

Verdichtungsgerät, sowie Verfahren zum Verdichten von Böden

Die Erfindung betrifft ein Verdichtungsgerät zum Verdichten von Böden gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1, sowie ein Verfahren zum Verdichten von Böden gemäß Anspruch 21.

Bekannt sind Verdichtungsgeräte z.B. in Form einer Straßenwalze.

Mit Hilfe einer Straßenwalze können großflächig Böden, z.B. Asphaltdecken verdichtet werden. Eine ausreichende Verdichtung ist notwendig, um die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Bodens gewährleisten zu können. Bei den Straßenwalzen wird zwischen einer dynamischen und einer statischen Wirkungsweise bei der Verdichtung unterschieden. Bei der dynamischen Wirkungsweise erfolgt die Verdichtung durch Bewegung, und bei der statischen Wirkungsweise erfolgt die Verdichtung durch das Gewicht der Straßenwalze.

Eine Straßenwalze kann ein selbstfahrendes Fahrzeug sein und weist mindestens eine Bandage auf.

Beim Durchfahren von Kurven mit einer Bandage eines Verdichtungsgerätes in Form einer Straßenwalze gibt es einen inneren und äußeren Kurvenradius der Bandage an ihren seitlichen Enden. An der kurvenäußeren Kante der Bandage ist die Geschwindigkeit aufgrund des längeren zurückgelegten Weges höher, als an der Innenkante. Mit Erhöhung des Lenkeinschlages und somit geringerem Kurvenradius erhöht sich der Unterschied dieser Geschwindigkeiten zueinander. Da eine Bandage jedoch nicht mit unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten an ihren seitlichen Enden rotieren kann, rollt die Bandage in der Mitte ihrer Breite auf dem Untergrund bzw. Boden ab, während es an den äußeren Randbereichen der Bandage zu Schubbewegungen (Schiupf) zwischen Asphalt und dem Walzmantel der Bandage kommt. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Bandage zu teilen und beide Hälften unabhängig voneinander anzutreiben, um somit diesen zwangsläufigen Effekt aufgrund der geringeren Breite der geteilten Bandage zu geringeren.

Oszillationsbandagen werden bisher, im Gegensatz zu Vibrationsbandagen nicht in geteilter Ausführung hergestellt, da die technische Realisierung deutlich schwieriger ist. Die Synchronisation der die Fliehkräfte erzeugenden Unwuchten, muss zu jeder Zeit gewährleistet sein, insbesondere auch bei einer relativen Verdrehung der beiden Bandagen zueinander.

Bei einer bekannten oszillierenden Walze nach WO 82/01903 sind zwei synchron rotierende Unwuchtwellen vorgesehen, die über eine zentrale Welle mittels Zahnriemen angetrieben werden. Dadurch wird der Walze eine schnell wechselnde vorwärts-/rückwärts-rotierende Bewegung aufgezwungen. Die oszillierende Walze hebt somit niemals von der Unterlage ab.

Der WO 82/01903 (Fig. 5) sind vier typische Betriebszustände des Oszillationssystems einer ungeteilten Oszillationsbandage nach dem Stand der Technik entnehmbar. Von links nach rechts sind die Stellungen der Unwuchten jeweils in Schritten von 90° weitergedreht (phasenversetzt) dargestellt.

Durch den gekoppelten Antrieb drehen sich beide Unwuchten (Unwuchtgewichte) gleichsinnig. Während sich bei den Betriebszuständen der linken Abbildungen der Fig. 5 die Zentrifugalkräfte aufheben, resultiert in den Abbildungen auf der rechten Seite (Fig. 5B, 5D) aufgrund der Richtungen der Zentrifugalkräfte F und den Hebelarmen x ein Drehmoment

$$M = 2 \cdot x \cdot F$$

im (Fig. 5B) bzw. gegen den Uhrzeigersinn (Fig. 5D).

Die Bandage erfährt somit bei jeder Umdrehung der Unwuchtwellen eine kleine Verdrehung nach links und rechts und beginnt um die Rotationsachse M der Bandage zu oszillieren.

Bei Vibrationsbandagen ist die Teilung der Bandage bereits bekannt, weil diese technisch leicht zu realisieren ist. Fig. 2 der vorliegenden Beschreibung zeigt die Schnittdarstellung einer geteilten Vibrationsbandage. Die beiden Bandagenteile 2a, 2b sind über eine Drehverbindung miteinander verschraubt. Die Unwuchten 3 für beide Bandagenteile 2a, 2b befinden sich hier auf der zentralen Unwuchtwellen 31, die über einen Hydraulikmotor 7 angetrieben wird. Bei einer Kurvenfahrt und somit Verdrehung der Bandagenteile 2a, 2b zueinander ändert sich an der Vibration in den beiden Bandagenteile 2a, 2b nichts, d.h. beide Bandagenteile 2a, 2b vibrieren synchron.

