(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2014 203 585 A1** 2015.08.27

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 203 585.6**
(22) Anmeldetag: **27.02.2014**
(43) Offenlegungstag: **27.08.2015**

(51) Int Cl.: ***E01C 19/28*** (2006.01)
E02D 3/026 (2006.01)

(71) Anmelder:
Hamm AG, 95643 Tirschenreuth, DE

(74) Vertreter:
Ruttensperger Lachnit Trossin Gomoll Patent- und Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft mit beschränkter Berufshaftung, 80335 München, DE

(72) Erfinder:
Pistrol, Johannes, Mödling, AT; Kopf, Fritz, Wien, AT; Völkel, Werner, 92660 Neustadt, DE; Villwock, Sebastian, 95701 Pechbrunn, DE

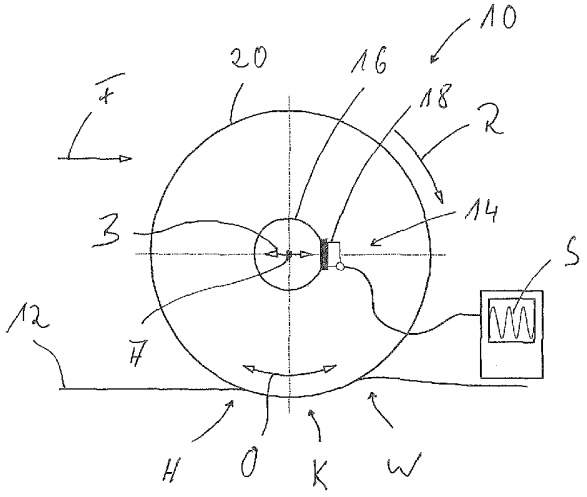
(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 35 90 610 C2

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

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung eines durch eine Oszillationsbewegung einer Verdichterwalze hervorgerufenen Schlupfzustandes der Verdichterwalze eines Bodenverdichters**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Bestimmung eines durch eine Oszillationsbewegung (O) einer Verdichterwalze (10) hervorgerufenen Schlupfzustandes der Verdichterwalze (10) eines Bodenverdichters, umfasst die Maßnahmen:
a) Bereitstellen einer mit der Oszillationsbewegung (O) der Verdichterwalze (10) im Zusammenhang stehenden Beschleunigungsgröße (b),
b) beruhend auf der Beschleunigungsgröße (b), Bereitstellen eines Beschleunigungs-Frequenzspektrums,
c) beruhend auf dem Beschleunigungs-Frequenzspektrum Bestimmen eines Schlupfzustands der Verdichterwalze.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, mit welchem im Verlaufe eines mit einem wenigstens eine Verdichterwalze aufweisenden Bodenverdichter durchgeführten Verdichtungsvorgangs eine den Schlupf einer derartigen Verdichterwalze bezüglich des zu verdichtenden Untergrunds repräsentierende Größe ermittelt werden kann.

[0002] Zur Durchführung von Verdichtungsvorgängen im Erdbau oder im Straßenbau, beispielsweise zur Asphaltverdichtung, werden im Allgemeinen Bodenverdichter eingesetzt, die zumindest eine Verdichterwalze aufweisen. Mit einer derartigen Verdichterwalze bewegt sich der Bodenverdichter über den zu verdichtenden Untergrund, wobei durch die statische Auflast der Verdichterwalze eine Verdichtung erreicht wird. Um die Verdichtung effizienter zu gestalten, ist es bekannt, der im Wesentlichen gleichmäßigen Rotationsbewegung der Verdichterwalze während der entsprechend im Wesentlichen gleichmäßigen Voranbewegung eines Bodenverdichters periodische Bewegungen zu überlagern. Bei einer der Rotationsbewegung der Verdichterwalze überlagerten Oszillationsbewegung wird die Verdichterwalze durch z. B. im Inneren derselben angeordnete Unwuchtmassen zu einer periodischen Hin-Her-Rotation bzw. Vorwärts-Rückwärts-Rotation angeregt. Durch die Reibung zwischen einem Walzenmantel der Verdichterwalze und der Oberfläche des zu verdichtenden Untergrunds werden Schubkräfte in den Untergrund eingeleitet. Die dadurch hervorgerufenen Schubverzerrungen führen zu einer verstärkten Verdichtung des mit einer derartigen Verdichterwalze überfahrenen Untergrunds.

[0003] Die DE 35 90 610 C2 offenbart ein Verfahren, mit welchem beruhend auf der im Verlaufe einer derartigen Oszillationsbewegung einer Verdichterwalze erfassten Horizontalbeschleunigung der Verdichterwalze, also einer Beschleunigung im Wesentlichen in Richtung parallel zur Oberfläche des zu verdichtenden Untergrunds, der Verdichtungsgrad des zu verdichtenden Untergrunds ermittelt werden kann. Dabei wird berücksichtigt, dass im Verlaufe einer derartigen periodischen Oszillationsbewegung Phasen auftreten, in welchen die Beschleunigung der Verdichterwalze so groß ist, dass zwischen der Oberfläche des Walzenmantels und dem Untergrund Schlupf auftritt. In diesen Phasen bleibt die Horizontalbeschleunigung der Verdichterwalze im Wesentlichen konstant, während in Phasen, in welchen die Verdichterwalze bezüglich des zu verdichtenden Untergrunds im Wesentlichen keinen Schlupf aufweist, die Beschleunigung im Wesentlichen dem Muster einer periodischen Kurve, wie z. B. einer Sinuskurve, folgt. Beruhend auf der Frequenz der Oszillationsbewegung an sich und dem Verlauf der Horizontalbeschleunigung während Phasen, während welchen die Verdichterwalze keinen Schlupf zum Untergrund aufweist, kann bei diesem bekannten Verfahren auf den Verdichtungsgrad des zu verdichtenden Untergrunds geschlossen werden.

[0004] Der bei Durchführung eines Verdichtungsvorgangs unter Ausnutzung von periodischen Oszillationsbewegungen einer Verdichterwalze zwischen der Außenoberfläche des Walzenmantels und dem zu verdichtenden Untergrund auftretende Schlupf nimmt mit zunehmendem Verdichtungsgrad, im Allgemeinen also auch zunehmender Härte bzw. Steifigkeit des zu verdichtenden Untergrunds zu. Da dieser Untergrund im Allgemeinen mit abrasivem Material, also Gesteinsmaterial oder Gesteinsanteilen aufgebaut ist, kann ein übermäßig starker Schlupf zwischen der Verdichterwalze und dem zu verdichtenden Untergrund zu einem übermäßigen Verschleiß des Walzenmantels einer derartigen Verdichterwalze führen.

