

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 704 575 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.04.1996 Patentblatt 1996/14

(51) Int. Cl.⁶: **E01C 19/28**

(21) Anmeldenummer: 95110476.9

(22) Anmeldetag: 05.07.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FR GB IT LI NL SE

• **Mötz, Karl-Hermann**
D-56283 Nörtershausen (DE)

(30) Priorität: 29.09.1994 DE 4434779

(74) Vertreter: **Brommer, Hans Joachim, Dr.-Ing. et al**
Patentanwälte Dipl.-Ing. R. Lemcke
Dr.-Ing. H.J. Brommer,
Postfach 40 26
D-76025 Karlsruhe (DE)

(71) Anmelder: **BOMAG GmbH**
D-56154 Boppard (DE)

(72) Erfinder:
• **Blancke, Uwe**
D-56070 Koblenz (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum dynamischen Verdichten von Boden**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum dynamischen Verdichten von Boden, wobei die Schwingungsbewegung der Walze oder eines

mit ihr verbundenen Teiles erfaßt wird und bei einer Störung der Walzengrundschwingung der vertikale Anteil der Schwingungskraft verringert wird.

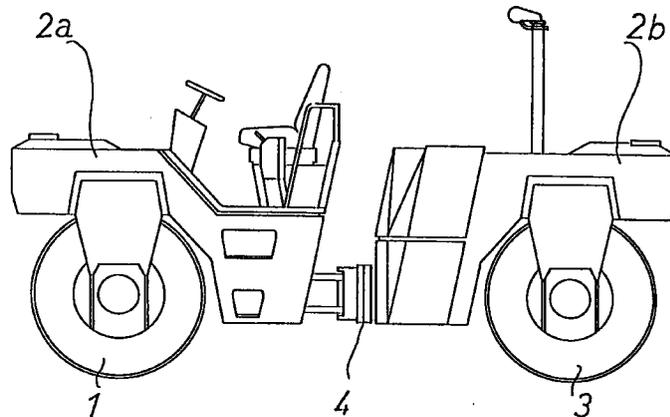


Fig.1

EP 0 704 575 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum dynamischen Verdichten von Boden mit mindestens einer verfahrbaren Walze, die Schwingungsbewegungen durchführt, indem eine in ihrer Richtung verstellbare Schwingungskraft auf die Walze einwirkt, so daß wahlweise horizontale Schubkräfte und/oder vertikale Druckkräfte auf den Boden ausgeübt werden.

Ein derartiges Verdichtungssystem ist durch die EP-A 530 546 der gleichen Anmelderin bekannt. Es hat den Vorteil, daß je nach der Bodenbeschaffenheit, der zu verdichtenden Schichttiefe und anderen Parametern wahlweise überwiegend mit Schubkräften oder mit vertikalen Druckkräften verdichtet werden kann.

Der vorliegenden Anmeldung liegt die Aufgabe zugrunde, dieses Verdichtungssystem weiter zu verbessern und insbesondere eine Überverdichtung des Bodens mit lokaler Kornzertrümmerung und Verformung der Fahrbahn-Oberfläche auszuschließen.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich der Verfahrensmerkmale dadurch gelöst, daß die Schwingungsbewegung der Walze oder eines mit ihr verbundenen Teiles erfaßt wird und daß bei einer Störung der Walzenrundschwingung der vertikale Anteil der Schwingungskraft bis zum annähernden Ausregeln der Störung verringert wird.

Die Erfindung geht dabei von der Erkenntnis aus, daß mit zunehmender Verdichtung des Bodens und dementsprechend zunehmender Boden Härte die Verdichtungswalze zum Springen neigt, wodurch nicht nur die Verdichtungswalze mechanisch hoch beansprucht wird sondern auch die Verdichtungsqualität abnimmt. Der Fahrer kann dieses Springen meist nur unzureichend körperlich oder visuell wahrnehmen und den Verdichtungsvorgang dann abbrechen, was meistens zu spät ist. Demgegenüber gestattet die vorliegende Erfindung, den für das Springen und die Überverdichtung verantwortlichen Anteil der Schwingungsbewegung rechtzeitig zu reduzieren und die Verdichtung statt dessen verstärkt auf horizontale Schubkräfte umzustellen, bei denen ein Springen ausgeschlossen ist. Die Erfindung kann also einerseits als Antisprung-Riegelung, andererseits als Überverdichtungssperre angesehen werden. Sie gestattet es daher auch, mit höheren Schwingungsamplituden als bisher zu arbeiten, weil Beschädigungen der Walze durch harte Böden nicht mehr möglich sind.

Zur Erfassung der durch das Springen ausgelösten Störungen der Walzenrundschwingung bieten sich dem Fachmann verschiedene Möglichkeiten. Es kann die Amplitude der Schwingungsbewegung oder eine Ableitung hiervon, insbesondere die Beschleunigung, erfaßt werden. So nimmt beispielsweise der vertikale Anteil der Beschleunigung bei nachlassendem Bodenkontakt der Walze zu.

Es kann aber gleichermaßen auch die Periodendauer der Schwingungsbewegung erfaßt werden, da hier beim Springen nahezu eine Verdopplung eintritt.

Schließlich ist es auch möglich, Störungen der Walzenrundschwingung durch eine Frequenzanalyse des abgestrahlten Luftschalles zu erfassen.

Als Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verdichtungsverfahrens wird von einem Verdichtungsgerät mit wenigstens zwei parallel oder fluchtend zur Walzenachse angeordneten, gegensinnig synchron rotierenden Erregerwellen ausgegangen, deren Position und/oder Phasenlage derart versellbar ist, daß ihre resultierende Fliehkraft wahlweise horizontale Schubkräfte und/oder vertikale Druckkräfte auf den Boden ausübt. Das erfindungsgemäße Verfahren wird dann in der Weise realisiert, daß die Walze oder ein mit ihr verbundenes Teil mit einem Bewegungsfühler zur Erfassung der Schwingungsbewegung in Wirkverbindung steht und daß der Bewegungsfühler an einem Regelkreis angeschlossen ist, der bei einer Störung der Walzenrundschwingung die Position und/oder Phasenlage der Erregerwellen im Sinne einer Verringerung der vertikalen Druckkräfte verstellt.

