



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
27.09.2006 Patentblatt 2006/39

(51) Int Cl.: **E01C 19/28** ^(2006.01) **E02D 3/074** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05405266.7**

(22) Anmeldetag: **23.03.2005**

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

- Kaufmann, Kuno
4553 Subingen (CH)
- Marti, Nicole
4900 Langenthal (CH)

(71) Anmelder: **Ammann Aufbereitung AG**
4901 Langenthal (CH)

(74) Vertreter: **Roshardt, Werner Alfred
Keller & Partner
Patentanwälte AG
Schmiedenplatz 5
Postfach
3000 Bern 7 (CH)**

(72) Erfinder:
• **Anderegg, Roland**
4600 Olten (CH)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenbereichs

(57) Verfahren, Verdichtungsvorrichtung (**61a, 61b, 63**) sowie Geräteanordnung zur Verdichtung wenigstens eines Bodenbereichs oder wenigstens eines auf einen Bodenbereich aufgetragenen Belagebereichs auf einen vorgegebenen bereichsspezifischen Verdichtungssollwert. Jede Verdichtungsvorrichtung (**61a, 61b, 63**) hat wenigstens einen selbsttätig einstellbaren Verdichtwert (z.B. Unwuchtmoment und eine selbsttätig einstellbare Unwuchtfrequenz). Für den jeweiligen zu verdichtenden Bereich, der von der Verdichtungsvorrichtung überfahren werden soll, wird ein aus dem jeweiligen zu erreichenden bereichsspezifischen Verdichtungssoll-

wert ein Verdichterwert ermittelt und vorzugsweise eine Zeitspanne vor dem tatsächlichen Überfahren des Bereiches selbsttätig zur Verfügung gestellt. Die Zeitspanne ist derart gewählt, dass der jeweils bereichsspezifische Verdichterwert gemäss der ermittelten Werte beim Erreichen des jeweiligen Bereiches selbsttätig eingestellt beim Überfahren wirkt. Beim Überfahren des jeweiligen Bereiches wird ein erreichter bereichsspezifischer Verdichtungsistwert selbsttätig ermittelt und mit dem bereichsspezifischen Verdichtungsollwert verglichen, um einen korrigierten bereichsspezifischen Verdichterwert für eine nachfolgende Verdichtungsüberfahrt zu erhalten.

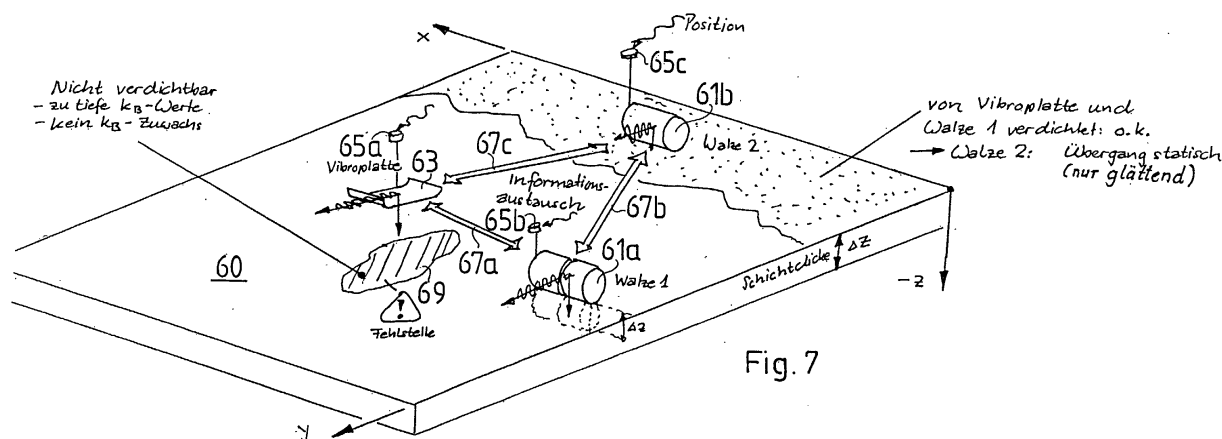


Fig. 7

Beschreibung

Technisches Gebiet

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verdichtung eines Bodenbereichs und/oder eines auf einem Bodenbereich aufgetragenen Belages gemäss Patentanspruch 1, eine Vorrichtung mit wenigstens einer Unwuchteinheit zum Verdichten gemäss Patentanspruch 8 sowie eine Geräteanordnung, welche u.a. mehrere Vorrichtungen aufweist gemäss Patentanspruch 13 bzw. 14.

10 Stand der Technik

[0002] In der lediglich gemäss Artikel 54 (3) EPÜ dem Stand der Technik zu zuordnenden PCT/CH 2004/000592 ist ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bestimmung von relativen sowie auch von absoluten Bodensteifigkeitswerten eines Bodenbereichs beschrieben.

15 **[0003]** Zur Ermittlung der absoluten Bodensteifigkeitswerte wurde die Vorrichtung in einem innigen Bodenkontakt betrieben. Boden und Vorrichtung bildeten hierbei ein einziges Schwingungssystem. Zur Ermittlung der relativen Werte wurde die Vorrichtung springend über die Bodenoberfläche bewegt und hierbei die Amplitudenwerte und Frequenzen der zur Anregungsfrequenz sich bildenden subharmonischen Frequenzwerte ausgewertet. Bei der Absolutmessung handelte es sich um eine Messung an einem Ort, während die Relativmessung während des Überfahrens erfolgte. Da
20 die Relativmessungen über die Absolutmessung in absolute Werte umwandelbar waren, konnte somit eine beim verdichtenden Überfahren ermittelte relative Bodensteifigkeit in einen Absolutwert der Bodensteifigkeit umgewandelt werden. Die hierbei ermittelten Werte wurden dem Fahrzeuglenker der Verdichtungsvorrichtung angezeigt, der dann über das weitere Verdichtungsverfahren zu entscheiden hatte.

[0004] In der DE 199 56 943 ist eine Vorrichtung zur Kontrolle der Verdichtung bei Vibrationsverdichtungsgeräten
25 beschrieben. Die Verdichtungskontrolle dient dazu bei Schwarzdecken im Strassen- und Wegebau einen ersten Verdichtungsmesswert, erzeugt mit einer ersten Verdichtungsanordnung, zu messen und aufzuzeichnen und mit einem zweiten, von einer zweiten Verdichtungsanordnung erzeugten Verdichtungswerte zu vergleichen, wobei der zweite Verdichtungswerte bei noch annähernd gleicher Asphalttemperatur ermittelt worden ist. Es wurden Massnahmen ergriffen, dass die zweite Verdichtungsanordnung mit der ersten im wesentlichen spurgetreu verfolgend gekoppelt war.
30 Es konnten die verdichtenden Vibrationswalzen auch in zwei separaten Walzenzügen vorgesehen sein. Die beiden Walzenzüge wurden dann über ein rechnergestütztes Nachführsystem miteinander gekoppelt. Bei dem rechnergestützten Nachführverfahren konnte auch ein Global-Positioning-System (GPS) zurückgegriffen werden. Die beiden Walzenzüge konnten aber auch über Radar, Ultraschall oder Infrarot miteinander gekoppelt sein. Es konnte auch eine starre Verbindung vorgesehen werden. Auf den Grad der erreichten Verdichtung wurde durch eine Messung von Schwingungsreflexionen während des Verdichtungsprozesses geschlossen. Wenn sich bei der Verdichtungskontrollvorrichtung trotz
35 zunehmender Anzahl von Verdichtungsübergängen die Verdichtung nicht mehr änderte, war die mit einem bestimmten Verdichtungsgerät erzielbare höchste Dichte erreicht. Die erreichten Verdichtungswerte wurden auf einer Anzeigeeinheit dem Walzenführer angezeigt.

40 Darstellung der Erfindung

Aufgabe

45 **[0005]** Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren aufzuzeigen bzw. eine entsprechende Vorrichtung zu schaffen, mit dem bzw. mit der eine optimale Bodenverdichtung in einem optimalen Zeitrahmen erreichbar ist.

Lösung

50 **[0006]** Die Lösung der Aufgabe erfolgt verfahrensmässig durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 sowie vorrichtungsmässig durch die Merkmale der Patentansprüche 8, 13 und 14.

[0007] Vorteil der Erfindung ist die Entlastung der Person (z.B. Walzenführer), welche die Verdichtungsanordnung zu führen hat. Da mit der Erfindung u.a. die Maschineneinstellungen (Überfahrwege, Überfahrgeschwindigkeit und Verdichtewerte) für eine optimale, zeitreduzierte Verdichtung selbsttätig vorgenommen werden, kann sich der Führer der Verdichtungsanordnung nun voll auf ein Führen der Verdichtungsanordnung und die zu beachtenden Sicherheitsbedingungen konzentrieren. Ein nachträgliches "Aufrütteln" von Bodenbereichen durch nicht notwendiges weiteres Überfahren wird ausgeschlossen.

Ein weiteres Überfahren, welches beispielsweise zum Erreichen noch zu verdichtender Bereiche notwendig ist, kann nun derart vorgenommen werden, dass kein "Aufrütteln" mehr erfolgt. Auch ist ein Verbund von mehreren Verdichtungs-

vorrichtungen, welche zudem auch unterschiedliche Krafteinrichtungen für eine vorzunehmende Verdichtung aufweisen können, möglich.

[0008] Um dieses Ziel zu erreichen, werden Verdichtungsvorrichtungen mit einem selbsttätig einstellbaren Verdichterwerte verwendet. Unter den Verdichterwerten wird insbesondere eine einstellbare Bodenreaktionskraft F_B und ein Phasenwinkel φ verstanden. Der Phasenwinkel φ ist ein Winkel zwischen der maximalen senkrecht gegen die Oberfläche des Bodenbereichs gerichteten Bodenreaktionskraft F_B und einem maximalen Schwingungswert einer Schwingungsantwort eines Schwingungssystems. Dieses Schwingungssystem wird, wie unten ausgeführt ist, aus dem Bodenbereich und der die Verdichtung ausführenden Vibrationseinheit der Verdichtungsvorrichtung gebildet. Zur Verdichtung werden in der Regel Unwuchten mit einem Unwuchtmoment und einer Unwuchtfrequenz verwendet. Da bei der Erfindung die Verdichterwerte selbsttätig von einer geregelten Einstelleinrichtung eingestellt werden, werden analog Unwuchtmoment und Unwuchtfrequenz geregelt, d.h. durch eine Recheneinheit ermittelt eingestellt.

[0009] Bei einem ersten Überfahrvorgang werden nun beispielsweise Unwuchtmoment und Unwuchtfrequenz derart mit einer Einstelleinrichtung eingestellt, dass gemäss theoretischer Berechnungen ein vorgegebener Verdichtungssollwert eines Bodenbereiches oder eines auf einem Bodenbereich angeordneten Belages erreicht wird. In der Regel wird der Verdichtungssollwert über weite Strecken immer derselbe sein, muss es aber nicht, da ja Unwuchtmoment und Unwuchtfrequenz selbsttätig einstellbar sind. Wie im Speziellen unten ausgeführt ist, wird sofort bei Überfahren die erreichte Bodenverdichtung bestimmt und der ermittelte Verdichtungsistwert zusammen mit den Ortskoordinaten des Bereiches für eine spätere Behandlung abgespeichert.

[0010] Unter dem Ausdruck Verdichterwerte werden die Verdichtung hervorrufoende Bewegungen der Verdichtungs-vorrichtung verstanden. Der Ausdruck "Verdichtung" ist jeweils auf den zu verdichtenden bzw. verdichteten Boden bzw. Belag bezogen.

[0011] Diese spätere Behandlung kann nun ein erneutes verdichtendes Überfahren sein oder auch eine Behandlung des Bodenbereiches, falls sich durch die wiederholten ortsbezogenen Verdichtungsmessungen herausstellt, dass dieser Bodenbereich gar nicht weiter, beispielsweise aufgrund seiner Materialzusammensetzung, des Untergrundes usw., verdichtbar ist.

[0012] Die Unmöglichkeit einer weiteren Verdichtung lässt sich dadurch feststellen, dass die erreichten Verdichtungs-istwerte ortsbezogen bei jedem Verdichtungsvorgang ermittelt und abgespeichert werden. Diese abgespeicherten Werte werden verglichen. Wird keine (signifikante) Zunahme der Verdichtung festgestellt, so ist eben dieser Bereich nicht weiter verdichtbar. Um in diesem Bereich durch weitere Verdichtungsvorgänge keinen Schaden anzustellen bzw. Zeit zu vergeuden, können über diesem Bereich Unwuchtmoment und Unwuchtfrequenz derart eingestellt werden, dass lediglich ein oberflächenglättendes Überfahren erfolgt.

[0013] Unwuchtmoment und Unwuchtfrequenz werden zum oberflächenglättenden Überfahren auch dann eingestellt, wenn bereits ein Bereich auf den geforderten Verdichtungswert verdichtet ist und benachbarte Bereiche, oder Bereiche in einer vorgegebenen Fahrtstrecke, diesen Wert noch nicht erreicht haben. Durch dieses oberflächenglättende "Zurückstellen" der Maschinenverdichtungsdaten kann einerseits schneller gefahren werden, andererseits wird ein "Auf-rütteln" eines bereits verdichten Bereiches vermieden.

