

(19)



(11)

EP 4 502 276 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
05.02.2025 Patentblatt 2025/06

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
E02D 3/046^(2006.01) E02D 3/074^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23020360.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
E02D 3/046; E02D 3/074

(22) Anmeldetag: **01.08.2023**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Rematter AG**
6302 Zug (CH)

(72) Erfinder: **BONWETSCH, Tobias**
8045 Zürich (CH)

(74) Vertreter: **SONN Patentanwälte GmbH & Co KG**
Riemergasse 14
1010 Wien (AT)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM MECHANISCHEN VERDICHTEN VON
LEHMHALTIGEM ERDMATERIAL**

(57) Bei einem Verfahren zum mechanischen Verdichten von lehmhaltigem Erdmaterial mittels einer Rüttelplatte, bei dem die Rüttelplatte als Endeffektor an einem dreiachsigen Positionierungssystem (9,10) über das zu verdichtende Erdmaterial geführt und die auf das Erdmaterial aufbrachte Druckkraft durch Ansteuerung des Positionierungssystems (9,10) zum Verlagern senk-

recht zur Plattenebene der Rüttelplatte eingestellt wird, wird der Verdichtungsgrad des Erdmaterials während des Verdichtens gemessen und die Druckkraft, die Dauer des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle, die Frequenz der Rüttelbewegung und/oder die Amplitude der Rüttelbewegung wird in Abhängigkeit vom gemessenen Verdichtungsgrad gesteuert.

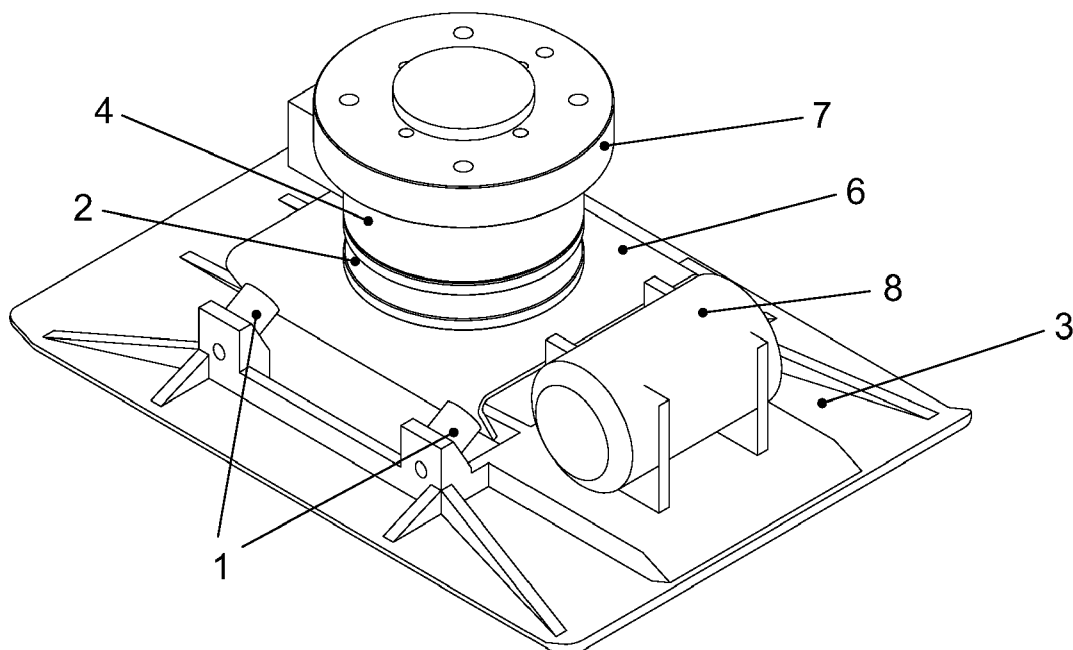


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum mechanischen Verdichten von lehmhaltigem Erdmaterial mittels einer Rüttelplatte, insbesondere zur Erzeugung von Stampflehm.

[0002] Das Verdichten von Stampflehm erfolgt typischerweise manuell mit handgeführten pneumatischen Stampfern oder motorbetriebenen Baumaschinen wie Rüttelplatten, die auch als Vibrationsplatten oder Flächenrüttler bezeichnet werden.

[0003] Stampflehm ist ein Baumaterial mit jahrhundertalter Tradition und hat in den letzten Jahrzehnten aufgrund seiner Nachhaltigkeit und Langlebigkeit eine Renaissance erlebt. Stampflehm findet in einer Vielzahl von Bauanwendungen Verwendung, insbesondere im Hausbau. Seine natürlichen thermischen Eigenschaften können für die Herstellung von Wänden und Böden in Gebäuden nutzbar gemacht werden, da es zur Temperaturregulierung beiträgt und damit sowohl den Komfort verbessert als auch den Energieverbrauch senkt. Insbesondere wurde auch bereits vorgeschlagen, Stampflehm bei der Herstellung von vorgefertigten Deckenelementen zu verwenden. Ein entsprechendes Lehm-Holz-Verbundelement ist beispielsweise in der EP 4015730 A1 beschrieben.

[0004] Herkömmliche Rüttelplatten sind zwar für das Herstellen von Stampflehm geeignet, sind aber mehr für die Bodenverdichtung ausgelegt. Derartige Rüttelplatten funktionieren über mindestens eine mit Unwucht ausgestattete Welle, welche durch einen Motor angetrieben wird. Über die an eine Grundplatte übergebene Vibration entstehen Zentrifugalkräfte, die die Verdichtungswirkung und häufig die Fortbewegung der Vibrationsplatte bewirken.

[0005] Über die Vibration werden die Erd-/Bodenpartikel in Bewegung gesetzt und gleichzeitig über Druck fester zusammengedrückt. Der maximal erreichbare Verdichtungsdruck sowie die Verdichtungstiefe sind dabei zu einem Großteil von dem Eigengewicht der Rüttelplatten abhängig, d.h. vom Gewicht der Grundplatte plus dem Gewicht der Ober-/Aufbaumasse. Hohe Verdichtungsleistung kann also nur mit sehr schweren Maschinen erreicht werden, die entsprechend schwer zu handhaben sind.

