



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.05.2012 Patentblatt 2012/22

(51) Int Cl.:
E01C 19/28 (2006.01) E01C 19/30 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11008033.0**

(22) Anmeldetag: **04.10.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(72) Erfinder:
• **Wallrath, Wolfgang**
56858 Grenderich (DE)
• **Kloubert, Hans-Josef**
52080 Aachen (DE)

(30) Priorität: **26.11.2010 DE 102010052713**

(74) Vertreter: **Lang, Friedrich et al**
Lang & Tomerius
Patentanwälte
Landsberger Strasse 300
80687 München (DE)

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

(54) **Verfahrbare Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus und Verfahren zur Ermittlung eines Schicht-E-Moduls einer obersten Schicht dieses Bodenschichtaufbaus**

(57) Vorliegende Erfindung betrifft eine verfahrbare Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus (2), mit wenigstens einem Vibrationsmittel, wie einer Vibrationswalze (6) oder einer Vibrationsplatte (4), über das in wenigstens einem Lasteinleitungsbereich (8) den Bodenschichtaufbau (2) verdichtende Lastimpulse (P) einleitbar sind, wobei wenigstens ein erstes und ein zweites Detektionsmittel (10, 12) zur Detektion des E-Moduls des Bodenschichtaufbaus (2) vorgesehen sind, die derart von einander beabstandet an der Vorrichtung (1) angeordnet sind, dass das erste Detektionsmittel (10) eine

Detektion im Lasteinleitungsbereich (8) und wenigstens das zweite Detektionsmittel (12) eine Detektion außerhalb des Lasteinleitungsbereichs erlaubt.

Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Ermittlung eines Schicht-E-Moduls, wobei das erste Detektionsmittel (10) derart ausgebildet ist, dass es eine Detektion eines ersten Wertes W_1 einer Einsenkungsmulde (14) des Bodenschichtaufbaus (2) im Lasteinleitungsbereich erlaubt, und das zweite Detektionsmittel (12) derart ausgebildet ist, dass es eine Detektion eines zweiten Wertes W_2 der Einsenkungsmulde (14) außerhalb des Lasteinleitungsbereichs (8) erlaubt.

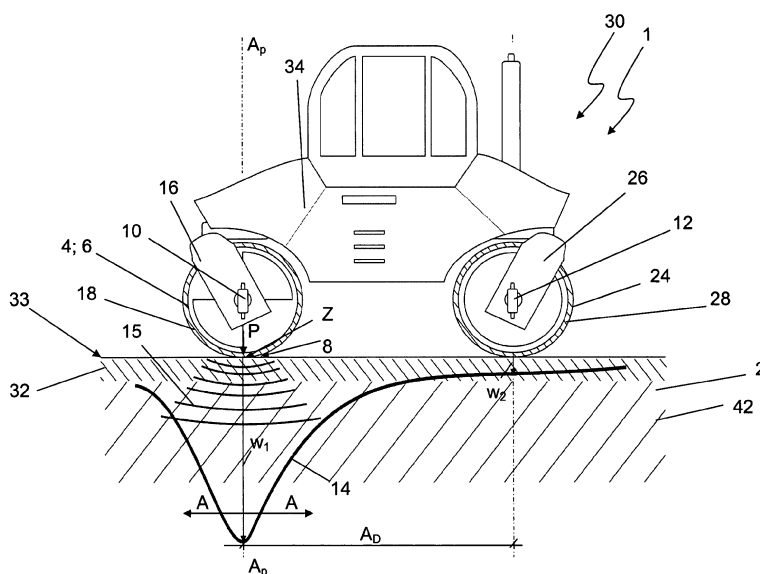


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine verfahrbare Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus, mit wenigstens einem Vibrationsmittel, wie eine Vibrationswalze oder eine Vibrationsplatte, über das in wenigstens einem Lasteinleitungsbereich den Bodenschichtaufbau verdichtende Lastimpulse einleitbar sind.

[0002] Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Ermittlung eines Schicht-E-Moduls einer obersten Schicht eines Bodenschichtaufbaus, insbesondere einer Fahrbahn-Asphaltschicht während eines Verdichtungsvorgangs.

[0003] Solche Vorrichtungen zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus sind aus dem Stand der Technik bekannt. Es gibt sie beispielsweise als maschinell angetriebene Walzen und insbesondere Straßenwalzen, durch die ein Bodenschichtaufbau und insbesondere eine Asphaltstraße inklusive ihres Unterbaus verdichtet werden können. Dazu weisen die Vorrichtungen und auch die zuvor genannte Straßenwalze ein Vibrationsmittel auf, über das den Bodenschichtaufbau verdichtende Lastimpulse in die Oberfläche des Bodenschichtaufbaus einleitbar sind.

[0004] Die verfahrbare Vorrichtung bewegt sich dabei in mehreren Arbeitsschritten über den zu verdichtenden Bodenschichtaufbau, wobei bei jeder Überfahrt eine weitere Verdichtung bis hin zu einer Maximalverdichtung erzielt wird. Nach Erreichen der Maximalverdichtung ist ein weiteres Verdichten des Bodenschichtaufbaus nicht mehr nötig oder gar kontraproduktiv, weil es zu einer erneuten Auflockerung des verdichteten Bodenschichtaufbaus und zu einer übermäßigen Belastung der Verdichtungsanordnung führt. Aus diesem Grund ist es wichtig, kontinuierlich oder in bestimmten Abständen den Verdichtungsgrad des Bodenschichtaufbaus zu detektieren.

[0005] Problematisch ist hierbei jedoch, dass aufgrund des Aufbaus des Bodens aus unterschiedlichen Schichten, eine genaue Detektion der E-Module der jeweiligen Schichten, also der Schicht-E-Module, nur ungenau möglich ist, da sich die E-Module der einzelnen Schichten, insbesondere ungebundener Schichten gegenseitig beeinflussen.