[0014] Im Gegensatz zu den bekannten Bodenverdichtungssystemen können nun die Sollwerte für die Bodenkraft F_B und den Phasenwinkel φ direkt am betreffenden Ort (Bereich) ermittelt und eingestellt werden. Im Gegensatz zu den von "Hand eingestellten" Verdichtungsvorrichtungen des Stands der Technik, ist die erfindungsgemässe Verdichtungs-vorrichtung ein "Verdichtungsautomat".

[0015] Sind mehrere Bereiche bereits ausreichend verdichtet, so können diese Bereiche umfahren werden. Dem Führer der Verdichtungsvorrichtung wird dann von der Recheneinheit, welche die ortsbezogenen Verdichtungsistwerte aus der Speichereinheit verarbeitet, ein Fahrweg vorgeschlagen. Der Vorschlag eines Fahrweges kann auf einer in der Fahrerkabine angeordneten Anzeigeeinheit dargestellt werden. Der Fahrweg kann aber auch auf die sogenannte Windschutzscheibe gespiegelt werden oder direkt mit einem Lichtstrahl, insbesondere mittels eines Laserstrahls (z.B. einem roten Heliumneonlaserstrahl) auf den Bodenbereichen angezeigt werden. Eine Anzeige auf der Bodenoberfläche hat den Vorteil, dass den Arbeitern hierdurch angezeigt wird, den für die Verdichtung vorgesehenen Fahrweg frei zu geben bzw. nicht zu betreten bzw. Maschinen aus diesem Bereich zu entfernen.

[0016] Bei grösseren Baustellen wird in der Regel mit mehreren Verdichtungsvorrichtungen gearbeitet, welche auch unterschiedliche Vorrichtungsdaten für die vorzunehmende Verdichtung aufweisen können. Die Logik jeder Verdichtungs-vorrichtung kennt ihre speziellen Verdichtungseigenschaften und kann aus den vorgegebenen Verdichtungssoll-werten mit einer Einstelleinrichtung Unwuchtmoment und Unwuchtfrequenz entsprechend einstellen.

[0017] Da es sich in der Regel um grössere Massen zur Erzeugung der für die Verdichtung benötigten Vibration handelt, wird man vorzugsweise ein Zeitglied vorsehen. Das Zeitglied kennt die maschinentypische Einstellzeit und weiss damit bei vorgegebener Bewegungsgeschwindigkeit (in der Regel Verfahrgeschwindigkeit), in welcher Zeitspanne mit dem Verstellen angefangen werden muss, damit bei Erreichen des betreffenden Bereiches das ermittelte Unwuchtmoment und die ermittelte Unwuchtfrequenz zum Tragen kommen.

[0018] Bei der Verwendung mehrerer Verdichtungsvorrichtungen reicht es nicht mehr aus, den vorgegebenen be-

reichsspezifischen Verdichtungssollwert abzuspeichern, die Ortszuordnung mit einem Triangulationssystem oder GPS zu bestimmen und die ermittelten Verdichtungsstwerte ortsbezogen (bereichsspezifisch) abzuspeichern, damit sie bei einem erneuten Verdichtungsverfahren in Betracht gezogen werden können. Sind mehrere Verdichtungsanordnungen vorhanden, wird in der Regel in Kolonnen gefahren, so dass nicht immer ein und dieselbe Verdichtungsanordnung über von ihr vorverdichtete Bereiche fährt. In diesem Fall wird man vorzugsweise die Verdichtungsstwerte über Sende- und Empfangsanlagen von Vorrichtung zu Vorrichtung übertragen. Vorzugsweise hat dann auch jede Verdichtungsanordnung ein System zur exakten Ortsbestimmung.

[0019] Man kann nun die Verdichtungs- und Ortsdaten direkt von Verdichtungsanordnung zu Verdichtungsanordnung übertragen. Es kann aber zusätzlich eine Zentrale verwendet werden. Aus dieser Zentrale können dann die bereichsspezifischen Verdichtungssollwerte, vorzugsweise funktechnisch, an die Verdichtungsanordnungen übermittelt werden. Die Verdichtungsanordnungen übermitteln dann ihrerseits die bereichsbezogenen Verdichtungsstwerte. Die Zentrale kann einmal als zwischengeschaltete "Intelligenz" fungieren; sie kann aber auch dazu dienen, dass die bereichsbezogenen Verdichtungsst- bzw. -endwerte zu Protokollzwecken abgespeichert und für ein Baustellenmanagement verwendet werden.

[0020] Neben einer Ermittlung der Verdichtungsstwerte (Bodensteifigkeit) können selbstverständlich zusätzlich auch noch andere Werte wie die Oberflächentemperatur und die Bodendämpfung ermittelt werden.

[0021] Bei der nachfolgenden Erklärung des Verfahrens zur Messung der Verdichtungsstwerte wird von einer sogenannten Vibrationsplatte ausgegangen. Analog hierzu lässt sich mit jeder Verdichtungsanordnung verfahren.

[0022] Zur Absolutmessung wird auf die Vibrationseinheit eine zeitveränderliche Erregerkraft als periodische erste Kraft mit einem maximalen, gegen die Bodenoberfläche senkrecht gerichteten, ersten Schwingungswert erzeugt. Die Frequenz der Erregerkraft bzw. deren Periode wird derart eingestellt bzw. verstellt, bis ein Schwingungssystem, gebildet aus der Vibrationseinheit und einem zu verdichtenden bzw. auszumessenden Bodenbereich, mit dem die Vibrationseinheit in dauerndem Oberflächenkontakt ist, in Resonanz kommt. Die Resonanzfrequenz f wird festgehalten bzw. abgespeichert. Ferner wird ein Phasenwinkel φ zwischen dem Auftreten eines maximalen Schwingungswertes der Erregerkraft und einem maximalen Schwingungswert einer Schwingungsantwort des oben genannten Schwingungssystems ermittelt.

[0023] Arbeitet man z. B. mit einer Vibrationsplatte, so weiss man die schwingende Masse m_d des Unterwagens, und man weiss auch ein statisches Moment M_d eines Unwuchterregers, wobei hier sämtliche schwingende Unwuchten zu berücksichtigen sind. Neben dem Phasenwinkel φ wird die Amplitude A des Unterwagens gemessen. Aus der schwingenden Masse m_d [kg · m], der Resonanzfrequenz f [Hz], dem statischen Moment M_d [kg · m], der Amplitude A [m] und dem Phasenwinkel φ [°] kann mit der nachfolgenden Beziehung eine absolute Bodensteifigkeit k_B [MN/m] bestimmt werden:

$$k_B = (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot (m_d + \{M_d \cdot \cos \varphi\} / A) \quad \{A\}$$

[0024] Aus der ermittelten Bodensteifigkeit k_B (gilt für Absolut- wie auch für Relativwerte) lässt sich ein Elastizitätsmodul des betreffenden Bodenteilstücks mit der nachfolgenden Formel ermitteln:

$$E_B \text{ [MN/m}^2\text{]} = k_B \cdot \text{Formfaktor}$$

[0025] Der Formfaktor kann mit einer kontinuumsmechanischen Betrachtung eines Körpers, welcher sich mit einem elastischen halbinendlichen Raum in Kontakt befindet, gemäss "Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens", Bd. 10, Sept./Okt. 1939, Nr. 5, Berlin, S. 201 - 211, G. Lundberg, "Elastische Berührung zweier Halbräume", ermittelt werden.

[0026] Um Relativwerte zu ermitteln, wobei es sich hier um ein schnelles Verfahren handelt, wird die Erregerkraft derart erhöht, bis ein Springen der Vibrationseinheit eintritt. Auch wird man jetzt nicht mehr die Erregerkraft senkrecht zur Bodenoberfläche wirken lassen, sondern derart, dass sich die Vorrichtung mit der Vibrationseinheit über eine Bodenoberfläche selbständig bewegt (gilt insbesondere für die Vibrationsplatte) und von einem Vibrationsplattenführer nur noch in der gewünschten Richtung geführt werden muss. Die Messmittel der Vorrichtung sind in diesem Fall derart ausgebildet, dass lediglich eine Frequenzanalyse der Schwingungsantwort an der Vibrationsplatte vorgenommen wird. Es wird durch Filterschaltungen eine zur Erregerfrequenz tiefste subharmonische Schwingung ermittelt. Je tiefer die tiefste subharmonische Schwingung ist, desto grösser ist die erreichte Bodenverdichtung. Die Messung lässt sich noch verfeinern, indem Amplitudenwerte in der Schwingungsantwort für alle subharmonischen Schwingungen und eine erste Oberwelle zur anregenden Frequenz ermittelt werden. Diese Amplitudenwerte werden unter Verwendung von Gewichtsfunktionen ins Verhältnis zur Amplitude der Erregerfrequenz gemäss nachfolgender Gleichung gesetzt:

$$s = x_0 \cdot A_{2f}/A_f + x_2 \cdot A_{f/2}/A_f + x_4 \cdot A_{f/4}/A_f + x_8 \cdot A_{f/8}/A_f \quad \{B\}$$

x_0 , x_2 , x_4 und x_8 sind Gewichtungsfaktoren, deren Ermittlung unten beschrieben ist. A_f ist der maximale Schwingungswert der auf die Vibrationseinheit wirkenden erregenden Kraft. A_{2f} ist der maximale Schwingungswert einer ersten Oberwelle zur erregenden Schwingung. $A_{f/2}$ ist ein maximaler Schwingungswert einer ersten Subharmonischen mit der halben Frequenz der erregenden Schwingung. $A_{f/4}$ und $A_{f/8}$ sind maximale Schwingungswerte einer zweiten bzw. dritten Subharmonischen mit einer Viertelfrequenz bzw. einer Achteelfrequenz der erregenden Schwingung. A_{2f} , $A_{f/2}$, $A_{f/4}$ und $A_{f/8}$ werden aus der Schwingungsantwort ermittelt.

[0027] Je grösser nun der Wert von s ist, desto grösser ist auch die Bodenverdichtung. Da lediglich für eine Beurteilung der Bodenverdichtung maximale Schwingungswerte und deren Verhältnisse unter einer Summenbildung ermittelt werden müssen, handelt es sich hier um ein äusserst schnelles Messverfahren.

[0028] Bestimmt man nun die oben angeführten Gewichtungswerte, so folgt aus der Relativmessung eine Absolutmessung, wobei der Erhalt absoluter Werte immer an ein- und dieselbe Bodenzusammensetzung (Lehm, Sand, Kies, Lehm Boden mit einem vorgegebenen Kies- / Sandanteil, ...) gebunden ist.

[0029] Wird jeweils nach dem Verdichtungsverfahren z. B. mit einer Grabenwalze, mit einem Walzenzug usw. gemessen, so kann eine Verdichtungszunahme ermittelt werden. Ist die Verdichtungszunahme nur gering oder wird keine Verdichtungszunahme ermittelt, bringt auch ein weiteres Überfahren keine weitere Verdichtungszunahme. Ist dennoch eine weitere Verdichtungszunahme gefordert, muss mit anderen Verdichtermitteln gearbeitet werden, oder die Bodenzusammensetzung durch einen Materialaustausch geändert werden.

[0030] Da mit der hier angeführten Vorrichtung sowohl Absolutmessungen wie auch schnelle Relativmessungen der Bodenverdichtung vorgenommen werden können, ist es möglich, wie nachfolgend ausgeführt, nach einer Eichung auch schnelle Absolutmessungen vorzunehmen. Ausgehend von obiger Gleichung {A} ist bei bekannten "Maschinenparametern", schwingende Masse m_d des Unterwagens und statisches Moment M_d eines Unwuchterregers, sofern eine Vibrationsplatte verwendet wird, und Messung der Schwingungsamplitude A des Unterwagens, der Resonanzfrequenz f [Hz] sowie des Phasenwinkels φ [°] die absolute Bodensteifigkeit k_B [MN/m] eines Bodenteilbereichs ermittelbar.

[0031] Entsprechend den vier Gewichtungsfaktoren x_0 , x_2 , x_4 und x_8 in Gleichung {B} werden nun auf vier unterschiedlichen Bodenteilbereichen des Bodenbereichs mit jeweils einer Absolutmessung Bodensteifigkeitswerte k_{B1} , k_{B2} , k_{B3} und k_{B4} ermittelt, wobei sich hierbei unterschiedliche Bodensteifigkeiten bei derselben Bodenzusammensetzung ergeben sollten.

[0032] Nach der Ermittlung der Bodensteifigkeitswerte k_{B1} , k_{B2} , k_{B3} und k_{B4} werden die maximalen Schwingungswerte A_f , A_{2f} , $A_{f/2}$, $A_{f/4}$ und $A_{f/8}$ auf denselben vier Bodenteilbereichen ermittelt. Die erhaltenen Werte werden in die Gleichung {B} eingesetzt, wobei für s die Bodensteifigkeitswerte k_{B1} , k_{B2} , k_{B3} und k_{B4} verwendet werden. Man hat nun vier Gleichungen, aus denen die vier noch unbekannten Gewichtungsfaktoren ermittelbar sind.