[0006] Der Grad der erzielten Verdichtung beruht auf Erfahrungswerten des Bedieners und kann nicht unmittelbar ermittelt werden. Neuere Geräte sind teilweise mit Schwingungssensoren an der Grundplatte ausgerüstet, die mittels Frequenzbandanalyse einen Bezug zur Bodensteifigkeit herstellen und dem Bediener über visuelle Signale Unterschiede im Verdichtungsgrad anzeigen können.

[0007] Leichte Rüttelplatten erzeugen eine Zentrifugalkraft von 10 kN bei einem Gewicht von 40kg. Schwere Maschinen erreichen bis zu 130 kN bei einem Gewicht von 1.200kg.

[0008] Für die Herstellung von Stampflehm, in dem im

Vergleich zur Bodenverdichtung relativ kleine Flächen, z.B. in einem von einer Schalung oder Form begrenzten Bereich, bearbeitet werden, kommen auf Grund der Zugänglichkeit primär pneumatische Stampfer oder leichte Rüttelplatten zum Einsatz. Dies hat zur Folge, dass eine Verdichtungstiefe von nur ca. 8cm erreicht werden kann. Höhere Aufbauten müssen demnach in mehreren einzeln verdichteten Schichten aufgebaut werden.

[0009] Ob eine ausreichende Druckfestigkeit des Stampflehms erreicht wurde, kann nur über Umwege und nicht am eigentlichen Bauteil bestimmt werden. Hierzu werden Probewürfel mit 20cm Kantenlänge erstellt und getestet. Die Herstellung der Probewürfel ist dabei selten identisch mit dem Herstellungsprozess des eigentlichen Stampflehmbauteils und somit nur bedingt aussagekräftig. Der Grund liegt darin, dass der Verdichtungsgrad sehr stark von der Beschaffenheit der jeweils verwendeten Materialmischung abhängt, sodass mit einem solchen Probewürfel eher die Materialmischung als der Verdichtungsprozess getestet werden können.

[0010] Die vorliegende Erfindung zielt daher darauf ab, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum automatisierten Verdichten von Stampflehm bereitzustellen, mit dem bzw. der ein sehr hoher Verdichtungsdruck ($> 30\text{kN}$) erreicht und das Erreichen eines vorgegebenen Verdichtungsdrucks angezeigt werden kann. Gleichzeitig sollen Stampflehmteile auch mit hoher Schichttiefe effizient verdichtet werden können. Außerdem soll eine kontrollierte, messbare und wiederholbare Verdichtungsleistung über unterschiedliche Materialzusammensetzungen sichergestellt werden.

[0011] Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung gemäß einem ersten Aspekt ein Verfahren zum mechanischen Verdichten von lehmhaltigem Erdmaterial mittels einer Rüttelplatte vor, bei dem die Rüttelplatte als Endeffektor an einem dreiachsigen Positionierungssystem über das zu verdichtende Erdmaterial geführt und die auf das Erdmaterial aufgebrachte Druckkraft durch Ansteuerung des Positionierungssystems zum Verlagern senkrecht zur Plattenebene der Rüttelplatte eingestellt wird, wobei der Verdichtungsgrad des Erdmaterials während des Verdichtens gemessen wird und die Druckkraft, die Dauer des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle, die Frequenz der Rüttelbewegung und/oder die Amplitude der Rüttelbewegung in Abhängigkeit vom gemessenen Verdichtungsgrad gesteuert wird.

[0012] Durch die Verbindung von Rüttelplatte und dreiachsigem Positionierungssystem ermöglicht die Erfindung eine genaue Kontrolle der auf das Erdmaterial ausgeübten Druckkraft. Dies erlaubt die Einstellung und Anpassung des Verdichtungsgrades unabhängig vom Gewicht der Rüttelplatte. Bei herkömmlichen Methoden war der Verdichtungsgrad oft durch das Gewicht der Rüttelplatte oder des pneumatischen Stampfers bestimmt oder begrenzt, was eine weniger präzise Kontrolle über den Verdichtungsprozess zuließ.

[0013] Das dreiachsige Positionierungssystem dient einerseits dazu, die daran angebrachte Rüttelplatte in zwei

Raumdimensionen über das zu verdichtende Material zu führen. Andererseits gelingt über die Ansteuerung der Bewegung in der dritten Raumdimension eine Einstellung der von der Rüttelplatte auf das Material wirkenden Druckkraft. Hierfür geeignete Positionierungssysteme können mit Sensoren und Steuerungssystemen kombiniert werden, um die Position und Bewegung der Rüttelplatte mit hoher Präzision zu steuern.

[0014] Als Positionierungssystem ist jegliche Vorrichtung geeignet, mit welcher die Rüttelplatte als Endeffektor in drei Raumrichtungen verlagert werden kann und mit der über die Rüttelplatte eine Druck quer zur Materialoberfläche aufbringbar ist. Beispielsweise umfasst das Positionierungssystem einen Roboterarm, der die Rüttelplatte mit hoher Präzision und Kontrolle dreiaxsig bewegen kann. Alternativ können Linearführungssysteme, wie z.B. Linearroboter oder Portalroboter, mit dreiachsiger Verstellmöglichkeit eingesetzt werden.

[0015] Dadurch, dass der Verdichtungsgrad des Erdmaterials erfindungsgemäß während des Verdichtens gemessen wird, kann das System ein Feedback liefern, das zur sofortigen Anpassung von Parametern wie Druckkraft, Verweildauer, Frequenz und/oder Amplitude der Rüttelbewegung genutzt werden kann. Die Messung des Verdichtungsgrades kann kontinuierlich oder in bestimmten Zeitabständen erfolgen. Im Falle einer kontinuierlichen Messung kann ein Echtzeit-Monitoring und eine entsprechende Echtzeit-Anpassung der Verdichtungsparameter erreicht werden.

