der Technik dieser Gattung (SAWARENSKY und KIRNOS), werden in der Erdbeben- 15 seismik derzeit bevorzugt sogenannte Arrays verwandt (s. H.-P. HARJES und M. HENGER: "Array-Seismologie" in Zeitschrift für Geophysik 1973 Band 39 Heft 6 Seite 865 ff., im folgenden kurz "HARJES und HENGER" genannt). Die Array-Seismologie bedient sich Verbundsysteme flächenhaft angeordneter Seismometer, die 20 je nach Aufgabe, z.B. für die Ortung von Nah- und Fernbeben oder für die Detektion oder Verifikation nuklearer Explosionen, in unterschiedlichen Konfigurationen angeordnet sind. Derartige Konfigurationen bilden beispielsweise eine L-, eine Kreuz-, eine Dreiecks- oder neuerdings auch eine Kreis- 25 anordnung (s.a. Veröffentlichung des Royal Norwegian Ministry of Foreign Affairs, NORSTAR Norwegian Seismic Array "Seismological Verification of a Comprehensive Nuclear Test Ban" Seiten 4-11).

Derartige Arrays sind in jeder Beziehung aufwendig, zumal deren Ausdehnung sich über einige Kilometer (Kleinarray) oder über mehrere einhundert Kilometer (Großarray) erstrecken kann. 30

- 3 -

Bei der Array-Seismologie beruht die Ermittlung des Azimuts des seismischen Strahls im wesentlichen auf der Messung der unterschiedlichen Ankunftszeiten der Welle an den einzelnen Seismometern. Diese Vorgehensweise wird "Positions-Korrelationsmethode" genannt (s. a.a.O. bei HARJES u. HENGER S. 880 ff. insbesondere in Verbindung mit Abb. 7). Mit Hilfe digitaler Meß- und Filtertechniken und speziellen Auswerteverfahren (beamforming) wird eine Winkelgenauigkeit des Azimuts α von $\pm 5^\circ$, manchmal bis zu $\pm 3^\circ$, erreicht.

Von der Array-Seismologie und den hiermit verbundenen immens aufwendigen apparativen Einrichtungen unterscheidet sich der von SAWRENSKY und KIRNOS mit dem eingangs beschriebenen bekannten Richtsensor dieser Gattung eingeschlagene Weg erheblich.

Der bekannte Richtsensor bedient sich der Azimutal-Korrelation. Dieses Meßverfahren besteht darin, daß die Phase und die Amplitude der seismischen Wellen in Abhängigkeit vom Azimut α der Schwingungsrichtung mehrerer Horizontalseismometer an einem Meßpunkt beobachtet wird. Diese Horizontalseismometer sind im Unterschied zu den Einrichtungen der aufwendigen Array-Seismologie auf einem Raum mit wenigen Dezimetern Quererstreckung konzentriert. SAWRENSKY und KIRNOS betrieben die seismologischen Aufzeichnungen mit sechs bis sieben Horizontal-Seismometern (s. SAWRENSKI und KIRNOS S. 341 Abb. 15). Hierbei ändert sich die Amplitude A des von einem Geophon erzeugten Schwingungs-Meßsignals auf der Registrierung beim Übergang von einem Kanal zum anderen nach einem Kosinusgesetz:

$$A = A_{\max} \cos (\beta - \alpha).$$

- 4 -

Hierbei ist β das Azimut der Schwingungsrichtung des Seismometers für den betreffenden Kanal und α das Azimut der Bodenschwingungen. Also hat die Kurve, die die Abhängigkeit der Empfindlichkeit des Kanals von seinem Azimut β wiedergibt,

das sogenannte Richtungsdiagramm des Kanals, die Form einer

- 5 Kosinuslinie, oder - in Polarkoordinaten dargestellt - die Form eines Kreises oder Doppelkreises. Dabei gilt

$$\begin{aligned} \beta &= \alpha & A &= A_{\max}, \\ \beta &= \alpha + \frac{\pi}{2} & A &= 0, \\ 10 \quad \beta &= \alpha + \pi & A &= -A_{\max}. \end{aligned}$$

Für die Longitudinalwellen \bar{P} werden die registrierten Amplituden derjenigen Apparate (Geophone) am größten, bei denen die Azimute ihre Achsen mit dem Azimut des seismischen

- 15 Strahls (α) übereinstimmen.

Das Richtungsdiagramm einer einfachen azimutalen Anordnung und die zugehörige Registrierung einfacher Wellen (z.B. von \bar{P}) zeigen SAWARENSKY und KIRNOS auf S. 341 Abb. 16.

20

Auf diese Weise ist aus der Registrierung der Longitudinalen P-Wellen das Azimut α des seismischen Strahls leicht zu bestimmen. α entspricht dem Azimut β des Kanals, dessen Amplitude den Maximalwert aufweist, oder es liegt senkrecht zu jenem β (d.h. $\beta = \frac{\pi}{2} + \alpha$), für das $A = 0$ ist. Diese Zweideutigkeit wird durch Verwendung eines Vertikalseismographen beseitigt. Mit Hilfe einer solchen Anordnung kann man α etwas genauer bestimmen als mittels der gewöhnlichen Dreikomponentenanordnung, da eine größere Anzahl von Projektionen verwendet wird.

Eine gewisse Verbesserung der Azimut-Bestimmung sehen SAWARENSKY und KIRNOS in Azimutalanordnungen mit geneigten

- 5 -

Seismometern, die so aufgestellt werden, daß in den Registrierungen aller Meßkanäle keine Phasenverschiebung um π auftritt und allein die Amplituden zu einer sicheren Korrelation ausreichen sollen (s. SAWARENSKY und KIRNOS S. 342, 343 Abb. 17-19).

Hierbei ergibt sich der scheinbare Austrittswinkel ϵ aus dem Verhältnis der maximalen Amplitude A_{\max} zur minimalen Amplitude A_{\min} im Richtungsdiagramm. Hierbei gilt (s. SAWARENSKY und KIRNOS S. 343 in Verbindung mit S. 342 Abb. 18):

$$\frac{A_{\max}}{A_{\min}} = \frac{\cos(\epsilon - \psi)}{\cos[\pi - (\epsilon + \psi)]} = - \frac{\cos(\epsilon - \psi)}{\cos(\epsilon + \psi)},$$

wenn ψ , der Neigungswinkel des Apparats gegen den Horizont, die Bedingung $\psi > \frac{\pi}{2} - \epsilon$ erfüllt.

Die Anwendung des eingangs beschriebenen Richtsensors dieser Gattung (SAWARENSKY und KIRNOS) wurde infolge des großen Verbrauchs an Foto-Registrierpapier und dem notwendigerweise häufigen Wechsel bei stationären Beobachtungen eingeschränkt.

Der bekannte Richtsensor (SAWARENSKY und KIRNOS) besticht im Vergleich zu den vorerwähnten seismologischen Arrays durch seine kleine Bauform, die in Verbindung mit einer großen Mobilität und einem relativ geringen Installationsaufwand die Meßaufnahme von jeweils einem Punkt ermöglicht. Der bekannte Richtsensor (SAWARENSKY und KIRNOS) wird aber hinsichtlich seiner Handhabungsweise und der sich hiermit verbindenden nicht so genauen Ablesbarkeit als verbessерungsbedürftig empfunden. Zugleich wäre eine sich aus einer verbesserten Handhabungsweise resultierende noch einfachere Bauform wünschenswert.

Ausgehend von dem eingangs beschriebenen bekannten Richtsensor dieser Gattung (SAWARENSKY und KIRNOS), liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, den bekannten Richtsensor hinsichtlich Handhabungsweise, Genauigkeit seiner Meßergebnisse und nach Möglichkeit auch hinsichtlich seines Aufbaus
5 zu verbessern und darüber hinaus universeller zu gestalten.

Entsprechend der Erfindung wurde diese Aufgabe dadurch gelöst, daß die neutrale Umfangswinkelposition durch den Quotienten der Amplituden der Meßsignale bestimmt wird, welcher auf beiden Seiten benachbart der neutralen Umfangswinkelposition in wirksamen Umfangswinkelpositionen des Geophons ermittelt werden, wobei der Schwingungsverlauf der Meßsignale bezüglich der jeweils anderen Seite gegenphasig ist.
10

15 Außer den bevorzugten elektrodynamischen Geophonen können ggf. auch induktive, kapazitive oder piezoelektrische Schwingungsmesser eingesetzt werden.

Ein wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin,
20 daß insbesondere die auffällige Gegenphasigkeit im Amplitudens-
minimumbereich der Schwingungsverläufe der Signale, insbeson-
dere zwischen zwei Umfangswinkelpositionen eines Geophons,
als Hauptkriterium für den Vergleich der beiden Amplituden
der Schwingungsverläufe aus zwei derart benachbarten Umfangs-
25 winkelpositionen benutzt wird. Der erhebliche Vorteil des
erfindungsgemäßen Richtsensors besteht darin, daß die neutrale
Umfangswinkelposition praktisch nur qualitativ - nicht wie
beim Stand der Technik quantitativ - sondern z.B. rein optisch
mittels eines Oszillographen oder rein elektrisch durch Auf-
30 finden eines Nullsignals, leicht festgestellt werden kann.

Grundsätzlich können hierbei eine Vielzahl von Geophonen
in irgendeiner Kreisanordnung (Kreisebene, gerader Kreis-
zylinder, in einer oder mehreren Ebenen) angeordnet sein und
35 hierbei in Einzelfolge oder Gruppenfolge eingeschaltet werden,

um die Nullstelle, d.h. die neutrale Umfangswinkelposition, in der das jeweils angeordnete Geophon unwirksam ist, zu ermitteln. Ebenso läßt es die Erfindung zu, ein mit seiner Längsachse radial in einer Kreisanordnung befindliches Geophon oder eine geringere Anzahl von Geophonen, deren Längsachsen jedenfalls radial bezüglich einer Kreisanordnung ausgerichtet sind, um das Zentrum der Kreisanordnung (Mittelpunkt oder Achse) gruppieren zu lassen, um so auf diese Weise während des Meßvorgangs die neutrale Umfangswinkelposition zu überfahren und diese hierbei zu ermitteln.

10

Die größere Meßgenauigkeit des erfindungsgemäßen Richtsensors beruht auf der Tatsache, daß das Meßergebnis im Phasenumkehrpunkt ermittelt wird, bei welchem die infinitesimale Amplitudenänderung $\frac{dA}{dt}$ wesentlich größer ist als im Maximum der Kosinusschwingung, zumal beim vorbekannten Richtsensor (SAWARENSKY und KIRNOS) die Amplitudenmaxima der einzelnen Kanäle miteinander verglichen werden. Dies bedeutet, daß beim Stand der Technik zur Erreichung einer größeren Meßgenauigkeit exakte Werte ermittelt werden müssen, was meßtechnisch und apparativ verhältnismäßig aufwendig ist.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung besteht darin, daß diese sich nicht nur auf die Ermittlung des Azimuts beschränkt, sondern darüber hinaus mit Vorteil bei der Ermittlung des Auftauch- bzw. Emergenzwinkels ξ eines seismischen Strahls zu verwenden ist. Eine besondere Ausführungsform des seismischen Richtsensors entsprechend der Erfindung besteht hierbei darin, daß die Umfangswinkelpositionen des Geophons sich in mindestens zwei senkrecht zueinanderstehenden Kreisanordnungen, z.B. Kreisebenen, befinden, wobei eine Kreisanordnung eine Äquatorebene zur Bestimmung des Azimuts α und die andere Kreisanordnung eine Polebene zur Bestimmung des Emergenzwinkels ξ bildet.