[0006] Aus dem Stand der Technik ist ein Verfahren mit dem sogenannten "Falling Weight Deflectometer" (FWD) bekannt, bei dem durch die Ermittlung einer durch einen Lastimpuls verursachten Einsenkungsmulde über eine bestimmte Anzahl an Detektionsvorrichtungen eine relativ genaue Detektion eines Schicht-E-Moduls möglich ist. Insbesondere bei der Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Asphaltstraßen gewinnt die Tragfähigkeitsuntersuchungen mit dem FWD mehr und mehr an Bedeutung. Mit dem FWD wird auf die Straßenoberfläche mit einer Fallmasse ein Lastimpuls aufgebracht, der zur Simulation einer Radüberrollung dient. Die kurzzeitig eintretende vertikale Verformung der Oberfläche des Bodenschichtaufbaus wird im Lastzentrum und in acht vorgegebenen Abständen vom Lastzentrum entfernt aufge-

nommen.

[0007] Über die gemessenen Einsenkungen der Einsenkungsmulde wird die Steifigkeit des gesamten Straßenaufbaus ermittelt. Dabei nimmt mit steigender Entfernung vom Lasteintragungspunkt der Einfluss der tieferen Schichten auf die gemessenen Einsenkungen zu. Dies bedeutet, dass die Einsenkung am Lasteintragungspunkt von der Tragfähigkeit des gesamten Schichtaufbaus abhängt, während die Einsenkung am entferntesten Aufnehmer im Wesentlichen durch die Tragfähigkeit des Untergrundes bzw. tieferer Schichten bestimmt wird. Die Berechnung der Steifigkeiten bzw. der Schicht-E-Module erfolgt dann auf der Grundlage der Theorie des elastischen Halbraumes und eines Mehrschichtenmodells (z. B. eines 2-Schichten- oder 3-Schichten-Modells) nach Boussinesq/Odemark.

[0008] Der Steifigkeitsmodul am Lasteintragungspunkt ergibt den sogenannten Äquivalent-Modul, also den E-Modul des gesamten Bodenschichtaufbaus unter dem Einfluss aller Schichten. Am weit entfernten Messpunkt ermittelt man den sogenannten Bettungs-Modul, den E-Modul des Unterbaus. Die Elastizitäts-Module der einzelnen Schichten werden dann mittels Rückrechnung aus den gemessenen Einsenkungsmulden bzw. Elastizitäts-Modulen der Fahrbahn ermittelt. Dabei gehen die Schichtdicken der gebundenen sowie ungebundenen Tragschichten in die Berechnung ein.

[0009] Nachteilig bei diesem Verfahren ist jedoch, dass die Ermittlung der Schicht-E-Module mit dem FWD sehr zeitintensiv ist und während der Messung keine weiteren Arbeiten an den Bodenschichtaufbauten vorgenommen werden können. Auch stehen die durch das FWD gewonnenen Werte nur zeitversetzt einer Bodenverdichtungsanordnung und insbesondere einer Straßenwalze zur Verfügung, sodass ein verdichtungsgesteuertes Verfahren bzw. die verdichtungsgesteuerte Bodenverdichtung nur schwer möglich ist.

[0010] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es folglich, eine Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus der vorgenannten anzugeben, das die schnelle und kostengünstige Detektion bzw. Kontrolle eines Schicht-E-Moduls des Bodenschichtaufbaus und insbesondere einer obersten Schicht erlaubt.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine verfahrbare Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus gelöst mit wenigstens einem Vibrationsmittel, wie einer Vibrationswalze oder einer Vibrationsplatte, über das in wenigstens einem Lasteinleitungsbereich den Bodenschichtaufbau verdichtende Lastimpulse einleitbar sind, wobei wenigstens ein erstes und ein zweites Detektionsmittel zur Detektion des E-Moduls des Bodenschichtaufbaus vorgesehen sind, die derart von einander beabstandet an der Vorrichtung angeordnet sind, dass das erste Detektionsmittel eine Detektion im Lasteinleitungsbereich und wenigstens das zweite Detektionsmittel eine Detektion außerhalb des Lasteinleitungsbereichs erlaubt.

[0012] Verfahrensseitig wird diese Aufgabe durch ein

Verfahren zur Ermittlung eines Schicht-E-Moduls einer Schicht eines Bodenschichtaufbaus, insbesondere einer Fahrbahn-Asphaltschicht, mit folgenden Schritten gelöst: Einbringen wenigstens eines Lastimpulses über die Oberfläche der obersten Schicht des Bodenschichtaufbaus in einem Lasteinleitungsbereich; Detektion eines ersten Wertes einer Einsenkungsmulde des Bodenschichtaufbaus im Lasteinleitungsbereich mittels eines ersten Detektionsmittels; Ermittlung des Äquivalent-Moduls des Bodenschichtaufbaus aus dem detektierten ersten Wert der Einsenkungsmulde; Detektion wenigstens eines zweiten Wertes der Einsenkungsmulde außerhalb des Lasteinleitungsbereiches mittels wenigstens eines zweiten Detektionsmittels; Ermittlung des Bettungs-Moduls und des Schicht-E-Moduls der obersten Schicht des Bodenschichtaufbaus aus den detektierten Werten der Einsenkungsmulde, wobei der Lastimpuls über ein Vibrationsmittel, wie eine Vibrationswalze oder Vibrationsplatte, einer Bodenverdichtungsmaschine in den Bodenschichtaufbau eingeleitet wird.

[0013] Ein wesentlicher Punkt ist also, dass entsprechend zu dem zuvor beschriebenen FWD-Verfahren bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der erfindungsgemäßen verfahrenbaren Vorrichtung das zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus vorgesehene Vibrationsmittel, also eine Vibrations-Walze, eine Vibrations-Platte, ein Vibrations-Stampfer etc. als Lasteinleitungsmittel zur Initiierung eines definierten Lastimpulses verwendet wird.