[0016] In Abhängigkeit von den Messwerten der Verdichtungsgradmessung können einer oder mehrere der folgenden Verdichtungsparameter eingestellt werden. Die Druckkraft, die von der Rüttelplatte auf das Erdmaterial ausgeübt wird, ist einer der Hauptfaktoren, der den Verdichtungsgrad beeinflusst. Ein höherer Druck führt in der Regel zu einem höheren Verdichtungsgrad, da das Erdmaterial stärker komprimiert wird. Durch die Verwendung des dreiachsigen Positionierungssystems in dieser Erfindung kann die Druckkraft unabhängig vom Gewicht der Rüttelplatte präzise gesteuert werden, wodurch eine genauere Kontrolle des Verdichtungsgrades möglich wird.

[0017] Die Länge der Zeit, während der die Rüttelplatte an einer bestimmten Stelle bleibt, beeinflusst ebenfalls den Verdichtungsgrad. Ein längerer Verweilzeitraum führt in der Regel zu einem höheren Verdichtungsgrad, da das Erdmaterial länger komprimiert wird. Je geringer der Vorschub der Rüttelplatte bei identischer Amplitude ist, desto größer ist der in den Verdichtungsprozess eingebrachte Energiebetrag.

[0018] Die Frequenz, mit der die Rüttelplatte vibriert, ist ein weiterer Faktor für den Verdichtungsgrad. Eine niedrigere Frequenz kann dazu führen, dass das Erdmaterial mit einer größeren Tiefenwirkung verdichtet wird. Eine hohe Frequenz (z.B. über 50 Hz) in Verbindung mit einer kleinen Amplitude der Rüttelbewegung hat meist nur geringe Tiefenwirkung.

[0019] Die Amplitude der Rüttelbewegung, d.h. die

maximale vertikale Auslenkung der Vibrationsplatte, beeinflusst ebenfalls den Verdichtungsgrad. Größere Amplituden können eine intensivere Verdichtung des Erdmaterials bewirken, wobei die Verdichtung insbesondere im Falle der Kombination einer größeren Amplitude mit einer niedrigen Frequenz eine große Verdichtungstiefe aufweist.

[0020] Da die Erfindung die erforderliche Druckkraft auf Grund der Wirkung des Positionierungssystems unabhängig vom Gewicht der Rüttelplatte bereitstellen kann, kann mit Rüttelplatten unterschiedlichen Gewichts gearbeitet werden. Gemäß einer ersten Variante der Erfindung kann eine relativ leichte (< 100 kg) Rüttelplatte verwendet und trotzdem eine hohe Druckkraft erreicht werden, indem über das Positionierungssystem eine zusätzliche Anpresskraft erzeugt wird. Mit anderen Worten kann die Druckkraft durch Aufbringen einer zusätzlich zur Schwerkraft der Rüttelplatte in gleicher Richtung wirkenden Anpresskraft des Positionierungssystems erzeugt werden. Der Vorteil dieser Variante liegt in der einfacheren Handhabung. Leichtere Rüttelplatten sind im Allgemeinen einfacher zu handhaben und zu bewegen, was die Effizienz der Arbeit verbessern kann. Sie erfordern auch weniger Energie, um in Position gebracht und bewegt zu werden, was die Gesamtenergieeffizienz des Systems verbessern kann. Wenn das Positionierungssystem einen Großteil der Druckkraft bereitstellt, kann die tatsächliche Druckkraft leicht variiert werden, indem die Kraft, die das Positionierungssystem ausübt, angepasst wird. Dies bietet eine größere Flexibilität bei der Anpassung der Druckkraft an die spezifischen Anforderungen des zu verdichtenden Erdmaterials.

[0021] Gemäß einer zweiten Variante der Erfindung kann eine relativ schwere (> 1.000 kg) Rüttelplatte verwendet und die Einstellung der Druckkraft erreicht werden, indem über das Positionierungssystem eine Hebekraft ausgeübt wird. Mit anderen Worten kann die Druckkraft durch Verstellung einer entgegen der Schwerkraft der Rüttelplatte wirkenden Hebekraft des Positionierungssystems eingestellt werden. Der Vorteil dieser Variante liegt in der Möglichkeit schwere Rüttelplatten mit kleiner Grundfläche einzusetzen, mit denen ein höherer Druck auf das Erdmaterial ausgeübt werden kann, was zu einer effektiveren Verdichtung führt. Schwere Rüttelplatten können manuell schwierig zu handhaben sein, insbesondere wenn sie in spezifische Bereiche, wie z.B. Schalungen, gehoben werden müssen. Durch die Verwendung eines Positionierungssystems kann das Werkzeug präzise platziert und geführt werden, was die Handhabung erleichtert und die Sicherheit verbessert. Durch das Anheben des Werkzeugs kann das auf die Fläche wirkende Gewicht kontrolliert reduziert werden. Dies bietet eine zusätzliche Flexibilität bei der Anpassung der Druckkraft an die spezifischen Anforderungen des zu verdichtenden Erdmaterials und ermöglicht eine feinere Steuerung des Verdichtungsprozesses.

[0022] Der Verdichtungsgrad des Erdmaterials kann in bevorzugter Weise durch Auswerten von Schwingungs-

messdaten der Rüttelplatte ermittelt werden. Ein Verfahren zur Ermittlung von Bodensteifigkeitswerten ist beispielsweise in der WO 2005/028755 A1 offenbart. Insbesondere kann wenigstens ein Schwingungssensor das Schwingungsverhalten der Grundplatte messen, wobei diese Daten auf einer separaten Recheneinheit oder direkt in der Steuerung des Positionierungssystems verarbeitet werden. Dies erlaubt eine Echtzeitregelung des Verdichtungsprozesses, in dem die Fahrgeschwindigkeit und/oder der Anpressdruck des Positionierungssystems angepasst wird. Die Regelung läuft vorzugsweise in einer Feedbackschleife, bis der gewünschte Verdichtungsgrad erreicht ist. Zusätzlich kann optional die Leistung des Vibrationsmotors ebenfalls über den Regelalgorithmus angepasst werden.