Aus konstruktiven Gründen empfiehlt es sich dabei, daß die Erregerwellen etwa horizontal nebeneinander angeordnet sind und die Verstellung zwischen horizontalen und vertikalen Fliehkraften durch Änderung der Phasenlage der Erregerwellen bewirkt wird, wie dies an sich bekannt ist. Meist stehen die Erregerwellen über Zahnräder miteinander in Wirkverbindung, so daß zur Verstellung der Phasenlage der einen Erregerwelle eine fixierbare Drehlagerung zwischen ihr und dem ihr zugeordneten Zahnrad eingesetzt werden kann. Diese Drehlagerung besteht zweckmäßig aus einer mit dem Zahnrad verbundenen Verstellwendel, in der axial verschraubbar eine Verstellachse steckt, die axial verschiebbar, aber drehfest mit der Erregerwelle verbunden ist. Die Phasenlage sollte dabei um über 150°, insbesondere bis nahezu 360° verstellbar sein.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Erregerwellen in einem Gestell zu lagern, das um eine zu ihnen parallele Achse verschwenkbar und in der gewünschten Schwenkposition feststellbar ist. Dadurch lassen sich gemäß der EP-A 530 546 ebenfalls wahlweise vertikale Druckkräfte und/oder horizontale Schubkräfte erzeugen. Ausgehend von einer Bezugsposition des Gestelles mit vertikal übereinander angeordneten Erregerwellen sollte das Gestell dabei beidseits, insbesondere bis etwa 90° verstellbar sein.

In beiden Fällen ist es besonders zweckmäßig, die Einstellung der Phasenlage oder die Einstellung der Position der Erregerwellen in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung vorzunehmen. Dadurch unterstützt ein Anteil der in der Walze erzeugten Schwingungskraft den Fahrtrieb der Walze statt ihm entgegenzuwirken.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung anhand von Ausführungsbeispielen; dabei zeigt:

- Figur 1 eine Seitenansicht des Verdichtungsgerätes in seiner Gesamtheit;
- Figur 2 eine schematische Darstellung zweier Erregerwellen zur Erzeugung vertikaler Druckkräfte;
- Figur 3 eine Darstellung entsprechend Figur 2 bei veränderter Phasenlage zur Erzeugung horizontaler Schubkräfte;
- Figur 4 eine ähnliche schematische Darstellung für kombinierte Verdichtung bei Vorwärtsfahrt;
- Figur 5 eine entsprechende Darstellung bei der Rückwärtsfahrt
- Figur 6 einen Axialschnitt durch eine Walze
- Figur 7 den Regelkreis für die Sprungbegrenzung und
- Figur 8 die Änderung der Walzenschwingung beim Springen.

In Figur 1 erkennt man ein Verdichtungsgerät mit zwei Rüttelwalzen, das äußerlich den herkömmlichen Aufbau aufweist, also aus einer vorderen Walze 1 mit Aufbau 2a und Führerstand und aus einer hinteren Walze 3 mit Aufbau 2b besteht, wobei die beiden Aufbauten 2a und 2b zur Lenkbarkeit des Fahrzeuges über ein vertikales Schwenklager 4 miteinander verbunden sind.

Figur 2 zeigt schematisch die beiden Erregerwellen 5 und 6, die jeweils im Inneren der Walze 1 und 3 angeordnet sind. Bei der hier beschriebenen Alternative liegen beide Erregerwellen horizontal nebeneinander und sie behalten diese Position unabhängig von der Walzendrehung und unabhängig davon, ob vertikale Druckkräfte, horizontale Scherkräfte oder eine Kombination hiervon erzeugt werden soll. Sie drehen gegensinnig, können aber hinsichtlich der Phasenlage ihrer Unwuchten relativ zueinander verdreht werden.

Bei der in Figur 2 dargestellten Phasenlage erzeugen die Erregerwellen eine resultierende Schwingungskraft, die ausschließlich in Vertikalrichtung wirkt, und zwar periodisch nach oben und nach unten. Dies läßt sich leicht durch die rechts abgebildeten, verkleinerten Schemazeichnungen erkennen, wo die Erregerwellen jeweils um 90° weitergedreht sind. Man sieht sofort, daß die Horizontalkomponenten der von den Erregerwellen erzeugten Fliehkräfte sich jeweils aufheben, wogegen sich die Vertikalkomponenten addieren. Infolge dessen wird eine sinusförmige Schwingungskraft erzeugt, entsprechend dem in der Mitte gezeigten Kurvenverlauf.

Wird demgegenüber die Phasenlage der beiden Erregerwellen relativ zueinander um 180° verändert, so erhält man die in Figur 3 dargestellte Situation. Geht man wiederum die vier verkleinerten Schemazeichnungen

auf der rechten Seite durch, so wird deutlich, daß sich jetzt die Vertikalkomponenten der Fliehkräfte jeweils aufheben, wogegen sich die Horizontalkomponenten addieren. Man erzeugt somit abwechselnd vorwärts und rückwärts gerichtete Horizontalkräfte entsprechend dem sinusförmigen Verlauf in der mittleren Abbildung von Figur 3.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß die Erregerwellen bei der in Figur 3 dargestellten Phasenrelation zusätzlich auch ein Drehmoment um die Walzenachse erzeugen, das abwechselnd in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung wirkt. Dieses Drehmoment wird über elastische Lager aufgefangen.