Ein einfacher Aufbau mit einer durchgängigen Zentralwelle 33 zum Antrieb der Unwuchten 3 wie bei der Vibrationsbandage, ist bei einer Oszillationsbandage in Fig. 3 gezeigt. Dieser Lösung kann das Phasenproblem aus folgenden Gründen nicht lösen:

Beim Verdrehen der Bandagenteile 2a, 2b (Walzmäntel) zueinander, z.B. bei Kurvenfahrt, ändert sich die Position der Unwuchtwellen 31a, 31b zueinander, da die Unwuchtwellen 31a, 31b in den jeweiligen Bandagenteilen 2a, 2b gelagert

sind. Da die Unwuchten 3, die mittels Zahnriemen 32 von einer zentralen Welle 33 angetrieben werden, ihre Ausrichtung beibehalten, verschiebt sich jeweils die Wirkrichtung der Kraft im verdrehten Bandagenteil 2a, 2b (Fig.4 bis Fig.7).

Für eine bessere Darstellung der Zahnriemenführung aus den Fig.4 bis Fig.7 ist die beschriebene Zahnriemenführung in Fig. 3 räumlich dargestellt.

Fig.4 und Fig.5 zeigen die beiden Bandagenteile 2a, 2b vor ihrer Verdrehung. In Fig.6 und Fig.7 sind die Bandagenteile 2a, 2b nach einer Verdrehung des Bandagenteils 2b um 90° dargestellt.

Zur Erklärung soll angenommen werden, dass das Bandagenteil 2a die Position nicht verändert, während das Bandagenteil 2b durch Kurvenfahrt um 90° weitergedreht wird. Auch die zentrale, rotierende Welle wird zur Veranschaulichung einer Momentaufnahme unterworfen und steht somit quasi still. Wie Fig.7 zeigt, stehen die beiden Unwuchten des rechten Bandagenteils 2b nun übereinander. Da die Antriebswelle 33 in der Walzenmitte stillsteht, hat sich bei der Drehung des Bandagenteils 2b der Zahnriemen 32 an der zentralen Antriebsriemenscheibe 21 abgerollt und die Ausrichtung der Unwuchten 3 nicht verändert. Wegen der neuen Position der Unwuchten 3 leiten die Fliehkräfte nun aber mit maximalem Hebel ein Moment ein, das das Bandagenteil 2b in Drehung versetzt. Bei der Stellung in Fig.6 dagegen kommt kein Moment zustande, da der wirksame Hebel gleich Null ist.

Die beschriebene Problematik hat zur Folge, dass die Bandagenteile 2a, 2b nicht synchron oszillieren können. Im Extremfall, wenn die beiden Bandagenteile 2a, 2b genau entgegengesetzt arbeiten, kommt es im Spalt zwischen den Bandagenteilen 2a, 2b und im angrenzenden Bereich zu Schubbewegungen, die ein Aufreißen der Asphaltdecke mit sich bringen. Je nach Verdrehung der beiden Bandagenteile 2a, 2b zueinander sind Phasenfehler von 0 bis 180° möglich. Bereits Phasenfehler von 10-20° würden den Asphalt an der Fuge zwischen den Bandagenteilen 2a, 2b abscheren.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Vibrationsgerät bzw. ein Verfahren zum Verdichten von Böden anzugeben, das die vorgenannten Probleme nicht aufweist.

Zur Lösung dieser Aufgabe dienen erfindungsgemäß die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. 21.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass bei einem Verdichtungsgerät mit mindestens einer verfahrbaren, um eine Bandagenachse drehbaren Bandage mit um die Bandagenachse ein oszillierendes Drehmoment erzeugenden gekoppelten Schwingungserregern mit Unwuchten, die um 180 Grad phasenversetzt mit gleicher Drehrichtung rotieren, und mit einer koaxial zur Bandagenachse verlaufenden Antriebswelle zum Antrieb der Schwingungserreger, die Bandage mindestens einmal geteilt ist und dass jedes Bandagenteil mindestens zwei, in der Bandage mit Abstand von der Bandagenachse gelagerte gekoppelte Schwingungserreger aufweist.

Die jeweiligen Schwingungserreger sind dabei in den jeweiligen Bandagenteilen gelagert.

Vorzugsweise ist vorgesehen, dass die Antriebswellen für die Schwingungserreger der einzelnen Bandagenteile mechanisch gekoppelt oder über eine Steuerung phasenrichtig eingestellt sind, damit die Schwingungserreger aller Bandagenteile auch bei einer Verdrehung der Bandagenteile relativ zueinander synchron schwingen.

Die Steuerung kann elektrisch, elektronisch oder hydraulisch/pneumatisch erfolgen.