[0014] Dabei kann im Rahmen der Erfindung unter einer verfahrenbaren Vorrichtung jede Vorrichtung verstanden werden, die ein als Vibrationsmittel fungierendes Arbeitsmittel zur Bodenverdichtung aufweist und insbesondere Mittel, die der maschinellen flächenhaften Bodenverdichtung insbesondere im Baubetrieb dienen. Relevant ist dabei, dass die Vorrichtung so ausgebildet ist, dass die beiden Detektionsmittel zur Detektion des E-Moduls bzw. zur Detektion einer Einsenkungsmulde so voneinander beabstandet angeordnet sind, dass das erste Detektionsmittel im Lasteinleitungsbereich des oder eines Vibrationsmittels detektiert während wenigstens das zweite Detektionsmittel außerhalb dieses Lasteinleitungsbereichs detektiert. Dabei wird unter "außerhalb dieses Lasteinleitungsbereichs" jede Position verstanden, bei der in einem Abstand zu einem Lasteinleitungsbereich die Auswirkung des Lastimpulses detektierbar ist.

[0015] Wie bereits zuvor erwähnt, resultiert durch die durch das Vibrationsmittel und insbesondere durch eine Vibrations-Walze eingebrachten Lastimpulse eine Verformungs- bzw. eine Einsenkungsmulde.

[0016] Durch die erfindungsgemäße Anordnung des ersten und wenigstens eines zweiten Detektionsmittels kann nun über eine gezielte Bestimmung der Werte dieser Einsenkungsmulde ein Rückschluss auf die einzelnen Schicht-E-Module und insbesondere ein Rückschluss auf die oberste Schicht des Bodenschichtaufbaus getroffen werden.

[0017] Vorzugsweise ist das erste Detektionsmittel derart ausgebildet, dass es eine Detektion eines ersten Wertes einer Einsenkungsmulde des Bodenschichtaufbaus im Lasteinleitungsbereich erlaubt, wobei auch wenigstens das zweite Detektionsmittel dann vorzugsweise derart ausgebildet ist, dass es eine Detektion wenigstens eines zweiten Wertes der Einsenkungsmulde außerhalb des Lasteinleitungsbereichs erlaubt. Über die so detektierten Werte kann, wie bereits zuvor erwähnt, dann eine gezielte Bestimmung des jeweiligen Schicht-Moduls vorgenommen werden.

[0018] Das erste Detektionsmittel ist vorzugsweise so ausgebildet und angeordnet, dass es eine Detektion eines ersten Wertes der Einsenkungsmulde im Lasteinleitungsbereich erlaubt. Dieser erste Wert ermöglicht die Berechnung des Äquivalent-Moduls des Bodenschichtaufbaus, also des E-Moduls des gesamten Bodenschichtaufbaus, da in ihm sämtliche Verformungen des Bodenschichtaufbaus, von der obersten bis zu sehr weit darunter liegenden Schichten Einfluss nehmen. Insbesondere ist es möglich, diese Detektion während des Bodenverdichtungsbetriebes vorzunehmen.

[0019] Über wenigstens das zweite Detektionsmittel, das außerhalb des Lasteinleitungsbereichs bzw. außerhalb eines jeden Lasteinleitungsbereichs angeordnet ist, sodass es eben nur Auswirkungen des Lastimpulses des Verdichtungsmittels detektiert, kann dann ein weiterer E-Modul, nämlich der Bettungs-Modul bestimmt werden. Auch diese Ermittlung erfolgt wieder über die Detektion wenigstens eines Wertes der Einsenkungsmulde, nämlich wenigstens des zweiten Wertes im Bereich des zweiten Detektionsmittels. Aus wenigstens diesem zweiten Wert der Einsenkungsmulde kann dann der Bettungs-Modul bestimmt werden. Auch hier ist die Detektion während des Bodenverdichtungsbetriebes möglich.

[0020] Dieser Bettungs-Modul ist nahezu nur vom Unterbau abhängig, da wie bereits erwähnt, die Verformung an dieser Stelle im Wesentlichen nur vom Untergrund bestimmt wird und nicht von der obersten Schicht. Nach der Theorie des Mehrschichtenmodells wird mit den Schichtdicken der einzelnen Schichten des Bodenschichtaufbaus der Schicht-Modul der obersten Schicht und insbesondere der Schicht-Modul der Asphaltschicht ermittelt. Er stellt als ein vom Untergrundeinfluss bereinigter Asphalt-Modul wesentlich genauer die Steifigkeit der Asphaltschicht dar als der im Lasteinleitungsbereich ermittelte Äquivalent-Modul.

[0021] Durch die Ausrüstung einer Vorrichtung zur Bodenverdichtung mit den erfindungsgemäßen Detektionsmitteln kann folglich auch während des Verdichtungsbetriebes und insbesondere während des Betriebs einer Straßenwalze oder eines vergleichbaren Verdichtungsmittels eine Kontrolle des Verdichtungszustandes, insbesondere eine Tragfähigkeits-Untersuchung einer Asphaltstraße, durchgeführt werden. Die so ermittelten Werte können dann direkt in die Regelungsvorgänge der Straßenbaumaschine einfließen, um eine besonders effektive bedarfsgerechte Steuerung der Maschine zu er-

zielen.

[0022] Das erste und wenigstens das zweite Detektionsmittel weisen vorzugsweise wenigstens ein Geophon oder dergleichen Verformungsmesser auf, über das im Bodenschichtaufbau insbesondere Reflexionswellen aufgrund der eingeleiteten Lastimpulse detektierbar sind. Auf diese Weise ist eine sehr genaue Detektion der jeweiligen Werte der Einsenkungsmulde möglich.

[0023] Vorzugsweise weisen das erste und/oder das zweite Detektionsmittel einen Kraftsensor oder eine dergleichen Kraftmessdose auf, über die die eingeleiteten Kraftimpulse detektiert und/oder zu einer entsprechenden Verarbeitungseinheit weitergeleitet werden können.

