

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges

Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum

20. Dezember 2012 (20.12.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2012/171527 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
E02D 1/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2012/200043

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juni 2012 (15.06.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 077 574.9 15. Juni 2011 (15.06.2011) DE

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder : **DEGEN, Alexander** [DE/DE]; Balanstraße 8,
81669 München (DE). **DEGEN, Wilhelm** [DE/US]; 18742
Via Siena, Irvine, California 92603 (US).

(74) **Anwalt: BICKEL, Michael**; Westphal, Musgnug &
Partner, Herzog-Wilhelm-Straße 26, 80331 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz
2 Buchstabe g)

(54) **Title:** METHOD FOR GROUND PROBING

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUR BODENSONDIERUNG

(57) **Abstract:** The invention relates to a method comprising: providing a vibrator arrangement held on a carrier device, designed to penetrate the ground, and comprising a vibrator motor; inserting the vibrator arrangement into the ground, to a pre-determined depth; and determining a ground profile of the ground as the vibrator arrangement is inserted. The determination of the ground profile comprises the measurement of at least one operating parameter of the vibrator arrangement during the insertion into the ground, and the ground profile comprises a respective ground parameter for at least two different ground depths.

(57) **Zusammenfassung:** Beschrieben wird ein Verfahren, das aufweist: Bereitstellen einer Rüttleranordnung, die an einer Tragvorrichtung gehalten ist, die dazu ausgebildet ist, in den Boden einzudringen, und die einen Rüttlermotor aufweist; Einfahren der Rüttleranordnung bis zu einer vorbestimmten Tiefe in den Boden; Ermitteln eines Bodenprofils des Bodens beim Einfahren der Rüttleranordnung, wobei das Ermitteln des Bodenprofils das Messen wenigstens eines Betriebsparameters der Rüttleranordnung beim Einfahren in den Boden umfasst und wobei das Bodenprofil jeweils einen Bodenparameter für wenigstens zwei unterschiedliche Bodentiefen umfasst.



WO 2012/171527 A2

VERFAHREN ZUR BODENSONDIERUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bodensondierung und ein Verfahren zum Herstellen von Materialsäulen im Boden nach einer Bodensondierung.

5

Zur Verbesserung des Bodens ist es grundsätzlich bekannt, Materialsäulen, wie z.B. Kiessäulen im Boden herzustellen. Die Herstellung solcher Säulen erfolgt beispielsweise unter Verwendung einer Rüttleranordnung mit einem Tiefenrüttler, der am unteren Ende eines Rohres angeordnet ist. Das Rohr kann ein Silorohr zur
10 Materialaufnahme sein, wenn die Rüttleranordnung als sogenannter Schleusenrüttler zur Herstellung von Rüttelstopfsäulen ausgebildet ist, oder das Rohr kann ein Verlängerungsrohr sein, wenn die Rüttleranordnung als "einfacher Tiefenrüttler" zur Anwendung bei der Rütteldruckverdichtung ausgebildet ist. Die Rüttleranordnung ist an einer Tragvorrichtung befestigt, die in der Lage ist die Rüttleranordnung in ihrer Längsrichtung zu verfahren und die beispielsweise einen Mäkler
15 oder einen Tragarm eines Erdbaugeräts umfasst.

Für die Herstellung einer Säule (Rüttelstopfsäule, Stopfsäule) wird die Rüttleranordnung gehalten durch die Tragvorrichtung bis zu einer vorgegebenen Tiefe in
20 den Boden eingebracht. Die Rüttleranordnung wird anschließend stufenweise durch die Tragvorrichtung aus dem Boden herausgefahren, wobei in einen nach dem Anheben unterhalb der Rüttleranordnung entstehenden Hohlraum ein gewünschtes Material, wie zum Beispiel Sand oder Kies, eingebracht wird. Nach jedem Einbringen von Material wird die Rüttleranordnung mindestens einmal, üblicherweise jedoch mehrmals, in das eingebrachte Material abgesenkt, um es zu
25 verdichten und gegebenenfalls in seitlicher Richtung in den Boden einzutreiben. Das Füllmaterial wird entweder aus dem Silorohr in den Hohlraum unterhalb des Rüttlers eingebracht oder wird von oben entlang eines Ringspalts zwischen dem Rüttler und dem Boden in den Hohlraum unterhalb des Rüttlers eingebracht.

30

Eine so hergestellte Stopfsäule ist kein Pfahl, sondern ist ein Element zur Bodenverbesserung. Sie trägt deshalb Lasten, wie beispielsweise ein Gebäude, einen Damm, oder ähnliches, immer nur zusammen mit dem sie umgebenden Boden ab.

Die abschnittsweise hergestellte Säule wird idealerweise so hergestellt, dass Abschnitte in schwächeren (d.h. lockereren oder weicheren) Bodenlagen einen größeren Durchmesser aufweisen als Abschnitte in dichteren bzw. steiferen Lagen.

- 5 Der Durchmesser einer Stopfsäule kann also über deren Länge bzw. Tiefe abhängig von der Beschaffenheit des umgebenden Bodens variieren.