[0023] In die Steuerung des Verdichtungsprozesses kann auch der Istwert der vom Positionierungssystem auf die Rüttelplatte ausgeübten Druckkraft einfließen. Eine bevorzugte Ausführung der Erfindung sieht in diesem Zusammenhang vor, dass die Druckkraft mit einer Kraftmessdose gemessen wird, welche die von der Rüttelplatte auf das Positionierungssystem wirkende Kraft misst.

[0024] Hinsichtlich der Steuerung der Verdichtungsparameter in Abhängigkeit vom ermittelten Verdichtungsgrad sieht eine bevorzugte Ausbildung der Erfindung vor, dass die Druckkraft während des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle stufenweise erhöht wird, solange ein Zielwert des Verdichtungsgrads nicht erreicht ist. Die primäre Stellgröße der Regelung stellt hierbei somit die Druckkraft dar, wobei die übrigen Parameter des Verdichtungsprozesses unverändert gelassen werden. Dies bedeutet, dass die Druckkraft erhöht wird, während die Rüttelplatte an derselben Stelle verweilt und die Frequenz und Amplitude der Rüttelbewegung gleich bleiben. Bevorzugt erfolgt die Nachregelung der Druckkraft hierbei nicht kontinuierlich, sondern in vorgegebenen Zeitabständen.

[0025] Als sekundäre Stellgröße kann die Frequenz und/oder die Amplitude der Rüttelbewegung herangezogen werden. Dies ist vorzugsweise dann der Fall, wenn die Erhöhung der Druckkraft nicht ausreicht, um den vorgegebenen Verdichtungsgrad zu erreichen. Hierzu wird bevorzugt so vorgegangen, dass ein Maximalwert der Druckkraft vorgegeben wird und die Druckkraft stufenweise erhöht wird, bis der vorgegebene Maximalwert erreicht wird, und der Verdichtungsgrad danach durch Änderung der Frequenz und/oder Amplitude der Rüttelbewegung erhöht wird. Bevorzugt wird die Rüttelplatte auch während dieses sekundären Regelprozesses an derselben Stelle gelassen.

[0026] Eine Verlagerung der Rüttelplatte erfolgt erst dann, wenn der gewünschte Verdichtungsgrad erreicht worden ist.

[0027] Bevorzugt verhindert eine Entkopplung der Rüttelplatte vom Positionierungssystem die Übertragung der Vibrationen auf das Positionierungssystem, wie z.B. den Roboterarm. Als Dämpfelemente kommen bevor-

zugt Gummi-Metall-Puffer in Frage, die in ihrem Wirkungsbereich auf das Frequenzband der auftretenden Schwingungen abgestimmt sind.

[0028] Zusammenfassend erlaubt es die Erfindung, Stampflehmelemente kostengünstig herzustellen, da große Aufbauhöhen (>8cm) die üblicherweise in mehreren Schichten und Arbeitsschritten verdichtet werden müssen, in nur einem einzigen Arbeitsschritt bearbeitet werden können. Zudem wird über die Kontrolle der Verdichtungsqualität nur soviel Prozesszeit verwendet wie notwendig.

[0029] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird das erfindungsgemäße Verdichtungsverfahren zur Herstellung eines Lehm-Holz-Verbundelements verwendet. Das Lehm-Holz-Verbundelement ist ein Wand- oder Deckenelement eines Gebäudes, wobei das Verbundelement eine Mehrzahl von länglichen Holzträgern aufweist, zwischen denen jeweils ein Zwischenraum ausgebildet wird, wobei Lehm in die Zwischenräume eingebracht und der Lehm in den Zwischenräumen jeweils mittels des Verdichtungsverfahrens gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung verdichtet wird. Bei dem Lehm-Holz-Verbundelement handelt es sich beispielsweise um ein Verbundelement gemäß der EP 4015730 A1.

[0030] Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung wird eine Vorrichtung zum mechanischen Verdichten von lehmhaltigem Erdmaterial bereitgestellt, die insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach dem ersten Aspekt der Erfindung geeignet ist, umfassend eine Rüttelplatte, ein dreiachsiges Positionierungssystem, an dem die Rüttelplatte angeordnet ist, sodass die Rüttelplatte als Endeffektor über das zu verdichtende Erdmaterial führbar ist und die auf das Erdmaterial aufgebrachte Druckkraft durch Verlagern des Positionierungssystems senkrecht zur Plattenebene der Rüttelplatte einstellbar ist, wobei wenigstens ein Sensor zur Ermittlung des Verdichtungsgrads des Erdmaterials während des Verdichtens vorgesehen ist, deren Messwerte einer Steuereinheit zugeführt sind, die ausgebildet ist, die Druckkraft, die Dauer des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle, die Frequenz der Rüttelbewegung und/oder die Amplitude der Rüttelbewegung in Abhängigkeit vom gemessenen Verdichtungsgrad zu steuern.

[0031] Bevorzugte Ausführungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung betreffen konstruktive und steuerungstechnische Aspekte, deren technischen Effekte und Vorteile bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren oben erläutert wurden.

[0032] Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, um die Druckkraft während des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle stufenweise zu erhöhen, solange ein Zielwert des Verdichtungsgrads nicht erreicht ist.

[0033] Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, um die stufenweise Erhöhung der Druckkraft in vorgegebenen, gleichen Zeitabständen vorzunehmen.

[0034] Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, um die Druckkraft bei gleichbleibender Frequenz und Amplitude der Rüttelbewegung stufenweise zu erhöhen, so-

lange ein Zielwert des Verdichtungsgrads nicht erreicht ist.

[0035] Bevorzugt ist die Steuereinheit ausgebildet, um die Druckkraft stufenweise zu erhöhen, bis ein vorgegebener Maximalwert der Druckkraft erreicht wird, und der Verdichtungsgrad wird danach durch Änderung der Frequenz und/oder Amplitude der Rüttelbewegung erhöht.

[0036] Bevorzugt ist eine Kraftmessdose vorgesehen, welche die von der Rüttelplatte auf das Positionierungssystem wirkende Kraft misst.

[0037] Bevorzugt wird die Druckkraft durch Erhöhung einer zusätzlich zur Schwerkraft der Rüttelplatte in gleicher Richtung wirkenden Anpresskraft des Positionierungssystems erhöht. Alternativ wird die Druckkraft durch Verringerung einer entgegen der Schwerkraft der Rüttelplatte wirkenden Hebekraft des Positionierungssystems erhöht.