[0024] In dieser Verarbeitungseinheit werden die detektierten Kraftimpulse vorzugsweise gespeichert. Ähnliches gilt für die durch die Detektionsmittel detektierten ersten und wenigstens zweiten Werte, die ebenfalls vorzugsweise in einer entsprechenden Verarbeitungseinheit aufgenommen, verarbeitet und gespeichert werden. In dieser Auswerteeinheit ist vorzugsweise die Auswertung der detektierten Werte und die Ermittlung der jeweiligen E-Module möglich. Sie übernimmt vorzugsweise auch den Vergleich der ermittelten Äquivalent- und Bettungs-Module und die Bestimmung des jeweiligen resultierenden Schicht-Moduls. Dazu sind in der Verarbeitungseinheit vorzugsweise entsprechende Steuer- und Regelungs- sowie Verarbeitungsprogramme enthalten bzw. speicherbar. Die resultierenden Ergebnisse können dann in einer Anzeigeeinheit dargestellt und/oder weiteren Programmroutinen, wie beispielsweise der ergebnisorientierten Regelung des Vibrationsmittels zugeführt werden.

[0025] Die ersten und wenigstens zweiten Detektionsmittel sind dabei vorzugsweise so ausgebildet, dass sie in den jeweiligen Bereichen eine genaue Detektion der durch die Lasteinleitungsimpulse verursachten Verformungen erlauben. Eine Detektion kann mit sämtlichen aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren und Vorrichtungen erfolgen. So ist es auch möglich, eine Detektion über das Vibrationsmittel selbst und deren Setzungsbewegungen während des Vibrationsvorganges durchzuführen. Eine sehr einfache Detektion der ersten und wenigstens zweiten Werte ist beispielsweise mittels eines als Geophon ausgebildeten elektro-mechanischen Wandlers möglich, der die Bodenschwingungen in analoge Spannungssignale umwandelt.

[0026] Vorzugsweise sind die Detektionsmittel so angeordnet, dass zwischen der obersten Schicht des Bodenschichtaufbaus und des Detektionsmittels eine statische Kopplung existiert.

[0027] In einer besonderen Ausführungsform ist das erste Detektionsmittel derart an der Vorrichtung angeordnet, dass es eine Detektion im Lastzentrum des Lasteinleitungsbereichs erlaubt. Auf diese Weise kann ein Maximalwert als erster Wert der Einsenkungsmulde ermittelt werden. Vorzugsweise ist das erste Detektionsmittel zudem coaxial zur Lasteinleitachse der Vibrations-

Walze angeordnet.

[0028] Es ist möglich, das erste Detektionsmittel an der Vibrations-Walze oder deren Lagereinrichtung, insbesondere an einer vibrierenden Bandage der Vibrations-Walze anzuordnen. Auf diese Weise kann sehr einfach eine genaue Detektion des ersten Wertes im Lasteinleitungsbereich und insbesondere Lastzentrum des Lasteinleitungsbereichs vorgenommen werden.

[0029] Vorzugsweise ist wenigstens das zweite Detektionsmittel an einer statischen Walze, insbesondere an deren statischen Bandage angeordnet. Unter statischer Walze wird im Umfang der Erfindung eine solche Walze verstanden, die über keine eigenständige Vibrationsmittel verfügt. Eine solche statische Walze kann also beispielsweise rein aufgrund ihres Gewichtes zu einer Verdichtung des Bodens führen, sie kann aber auch lediglich als Fahrmittel für die erfindungsgemäße Vorrichtung dienen. Insofern sind im Umfang der Erfindung unter dem Begriff statische Walze auch Gummiräder oder dergleichen Fahrmittel umfasst. Die Anordnung des zweiten Detektionsmittels an einem weiteren nicht vibrierenden, also statischen Fahrwerk und insbesondere einer statischen Walze erlaubt ebenfalls die kostengünstige und sehr genaue Detektion eines zweiten Wertes der Einsenkungsmulde. Auch hier können sämtliche aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren zur Detektion des Wertes in der Einsenkungsmulde herangezogen werden.

[0030] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist wenigstens das zweite Detektionsmittel insbesondere über einen Tragrahmen in seiner Position relativ zum Lasteinleitungsbereich des Vibrationsmittels verlagerbar angeordnet. Auf diese Weise kann direkter Einfluss auf den Detektionsort des zweiten Wertes der Einsenkungsmulde genommen werden. An einem solchen Tragrahmen können darüber hinaus weitere Detektionsmittel zur Detektion weiterer Werte der Einsenkungsmulde außerhalb des Lasteinleitungsbereichs angeordnet werden. Darüber hinaus können solche weiteren Detektionsmittel natürlich auch an anderen Bauteilen der Vorrichtung angeordnet werden, solange sie vom Lasteinleitungsbereich beabstandet sind.

[0031] Vorzugsweise ist die Vorrichtung als ein Walzenzug mit einer Vibrations-Walze und wenigstens einer statischen Walze ausgebildet. Über einen erfindungsgemäß ausgerüsteten Walzenzug kann dann sehr einfach eine Bodenverdichtung bei gleichzeitiger Tragfähigkeitsuntersuchung und insbesondere der Detektion des Tragfähigkeitszustandes der obersten Schicht des Bodenschichtaufbaus vorgenommen werden.

[0032] Grundsätzlich ist es mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens also möglich, eine Tragfähigkeitsuntersuchung, insbesondere einer obersten Schicht eines Bodenschichtaufbaus, während eines Verdichtungsprozesses eines Bodenschichtaufbaus durchzuführen. Insofern ist also vorzugsweise eine Bodenverdichtungsmaschine, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist, mit den erfindungsgemäßen Detektionsvorrichtungen und weiteren

dazu nötigen Umwandlungs- und Regelungseinrichtungen ausgerüstet, um ein Verfahren ähnlich dem Verfahren der Tragfähigkeitsuntersuchung mit dem "Falling Weight Deflectometer" durchzuführen. Auch ist es in diesem Zusammenhang möglich, eine Vorrichtung anzubieten, die die nachträgliche Ausrüstung einer Bodenverdichtungsmaschine mit obigen Detektionsmitteln bzw. Mitteln zur Detektion eines Schicht-E-Moduls einer obersten Schicht eines Schichtaufbaus ermöglicht.