[0005] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Bestimmung eines durch eine Oszillationsbewegung einer Verdichterwalze hervorgerufenen Schlupfzustands der Verdichterwalze eines Bodenverdichters vorzusehen, mit welchem in einfacher und zuverlässiger Art und Weise ein Rückschluss auf den im Verlaufe eines Verdichtungsvorgangs auftretenden Schlupf einer Verdichterwalze bezüglich eines zu verdichtenden Untergrunds geschlossen werden kann.

[0006] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung eines durch eine Oszillationsbewegung einer Verdichterwalze hervorgerufenen Schlupfzustandes der Verdichterwalze eines Bodenverdichters, umfassend die Maßnahmen:

a) Bereitstellen einer mit der Oszillationsbewegung der Verdichterwalze im Zusammenhang stehenden Beschleunigungsgröße,
b) beruhend auf der Beschleunigungsgröße, Bereitstellen eines Beschleunigungs-Frequenzspektrums,
c) beruhend auf dem Beschleunigungs-Frequenzspektrum, Bestimmen eines Schlupfzustands der Verdichterwalze.

[0007] Die vorliegende Erfindung nutzt die Erkenntnis, dass die in einer über die Zeit hinweg aufgenommenen bzw. bereitsgestellten Beschleunigungsgröße enthaltenen Frequenzanteile des Beschleunigungs-Frequenzspektrums sich verändern, wenn zwischen einer derartigen Verdichterwalze und dem zu verdichtenden Untergrund Schlupf auftritt. Auch das Ausmaß des aufgetretenen Schlupfs und dessen unterschiedliche Charakteristik bei der Vorwärts- bzw. Rückwärtsbewegung im Verlauf einer Oszillationsperiode spiegeln sich im Beschleunigungs-Frequenzspektrum wieder. Beruhend auf dem Beschleunigungs-Frequenzspektrum kann also darauf

geschlossen werden, ob die Verdichterwalze im Verlaufe einer periodischen Oszillationsbewegung sich im Wesentlichen ohne Schlupf auf dem zu verdichtenden Untergrund bewegt, oder ob, beispielsweise weil bereits ein vergleichsweise hoher Verdichtungsgrad erreicht wurde, Schlupf auftritt bzw. in welchem Ausmaß Schlupf auftritt. Diese erfindungsgemäß vorgesehene Kenntnis über das Vorhandensein von Schlupf bzw. das Ausmaß des Schlupfs kann beispielsweise dazu genutzt werden, um die Amplitude oder/und die Frequenz der Oszillationsbewegung zur Verminderung des auftretenden Schlupfs anzupassen.

[0008] Um eine definierte, insbesondere auch quantitative Aussage über den zwischen einer Verdichterwalze und einem zu verdichtenden Untergrund auftretenden Schlupf treffen zu können, kann weiter vorgesehen sein, dass die Maßnahme c) das Bestimmen eines den Schlupfzustand der Verdichterwalze repräsentierenden Schlupfindikators umfasst.

[0009] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorgesehen sein, dass bei der Maßnahme a) die Beschleunigungsgröße beruhend auf einer Beschleunigung der Verdichterwalze im Wesentlichen in einer Richtung parallel zu einer Oberfläche eines zu verdichtenden Untergrundes bereitgestellt wird. Der Übergang in einen Schlupfzustand im Verlaufe der Oszillationsbewegung einer Verdichterwalze wird im Allgemeinen dann auftreten, wenn die Umfangsbeschleunigung der Verdichterwalze ein bestimmtes Ausmaß überschreitet. Dies hat zur Folge, dass bei vergleichsweise großer Umfangsbeschleunigung beim Übergang in einen Schlupfzustand aufgrund des dann geminderten Vortriebs der Verdichterwalze deren Beschleunigung im Wesentlichen parallel zu dem zu verdichtenden Untergrund während der Schlupfphase näherungsweise konstant bleibt. Das Auftreten von Schlupf spiegelt sich in einer periodischen Beschleunigungsgröße in horizontaler Richtung im Wesentlichen durch Bereiche näherungsweise konstanter Beschleunigung wieder, was entsprechend auch im Beschleunigungs-Frequenzspektrum abgebildet wird.

[0010] Beispielsweise kann die Beschleunigung im Wesentlichen parallel zum zu verdichtenden Untergrund, also beispielsweise näherungsweise in horizontaler Richtung, dadurch erfasst oder ermittelt werden, dass die Beschleunigungsgröße auf der Grundlage eines Ausgangssignals wenigstens eines im Wesentlichen die Beschleunigung einer Verdichterwalzendrehachse erfassenden Beschleunigungssensors ermittelt wird. Es sei hier darauf hingewiesen, dass die Verdichterwalzendrehachse das geometrische Rotationszentrum der an einem Verdichterrahmen drehbar getragenen Verdichterwalze und somit eine fiktive Größe repräsentiert. Die Beschleunigung dieser Verdichterwalzendrehachse entspricht gleichermaßen der Beschleunigung der gesamten Verdichterwalze in Richtung im Wesentlichen parallel zu dem verdichtenden Untergrund.

[0011] Bei der Maßnahme b) kann das Beschleunigungsfrequenzspektrum in besonders einfacher Weise durch Fourier-Transformation, vorzugsweise schnelle Fourier-Transformation (FFT), der Beschleunigungsgröße ermittelt werden.

[0012] In einem Zustand, in welchem eine Verdichterwalze im Wesentlichen keinen Schlupf bezüglich des zu verdichtenden Untergrunds aufweist, wird die einzige Komponente oder die Hauptkomponente des Beschleunigungs-Frequenzspektrums bei einer der Oszillationsfrequenz der Verdichterwalze entsprechenden Frequenz sein. Da bei einem Übergang in einen Schlupfzustand grundsätzlich davon auszugehen ist, dass damit eine Änderung in der Amplitude bei dieser Oszillationsfrequenz auftreten wird, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass bei der Maßnahme c) der Schlupfzustand beruhend auf einer Veränderung der Amplitude bei der Oszillationsfrequenz der Verdichterwalze ermittelt wird.

[0013] Bei der Maßnahme c) kann gemäß einer besonders vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein Schlupfindikator beruhend auf einem Verhältnis der Amplitude des Beschleunigungs-Frequenzspektrums bei einer ersten Frequenz zur Amplitude des Beschleunigungs-Frequenzspektrums bei einer zweiten Frequenz ermittelt werden. Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass eine Frequenz von erster Frequenz und zweiter Frequenz im Wesentlichen der Oszillationsfrequenz der Verdichterwalze entspricht. Die Oszillationsfrequenz ist im Beschleunigungsfrequenzspektrum diejenige Frequenz, welche mit der größten Amplitude auftreten wird. Insofern eignet sich diese Oszillationsfrequenz der Verdichterwalze besonders gut als Referenz dafür, ob bzw. in welchem Ausmaß der Grundbewegung der Verdichterwalze, also der periodischen Hin- und Her-Rotationsbewegung mit der Oszillationsfrequenz, andere Bewegungszustände, beispielsweise einen Schlupfzustand, überlagert sind, welche im Beschleunigungs-Frequenzspektrum weitere Frequenzanteile hervorrufen.