Um die Säule abhängig von der Bodenbeschaffenheit geeignet dimensionieren zu können, d.h. jeden der einzelnen Abschnitte mit einem optimalen Durchmesser realisieren zu können, sind Informationen über die Bodenbeschaffenheit erforderlich. Diese können beispielsweise anhand von Bodenprofilen, die durch Kernbohrungen erhalten werden, oder durch Bodensondierungen gewonnen werden. In Gegenden mit wechselhafter Geologie, also in Gegenden, in denen die Bodenbeschaffenheit je nach örtlicher Position stark variiert, kann allerdings ein erheblicher Erkundungsaufwand notwendig sein, um für die Positionen, an denen Säulen hergestellt werden sollen, Bodeninformationen zu erhalten.

Dieser Aufwand kann unterbleiben und die einzelnen Säulen können vollständig für die zu erwartende schwächste Bodenschicht dimensioniert werden. Dadurch können die Säulen an vielen Stellen überdimensioniert sein, nämlich überall dort, wo der umgebende Boden stärker ist. Eine solche Überdimensionierung bedeutet allerdings nicht nur Mehrkosten im Hinblick auf die Arbeitszeit und das verbrauchte Füllmaterial sondern kann auch bezüglich der Stabilität nachteilig sein. Wenn beispielsweise zwei benachbarte Säulen in einer Bodenzone, in der kaum eine Verbesserung nötig ist, dennoch mit großem Durchmesser erstellt werden, dann sind die für das auf den Säulen erstellte Bauwerk wichtigen Differenzsetzungen (d.h. die Setzungen zwischen benachbarten Bauwerksteilen) mitunter größer als wenn die beiden Säulen mit optimalen Säulenstärken ausgeführt worden wären. Wenn beispielsweise bei zwei Bauwerksteilen die Setzungen gegenüber dem un-

30 behandelten Fall (dem Fall ohne Säule) halbiert werden, zum Beispiel bei einem Bauteil von ursprünglich 20 cm auf 10 cm und beim anderen Bauteil von 10 cm auf nun 5 cm, so betragen die Differenzsetzungen immerhin noch 5 cm. Wenn aber die eine Setzung um 12 cm reduziert wird, von 20 cm auf 8 cm und die andere nur

um 2 cm von 10 cm auf 8 cm, so betragen in diesem Fall die Differenzsetzungen Null. Mit anderen Worten: Maximale Säulendurchmesser führen zwar zu minimalen Setzungen aber nicht immer zu minimalen Differenzsetzungen.

- 5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Bodensondierung zur Verfügung zu stellen, das insbesondere bei der Herstellung einer Materialsäule, einen geringen zusätzlichen Aufwand erfordert.

10 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bodensondierung. Das Verfahren umfasst: das Bereitstellen einer Rüttleranordnung, die an einer Tragvorrichtung gehalten ist, die dazu ausgebildet ist, in den Boden einzudringen,
15 und die einen Rüttlermotor aufweist; das Einfahren der Rüttleranordnung bis zu einer vorbestimmten Tiefe in den Boden; das Ermitteln eines Bodenprofils des Bodens beim Einfahren der Rüttleranordnung, wobei das Ermitteln des Bodenprofils das Messen wenigstens eines Betriebsparameters der Rüttleranordnung beim Einfahren in den Boden umfasst und wobei das Bodenprofil jeweils einen Bodenpa-
20 rameter für wenigstens zwei unterschiedliche Bodentiefen umfasst.

Bei diesem Verfahren wird die Rüttleranordnung, mit der eine Materialsäule im Boden hergestellt werden kann, zur Sondierung des Bodens, d.h. zur Ermittlung eines Bodenprofils verwendet. Unter Verwendung der Rüttleranordnung als Bo-
25 densonde lassen sich zumindest annäherungsweise Bodenschichten unterschiedlicher Dichte (wie beispielsweise bei Sanden und Kiesen) bzw. unterschiedlicher Steifigkeit (wie beispielsweise bei Schluffen und Tonen) feststellen und die Schichtgrenzen zwischen diesen unterschiedlichen Bodenschichten können ermittelt werden.

30

Bei einem Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, abhängig von dem Bodenprofil eine Materialsäule unter Verwendung der Rüttleranordnung herzustellen. Die Kombination aus Ermittlung des Bodenprofils während des Einfahrens (des Abteu-

fens) der Rüttleranordnung in den Boden und der nachfolgenden Säulenherstellung abhängig von dem Bodenprofil führt zu einem voll integrierten Herstellungsprozess, bei dem jede Materialsäule auf die örtlich variablen Bodeneigenschaften abgestimmt ist. Dies ist günstig im Hinblick auf Differenzsetzungen eines später

5 auf den Materialsäulen erstellten Bauwerks. Gerade bei Stopfsäulen kann dies wichtig sein. Stopfsäulen tragen Last nur im Verbund mit dem Boden ab, sind also im Gegensatz zu vermörtelten oder mit anderem Bindemittel versehenen Säulen eine echte Baugrundverbesserung und nicht ein Pfahl, der die lockeren bzw. weichen Schichten nur überbrückt. Das vorliegende Verfahren führt zu einer an die

10 Bodenfestigkeit adaptierten Säulenstärke und somit zu einer optimalen Homogenisierung des Setzungsverhaltens. In weicheren/ lockereren Böden die sich unbehandelt mehr setzen würden sorgt eine stärkere Stopfsäule für eine größere Versteifung, während beispielsweise in benachbarten Bodenlagen die bereits vor Säulenherstellung dichter/steifer sind, eine schwächere Säule hergestellt wird.