Die Antriebswellen für die Schwingungserreger der benachbarten Bandagenteile können mechanisch über ein Getriebe gekoppelt sein, wobei das Getriebe die

Drehung bzw. das Antriebsmoment einer Antriebswelle phasenrichtig auf die nachfolgende Antriebswelle überträgt.

Das Getriebe zum Koppeln der Antriebswellenteile kann ein Planetengetriebe oder ein Stirnradgetriebe oder ein Kegelradgetriebe sein.

Die Bandage ist zweigeteilt und jeder Bandagenteil weist einen eigenen Fahrtrieb auf, wobei die beiden Bandagenteile koaxial relativ zueinander verdrehbar miteinander verbunden sind.

Ein vorzugsweise einsetzbares Planetengetriebe kann aus mindestens zwei Planetensätzen bestehen.

Das Planetengetriebe aus zwei Planetensätzen kann einen gemeinsamen Planetenträger aufweisen, wobei die Hohlräder der Planetensätze jeweils mit einem Bandagenteil drehfest verbunden sind und die jeweiligen Antriebswellen mit den jeweiligen Sonnenrädern der Planetensätze.

Das Getriebe zum Antrieb der Unwuchten kann ein Riemengetriebe oder Kettengetriebe sein.

Das Getriebe zum Antrieb der Schwingungserreger ist vorzugsweise ein Zahnriementrieb mit Omega-Umschlingung, welcher mit Unwuchten gekoppelte Zahnriemenscheiben antreibt.

Das Getriebe ist bevorzugt ein Riemengetriebe mit einer Riemenführung, die eine Drehrichtungsumkehr und eine reziproke Übersetzung zum Planetengetriebe ermöglicht.

Die Übersetzung des Riemengetriebes und die Übersetzung des Planetengetriebes soll insgesamt ein Übersetzungsverhältnis von 1 : 1 ergeben.

Es kann auch ein mehrstufiges Planetengetriebe und ein Riementrieb ohne Drehrichtungsumkehr und ohne reziproke Übersetzung zum Planetengetriebe vorgesehen sein.

Die Schwingungserreger weisen Unwuchtgewichte auf und die Unwuchtgewichte bestehen vorzugsweise aus Unwuchtplatten, die vorzugsweise seitlich an den Riemenscheiben des Riemengetriebes befestigt sind und eine radial sich nach außen erstreckende Flanke aufweisen, die in einer bestimmten Ausgangsposition mit dem Riemen des Riemengetriebes fluchtet, wenn der Drehwinkelversatz zwischen den beiden von dem Riemengetriebe angetriebenen Unwuchtwellen bzw. Riemenscheiben dem Sollwert entspricht. Vorzugsweise ist das Riemengetriebe ein Zahnriemengetriebe.

Eine Riemenspanneinrichtung kann den Riemen zum Antrieb der Unwuchten bzw. der Riemenscheibe mit Hilfe eines exzentrisch verlagerbaren Lagerzapfens für die Riemenscheibe spannen.

Die Riemenspanneinrichtung kann einen exzentrischen Verstellbolzen zum Verdrehen und Festsetzen des exzentrischen Lagerzapfens aufweisen.

Das Riemengetriebe kann zu der Drehachse der Unwuchten koaxiale und konzentrische Riemenscheiben aufweisen, deren Gewichtsverteilung nicht rotations-symmetrisch zur Drehachse der Unwuchten verläuft.

Zur Drehachse der Unwuchten unsymmetrisch angeordnete Aussparungen, vorzugsweise Löcher oder Bohrungen, im Material der Zahnriemenscheibe können eine nicht rotationssymmetrische Gewichtsverteilung bewirken und eine negative Unwuchtmasse bilden.

Seitlich angeordnete Unwuchtplatten können an den Riemenscheiben befestigt sein und/oder unsymmetrisch angeordnete Schrauben, die ein Unwuchtgewicht

bilden, wobei die Schrauben auch zur Befestigung der Unwuchtplatten dienen können.

Zur Aufnahme der Wälzlager der Unwuchten können fliegende Lagerzapfen vorgesehen sein, wobei die Lager vorzugsweise zentrisch zur radialen Riemenkraft und Fliehkraft der Unwuchten angeordnet sind.

Dieser Lagerzapfen sind zum Spannen des Riemens verlagerbar in den Ronden der Bandagenteile gelagert.

Zum Verdichten von Böden mit einer Bandage eines Verdichtungsgerätes ist vorgesehen, mit Hilfe mindestens eines Schwingungserregers mit rotierenden Unwuchtgewichten Verdichtungsschwingungen der Bandage zu erzeugen, wobei durch das Verwenden einer geteilten Bandage mit zwei Bandagenhälften, bei der die Unwuchtgewichte der Schwingungserreger in jedem Teil der Bandage um den gleichen Winkel bezüglich der Phasenlage wie die relative Verdrehung der Bandagenhälften zueinander verdreht werden, um eine Synchronisation der Oszillationsbewegung in beiden Bandagenhälften zu erreichen, auch wenn die Bandagenhälften zueinander verdreht sind.