[0014] Beispielsweise kann weiter vorgesehen sein, dass eine Frequenz von erster Frequenz und zweiter Frequenz im Wesentlichen einem ungradzahligen Vielfachen oder einem geradzahligen Vielfachen der Oszillationsfrequenz der Verdichterwalze entspricht.

[0015] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend mit Bezug auf die beiliegenden Figuren detailliert beschrieben. Es zeigt:

[0016] **Fig.** 1 in prinzipartiger Darstellung eine auf einem zu verdichtenden Untergrund sich bewegende Verdichterwalze;

[0017] **Fig.** 2 in ihrer Darstellung a) die über der Zeit aufgetragene Horizontalbeschleunigung der Verdichterwalze der **Fig.** 1 und in ihrer Darstellung b) das durch Fourier-Transformation der Beschleunigung gewonnene Beschleunigungs-Frequenzspektrum;

[0018] **Fig.** 3 in ihrer Darstellung a) die Horizontalbeschleunigung der Verdichterwalze, aufgetragen über der Zeit, bei zwischen der Verdichterwalze und dem zu verdichtenden Untergrund symmetrisch auftretendem Schlupf und in ihrer Darstellung b) das Beschleunigungs-Frequenzspektrum;

[0019] **Fig.** 4 in ihrer Darstellung a) die Horizontalbeschleunigung der Verdichterwalze, aufgetragen über der Zeit, bei zwischen der Verdichterwalze und dem zu verdichtenden Untergrund unsymmetrisch auftretendem Schlupf und in ihrer Darstellung b) das Beschleunigungs-Frequenzspektrum;

[0020] **Fig.** 5 in Abhängigkeit vom Ausmaß der durch Schlupf hervorgerufenen Amplitudenkappung die Amplitude bei der Oszillationsfrequenz f, die Amplitude beim Dreifachen der Oszillationsfrequenz f und einen Schlupf-Indikator.

[0021] Die **Fig.** 1 zeigt in prinzipieller Darstellung eine Verdichterwalze **10** eines auf einem zu verdichtenden Untergrund **12** sich in einer Fahrtrichtung F voranbewegenden Bodenverdichters. Die Verdichterwalze **10** ist dabei um eine Verdichterwalzendrehachse A drehbar an einem Rahmen des Bodenverdichters getragen und dreht sich bei der Bewegung des Bodenverdichters in der Fahrtrichtung F in einer Drehrichtung R um die Verdichterwalzendrehachse A.

[0022] Durch eine beispielsweise im Inneren der Verdichterwalze **10** angeordnete Oszillationsmassenanordnung kann die Verdichterwalze **10** in eine periodische Oszillationsbewegung O versetzt werden, welche bei in der Fahrtrichtung F sich voranbewegendem Bodenverdichter und dabei in der Drehrichtung R sich um die Verdichterwalzendrehachse A drehender Verdichterwalze **10** dieser Rotation in der Drehrichtung R als periodische Bewegung überlagert ist.

[0023] Man erkennt in **Fig.** 1, dass durch ihr Aufstandsgewicht die Verdichterwalze **10** sich in den zu verdichtenden Untergrund **12** eindrückt, wobei ein Kontaktbereich K entsteht. In einem in der Fahrtrichtung F dem Kontaktbereich K vorangehenden Bereich W des zu verdichtenden Untergrunds **12** bildet sich eine Bugwelle des Aufbaumaterials des zu verdichtenden Untergrunds **12** aus. Eine entsprechende, wenngleich deutlich kleiner dimensionierte Materialanhäufung wird sich auch in einem in der Fahrtrichtung F hinten liegenden Bereich H ausbilden.

[0024] Der Verdichterwalze **10** ist eine allgemein mit **14** bezeichnete Beschleunigungssensoranordnung zugeordnet. Diese kann beispielsweise einen an einer Walzenlagerschale **16** angebrachten Beschleunigungssensor **18** umfassen. Dieser Beschleunigungssensor **18** ist beispielsweise als Einachs- oder Mehrachsbeschleunigungssensor ausgebildet und so angeordnet, dass er eine durch einen Pfeil B repräsentierte Beschleunigung der Verdichterwalze **10** bzw. der Verdichterwalzendrehachse A in einer zur Oberfläche des zu verdichtenden Untergrunds **12** im Wesentlichen parallelen Richtung sowohl in der Fahrtrichtung F als auch entgegengesetzt zur Fahrtrichtung F erfassen und ein entsprechendes Sensorsignal, repräsentiert durch die Kurve S in **Fig.** 1, ausgeben kann.

[0025] Bewegt sich die Verdichterwalze **10** ohne der Rotation in der Drehrichtung R überlagerter Oszillation O über den zu verdichtenden Untergrund **12**, so wird mangels Änderung des Bewegungszustands der Beschleunigungssensor **18** keine Beschleunigung erfassen. Wird der Rotation in der Drehrichtung R die Oszillationsbewegung O überlagert, so erfasst der Beschleunigungssensor **18** eine entsprechend der Oszillationsfrequenz der Verdichterwalze **10** periodisch sich ändernde Beschleunigung. Da im Allgemeinen die Verdichterwalze **10** bzw. die diese drehbar tragenden Lagerschalen **16** über elastische Aufhängungsmittel an einem Rahmen eines Bodenverdichters getragen sind, kann die Verdichterwalze **10**, hervorgerufen durch die Oszillationsbewegung O, eine entsprechend periodische Bewegung in der Fahrtrichtung F bzw. entgegengesetzt zur Fahrtrichtung F bezüglich des diese tragenden Rahmens des Bodenverdichters ausführen.