[0033] Sind diese Werte in einem Speicher einer Auswerteeinheit der unten beschriebenen Vorrichtung abgelegt, so müssen beim Überfahren von Bodenteilbereichen nur noch die maximalen Schwingungswerte A_f , A_{2f} , $A_{f/2}$, $A_{f/4}$ und $A_{f/8}$ ermittelt und mit den Gewichtungswerten verknüpft werden, um absolute Bodensteifigkeitswerte zu erhalten. Eine Absolutmessung kann nun genau so schnell wie die oben angeführten Relativmessungen vorgenommen werden.

[0034] Ändert sich die Bodenzusammensetzung, so können noch Relativmessungen vorgenommen werden; eine Nacheichung sollte jedoch vorgenommen werden. Gewichtungswerte für unterschiedliche Bodenzusammensetzungen kann man in einem Speicher der Vorrichtung (in der Regel jedoch in einer unten angeführten Zentrale) ablegen und Messungen innerhalb einer durch eine Bodenzusammensetzung vorgegebenen Toleranz vornehmen. Es sollte jedoch bei sich ändernden Bodenzusammensetzungen, um eine ausreichende Genauigkeit zu erhalten, immer eine Eichung vorgenommen werden. Eine Eichung ist zwar bedeutend langsamer als die schnelle Relativmessung; bei etwas Übung lässt sich jedoch eine Eichung in wenigen Minuten vornehmen.

[0035] Die ermittelten Bodenverdichtungswerte wird man vorzugsweise zusammen mit den jeweiligen Ortskoordinaten eines Bereichs, der ausgemessen wird, abspeichern bzw. gleich an eine Zentrale wie z.B. ein Baubüro übermitteln, damit von dort diese Daten wieder über eine Sende- und Empfangseinheit an die betreffenden Verdichtungsrichtungen übermittelt werden. Die Daten können aber auch, wie oben angeführt, für eine weitere Verarbeitung in der Verdichtungsrichtung abgespeichert werden.

[0036] Als Verdichtungsrichtung kann man vorzugsweise eine Vibrationsplatte nehmen, da es sich hier um ein preisgünstiges Produkt handelt. Es können aber auch andere Maschinen, wie beispielsweise Grabenwalze und Walzenzug verwendet werden. Die Vibrationsplatte hat jedoch den Vorteil, dass die Kontaktfläche mit der Bodenoberfläche definiert ist.

[0037] Als anregende Kraft wird man vorzugsweise zwei gegenläufig angetriebene Unwuchten nehmen. Die gegenseitige Lage der beiden Unwuchten muss gegeneinander verstellbar sein, damit einmal die Erregerkraft senkrecht auf die Bodenoberfläche (für eine Eichung und eine Absolutmessung) und einmal entgegen der Bewegungsrichtung schräg

nach hinten richtbar ist. Auch muss die Frequenz der Erregerkraft (hier beispielsweise die gegenläufige Umdrehungszahl der Unwuchten) einstellbar sein, um in Resonanz gehen zu können. Das Suchen der Resonanzfrequenz kann manuell erfolgen; man wird es aber in vorteilhafter Weise durch einen automatischen "Scan"-Vorgang vornehmen lassen, der sich auf die Resonanzfrequenz einpendelt.

[0038] Das statische Unwuchtmoment ist mittels einer Einstelleinheit selbsttätig einstellbar ausgebildet, indem beispielsweise eine radiale Verstellung der Unwuchtmasse bzw. -massen vornehmbar ist.

[0039] Auch die Einwirkungsfrequenz auf die Bodenkontakteinheit ist mit der Einstelleinheit einstellbar. Bei einer einstellbaren Frequenz kann eine Resonanz des Schwingungssystems, bestehend aus Bodenkontakteinheit und dem zu verdichtenden bzw. verdichteten Bodenbereich, ermittelt werden. Ein Arbeiten in Resonanz ergibt eine Verdichtung bei reduzierter Verdichtungsleistung. Da das Schwingungssystem aufgrund der zu erbringenden Verdichtungsleistung ein gedämpftes System ist, ergibt sich aus dem Grad der Dämpfung ein Phasenwinkel zwischen der maximalen Amplitude der Anregung (z.B. Kraft durch die rotierenden Unwuchten) und der Schwingung des Systems (= Schwingung der Bodenkontakteinheit). Um diesen Phasenwinkel bestimmen zu können, wird man auf der Bodenkontakteinheit neben einem Sensor für die Subharmonischen (sowie auch für die Resonanzfrequenz und Oberwellen {Harmonische}) einen Sensor anbringen, der die zeitliche Auslenkung in Bodenverdichtungsrichtung misst. Die zeitliche Auslenkung der Anregung (Kraftaufbringung auf die Bodenkontakteinheit) kann ebenfalls gemessen werden; man kann sie jedoch leicht aus der augenblicklichen Stellung der Unwucht bzw. der Unwuchten ermitteln. Die zeitliche Lage der maximalen Amplituden (Anregungsschwingung zur Schwingung der Bodenkontakteinheit) wird man mit einem Komparator ermitteln. Die Anregung wird man vorzugsweise derart einstellen, dass die maximale Amplitude der Anregung um 90° bis 180°, vorzugsweise um 95° bis 130° der maximalen Amplitude der Bodenkontakteinheit vorseilt. Die hierbei ermittelten Werte können, wie unten ausgeführt, bei einer veränderbaren Erregerfrequenz auch zur Ermittlung absoluter Verdichtungswerte herangezogen werden.

[0040] Vorzugsweise wird man auch die maximale Amplitude der anregenden Kraft einstellbar auslegen. Eine Verstellung der anregenden Kraft kann bei der Verwendung z.B. von zwei Unwuchten erreicht werden, welche mit gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit rotieren und deren winkelmässiger Abstand änderbar ist. Die Unwuchten können gleichsinnig oder auch gegensinnig bewegt werden.

[0041] Ergänzend sei bemerkt, dass das Auftreten von Subharmonischen, sofern eine eine Bodenkontakteinheit aufweisende Bodenverdichtungsanordnung nicht entsprechend ausgelegt ist, zu Maschinenschäden führen kann. Man wird deshalb Dämpfungselemente zwischen der jeweiligen Bodenkontakteinheit und den restlichen Maschinenteilen derart auslegen, dass eine Übertragung der Subharmonischen gedämpft wird. Man kann natürlich die gesamte Bodenverdichtungseinheit derart auslegen, dass die tieffrequenten Subharmonischen keinen Schaden anrichten; deren Frequenz ist ja gemäss den Ausführungen in der Detailbeschreibung bekannt. Man kann aber auch die Amplitude der anregenden Kraft so weit herunterfahren, dass die Amplituden der Subharmonischen keinen Schaden anrichten bzw. nicht mehr vorhanden sind.

[0042] Aus der nachfolgenden Detailbeschreibung und der Gesamtheit der Patentansprüche ergeben sich weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Merkmalskombinationen der Erfindung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0043] Die Darstellungen zur Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung zeigen in

Fig. 1 eine beispielsweise Geländeanordnung mit unterschiedlich verdichteten Bodenbereichen,

Fig. 2 eine schematische dargestellte Vibrationsplatte zur Verdichtung eines Bodenbereichs und Messung von erreichten Verdichtungsstufenwerten,

Fig. 3 Angaben zur Berechnung einer Bodenverdichtung aus einem gekoppelten schwingungsfähigen System Boden-Vorrichtung,

Fig. 4 ein Beispiel einer Umsetzung eines dimensionslosen Modells in einem Simulink-Modell,

Fig. 5 ein Bewegungsverhalten einer Vibrationsplatte bei gleich bleibenden Maschinenparametern über einem unterschiedlich harten Untergrund,

Fig. 6 ein "Blockschaltbild" einer Ausführungsvariante der erfindungsgemässen Vorrichtung zur Verdichtung,

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Geräteanordnung mit mehreren Verdichtungsanordnungen und

Fig. 8 eine zu **Figur 7** analoge schematische Darstellung einer Geräteanordnung mit mehreren Verdichtungsvorrichtungen und einer Zentrale zur Datenübermittlung und Datenauswertung.

[0044] Grundsätzlich sind in den Figuren gleiche Teile und Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0045] **Figur 1** zeigt einen Geländebereich **14** mit mehreren in Bahnen verlaufenden Bodenbereichen **3** unterschiedlicher Verdichtung. Je höher die Verdichtung in Bezug auf einen Verdichtungssollwert ist, desto enger ist die hier gewählte kennzeichnende Schraffur. Ein Kästchenmuster zeigt eine erreichte Verdichtung an, welche bereits dem Verdichtungssollwert entspricht. Ziel der hier angestrebten Verdichtung, wie sie z. B. im Strassenbau benötigt wird, ist das Erreichen einer vorgegebenen Verdichtung, welche nicht über- und nicht unterschritten werden darf. Eine gleichförmige Verdichtung ist mit vertretbarem Aufwand nur gemäss der Erfindung möglich. Zur Darstellung des Verdichtungs Zustands ist hier beispielsweise eine unterschiedliche Schraffur gewählt worden; vorzugsweise wird man jedoch eine Darstellung mit unterschiedlichen Farben wählen.

[0046] Als Verdichtungsvorrichtung wird beispielsweise eine Vibrationsplatte **1** verwendet. Die Vibrationsplatte **1** dient somit als Verdichtungs- und als Messgerät. Sie hat generell eine Bodenkontakteinheit (Unterwagen **5** mit Bodenplatte **4**) mit zwei gegenläufig rotierenden Unwuchten **13a** und **13b** (**Figur 2**) mit einer Gesamtmasse m_d , welche auch einen Unwuchterreger mit einschliesst. m_d symbolisiert die gesamte anregende schwingende Masse. Auf den Unterwagen **5** stützt sich ein statisches Auflastgewicht des Oberwagens **7** mit einer Masse m_f (statisches Gewicht) über Dämpfungselemente **6** (Steifigkeit k_G , Dämpfung c_G) ab. Das statische Gewicht m_f ergibt zusammen mit den Dämpfungselementen **6** ein fusspunkterregtes Schwingungssystem, das tief abgestimmt wird (tiefe Eigenfrequenz). Der Oberwagen **7** wirkt im Vibrationsbetrieb gegenüber den Schwingungen des Unterwagens **5** als Tiefpass zweiter Ordnung. Damit wird die in den Oberwagen **7** transmittierte Vibrationsenergie minimiert.

[0047] Der auszumessende, zu verdichtende bzw. verdichtete Boden des Bodenbereichs **3** ist ein Baustoff, für den, je nach untersuchten Eigenschaften, unterschiedliche Modelle existieren. Für den Fall des oben erwähnten Systems (Bodenkontakteinheit - Boden) kommen einfache Feder-Dämpfer-Modelle (Steifigkeit k_B , Dämpfung c_B) zur Anwendung. Die Federeigenschaften berücksichtigen die Kontaktzone zwischen Bodenverdichtungseinheit (Unterwagen **5**) und elastischem Halbraum (Bodenbereich). Im Bereich der Erregerfrequenzen des oben genannten Gerätes, die oberhalb der tiefsten Eigenfrequenz des Systems (Bodenkontakteinheit - Boden) liegen, ist die Bodensteifigkeit k_B eine statische, frequenzunabhängige Grösse. Diese Eigenschaft konnte in der hier vorliegenden Anwendung im Feldversuch für homogene und geschichtete Böden nachgewiesen werden.

[0048] Führt man das Geräte- und Bodenmodell unter Berücksichtigung der einseitigen Bindung in ein Gesamtmodell zusammen, beschreibt das nachfolgende Gleichungssystem (1) für die Freiheitsgrade x_d des Unterwagens **5** und x_f des Oberwagens **7** die zugehörigen Bewegungsdifferentialgleichungen.

$$\begin{aligned} m_d \ddot{x}_d + F_B + c_G (\dot{x}_d - \dot{x}_f) + k_G (x_d - x_f) &= M_d \Omega^2 \cos(\Omega \cdot t) + m_d g \\ m_f \ddot{x}_f + c_G (\dot{x}_f - \dot{x}_d) + k_G (x_f - x_d) &= m_f g \end{aligned} \quad (1)$$

[0049] Ausgehend von einer einseitigen, bodenkraftgesteuerten Bindung ergibt sich:

$$\begin{aligned} F_B &= c_B \dot{x}_d + k_B x_d \quad \text{für } F_B > 0 \\ F_B &= 0 \quad \text{sonst} \end{aligned}$$

- m_d : schwingende Masse [kg] z.B. Unterwagen **5**
 m_f : stat. Auflastgewicht [kg] z.B. Oberwagen **7**
 M_d : stat. Moment Unwucht [kg m]
 x_d : Bewegung schwingende Masse [mm]
 x_f : Bewegung Auflastgewicht [mm]
 Ω : Erregerkreisfrequenz [s^{-1}] $\Omega = 2\pi \cdot f$
 f : Erregerfrequenz [Hz]
 k_B : Steifigkeit der Unterlage/des Bodenbereichs [MN/m];
 c_B : Dämpfung der Unterlage/des Bodenbereichs [MN/m]

k_G : Steifigkeit der Dämpfungselemente [MN/m]
 c_G : Dämpfung der Dämpfungselemente [MN/m]

[0050] Eine Bodenreaktionskraft F_B zwischen Unterwagen **5** und auszumessenden, verdichtetem bzw. zu verdichtendem Bodenbereich **3** steuert dabei die Nichtlinearität der einseitigen Bindung.