Während die beiden vorgenannten Figuren jeweils Extremstellungen der Phasenlage zeigen, bei denen entweder reine vertikale Druckkräfte oder reine horizontale Schubkräfte auf die Walze einwirken, betreffen die Figuren 4 und 5 Zwischenstellungen, bei denen gleichzeitig Druckkräfte wie auch Schubkräfte erzeugt werden. Dies hat sich im praktischen Einsatz als besonders zweckmäßig erwiesen. Ausgehend von Figur 2 ist hier die Erregerwelle 6 nur um etwa 45° vorgedreht worden (Figur 4) oder um 45° zurückgedreht worden (Figur 5). Man erhält dann eine relativ große Vertikalkraftkomponente V bei kleiner Horizontalkraftkomponente H entsprechend dem jeweils rechts daneben dargestellten sinusförmigen Verlauf. Der Unterschied zwischen beiden Fig. 4 und Fig. 5 besteht darin, daß der resultierende Horizontalkraft-Anteil an die gewünschte Fahrtrichtung angepaßt ist.

Um die Verstellung der Phasenlage beider Erregerwellen relativ zueinander zu verdeutlichen, wird nunmehr auf Figur 6 eingegangen. Sie zeigt einen Vertikalschnitt durch die Walze 1, wobei jedoch die beiden Erregerwellen mit samt ihrer Lagerung um 90° in die Zeichnungsebene hineingeklappelt worden sind.

Die Walze 1 ist in an sich bekannter Weise an der einen Stirnseite über Kugellager 7 und Gummielemente 8 an einer Stütze 9, an der anderen Seite über Gummielemente 10 und den Antriebsmotor 11 an einer Stütze 12 aufgehängt. Die Stützen 9 und 12 laufen jeweils nach oben zum Rahmen, also zu dem Aufbau 2a.

Im Inneren der Walze und ihr gegenüber verdrehbar sind die beiden Erregerwellen 5 und 6 angeordnet. Ihr Antrieb erfolgt über einen Vibrationsmotor 13, der die Erregerwelle 5 direkt und die andere Erregerwelle über ein Zahnradpaar 14, 15 in Rotation versetzt. Wesentlich ist nun, daß die Erregerwelle 6 relativ zum Zahnrad 15 verdreht werden kann, und zwar mittels einer mit dem Zahnrad verbundenen Verstellwendel 16. Diese Verstellwendel weist einen oder mehrere Schraubengänge 16a auf und wird in ihrem Inneren von einer Verstellachse 17 durchquert. Diese Verstellachse 17 trägt ihrerseits einen oder mehrere radial vorstehende Bolzen 17a, die den Schraubengang 16a durchqueren und eine formschlüssige Verbindung zwischen Zahnrad 15 und Verstellachse 17 gestatten. Die Verstellachse 17 ist ihrerseits durch einen Verstellmechanismus 18 axial verschiebbar, jedoch gegenüber diesem Verstellmechanismus frei

drehbar. Andererseits ist sie axial verschiebbar, aber drehfest mit der Erregerwelle 6 verbunden.

Auf diese Weise ist es durch axiale Verschiebung der verstellachse 17 möglich, daß sie sich entlang dem Schraubengang 16a in die mit dem Zahnrad verbundene Verstellwendel 16 hineinschraubt oder aus ihr heraus-schraubt, wobei die drehfest mit der Verstellachse 17 verbundene Erregerwelle 6 in der einen oder in der anderen Richtung relativ zum Zahnrad 15 verdreht wird. Damit wird ihre Phasenlage relativ zur Phasenlage der Erregerwelle 5 verstellt und es lassen sich die in den Figuren 2 bis 5 dargestellten Zuordnungen und beliebige Zwischenwerte einstellen. Der gesamte Verdrehwinkel der Erregerwelle 6 relativ zur Erregerwelle 5 beträgt nahezu 360°.

Aus Stabilitätsgründen sind die Erregerwellen 5 und 6 mit samt dem Verstellmechanismus 18 in einem Gehäuse 19 gelagert, das seinerseits verdrehbar in der Trommel 1 gelagert und über die Gummielemente 8 mit der Stütze 9 verbunden ist.

Der Regelkreis für die Sprungbegrenzung ist in Figur 7 dargestellt. Er besteht aus einem Beschleunigungsaufnehmer 20, der beispielsweise die Vertikalbeschleunigung der Walze 1 erfaßt, wobei er zweckmäßigerweise einem nicht drehenden Teil der Walze oder der Walzenaufhängung zugeordnet ist. Die gemessenen Istwerte werden einem Rechenwerk 21 zugeführt, das die Periodizität, im vorliegenden Fall also die Zeitdauer der vertikalen Schwingungskomponente der Walze ermittelt und einem vorgegebenen Sollwert umgekehrter Polarität überlagert. Wird der vorgegebene Sollwert überschritten, so erhält ein Stellglied 22 ein Signal und betätigt seinerseits über einen Stellzylinder 23 den Verstellmechanismus 18, derart, daß die Phasendifferenz zwischen den Erregerwellen 5 und 6 so verstellt wird, daß die vertikale Druckkraft zugunsten der horizontalen Schubkraft abnimmt.

Figur 8 zeigt die Veränderung im Schwingungsverhalten, wenn die Walze durch zunehmende Bodensteifigkeit zu springen beginnt. Dabei ist im linken Bild von Figur 8a die vertikale Beschleunigungskomponente über der Zeit bzw. über dem Verdrehwinkel der Erregerwellen aufgetragen, im rechten Bild die vertikalen und horizontalen Beschleunigungskomponenten in Polarkoordinaten. Der dargestellte Kurvenverlauf - eine nahezu genaue Sinuskurve bzw. ein Kreisbogen in Polarkoordinaten - stellt sich unter normalen Verdichtungsbedingungen ein. Mit zunehmender Bodensteifigkeit verlassen beide Kurvenzüge ihre Idealform und es stellen sich schließlich die in Figur 8b gezeigten Konfigurationen ein. Insbesondere nimmt die Beschleunigung in Vertikalrichtung deutlich zu und anhand der Polarkoordinaten erkennt man, daß aus dem Kreis zwei Ellipsen werden, die Periodendauer sich also verdoppelt. Ursächlich hierfür ist das Springen der Walze, weil jeweils einer Umdrehung der Walze in der Luft eine Umdrehung mit Bodenkontakt folgt.