[0026] Die **Fig.** 2a) zeigt, aufgezeichnet über der Zeit, das Signal S, welches vom Beschleunigungssensor **18** ausgegeben wird bzw. ein ggf. bereits einer Filterung unterzogenes Signal, um hochfrequente und niederfrequente Störanteile zu beseitigen. Das eine Beschleunigungsgröße b repräsentierende Sensorsignal S ist im Idealfalle ein einer Sinusfunktion folgendes, periodisches Signal. Dieses weist im Wesentlichen nur Frequenzanteile im Bereich der Oszillationsfrequenz der Oszillationsbewegung O auf. In der **Fig.** 2b) ist diese Oszillationsfrequenz f als einziger Frequenzanteil des Beschleunigungs-Frequenzspektrums bei einer Frequenz von 10 Hz dargestellt. Es ist darauf hinzuweisen, dass dieses Beschleunigungs-Frequenzspektrum beispielsweise durch Fourier-Transformation, vorzugsweise durch schnelle Fourier-Transformation (FFT), aus dem Sensorsignal S bzw. der Beschleuni-

gungsgröße b erhalten werden kann. Die Amplitude bei der einzig vorhandenen Frequenz ist in **Fig.** 2b) z. B. auf einen Wert von 1,00 normiert dargestellt. Es können anstelle normierter Werte auch Rohwerte verwendet werden.

[0027] Die **Fig.** 2a) veranschaulicht den Fall, in welchem die Verdichterwalze **10** ohne Schlupf zwischen einer Außenoberfläche eines Walzenmantels **20** derselben und dem zu verdichtenden Untergrund **12** sich bezüglich des Untergrunds **12** bewegt. Es sei auch hier noch einmal betont, dass dabei die Beschleunigungsgröße b nur die durch die Oszillationsbewegung O hervorgerufene periodische Beschleunigung der Verdichterwalze **10** im Wesentlichen z. B. in horizontaler Richtung, also in Richtung parallel zu Oberfläche des zu verdichtenden Untergrunds **12**, repräsentiert, da die gleichmäßig, also unbeschleunigt ablaufende Rotation in der Drehrichtung R im Idealfalle keine Beschleunigungskomponenten hervorrufen wird.

[0028] Tritt zwischen der Außenoberfläche des Walzenmantels **20** und dem zu verdichtenden Untergrund **12** Schlupf auf, beispielsweise weil durch zunehmenden Verdichtungsgrad der zwischen dem zu verdichtenden Untergrund **12** und dem Walzenmantel **20** wirksame Haftreibungskoeffizient abnimmt, so führt dies dazu, dass in Phasen, in welchen die im Verlaufe der Oszillationsbewegung O auftretende Beschleunigung maximal ist bzw. einen bestimmten Grenzwert überschreitet, die Verdichterwalze **10** aus einem Haftreibungszustand in einen Gleitreibungszustand bezüglich des zu verdichtenden Untergrunds **12**, also einen Schlupfzustand, übergeht. In diesen in **Fig.** 3a) mit p gekennzeichneten Phasen der periodischen Oszillationsbewegung O bleibt die Beschleunigung, welche durch die über die Zeit aufgetragene Beschleunigungsgröße b repräsentiert ist, im Wesentlichen konstant. Bei für die Hin- und die Herbewegung der Oszillationsbewegung O symmetrischem Schlupfverhalten führt dies zu einer um den Amplitudenwert Null im Wesentlichen symmetrischen Kappung des periodischen Verlaufs der Beschleunigungsgröße b mit den Phasen p näherungsweise gleichbleibender Beschleunigung.

[0029] Das in **Fig.** 3b) dargestellte Beschleunigungs-Frequenzspektrum dieser im Schlupfzustand auftretenden bzw. ermittelten Beschleunigungsgröße b gemäß **Fig.** 3a) weist neben dem der Oszillationsfrequenz entsprechenden Frequenzanteil bei 10 Hz auch Frequenzanteile bei ungeradzahligen Vielfachen dieser Grundfrequenz, also der Oszillationsfrequenz f, auf. In der **Fig.** 3b) ist der Frequenzanteil beim Dreifachen der Oszillationsfrequenz f, also bei 30 Hz, erkennbar. Erkennbar ist auch, dass mit dem Auftreten derartiger weiterer Frequenzanteile die Amplitude bei der Grundfrequenz, also der Oszillationsfrequenz f, entsprechend abnimmt.

[0030] Die **Fig.** 4a) zeigt einen der **Fig.** 3a) entsprechenden Verlauf der Beschleunigungsgröße b, jedoch für einen Fall unsymmetrischen Schlupfverhaltens. Derartiges unsmmetrisches Schlupfverhalten tritt im Allgemeinen dann auf, wenn die in **Fig.** 1 erkennbare Bugwelle im Bereich W vorhanden bzw. deutlich ausgeprägt ist und insofern die Wechselwirkung der Außenoberfläche des Walzenmantels **20** mit dem zu verdichtenden Untergrund **12** abhängig ist von der Relativbewegungsrichtung. Ein derartiges unsymmetrisches Schlupfverhalten führt zu einer entsprechend unsymmetrischen Kappung der Beschleunigungsgröße b bzw. zu einer entsprechend unsymmetrischen Ausgestaltung der Phasen p, während welchen im Schlupfzustand die Beschleunigung näherungsweise unverändert bleibt.

[0031] Das in **Fig.** 4b) dargestellte Beschleunigungs-Frequenzspektrum der Beschleunigungsgröße b gemäß **Fig.** 4a) zeigt neben dem Anteil bei der Grundfrequenz, also der Oszillationsfrequenz f, und dem auch für den Fall unsymmetrischen Schlupfverhaltens vorhandenen Frequenzanteil beim Dreifachen der Grundfrequenz, also grundsätzlich bei ungradzahligen Vielfachen der Grundfrequenz, auch einen Frequenzanteil beim Zweifachen der Grundfrequenz, also bei 20 Hz, bzw. grundsätzlich Frequenzanteile bei geradzahligen Vielfachen der Grundfrequenz. Auch hier ist erkennbar, dass mit dem Auftreten derartiger zusätzlicher Frequenzanteile, deren Amplitude im Allgemeinen geringer ist, als die Amplitude bei der Grundfrequenz, also der Oszillationsfrequenz f, die Amplitude bei der Oszillationsfrequenz f abnimmt.

[0032] Diese im Übergang der **Fig.** 2 zu den **Fig.** 3 bzw. **Fig.** 4 auftretende Veränderung in der Amplitude bei der Grundfrequenz, also der Oszillationsfrequenz f, einerseits, sowie das Auftreten von im schlupffreien Zustand im Wesentlichen nicht vorhandenen Frequenzanteilen dann, wenn Schlupf vorliegt, nutzt die vorliegende Erfindung dazu, eine Aussage über das Vorhandensein bzw. das Ausmaß von Schlupf der Verdichterwalze **10** bezüglich des zu verdichtenden Untergrunds **12** zu treffen. Insbesondere kann erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass ein Schlupf-Indikator generiert wird, welcher beruhend auf den Amplituden von Frequenzanteilen im Beschleunigungs-Frequenzspektrum eine Aussage über das Vorhandensein von Schlupf, das Ausmaß des Schlupfs bzw. darüber, ob symmetrisches oder unsymmetrisches Schlupfverhalten vorliegt, machen kann. Beispielsweise kann ein derartiger Schlupf-Indikator wie folgt definiert sein:

$$SI = A(f_1)/A(f_2).$$

[0033] Hier ist also der Schlupf-Indikator SI als das Verhältnis der Amplituden verschiedener Frequenzanteile f_1 und f_2 im Beschleunigungs-Frequenzspek-

trum definiert. Einer dieser Frequenzanteile, vorzugsweise der Frequenzanteil f_2, kann der Oszillationsfrequenz f entsprechen, während beispielsweise der andere Frequenzanteil f_1 einem ungeradzahligen Vielfachen oder einem geradzahligen Vielfachen der Oszillationsfrequenz f entsprechen kann. Beispielsweise könnte als Frequenzanteil f_1 das Dreifache der Oszillationsfrequenz herangezogen werden.