[0033] Weitere Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0034] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben, das durch die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert wird. Hierbei zeigen schematisch:

Fig. 1 eine Darstellung einer ersten Ausführungsform der Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus; und

Fig. 2 eine Darstellung der Detektionsmittelanordnung der Ausführungsform aus Fig. 1.

[0035] Im Folgenden werden Vergleiche und gleich wirkende Bauteile dieselben Bezugsziffern verwendet, wobei zur Unterscheidung bisweilen Hochindizes ihre Anwendung finden.

[0036] Fig. 1 zeigt eine Darstellung einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus. Die Vorrichtung 1 ist hier als eine selbstfahrende Straßenwalze und insbesondere als ein Walzenzug 30 ausgebildet. Sie umfasst ein als Vibrationswalze 6 ausgebildetes Vibrationsmittel, das über eine Lagereinrichtung 16 mit einem Hauptkörper 34 des Walzenzuges 30 verbunden ist. Über eine weitere Lagereinrichtung 26 ist eine statische Walze 24 zugeordnet, sodass der Walzenzug 30 über die beiden Walzen 6, 24 verfahrbar ist.

[0037] Im Gegensatz zur statischen Walze 24, bei der eine Verdichtung eines Bodenaufbaus 2 ausschließlich aufgrund ihres statischen Gewichts erfolgt, kann bei der Vibrationswalze 6 über angetriebene Schwungmassen der Bodenschichtaufbau 2 aktiv verdichtet werden.

[0038] Die Vibrationswalze 6 leitet dabei Lastimpulse P über einen Lasteinleitungsbereich 8, der im Wesentlichen der Kontaktfläche zwischen der vibrierenden Bandage 18 der Vibrationswalze 6 und der Oberfläche 33 der obersten Schicht 32 des Bodenschichtaufbaus 2 entspricht, in den Untergrund weiter. Diese durch die Lastimpulse P verursachten und Setzungen hervorrufenden Schwingungen sind in Fig. 1 durch die konzentrischen Kreise 15 dargestellt.

[0039] Verursacht durch die eingeleiteten Lastimpulse P und die resultierenden Schwingungen 15 kommt es ausgehend von einem Lastzentrum Z zu Setzungen im Bodenschichtaufbau 2, die hier durch die Einsenkungsmulde 14 schematisch dargestellt sind. Hierbei wird deutlich, dass die durch die Lastimpulse P verursachten Set-

zungen bzw. Verdichtungen mit zunehmendem Abstand A vom Lastzentrum Z bzw. einer vertikal zur Oberfläche 33 verlaufenden Lasteinleitungsachse A_P abnehmen.

[0040] Über die an der vibrierenden Bandage 18 bzw. Vibrationswalze 6 eingeleiteten Lastimpulse P, die als Verdichtungs- bzw. Verformungskraft im Bodenschichtaufbau 2 wirken, kann, wie aus dem Stand der Technik bekannt, ein Steifigkeitsmodul ermittelt werden. Dieser Steifigkeitsmodul entspricht dem Äquivalentmodul, also einem mittleren Steifigkeitswert über die gesamte Messtiefe des Bodenschichtaufbaus 2 hinweg. Einfluss auf diesen Äquivalentmodul haben hier also sowohl der Schicht-E-Modul der obersten Schicht 32 als auch der darunter liegenden Bettungsschichten 42.

[0041] Die Detektion des zur Ermittlung des Äquivalentmoduls nötigen ersten Wertes w_1 der Einsenkungsmulde 14 erfolgt über ein erstes Detektionsmittel 10, das bei dieser Ausführungsform an der Vibrationswalze 6 bzw. ihrer Lagereinrichtung 16 angeordnet und statisch gekoppelt ist.

[0042] An der statischen Walze 24 bzw. an deren statischer Bandage 28 bzw. deren Lagereinrichtung 26 ist ein zweites Detektionsmittel 12 angeordnet, über das ein zweiter Detektionswert E_2 der Einsenkungsmulde 14 ermittelt werden kann, und zwar außerhalb des Lasteinleitungsbereichs 8. Wie in Fig. 1 erkennbar ist dabei das zweite Detektionsmittel 12 derart vom ersten Detektionsmittel 10 und dem Lasteinleitungsbereich 8 beabstandet, dass eine Detektion eines E-Moduls der unterhalb der obersten Schicht 32 angeordneten Schichten und insbesondere der Bettungsschicht 42 möglich ist. Aufgrund des Abstandes A_D zwischen dem ersten Detektionsmittel 10 bzw. dem Lasteinleitungsbereich 8 und dem zweiten Detektionsmittel 12 sind die Verformungen an der Detektionsstelle des zweiten Wertes W_2 im Wesentlichen vom Untergrund bestimmt und nicht von der Asphalt-schicht selbst. Als vorteilhafter Abstandswert A_D hat sich hier ein Wert von 1 m bis 2,6 m, insbesondere 1,8 m herausgestellt.

[0043] Über die beiden ermittelten ersten und zweiten Werte w_1 und W_2 und die daraus gewonnenen Äquivalent- bzw. Bettungs-Module kann nach der aus dem Stand der Technik bekannten Theorie des Mehrschichtenmodells kann dann mit den Schichtdicken der einzelnen Bodenschichten der Schicht-E-Modul der zu messenden Asphalt-schicht 32 ermittelt werden, wobei das Ergebnis ein im Wesentlichen vom Untergrundeinfluss bereinigter Asphalt-Modul ist, der wesentlich genauer die Steifigkeit der Asphalt-schicht 32 darstellt als der den Gesamtbodenaufbau 2 berücksichtigenden Äquivalent-Modul.