Eine mechanische Verbindung soll die Synchronisation der Erregerkräfte in beiden Bandagenhälften ermöglichen. Diese Funktion übernimmt ein mehrstufiges Planetengetriebe.

Dabei hat ein Getriebe die Aufgabe, das Moment des Hydraulikmotors zum Antrieb der Unwuchten von der linken auf die rechte Bandage phasenrichtig zu übertragen.

Im Folgenden werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1 ein Vibrationsgerät,
- Fig. 2 eine geteilte Vibrationsbandage der Walze DV90 nach dem Stand der Technik,
- Fig. 3 eine einfache Zahnriemenführung für geteilte Oszillation, mit der das Phasenproblem nicht gelöst werden kann,
- Fig. 4 bis 7 unterschiedliche Bandagenpositionen,
- Fig. 8 eine Schnittdarstellung der erfindungsgemäßen Bandage,
- Fig. 9 einen Planetensatz,
- Fig. 10 einen Zahnriementrieb mit Omega-Umschlingung,
- Fig. 11 die Exzentrizität des Unwuchtflansches/Lagerzapfens, und
- Fig. 12 eine perspektivische Ansicht einer Zahnriemenscheibe.

Fig. 1 zeigt als Beispiel für ein Vibrationsgerät eine Straßenwalze, nämlich insbesondere eine Tandemvibrationswalze mit einer vorderen und einer hinteren Bandage 2.

Fig. 2 bis 7 erläutern, wie in der Beschreibungseinleitung bereits erwähnt, den Stand der Technik.

In Fig. 8 ist eine geteilte oszillationsfähige Bandage 2 abgebildet. Dargestellt sind die beiden Bandagenteile 2a, 2b mit eingebautem Getriebe, z.B. dem in Fig. 9 dargestellten Planetengetriebe 6 zur Lösung des Phasenproblems bei Kurvenfahrt, Unwuchten (Unwuchtgewichte) 3 der Schwingungserreger 30a, 30b und den Anbauteilen.

Fahrantriebe 7a, 7b treiben die jeweiligen Bandagenteile 2a, 2b an. Das Planetengetriebe 6 weist zwei Planetensätze 6a, 6b auf.

Jeder Bandagenteil 2a, 2b weist eine innenseitig angeordnete stirnseitige Ronde 12a, 12b auf, in der beispielsweise Lagerzapfen 20a, 20b zur Aufnahme rotierender Unwuchten 3 der Schwingungserreger 30a, 30b gelagert sind.

Das Hohlrad 10a auf der linken Seite des ersten Planetensatzes 6a ist durch den Lagerzapfen 16a und die Ronde 12a mit dem Bandagenteil 2a auf der linken Seite der Bandage 2 fest verbunden. Das Hohlrad 10b auf der rechten Seite der Bandage ist dagegen über den Lagerzapfen 16b und der Ronde 12b an den Bandagenteil 2b auf der rechten Seite der Bandage 2 gekoppelt.

In Fig.9 ist der Aufbau eines Planetengetriebes 6 dargestellt.

Die Synchronisation der Unwuchtmomente ist unabhängig von der Verdrehung der Bandagenteile 2a, 2b. Zur einfacheren Erläuterung sei folgendes angenommen:

Der Hydraulikmotor 7 zum Antrieb der Oszillationsbewegung läuft, die Bandagenteile 2a, 2b sind nicht in Bewegung, d.h. beide Bandagenteile 2a, 2b stehen still. Folglich sind beide in Fig. 9 ersichtlichen Hohlräder 10a, 10b blockiert, da sie, wie schon beschrieben wurde, mit den Bandagen 2a, 2b verdrehstarr verbunden sind.

In dem Planetensatz 6a auf der linken Seite der Fig. 9 wird das Antriebsmoment, das vom Hydraulikmotor 7 auf die Antriebswelle 5a (Sonnenwelle) übertragen wird, über das Sonnenrad 11a und die Planetenräder 8a auf den Planetenträger 9 weitergegeben. Es gilt Fall 3 (Sonnenrad treibt an, Steg ist Abtrieb) des elementaren Planetensatzes nach Tabelle 2. Das Übersetzungsverhältnis i beträgt demnach 3.