[0038] Bevorzugt ist der Sensor zur Ermittlung von Schwingungsmessdaten der Rüttelplatte ausgebildet.

[0039] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. In dieser zeigen Fig. 1 eine Isometrie des Verdichtungswerkzeugs, Fig. 2 eine Explosionsisometrie des Verdichtungswerkzeugs, Fig. 3 eine Seitenansicht eines Verdichtungswerkzeugs an einem Roboterarm, Fig. 4 eine Seitenansicht eines Verdichtungswerkzeugs an einer Portalachse und Fig. 5 ein Flussbild einer Steuerung des Verdichtungsprozesses.

[0040] Die erfindungsgemäße Verdichtungsvorrichtung umfasst gemäß Fig. 1 und 2 eine Rüttelplatte mit einer steifen Grundplatte 3 aus Stahl, die wahlweise als Gusselement oder als Schweißkonstruktion ausgebildet ist. Ein Vibrationsmotor 8 ist so auf der Grundplatte 3 angebracht, um diese direkt in Schwingungen versetzen zu können. Optional erlaubt ein an den Vibrationsmotor 8 angeschlossener Frequenzumrichter die Vibrationsfrequenz und -kraft zu steuern. Eine Metallplatte 6 ist über Gummi-Metall-Puffer 1 mit der Grundplatte 8 verbunden. Ein weiterer Gummi-Metall-Puffer 2 sitzt auf der Metallplatte 6 und ist mit einer Kraftmessdose 4 verbunden. Auf dieser sitzt schließlich eine Adapterplatte 7, welche eine kraftschlüssige Verbindung mit einem Roboterarm 9 (Fig. 3) oder einer mechanisch geführten Portalachse 10 (Fig. 4) erlaubt. Zusätzlich kann auf der Grundplatte 3 ein Schwingungssensor 5 angebracht werden.

[0041] Der Schwingungssensor 5, die Kraftmessdose 4, der Vibrationsmotor 8 und ein Frequenzumrichter sind mit einer Robotersteuerung verbunden. Ein Kontrollsystem auf der Robotersteuerung wertet die Daten der Kraftmessdose 4 und des Schwingungssensors 5 aus und passt entsprechend die Bewegungen des Roboterarms 9 an, bzw. regelt Frequenzumrichter und Vibrationsmotor 8.

[0042] Der Regelungsprozess in ist Fig. 5 dargestellt. Am Anfang des Verdichtungsvorgangs wird die Rüttelplatte senkrecht zur Plattenebene in das zu verdichtende Material eingeführt, um dadurch eine Druckkraft auf das Material auszuüben. Mittels der Kraftmessdose 4 wird

geprüft, ob eine vorgegebene Ziel-Druckkraft erreicht ist. Wenn dies nicht der Fall ist, kehrt die Steuerung zum vorangehenden Schritt zurück und bewirkt ein weiteres Einführen der Rüttelplatte. Diese Schleife wird solange wiederholt, bis die vorgegebene Ziel-Druckkraft erreicht ist. Nun wird der Verdichtungsgrad gemessen und überprüft, ob der Ziel-Verdichtungsgrad erreicht worden ist. Wenn dies nicht der Fall ist, bleibt die Rüttelplatte an derselben Stelle und die Überprüfung der Erreichung des Ziel-Verdichtungsgrads wird wiederholt. Wenn nach Ablauf einer vorgegebenen Zeitgrenze der Ziel-Verdichtungsgrad noch immer nicht erreicht wurde, wird überprüft, ob eine vorgegebene maximale Druckkraft angewendet wurde. Wenn dies nicht der Fall ist, wird die Ziel-Druckkraft angepasst und der Regelprozess kehrt wieder zum ersten Schritt zurück. Wenn hingegen die vorgegebene maximale Druckkraft bereits gegeben war, erfolgt statt einer Erhöhung der Druckkraft eine Anpassung der Amplitude und/oder Frequenz der Rüttelbewegung. Die Überprüfung des Erreichens des Ziel-Verdichtungsgrads wird nun mit der neuen Einstellung der Amplitude und/oder Frequenz der Rüttelbewegung vorgenommen und der Verdichtungsvorgang auf die oben beschriebene Weise solange durchgeführt bis der Ziel-Verdichtungsgrad erreicht ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum mechanischen Verdichten von lehmhaltigem Erdmaterial mittels einer Rüttelplatte, bei dem die Rüttelplatte als Endeffektor an einem dreiachsigen Positionierungssystem (9,10) über das zu verdichtende Erdmaterial geführt und die auf das Erdmaterial aufgebrachte Druckkraft durch Ansteuerung des Positionierungssystems (9,10) zum Verlagern senkrecht zur Plattenebene der Rüttelplatte eingestellt wird, wobei der Verdichtungsgrad des Erdmaterials während des Verdichtens gemessen wird und die Druckkraft, die Dauer des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle, die Frequenz der Rüttelbewegung und/oder die Amplitude der Rüttelbewegung in Abhängigkeit vom gemessenen Verdichtungsgrad gesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft während des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle stufenweise erhöht wird, solange ein Zielwert des Verdichtungsgrads nicht erreicht ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die stufenweise Erhöhung der Druckkraft in vorgegebenen, gleichen Zeitabständen erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft bei gleichblei-