Im gezeigten Beispiel wird man als oberen Grenzwert für die vertikale Beschleunigungskomponente etwa

40m/s² in den Regelkreis eingeben, damit es keinesfalls zu dem in Figur 8b gezeigten Verhalten kommen kann.

Auf diese Weise wird ein Springen der Verdichtungswalze automatisch eliminiert und das Verdichtungsergebnis ist nicht mehr von der Aufmerksamkeit und Zuverlässigkeit des Fahrers abhängig.

Wenn sich die Bodenbeschaffenheit nicht stark ändert, liegt es auch im Rahmen der Erfindung, auf den beschriebenen Regelvorgang zu verzichten und statt dessen nur einige feste Zwischenpositionen für die Phasendifferenz zwischen den beiden Erregerwellen vorzugeben. In diesem Fall würde die Erfassung von Störungen der Walzengrundschiwingung (Sprungbetrieb) durch die Bedienungsperson erfolgen oder unter Verwendung von bekannten Verdichtungsmeßgeräten und bei Störungen würde dann manuell oder automatisch die Phasendifferenz auf den nächsten Zwischenwert eingestellt werden, bei dem geringere vertikale Druckkräfte erzeugt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum dynamischen Verdichten von Boden mit mindestens einer verfahrbaren Walze (1, 3) die Schwingungsbewegungen durchführt, indem eine in ihrer Richtung verstellbare Schwingungskraft auf die Walze einwirkt, so daß wahlweise horizontale Schubkräfte und/oder vertikale Druckkräfte auf den Boden ausgeübt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingungsbewegung der Walze (1, 3) oder eines mit ihr verbundenen Teiles erfaßt wird und daß bei einer Störung der Walzengrundschiwingung der vertikale Anteil der Schwingungskraft bis zum Ausregeln der Störung verringert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude, die Beschleunigung oder die Periodendauer der Schwingungsbewegung der Walze erfaßt wird.
3. Gerät zum dynamischen Verdichten von Boden mit mindestens einer verfahrbaren Walze (1, 3) die zur Erzeugung einer Schwingungsbewegung wenigstens zwei parallel oder fluchtend zur Walzenachse angeordnete, gegensinnig synchron rotierende Erregerwellen (5, 6) aufweist, deren Position und/oder Phasenlage derart verstellbar ist, daß ihre resultierende Fliehkraft wahlweise horizontale Schubkräfte und/oder vertikale Druckkräfte auf den Boden ausübt, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Walze (1, 3) oder ein mit ihr verbundenes Teil mit einem Bewegungsfühler zur Erfassung der Schwingungsbewegung in Wirkverbindung steht und daß der Bewegungsfühler an einen Regelkreis angeschlossen ist, der bei einer Störung der Wal-

zengrundschiwingung die Position und/oder Phasenlage der Erregerwellen (5, 6) im Sinne einer Verringerung der vertikalen Druckkräfte verstellt.

4. Gerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerwellen (5, 6) etwa horizontal nebeneinander angeordnet und in ihrer Phasenlage relativ zueinander verstellbar sind. 5
10
5. Gerät nach Anspruch 4, wobei die Erregerwellen über Zahnräder in Wirkverbindung stehen, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine der Erregerwellen (6) zur Verstellung ihrer Phasenlage über eine fixierbare Drehlagerung (16, 17) mit ihrem Zahnrad (15) verbunden ist. 15
6. Gerät nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehlagerung aus einer mit dem Zahnrad (15) verbundenen Verstellwendel (16) besteht, in der axial verschraubbar eine Verstellachse (17) steckt, die axial verschiebbar, aber drehfest mit der Erregerwelle (6) verbunden ist. 20
25
7. Gerät nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenlage um über 150°, insbesondere bis etwa 360° verstellbar ist. 30
8. Gerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerwellen in einem Gestell gelagert sind, das um eine zu den Erregerwellen parallele Achse verschwenkbar ist. 35
9. Gerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Gestell ausgehend von einer Bezugsposition mit vertikal übereinander angeordneten Erregerwellen beidseitig, insbesondere bis etwa 90°, verstellbar ist. 40
10. Gerät nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der Phasenlage oder der Position der Erregerwellen (5, 6) in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung der Walze erfolgt. 45
50
11. Gerät nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Bewegungsfühler einem nicht drehbaren Teil der Walze (1, 3) oder ihrer Lagerung zugeordnet ist. 55