Die Zähnezahlen der Räder des Planetengetriebes 6 zum Berechnen der Übersetzungsverhältnisse sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Zähnezahlen der Getrieberäder

Rad	1	2	3
	Sonnenrad	Planetenrad	Hohlrad
Zähnezahl	40	20	80

Vom Planetenträger 9 wird das Moment nun weiter über die Planetenräder 8b der rechten Stufe auf das rechte Sonnenrad 11b und die Antriebswelle (Sonnenwelle) 5b weitergegeben (Fig.9). Da beide Planetensätze 6a, 6b gleich aufgebaut sind, beträgt das Übersetzungsverhältnis i nach Tabelle 2, Fall 4 folglich $1/3$ für die rechte Stufe (Planetensatz 6b). Dieser gibt bei der Momentenübertragung eine Gesamtübersetzung von 1 (linkes Sonnenrad 11a zu rechtem Sonnenrad 11b).

Wenn also beide Bandagenteile 2a, 2b mit der gleichen Drehzahl rotieren — bei Geradeausfahrt - oder beim Stillstehen, es also zu keiner Verdrehung der Bandagenteile 2a, 2b zueinander kommt, wird das Drehmoment wie gewünscht im Verhältnis 1:1 von der einen Seite zur anderen übertragen.

Tabelle 2: Einsatzfälle der Planetenstufen — Elementarer Planetensatz

Fall	gehäusefest	Antrieb	Abtrieb	Übersetzung i
2	Steg	Hohlrad	Sonne	$-z_1/z_3 = -1/2$
3	Hohlrad	Sonne	Steg	$(z_1+z_3)/z_1 = 3$
4	Hohlrad	Steg	Sonne	$z_1/(z_1+z_3) = 1/3$

Beim Verdrehen des einen Bandagenteils 2a gegenüber dem anderen 2b muss gewährleistet sein, dass die Unwuchten 3, im gleichen Maße mitgedreht werden.

Zur einfacheren Erläuterung wird folgendes genommen:

Der Bandagenteil 2a auf der einen Seite steht still, der Hydraulikmotor 7 läuft nicht. Kurz gesagt, das Hohlrad 10a der ersten Stufe (Planetensatz 6a), welches

mit dem Bandagenteil 2a verbunden ist und das Sonnenrad 11a des ersten Planetensatzes 6a, der über die Antriebswelle 5a mit dem Hydraulikmotor 7 gekoppelt ist, stehen still. Folglich ist der Planetensatz 6a auf der einen Seite (in Fig. 9 auf der linken Seite) blockiert.

Der Bandagenteil 2b auf der anderen Seite wird nun gedanklich um einen beliebigen Winkel verdreht.

Das Hohlrad 10b des Planetensatzes 6b auf der anderen (in Fig. 9 rechten) Seite ist über den Hohlrad-Mitnehmer und den Lagerzapfen 16b mit dem Bandagenteil 2b verbunden. Dieses gibt nun die Drehung des Bandagenteils 2b über die Planetenräder 8b auf das Sonnenrad 11b auf der rechten Seite weiter. Der gemeinsame Planetenträger 9 ist, wie schon vorher erklärt, über den Planetensatz auf der linken Seite blockiert. Es gilt also Fall 2 des elementaren Planetensatzes aus Tabelle 2. Das Übersetzungsverhältnis i beträgt demnach $-0,5$.

Wie schon erläutert, muss die Unwucht 3 um den gleichen Winkel verdreht werden, wie das Bandagenteil 2a, 2b, in dem sie gelagert ist, um eine Synchronisation der Oszillationsbewegung in beiden Bandagenteilen 2a, 2b zu erreichen.

Vorzugsweise kann ein Zwei-Stufen-Planetengetriebe mit einem Riementrieb mit Drehrichtungsumkehrung und reziproker Übersetzung als Planetengetriebe 6 verwendet werden.

Die jeweiligen Hohlräder 10a, 10b der Planetensätze 6a, 6b sind mit Lagerzapfen 16a, 16b, die in den benachbarten Ronden 12a, 12b der Bandagenteile 2a, 2b koaxial angeordnet sind, mit den Bandagenteilen 2a, 2b drehfest verbunden, wobei die Lagerzapfen 16a, 16b zugleich die Lagerung der zentralen Antriebsriemenscheiben 21 des Zahnriemengetriebes 15a, 15b zum Antrieb der Schwingungserreger 30a, 30b bilden.

Alternativ kann auch ein mehrstufiges Planetengetriebe mit Riemenübersetzung ungleich dem Kehrwert des Getriebes und ohne Richtungsumkehr verwendet werden.

Auf eine dritte Planetenstufe, die eine Gesamtübersetzung von 1 und Richtungs-umkehr bewerkstelligen würde, kann durch die Führung des Zahnriemens 32c mit Omega-Umschlingung (siehe Fig.10) und einem Übersetzungsverhältnis von -2 verzichtet werden. Die Omega-Umschlingung bedeutet, dass der Zahnriemen 15c die Zahnriemenscheiben 13 um mehr als 180° , beispielsweise um ca. 200° bis 210° , insbesondere 205° , wie in Fig. 10 gezeigt, umschließt.