[0044] In Abhängigkeit der verwendeten Bauteile, Detektionsmittel kann erfindungsgemäß eine Lasteinleitung P mit einer Frequenz von 30 bis 50 Lasteintragungen pro Sekunde erfolgen. Über entsprechende Steuermittel kann hier ein entsprechender Einfluss auf das Vibrationsmittel 4 bzw. die Vibrationswalze 6 genommen werden. Auch ist es möglich über ein entsprechendes Re-

gelungsmittel den Betrag der eingeleiteten Lastimpulse so zu regeln, dass er den geforderten Messbedingungen entspricht. So kann über das Regelungsmittel beispielsweise der Lastimpuls P auf einen Wert von 50 kN geregelt werden, was der Radlast eines Lkw im Wesentlichen entspricht und somit eine aussagekräftige Analyse der Tragfähigkeit des Bodenschichtaufbaus 2 und insbesondere der oberen Schicht 32 erlaubt. Insofern ist es also möglich, die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 bzw. den Walzenzug 30 so anzusteuern, dass er eine zuverlässige und reproduzierbare Untersuchung des Bodenschichtaufbaus 2 und insbesondere der obersten Bodenschicht 32 erlaubt.

[0045] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung 1 gemäß Fig. 1, wobei ein besonderes Augenmerk auf die ersten und zweiten Detektionsvorrichtungen 10 und 12 gelegt wird.

[0046] Erkennbar ist, dass an der Vibrationswalze 6 der Vorrichtung 1 ein Geophon 11 des erstens Detektionsmittels 10 so angeordnet ist, dass es eine Detektion der Reflexionswellen erlaubt, die durch die Lastimpulse P verursacht werden. Über das Geophon 11 bzw. das erste Detektionsmittel 10 ist insofern also, wie aus dem Stand der Technik bekannt, die dynamische Bodensteifigkeit des im Lasteinleitungsbereich 8 liegenden Bodenschichtaufbaus 2 detektierbar. Über diese dynamische Bodensteifigkeit lassen sich dann in bekannter Weise Rückschlüsse auf den Verdichtungsgrad des Bodenschichtaufbaus 2 schließen.

[0047] An der statischen Walze 24 der Vorrichtung 1 ist ebenfalls ein Geophon 13, diesmal ein Geophon 13 des zweiten Detektionsmittels 12 angeordnet. Da die statische Walze 24 keine eigenen Lastimpulse in den Bodenschichtaufbau 2 einleitet, erlaubt dieses Geophon eine Detektion eines von der Lasteinleitung im Lasteinleitungsbereich 8 abhängigen Steifigkeitswertes, der aufgrund des Abstandes A_D zwischen den beiden Detektionsmitteln 10 und 12 bzw. Geophonen 11 und 13 im Wesentlichen nur von der Bettungsschicht 42 und nicht der oberen Schicht 32 abhängt. Über den durch das Geophon 13 bzw. das zweite Detektionsmittel 12 detektierten Wert W_2 der Einsenkungskurve 14 lassen sich folglich die Bodensteifigkeit und insbesondere ein Bettungs-Modul ohne Einfluss der oberen Schicht 32 bestimmen.

[0048] Die von den beiden Geophonen 11, 13 ermittelten ersten und zweiten Werte W_1, W_2 werden als Messergebnisse an eine Auswerteeinheit 36 übermittelt, die die beiden detektierten ersten und zweiten Werte W_1 und W_2 gegenüberstellt bzw. aus den daraus ermittelbaren Äquivalent- und Bettungs-Modulen einen Schicht-E-Modul der obersten Schicht 32 ermittelt. Die so erhaltenen Werte können dann entweder über eine Anzeigeeinheit 38 an das Bedienpersonal ausgegeben werden oder direkt auf die Maschinensteuerung der Vorrichtung 1 Einfluss nehmen.

[0049] Darüber hinaus ist in Fig. 2 ein Kalibrierelement 40 vorgesehen, über das beispielsweise die in den Bodenschichtaufbau 2 eingeleiteten Lastimpulse P auf ei-

nen festgelegten Wert und insbesondere beispielsweise auf einen Wert von 50 kN festlegbar sind. Auch ist über ein solches Kalibrierelement 40 die Vibrationsgeschwindigkeit und somit die Anzahl der Lastimpulse pro Sekunde vorzugsweise auf einen Wert zwischen 20 und 50 mal pro Sekunde einstellbar.

[0050] Ebenfalls dargestellt ist in Fig. 2 ein Tragrahmen 27, über den das zweite Detektionsmittel 12 in seiner Position relativ zum Lasteinleitungsbereich 8 des Vibrationsmittels 4 bzw. der Vibrationswalze 6 (vorzugsweise im Wesentlichen parallel zur Bodenoberfläche 32) verlagert angeordnet ist. Über den Tragrahmen 27 ist folglich der Abstand A_D zwischen den beiden Messpunkten der Werte W_1 und W_2 veränderbar.