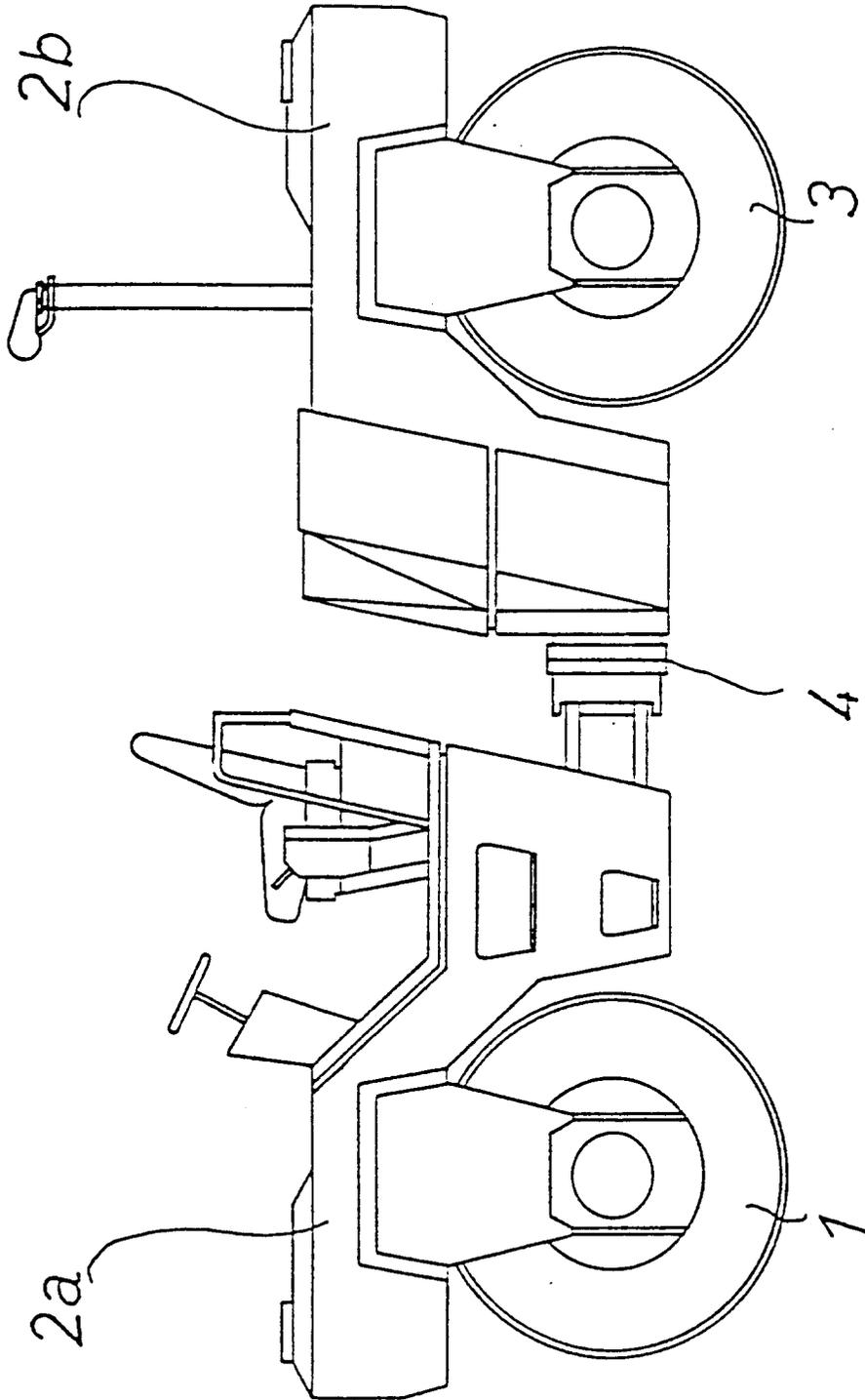


Fig.1

Vertikaler Richtschwinger

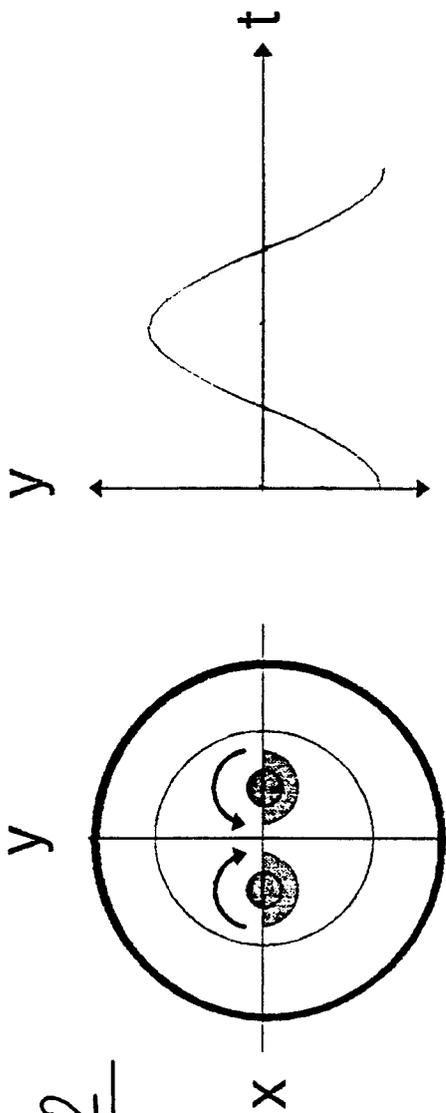
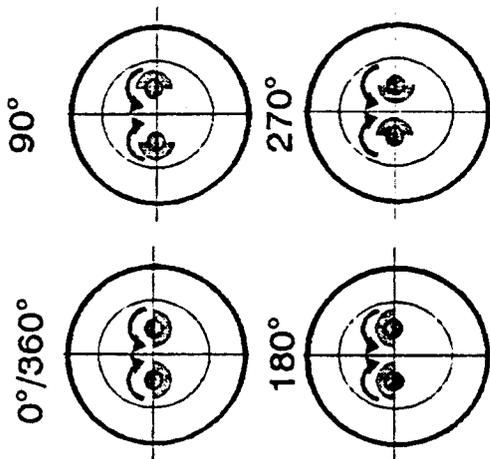