[0051] Die analytische Lösung der Differentialgleichungen (1) besitzt die folgende, allgemeine Form:

$$x_d = \sum_j A_j \cos(j \cdot \Omega \cdot t + \varphi_j) \quad (2)$$

$j = 1$ lineare Schwingungsantwort, Auflastbetrieb

$j = 1, 2, 3, \dots$ periodisches Abheben (die Maschine verliert pro Erregungsperiode einmal den Kontakt zum Boden)

$j = 1, 1/2, 1/4, 1/8, \dots$ und zugehörige Oberwellen: Springen, Taumeln, chaotischer Betriebszustand.

[0052] φ ist ein Phasenwinkel zwischen dem Auftreten eines maximalen Schwingungswertes der Erregerkraft und einem maximalen Schwingungswert einer Schwingungsantwort des oben genannten Schwingungssystems.

[0053] Für die nachfolgenden Betrachtungen des "Springens" wird eine senkrecht auf die Bodenoberfläche **2** wirkende Kraft F_B angenommen. Bei der oben beschriebenen Vibrationsplatte hingegen wirkt diese Kraft nicht senkrecht auf die Bodenoberfläche **2**, sondern schräg nach hinten, um z.B. eine springende Bewegung in Vorwärtsrichtung zu erhalten. Bei den nachfolgenden mathematischen Betrachtungen ist somit die senkrechte Komponente der schrägen Kraft einzusetzen. Die schräg auf die Bodenoberfläche wirkende Erregerkraft wird erreicht, indem die gegensinnig rotierenden Unwuchten **13a** und **13b** derart rotationsmässig gegeneinander verschoben sind, dass ihre sich addierenden Unwuchtmomente der Unwuchten **13a** und **13b** einen maximalen Kraftvektor etwa unter einem Winkel von 20° nach rechts unten in **Figur 3** haben. Zur Ermittlung der Absolutwerte (Resonanzfall) zeigt der maximale Kraftvektor (wäre identisch mit F_B) senkrecht auf die Bodenoberfläche **2**.

[0054] Eine numerische Simulation erlaubt die Berechnung der Lösungen der Gleichungen (1). Insbesondere für den Nachweis chaotischer Schwingungen ist die Verwendung numerischer Lösungsverfahren unerlässlich. Mit Hilfe analytischer Berechnungsverfahren, wie der Mittelungsmethode, können für lineare und nichtlineare Schwingungen sehr gute Näherungslösungen und Aussagen grundsätzlicher Natur zu einer Bifurkation der Grundschwingungen getroffen werden. Die Mittelungstheorie ist beschrieben in Anderegg Roland (1998), "Nichtlineare Schwingungen bei dynamischen Bodenverdichtern", Fortschritte VDI, Reihe 4, VDI Verlag Düsseldorf. Dies erlaubt einen guten Gesamtüberblick über die auftretenden Lösungen. Bei mehrfach verzweigenden Systemen sind analytische Methoden mit einem unverhältnismässig hohen Aufwand verbunden.

[0055] Als Simulationswerkzeug wird das Programmpaket Matlab/Simulink® verwendet. Dessen graphische Benutzeroberfläche und die zur Verfügung stehenden Tools sind sehr geeignet zur Behandlung des vorliegenden Problems. Die Gleichungen (1) werden zuerst in eine dimensionslose Form transformiert, um eine höchstmögliche Allgemeingültigkeit der Resultate zu erreichen.

$$\text{Zeit: } \tau = \omega_0 t; \quad \omega_0 = \sqrt{k_B / m_d}$$

$$\text{Resonanzverhältnis: } \kappa = \frac{\Omega}{\omega_0} \quad \text{mit } \Omega = 2\pi \cdot f$$

d.h. $K = f/f_0$, wobei f die Anregungs- und f_0 die Resonanzfrequenz [Hz] ist.

[0056] ω_0 ist die Kreis-Resonanzfrequenz des Schwingungssystems "Maschine-Boden" [s^{-1}].

$$\text{Ort: } \eta = \frac{x_d}{A_0}; \quad \zeta = \frac{x_f}{A_0}; \quad \eta'' = \omega_0^2 \eta; \quad \zeta'' = \omega_0^2 \zeta;$$

Amplitude A_0 ist frei wählbar

Materialkenngrößen: $\delta = \frac{c_B}{\sqrt{m_d k_B}} = 2d_B$; $\lambda_c = \frac{c_G}{c_B}$; $\lambda_k = \frac{k_G}{k_B}$;

Massen und Kräfte: $\lambda_m = \frac{m_f}{m_d}$; $A_{th} = \frac{m_u r_u}{m_d}$; $\gamma = \frac{A_{th}}{A_0}$; $f_B = \frac{F_B}{k_B \cdot A_0} = k_B A_0 (\eta + \delta \eta')$;

$$\eta = \frac{x_d}{A_0}; \quad \eta_0 = \frac{m_d \cdot g}{k_B A_0}; \quad \varsigma_0 = \frac{m_f \cdot g}{k_B A_0};$$

$$\left. \begin{aligned} \eta'' + f_B + \lambda_c \delta (\eta' - \varsigma') + \lambda_k (\eta - \varsigma) &= \gamma \kappa^2 \cos(\kappa \tau) + \eta_0 \\ \lambda_m \varsigma'' + \lambda_c \delta (\varsigma' - \eta') + \lambda_k (\varsigma - \eta) &= \varsigma_0 \end{aligned} \right\}$$

wobei gilt: $f_B = \begin{cases} \delta \eta' + \eta & \text{falls } f_B > 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$

[0057] Die resultierenden Gleichungen (3) werden graphisch mit Mathelab Simulink® modelliert, siehe **Figur 4**. Die Nichtlinearität wird vereinfacht als eine rein kraftgesteuerte Funktion betrachtet und mit Hilfe des "Switch"-Blocks aus der Simulink-Bibliothek modelliert.

[0058] Das Koordinatensystem der Gleichungen (1) und (3) beinhaltet eine statische Einsenkung infolge des Eigengewichts (statisches Auflastgewicht m_f , schwingende Masse m_d). Im Vergleich mit Messungen, die aus der Aufintegration von Beschleunigungssignalen resultieren, muss die statische Einsenkung zu Vergleichszwecken im Simulationsergebnis subtrahiert werden. Die Anfangsbedingungen für die Simulation sind alle "0" gesetzt. Die Resultate werden für den Fall des eingeschwungenen Zustands angegeben. Als Lösungssolver wird "ode 45" (Dormand-Price) mit einer variablen Integrationsschrittweite (max. Schrittweite 0.1 s) im Zeitbereich von 0 s bis 270 s gewählt.

[0059] Für die Betrachtung des chaotischen Maschinenverhaltens der Vibrationsplatte 1 genügt es in der Regel, den schwingenden Teil zu untersuchen. Insbesondere bei gut abgestimmten Gummidämpferelementen sind in den Elementen (Unter- und Oberwagen) die dynamischen Kräfte gegenüber den statischen Kräften vernachlässigbar klein und es gilt $\ddot{x}_f \ll \ddot{x}_d$. In diesem Fall können die beiden Gleichungen in (1) bzw. (3) addiert werden und es ergibt sich eine Gleichung (4a) für einen Freiheitsgrad des schwingenden Elements $x_d \equiv x$. Das zugehörige analytische Modell findet sich in **Figur 3**.

$$F_B = -m_d \ddot{x} + M_d \Omega^2 \cos(\Omega \cdot t) + (m_f + m_d) \cdot g \quad (4a)$$

[0060] F_B ist die auf den Bodenbereich wirkende Kraft; siehe **Figur 3**. Diese gewöhnliche Differentialgleichung 2. Ordnung wird in die beiden nachfolgenden Differentialgleichungen 1. Ordnung umgeschrieben:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{F_B}{m_d} + A_0 \Omega^2 \cos(\Omega \cdot t) + \left(1 + \frac{m_d}{m_f}\right) \cdot g \end{aligned} \right\} \quad (4b)$$

$$\text{mit } A_0 = \frac{M_d}{m_d} \text{ und } \begin{matrix} F_B = c_B \dot{x}_d + k_B x & \text{für } F_B > 0 \\ F_B = 0 & \text{sonst} \end{matrix} \quad \text{als bodenkraftgesteuerte Nichtlinearität.}$$

[0061] Es gilt die Identität $x_2 \equiv \dot{x}$.

[0062] Daraus wird eine Phasenraum-Darstellung mit x_1 , $(t)-x_2(t)$, bzw. $x(t)-\dot{x}(t)$ abgeleitet.

[0063] Die Phasenkurven, auch als Orbitale bezeichnet, sind im Fall linearer, stationärer und monofrequenter Schwingungen geschlossene Kreise bzw. Ellipsen. Bei nichtlinearen Schwingungen, bei denen zusätzlich Oberwellen auftreten (periodisches Abheben der Bandage vom Boden), sind die Oberwellen als aufmodulierte Periodizitäten zu erkennen. Erst bei Periodenverdoppelungen, also subharmonischen Schwingungen wie dem "Springen", mutiert der ursprüngliche Kreis zu geschlossenen Kurvenzügen, die Schnittpunkte in der Phasenraum-Darstellung aufweisen.

[0064] Es hat sich gezeigt, dass das Auftreten von subharmonischen Schwingungen in Form von Verzweigungen oder Bifurkationen ein weiteres, zentrales Element stark nichtlinearer und chaotischer Schwingungen ist. Im Gegensatz zu Oberwellen stellen subharmonische Schwingungen einen neuen, gesondert zu behandelnden Betriebszustand eines nichtlinearen Systems dar; dieser Betriebszustand unterscheidet sich stark vom ursprünglichen, linearen Problem. Oberwellen sind nämlich klein im Verhältnis zur Grundschiwingung, d. h. die nichtlineare Lösung des Problems verbleibt, mathematisch betrachtet, in der Umgebung der Lösung des linearen Systems.

[0065] Eine Messwerterfassung kann in der Praxis durch den Impuls einer Hall-Sonde, welche den Null-Durchgang der Vibrowelle erfasst, ausgelöst werden. Damit lassen sich auch Poincaré-Abbildungen generieren. Werden die periodisch erfassten Amplitudenwerte in Funktion des variierten Systemparameters, in unserem Falle also der Bodensteifigkeit k_B , aufgetragen, entsteht das Bifurkations- oder sogenannte Feigenbaum-Diagramm (**Figur 5**). In diesem Diagramm erkennt man zum einen die Eigenschaft der sich bei steigender Steifigkeit im Bereich der Verzweigung schlagartig vergrößernden Amplituden, die Tangente an die zugehörige(n) Kurve(n) verläuft im Verzweigungspunkt vertikal. Deshalb ist in der Praxis auch keine zusätzliche Energiezufuhr für das Springen der Walze erforderlich. Das Diagramm zeigt weiter auf, dass bei steigender Steifigkeit (Verdichtung) weitere Verzweigungen folgen, und zwar in immer kürzeren Abständen bezogen auf die kontinuierlich zunehmende Steifigkeit k_B . Die Verzweigungen erzeugen eine Kaskade neuer Schwingungsanteile mit der jeweils halben Frequenz der vorhergehend tiefsten Frequenz des Spektrums. Da sich die erste Verzweigung aus der Grundschiwingung mit der Frequenz f , bzw. Periode T , absplattet, entsteht die Frequenz-Kaskade f , $f/2$, $f/4$, $f/8$ etc. Analog zur Grundschiwingung generieren auch die subharmonischen Oberwellen und es entsteht ein Frequenzkontinuum im tieffrequenten Bereich des Signalspektrums. Dies ist ebenfalls eine spezifische Eigenschaft des chaotischen Systems, im vorliegenden Fall also der vibrierenden Vibrationsplatte.

[0066] Man beachte, dass sich das System des Verdichtungsgerätes in einem deterministischen und nicht in einem stochastischen chaotischen Zustand befindet. Da die Parameter, welche den chaotischen Zustand bewirken, nicht alle messbar sind (nicht vollständig beobachtbar), kann der Betriebszustand der subharmonischen Schwingungen nicht für die praktische Verdichtung prädiktiert werden. Das Betriebsverhalten in der Praxis ist zudem durch viele Unwägbarkeiten gekennzeichnet, die Maschine kann durch den starken Kontaktverlust zum Boden wegrutschen, die Belastung der Maschine durch die tieffrequenten Schwingungen wird sehr hoch. Laufend können weitere Bifurkationen des Maschinenverhaltens (unverhofft) auftreten, die sofort starke Zusatzbelastungen zur Folge haben. Hohe Beanspruchungen treten auch zwischen Bandage und Boden auf; dies führt zur unerwünschten Auflockerung oberflächennaher Schichten und zieht Kornzertrümmerungen nach sich.

