



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.03.2003 Patentblatt 2003/12

(51) Int Cl.7: B28B 1/087

(21) Anmeldenummer: 02019205.0

(22) Anmeldetag: 27.08.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:
• Sperling, Lutz
39106 Magdeburg (DE)
• Kuch, Helmut
99425 Weimar (DE)
• Schwabe, Jörg-Henry
99427 Weimar (DE)

(30) Priorität: 13.09.2001 DE 10145825

(71) Anmelder: Institut für Fertigteiltechnik und
Fertigbau Weimar e.V.
99423 Weimar (DE)

(74) Vertreter: Niestroy, Manfred et al
Patentanwälte
Geyer, Fehners & Partner (G.b.R.),
Sellierstrasse 1
07745 Jena (DE)

(54) **Anordnung zur Verdichtung und Formgebung von Gemengen**

(57) Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Verdichtung und Formgebung von Gemengen, bevorzugt von Betongemenge, umfassend eine das Gemenge aufnehmende, in Schwingung zu versetzende, im wesentlichen starre Aufnahmeform 1 mit einem Schwerpunkt S, elastische Elemente 2 zur Lagerung derselben, sowie vier an der Aufnahmeform 1 angebrachte, voneinander unabhängig angetriebene, schwingungserzeugende Baugruppen 3.1,...,3.4 mit je einem Erregungszentrum. Die Erfindung ermöglicht es, die Aufnahmeform ohne Zwangssynchronisation in gerichtete Schwingungen in einer Vorzugsrichtung zu versetzen.

Bei einer solchen Anordnung ist die Aufnahmeform 1 auf elastischen Elementen 2 tief abgestimmt gelagert, sind die Erregungszentren der vier Baugruppen 3.1,..., 3.4 in einer innerhalb bestimmter Toleranzen symmetrische Anordnung um den Schwerpunkt positioniert, und weiterhin sind innerhalb einer jeden Baugruppe 3.1,..., 3.4 ein oder mehrere rotierende Unwuchterreger, deren Achsen im wesentlichen alle zueinander parallel sind, vorgesehen, wobei der relative Drehsinn zueinander ebenfalls durch die symmetrische Anordnung festgelegt wird.

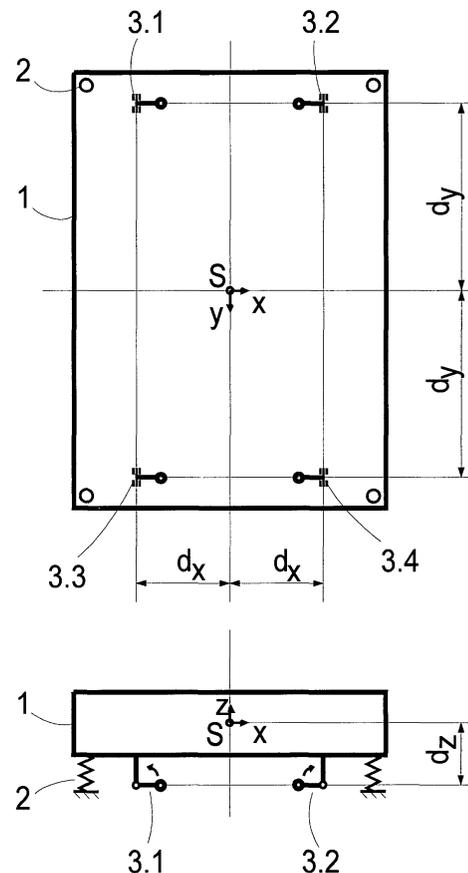


Fig.1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Verdichtung und Formgebung von Gemengen, bevorzugt von Betongemengen, umfassend eine das Gemenge aufnehmende und in Schwingungen zu versetzende, im wesentlichen starre Aufnahmeform mit der Masse M und dem Schwerpunkt S, elastische Elemente, auf denen die Aufnahmeform gegen eine im wesentlichen schwingungsfreie Auflage abgestützt ist, sowie vier an der Aufnahmeform angebrachte, voneinander unabhängig angetriebene, schwingungserzeugende Baugruppen mit je einem Erregungszentrum, wobei die Baugruppen etwa die gleiche Schwingungsfrequenz anregen, und bezieht sich auf das Problem, die Aufnahmeform in gerichtete Schwingungen in einer Vorzugsrichtung zu versetzen.