- 8 -

In den Zeichnungen ist die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele näher dargestellt, hierbei zeigen,

Fig. 1 in schematischer Darstellung einen seismischen Richtsensor zur Bestimmung des Azimuts,

5

Fig. 2 in schematischer Darstellung einen seismischen Richtsensor zur Bestimmung des Azimuts und des Emergenzwinkels,

10 Fig. 3 in schematischer Darstellung einen Bohrlochsensor zur Bestimmung des Azimuts oder des Emergenzwinkels,

15 Fig. 4 in schematischer Darstellung einen Bohrlochsensor, der sowohl die Bestimmung des Azimuts als auch die Bestimmung des Emergenzwinkels gestattet,

20 Fig. 5 in schematischer Darstellung einen seismischen Richtsensor für den Azimutbereich von 180° in Kompaktbausweise zur Bestimmung des Azimuts,

25

Fig. 6 in schematischer perspektivischer Darstellung einen motorisch drehangetriebenen Richtsensor zur Bestimmung des Azimuts,

30 Fig. 7 etwa eine Draufsicht gemäß dem mit VII bezeichneten Ansichtspfeil in Fig. 6,

Fig. 8 etwa eine Draufsicht gemäß dem mit VIII bezeichneten Ansichtspfeil in Fig. 6, und

35

35

- 9 -

Fig. 9 und 10 in schematischer Darstellung eine Verdeutlichung der Wirkungsweise des in Fig. 1 dargestellten Richtsensors zur Bestimmung des Azimuts,

5 Fig. 11 in schematischer Darstellung die Wiedergabe eines mit dem Richtsensor gemäß Fig. 1 ermittelten Meßschreibs bei einer einen Impuls darstellenden seismischen Schwingung.

10 Fig. 12 und 13 in schematischer Darstellung eine Verdeutlichung der Funktionsweise eines sowohl der Ermittlung des Azimuts als auch der Ermittlung des Emergenzwinkels dienenden Richtsensors gemäß Fig. 2, und

15 Fig. 14 die schematische Wiedergabe eines Doppelfächer-Richtsensors.

20

25

30

35

- 10 -

In den Zeichnungen tragen die unterschiedlich ausgeführten Richtsensoren die Bezeichnungen 10A (Fig. 1), 10B (Fig. 2) 10C (Fig. 3), 10D (Fig. 4), 10E (Fig. 5), 10F (Fig. 6+7) und 10H (Fig. 8).

5 Jedes Einzelgeophon ist grundsätzlich mit dem Buchstaben g bezeichnet, dem ggf. eine bestimmte Ziffer zugeordnet ist, welche die Reihenfolge des Geophons bezüglich seiner Umfangswinkelposition im Verhältnis zu den übrigen Geophonen angibt.

10 Zur Realisierung eines Richtsensors werden möglichst viele Geophone mit kreisförmiger Richtcharakteristik, z.B. zwölf ausgewählte 15-Hz-Geophone g1-g12 der niederländischen Firma Sensor, unter bestimmten Geophon-Schwingungsrichtungen reproduzierbar in einer oder in mehreren Ebenen, insbesondere 15 radialsymmetrisch, angeordnet. So sind Geophone g1-g12 mit gleichen Winkelabständen $\varphi = 30^\circ$ im Kreis angeordnet, wie dies anhand der Fig. 9 und 10 besonders deutlich wird.

Die den Figuren 9 und 10 entsprechende konkrete Ausgestaltung eines Richtsensors ist in Fig. 1 dargestellt.

Entsprechend den Fig. 1, 9 und 10 befinden sich alle Längsmittelachsen L der Geophone g1-g12 in derselben Ebene E, die gemäß Fig. 1 durch die ebene Kreisfläche einer kreisförmigen Montageplatte 11 gebildet ist.

Die Einzelgeophone g sind so beschaffen, daß sie entlang ihrer Längsmittelachsen L bei Auftreffen eines seismischen Strahls am empfindlichsten sind, d.h. die größte Schwingungsamplitude, somit das stärkste elektrische Signal, erzeugen.

- 11 -

Gleichgerichtet mit der jeweiligen Längsachse L irgendeines Geophons g ist ein Winkelschenkel des jeweiligen Seismometer-Azimuts, welches allgemein mit β bezeichnet ist (vgl. Fig. 9 und 10).

5 So sind beispielsweise dem Geophon g_{12} das Seismometer-Azimut β_{12} und dem Geophon g_8 das Seismometer-Azimut β_8 zugeordnet.

Das Azimut der Bodenschwingungen bzw. des seismischen
10 Strahls ist gemäß Fig. 9 mit α bezeichnet, wobei eine Vielzahl gleichzeitig vorhandener Parallelstrahlen vorausgesetzt wird, wie z.B. in Fig. 12 im Zusammenhang mit einem anderen Ausführungsbeispiel angedeutet.

15 Anhand von Fig. 9 ist vorstellbar, daß die Einzelgeophone, deren Längsachsen L exakt parallel bzw. in der Richtung des seismischen Strahls mit dem Azimut α liegen, die größten Schwingungsamplituden aufweisen. Gemäß Fig. 9 handelt es sich hier um die Geophone g_6 und g_{12} entsprechend den Seismometer-Azimuten β_6 und β_{12} . Anhand von Fig. 9 ist auch ohne weiteres vorstellbar, daß die Geophone g_3 und g_9 , denen die Seismometer-Azimute β_3 und β_9 zugeordnet sind, sich mit ihren Längsachsen L in einer jeweils neutralen Umfangswinkelposition befinden, in welcher die Geophone bezüglich der quer zu den Längsachsen L auftretenden seismischen Strahlen nicht reagieren.

Ein Fig. 9 entsprechender Meßschrieb ist in Fig. 11 wiedergegeben. Hieraus wird deutlich, daß die Geophone g_{12} und g_6 die größten Schwingungsamplituden verzeichnen, während die Geophone g_3 und g_9 praktisch nicht reagieren.

- 12 -

- Diesen Effekt macht sich die Erfindung zunutze, indem sie zur Richtungsbestimmung eines seismischen Strahls mit dem Azimut α die Stelle oder die Stellen ermittelt, an welcher oder an welchen ein Geophon oder mehrere Geophone bei Vorhandensein seismischer Bodenschwingungen nicht reagieren. Diese
- 5 Nullstellungen sind gemäß Fig. 9 den Geophonen g3 und g9 zuzuordnen, wobei die Richtung des seismischen Strahls im rechten Winkel zu deren Längsachsen L verläuft, die durch die Seismometer-Azimute β_3 und β_9 bestimmt sind.

- 10 Wie bei Betrachtung von Fig. 11 deutlich wird, sind die den Geophonen g3 und g9 zuzuordnenden Nullstellen leicht aufzufinden, weil diese Nullstellen zugleich eine Phasenumkehr der Schwingungen einleiten. Die Meßspur bei g3 stellt demnach gewissermaßen eine Spiegel-Symmetrieebene für eine Kurvenschar
- 15 dar. Die Phasenumkehr in den Nullstellen ist demnach ein besonders auffälliges, und daher leicht zu entdeckendes Merkmal. Eine Nullstelle ist deshalb sehr leicht optisch, z.B. durch Augenschein in einem Oszillogramm, zu bestimmen. Andererseits lässt sich eine solche Nullstelle auch mit einem verhältnismäßig geringen elektronischen Aufwand als eindeutiges
- 20 Signal lokalisieren.

- In Fig. 10 sind die Winkelbeziehungen und Winkelfunktionen der Geophone g1-g12 untereinander verdeutlicht. Für das
- 25 Auftreten einer Nullstelle gilt

$$\beta_0 = \alpha + \frac{\pi}{2} \text{ bzw. } \beta_0 = \alpha + \frac{3}{2}\pi.$$

Für den Seismometer-Azimutabstand φ gilt allgemein

$$\varphi = \beta_{n+1} - \beta_n.$$

Den Schwingungsamplituden ist der Buchstabe A zugeordnet.

- 30 Hierbei gilt entsprechend dem dargestellten Beispiel

$$\frac{A_2}{A_4} = \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_4} .$$

Wenn $\frac{A_2}{A_4} = 1$ ist, so ist $\frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_4} = 1$ und $\beta_0 = \frac{\beta_2 + \beta_4}{2}$

und damit das Azimut $\alpha = \beta_0 - \frac{\pi}{2} = 0$ Grad.

5 Auch bei gegenphasigen Amplituden anderer Geophonpaare läßt sich β_0 , also somit auch α , leicht aus den Werteverhältnissen errechnen bzw. tabellarisch ermitteln, so daß je nach Kanalwahl und gegenphasigen Geophonpaaren eine mehrfache Bestimmung den α -Wert sichert.

10 Für die Ermittlung des Emergenzwinkels ϵ der im folgenden noch näher zu behandelnden Polebene wird sinngemäß in entsprechender Weise verfahren. Bei den praktischen Experimenten wurde eine Winkelgenauigkeit für $\Delta \alpha$ und $\Delta \epsilon = \leq 1^\circ$ erreicht.

15 Für sämtliche gezeigten Richtsensoren gilt, daß diese sehr genau arbeiten, weil die Amplitudenänderung ΔA in der Nähe der auffälligen Phasenumkehrbereiche wesentlich größer ist als im Amplitudenmaximumbereich. Auf diese Weise sind Azimut und Emergenzwinkel genauer zu ermitteln als 20 entsprechend dem Stand der Technik, der sich ausschließlich entsprachend dem Amplituden-Maximumbereich mit $\alpha = \beta$ bediente. So springt z.B. der Cosinuswert der Amplitude im Phasenumkehrpunkt bei $\beta_0 = 90^\circ$ von 0,0000 auf 0,0523 bei einem $\Delta \beta$ um nur 3° auf 25 87° , während im AmplitudenMaximumbereich der Cosinuswert für dieselbe 3° -Änderung von 1,0000 (bei 0°) auf nur 0,9986 abnimmt. Ein anderes Beispiel Bei einer Richtungsänderung eines seismischen Strahls von 2° (z.B. von 1° nach 3°) beträgt die Änderung des Cosinuswertes der Amplitude im Phasenumkehr- 30 bereich 0,03491, während dagegen im Amplituden-Maximumbereich die Änderung des Cosinuswertes der Amplitude nur 0,00122 erreicht. Das bedeutet eine 28,6-fach höhere Amplitudenänderung im Phasensprungbereich als im A_{max} -Bereich (vgl. Fig. 10).

Im Zusammenhang der Zeichnungen, so auch der Fig. 1 sowie 9 und 10, sei noch ergänzt, daß die Anschlüsse a und b der Einzelgeophone g in elektrischer Hinsicht gleichphasig geschaltet sind.