15

Das Bodenprofil kann auf verschiedene Weise ermittelt werden. Bei einem Beispiel ist vorgesehen, eine wenigstens annäherungsweise konstante Kraft auf die Rüttleranordnung durch die Tragvorrichtung beim Einbringen der Rüttleranordnung in den Boden auszuüben und als Betriebsparameter eine Geschwindigkeit zu messen, mit der die Rüttleranordnung in den Boden einfährt. Die Rüttleranordnung fährt hierbei um so schneller in eine Bodenschicht ein, je weniger dicht bzw. je weniger steif diese Bodenschicht ist. Damit kann die Einfahrtgeschwindigkeit unmittelbar ein Maß für die Bodenbeschaffenheit sein und kann damit geeignet für die Ermittlung des Bodenprofils sein. Das Bodenprofil kann hierbei für verschiedene Bodentiefen die für die jeweilige Bodentiefe ermittelte Einfahrtgeschwindigkeit enthalten.

20

25

Bei einem weiteren Beispiel zur Ermittlung des Bodenprofils ist vorgesehen, die Rüttleranordnung getrieben durch die Tragvorrichtung mit wenigstens annäherungsweise konstanter Geschwindigkeit in den Boden einzufahren und als Betriebsparameter eine Leistungsaufnahme des Rüttlermotors beim Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden zu messen. Die Leistungsaufnahme beim Einfahren in eine Bodenschicht ist hierbei um so geringer, je weniger dicht bzw. je weni-

30

ger steif diese Bodenschicht ist. Damit kann die Leistungsaufnahme unmittelbar ein Maß für die Bodenbeschaffenheit sein und kann damit geeignet für die Ermittlung des Bodenprofils sein. Das Bodenprofil kann hierbei für verschiedene Bodentiefen die für die jeweilige Bodentiefe ermittelte Leistungsaufnahme enthalten. Der

5 Rüttlermotor kann ein Elektromotor oder ein Hydraulikmotor sein. Bei einem Elektromotor ist beispielsweise eine Stromaufnahme des Motors repräsentativ für die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors, während bei einem Hydraulikmotor ein hydraulischer Druck, der zu Antreiben des Motors notwendig ist, repräsentativ ist für die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors.

10

Bei einem anderen Beispiel zur Ermittlung des Bodenprofils ist vorgesehen, die Rüttleranordnung getrieben durch die Tragvorrichtung mit wenigstens annäherungsweise konstanter Geschwindigkeit in den Boden einzufahren und als Betriebsparameter eine Schwingungsamplitude einer Spitze der Rüttleranordnung zu

15 messen. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere bei Verwendung einer Rüttleranordnung mit einem Tiefenrüttler. Die Schwingungsamplitude beim Einfahren in eine Bodenschicht kann hierbei um so höher sein, je weniger dicht bzw. je weniger steif diese Bodenschicht ist. Damit kann die Schwingungsamplitude unmittelbar ein Maß für die Bodenbeschaffenheit sein und kann damit geeignet für die Ermittlung des Bodenprofils sein. Das Bodenprofil kann hierbei für verschiedene Bodentiefen die für die jeweilige Bodentiefe ermittelte Schwingungsamplitude enthalten.

20

Grundsätzlich kann das Bodenprofil ein kontinuierliches Bodenprofil sein, d.h. für jede Bodentiefe wird ein zugehöriger Bodenparameter ermittelt. Das Bodenprofil

25 kann allerdings auch so ermittelt werden, dass Bodenparameter nur für vorgegebene Bodentiefen ermittelt werden, die gleichmäßig oder ungleichmäßig beabstandet sein können.

30

Bei einem Ausführungsbeispiel erfolgt das Herstellen der Materialsäule abhängig von dem Bodenprofil derart erfolgt, dass ein Durchmesser der Materialsäule in einer bestimmten Bodentiefe abhängig ist von dem für diese Bodentiefe ermittelten Bodenparameter. Der für eine bestimmte Bodentiefe ermittelte Bodenparameter ist beispielsweise abhängig von einer Bodendichte und/oder einer Bodenstei-

figkeit. In diesem Fall kann die Materialsäule derart hergestellt werden, dass der Durchmesser der Materialsäule mit abnehmender Bodendichte und/oder abnehmender Bodensteifigkeit zunimmt. Anhand des Bodenprofils wird also ein Säulenprofil ermittelt, das definiert, welche Eigenschaften die Säule in welcher Bodentiefe
5 haben soll. Eine Eigenschaft der Säule kann dabei deren Durchmesser, kann jedoch auch deren Festigkeit sein.