[0002] Im Stand der Technik sind zahlreiche Verfahren und Anordnungen zur Verdichtung und Formgebung von Gemengen unterschiedlichster Konsistenz - beispielsweise Betongemengen oder auch körnigen Schüttgütern wie Sand - bekannt. Häufig wird die Verdichtung dadurch erreicht, daß das Gemenge in Bewegung versetzt wird. Dadurch werden Reibungs- und Adhäsionskräfte verringert, und es wird ein Fließvorgang induziert, der in Zusammenarbeit mit der Gravitationskraft dazu führt, daß eingeschlossene Luft nach oben entweicht und eine dichtere Anordnung der Bestandteile des Gemenges ermöglicht - bei einer Mischung von Bestandteilen unterschiedlicher Größe zum Beispiel werden größere Zwischenräume zwischen Bestandteilen großen Volumens von solchen mit kleinerem Volumen aufgefüllt. Bei der Verdichtung von Betongemengen kommt es auf eine gleichmäßige und hohe Dichte des Gemenges an, die für eine hohe Druckfestigkeit und gute Materialqualität unabdingbar ist.

[0003] In einem weit verbreiteten, durch seine Zuverlässigkeit und Einfachheit ausgezeichneten Verfahren werden in einer schwingungserzeugenden Baugruppe harmonische Schwingungen erzeugt und diese auf das Gemenge übertragen. Dabei werden die Schwingungen mittels einer rotierenden Unwucht erzeugt, die mit der Aufnahmeform mechanisch gekoppelt ist. Im einfachsten Fall besteht eine schwingungserzeugende Baugruppe aus einem Elektromotor mit symmetrisch an den Wellenenden angebrachten Unwuchtmassen. Dadurch werden senkrecht zur Drehachse stehende, mit der Unwucht rotierende Fliehkräfte erzeugt. Die Beschreibung eines solchen Schwingungserzeugers findet sich zum Beispiel in "Außenrüttler - Grundlagen und praktische Anwendungen der Rütteltechnik", von S. Wambach und W. Schneider, erschienen im "verlag moderne industrie", Landsberg 1992.

[0004] Ist nur ein Schwingungserzeuger an der Aufnahmeform angebracht, so bewegt sich ein beliebiger Punkt auf der Form auf kreisförmigen oder elliptischen Bahnen und es kann durch Kipp- und Taumelschwingungen zu starken Unterschieden in den Bewegungsgrößen kommen. Für viele technologische Anwendungen werden jedoch gerichtete Schwingungen benötigt. Aus diesem Grund werden häufig zwei Schwingungserzeuger derart gekoppelt, daß die Aufnahmeform in lineare Schwingungen versetzt wird. Dabei reicht es aus, die zwei Schwingungserzeuger mit ihren Rotationsachsen etwa parallel zueinander auszurichten, wobei darauf zu achten ist, daß sie gegenläufig rotieren und etwa die gleiche Schwingungsfrequenz und -breite erzeugen. Die Kopplung wird durch die Aufnahmeform vermittelt, die aus diesem Grund im wesentlichen starr sein muß. Durch die eintretende Selbstsynchronisation heben sich gegeneinander gerichtete Kräfte auf und gleichgerichtete addieren sich, so daß insgesamt eine lineare Schwingung entsteht. Solche Anordnungen sind aus dem Stand der Technik bekannt, und zum Beispiel bei Wambach/Schneider auf den Seiten 8-10 beschrieben: Auch die PCT-Schrift WO 98/50171 beschreibt eine ähnliche Anordnung, wobei die Kopplung bei dieser Anordnung allerdings nicht direkt über die Aufnahmeform erfolgt, sondern die Schwingungserzeuger an einem Träger angebracht sind, der Träger wiederum beweglich über eine Halterung mit einer Konsole verbunden ist, und die Konsole entweder Teil der Aufnahmeform ist oder an dieser angebracht sein kann.