5 Die Ebene E gemäß den Figuren 1 sowie 9 und 10 bildet zugleich die Äquatorebene für das jeweilige Azimut α bzw. β .

Die Ermittlung einer Nullstelle (z.B. bei g3 in Fig. 11) kann so geschehen, daß sämtliche Geophone g1-g12 mit 10 der Montageplatte 11 gemäß Fig. 1 raumfest angeordnet und sämtliche Geophone gleichzeitig eingeschaltet sind. Hierbei würde sich der in Fig. 11 dargestellte Meßschrieb insgesamt zur selben Zeit ergeben. Eine derartige Vorgehensweise ist dann zweckmäßig, wenn das seismische Ereignis, wie in Fig. 11 15 gezeigt, eine Impulsschwingung (gedämpfte Schwingung) mit anfänglich großen und sodann abnehmenden Amplituden darstellt. Für den Fall, daß Bodenerschütterungen für relativ lange Zeiträume periodisch als gleichartige Impulsfolgen oder 20 dauernd auftreten, ist es auch möglich, die Geophone g1-g12 gemäß Fig. 1 zum Beispiel aufeinanderfolgend zu aktivieren. In einem solchen Falle erhielte man analog zur Darstellung gemäß Fig. 11 entweder sinuslinienartige Meßspuren (ungedämpfter Schwingungsverlauf) oder Impulsseismogramme mit von Spur zu Spur unterschiedlichen Amplituden A. Hierbei würden, dasselbe 25 Azimut α für den seismischen Strahl vorausgesetzt, die von den Geophonen g12 und g6 erzeugten Schwingungszüge die größten Amplituden aufweisen, während die Nullstellen sich wiederum bei g3 und g9 befänden.

- 15 -

Weiterhin ist es bemerkenswert, daß eine Geophonebene E nicht unbedingt die relativ große Anzahl von zwölf Einzelgeophonen aufweisen muß. Für die Ortung von periodisch auftretenden Bodenschwingungen oder Impulsserien genügt beispielsweise eine Geophonanordnung gemäß den Fig. 6-8.

5

Gemäß Fig. 7 weist der Richtsensor 10F ein Einzelgeophon g auf, während der Richtsensor 10H zwei Einzelgeophone g besitzt, die in einem festen Winkelabstand von $\varphi = 5^\circ$ angeordnet sind.

10

Die perspektivische Darstellung gemäß Fig. 6 zeigt den Richtsensor 10F mit nur einem Geophon g, also ein verhältnismäßig schmales Gehäuse 12, während das Gehäuse 13 des Richtsensors 10H gemäß Fig. 8 zur Aufnahme zweier Geophone g breiter ausgelegt sein muß. Hinsichtlich ihres Bauprinzips sind die Richtsensoren 10F und 10H aber im wesentlichen gleich. Und zwar sind die Gehäuse 12, 13 um die vertikale Achse 14 zentral und drehbar bezüglich einer mit Winkelradien r versehenen kreisrunden Platte 15 angeordnet. Die Platte 15 stützt sich auf dem Gehäuse 16 eines Schrittschaltmotors ab, welcher die Geophonegehäuse 12 bzw. 13 in kleinen, konstanten Winkelschritten dreht. Auf diese Weise sind die Nullstellen analog zu Fig. 11 deutlich und mit großer Auflösung zu ermitteln, zumal ein solches als Drehgeophon ausgebildeter Richtsensor 10F bzw. 10H mit relativ kleinen Winkelschritten von beispielsweise $3,75^\circ$ pro Schritt arbeitet.

Beide Gehäuse 12, 13 tragen je einen Zeiger 23, der z.B. das Azimut α eines seismischen Strahls anzeigt, wenn sich die Geophon-Längsachse L des Richtsensors 10F oder die Winkelhalbierende Wh zwischen den beiden Geophon-Längsachsen L_1 , L_2

des Richtsensors 10H in ihrer neutralen Umfangswinkelposition befinden. Der Zeiger 23 erstreckt sich daher rechtwinklig zu L (Fig. 7) und Wh (Fig. 8).

Eine andere abweichende Anordnung von Geophonen innerhalb einer Ebene E ist in Fig. 14 dargestellt. Gemäß Fig. 14 sind 5 13 Einzelgeophone, d.h. die Geophone g1-g12, mit einem jeweili- gen Winkelabstand von $\varphi = 15^\circ$ zentralesymmetrisch um den Mittel- punkt M angeordnet. In dem zentralen Bereich von 30° sind zusätzlich acht Geophone GF1-GF8 angeordnet, welche untereinan- 10 der bzw. von den Geophonen g5, g6, und g7, einen Winkelabstand von $\varphi = 3^\circ$ aufweisen. Es ergibt sich so ein Richtsensor mit hoher Auflösung, wobei der Richtsensor zwei Auflösungs- bereiche, einen Großfänger mit den Geophonen g0-g12 und einen 15 Kleinfänger mit den Geophonen GF1-GF8 sowie g5-g7 aufweist. Auf diese Weise ergibt sich – vergleichbar der Fotografie – 20 ein Sensor mit zwei "Brennweiten", wobei dem zentralen 30° -Fänger mit den Geophonen GF1-GF8 sowie g5-g7 praktisch die Wirkung eines Teleobjektivs und dem übrigen Bereich die eines Weitwinkelobjektivs zukommt.

20

Eine praktische Ausführungsform kann in gewisser Abwand- 25 lung des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 14 darin bestehen, daß sich der über einen Umfangswinkelbereich von 30° er- streckende Kleinfänger mit den Geophonen GF1-GF8 in nicht dargestellter Art in einer zweiten – zur Ebene E parallelen – Ebene angeordnet wird. Auf diese Weise lassen sich alle 21 Geophone gemäß Fig. 14 in einem Gehäuse von nur 2000 cm^3 unterbringen.

30

35

Es ist vorstellbar, daß ein seismischer Richtsensor entsprechend den Fig. 1, 9 und 10 mit seiner Ebene E auch in eine Vertikalposition versetzt werden kann, so daß aus der Äquatorebene eine Polebene zur Bestimmung des Emergenzwinkels ξ eines seismischen Strahls wird. Entsprechend einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gemäß den Fig. 5 sowie 12 und 13 weist ein dreidimensional arbeitender Richtsensor neben der Geophon-Aufstellungsebene E (Äquatorebene) eine hierzu orthogonal angeordnete weitere Ebene P (Polebene) auf. Eine kompakte Ausführungsform ergibt sich dann, wenn 10 beide Kreisebenen einander zentrale symmetrisch durchdringen (Fig. 2 und 13).

In vielen anderen praktischen Fällen wird man statt der Erfassung des gesamten Vollraums (Fig. 2, Fig. 12 und 15 13) mit der Überdeckung eines Teilraumes (Halbkugelraum oder andere Teilkugelausschnitte) auskommen.

Für den technischen Aufbau der erfindungsgemäßen Richtsensoren stellt man sich den zu bestimmenden seismischen Strahl im Bereich der Meßstelle als Teil eines Parallelstrahlenbündels mit ebenen Wellenfronten - wie in der Optik - vor. Gemäß Fig. 12 sind diese Strahlen als Pfeile eingezeichnet und mit S bezeichnet. Die Anordnung der Geophone in zwei zueinander senkrecht stehenden Ebenen E und P gemäß Fig. 12 ergibt eine Vollraum- oder Kugelsonde. Die Einzelgeophone 25 der Äquatorebene E entsprechen grundsätzlich den Darstellungen in den Fig. 1 sowie 9 und 10. Die Geophone g₁-g₁₂ dienen daher der Ermittlung des Azimuts α , während die in der Polebene P befindlichen Geophone g₁₊ bis g₁₂₊ der Ermittlung des Emergenzwinkels ξ dienen, der gemäß Fig. 12 = Null 30 ist, wenn das seismische Strahlenbündel senkrecht auf die Polebene P trifft.

Wenn man die beiden Kreisebenen E und P gemäß Fig. 12 einander durchdringen läßt und bezüglich eines gemeinsamen Mittelpunktes M oder einer gemeinsamen Achse zentral anordnet, können von den gemäß Fig. 12 ansonsten erforderlichen 24 Geophonen zwei Geophone eingespart werden, da die Geophone g₃ 5 und g₉ der Äquatorebene E zugleich die Funktion der Geophone g₆₊ und g₁₂₊ der Polebene P übernehmen.

Die vorrichtungsmäßige Ausführung der in Fig. 13 schematisch gezeigten Ausführung ergibt sich durch Fig. 2. Zwei 10 orthogonal zueinanderstehende Kreisscheiben 17 (für die Äquatorebene E) und 18 (für die Polebene P) nehmen die Geophone in Aufnahmebohrungen 19 auf.

Es ist leicht zu ersehen, daß man Einzelgeophone so 15 im Parallelstrahlenbündel (vgl. Fig. 12) anordnen kann, als wären sie in einer bestimmten Reihenfolge, z.B. auf einer fiktiven Kreisebene, radialsymmetrisch mit gleichen Umfangswinkelabständen auf einem Vollkreis angebracht, so daß das System die gewünschte kreisförmige Richtcharakteristik für 20 eine betreffende Ebene (Äquatorebene E oder Polebene P) aufweist. Auf diese Weise lassen sich je nach Anwendungsziel Richtsensoren mit Kugelsonden- bzw. Vollraumcharakteristik oder Teilraumsonden mit Fächeranordnung in zylindrischen, quaderförmigen, kugelförmigen oder ähnlichen Gehäusen unter- 25 bringen.

So kann die Äquatorebene E z.B. für 12 Geophone mit einem Azimutabstand $\varphi = 30^\circ$ in drei kleinen, um je 30° gegeneinander versetzten, übereinander gestapelten Teilebenen mit je 90° 30 Geophonabstand auf jeder Teilebene aufgebaut sein (nicht dargestellt). Die Polebene P wird dabei in zwei kleine parallele Teilebenen aufgeteilt, auf denen die Geophone mit $\varphi = 30^\circ$

- 19 -

Winkelabstand ebenfalls in der Reihenfolge so aufgebaut sind, daß die sich hieraus ergebende Polebene P eine kreisförmige Richtcharakteristik aufweist. Hierzu wird auf den in Fig. 4 dargestellten Bohrlochsensor verwiesen.

- 5 Der Bohrlochsensor 10D gemäß Fig. 4 weist einen oberen Bereich mit einer radialen Montageplatte 20 auf, welche beiderseits (nur eine Montageplattenseite ist dargestellt) je fünf Geophone g_+ trägt, deren Längsachsen L so angeordnet sind, daß alle zehn Geophone g_+ (wiederum unter der Voraussetzung eines Parallelstrahlenbündels) eine vertikal angeordnete, die Polebene P definierende Kreisscheibe analog zur Kreisscheibe 18 gemäß Fig. 2 substituieren können. Demnach sind die zehn Geophone g_+ in einem Winkelabstand $\varphi = 30^\circ$ voneinander angeordnet. Die Geophone g_+ im oberen Bereich des Bohrlochsensores 10D dienen demnach der Ermittlung des Emergenzwinkels ϵ , während die im unteren Bereich des Bohrlochsensores 10D auf einem Kreiszylinder um dessen Zylinderachse MA umfangsverteilt und höhenversetzt angeordneten zwölf Geophone g (wiederum unter der Voraussetzung eines Parallelstrahlenbündels) eine 20 zentrale symmetrische Anordnung (vgl. Fig. 1) substituieren. Die Geophone g dienen demnach der Ermittlung des Azimuts α . Die Geophone g_3 und g_9 der Äquatorebene E übernehmen hierbei wieder zugleich die Funktion der Geophone g_{6+} und g_{12+} der Polebene P wie in Fig. 12.
- 25 Ergänzend muß noch erwähnt werden, daß die gemäß Fig. 4 beschriebene Anordnung für seigere Bohrlöcher anzuwenden ist. Der Bohrlochsensor 10D kann selbstverständlich auch für horizontale Bohrlöcher eingesetzt werden, wobei aus der 30 Ebene E die Ebene P (und umgekehrt) entstehen würde.