Fig. 2



Horizontaler Schwinger

Oszillation über Fahrlager abgekoppelt

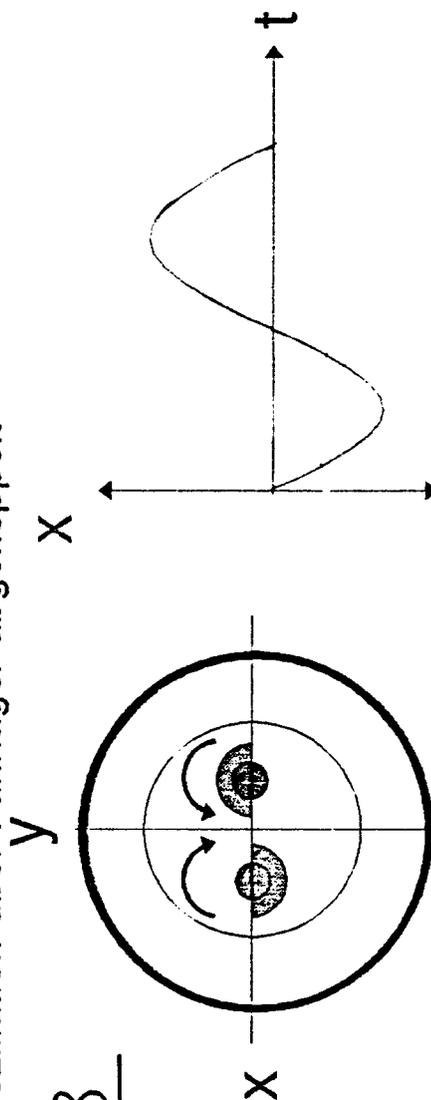
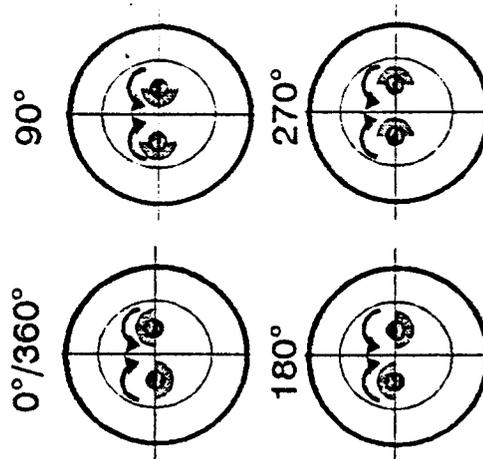


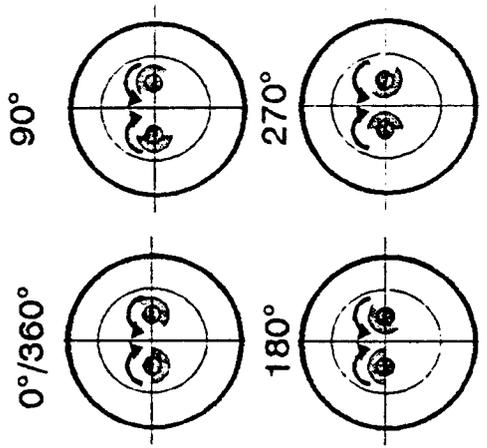
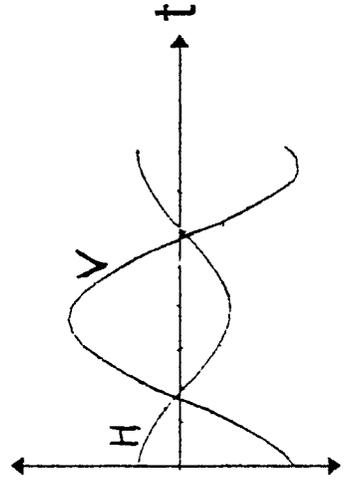
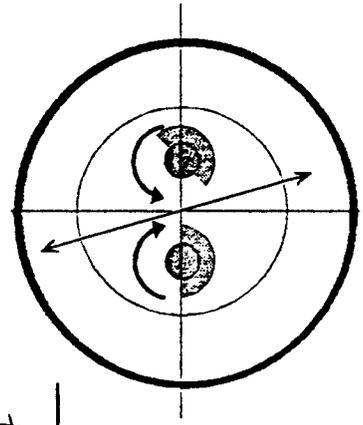
Fig. 3



Verstellungen

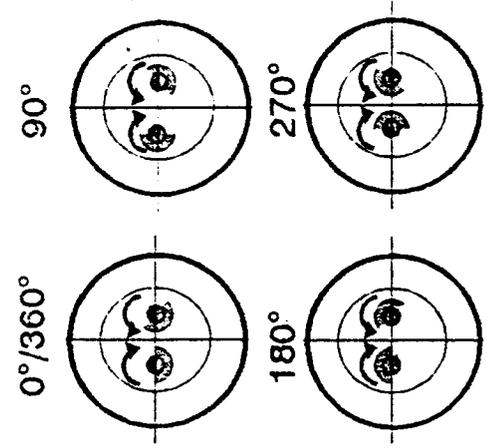
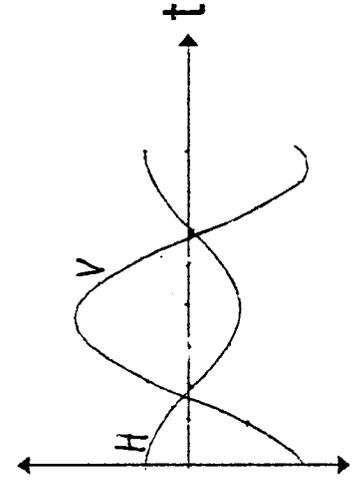
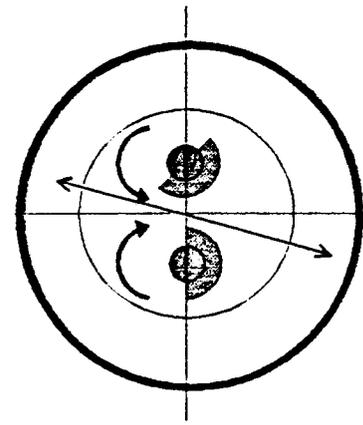
Rückwärtsfahrt \rightarrow