[0005] Die Beschleunigungsamplitude - die Amplitude der zweiten Ableitung der Schwingung nach der Zeit und ein Maß für den Energieeintrag in das Gemenge - der Aufnahmeform wird bei tiefer Abstimmung der Aufstellung der Aufnahmeform auf elastischen Lagern - d.h. bei einer Abstimmung derart, daß die höchste Eigenfrequenz der aufgestellten Aufnahmeform als starrer Körper kleiner als die niedrigste Erregerfrequenz der Schwingungserzeuger ist - durch die Fliehkraft und die Massen der Aufnahmeform und Unwuchten bestimmt. Mechanische Belastbarkeit und Handhabbarkeit setzen dabei der Größe der Schwingungserzeuger und damit der Beschleunigungsamplitude enge Grenzen, und bei größeren Aufnahmeformen werden mehr als zwei Schwingungserzeuger benötigt, um eine ausreichende Beschleunigungsamplitude erzielen zu können. Bei einer als Rütteltisch mit einer Ausdehnung von etwa 3x2 Metern und einem Gewicht von etwa 2000 kg gestalteten Aufnahmeform mittlerer Größe beispielsweise werden vier Schwingungserzeuger einer noch handelsüblichen Größe mit einer Erregerkraftamplitude von 30 kN benötigt, um die für die Verdichtung von Gemengen benötigten Beschleunigungsgrößen zu erzeugen. Die Verwendung von mehr als zwei Schwingungserzeugern führt jedoch aufgrund des komplexeren Zusammenspiels von mehr als zwei Fliehkraftvektoren bei der Selbstsynchronisation in der Regel dazu, daß keine linearen Schwingungen erzeugt werden oder nur solche, die einer zufälligen, jedoch nicht der gewünschten Richtung entsprechen. Im bekannten Stand der Technik lassen sich die gewünschten linearen Schwingungen dann nur erzeugen, wenn man in solchen Systemen aufwendige mechanische oder elektronische Zwangssynchronisationen vornimmt, wie zum Beispiel in den Schriften DE 43 41 387 A1 oder DE 196 24 810 A1 beschrieben. Als Folge davon ist die Fertigung von Bauteilen mittlerer Größe mit Vibrationsseinrichtungen mit deutlich größerem Aufwand hinsichtlich des Materials und der Kosten verbunden.

[0006] Die in WO/9850171 beschriebene Anordnung sieht zwar ebenfalls die Möglichkeit von mehr als zwei Fliehgewichten vor, jedoch wird offengelassen, wie die bekannten Probleme, d.h. in diesem Falle das Erzeugen der gewünschten linearen Schwingungen im Träger bei mehr als zwei unabhängigen Wellen ohne Zwangssynchronisation, gelöst werden sollen.

[0007] Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung mittlerer Größe zu entwickeln, bei der auch ohne Zwangssynchronisation die Aufnahmeform immer in eine lineare Schwingung in nur einer ausgezeichneten Richtung versetzt wird und eine weniger kosten- und materialintensive Herstellung von Bauteilen mittlerer Größe mit Vibrationseinrichtungen bei gleicher oder besserer Qualität ermöglicht wird.