Selbstverständlich lassen sich oberer Bereich und unterer Bereich des Bohrlochsensors gemäß Fig. 4 auch trennen, so daß zwei gesonderte Bohrlochsonden, demnach eine P-Sonde und eine E-Sonde, entstehen würden.

5 Fig. 3 zeigt einen Bohrlochsensoren, z.B. für Flözwellenuntersuchungen, mit sieben Geophonen g0-g6 für einen 180° -Fächer mit $\varphi = 30^{\circ}$ auf einer Montageplatte 20. Je nach Drehung und Lage im Bohrloch kann dieser Bohrlochsensoren 10C als Äquatorebene E oder als Polebene P reagieren.

10 Eine kompakte Bauweise eines zur Bestimmung des Azimuts vorgesehenen Richtsensors 10E zeigt Fig. 5. Die Längsachsen L der Geophone g0-g12 in der Äquatorebene E sind so angeordnet, als würden sich sämtliche Geophone auf einer Halbkreislinie größeren Durchmessers befinden. Der Richtsensor 10E bildet daher nur einen Fächer bzw. Azimutbereich von 180° .

20 Das angedeutet dargestellte Geophon g14+ erstreckt sich mit seiner Längsachse L+ orthogonal zur Ebene E. Das Geophon g14+ dient der Ermittlung einer etwaigen Querkomponente eines seismischen Strahls. Alle vorbeschriebenen Bohrlochsensoren 10C (Fig. 3), 10D (Fig. 4) und 10E (Fig. 5) weisen kreiszylindrische Gehäuse 21 und diesbezügliche Deckel 22 zur Herstellung einer flüssigkeitsdichten Anordnung auf.

25 Für die Durchführung von Messungen und die notwendigen Auswertungen mit den vorbeschriebenen Richtsensoren stehen verschiedenartige Einrichtungen je nach Art der Bodenschwingungen und der zur Verfügung stehenden Kanalzahl (Anzahl der 30 Geophone g) bereit. Die Signale aller Einzelgeophone g in den beschriebenen Vielkanalsensoren sollten mit getrennten zwei-

adrigen Leitungen oder über entsprechende drahtlose Fernübertragung am Registrier- bzw. Auswertegerät zur Verfügung stehen, damit eine vielseitige Bearbeitung erfolgen kann. Dann lassen sich verschiedenartige Kombinations- und Auswahlshaltungen vornehmen.

5

Die gezeigten Richtsensoren sind besonders gut geeignet für Untersuchungen auch im Infraschallbereich bis herab zu 1 Hz zur Messung, Überwachung und Ortung von seismischen Ereignissen aller Art.

10

Wichtig für das Funktionieren aller Richtsensoren - wie bereits weiter oben erwähnt - ist die Einhaltung derselben Polung a, b aufeinanderfolgender Geophone g. Außerdem ist es zweckmäßig, beide Pole a, b aus jedem Geophon herauszuführen, 15 mit der Möglichkeit, jedes einzelne Geophon g selektiv abfragen zu können.

Zur Ortung des Epizentrums einer seismischen Quelle mit den beschriebenen Richtsensoren lässt sich das Azimut α bzw. 20 der Richtstrahl von einem Meßpunkt aus recht genau und relativ einfach - wie beschrieben - ermitteln. Mit einem zweiten Richtsensor an einem zweiten Meßpunkt, der vom ersten im entsprechenden Abstand steht, wird ein zweiter Richtstrahl ermittelt; der Schnittpunkt der beiden Richtstrahlen gibt 25 dann nach Art eines Vorwärtsanschnittes aus der Feldmeßtechnik den Ort des Epizentrums der seismischen Quelle an.

Wie in der Seismologie üblich, lässt sich aus dem Seismogramm der am Meßpunkt eintreffenden Bodenschwingungen die 30 Entfernung zwischen Meßpunkt und seismischer Quelle auch aus den Laufzeitunterschieden der P- und S-Welle ermitteln.

Bei Anwendung dieses Verfahrens benötigt man für die Ortung der seismischen Quelle nur einen Richtsensor.

Die Anwendung der Erfindung, nämlich der besonders einfachen Richtungsbestimmung eines seismischen Strahles (Azimut α und Auftauchwinkel Σ) durch das Verhältnis bzw. durch den Quotienten gegenphasiger Amplituden von Geophonpaaren und die technische Ausführung geeigneter Sonden bzw. Sensoren und Instrumente sind durch die in den letzten Jahren erfolgten Fortschritte in der digitalen Meß- und Auswertetechnik und in der Herstellung bester Kleingeophone mit zuverlässiger kreisförmiger Richtcharakteristik begünstigt worden. So wird z.B. mit den neuen SM 6-Geophonen (Eigenfrequenz 15 Hz) der vorerwähnten Firma Sensor in Verbindung mit digitalen Filtern, rauscharmen Verstärkern, Rechnern mit Speichern und modernen Registriereinrichtungen (z.B. Transienten-Recordern mit Bildschirmdarstellung und Schnelldruckern) ein Meßfrequenzbereich von ca. 1-1000 Hz mit hoher Zeitauflösung überdeckt. (vgl. Hummel, D.: Das neue Schwingungsmeßgerät der WASAGCHEMIE Sythen GmbH vom Typ ZEB/SM-8K für alle vorkommenden Frequenzbereiche, Nobelhefte 1989, 2/3, S.98-103). Diese Registriereinrichtungen sind für die oben beschriebenen notwendigen Phasenmessungen und Amplitudenverhältnisse der neuen Richtsensoren sehr gut geeignet. Bei hörbaren Bodenschallfrequenzen kann man natürlich auch das gegenphasige Amplitudenminimum akustisch - nach Art der elektrischen Minimum-Peilung mit Peilrahmenantenne - über Kopfhörer oder Lautsprecher ermitteln.

Zum Richtsensor 10B gemäß Fig. 2 ist noch folgendes nachzutragen: Ist der Richtsensor 10B mit seinen beiden Ebenen E und P im Raum gegen eine kreisförmige, mit Gradeinteilung versehene, horizontale Bezugs- bzw. Grundebene (nicht dargestellt) geneigt, so wird bei einem schräg einfallenden

- 23 -

seismischen Strahl z.B. für die Azimutbestimmung α diejenige Schnittlinie einer gedachten Ebene mit dem Grundkreis maßgebend, die sich durch die beiden ermittelten B_0 in der Aquatorebene E und dem gemeinsamen Sonden-Mittelpunkt M (vgl. Fig. 13) ergibt; das gilt wiederum entsprechend für die ξ -Bestimmung.

10

15

20

25

30

35

Ansprüche:

1. Seismischer Richtsensor für Bodenschall mit mindestens einem Geophon mit ausgeprägter Richtcharakteristik, dessen bei unterschiedlichen Umfangswinkelpositionen seiner radialen Längsachse erhaltene, miteinander zu vergleichende, elektrische Schwingungs-Meßsignale mit der Richtung eines seismischen Strahls korrelieren, die quer zur Längsachse des sich in seiner neutralen Umfangswinkelposition befindlichen unwirk-
5 samen Geophons verläuft, dadurch gekennzeichnet, daß die neutrale Umfangswinkelposition (bei L von g3) durch den Quo-
tienten der Amplituden (A) der Meßsignale bestimmt wird,
10 welche auf beiden Seiten benachbart der neutralen Umfangs-
winkelposition (bei L von g3) in wirksamen Umfangswinkel-
positionen (bei L von g2 und g4) des Geophons (g2; g4) ermit-
15 telt werden, wobei der Schwingungsverlauf der Meßsignale bezüglich der jeweils anderen Seite gegenphasig ist (Fig. 1;
Fig. 9-11).
- 20 2. Seismischer Richtsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Umfangswinkelpositionen (bei L) des Geophons (g1-g12; g1+-g12+) in mindestens zwei senkrecht zueinanderstehenden Kreisanordnungen, z.B. Kreisebenen (E, P), befinden, wobei eine Kreisanordnung eine Äquatorebene (E) und
25 die andere Kreisanordnung eine Polebene (P) bildet (Fig. 2,
12, 13).
- 30 3. Seismischer Richtsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die die Äquatorebene (E) darstellenden Umfangswinkelpositionen (L von g1 bis g12) der Bestimmung des Azimuts (α), und die die Polebene (P) darstellenden Umfangs-

winkelpositionen (L von g₁₊ bis g₁₂₊) der Bestimmung des Auftauch- bzw. Emergenzwinkels (Σ) des seismischen Strahls dienen (Fig. 2, 12, 13).

4. Seismischer Richtsensor nach Anspruch 2 oder nach
5 Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei senkrecht zueinanderstehende Kreisebenen (P, E) einen gemeinsamen Mittelpunkt (M) aufweisen (Fig. 2 und 13).

10 5. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangswinkelpositionen (L von g, Fig. 4) radial zu mindestens einer geraden Achse (MA) in zueinander parallelen Ebenen versetzt angeordnet sind (Fig. 4).

15 6. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Umfangswinkelpositionen (L von g) mindestens einer gleichmäßigen Winkelteilung folgen.

20 7. Seismischer Richtsensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zu einer großen Winkelteilung (g₀ bis g₁₂) eine insbesondere fächerförmige kleinere Winkelteilung (bei GF₁ bis GF₈) der Umfangswinkelpositionen (bei L) vorhanden ist (Fig. 14).

25 8. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede Umfangswinkelposition (bei L) in an sich bekannter Weise von einem gesonderten Geophon (g) besetzt ist.

30 9. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anzahl von Einzel-

geophonen (g_+ ; g_0 bis g_6) z.B. entlang einer Bezugsgeraden, z.B. auf einer von einer ebenen Platte (20) gebildeten Montagefläche (E bzw. P), angeordnet sind, und zwar entsprechend ihren in einer Kreisebene befindlichen Umfangswinkelpositionen ihrer Längsmittelachsen (L) - (Fig. 3 und 4) -.

5

10. Seismischer Richtsensor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anzahl von Geophonen (g_+ ; g_0 bis g_6) beiderseits einer Montageplatte (20) angeordnet ist, wobei die Längsachsen (L) der Geophone auf der jeweiligen Plattenseite 10 sich in einer gemeinsamen Ebene (E, P) befinden (Fig. 3 und 4).

11. Seismischer Richtsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anzahl von Geophonen (g) mit ihren Längsmittelachsen (L) radial zur Längsmittelachse (MA) eines geraden Kreiszylinders (21) in verschiedenen 15 zueinander parallelen Radialebenen angeordnet sind.

12. Seismischer Richtsensor nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine mit Geophonen (g_+) besetzte Montageplatte (20) und ein Geophone (g) enthaltender 20 gerader Kreiszylinderkörper (21) gemeinsam eine, eine Polebene (P) und eine Äquatorebene (E) aufweisende, Geophonsonde (10D), z.B. Bohrlochsonde, bilden (Fig. 4).

25 13. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Geophone (g) in der Folge nacheinander oder in beliebiger Reihenfolge einzeln oder in Gruppen einschaltbar sind.

30 14. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Drehbarkeit einer Kreisanzordnung um deren Zentrum (14) - (Fig. 6-8) -.

15. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die neutrale Umfangswinkelposition (L von g ; W_h von L_1 und L_2) mittels nur zweier wirksamer Geophon-Umfangswinkelpositionen unmittelbar benachbart der neutralen Umfangswinkelposition bestimmt wird (Fig. 6 bis 8).

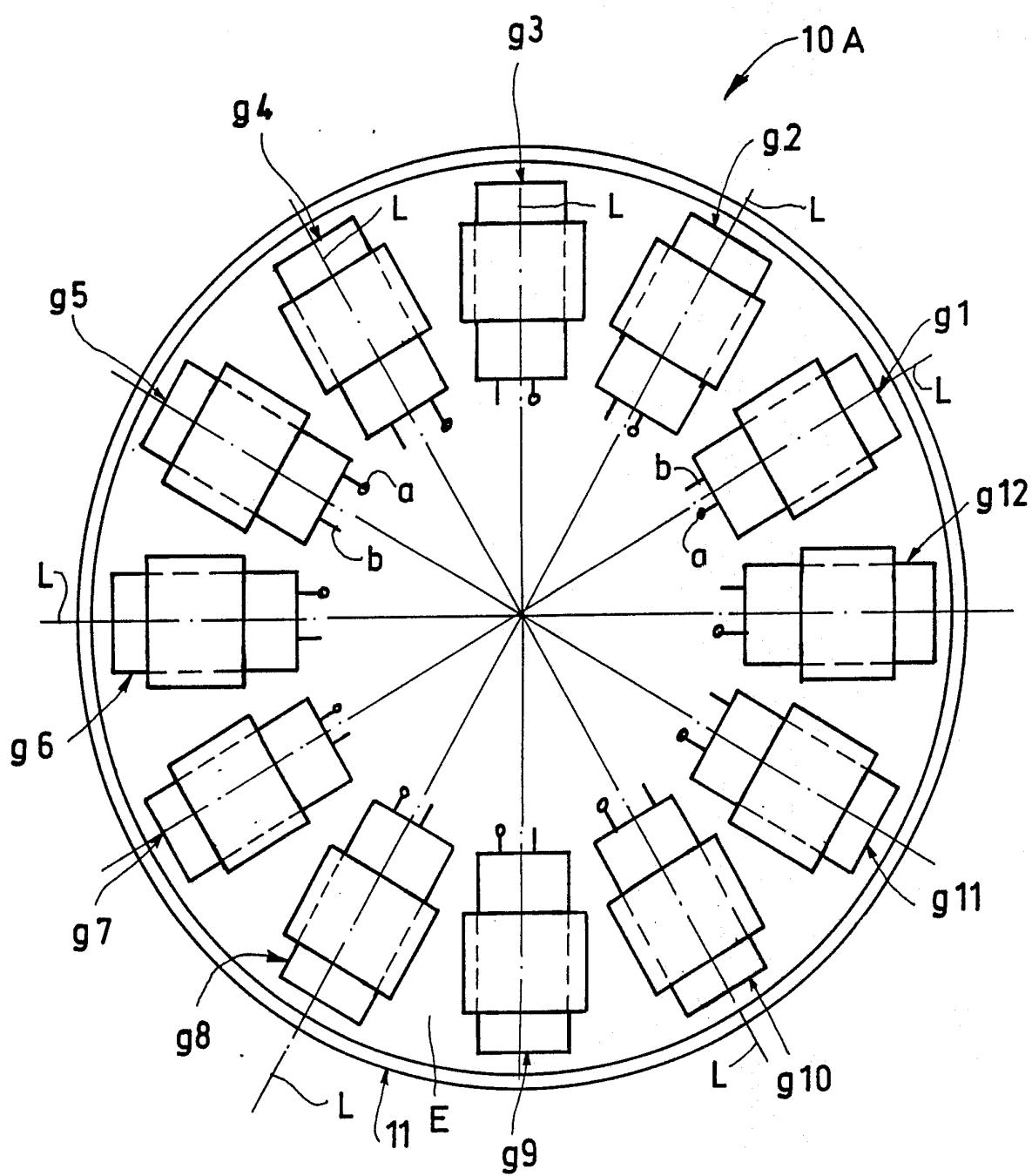
16. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Kreisanordnung nur ein in deren einzelne Umfangswinkelpositionen (L) hineinbewegbares Geophon (g) zugeordnet ist (Fig. 6 und 7).

17. Seismischer Richtsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nur zwei in einer Ebene, vorzugsweise nur einen kleinen Umfangswinkel (ϑ) von z.B. 5° miteinander bildende Geophone (g) in die einzelnen Umfangswinkelpositionen hineinbewegbar sind (Fig. 8).

18. Seismischer Richtsensor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Geophon (g) mit seiner Längsachse (L ; L_1 , L_2) zentralesymmetrisch drehfest quer auf einer Welle (14) angeordnet und mittels eines Schrittmotors (bei 13) antreibbar ist.

1 / 11

FIG. 1



2 / 11

FIG.2

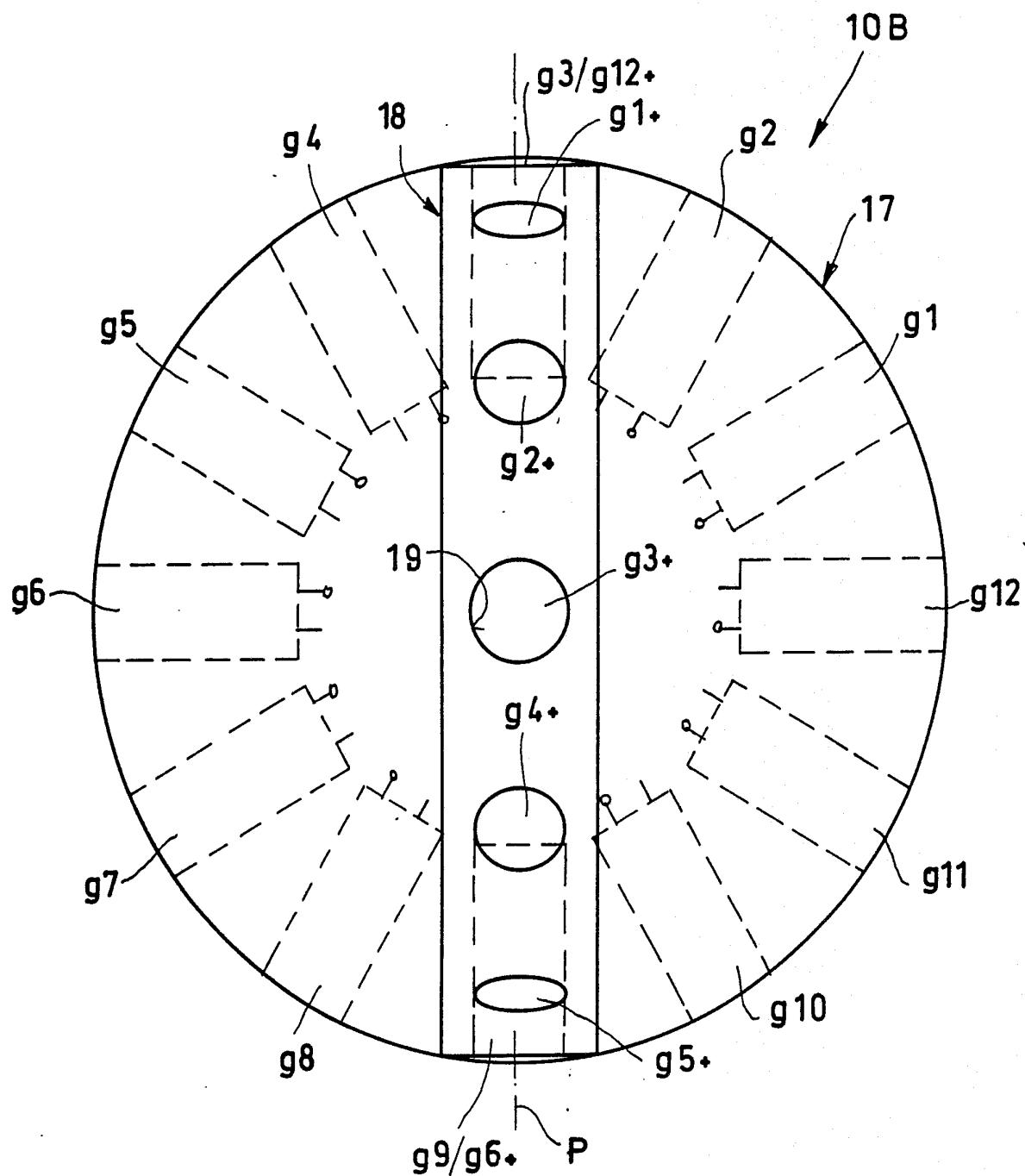
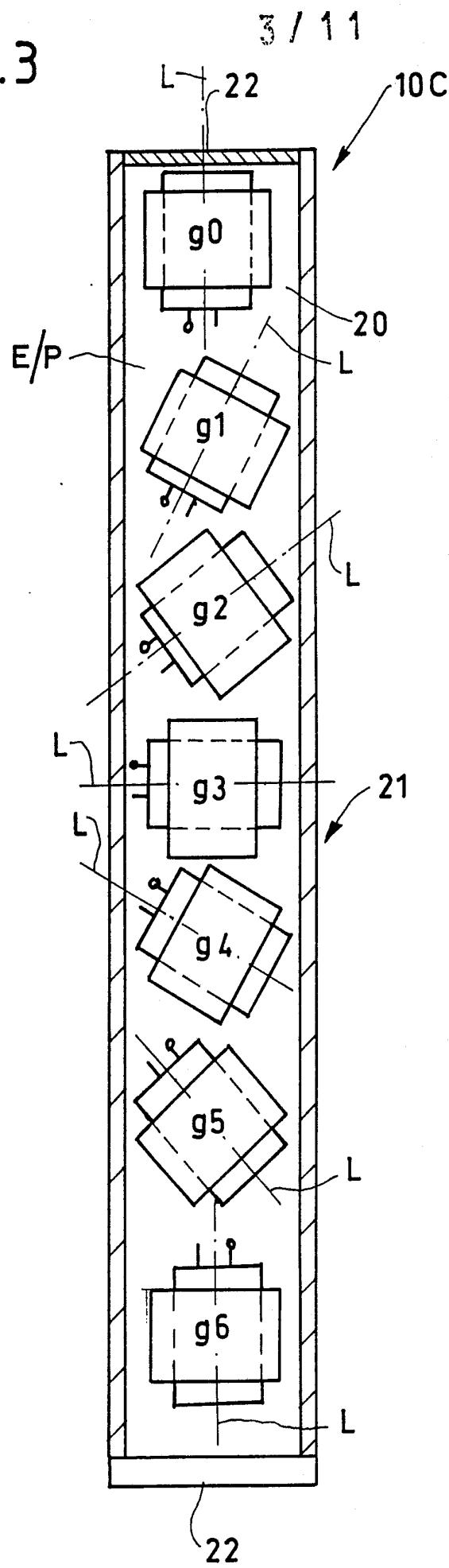