Durch die Einzelübersetzungen von -0,5 in dem Planetensatz und -2 beim Zahnriemengetriebe 15 liegt auch hier die Gesamtübersetzung bei 1.

Die Unwuchten 3 werden also wie gefordert um den gleichen Winkel wie die verdrehten Bandagenteile 2a, 2b verstellt. Die durch die Oszillationsunwuchten erzeugten Momente sind somit in jedem Bandagenteil 2a, 2b phasengleich, unabhängig von der aktuellen Stellung der Unwuchten 3 zueinander.

Bei der Zahnriemenführung wurden einige grundlegende Neuerungen und vorteilhafte Veränderung realisiert.

Ein Riemen treibt zwei oder mehrere Unwuchtwellen an. Würde man den Antrieb aus WO 82/201903 in eine geteilte Bandage 20 übertragen, so würden acht Riemenscheiben und vier Riemen benötigt.

Im Gegensatz zu den bisherigen ungeteilten Konstruktionen (WO 82/201903), die für jede Unwuchtwellen einen eigenen Zahnriementrieb vorsehen, werden hier mit einem Riemen, vorzugsweise einem Zahnriemen 32, beide Unwuchten 3 eines Bandagenteils 2a, 2b angetrieben. Dadurch können jeweils ein Zahnriemen 32 und ein Antriebsriemenrad je Bandagenhälfte entfallen.

Wie schon vorher beschrieben, ist bei der Zahnriemenführung ein Übersetzungsverhältnis von -2 realisiert. Dies wurde mit Hilfe einer Omega-Umschlingung des Zahnriemens 32 gemäß Fig.10 erreicht. Dafür weisen die großen Zahnscheiben 13 die doppelte Zähnezahl im Vergleich zur kleinen Antriebsriemenscheibe 21 auf.

Durch die Umlenkung an der kleinen Zahnscheibe 21 wird die Drehrichtung geändert, was zu dem erforderlichen negativen Übersetzungsverhältnis führt.

Durch die erforderliche Übersetzung des Zahnriementriebes von -2 ist vorzugsweise eine große Zahnscheibe 13 einsetzbar, in der auch ein Teil der Unwucht 3 realisierbar ist.

Da die Zahnriemenscheibe 13 zum Anschrauben der Unwuchtplatten 14 ohnehin gebohrt werden muss, können zusätzliche Bohrungen 35 angebracht werden, um einen Teil der benötigten Unwucht 3 auf der gegenüberliegenden Seite der Unwuchtgewichte in Form der Unwuchtplatten 14 herzustellen (Negativunwucht). Ein weiterer Vorteil ist das aufgrund der Gewichtsreduzierung geringere Trägheitsmoment der Zahnriemenscheibe 13, das zum schnelleren Hochlauf beim Start des Antriebes führt.

Den restlichen Anteil der Unwucht 3 liefern die seitlichen Unwuchtplatten 14 und z.B. die neun Schrauben 18 als Unwuchtgewicht (Positivunwucht), womit die Unwuchtplatten 14 vorzugsweise beidseitig an den Zahnriemenscheiben 13 befestigt werden (Fig.10).

Die ohnehin erforderliche Zahnriemenscheibe 13 dient daher zugleich als Unwucht 3. Die seitlich von der Zahnriemenscheibe 13 angeordneten Unwuchtplatten 14 sind direkt an der jeweiligen Zahnriemenscheibe 13 verschraubt. Die Schrauben 18 bilden eine zusätzliches Unwuchtgewicht. Die Löcher bzw. Bohrungen 35 auf der den Schrauben 18 gegenüberliegenden Seite bilden dabei eine Negativunwucht.

In Fig.10 sind die beiden seitlich befestigten Unwuchtplatten 14 in Montagestellung mit aufgelegtem Zahnriemen 32 abgebildet. Die Außenkontur der Unwuchtplatten 14 ist derart gestaltet, dass die schräge Flanke 14a an den Seiten der Unwuchtplatten 14 mit dem kurzen Trum 32a des Zahnriemens 32 exakt fluchtet. Dies ist eine Möglichkeit, um visuell den korrekten 180°-Versatz der Unwuchten 3 anhand der Lage des Zahnriemens 32 zu überprüfen.

Die Winkel der schrägen Flanken 14a der Unwuchtplatten 14 entsprechen dem Winkel des Riemens 32 an der omega-umschlungenen Seite in der Fig. 10 gezeigten Position.

Die Unwuchtplatten 14 sind vorzugsweise beidseitig der Zahnriemenscheibe in der gleichen Position angeordnet. Mit der Dicke der Unwuchtplatten 14 kann die Masse der Unwucht 3 verändert werden, ebenso wie mit der Anzahl der Schrauben 18 oder der Größe der Bohrungen 35.