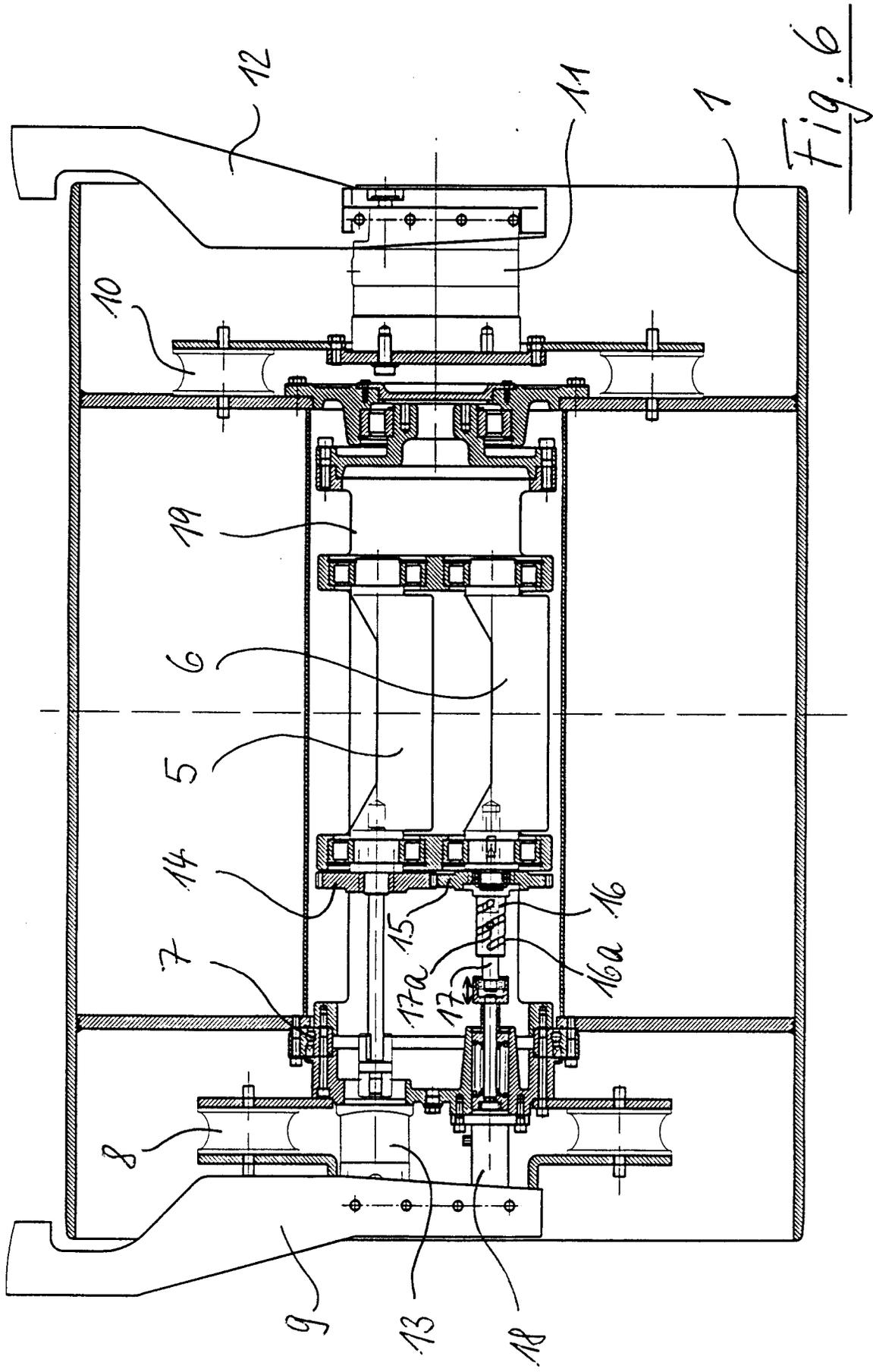
Fig. 4



Vorwärtsfahrt \leftarrow

Fig. 5





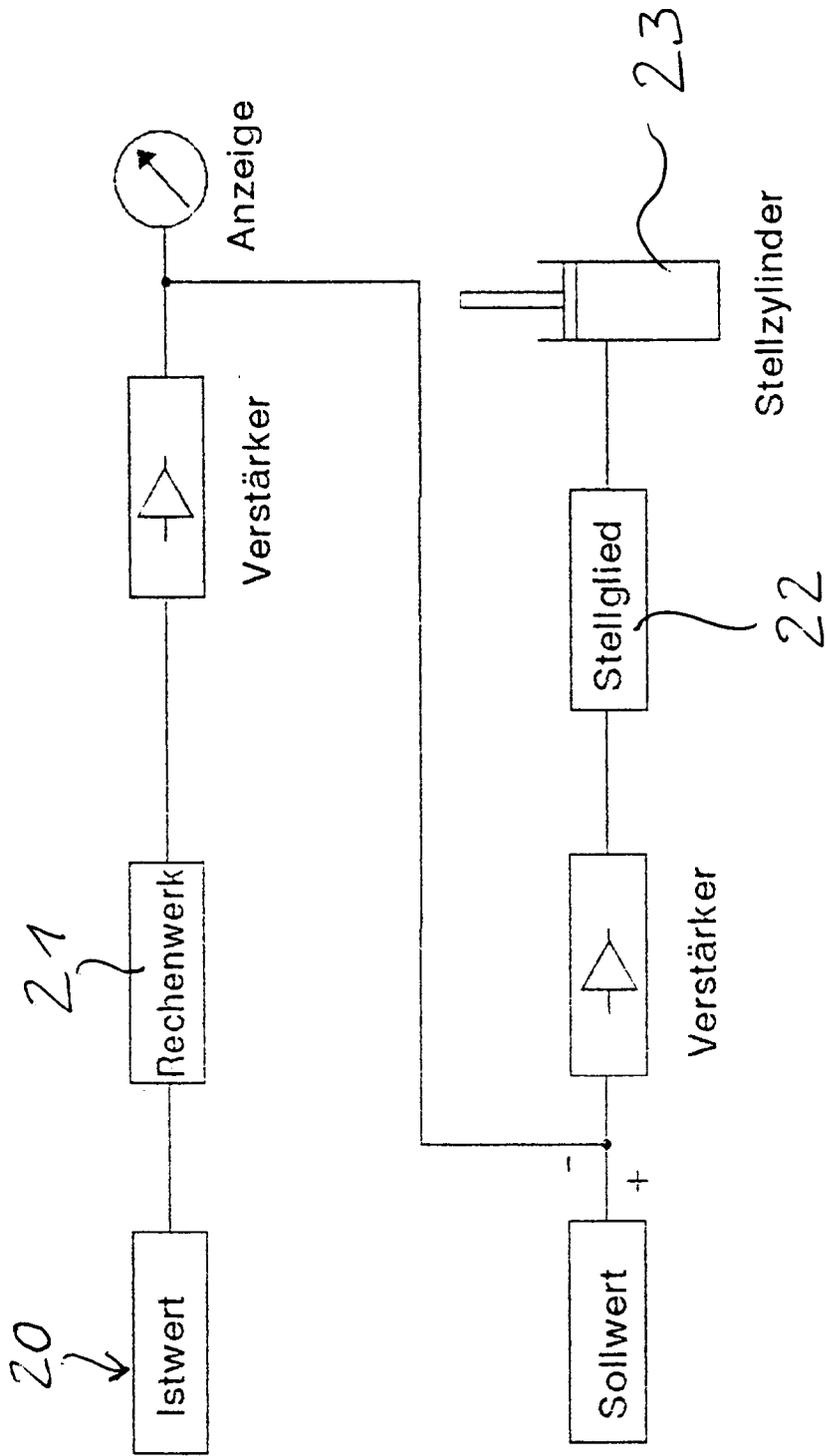
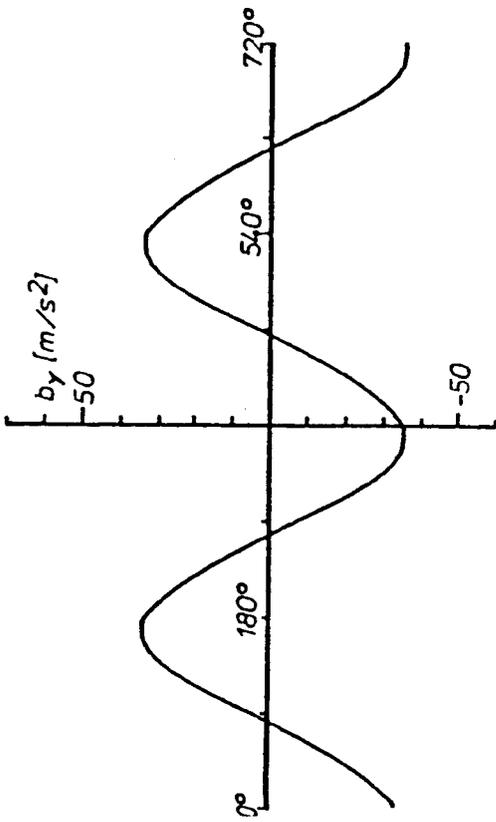


Fig. 7