Patentansprüche

1. Verfahrensbare Vorrichtung zur Verdichtung eines Bodenschichtaufbaus (2), mit wenigstens einem Vibrationsmittel (4), wie einer Vibrationswalze (6) oder einer Vibrationsplatte, über das in wenigstens einem Lasteinleitungsbereich (8) den Bodenschichtaufbau (2) verdichtende Lastimpulse (P) einleitbar sind,
gekennzeichnet durch
wenigstens ein erstes und ein zweites Detektionsmittel (10, 12) zur Detektion des E-Moduls des Bodenschichtaufbaus (2), die derart von einander beabstandet an der Vorrichtung (1) angeordnet sind, dass das erste Detektionsmittel (10) eine Detektion im Lasteinleitungsbereich (8) und wenigstens das zweite Detektionsmittel (12) eine Detektion außerhalb des Lasteinleitungsbereichs erlaubt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
das erste Detektionsmittel (10) derart ausgebildet ist, dass es eine Detektion eines ersten Wertes W_1 einer Einsenkungsmulde (14) des Bodenschichtaufbaus (2) im Lasteinleitungsbereich (8) erlaubt, und das zweite Detektionsmittel (12) derart ausgebildet ist, dass es eine Detektion eines zweiten Wertes W_2 der Einsenkungsmulde (14) außerhalb des Lasteinleitungsbereichs (8) erlaubt.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das erste und/oder das zweite Detektionsmittel (10, 12) wenigstens je ein Geophon (11, 13) aufweisen, über das im Bodenschichtaufbau (2) insbesondere Reflexionswellen aufgrund der Lastimpulse (P) detektierbar sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das erste Detektionsmittel (10) derart an der Vorrich-

tung (1) angeordnet ist, dass es eine Detektion im Lastzentrum (Z) des Lasteinleitungsbereiches (8) erlaubt.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 5
dadurch gekennzeichnet, dass
das erste Detektionsmittel (10) an der Vibrationswalze (6) oder deren Lagereinrichtung (16), insbesondere an einer vibrierenden Bandage (18) angeordnet ist. 10

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 15
dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens das zweite Detektionsmittel (12) an einer statischen Walze (24) oder deren Lagereinrichtung (26), insbesondere an deren statischer Bandage (28) angeordnet ist. 20

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 25
dadurch gekennzeichnet, dass
wenigstens das zweite Detektionsmittel (12) insbesondere über einen Tragrahmen (27) in seiner Position relativ zum Lasteinleitungsbereich (8) des Vibrationsmittels (4) verlagerbar angeordnet ist. 30

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 35
dadurch gekennzeichnet, dass
die Vorrichtung als ein Walzenzug (30) mit einer Vibrationswalze (6) und wenigstens einer statischen Walze (24) ausgebildet ist. 40

9. Verfahren zur Ermittlung eines Schicht-E-Moduls einer Schicht (32) eines Bodenschichtaufbaus (2), insbesondere einer Fahrbahn-Asphaltschicht während eines Bodenverdichtungsvorgangs, mit folgenden Schritten: 45
 - Einbringen wenigstens eines Lastimpulses (P) über die Oberfläche (33) der obersten Schicht (32) des Bodenschichtaufbaus (2) in einem Lasteinleitungsbereich (8); 50
 - Detektion eines ersten Wertes (W_1) einer Einsenkungsmulde (14) des Bodenschichtaufbaus (2) im Lasteinleitungsbereich (8) mittels eines ersten Detektionsmittels (10), 55
 - Ermittlung des Äquivalent-Moduls des Bodenschichtaufbaus (2) aus dem detektierten ersten Wert (W_1) der Einsenkungsmulde (14);
 - Detektion eines zweiten Wertes (W_2) der Einsenkungsmulde (14) außerhalb des Lasteinleitungsbereiches (8) mittels eines zweiten Detektionsmittels (12),
 - Ermittlung des Bettungs-Moduls des Bodenschichtaufbaus (2) aus dem detektierten zwei-

ten Wert (W_2) der Einsenkungsmulde (14);

- Ermittlung des Schicht-E-Moduls der obersten Schicht (32) des Bodenschichtaufbaus (2) aus den beiden detektierten Werten (W_1 , W_2) der Einsenkungsmulde (14) und der ermittelten Äquivalent- bzw. Bettungs-Module,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Lastimpuls (P) über ein Vibrationsmittel (4), wie eine Vibrationswalze (6) oder Vibrationsplatte, einer Bodenverdichtungsmaschine in den Bodenschichtaufbau (2) eingeleitet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Detektion der ersten und zweiten Werte (W_1 , W_2) während eines Bodenverdichtungsvorganges des Bodenschichtaufbaus (2), insbesondere einer Planierung der obersten Schicht (32) durchgeführt wird.