Das Herstellen der Materialsäule umfasst bei einem Beispiel das Herstellen von wenigstens zwei Segmenten. Das Herstellen jedes Segments umfasst hierbei: a)
10 das Anheben der Rüttleranordnung um eine vorbestimmte Wegstrecke, so dass ein Hohlraum unterhalb der Rüttleranordnung entsteht; b) das Einbringen eines Füllmaterials in den Hohlraum; c) das Einfahren der Rüttleranordnung in das Füllmaterial, um das Füllmaterial zu verdichten; und d) das Wiederholen der Verfahrensschritte a) bis c) n-mal, mit $n \geq 0$. Für die Herstellung eines Segments in einer
15 vorbestimmten Bodentiefe, kann die Anzahl n der Wiederholungen im Schritt d) abhängig sein von dem für diese Bodentiefe ermittelten Bodenparameter. So ist bei einer Variante vorgesehen, dass der Bodenparameter abhängig ist von einer Bodendichte und/oder einer Bodensteifigkeit und dass die Anzahl n der Wiederholungen mit abnehmender Bodendichte und/oder abnehmender Bodensteifigkeit
20 zunimmt. Bei einem weiteren Beispiel ist vorgesehen, dass so viele Wiederholungen durchgeführt werden, bis eine gewünschte Festigkeit der Säule in dem jeweiligen Segment erreicht ist. Die Festigkeit der Säule kann beispielsweise anhand der Leistungsaufnahme des Rüttlermotors ermittelt werden. Die Säule, bzw. ein Segment ist dabei um so fester, je höher die Leistungsaufnahme des Rüttlers
25 beim Einfahren in das zuvor eingebrachte Füllmaterial ist.

Die Rüttleranordnung kann wie eine herkömmliche Rüttleranordnung ausgebildet sein. Bei einem Beispiel ist vorgesehen, dass die Rüttleranordnung ein Rüttlerrohr mit einem oberen und einem unteren Ende und einen an dem Rüttlerrohr angeordneten Rüttler mit dem Rüttlermotor aufweist. Der Rüttler kann als Tiefenrüttler
30 ausgebildet und an einem unteren Ende des Rüttlerrohres befestigt sein, kann jedoch auch als Aufsatzrüttler ausgebildet und an einem oberen Ende des Rüttlerrohres befestigt sein.

Das Rohr kann ein Silorohr mit einem Materialtank sein, das im Bereich eines unteren Endes der Rüttleranordnung einen Materialauslass aufweist, über den Füllmaterial in einen unterhalb der Rüttleranordnung hergestellten Hohlraum eingebracht werden kann. Das Rohr kann allerdings auch als bloßes Verlängerungsrohr dienen. In diesem Fall wird Füllmaterial über einen Spalt zwischen dem Rohr und dem umgebenden Boden in den unterhalb der Rüttleranordnung hergestellten Hohlraum eingebracht.

- 5
10 Die Tragvorrichtung kann einen Tragarm eines Erdbaugeräts aufweisen oder kann einen Mast und einen an dem Mast verfahrbaren Schlitten aufweisen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Materialsäule im Boden. Das Verfahren umfasst das Bereitstellen einer Rüttleranordnung, die an einer Tragvorrichtung gehalten ist und die dazu ausgebildet ist, in den Boden einzudringen, das Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden und das mehrfache Verfahren der Rüttleranordnung in dem Boden zwischen Umkehrpunkten, nämlich einem oberen Umkehrpunkt und einem Umkehrpunkt, und Einbringen von Füllmaterial in den Boden beim Verfahren der Rüttleranordnung vom unteren Umkehrpunkt zum oberen Umkehrpunkt, sowie das Erfassen einer Position der Rüttleranordnung im Boden. Bei diesem Verfahren sind die Umkehrpunkte durch eine Steuerung vorgegeben und eine Bewegung der Rüttleranordnung zwischen den Umkehrpunkten wird in einem elektronischen Anzeigefeld dargestellt wird, das eine Soll-Bewegungsrichtung der Rüttleranordnung sowie die Position der Rüttleranordnung zwischen den Umkehrpunkten anzeigt.

Dieses Verfahren ermöglicht eine halbautomatische und dennoch präzise Herstellung von Materialsäulen im Boden. Das Verfahren der Rüttleranordnung kann manuell durch einen Geräteführer erfolgen, allerdings nach Maßgabe der Anzeigevorrichtung. Dadurch ist gewährleistet, dass die Rüttleranordnung zwischen durch die Steuerung vorgegebenen Umkehrpunkten verfahren wird, wobei sich diese Umkehrpunkte im Verlauf der Säulenherstellung ändern. Die tatsächliche Lage dieser

Umkehrpunkte im Boden muss nicht dargestellt werden und ist für den Geräteführer auch nicht von Interesse.

Ausführungsbeispiele werden nachfolgend anhand von Figuren näher erläutert.

- 5 Die Figuren dienen zur Veranschaulichung des Grundprinzips der vorliegenden Erfindung, so dass lediglich die zum Verständnis dieses Grundprinzips notwendigen Aspekte dargestellt sind. Die Figuren sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen gleiche oder äquivalente Teile mit gleicher oder äquivalenter Bedeutung.