[0008] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einer Anordnung der eingangs beschriebenen Art, umfassend eine das Gemenge aufnehmende und in Schwingungen zu versetzende Aufnahmeform mit der Masse M und dem Schwerpunkt S, elastische Elemente, auf denen die Aufnahmeform gegen eine im wesentlichen schwingungsfreie Auflage abgestützt ist, sowie vier an der Aufnahmeform angebrachte, voneinander unabhängig angetriebene, schwingungserzeugende Baugruppen mit je einem Erregungszentrum, wobei die Baugruppen etwa die gleiche Schwingungsfrequenz anregen, dadurch gelöst, daß die Aufnahmeform auf elastischen Elementen tief abgestimmt gelagert ist, die Position des Schwerpunkts S dem Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems mit den Achsen x, y, z entspricht, in welchem die vier Erregungszentren der Baugruppen jeweils paarweise im wesentlichen spiegelsymmetrisch sowohl zu der von der x- und z-Achse bei y=0 aufgespannten Ebene E_{xz} als auch zu der von der y- und z-Achse bei x=0 aufgespannten Ebene E_{yz} positioniert sind, innerhalb einer jeden Baugruppe ein oder mehrere rotierende Unwuchterreger vorgesehen sind, die Rotationsachsen aller Unwuchterreger im wesentlichen parallel zur y-Achse ausgerichtet sind und etwa in einer Ebene liegen, die parallel zu der von der x- und y-Achse bei z=0 aufgespannten Ebene E_{xy} liegt, wobei der Drehsinn in den Baugruppen, deren Erregungszentren spiegelsymmetrisch zur Ebene E_{xz} liegen, gleich- oder gegensinnig ist, der Drehsinn in den Baugruppen, deren Erregungszentren spiegelsymmetrisch zur Ebene E_{yz} liegen, stets gegensinnig ist, die jeweils entlang der x-, y-, bzw. z-Achse definierten Abstände d_x, d_y, und d_z zwischen dem Schwerpunkt S der Aufnahmeform und einem Erregungszentrum den Bedingungen

$$Md_y^2 \left(\frac{1}{I_{xx}} + \frac{1}{I_{zz}} \right) + \frac{M(d_x^2 + d_z^2)}{I_{yy}} > 2 \quad (1),$$

$$\frac{Md_y^2 \left(\frac{Md_y^2}{I_{zz}} + \frac{M(d_x^2 + d_z^2)}{I_{yy}} \right) + 1}{I_{xx}} > Md_y^2 \left(\frac{1}{I_{xx}} + \frac{1}{I_{zz}} \right) + \frac{M(d_x^2 + d_z^2)}{I_{yy}} \quad (2),$$

und

$$\frac{M^2 d_y^4}{I_{xx} I_{zz}} + 1 > Md_y^2 \left(\frac{1}{I_{xx}} + \frac{1}{I_{zz}} \right) \quad (3)$$

genügen, wobei M die Masse der Aufnahmeform ist und I_{xx}, I_{yy}, und I_{zz} die Diagonalelemente des Massenträgheitstensors im kartesischen Koordinatensystem sind.

[0009] Dabei bezeichnet das Erregungszentrum den Durchstoßpunkt der Drehachse der Unwucht durch die Ebene, die durch die Drehung des Unwuchtschwerpunktes aufgespannt wird. Bei Elektro-Außenvibratoren mit an den Wellenenden angebrachten Teil-Unwuchtkörpern z.B. liegt das Erregungszentrum in der Mitte zwischen den beiden Teil-Unwuchtkörpern auf deren Drehachse. Die vier Erregungszentren spannen demnach ein Rechteck auf, durch dessen Schwerpunkt die z-Achse verläuft, und je zwei der vier Unwuchterreger müssen analog zur Anordnung mit nur zwei Unwuchterregern jeweils gegensinnig rotieren. Implizit werden durch die Ungleichungen (1) bis (3) Maximal- und Minimalwerte der drei Abstände d_x, d_y, und d_z in Abhängigkeit voneinander sowie von der Masse der Aufnahmeform festgelegt. Da sich bei dieser Anordnung der Unwuchterreger die Selbstsynchronisation so einstellt, daß die Schwingung immer in der gewünschten Richtung - der z-Richtung - erfolgt, kann auf die aufwendige mechanische oder elektronische Zwangskopplung der Unwuchterreger verzichtet werden.