Zeitdiagramm



Polarkoordinaten

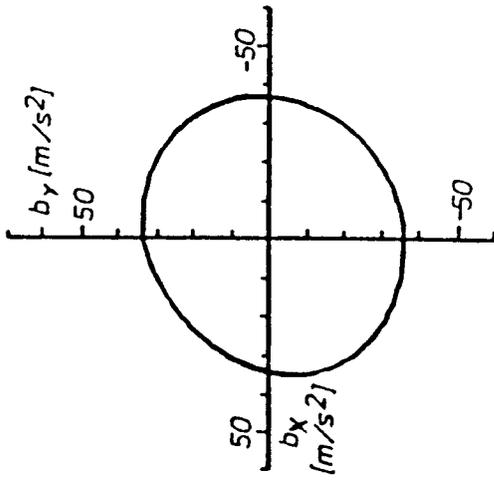


Fig. 8a

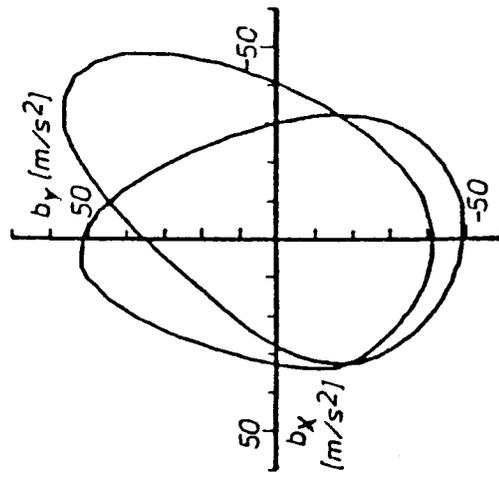
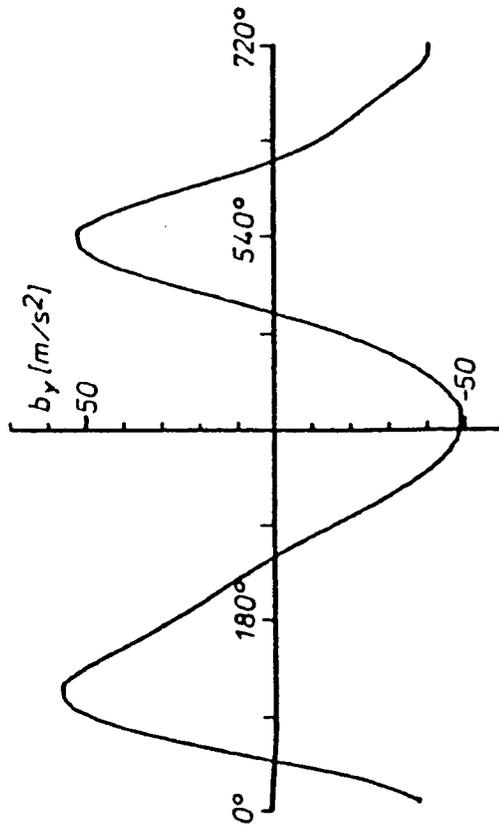


Fig. 8b