10

Figur 1 veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel einer durch eine Tragvorrichtung gehaltenen Rüttleranordnung mit einem Tiefenrüttler zur Herstellung einer Materialsäule im Boden;

15

Figur 2 veranschaulicht einen Querschnitt durch den Tiefenrüttler;

Figur 3 veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel einer Rüttleranordnung mit einem Aufsatzrüttler zur Herstellung einer Materialsäule im Boden;

20

Figur 4 veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel bei dem die Tragvorrichtung einen Tragarm eines Erdbaugeräts aufweist;

Figur 5 veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel bei dem die Tragvorrichtung einen Mäkler und einen an dem Mäkler geführten Schlitten aufweist;

25

Figur 6 zeigt schematisch einen Querschnitt eines Bodens mit verschiedenen Bodenschichten, ein Bodenprofil des Bodens, ein Säulenprofil und eine in dem Boden hergestellte Materialsäule mit variierendem Durchmesser;

30

Figur 7 zeigt ein weiteres Beispiel eines auf einem Bodenprofil basierenden Säulenprofils.

- Figur 8 zeigt schematisch die Auf- und Abbewegungen des Tiefenrüttlers bei einem ersten Beispiel eines Verfahrens zur Herstellung einer Materialsäule gemäß Figur 6 mit mehreren Segmenten;
- 5 Figur 9 veranschaulicht ein weiteres Beispiel eines Verfahrens zur Herstellung eines Segments einer Materialsäule;
- Figur 10 zeigt ein Beispiel einer Anzeige für einen Geräteführer bei einem halbautomatischen Verfahren zum Herstellen einer Materialsäule im
- 10 Boden.

Zum besseren Verständnis der Erfindung werden nachfolgend zunächst verschiedene Ausführungsbeispiele von Vorrichtungen zur Herstellung von Materialsäulen im Boden erläutert, die für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens

15 geeignet sind. Diese Ausführungsbeispiele dienen dem besseren Verständnis und sind nicht einschränkend. Grundsätzlich eignen sich für die Durchführung des Verfahrens beliebige Vorrichtung, die zur Herstellung von Materialsäulen, insbesondere von Stopfsäulen oder Rüttelstopfsäulen im Boden geeignet sind.

20 Figur 1 zeigt schematisch ein erstes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Herstellung von Materialsäulen im Boden. Diese Vorrichtung umfasst eine Rüttelanordnung 1, die ein Rohr 11 mit einem oberen und einem unteren Ende aufweist, wobei am unteren Ende des Materialrohrs 11 ein Rüttler 12 angeordnet ist. Der Rüttler 12 ist in einer nicht im Detail dargestellten Weise schwingungsgedämpft an dem Materialrohr 11 befestigt, so dass durch Rüttelbewegungen des

25 Rüttlers 12 entstehende Schwingungen nicht oder zumindest nur in geringem Umfang auf das Materialrohr 11 übertragen werden. Das Materialrohr 11 ist in Figur 1 - wie auch in der nachfolgend noch erläuterten Figur 2 - im Querschnitt dargestellt, die übrigen Komponenten sind in Seitenansicht dargestellt.

30

Das Rohr 11 ist in dem dargestellten Beispiel als Silorohr bzw. Materialrohr ausgebildet und weist an seinem unteren Ende einen Auslass auf, an den ein weiteres Rohr 16 angeschlossen ist, das parallel zu dem Rüttler 12 bis an eine Spitze des

Rüttlers 12 geführt ist und das im Bereich der Spitze des Rüttlers einen Materialauslass 13 der Rüttleranordnung 1 bildet. Das weitere Rohr 16 kann schwingungsgedämpft an dem Materialrohr 11 befestigt sein. Das Materialrohr 11 besitzt beispielsweise eine zylinderförmige Geometrie. Das weitere Rohr 16 kann bei-
5 spielsweise so realisiert sein, dass es den Rüttler 12 teilweise umgibt, und besitzt dann im Querschnitt beispielsweise eine sichelförmige Geometrie.

Der Rüttler 12, der an einem unteren Ende des Materialrohrs 11 angeordnet ist bzw. die gesamte Rüttleranordnung 1, wird auch als Tiefenrüttler bezeichnet. Die-
10 ser Tiefenrüttler 12 kann wie ein herkömmlicher Tiefenrüttler ausgebildet sein. Figur 2 zeigt einen Querschnitt durch diesen Tiefenrüttler in einer Schnittebene, die senkrecht zu der in Figur 1 dargestellten Zeichenebene verläuft.

Bezugnehmend auf Figur 2 weist der Tiefenrüttler beispielsweise eine Unwucht
15 bzw. einen Exzenter 21 auf, der um eine Welle 22 rotierbar in einem Rüttlergehäuse gelagert ist. Dieser Exzenter 15 wird während des Betriebes des Tiefenrüttlers durch einen Rüttlermotor, wie z.B. einen Hydraulikmotor oder einen Elektromotor (nicht dargestellt), in Drehungen versetzt, wodurch sich die Rüttlerspitze des Tiefenrüttlers 12 auf einer Kreisbahn bewegt.