[0010] Die Rotationsachsen aller Unwuchterreger müssen dabei nicht exakt, sondern nur im wesentlichen parallel zur y-Achse ausgerichtet werden, was die Anbringung der Unwuchterreger erleichtert. Wie groß die Abweichungen von der Parallelität sein dürfen, hängt vom Verhältnis der Werte, die sich für die Ungleichungen jeweils auf beiden

Seiten ergeben, ab. Werden die Ungleichungen erfüllt und dividiert man die rechte Seite durch den Wert auf der linken Seite, so werden die Quotienten nur wenig kleiner als eins sein - etwa zwischen 1 und 0.95 - wenn die Ungleichungen nur knapp erfüllt werden. In diesem Fall sind die möglichen Toleranzen mit bis zu 5° eher gering. Je kleiner jedoch diese Quotienten werden, d.h. je besser die Ungleichungen erfüllt werden, desto größer werden auch die Toleranzen mit möglichen Abweichungen von der Parallelität zur y-Achse. Abweichungen von der Parallelität der Rotationsachsen der Unwuchterreger zur y-Achse von bis zu 30° sind möglich, sofern die Rotationsachsen der Unwuchterreger ebenfalls im wesentlichen spiegelsymmetrisch zur Ebene E_{xz} ausgerichtet sind und die Rotationsachsen der Unwuchterreger, deren Erregungszentren jeweils spiegelsymmetrisch zur Ebene E_{yz} liegen, im wesentlichen parallel liegen.

[0011] Je besser die Ungleichungen erfüllt werden, desto störungsunempfindlicher ist der Betrieb der Anordnung hinsichtlich von Toleranzen in den Massen-, Steifigkeits-, Dämpfungs-, Abstimmungs-, Parallelitäts- und Symmetrieeigenschaften sowie der Gleichheit der Unwuchterreger und -antriebe.

[0012] Die Aufnahmeform wird mittels elastischer Elemente gegen eine im wesentlichen schwingungsfreie Auflage abgestützt. Dabei müssen die elastischen Elemente so gewählt werden, daß eine tiefe Abstimmung erreicht wird: Die höchsten Eigenfrequenzen der Aufnahmeform als auf den elastischen Elementen gelagerter starrer Körper sollten nicht mehr als etwa ein Drittel der Erregerfrequenz der schwingungserzeugenden Baugruppen betragen.

[0013] Es ist daher zweckmäßig, die elastische Lagerung auf Erregerfrequenzen im Bereich von 16 bis 200 Hz abzustimmen.

[0014] In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung sind die elastischen Elemente als Gummielemente ausgebildet. Die Shore-Härten dieser Gummielemente werden bevorzugt aus dem Bereich von 40 Shore A (weich) bis 75 Shore A (hart) gewählt. Dabei ist darauf zu achten, daß alle Gummielemente etwa die gleiche Shore-Härte haben.

[0015] In einer anderen bevorzugten Ausführung sind die elastischen Elemente als Schraubenfedern ausgestaltet, für die das oben bezüglich der Härte der Lagerung Gesagte analog gilt. Dabei ist ebenfalls darauf zu achten, daß alle Schraubenfedern etwa die gleiche Federkonstante, bevorzugt im Bereich von 10^5 N/m bis 10^8 N/m besitzen. Schraubenfedern besitzen Gummielementen gegenüber den Vorteil, daß sie hinsichtlich ihres Federweges mit an sich bekannten mechanischen Mitteln einstellbar gestaltet sein können.

[0016] In einer weiteren bevorzugten Ausführung sind die elastischen Elemente als Lufffedern ausgebildet. Damit sind besonders niedrige Eigenfrequenzen der auf den elastischen Lagern aufgestellten Aufnahmeform zu erreichen.

[0017] Zweckmäßig bei einer schweren Aufnahmeform - etwa im Bereich von Massen zwischen 1000 und 3000 kg - ist außerdem die Verwendung von mehreren Unwuchterregern in einer schwingungserzeugenden Baugruppe, um eine ausreichend hohe Beschleunigungsamplitude erzielen zu können, so daß das Gemenge verdichtet werden kann.

[0018] Zur Verwendung als schwingungserzeugende Baugruppe bietet sich vorzugsweise der Einsatz von Elektroaußenrüttlern an, die in verschiedenen Variationen im Handel erhältlich sind.