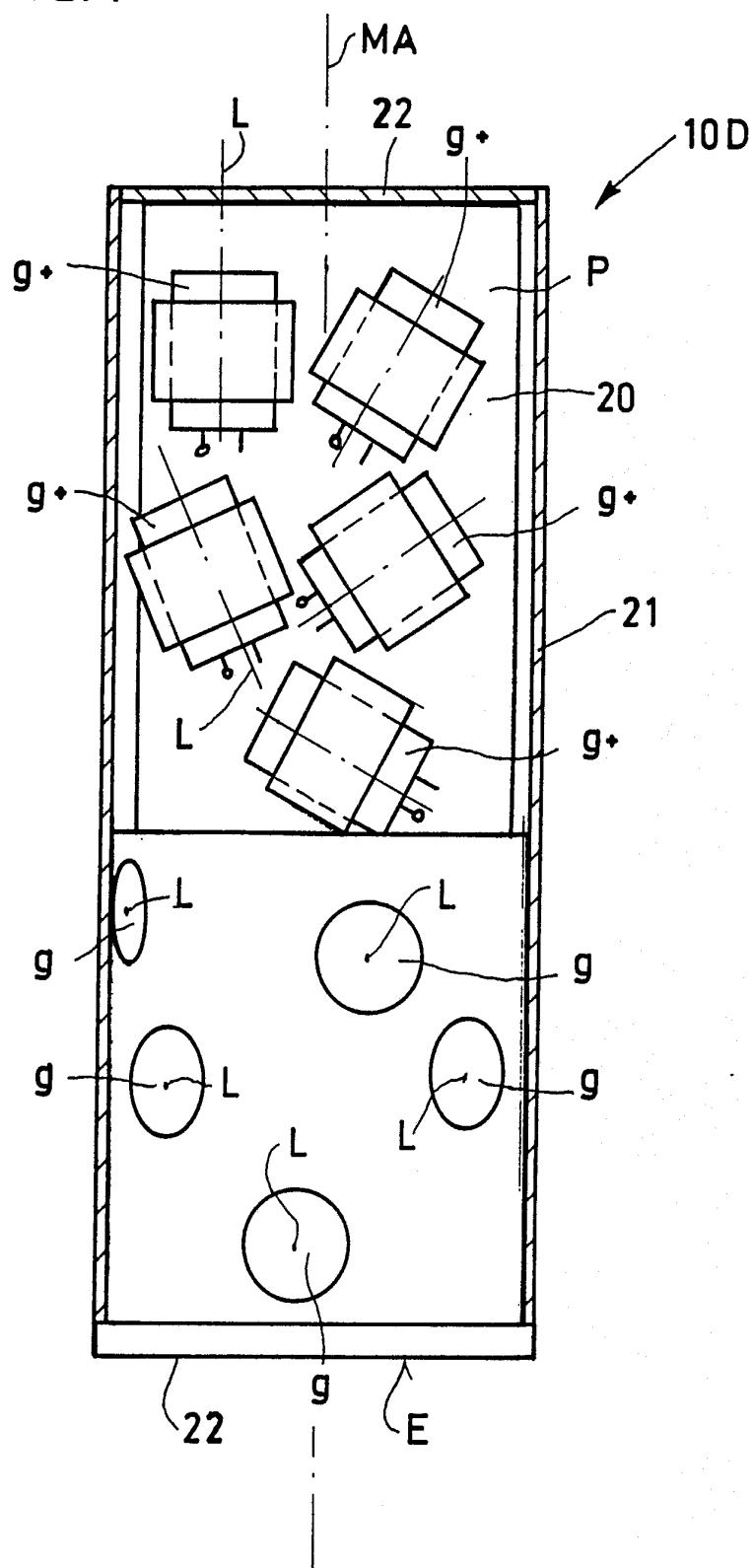
FIG. 3

3 / 11



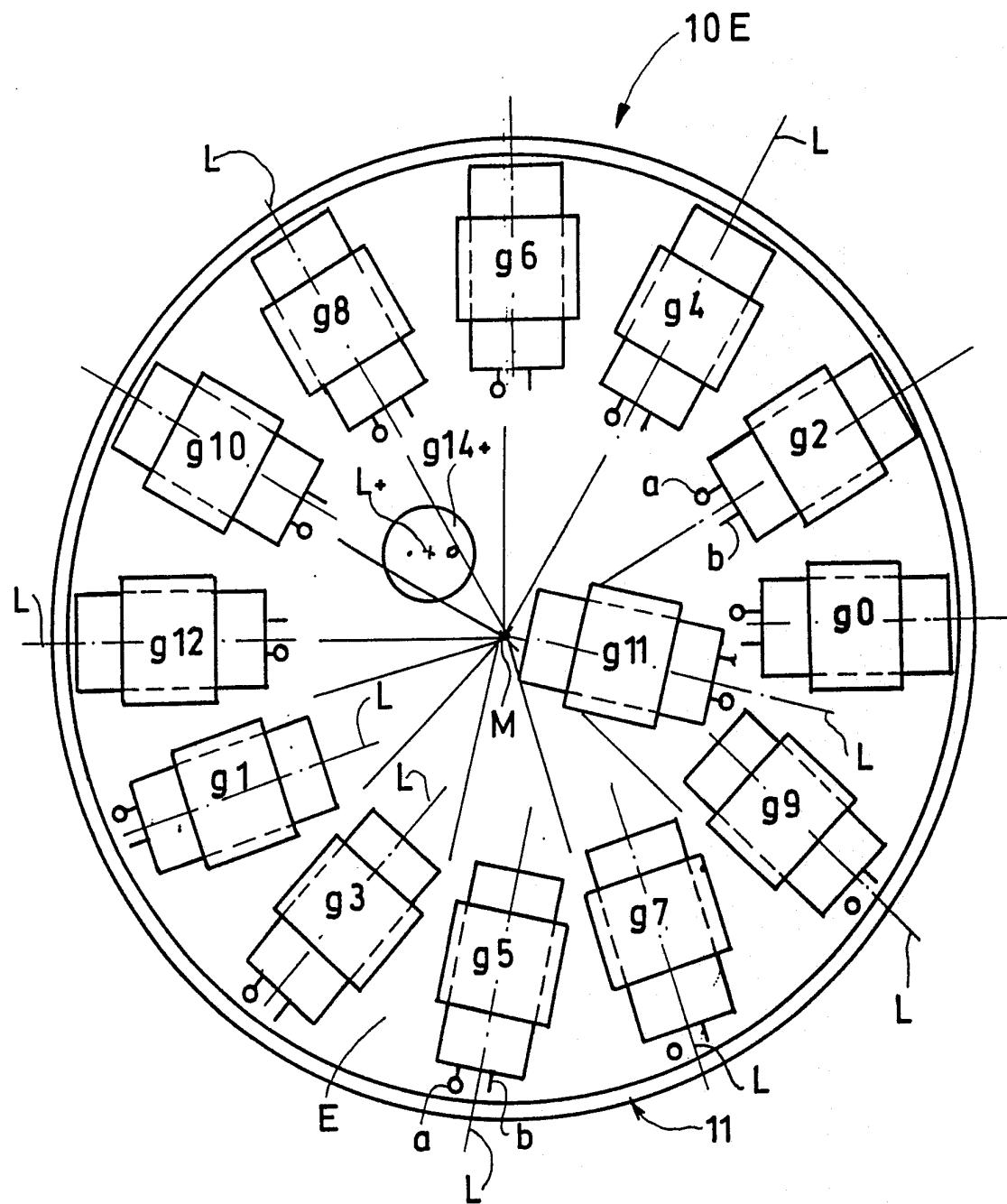
4 / 11

FIG.4



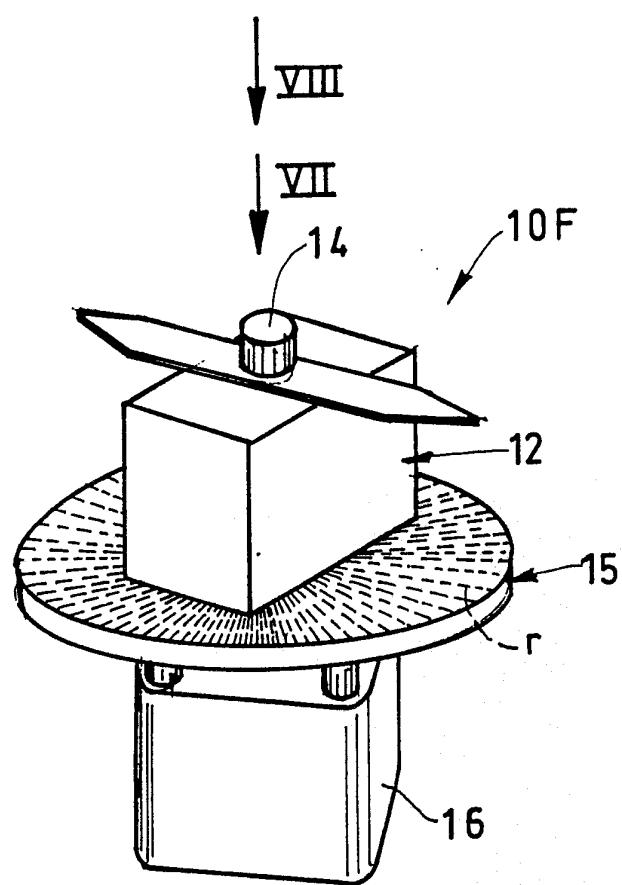
5 / 11

FIG. 5



6 / 11

FIG. 6



7 / 11

FIG.7

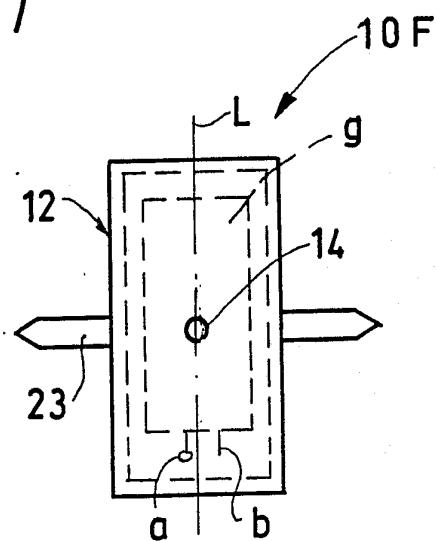
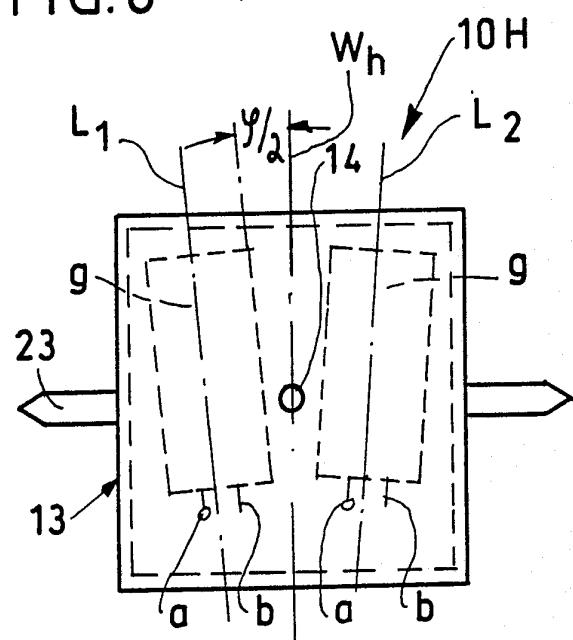