[0067] So wird bei neuen Geräten, die über eine aktive Regelung der Maschinenparameter in Funktion gemessener Größen verfügen (z.B. ACE: Ammann Compaction Expert) bei Auftreten der ersten subharmonischen Schwingung mit der Frequenz $f/2$ sofort die Unwucht und damit die Energiezufuhr verringert. Diese Massnahme verhindert zuverlässig das unerwünschte Springen oder Taumeln der Bandage. Zudem garantiert eine kraftgesteuerte Regelung von Amplitude und Frequenz des Verdichtungsgerätes eine Steuerung der Nichtlinearität und damit eine sichere Verhinderung des Springens/Taumelns, die ja letztlich die Folge der auftretenden Nichtlinearität ist.

[0068] Aufgrund der Tatsache, dass die subharmonischen Schwingungen einen jeweils neuen Bewegungszustand der Maschine darstellen, müssten Relativmessungen, z. B. zur Erfassung des Verdichtungszustandes des Bodens, für jede neu auftretende subharmonische Schwingung neu auf die Bezugsprüfverfahren, wie beispielsweise den Druckplattenversuch (DIN 18 196) geeicht werden. Auf diese Relativmessung kann verzichtet werden, wie unten erläutert wird.

[0069] Im Fall eines "Kompaktometers", bei dem zur Verdichtungskontrolle das Verhältnis von erster Oberwelle $2f$ zu Grundschiwingung f verwendet wird, ändert sich mit dem Auftreten des Springens die Korrelation grundsätzlich; nur innerhalb des jeweiligen Verzweigungszustandes der Bewegung existiert ein linearer Zusammenhang des Messwerts mit der Bodensteifigkeit.

[0070] Bei konstant belassenen Maschinenparametern kann das kaskadenartige Auftreten der Bifurkationen und Oberwellen mit ihren zugehörigen Periodenverdoppelungen analog den Grosswalzen als Indikator für die zunehmende Bodensteifigkeit und Verdichtung dienen (relative Verdichtungskontrolle).

[0071] Währenddem Walzen, vom Walzenzug bis zur handgeführten Grabenwalze, die Abrollbewegung der Bandagen

für ihre Fortbewegung nutzen und damit kein direkter Zusammenhang zwischen Vibration und Vorwärtsbewegung besteht, ist die Vibrationsplatte für ihre Fortbewegung immer auf das periodische Abheben vom Boden angewiesen, gesteuert durch die Neigung ihres Richtschwingers. Deshalb sind die Vibrationen und die Fortbewegung miteinander direkt gekoppelt, Platten und Stampfer weisen in der Folge immer ein nichtlineares Schwingungsverhalten auf. Dadurch

geraten die Geräte mit zunehmender Steifigkeit k_B schneller in den Bereich des Periodenverdoppelungsszenarios, chaotische Betriebszustände treten bei ihnen häufiger auf als bei Walzen.

[0072] Der Sensor zur Aufnahme der Schwingungsform des Schwingungssystems ist gemäss obiger Beschreibung am Unterwagen **5** oder am Oberwagen **7** angeordnet. Bei einer Anordnung am Oberwagen **7** sind Schwingungsbeeinflussungen durch die Dämpfungselemente, wie oben skizziert, zu beachten.

[0073] Die zur Verdichtung wenigstens eines Bodenbereichs **3** über dessen Bodenoberfläche **2** bewegbare Vorrichtung **1** hat hier beispielsweise eine Unwuchteinheit **40**, eine Einstelleinheit **41**, ein Zeitglied **43**, eine Vergleichereinheit **45**, eine Messeinheit **47**, eine Speichereinheit **49**, eine Ortsbestimmungseinheit **51** und eine Sende- und Empfangseinheit **53**. Diese Funktionsblöcke sind schematisch in **Figur 6** dargestellt.

[0074] Die Unwuchteinheit **40** hat ein einstellbares Unwuchtmoment und eine einstellbare Unwuchtfrequenz. Die Verstellung bzw. Einstellung wird mittels einer mit der Unwuchteinheit **40** mechanisch verbundenen Einstelleinheit **41** vorgenommen. Die Ortsbestimmungseinheit **51** ist signalmässig mit der Speichereinheit **49** verbunden. Mit der Ortsbestimmungseinheit wird die Lage des gerade im Verdichtungsprozess befindlichen Bodenbereichs **3** ermittelt. Die Lage d.h. die Ortskoordinaten können trigonometrisch über Peilung oder mittels GPS bestimmt werden. Die Messeinheit **47** ist hier beispielsweise auf der Bodenplatte **4** angeordnet und signalmässig mit der Vergleichereinheit **45** und der Speichereinheit **49** verbunden. Die Messeinheit **47** ermittelt gemäss obigen Ausführungen selbsttätig den Verdichtungsistwert des Bodenbereichs **3** während der Verdichtung. Dieser Bodenverdichtungswert wird zusammen mit den durch die Ortsbestimmungseinheit **51** ermittelten Ortskoordinaten als bereichsspezifischer Verdichtungsistwert in der Speichereinheit **49** abgespeichert. Die Vergleichereinheit **45** dient zum Vergleich des jeweiligen bereichsspezifischen Verdichtungsistwertes mit einem zugeordneten bereichsspezifischen Verdichtungssollwertes, um durch die Einstelleinheit **41** korrigierte bereichsspezifische Unwucht- und Unwuchtfrequenzwerte für eine nachfolgende Verdichtungsüberfahrt zu erhalten. Die Vergleichereinheit **45** ist signalmässig mit der Messeinheit **47**, der Speichereinheit **49** und dem Zeitglied **43** verbunden.

[0075] Die Recheneinheit **50** beinhaltet das Zeitglied **43**, die Vergleichereinheit **45**, die Speichereinheit **49** und eine "Central-Processing-Unit" **52**. Die Recheneinheit **50** ist zudem mit der Sende- und Empfangseinheit **53** und der Ortsbestimmungseinheit **51** verbunden. Die Recheneinheit **50** führt sämtliche Berechnungen durch, um aus abgespeicherten und übermittelten Daten die entsprechenden Maschinendaten für eine optimale Verdichtung einzustellen. Sie stellt auch die Daten für eine Übermittlung zu einer Zentrale oder anderen Verdichtungsrichtungen zur Verfügung.

[0076] Das Zeitglied **43** dient dazu der Einstelleinheit **41** zum richtigen Zeitpunkt die Werte für eine Verstellung des Unwuchtmomentes und der Unwuchtfrequenz zur Verfügung zu stellen. Es müssen hier insbesondere Massen verstellt, beschleunigt bzw. abgebremst werden. Hierzu wird Zeit benötigt. Das Zeitglied muss somit vorausschauend aus der Bewegungsrichtung und Bewegungsgeschwindigkeit die Einstellwerte ermitteln.

[0077] Die Datenempfangs- und -übermittlungseinheit **53** dient zum Empfang bereichsspezifischer Verdichtungssollwerte, insbesondere zum Empfang von bereichsspezifischen Verdichtungsistwerte eines vorgängigen Verdichtungs Vorganges. Ferner dient die Datenempfangs- und -übermittlungseinheit **53** zur Übermittlung der Lage von Bereichen und deren bei der Verdichtung ermittelten Verdichtungsistwerten. Die Datenempfangs- und -übermittlungseinheit **53** ist signalmässig mit der Speichereinheit **49** verbunden, von der dann eine signalmässige Verbindung mit der Vergleichereinheit **45**, der Messeinheit **47** und über das Zeitglied **43** mit der Einstelleinheit **41** gegeben ist.

[0078] Der obige Verdichtungs Vorgang ist anhand einer Vibrationsplatte lediglich beispielsweise erklärt worden. Anstelle der Vibrationsplatte können selbstverständlich jegliche Arten von Walzen und Stampfern verwendet werden.

[0079] Bei der Vibrationsplatte ist die Fahrtrichtungseinstelleinheit lediglich durch eine Bedienung der Führungsdeichsel **9** gegeben. Bei den diversen Walzentypen erfolgt eine Fahrtrichtungseinstellung in der Regel durch ein Lenkrad.

[0080] **Figur 7** zeigt analog zum Geländebereich **14** einen zu verdichtenden Geländeabschnitt **60**, der mit zwei schematisch dargestellten Walzen **61a** und **61b** und einer Vibrationsplatte **63** verdichtet werden soll. Die Walzen **61a** und **61b** sowie die Vibrationsplatte **63** haben je eine Ortsbestimmungseinheit **65a** bis **65c**. Die Kommunikation zwischen diesen drei Vorrichtungen **61a**, **61b** und **63** zur Datenübertragung der jeweiligen bereichsspezifischen Verdichtungsistwerte erfolgt von jeder Vorrichtung zu jeder Vorrichtung, schematisch durch die Doppelpfeile **67a**, **67b** und **67c** angedeutet. Zur weiteren Veranschaulichung enthält der Geländeabschnitt **60** eine Fehlstelle **69** als nicht verdichtbaren Bereich. Eine der drei Vorrichtungen **61a**, **61b** und **63** wird diese Fehlstelle **69** versuchen zu verdichten und dann einen bereichsspezifischen Verdichtungsistwert feststellen, der unterhalb des bereichsspezifischen Verdichtungssollwertes liegt. Dieser Verdichtungsistwert wird mit der entsprechenden Lageposition an die beiden anderen Vorrichtungen übermittelt und in der gerade verdichtenden Vorrichtung gespeichert. Bei einem nun folgenden Verdichtungs Vorgang stellt nun dieselbe Vorrichtung oder eine der anderen Vorrichtungen fest, dass bei einem weiteren Verdichtungs Vorgang der bereichsspezifische Verdichtungsistwert innerhalb eines vorgegebenen Toleranzwertes nicht zugenommen hat. Bei

weiteren Verdichtungsüberfahrten wird nun diese Fehlstelle **69** als nicht verdichtbar ausgenommen d.h. nicht mehr überfahren. Sollte ein Ausklammern des Überfahrens nicht möglich sein, da ansonsten anliegende Bereiche nicht verdichtend überfahren werden können, so wird mit einer erhöhten Verfahrensgeschwindigkeit und zurückgesetzter Verdichtungsleistung (lediglich Glätten der Oberfläche) diese Fehlstelle **69** überfahren. Analog wird mit Bereichen verfahren, welche bereits den vorgegebenen bereichsspezifischen Verdichtungsistwert erreicht haben.

[0081] Eine Abwandlung zu der in **Figur 7** dargestellten Geräteanordnung, zeigt **Figur 8**. In **Figur 8** ist eine Zentrale **70** vorhanden, mit der sämtliche Verdichtungsvorrichtungen, hier ebenfalls beispielsweise die Vibrationsplatte **63** und die beiden Walzen **61a** und **61b**, über deren Datenempfangs- und -übermittlungseinheit **71** miteinander kommunizieren. Die Zentrale **70** wird in der Regel das sogenannte Baubüro sein, bei dem alle Information zusammenlaufen. Zu dieser Zentrale **70** übermitteln dann die Verdichtungsvorrichtungen **61a**, **61b** und **63** die bereichsspezifischen Verdichtungsistwerte, welche entsprechend in einem Datenspeicher **73** gesammelt und ausgewertet werden. In der Zentrale **70** entsteht dann analog zu **Figur 1** (jedoch mit bedeutend gleichmässigeren Verdichtungswerten) ein Geländebereich aus dem dann die erreichten Verdichtungswerte erkennbar sind. Die Fehlstelle **69** würde sich in einer derartigen Darstellung gut herausheben. Die Zentrale **70** würde dann Massnahmen, wie z.B. einen Materialaustausch des Bodenmaterials vornehmen.