[0019] Bei sehr schweren Aufnahmeformen mit Massen von mehreren Tonnen ist es vorteilhaft, mehrere Unwuchterreger mit jeweils einem eigenen Antrieb untereinander zu koppeln, und diese zu einer schwingungserzeugenden Baugruppe zusammenzufassen, so daß auch in diesen Aufnahmeformen eine ausreichende Schwingungsbreite erzeugt wird. Zwar wird auf diese Weise wieder eine Zwangssynchronisation eingeführt, jedoch beschränkt sie sich auf die interne Synchronisation in einer schwingungserzeugenden Baugruppe. Die bei anderen Anordnungen nötige Zwangssynchronisation verschiedener Baugruppen entfällt auch weiterhin, was sich u.a. vorteilhaft hinsichtlich möglicher Torsionsschwingungen in den Antriebssträngen auswirkt.

[0020] Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Die dazugehörige Zeichnung Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Anordnung in einer Ansicht von unten und von der Seite.

[0021] Die Aufnahmeform 1 mit der Masse M ist hier als flache Form oder Rütteltisch ausgestaltet. Sie kann auf der Oberseite verschiedene, auswechselbare Behältnisse zur Formgebung und Verdichtung von Betongemengen aufnehmen. Zur Verdeutlichung des Prinzips wurde in der Zeichnung auf die Darstellung von eventuell nötigen Verrippungen, die eine hohe Steifigkeit bei niedrigem Gewicht ermöglichen, verzichtet. Der Schwerpunkt S befindet sich bei dieser Konstruktion in der Aufnahmeform 1. Er bildet den Bezugspunkt für die Abstände der Erregerzentren auf den Achsen. In den vier Ecken an der Unterseite befindet sich jeweils ein als Schraubenfeder ausgestaltetes elastisches Element 2. Es können jedoch auch mehr elastische Elemente 2 verwendet werden, die an weiteren Positionen an den Unterseiten angebracht sein können. An der Unterseite der Aufnahmeform 1 sind vier schwingungserzeugende Baugruppen 3.1, ..., 3.4 angebracht. Die Abstände d_x , d_y , und d_z beziehen sich auf deren Erregungszentren. Bei einer Ausdehnung des Rütteltischs von $2 \times 3 \times 0,4$ Metern (Breite (x) x Länge (y) x Höhe (z)) und einer Masse von 2000 kg beispielsweise ergeben sich für die Diagonalelemente des Massenträgheitstensors $I_{xx} = 1527 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $I_{yy} = 693 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $I_{zz} = 2167 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, und man kann $d_x = 0,4 \text{ m}$, $d_y = 1,2 \text{ m}$, und $d_z = 0,3 \text{ m}$ wählen, um die Ungleichungen zu erfüllen und eine gleichmäßig verteilte Beschleunigungsamplitude zu erzielen. In einer Baugruppe können sich z.B. zwei Unwuchten befinden, die mechanisch z.B. über eine Welle gekoppelt sind. Das Erregungszentrum liegt dann genau zwischen diesen beiden Unwuchten auf der Rotationsachse. Die Abstände d_x , d_y , d_z sind aufgrund der spiegelsymmetrischen Anordnung für alle schwingungserzeugenden Baugruppen 3.1, ..., 3.4 gleich, und die Spiegelebenen verlaufen senkrecht zur flachen Seite der Aufnahmeform 1 und schneiden sie entlang von Linien, die durch den Schwerpunkt S und parallel zu den

Begrenzungen der Aufnahmeform 1 verlaufen.