[0034] Die **Fig.** 5 zeigt für dieses Beispiel den Verlauf der Amplitude bei der Oszillationsfrequenz f als grobgepunktete Linie und den Verlauf der Amplitude bei dem Dreifachen der Oszillationsfrequenz f als feingepunktete Linie, aufgetragen über dem Ausmaß der Kappung der Amplitude der Beschleunigungsgröße b. Dabei entspricht die gekappte Amplitude 1,0 dem schlupffreien Zustand der **Fig.** 2a), während die abnehmende gekappte Amplitude den Zustand zunehmenden Schlupfs repräsentiert. Für den schlupffreien Zustand, also einer ungekappten Amplitude mit dem Wert von 1,0, ist die Amplitude bei der Oszillationsfrequenz f maximal, also beispielsweise beim normierten Wert 1,0. Mit zunehmender Kappung, also abnehmender gekappter Amplitude der Beschleunigungsgröße b, nimmt im Beschleunigungs-Frequenzspektrum auch die Amplitude bei der Frequenz f ab, während die Amplitude beim Dreifachen der Oszillationsfrequenz, also bei 30 Hz, zunimmt. Dementsprechend nimmt auch mit zunehmendem Schlupf der durch eine durchgezogene Linie in **Fig.** 5 dargestellte Schlupf-Indikator zu. Mit zunehmendem Schlupf, also auch zunehmender Kappung der Amplitude der Beschleunigungsgröße b treten in der Beschleunigungsgröße b deutlicher hervortretende Änderungen dahingehend auf, dass diese nur im Idealfall bei auftretendem Schlupf näherungsweise konstant bleibt, in der Praxis jedoch insbesondere mit größer werdendem Schlupf keinen konstanten Verlauf aufweisen wird. Dies hat zur Folge, dass mit beispielsweise unter die gekappte Amplitude von 0,5 abfallender Beschleunigungsgröße b zwar nach wie vor eine Aussage über den vorhandenen Schlupf getroffen werden kann, also der Schlupf-Indikator nach wie vor bestimmt werden kann, dieser jedoch einen anderen Verlauf aufweisen wird.

[0035] Das schlupfbedingte Auftreten bzw. Zunehmen von Frequenzanteilen im Beschleunigungs-Frequenzspektrum kann beispielsweise dazu genutzt werden, durch Versuche einen definierten Zusammenhang zwischen dem in der vorangehenden Art und Weise bestimmten Schlupf-Indikator und der Größe des tatsächlich aufgetretenen Schlupfs einer Verdichterwalze zu ermitteln, so dass nicht nur qualitativ eine Aussage darüber getroffen werden kann, dass Schlupf vorhanden ist bzw. Schlupf in übermäßig großem Ausmaß vorhanden ist, sondern auch quantitativ eine Aussage über den tatsächlich aufgetretenen Schlupf getroffen werden kann.

[0036] Eine Aussage über das Auftreten von Schlupf kann allein auch aus der Beobachtung der Amplitude beispielsweise bei der Oszillationsfrequenz f getroffen werden. Diese wird sich beim Übergang vom schlupffreien Zustand, also von einem Haftreibungszustand, in einen Schlupfzustand, also einen Gleitreibungszustand, deutlich verändern, so dass beispielsweise dann, wenn die Änderung dieser Amplitude bei der Oszillationsfrequenz f oder irgend einer anderen beobachteten Frequenz ein bestimmtes Ausmaß überschreitet oder/und die Änderungsrate ein bestimmtes Ausmaß überschreitet, auf den Übergang in einen Schlupfzustand geschlossen werden kann.

[0037] Bei einer alternativen Vorgehensweise kann als Beschleunigungsgröße, auf Grundlage welcher auf den Schlupfzustand geschlossen werden kann, beispielsweise auch als eine am Walzenmantel selbst oder einer damit fest verbundenen Baugruppe im Wesentlichen in Umfangsrichtung bzw. tangential zu einer Radiallinie bezüglich der Verdichterwalzendrehachse A auftretende Beschleunigung berücksichtigt werden. Auch der Walzenmantel **20** selbst wird durch die der Rotation in der Drehrichtung R überlagerte Oszillationsbewegung O in eine periodische Hin- und Herbewegung um die Verdichterwalzendrehachse A versetzt, was zu einem entsprechenden periodischen Beschleunigungsmuster einer in tangentialer Richtung bzw. in Umfangsrichtung orientierten Beschleunigungskomponente führt. Im schlupffreien Zustand wird auch diese Beschleunigungsgröße dem in **Fig.** 2a) dargestellten periodischen Beschleunigungsmuster folgen. Beim Übergang in einen Schlupfzustand, also einem Gleitreibungszustand, wird diese Beschleunigungsgröße jedoch nicht im Wesentlichen konstant bleiben, sondern wird aufgrund des Wegfalls eines wesentlichen Anteils einer Reaktionskraft einen deutlichen Anstieg aufweisen, beispielsweise einen nahezu sprunghaften, und vom im Wesentlichen sinusartigen Verlauf deutlich abweichenden Anstieg aufweisen. Auch dieser Übergang bildet sich im Beschleunigungs-Frequenzspektrum dadurch ab, dass neben dem Frequenzanteil bei der Oszillationsfrequenz f weitere Frequenzanteile auftreten und dass die Amplitude bei der Oszillationsfrequenz f abnehmen wird. Ebenso wie vorangehend beschrieben kann damit beispielsweise durch das Verhältnis der Amplituden bei verschiedenen Frequenzanteilen ein Schlupf-Indikator ermittelt werden oder kann durch Beobachtung der Veränderung der Amplitude beispielsweise bei der Oszillationsfrequenz f der Übergang zwischen einem Haftreibungszustand und einem Gleitreibungszustand erkannt werden.