FIG.8



8 / 11

FIG.9

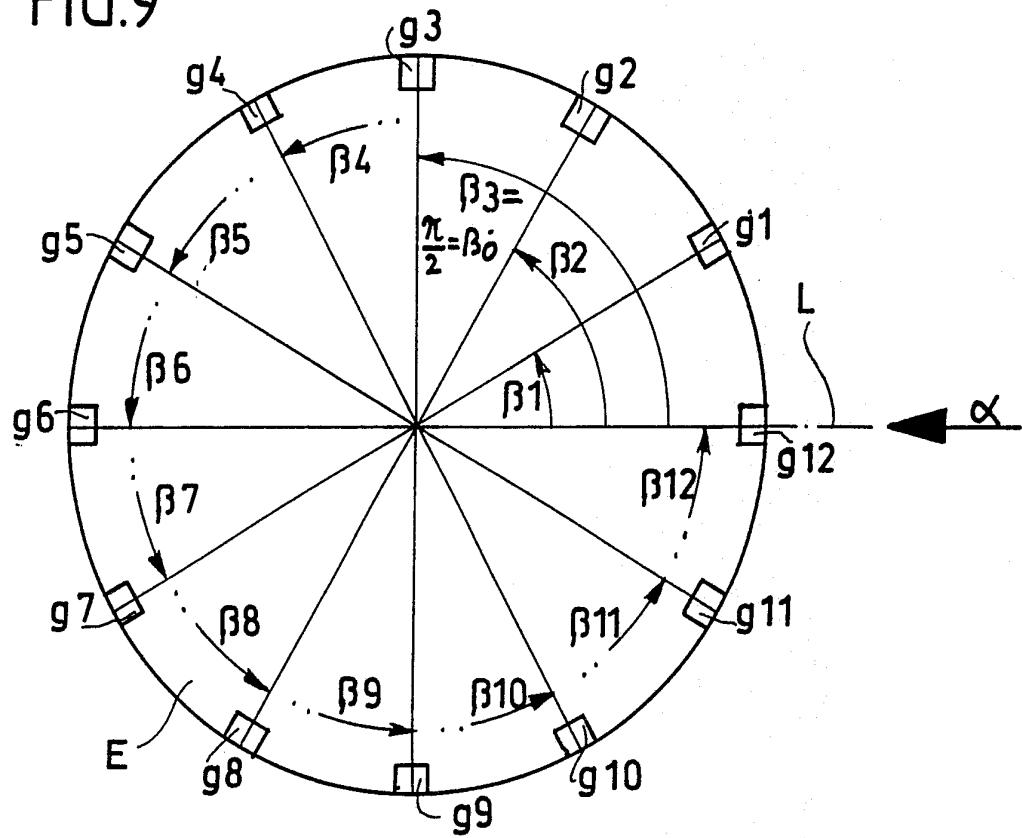
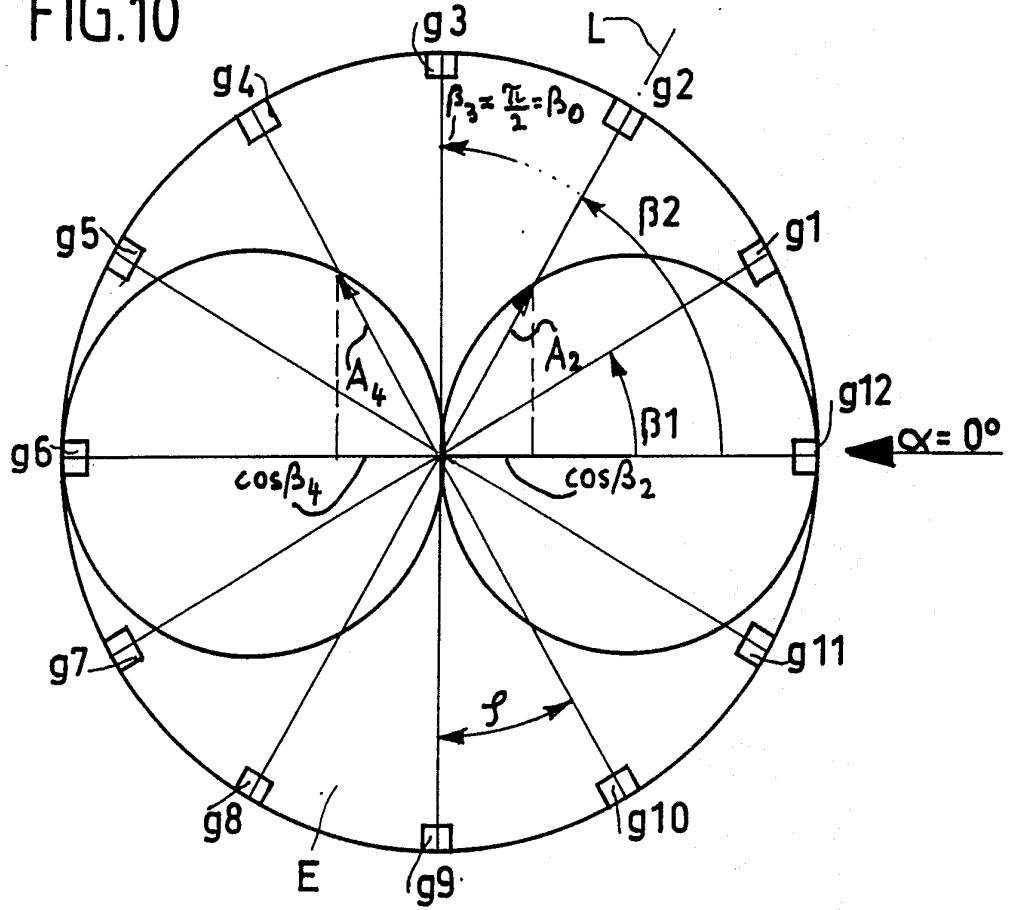
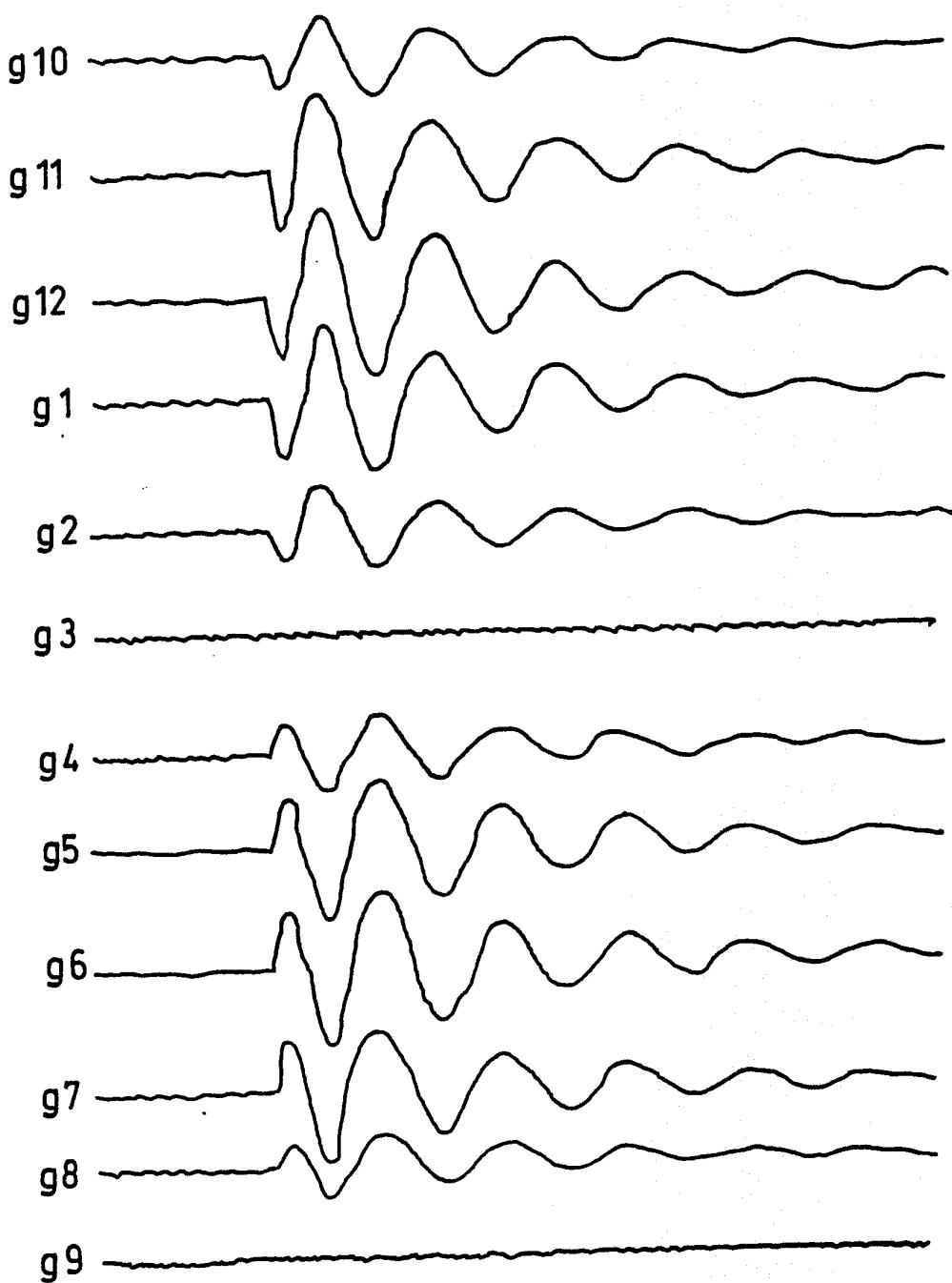