Patentansprüche

5

1. Anordnung zur Verdichtung und Formgebung von Gemengen, bevorzugt von Betongemengen, umfassend

10

- eine das Gemenge aufnehmende und in Schwingungen zu versetzende, im wesentlichen starre Aufnahmeform (1) mit der Masse (M) und dem Schwerpunkt (S),
- elastische Elemente (2), auf denen die Aufnahmeform (1) gegen eine im wesentlichen schwingungsfreie Auflage abgestützt ist,
- vier an der Aufnahmeform (1) angebrachte, voneinander unabhängig angetriebene, schwingungserzeugende Baugruppen (3.1 ,...,3.4) mit je einem Erregungszentrum, wobei die Baugruppen (3.1 ,...,3.4) etwa gleiche Schwingungsfrequenzen anregen, **dadurch gekennzeichnet, daß**
- die Aufnahmeform (1) auf elastischen Elementen (2) tief abgestimmt gelagert ist,
- die Position des Schwerpunkts (S) dem Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems mit den Achsen (x, y,z) entspricht, in welchem die vier Erregungszentren der Baugruppen (3.1, ...,3.4) jeweils paarweise im wesentlichen spiegelsymmetrisch sowohl zu der von der x- und z-Achse bei y=0 aufgespannten Ebene (E_{xz}) als auch zu der von der y- und z-Achse bei x=0 aufgespannten Ebene (E_{yz}) positioniert sind,
- innerhalb einer jeden Baugruppe (3.1, ...,3.4) ein oder mehrere rotierende Unwuchterreger vorgesehen sind,
- die Rotationsachsen aller Unwuchterreger im wesentlichen parallel zur y-Achse ausgerichtet sind und etwa in einer Ebene liegen, die parallel zu der von der x- und y-Achse bei z=0 aufgespannten Ebene (E_{xy}) liegt, wobei
- der Drehsinn in den Baugruppen (3.1 ,...,3.4), deren Erregungszentren spiegelsymmetrisch zur Ebene (E_{xz}) liegen, gleich- oder gegensinnig ist,
- der Drehsinn in den Baugruppen (3.1 ,...,3.4), deren Erregungszentren spiegelsymmetrisch zur Ebene (E_{yz}) liegen, stets gegensinnig ist,
- die jeweils entlang der x-, y-, bzw. z-Achse definierten Abstände (d_x), (d_y) und (d_z) zwischen dem Schwerpunkt (S) der Aufnahmeform (1) und einem Erregungszentrum den Bedingungen

15

20

25

30

$$Md_y^2 \left(\frac{1}{I_{xx}} + \frac{1}{I_{zz}} \right) + \frac{M(d_x^2 + d_z^2)}{I_{yy}} > 2 \tag{1},$$

35

$$\frac{Md_y^2}{I_{xx}} \left(\frac{Md_y^2}{I_{zz}} + \frac{M(d_x^2 + d_z^2)}{I_{yy}} \right) + 1 > Md_y^2 \left(\frac{1}{I_{xx}} + \frac{1}{I_{zz}} \right) + \frac{M(d_x^2 + d_z^2)}{I_{yy}} \tag{2},$$

40

und

45

$$\frac{M^2 d_y^4}{I_{xx} I_{zz}} + 1 > Md_y^2 \left(\frac{1}{I_{xx}} + \frac{1}{I_{zz}} \right) \tag{3}$$

genügen, wobei

50

- (M) die Masse der Aufnahmeform (1) ist und
- (I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}) die Diagonalelemente des Massenträgheitstensors im kartesischen Koordinatensystem sind.

55

2. Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elastischen Elemente auf Erregerfrequenzen im Bereich von 16 bis 200 Hz abgestimmt sind.

3. Anordnung nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elastischen Elemente (2) als Gummielemente ausgebildet sind.

EP 1 293 315 A2

4. Anordnung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Gummielemente eine Shore-Härte im Bereich von 40 bis 75 Shore A haben und alle Gummielemente etwa die gleiche Shore-Härte haben.
5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elastischen Elemente (2) als Schraubenfedern ausgebildet sind, und alle elastischen Elemente (2) etwa die gleiche Federkonstante, bevorzugt im Bereich von 10^5 N/m bis 10^8 N/m, besitzen.
6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elastischen Elemente (2) als Luftfedern ausgebildet sind.
7. Anordnung nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** in einer jeden Baugruppe (3.1, ..., 3.4) mehrere rotierende Unwulsterreger vorgesehen sind, deren Rotationsachsen im wesentlichen zueinander fluchtend ausgerichtet sind.
8. Anordnung nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die schwingungserzeugenden Baugruppen Elektroaußenrüttler sind.
9. Anordnung nach einem der vorgenannten Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine jede schwingungserzeugende Baugruppe (3.1, ..., 3.4) mehrere, miteinander bevorzugt mechanisch gekoppelte, mit Rotationsantrieben versehene Unwulsterreger umfaßt.