[0038] Es sei abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass der vorangehend mit Bezug auf die **Fig.** 2 bis **Fig.** 4 beschriebene Verlauf der Beschleunigungsgröße und das daraus jeweils resultieren-

de Beschleunigungs-Frequenzspektrum jeweils den idealisierten Fall veranschaulicht, in welchem einerseits die Oszillationsbewegung einer durch eine einzige Oszillationsfrequenz definierten periodischen Funktion folgt und bei Auftreten von Schlupf die Beschleunigung bis zur Wiederherstellung des Haftreibungszustands im Wesentlichen konstant bleibt. In der Realität werden im Verlaufe der Oszillationsbewegung der Oszillationsfrequenz bereits andere Frequenzanteile, gleichwohl mit geringerer Amplitude im Beschleunigungs-Frequenzspektrum überlagert sein und es werden bei Auftreten von Schlupf auch bei anderen Frequenzen als den geradzahligen bzw. ungeradzahligen Vielfachen der Oszillationsfrequenz Frequenzanteile auftreten. Dies beeinträchtigt jedoch nicht die Möglichkeit, z. B. zur Ermittlung des Schlupfindikators fest definierte Frequenzanteile mit ihren jeweils vorhandenen Amplituden zu berücksichtigen, insbesondere die Grundfrequenz, also die Oszillationsfrequenz f, und die geradzahligen oder ungeradzahligen Vielfachen derselben.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 3590610 C2 [0003]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines durch eine Oszillationsbewegung (O) einer Verdichterwalze (**10**) hervorgerufenen Schlupfzustandes der Verdichterwalze (**10**) eines Bodenverdichters, umfassend die Maßnahmen:
a) Bereitstellen einer mit der Oszillationsbewegung (O) der Verdichterwalze (**10**) im Zusammenhang stehenden Beschleunigungsgröße (b),
b) beruhend auf der Beschleunigungsgröße (b), Bereitstellen eines Beschleunigungs-Frequenzspektrums,
c) beruhend auf dem Beschleunigungs-Frequenzspektrum, Bestimmen eines Schlupfzustands der Verdichterwalze (**10**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Maßnahme c) das Bestimmen eines den Schlupfzustand der Verdichterwalze (**10**) repräsentierenden Schlupfindikators umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass bei der Maßnahme a) die Beschleunigungsgröße (b) beruhend auf einer Beschleunigung (B) der Verdichterwalze (**10**) im Wesentlichen in einer Richtung parallel zu einer Oberfläche eines zu verdichtenden Untergrundes (**12**) bereitgestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Beschleunigungsgröße (b) auf der Grundlage eines Ausgangssignals (S) wenigstens eines im Wesentlichen die Beschleunigung (B) einer Verdichterwalzendrehachse (H) erfassenden Beschleunigungssensors (**18**) ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass bei der Maßnahme b) das Beschleunigungs-Frequenzspektrum durch Fourier-Transformation, vorzugsweise schnelle Fourier-Transformation, der Beschleunigungsgröße ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass bei der Maßnahme c) der Schlupfzustand beruhend auf einer Veränderung der Amplitude bei der Oszillationsfrequenz der Verdichterwalze ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,** dass bei der Maßnahme c) ein Schlupfindikator beruhend auf einem Verhältnis der Amplitude des Beschleunigungs-Frequenzspektrums bei einer ersten Frequenz zur Amplitude des Beschleunigungs-Frequenzspektrums bei einer zweiten Frequenz ermittelt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine Frequenz von erster Frequenz und zweiter Frequenz im Wesentlichen der Oszillationsfrequenz (f) der Verdichterwalze (**10**) entspricht.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine Frequenz von erster Frequenz und zweiter Frequenz im Wesentlichen einem ungradzahligen Vielfachen oder einem geradzahligen Vielfachen der Oszillationsfrequenz (f) der Verdichterwalze (**10**) entspricht.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

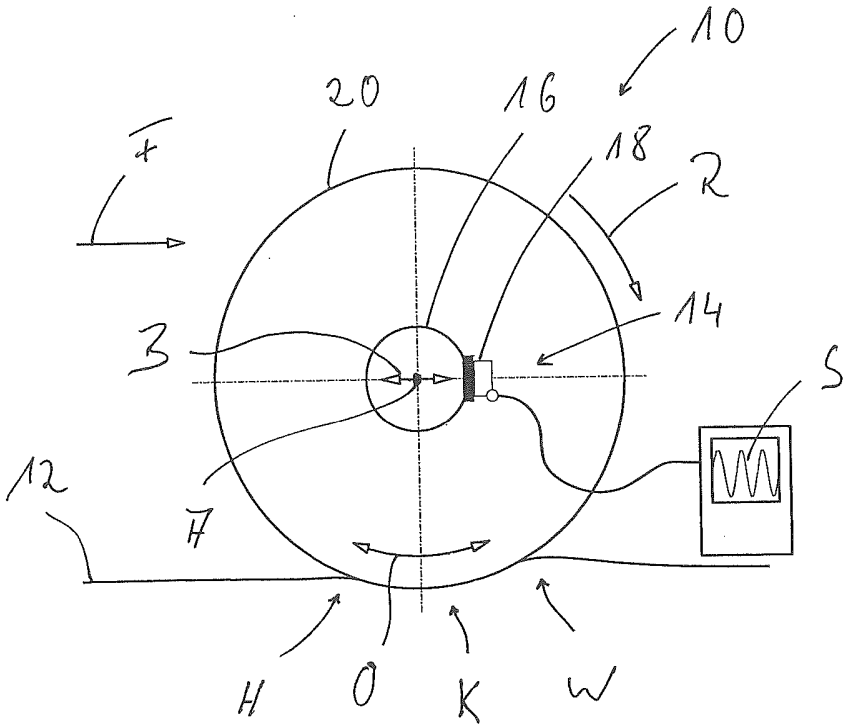
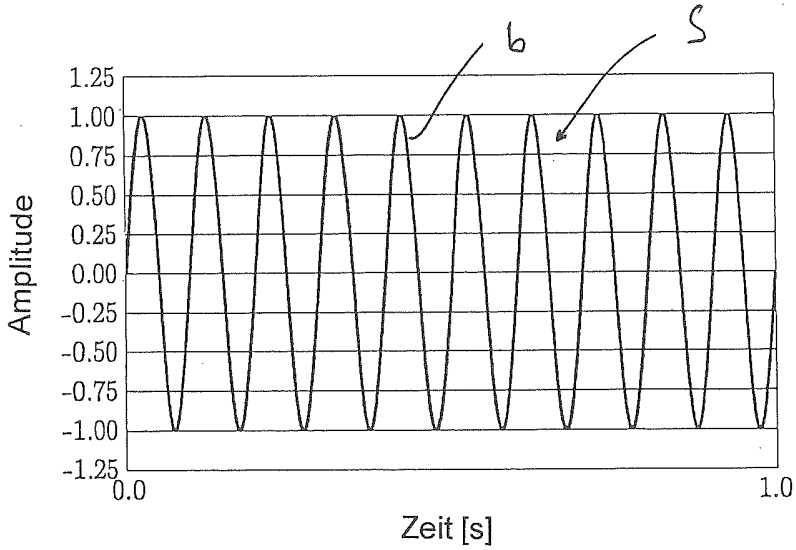
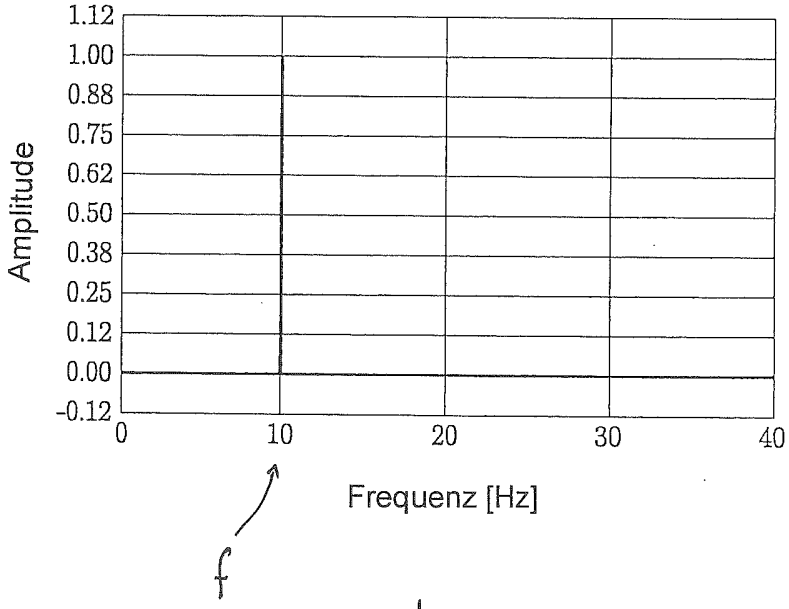