20

Figur 3 zeigt eine Vorrichtung mit einer Rüttleranordnung, die als Aufsatzrüttler ausgebildet ist und bei der der Rüttler 12 oben auf dem Rohr 11 angeordnet ist. Der Rüttler 12 und das Rohr 11 sind hierbei nicht schwingungsmäßig entkoppelt, so dass Rüttelbewegungen des Rüttlers 12 auf das Materialrohr übertragen wer-
25 den. Wie der Tiefenrüttler 12 gemäß Figur 1 weist auch der Rüttler 12 gemäß Figur 3 einen Motor (nicht dargestellt) auf, der den Rüttler 12 antreibt.

Bezugnehmend auf die Figuren 1 und 3 weist die Rüttleranordnung unabhängig von ihrer konkreten Ausgestaltung als Tiefenrüttler oder als Aufsatzrüttler im obe-
30 ren Bereich des Materialrohrs 11 eine Materialzuführung auf, die in den Figuren 1 und 2 lediglich schematisch dargestellt ist und die in dem Beispiel einen seitlich an dem Materialrohr 11 angeordneten Materialbehälter 14 und eine zwischen dem Materialbehälter 14 und dem Inneren des Materialrohrs 11 angeordnete Klappe 15

aufweist. Die Klappe 15 kann geöffnet und geschlossen werden, wobei bei geöffneter Klappe Material G, wie zum Beispiel Kies, Schotter oder Sand, aus dem Materialbehälter 14 in das Innere des Materialrohrs 11 fließen kann. Bei einem Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass bei geschlossener Klappe 15 mittels seiner
5 nicht näher dargestellten Druckvorrichtung ein Überdruck im Inneren des Materialrohrs 11, das in Figur 1 im Querschnitt dargestellt ist, erzeugt werden kann. Die Herstellung eines solchen Überdrucks kann insbesondere dann erforderlich sein, wenn Materialsäulen im Boden hergestellt werden sollen, die bis unter den Grundwasserspiegel reichen. Ein Überdruck ist dabei erforderlich, um Material
10 gegen den Druck des Grundwassers in den Boden einzubringen.

Anstelle einer einfachen Klappe 15 zwischen dem Materialbehälter 14 und im Inneren des Materialrohrs 11 kann auch eine Materialschleuse (nicht dargestellt) mit zwei Klappen vorgesehen werden, über welche das Material G in das Innere des
15 Materialrohrs 11 eingebracht wird. Eine solche Materialschleuse kann verhindern, dass ein im Inneren des Materialrohrs 11 aufgebauter Überdruck jedes Mal dann entweicht, wenn Material neu zugeführt wird.

Grundsätzlich können beliebige bekannte Materialzuführungen verwendet werden,
20 wie beispielsweise auch solche, bei denen Material über einen Förderschlauch unter Druck direkt in das Materialrohr 11 eingebracht werden.

Die in den Figuren 1 und 2 dargestellten Rüttleranordnungen 1 dient lediglich zur Veranschaulichung des Grundprinzips von Rüttleranordnungen. Es sei darauf hin-
25 gewiesen, dass im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung beliebige Rüttleranordnungen, wie Tiefenrüttler oder Aufsatzrüttler, eingesetzt werden können, insbesondere auch Rüttleranordnungen mit einer anderen Art der Materialzurührung oder mit einer anderen Art der Anordnung von Materialrohr 11 und Rüttler 12.

30 Bezugnehmend auf die Figuren 1 und 2 umfasst die Vorrichtung umfasst außerdem eine Tragvorrichtung 2, an der die Rüttleranordnung befestigt ist. Diese Tragvorrichtung 2 kann auf unterschiedliche Weise realisiert sein.

Figur 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Herstellung von Materialsäulen im Boden. Bei dieser Vorrichtung umfasst die Tragvorrichtung 2, an der die Rüttleranordnung 1 befestigt ist, einen Tragarm eines Erdbaugeräts. Die Rüttleranordnung ist hierbei an der Spitze des Tragelements 21 befestigt. Der Tragarm kann insbesondere so bewegt werden, dass er auf die Rüttleranordnung eine in Längsrichtung des Rohres 11 wirkende Kraft ausübt, um die Rüttleranordnung 1 dadurch in den Boden einzufahren oder wieder aus dem Boden auszufahren. Dies wird nachfolgend noch erläutert.