[0082] In der obigen Beschreibung wurden Bodenbereiche verdichtet. In einer analogen Verfahrensweise mit denselben Verdichtungsvorrichtungen lassen sich jedoch auch auf einem Bodenbereich aufgebraachte Beläge, wie Asphaltbeläge, verdichten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verdichtung wenigstens eines Bodenbereichs (**3**) oder wenigstens eines auf einen Bodenbereich aufgetragenen Belagbereichs auf einen vorgegebenen bereichsspezifischen Verdichtungssollwert, wobei zu einem ersten Überfahren jedes Bereichs ein dem bereichsspezifischen Verdichtungssollwert entsprechender Verdichterwert selbsttätig eingestellt, beim Überfahren ein erreichter bereichsspezifischer Verdichtungsistwert selbsttätig ermittelt, mit dem bereichsspezifischen Verdichtungssollwert selbsttätig verglichen und der Verdichterwert nachge-regelt oder der bereichsspezifische Verdichtungsistwert abgespeichert wird, um für eine nachfolgende Überfahrt zur Verfügung zu stehen, damit eine bereichsspezifische Einstellung eines jeweils entsprechenden Verdichterwertes ohne Einwirkung eines Führers einer Verdichtungsvorrichtung erfolgt, wodurch der Führer sich nun voll auf die Führung der Verdichtungsvorrichtung konzentrieren kann.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als bereichsspezifischer Verdichtungswert eine Bodenreaktionskraft F_B und ein Phasenwinkel φ selbsttätig errechnet und selbsttätig eingestellt werden, wobei der Phasenwinkel φ ein Winkel zwischen der maximalen senkrecht gegen die Oberfläche des Bodenbereichs gerichteten Bodenreaktionskraft F_B und einem maximalen Schwingungswert einer Schwingungsantwort eines Schwingungssystems, gebildet aus dem Bodenbereich und der die Verdichtung ausführenden Vibrationseinheit der Verdichtungs-vorrichtung, ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den jeweiligen Bereich (**3**) der Verdichterwert eine Zeitspanne vor dem Überfahren des Bereiches (**3**) selbsttätig zur Verfügung gestellt wird, wobei die Zeitspanne derart selbsttätig gewählt ist, dass der Verdichterwert beim Erreichen des jeweiligen Bereiches (**3**) selbsttätig eingestellt wirkt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** Ortskoordinaten der jeweiligen im Verdichtungsprozess befindlichen Bereiche (**3**) ermittelt und der ermittelte bereichsspezifische Verdichtungsistwert des jeweiligen Bereiches (**3**) zusammen mit diesen Ortskoordinaten abgespeichert wird, um für einen eventuellen nachfolgenden Verdichtungsvorgang zu einem vorgängigen selbsttätigen Einstellen jedes bereichsspezifischen Verdichterwertes zur Verfügung zu stehen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beim Überfahren ermittelten bereichsspezifischen Verdichtungswerte an wenigstens eine weitere Verdichtungsvorrichtung (**61 a**, **61 b**, **63**) und/oder insbesondere an wenigstens eine Zentrale (**70**) übermittelt, und von wenigstens einer weiteren Verdichtungs-einheit (**61 a**, **61 b**, **63**) und/oder insbesondere von wenigstens einer Zentrale (**70**) bereichsspezifische Verdichtungsistwerte eines vorgängigen Überfahrens und/oder Verdichtungssollwerte empfangen werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der jeweilige bereichsspezifische erste Verdichtungsistwert des letzten vorgängigen Verdichtungsvorganges bzw. der jeweilige bereichsspezifische

Verdichtungssollwert mit dem beim verdichtenden Überfahren gemessenen bereichsspezifischen Verdichtungs-
wert verglichen und ein bereichsspezifischer Verdichtungs-differenzwert ermittelt wird, dieser Verdichtungs-differenz-
wert mit einem vorgegebenen Toleranzwert verglichen wird und, wenn der Verdichtungs-differenzwert wenigstens
so klein ist wie der Toleranzwert, dann bei einem neuen Überfahren der Verdichterwert derart eingestellt wird, dass
keine weitere Verdichtung erfolgt und die Vorrichtung (61 a, 61 b, 63) lediglich oberflächenglättend über den be-
treffenden Bereich (3) bewegt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Führer der Vorrichtung ein
Überfahrweg vorgezeigt wird, auf dem die Verdichtungsvorrichtung zu führen hat, um mehrere Bereiche in einem
optimalen Zeitrahmen zu verdichten und nicht benötigte Mehrfachüberfahrten zu minimieren.

8. Über eine Oberfläche bewegbare Vorrichtung (61 a, 61 b, 63) zur Verdichtung wenigstens eines Bodenbereichs
(3) oder wenigstens eines auf einen Bodenbereich aufgetragenen Belagbereichs auf einen vorgegebenen bereichs-
spezifischen Verdichtungssollwert, insbesondere zur Durchführung des Verdichtungsverfahrens nach einem der
Ansprüche 1 bis 7, mit einer Fahrtrichtungseinstelleinheit, mit der durch einen Vorrichtungsführer eine Fahrtrichtung
zum Überfahren jedes Bereiches (3) kontrollierbar ist, mit einer Speichereinheit (49) zur Abspeicherung bereichs-
spezifischer Verdichtungs-werte, mit einer mit der Speichereinheit (49) zusammenwirkenden Recheneinheit zur
Ermittlung von Verdichterwerten aus den Verdichtungs-werten, mit wenigstens einer Einstelleinheit (41) auf-
weisenden Verdichtungseinheit (40), wobei die Einstelleinheit (41) mit der Recheneinheit zur Einstellung, insbe-
sondere zum Nachstellen, von Verdichterwerten zusammenwirkt, mit einer Ortsbestimmungseinheit (65a-c) zur
selbsttätigen Ermittlung der Lage des jeweiligen für eine Verdichtung anstehenden Bereiches (3), mit einer Mes-
seinheit (47) zur selbsttätigen Ermittlung eines jeweiligen bereichsspezifischen Verdichtungs-wertes und einer
Vergleichereinheit (45) zum Vergleich des jeweiligen bereichsspezifischen Verdichtungs-sistwertes mit dem zuge-
ordneten bereichsspezifischen Verdichtungssollwert, um durch die Einstelleinheit (41) korrigierte bereichsspezifi-
sche Verdichterwerte selbsttätig für eine nachfolgende bzw. für die augenblickliche Verdichtungsüberfahrt zu er-
halten, wodurch der Vorrichtungsführer lediglich die Fahrtrichtung zu kontrollieren hat und von einer Einstellung
von Verdichterwerten befreit ist.

9. Vorrichtung (61 a, 61 b, 63) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verdichtungseinheit (49) ein
mit der Einstelleinheit (41) selbsttätig einstellbares Unwuchtmoment und eine selbsttätig einstellbare Unwuchtfre-
quenz als Verdichterwert hat, um auf jeden Bereich eine Bodenkraft F_B und einen Phasenwinkel φ vorzugeben,
wobei der Phasenwinkel φ ein Winkel zwischen der maximalen senkrecht gegen die Oberfläche des Bodenbereichs
(3) gerichteten Bodenreaktionskraft F_B und einem maximalen Schwingungswert einer Schwingungsantwort eines
Schwingungssystems, gebildet aus dem Bodenbereich (3) und der die Verdichtung ausführenden Verdichtungs-
einheit, insbesondere einer Vibrationseinheit, der Verdichtungsvorrichtung, ist.

10. Vorrichtung (61 a, 61 b, 63) nach Anspruch 8 oder 9, **gekennzeichnet durch** ein mit der Einstelleinheit (41)
zusammenarbeitendes Zeitglied (43), welches für einen kommenden Verdichtungs-vorgang korrigierte bereichsspe-
zifische Verdichterwerte der Einstelleinheit (41) derart zeitlich vorgängig zur Verfügung stellt, dass unter Beachtung
der Bewegungsgeschwindigkeit und der Bewegungsrichtung bei Erreichen des betreffenden Bereiches (3) die Ver-
dichterwerte wirken.

11. Vorrichtung (61 a, 61 b, 63) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **gekennzeichnet durch** eine mit der Einstelleinheit
(41) und insbesondere mit der Vergleichereinheit (45) signalmässig verbundene Datenempfangs- und -übermitt-
lungseinheit (53) zum Empfang bereichsspezifischer Verdichtungssollwerte, insbesondere zum Empfang von be-
reichsspezifischen Verdichtungs-sistwerten eines vorgängigen Verdichtungs-vorganges, und Übermittlungseinheit zur
Übermittlung der Lage von Bereichen (3) und deren bei der Verdichtung ermittelten Verdichtungs-sistwerten.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **gekennzeichnet durch** eine Fahrtrichtungsanzeige, mit der dem
Führer der Vorrichtung einen Überfahrweg vorzeigbar ist, auf dem er die Verdichtungsvorrichtung zu führen hat,
um mehrere Bereiche in einem optimalen Zeitrahmen zu verdichten und nicht benötigte Mehrfachüberfahrten
von Bereichen zu minimieren.

13. Geräteanordnung (61a, 61b, 63, 70) mit wenigstens einer Vorrichtung (61a, 61 b, 63) nach Anspruch 11 und einer
Zentrale (70) mit einer Sende- und Empfangseinheit (71), welche mit derjenigen jeder Vorrichtung (61 a, 61 b, 63)
kommunizieren kann, wobei die Zentrale einen Datenspeicher zur Speicherung bereichsspezifischer Verdichtungs-
sollwerte und zur Speicherung von bereichsspezifischen Verdichtungs-sistwerten, welche von der wenigstens einen
Vorrichtung ermittelt wurden.

14. Geräteanordnung (61a, 61b, 63) mit wenigstens zwei Vorrichtungen (61a, 61b, 63) nach Anspruch 11, deren Datenempfangs- und -übermittlungseinheit (65a-c) derart ausgelegt ist, dass jede Vorrichtung (61a, 61 b, 63) mit der anderen bereichsbezogene Verdichtungsistwerte austauschen kann.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

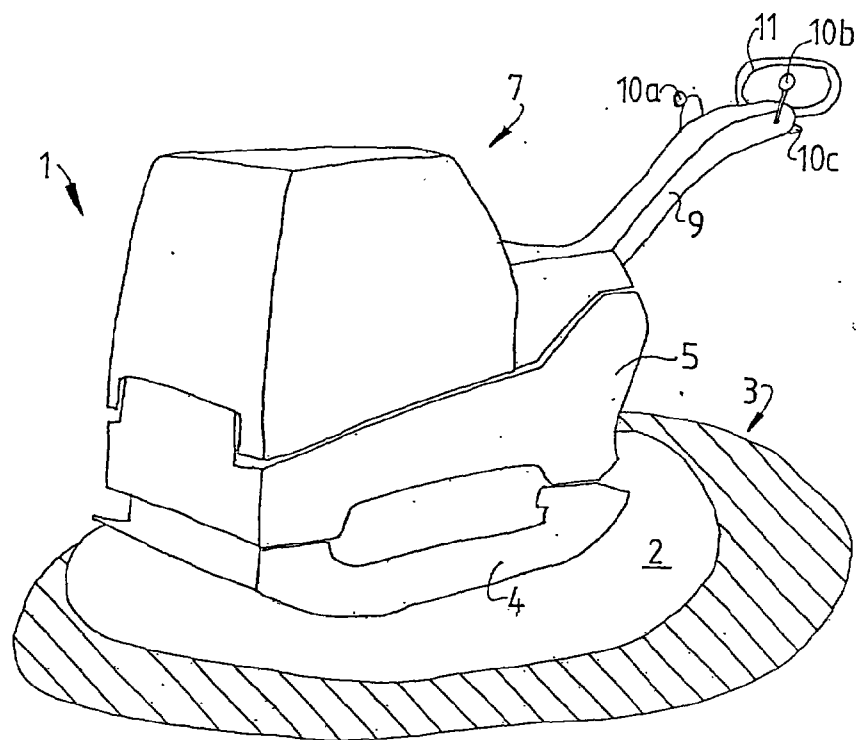
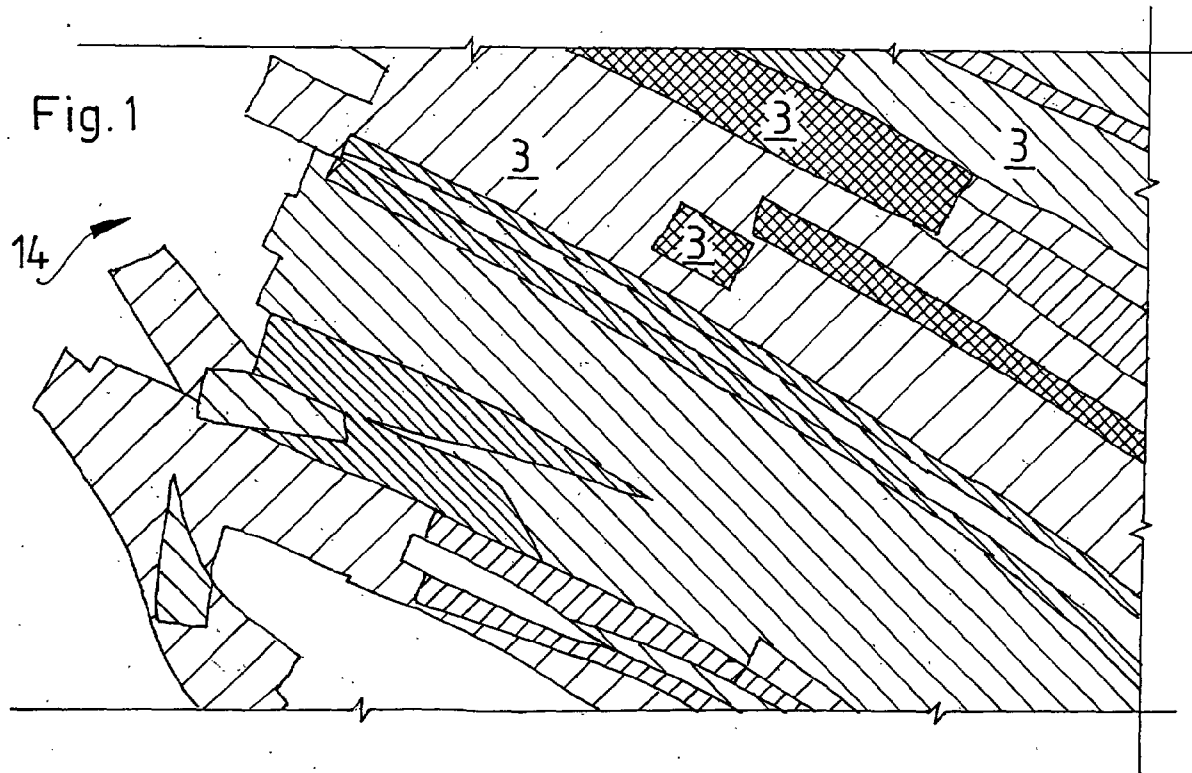