25

30

35

40

45

50

55

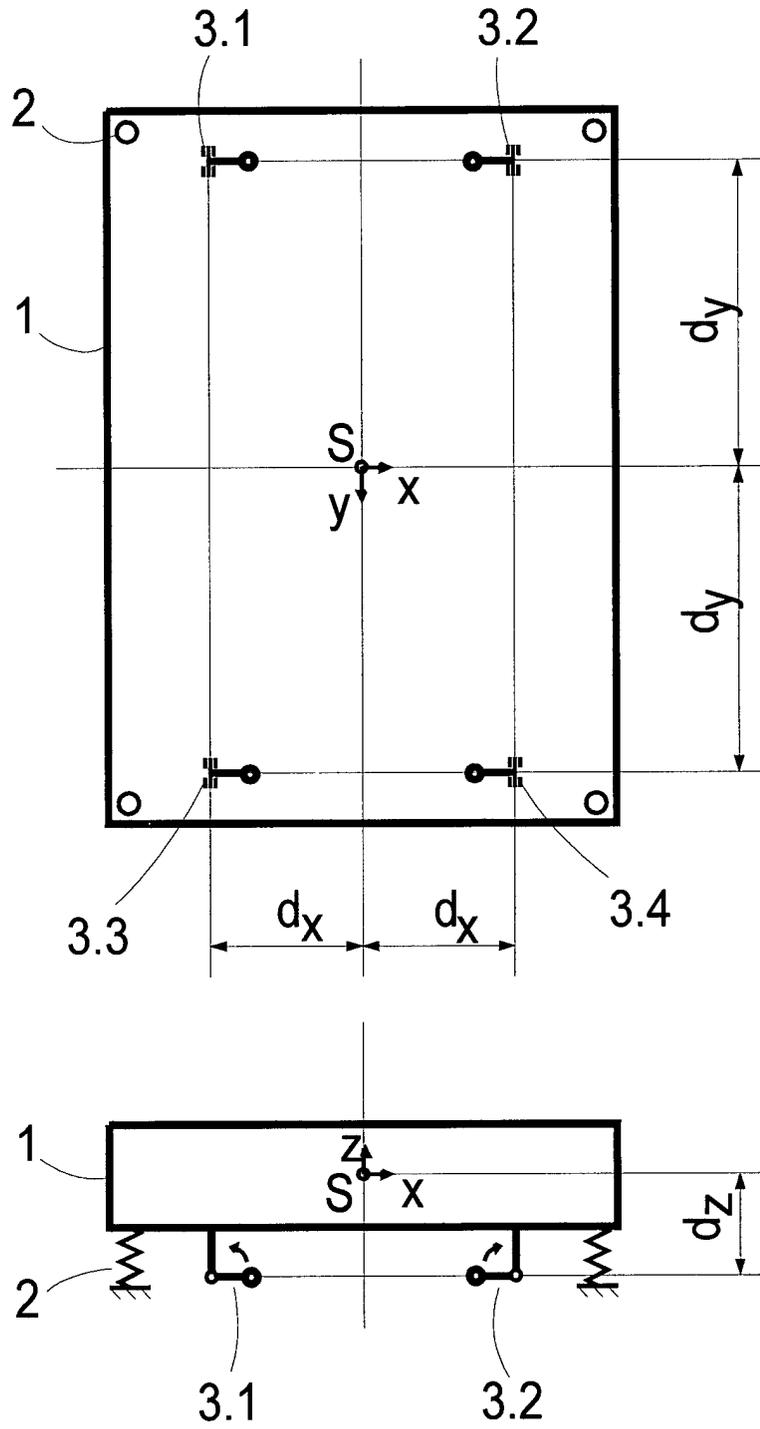


Fig.1