FIG.10



9 / 11

FIG.11



10 / 11

FIG.13

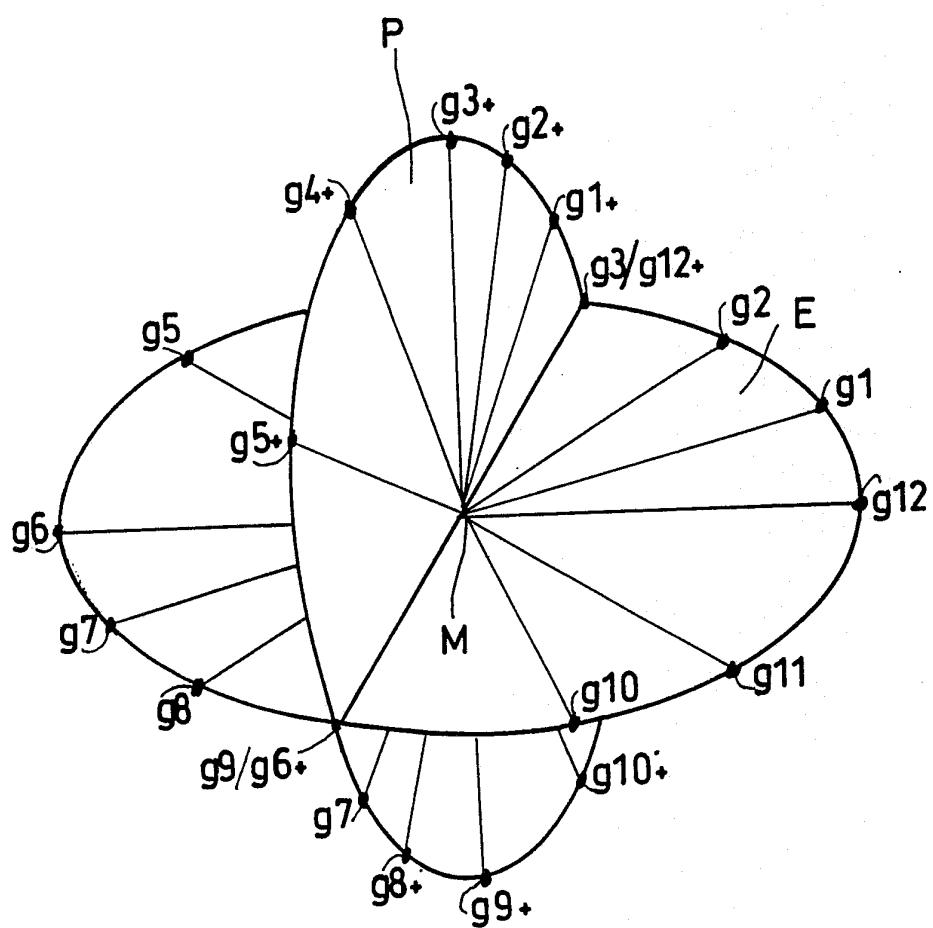


FIG.14

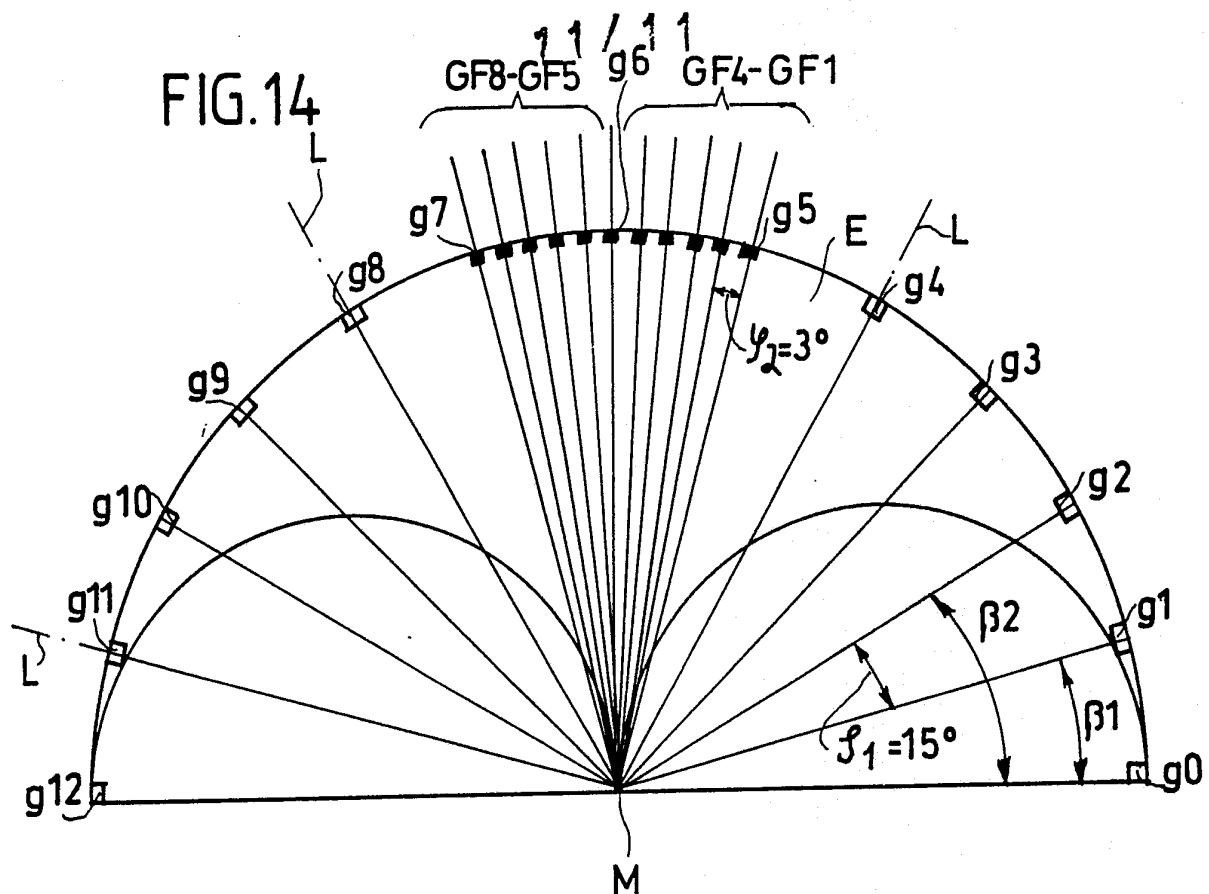
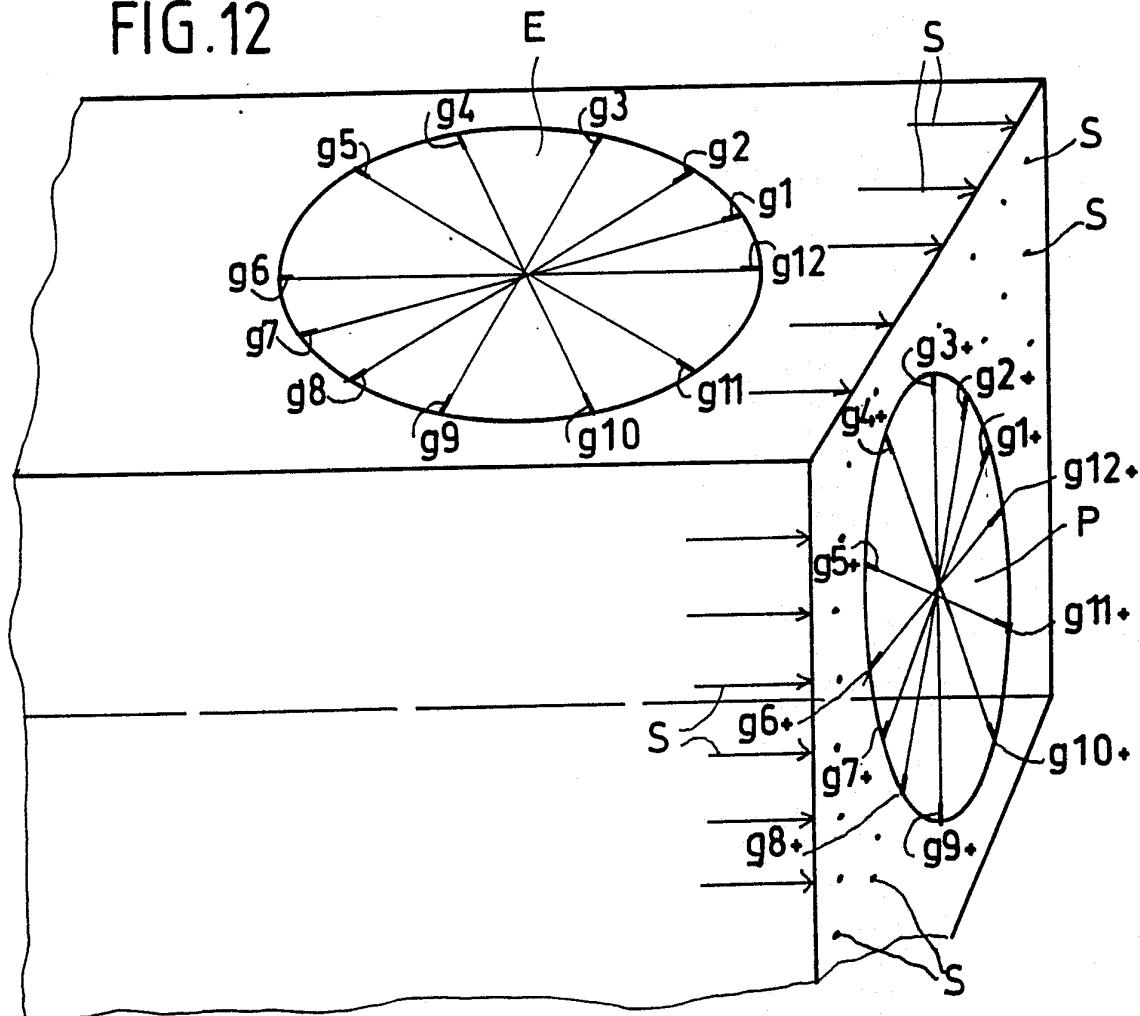


FIG.12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/DE 90/00785

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) ⁶

According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC

Int. Cl. ⁵

G 01 V 1/20

II. FIELDS SEARCHED

Minimum Documentation Searched ⁷

Classification System	Classification Symbols
Int. Cl. ⁵	G 01 V ; G 10 K

Documentation Searched other than Minimum Documentation
to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁸

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ⁹

Category ¹⁰	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³
X	US, A, 2406014 (W.R. HARRY) 28 December 1943 see column 2, lines 22 - 47; figures	1,6
Y	—	2-5
Y	US, A, 4300220 (D.D. GOFF ET AL.) 10 November 1981 see column 5, line 9 - column 6, line 30; claims 1, 6; figures 3, 7, 8	2-5
A	US, A, 3803543 (A. CIOCCIO) 09 April 1974 see abstract; figure 1 see column 3, line 58 - column 4, line 2	6,8
A	US, A, 3573723 (D. MICHON) 06 April 1971 see claims; figure 3	13

* Special categories of cited documents: ¹⁰

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"S" document member of the same patent family

IV. CERTIFICATION

Date of the Actual Completion of the International Search

07 February 1991 (07.02.91)

Date of Mailing of this International Search Report

27 February 1991 (27.02.91)

International Searching Authority

EUROPEAN PATENT OFFICE

Signature of Authorized Officer

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

DE 9000785

SA 41031

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EIDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

07/02/91

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-2406014		None	
US-A-4300220	10-11-81	None	
US-A-3803543	09-04-74	None	
US-A-3573723	06-04-71	DE-A- 1901341 FR-A- 1588788 OA-A- 2966	04-09-69 16-03-70 15-12-70

INT' NATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 90/00785

I. KLASSEFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationsymbolen sind alle anzugeben)⁶

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

Int.Kl. 5 G01V1/20

II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff⁷

Klassifikationssystem	Klassifikationsymbole	
Int.Kl. 5	G01V ;	G10K

Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen⁸III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN⁹

Art. ¹⁰	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
X	US,A,2406014 (W.R.HARRY) 28 Dezember 1943 siehe Spalte 2, Zeilen 22 - 47; Figuren	1, 6
Y	---	2-5
Y	US,A,4300220 (D.D.GOFF ET AL.) 10 November 1981 siehe Spalte 5, Zeile 9 - Spalte 6, Zeile 30; Ansprüche 1, 6; Figuren 3, 7, 8 ---	2-5
A	US,A,3803543 (A.CIOCCIO) 09 April 1974 siehe Zusammenfassung; Figur 1 siehe Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 2 ---	6, 8
A	US,A,3573723 (D.MICHON) 06 April 1971 siehe Ansprüche ; Figur 3 ---	13

⁶ Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen¹⁰:

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders hervorzuheben ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "I" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung helegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

IV. BESCHEINIGUNG

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1 07. FEBRUAR 1991

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

27. FEB 1991

Internationale Recherchenbehörde

EUROPAISCHES PATENTAMT

Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten

SWARTJES H.M.

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.**

DE 9000785
SA 41031

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07/02/91

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-2406014		Keine	
US-A-4300220	10-11-81	Keine	
US-A-3803543	09-04-74	Keine	
US-A-3573723	06-04-71	DE-A- 1901341 FR-A- 1588788 OA-A- 2966	04-09-69 16-03-70 15-12-70