- 10 Figur 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Herstellung von Materialsäulen im Boden. Die Tragvorrichtung 2 umfasst bei dieser Vorrichtung einen Turm oder Mäkler 25, an dem ein Schlitten 24 in Längsrichtung des Turms 25 verfahrbar ist. Der Turm 25 kann senkrecht stehen, um senkrechte Säulen im Boden herzustellen. Der Turm 25 könnte jedoch auch gegenüber der Oberfläche geneigt sein, um in diesem Fall schräg verlaufende Säulen im Boden herzustellen. Ein Tragelement 21, das mit dem Rohr 11 verbunden ist, ist an dem Schlitten 24 befestigt, so dass die Rüttleranordnung 1 mit Hilfe des Schlittens 24 entlang des Mastes 25 verfahrbar ist. Das Materialrohr 11 der Rüttleranordnung 1 verläuft in etwa parallel zu dem Turm 25, so dass durch Verfahren des Schlittens 24 an dem Turm 25 die Rüttleranordnung 1 in ihrer Längsrichtung verfahren werden kann. Zum Verfahren des Schlittens 24 ist beispielsweise eine Seilvorrichtung mit einem Seil 23 (nur schematisch dargestellt), eine Zahnradvorrichtung, oder ähnliches, vorhanden. Der Schlitten 24 ist insbesondere so an dem Mast 25 verfahrbar, dass er eine Kraft auf die Rüttleranordnung ausübt, die in der Bewegungsrichtung des Schlittens 24, und damit in Längsrichtung des Rohres 11 wirkt, und die ein Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden bewirken kann. Diese Kraft kann beispielsweise dadurch ausgeübt werden, dass der Schlitten 24 mittels des Seils 23 mit einer definierten Kraft an dem Mast 25 nach unten gezogen wird.
- 20
- 25
- 30 Ein Erdbaugerät und ein Mast mit einem verfahrbaren Schlitten sind selbstverständlich nur Beispiele für Tragvorrichtungen, die geeignet sind, die Rüttleranordnung 1 in ihrer Längsrichtung, d.h. in Längsrichtung des Rohres 11 zu verfahren. Beliebige andere Hubeinheiten, wie z.B. Hubeinheiten mit elektrisch angetriebe-

nen Seil-, Riemen- oder Spindelanordnungen können ebenso verwendet werden.

Figur 6 zeigt schematisch einen Querschnitt eines Bodens 100 in dem eine Materialsäule 30 aus einem Füllmaterial, wie beispielsweise Kies oder Sand angeordnet ist. Der beispielhaft in Figur 6 dargestellte Bodenausschnitt weist mehrere verschiedene übereinander liegende Bodenschichten 101, 102, 103, 104 auf, die jeweils unterschiedliche Bodeneigenschaften, wie beispielsweise Dichte oder Festigkeit, aufweisen können. Aus den eingangs erläuterten Gründen ist es wünschenswert, die Materialsäule 30 derart an die Bodeneigenschaften anzupassen, dass die Materialsäule 30 im Idealfall in jeder der einzelnen Bodenschichten 101-104 einen an die Eigenschaften der jeweiligen Bodenschicht 101-104 angepassten Durchmesser aufweist. Die in Figur 6 dargestellte Materialsäule 30 weist verschiedene Materialsäulenabschnitte 31, 32, 33, 34 auf, wobei jeweils einer dieser Materialsäulenabschnitte 31-34 in einer Bodenschicht 101-104 angeordnet ist und einen an die Eigenschaften der jeweiligen Bodenschichten angepassten Durchmesser aufweist.

Ein Verfahren zur Herstellung einer Materialsäule 30, die an die Bodeneigenschaften angepasst ist, und die einen über ihre Länge variierenden Durchmesser aufweisen kann, und zwar abhängig von den Eigenschaften des die Säule umgebenden Bodens wird nachfolgend erläutert.

Dieses Verfahren umfasst das Bereitstellen einer Rüttleranordnung, die an einer Tragvorrichtung gehalten ist, die dazu ausgebildet ist, in den Boden einzudringen und die einen Rüttlermotor aufweist. Diese Rüttleranordnung 1 kann beispielsweise entsprechend einer der zuvor anhand der Figuren 1 und 3 bis 5 erläuterten Rüttleranordnungen 1, die an einer Tragvorrichtung 2 gehalten sind, ausgebildet sein. Das Verfahren umfasst außerdem das Einfahren der Rüttleranordnung 1 bis zu einer vorbestimmten Tiefe in den Boden 100 (der in den Figuren 1 und 3 ebenfalls dargestellt ist). Beim Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden wird ein Bodenprofil ermittelt, wobei das Ermitteln des Bodenprofils das Messen wenigstens eines Betriebsparameters der Rüttleranordnung 1 beim Einfahren in den Boden 100 umfasst und wobei das Bodenprofil jeweils einen Bodenparameter P für

wenigstens zwei unterschiedliche Bodentiefen umfasst. Ein solches Bodenprofil, das unterschiedliche Bodentiefen des Bodens 100 einen Bodenparameter P zuordnet, ist in Figur 6 schematisch neben dem Bodenquerschnitt dargestellt. Der Bodenparameter P ist beispielsweise eine Dichte oder eine Festigkeit des Bodens, kann jedoch auch mehrere Bodeneigenschaften, wie beispielsweise Dichte und Festigkeit, berücksichtigen. Bei dem in Figur 6 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die einzelnen Schichten unterschiedlich, so dass der Bodenparameter P für die einzelnen Bodenschichten 101-104 unterschiedlich. Dies ist selbstverständlich nur ein Beispiel. Es ist selbstverständlich auch möglich, dass zwei Bodenschichten gleicher Eigenschaft, wie beispielsweise zwei Tonschichten, eine Schicht mit einer anderen Eigenschaft, wie beispielsweise eine Sandschicht, einschließen, oder dass zwischen zwei sandigen schluffigen Bodenschichten eine Tonschicht eingelagert ist. In dem zuletzt genannten Fall kann es beispielsweise wünschenswert sein, in den sandigen schluffigen Schichten Säulenabschnitte mit geringerem Durchmesser als in der Tonschicht herzustellen.