Fig. 1

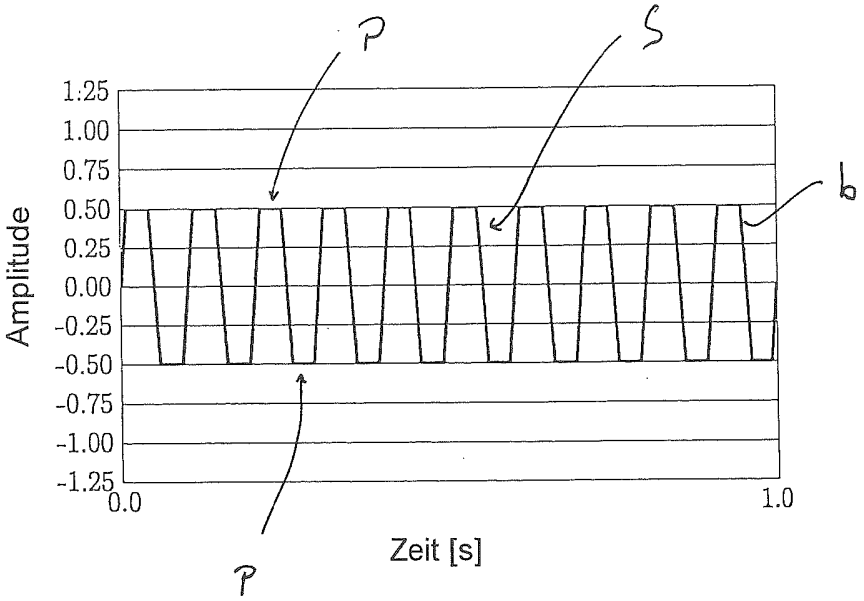

b
S
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
-0.50
-0.75
-1.00
-1.25
Amplitude
0.0
1.0
Zeit [s]

a)

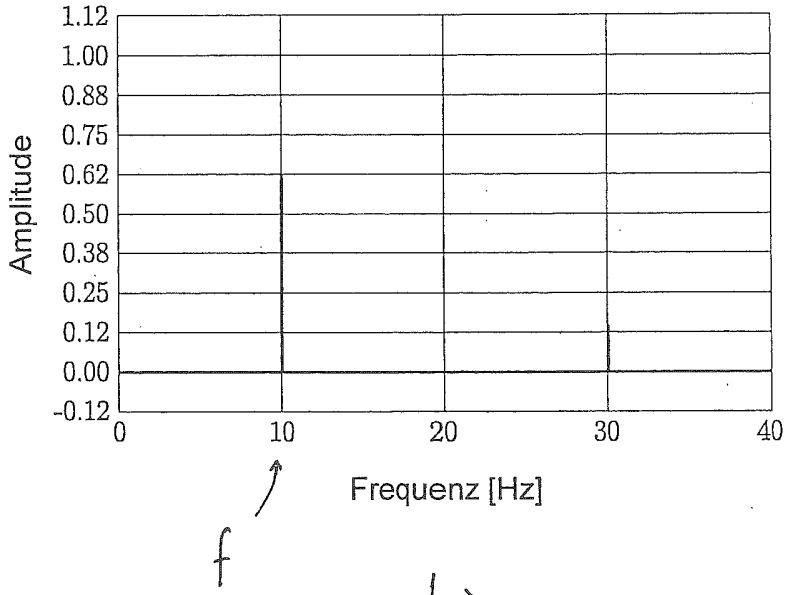

1.12
1.00
0.88
0.75
0.62
0.50
0.38
0.25
0.12
0.00
-0.12
Amplitude
0
10
20
30
40
Frequenz [Hz]
f

b)

Fig. 2

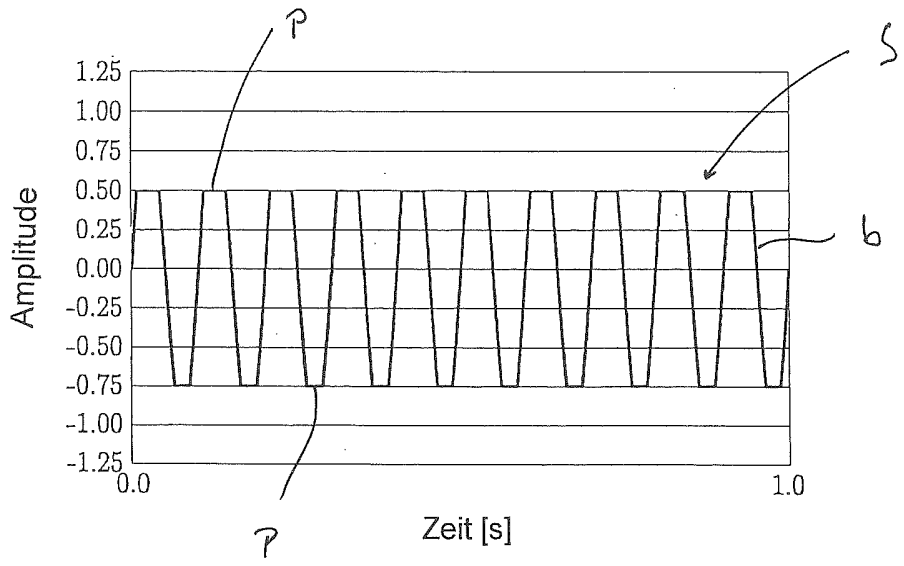

P
S
b
P
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
-0.50
-0.75
-1.00
-1.25
Amplitude
0.0
1.0
Zeit [s]

a)