Fig. 2

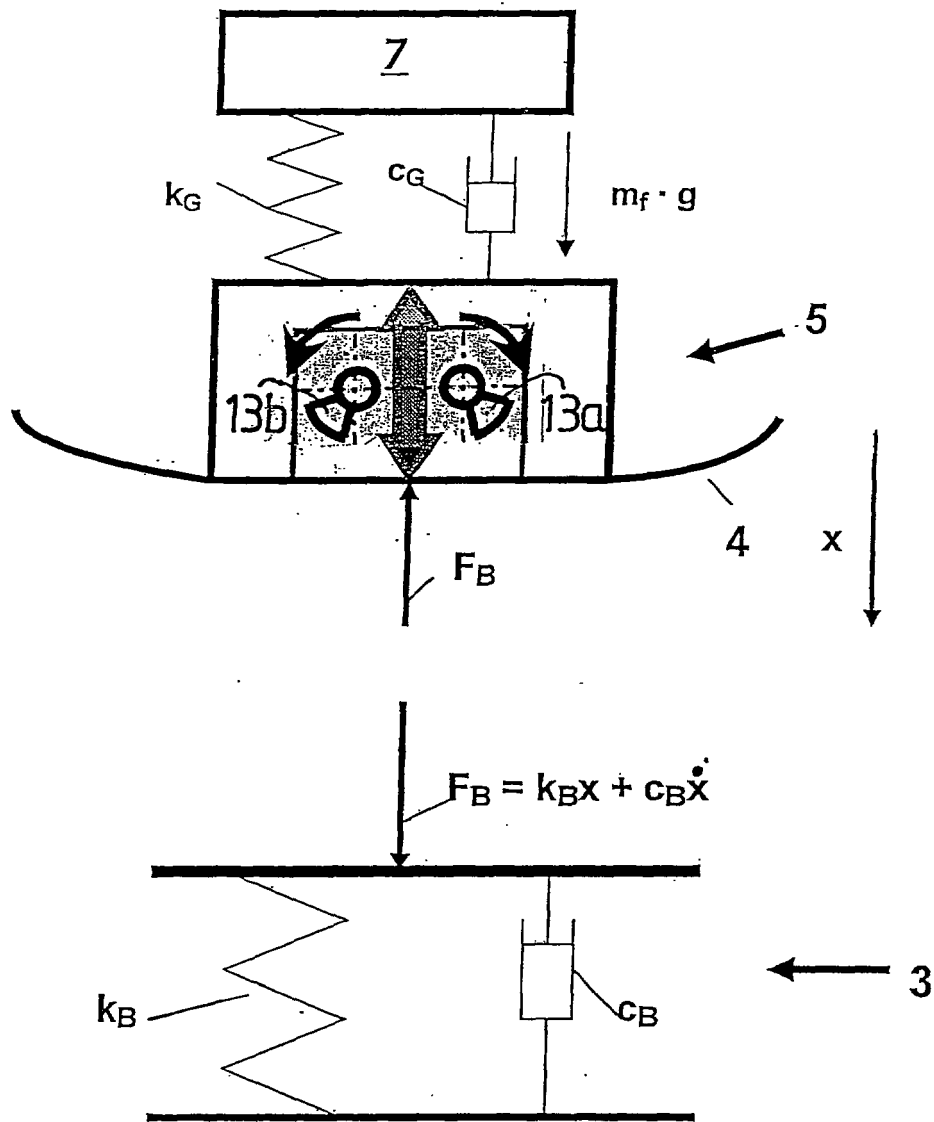
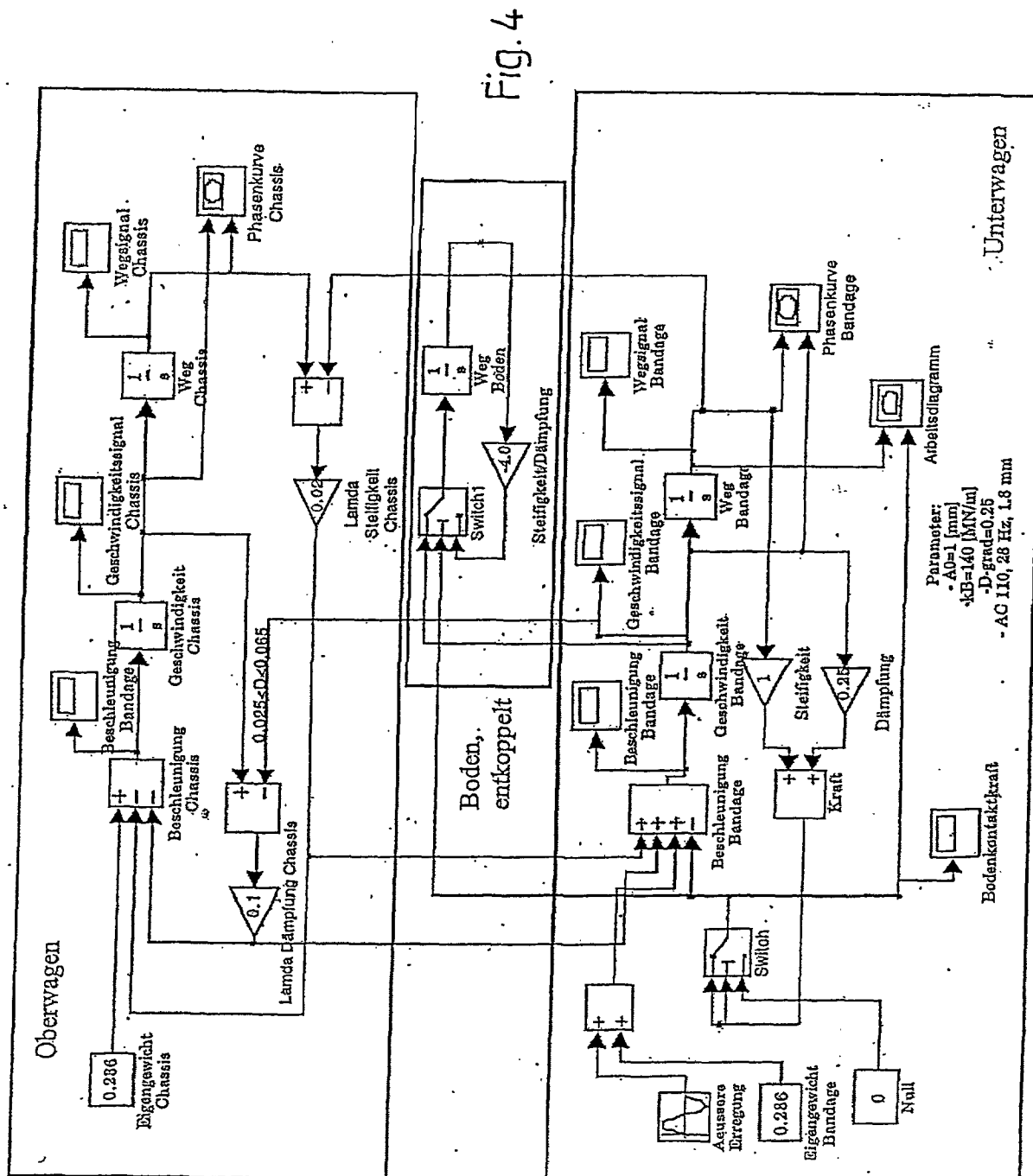


Fig. 3



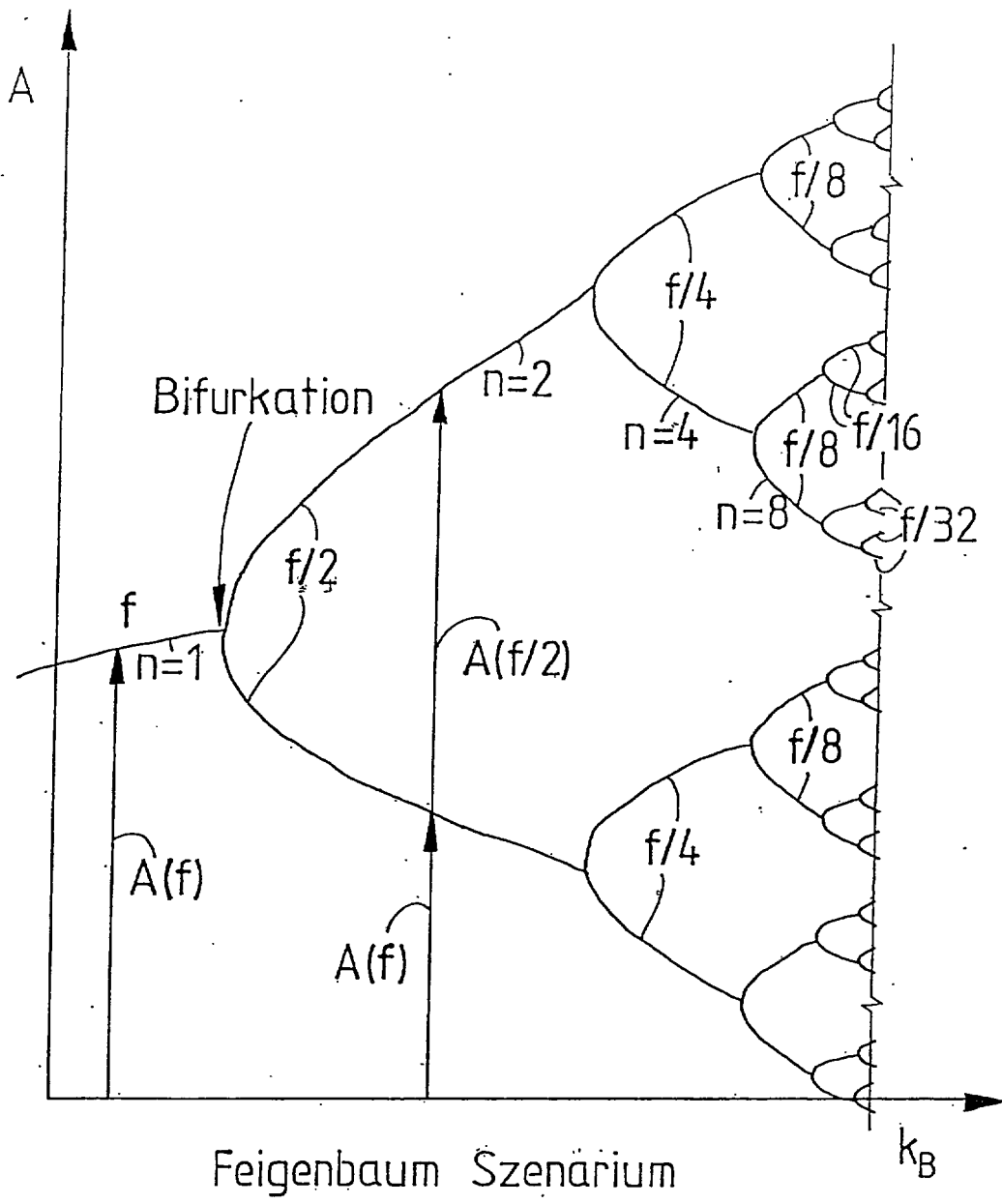
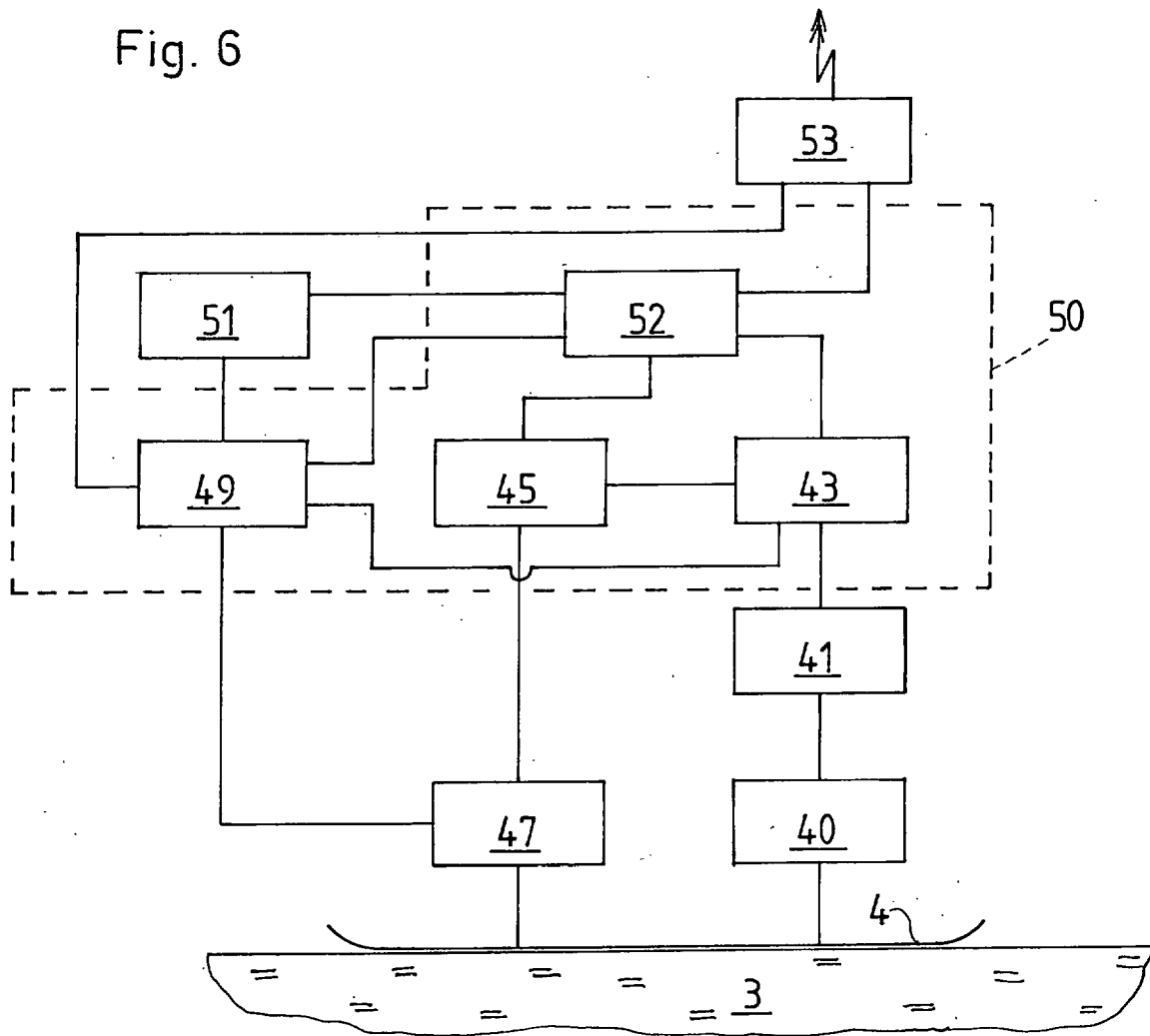