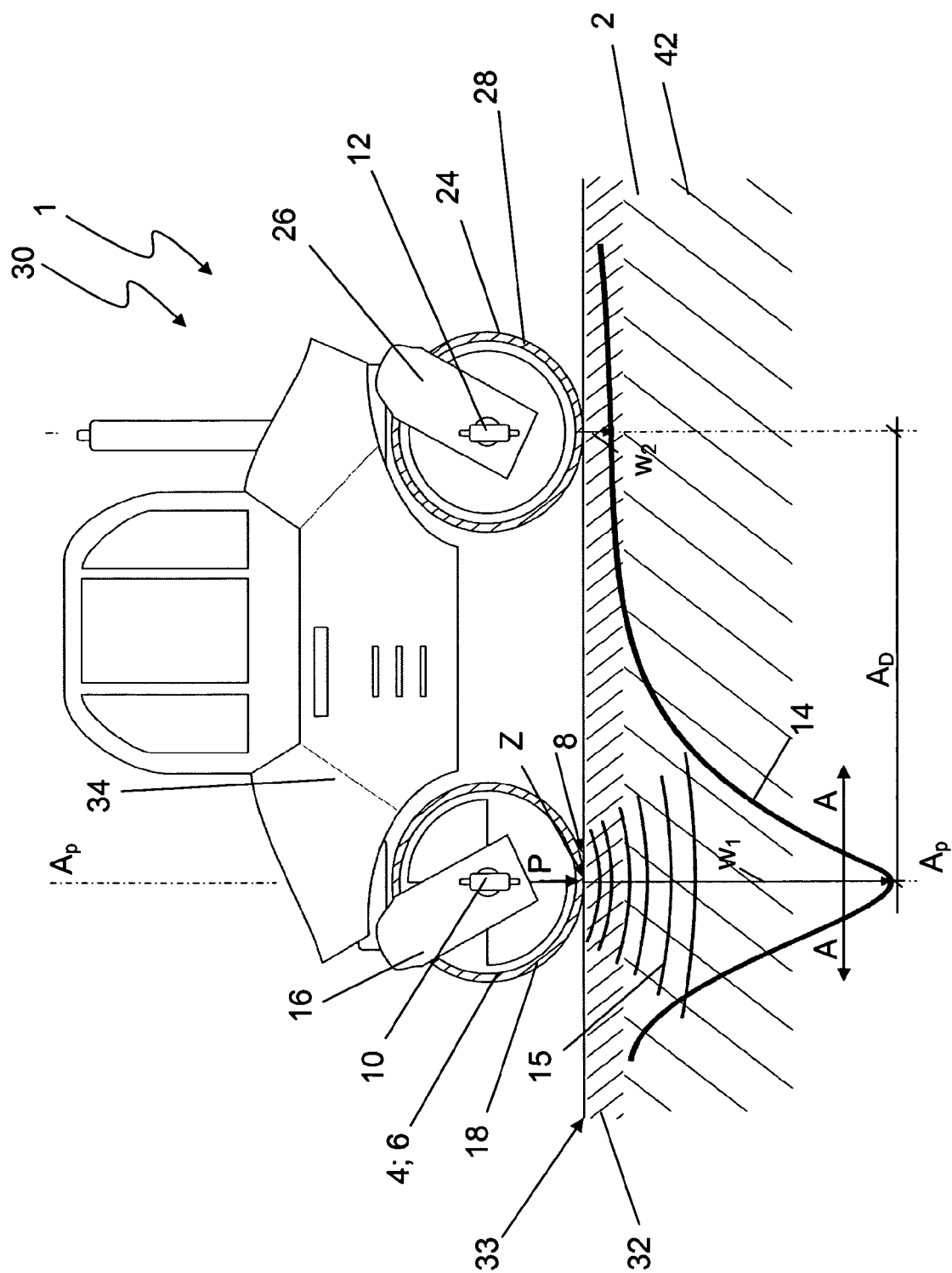


Fig.1

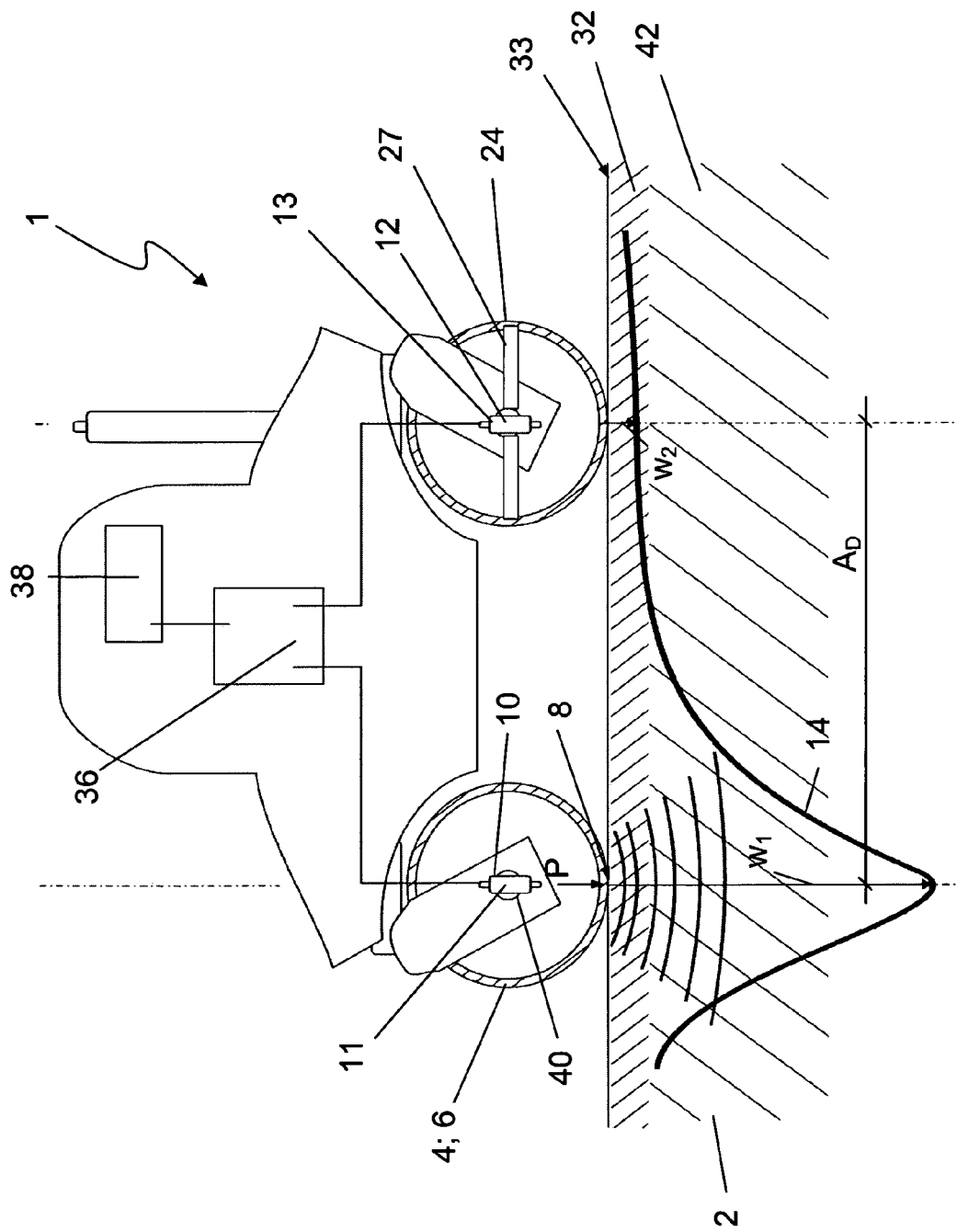


Fig. 2