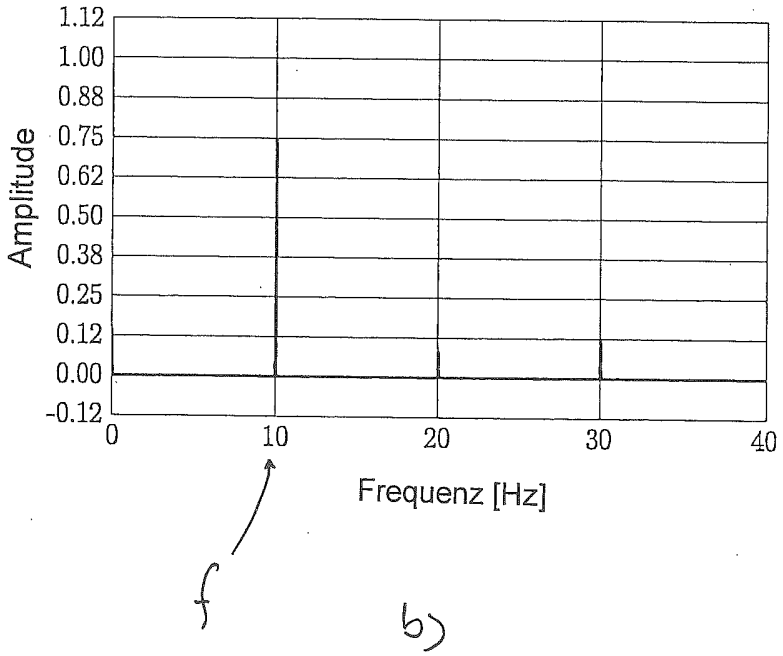

1.12
1.00
0.88
0.75
0.62
0.50
0.38
0.25
0.12
0.00
-0.12
Amplitude
0
10
20
30
40
Frequenz [Hz]
f

b)

Fig. 3


P
S
b
P
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
-0.25
-0.50
-0.75
-1.00
-1.25
Amplitude
0.0
1.0
Zeit [s]

a)


1.12
1.00
0.88
0.75
0.62
0.50
0.38
0.25
0.12
0.00
-0.12
Amplitude
0
10
20
30
40
Frequenz [Hz]
f

b)

Fig. 4

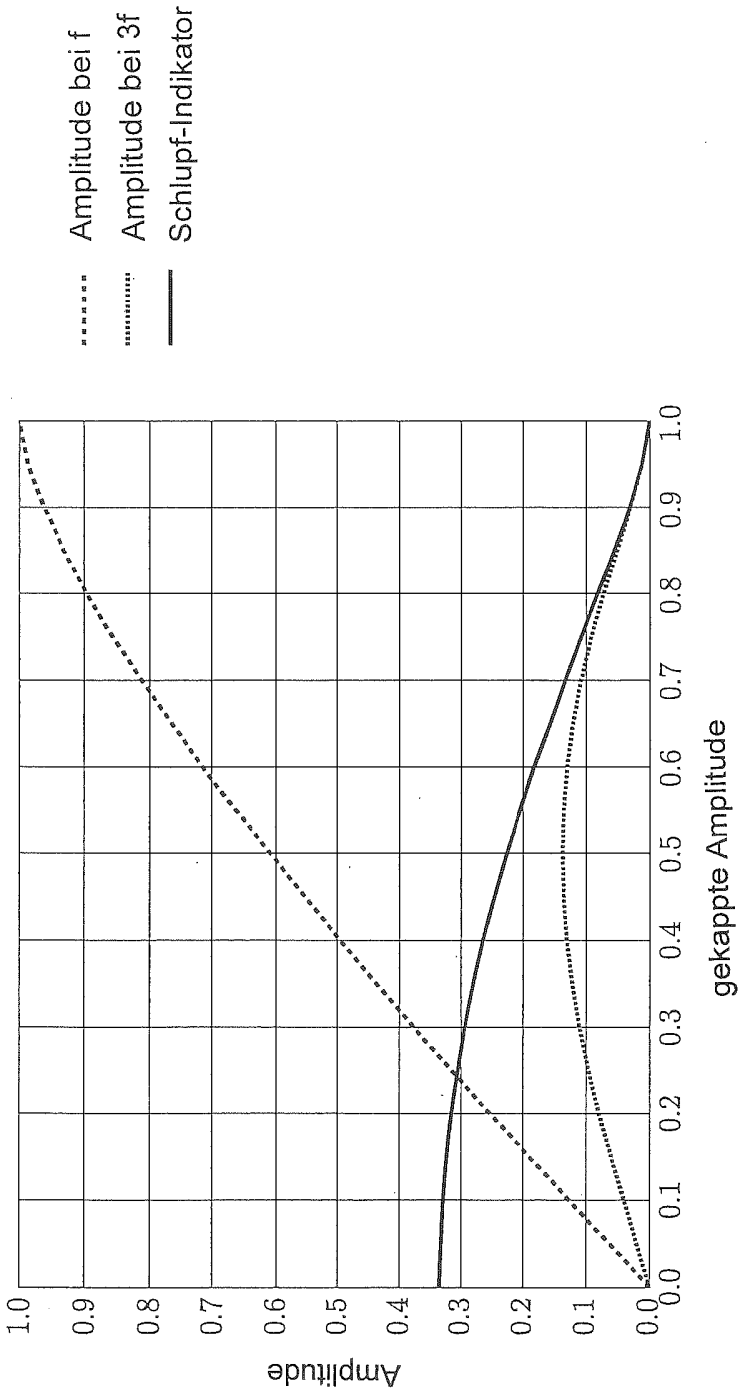

Amplitude bei f
Amplitude bei 3f
Schlupf-Indikator
Amplitude
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
gekappte Amplitude

Fig. 5