Bisher wurde die erforderliche Riemen Spannung des Zahnriemens 32 entweder mit Hilfe einer zusätzlichen Spannrolle hergestellt, oder es wurden nur ausgewählte, vermessene Zahnriemen 32 mit einer genau tolerierten Länge verwendet.

Bei der in den Fign. 10 und 11 gezeigten vorliegenden Konstruktion wird die Riemen Spannung durch kontinuierliche Änderung des Achsabstandes zwischen der Antriebswelle 5a, 5b und der Achse des Lagerzapfens 20a, 20b eingestellt. Dies wird durch Verdrehen des exzentrisch gelagerten Lagerzapfens 20a, 20b am Unwuchtflansch 19 (Fig.11) erreicht.

Das Verdrehen des exzentrischen Unwuchtflansches 19 mit dem Lagerzapfen 20a, 20b zum Spannen des Zahnriemens 15c geschieht durch Verdrehen eines exzentrischen Verstellbolzens 17 (Fig. 10). Dieser besteht aus zwei zueinander exzentrischen Zylindern und einem Sechskant zum Ansetzen eines Schlüssels.

Der exzentrische Verstellbolzen 17 ist zum Verdrehen des exzentrischen Unwuchtflansches 19 vorgesehen.

Durch die Exzentrizität wird beim Verdrehen des Verstellbolzens 17 der Unwuchtflansch 19 gegenüber der Ronde 12a, 12b verdreht.

Es ist somit ein Spannen des Riemens 32 mittels einer exzentrisch verlagerbarer Lagerzapfenanordnung möglich.

Der fliegendgelagerte Lagerzapfen 20a, 20b dient zur Aufnahme eines Wälzlagers 34 für die Zahnriemenscheibe 13. Das Wälzlager 34 ist zentrisch zur radialen Riemenkraft und Fliehkraft der Unwuchten 3 angeordnet.

Fig. 12 zeigt eine perspektivische Darstellung der Zahnriemenscheibe 13 ohne Zahnriemen 32.

Ansprüche

1. Verdichtungsgerät, mit mindestens einer verfahrbaren, um eine Bandagenachse (1) drehbaren Bandage (2), mit um die Bandagenachse (1) ein oszillierendes Drehmoment erzeugenden gekoppelten Schwingungserregern (30a, 30b) mit Unwuchten (3), die um 180 Grad phasenversetzt mit gleicher Drehrichtung rotieren, und mit einer koaxial zur Bandagenachse (1) verlaufenden Antriebswelle (5a, 5b) zum Antrieb der Schwingungserreger (30a, 30b), dadurch gekennzeichnet, dass die Bandage (2) mindestens einmal geteilt ist und dass jedes Bandagenteil (2a, 2b) mindestens zwei, in der Bandage (2) mit Abstand von der Bandagenachse (1) gelagerte gekoppelte Schwingungserreger (30a, 30b) aufweist.
2. Verdichtungsgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebswellen (5a, 5b) für die Schwingungserreger (30a, 30b) der einzelnen Bandagenteile (2a, 2b) mechanisch gekoppelt oder über eine Steuerung phasenrichtig eingestellt sind, damit die Schwingungserreger (30a, 30b) aller Bandagenteile (2a, 2b) auch bei einer Verdrehung der Bandagenteile (2a, 2b) relativ zueinander synchron schwingen.
3. Verdichtungsgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebswellen (5a, 5b) für die Schwingungserreger (30a, 30b) der benachbarten Bandagenteile (2a, 2b) mechanisch über ein Getriebe (6) gekoppelt sind und das Getriebe (6) die Drehung bzw. das Antriebsmoment einer Antriebswelle (5a) phasenrichtig auf die nachfolgende Antriebswelle (5b) des Bandagenteils (2b) überträgt.
4. Verdichtungsgerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Getriebe zum Koppeln der Antriebswellenteile (5a, 5b) ein Pla-

netengetriebe (6) oder ein Stirnradgetriebe oder ein Kegelradgetriebe ist.