bender Frequenz und Amplitude der Rüttelbewegung stufenweise erhöht wird, solange ein Zielwert des Verdichtungsgrads nicht erreicht ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft stufenweise erhöht wird, bis ein vorgegebener Maximalwert der Druckkraft erreicht wird, und der Verdichtungsgrad danach durch Änderung der Frequenz und/oder Amplitude der Rüttelbewegung erhöht wird. 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft mit einer Kraftmessdose (4) gemessen wird, welche die von der Rüttelplatte auf das Positionierungssystem (9,10) wirkende Kraft misst. 10
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft durch Erhöhung einer zusätzlich zur Schwerkraft der Rüttelplatte in gleicher Richtung wirkenden Anpresskraft des Positionierungssystems (9,10) erhöht wird. 15
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft durch Verringerung einer entgegen der Schwerkraft der Rüttelplatte wirkenden Hebekraft des Positionierungssystems (9,10) erhöht wird. 20
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdichtungsgrad durch Auswerten von Schwingungsmessdaten der Rüttelplatte ermittelt wird. 25
10. Verfahren zur Herstellung eines Lehm-Holz-Verbundelements als Wand- oder Deckenelement eines Gebäudes, wobei das Verbundelement eine Mehrzahl von länglichen Holzträgern aufweist, zwischen denen jeweils ein Zwischenraum ausgebildet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** Lehm in die Zwischenräume eingebracht und der Lehm in den Zwischenräumen jeweils mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 verdichtet wird. 30
11. Vorrichtung zum mechanischen Verdichten von lehmhaltigem Erdmaterial, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, umfassend eine Rüttelplatte, ein dreiaxsiges Positionierungssystem (9,10), an dem die Rüttelplatte angeordnet ist, sodass die Rüttelplatte als Endeffektor über das zu verdichtende Erdmaterial führbar ist und die auf das Erdmaterial aufgebrachte Druckkraft durch Verlagern des Positionierungssystems (9,10) senkrecht zur Plattenebene der Rüttelplatte einstellbar ist, wobei wenigstens ein Sensor (5) zur Ermittlung des Verdichtungsgrads des Erdmaterials während des Verdichtens vorge- 35
- sehen ist, deren Messwerte einer Steuereinheit zugeführt sind, die ausgebildet ist, die Druckkraft, die Dauer des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle, die Frequenz der Rüttelbewegung und/oder die Amplitude der Rüttelbewegung in Abhängigkeit vom gemessenen Verdichtungsgrad zu steuern. 40
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit ausgebildet ist, um die Druckkraft während des Verweilens der Rüttelplatte an derselben Stelle stufenweise zu erhöhen, solange ein Zielwert des Verdichtungsgrads nicht erreicht ist. 45
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit ausgebildet ist, um die stufenweise Erhöhung der Druckkraft in vorgegebenen, gleichen Zeitabständen vorzunehmen. 50
14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit ausgebildet ist, um die Druckkraft bei gleichbleibender Frequenz und Amplitude der Rüttelbewegung stufenweise zu erhöhen, solange ein Zielwert des Verdichtungsgrads nicht erreicht ist. 55
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit ausgebildet ist, um die Druckkraft stufenweise zu erhöhen, bis ein vorgegebener Maximalwert der Druckkraft erreicht wird, und der Verdichtungsgrad danach durch Änderung der Frequenz und/oder Amplitude der Rüttelbewegung erhöht wird.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kraftmessdose vorgesehen ist, welche die von der Rüttelplatte auf das Positionierungssystem (9,10) wirkende Kraft misst.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft durch Erhöhung einer zusätzlich zur Schwerkraft der Rüttelplatte in gleicher Richtung wirkenden Anpresskraft des Positionierungssystems (9,10) erhöht wird.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Druckkraft durch Verringerung einer entgegen der Schwerkraft der Rüttelplatte wirkenden Hebekraft des Positionierungssystems (9,10) erhöht wird.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (5) zur Ermittlung von Schwingungsmessdaten der Rüttelplatte ausgebildet ist.