Fig. 5

Fig. 6



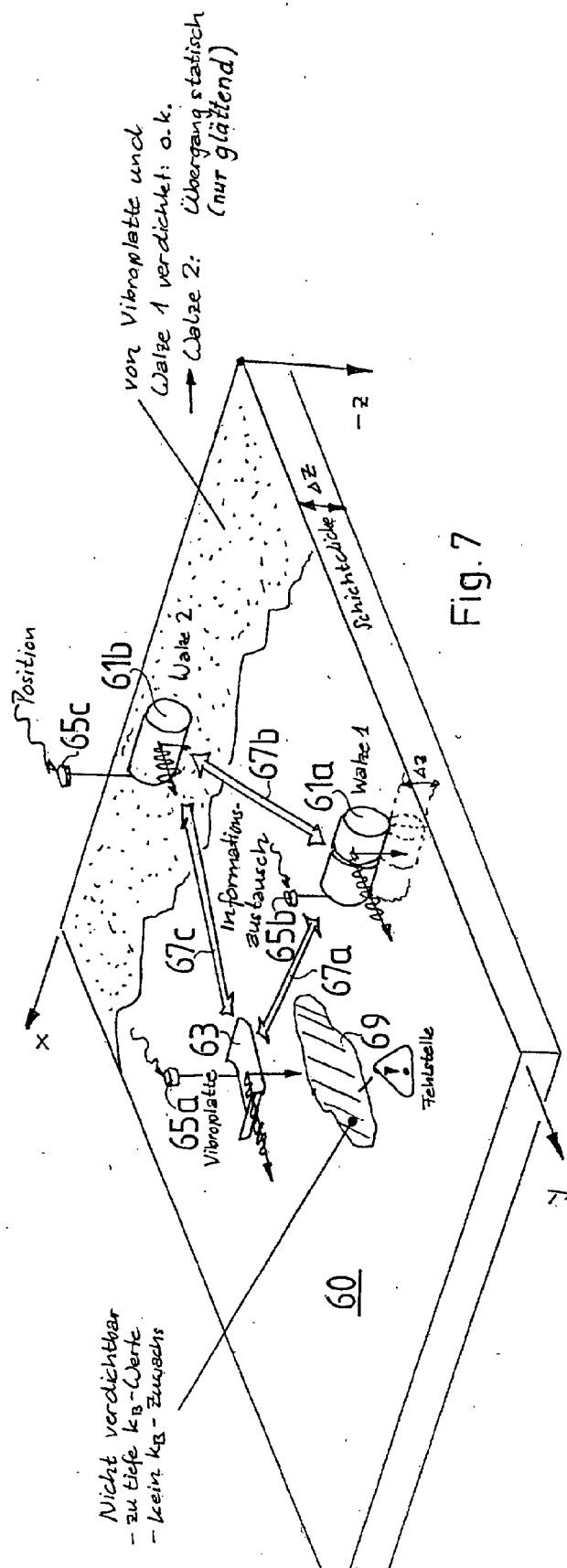
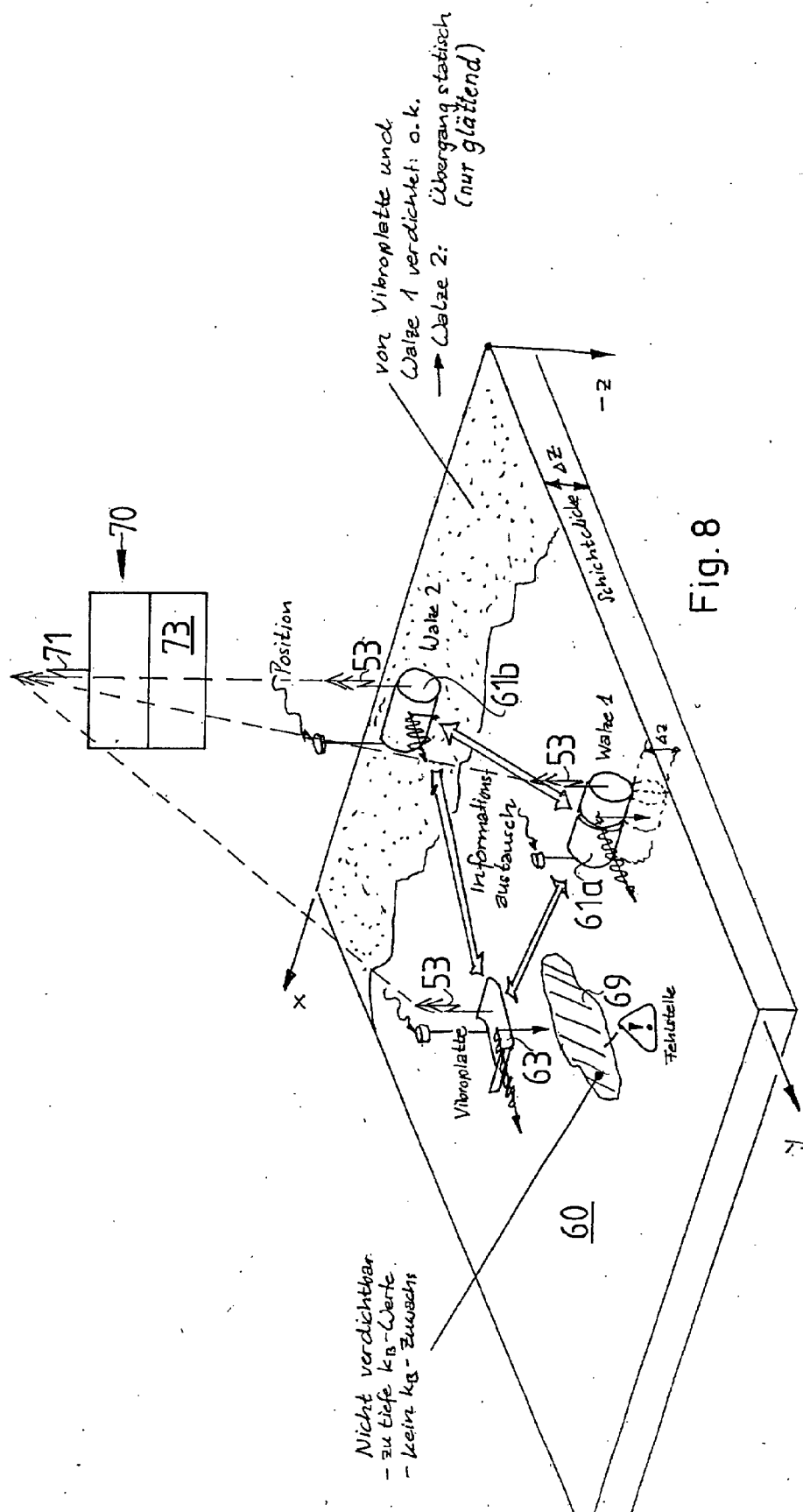


Fig. 7





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 05 40 5266

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 5 727 900 A (SANDSTROM ET AL) 17. März 1998 (1998-03-17) * Spalte 2, Zeile 23 - Zeile 65 * * Spalte 10, Zeile 19 - Spalte 12, Zeile 14; Abbildungen *	1,8,13	E01C19/28 E02D3/074
X	WO 02/44475 A (HAMM AG; RICHTER, WOLFGANG) 6. Juni 2002 (2002-06-06) * Seite 3, Absatz 2 - Seite 4, Absatz 4 * * Seite 9, Absatz 3 - Absatz 4; Abbildungen *	1	
A	WO 98/17865 A (AMMANN VERDICHUNG AG; ANDEREGG, ROLAND; LEIBUNDGUT, HANS, ULRICH) 30. April 1998 (1998-04-30) * Ansprüche 1,3 *	1,8,13	
A	WO 2004/090232 A (WACKER CONSTRUCTION EQUIPMENT AG; SICK, GEORG) 21. Oktober 2004 (2004-10-21) * Zusammenfassung * * Seite 11; Abbildungen *	1,8,13	
A	WO 95/28524 A (CATERPILLAR INC) 26. Oktober 1995 (1995-10-26) * das ganze Dokument *	1-14	E01C E02D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 23. August 2005	Prüfer Movadat, R
KATEGORIE DER GENANNTE DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

3
EPO FORM 1503 03.02 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 05 40 5266

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

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

23-08-2005

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5727900 A	17-03-1998	SE 502079 C2	07-08-1995
		AT 189833 T	15-03-2000
		DE 69423048 D1	23-03-2000
		DE 69423048 T2	14-09-2000
		EP 0723616 A1	31-07-1996
		ES 2145160 T3	01-07-2000
		JP 9505645 T	03-06-1997
		JP 3647865 B2	18-05-2005
		SE 9303387 A	15-04-1995
		WO 9510664 A1	20-04-1995
-----	-----	-----	-----
WO 0244475 A	06-06-2002	WO 0244475 A1	06-06-2002
		EP 1337713 A1	27-08-2003
		JP 2004514811 T	20-05-2004
		US 2004028472 A1	12-02-2004
-----	-----	-----	-----
WO 9817865 A	30-04-1998	AT 195157 T	15-08-2000
		WO 9817865 A1	30-04-1998
		DE 59702110 D1	07-09-2000
		EP 0932726 A1	04-08-1999
		US 6431790 B1	13-08-2002
-----	-----	-----	-----
WO 2004090232 A	21-10-2004	DE 10317160 A1	18-11-2004
		WO 2004090232 A1	21-10-2004
-----	-----	-----	-----
WO 9528524 A	26-10-1995	AU 690979 B2	07-05-1998
		AU 2246095 A	10-11-1995
		CA 2184481 A1	26-10-1995
		DE 69501401 D1	12-02-1998
		DE 69501401 T2	06-08-1998
		EP 0756653 A1	05-02-1997
		JP 9512072 T	02-12-1997
		WO 9528524 A1	26-10-1995
		US 5646844 A	08-07-1997
		ZA 9502853 A	21-12-1995
-----	-----	-----	-----

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- CH 2004000592 W [0002]
- DE 19956943 [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **G. LUNDBERG.** Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens. *Elastische Berührung zweier Halbräume*, vol. 10 (5), 201-211 [0025]
- Nichtlineare Schwingungen bei dynamischen Bodenverdichtern. **ROLAND.** Fortschritte VDI. VDI Verlag, 1998, 4 [0054]