5. Verdichtungsgerät nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Bandage (2) zweigeteilt ist und jedes Bandagenteil (2a, 2b) einen eigenen Fahrtrieb (7a, 7b) aufweist, wobei die Bandagenteile (2a, 2b) koaxial relativ zueinander verdrehbar miteinander verbunden sind.
6. Verdichtungsgerät nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Planetengetriebe (6) aus mindestens zwei Planetensätzen (6a, 6b) besteht.
7. Verdichtungsgerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Planetengetriebe (6) aus zwei Planetensätzen (6a, 6b) mit einem gemeinsamen Planetenträger (9) besteht, wobei Hohlräder (10a, 10b) der Planetensätze (6a, 6b) jeweils mit einem Bandagenteil (2a, 2b) drehfest verbunden sind und die jeweiligen Antriebswellenteile (5a, 5b) mit den jeweiligen Sonnenrädern (11a, 11b) der Planetensätze (6a, 6b) verbunden ist.
8. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Antriebswellenteil (5a, 5b) eines jeden Bandagenteils (2a, 2b) über ein Getriebe die mindestens zwei Schwingungserreger (30a, 30b) antreibt.
9. Verdichtungsgerät nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Getriebe zum Antrieb der Unwuchten (3) ein Riemengetriebe oder ein Kettengetriebe ist.
10. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Getriebe zum Antrieb der Schwingungserreger (30a,

30b) ein Zahnriemengetriebe (15a, 15b) mit einem Zahnriemen (32) ist, welcher mit Unwuchten (3) gekoppelte Zahnriemenscheiben (13) antreibt.

11. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Getriebe ein Riemengetriebe ist mit einer Riemenführung, die eine Drehrichtungsumkehr und eine reziproke Übersetzung zum Planetengetriebe (6) ermöglicht.
12. Verdichtungsgerät nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Übersetzung des Riemengetriebes (15) und die Übersetzung des Planetengetriebes (6) insgesamt ein Übersetzungsverhältnis von 1 : 1 ergeben.
13. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein mehrstufiges Planetengetriebe (6) und ein Riemengetriebe ohne Drehrichtungsumkehr und ohne reziproke Übersetzung zum Planetengetriebe (6) vorgesehen ist.
14. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungserreger (30a, 30b) Unwuchten (3) aufweisen und die Unwuchten (3) aus Unwuchtplatten (14) bestehen, die seitlich an Zahnriemenscheiben (13) des Zahnriemengetriebes (15a, 15b) befestigt sind und eine radial sich nach außen erstreckende Flanke (14a) aufweisen, die in einer bestimmten Ausgangsposition mit dem Zahnriemen (32) des Zahnriemengetriebes (15a, 15b) fluchtet, wenn der Drehwinkelversatz zwischen den beiden von dem Zahnriemengetriebe (15a, 15b) angetriebenen Zahnriemenscheiben (13) dem Sollwert entspricht.
15. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Riemenspanneinrichtung den Riemen (32) für den

Antrieb der Unwuchten (3) bzw. der Riemenscheiben (13) mit Hilfe eines exzentrisch verlagerbarer Lagerzapfen (20a, 20b) spannt.

16. Verdichtungsgerät nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Riemenspanneinrichtung einen exzentrischen Verstellbolzen (17) zum Verdrehen des exzentrischen Lagerzapfens (20a, 20b) aufweist.
17. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Riemengetriebe (15a,15b) zu der Drehachse der Unwuchten (3) koaxiale und konzentrische Riemenscheiben (13) aufweist, deren Gewichtsverteilung nicht rotationssymmetrisch zur Drehachse der Unwuchten (3) verläuft.
18. Verdichtungsgerät nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass zur Drehachse der Unwuchten (3) unsymmetrisch angeordnete Aussparungen (35) im Material der Zahnriemenscheibe (13) eine nicht rotationsymmetrische Gewichtsverteilung bewirken und ein negative Unwuchtmasse bilden.
19. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 9 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass Unwuchtplatten (14) an den Riemenscheiben (13) befestigt sind und/oder unsymmetrisch angeordnete Schrauben (18) eine Unwucht (3) bilden, wobei die Schrauben (18) auch zur Befestigung der Unwuchtplatten (14) dienen können.
20. Verdichtungsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufnahme der Wälzlager (34) der Unwuchten (3) fliegende Lagerzapfen (20a, 20b) vorgesehen sind, wobei die Wälzlager (34) vorzugsweise zentrisch zur radialen Riemenkraft und Fliehkraft der Unwuchten (3) angeordnet sind.

21. Verfahren zum Verdichten von Böden mit einer Bandage (2) eines Verdichtungsgerätes, wobei mit Hilfe mindestens eines Schwingungserregers (30a, 30b) mit rotierenden Unwuchten (3) Verdichtungsschwingungen der Bandage (2) erzeugt werden, gekennzeichnet durch das Verwenden einer geteilten Bandage (2) mit zwei Bandagenhälften (2a, 2b), bei der die Unwuchten (3) der Schwingungserreger (30a, 30b) in jedem Teil (2a, 2b) der Bandage (2) um den gleichen Winkel bezüglich der Phasenlage verdreht werden wie die relative Verdrehung der Bandagenhälften (2a, 2b) zueinander, so dass eine Synchronisation der Oszillationsbewegung in beiden Bandagenhälften (2a, 2b) erreicht wird, auch wenn die Bandagenhälften (2a, 2b) zueinander verdreht sind.