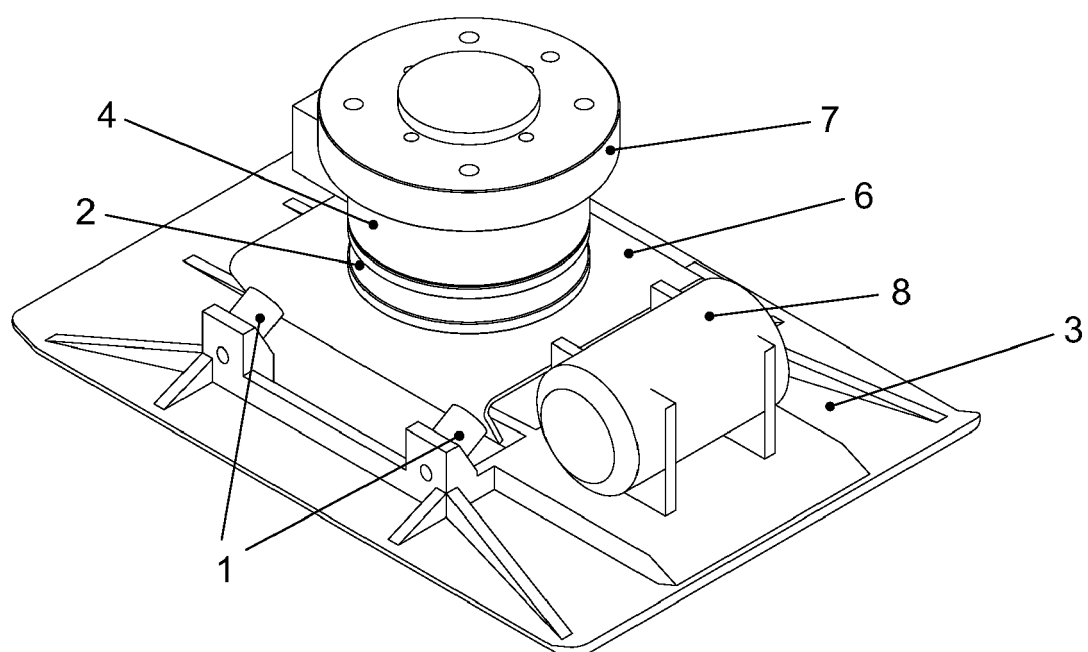


Fig. 1

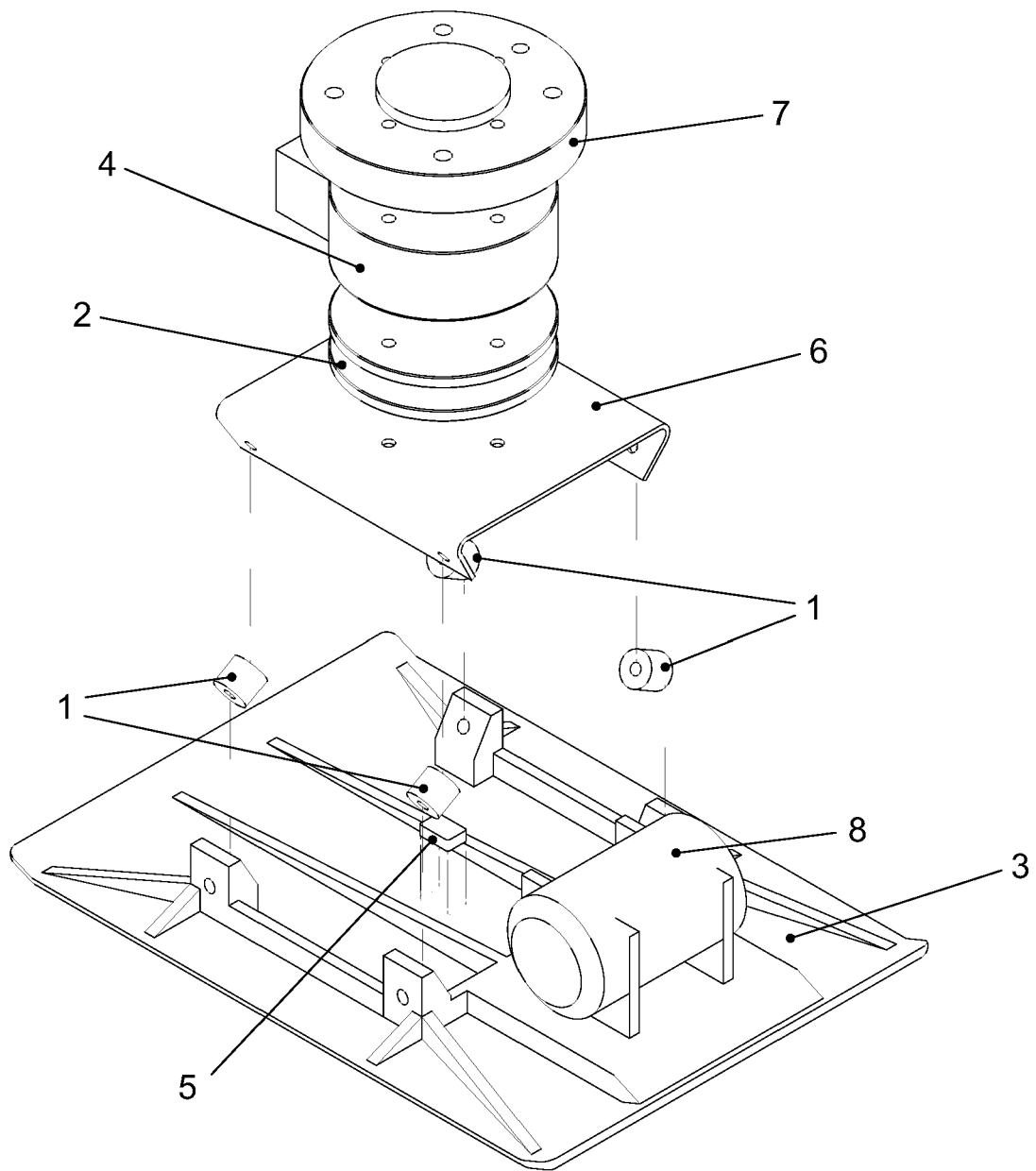


Fig. 2

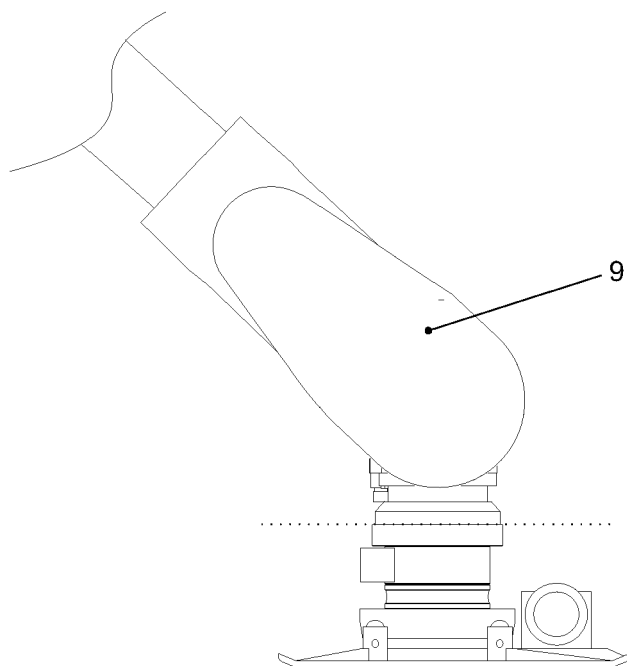


Fig. 3

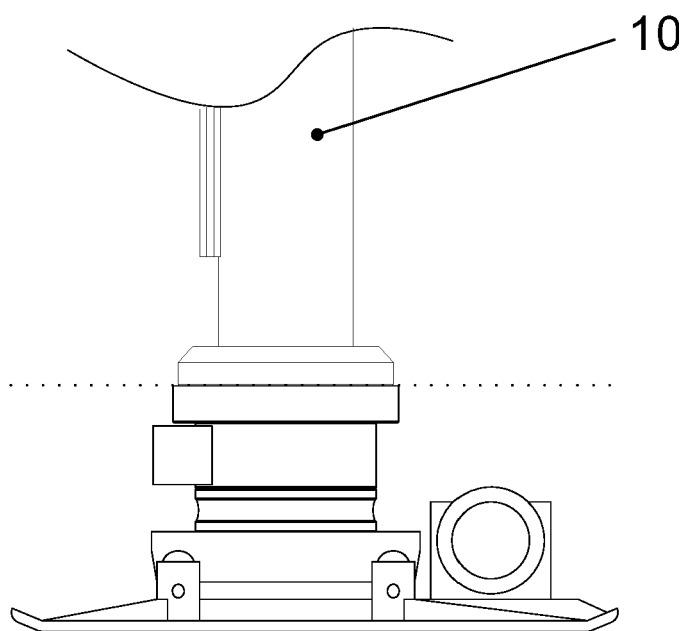


Fig. 4

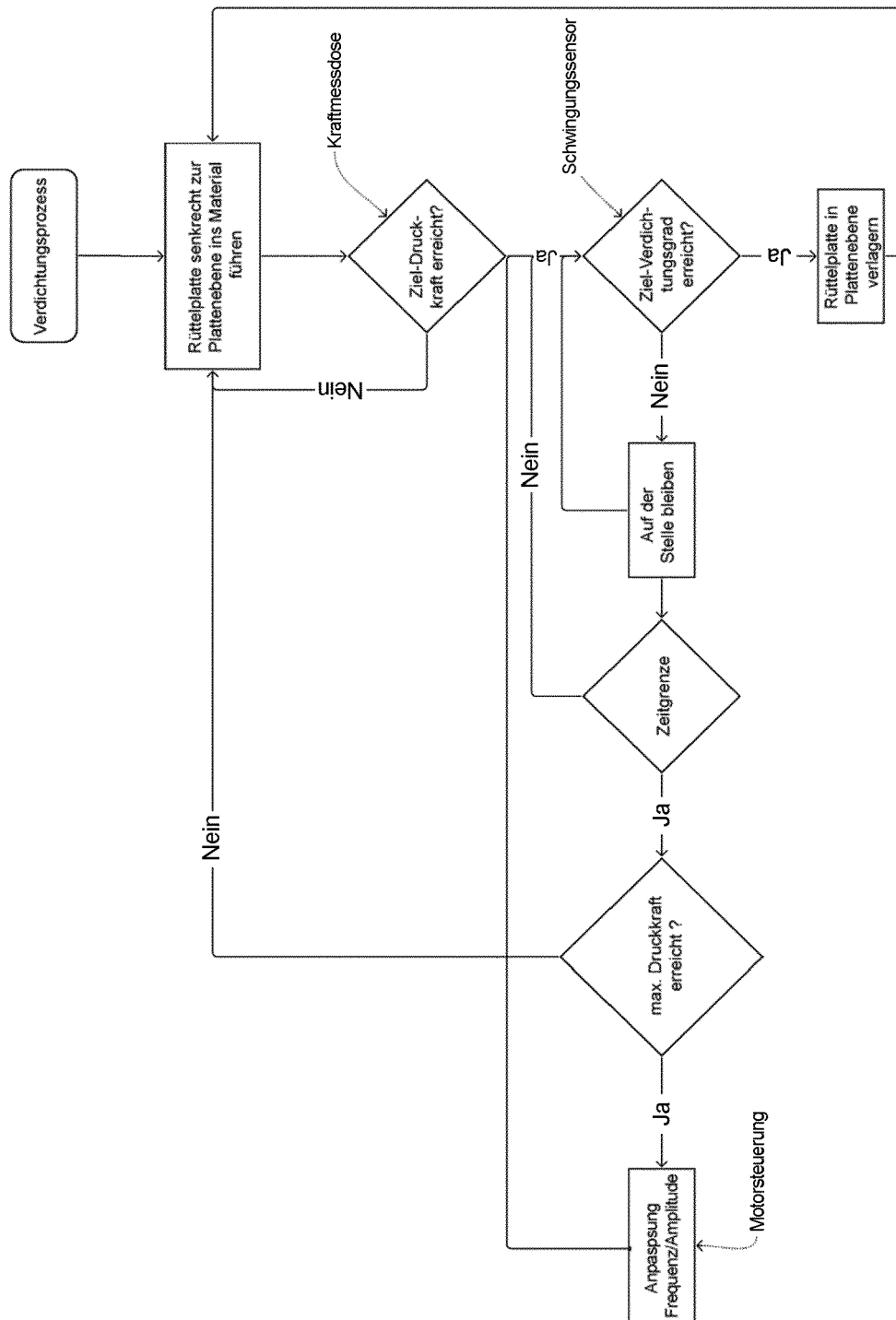


Fig. 5



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 02 0360

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 3 219 855 A1 (BOMAG GMBH [DE]) 20. September 2017 (2017-09-20) * Absatz [0028] - Absatz [0041]; Abbildungen 1, 2 *	1-19	INV. E02D3/046 E02D3/074
A	EP 1 705 293 A1 (AMMANN AUFBEREITUNG AG [CH]) 27. September 2006 (2006-09-27) * Absatz [0002] - Absatz [0023]; Abbildung 2 *	1-19	
A	KR 2009 0122658 A (KOREA INST CONSTRUCTION TECH [KR]; VANGIS TECH [KR]) 1. Dezember 2009 (2009-12-01) * Absatz [0003] - Absatz [0005]; Abbildung 1 *	1-19	
A	CN 106 948 333 A (BEIQI FOTON MOTOR CO LTD) 14. Juli 2017 (2017-07-14) * Absatz [0006] - Absatz [0037]; Abbildung 9 *	1-19	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E02D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 26. Januar 2024	Prüfer Geiger, Harald
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 23 02 0360

5

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

26-01-2024

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 3219855 A1	20-09-2017	DE 102016003387 A1	21-09-2017
		EP 3219855 A1	20-09-2017
		JP 2017186883 A	12-10-2017
		US 2017268193 A1	21-09-2017
EP 1705293 A1	27-09-2006	AU 2006227084 A1	28-09-2006
		CA 2602492 A1	28-09-2006
		CN 101180438 A	14-05-2008
		EP 1705293 A1	27-09-2006
		EP 1861546 A1	05-12-2007
		JP 2008534830 A	28-08-2008
		PL 1861546 T3	27-02-2015
		US 2009126953 A1	21-05-2009
		WO 2006099772 A1	28-09-2006
KR 20090122658 A	01-12-2009	KEINE	
CN 106948333 A	14-07-2017	KEINE	

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

- EP 4015730 A1 [0003] [0029]
- WO 2005028755 A1 [0022]