Das Verfahren kann außerdem das Herstellen der Materialsäule 30 unter Verwendung der Rüttleranordnung 1 abhängig von dem ermittelten Bodenprofil umfassen bzw. abhängig von einem Säulenprofil, das auf Basis des Bodenprofils erzeugt wird, umfassen. Das Säulenprofil definiert, welche Eigenschaften die Säule in welcher Bodentiefe haben soll. Eine Eigenschaft der Säule kann dabei deren Durchmesser, kann jedoch auch deren Festigkeit sein. Die in Figur 6 schematisch dargestellte Materialsäule 30 ist eine solche abhängig von dem Bodenprofil bzw. dem Säulenprofil hergestellte Materialsäule. Zu Zwecken der Erläuterung sei beispielsweise angenommen, dass der Bodenparameter P, der in dem Bodenprofil gemäß Figur 6 dargestellt ist, eine Dichte bzw. Festigkeit des Bodens repräsentiert. Der in Figur 6 dargestellten Säule 30 liegt ein Säulenprofil zugrunde, bei dem der gewünschte Durchmesser der Materialsäule 30 mit zunehmender Dichte/Festigkeit, die dem Bodenprofil entnommen werden kann, abnimmt. Hierbei weist die unterste Bodenschicht 104 die höchste Dichte/Festigkeit auf, so dass der in dieser Bodenschicht 104 hergestellte Materialsäulenabschnitt 34 den geringsten Durchmesser aufweist. Die zweitniedrigste Dichte/Festigkeit weist die oberste Bodenschicht 101 auf, so dass der dort hergestellte Materialsäulenabschnitt 31 den zweitkleins-

ten Durchmesser aufweist. Die dritte Bodenschicht 103 von oben, d. h. ausgehend von der Oberfläche 101, weist die drittgrößte Dichte/Festigkeit auf, so dass der dort hergestellte Materialsäulenabschnitt 33 den drittkleinsten Durchmesser aufweist, während die zweite Bodenschicht 102 von oben die kleinste Dichte/Festigkeit aufweist, so dass der dort hergestellte Materialsäulenabschnitt 32 den größten Durchmesser aufweist.

Wie erläutert, wird die Materialsäule 30 in mehreren Abschnitten hergestellt, deren Höhe und Position im Boden und deren Eigenschaften von dem Säulenprofil abhängig ist, das anhand des Bodenprofils erzeugt werden kann. Das Säulenprofil kann beispielsweise so aus dem Bodenprofil abgeleitet werden, dass die Position einer Grenze zwischen Materialsäulenabschnitten im Säulenprofil der Position der Grenze zwischen zwei Bodenschichten im Bodenprofil entspricht. Ein solches Säulenprofil ist in Figur 6 neben dem Bodenprofil dargestellt. In dem Säulenprofil bezeichnet S eine einzustellende Säuleneigenschaft, wobei jeder Bodentiefe eine solche Säuleneigenschaft zugeordnet ist. Die Säuleneigenschaft kann beispielsweise ein Durchmesser oder eine Festigkeit der Säule an der jeweiligen Position sein. Figur 6 veranschaulicht eine nach einem solchen Säulenprofil hergestellte Materialsäule 30, also eine Säule bei der jeder Materialsäulenabschnitt 31-34 optimal an die umgebende Bodenschicht 101-104 angepasst ist, so dass eine Grenze zwischen zwei Materialsäulenabschnitten auf Höhe einer Grenze zwischen zwei Bodenschichten verläuft. Innerhalb eines Materialsäulenabschnittes hat die Säule dabei wenigstens annähernd dieselben Eigenschaften.

Die Grenze zwischen zwei Säulenabschnitten im Säulenprofil muss allerdings nicht notwendigerweise mit der Grenze zwischen zwei Bodenschichten im Bodenprofil übereinstimmen. Figur 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Säulenprofils, das aus dem Bodenprofil gemäß Figur 6 abgeleitet ist, und bei dem die Grenze zwischen zwei Materialsäulenabschnitten nicht mit der Grenze zwischen zwei Bodenschichten übereinstimmt. Die Materialsäule 30 wird segmentweise mit mehreren übereinander angeordneten Segmenten hergestellt, wobei einer der erläuterten Säulenabschnitte 31-34 aus einem oder mehreren Segmenten bestehen kann. Die Grenzen zwischen einzelnen Segmenten sind in dem Säulenprofil gemäß Fi-

- gur 7 ebenfalls (gepunktet) dargestellt. Diese Segmente können beispielsweise jeweils die gleiche Höhe aufweisen, wobei die Eigenschaften der einzelnen Segmente sich allerdings unterscheiden können. In diesem Fall gibt unter Berücksichtigung der gewünschten Säulenhöhe, die Segmenthöhe die Tiefenpositionen vor, an denen Grenzen zwischen zwei Segmenten und damit Grenzen zwischen zwei Materialsäulen verlaufen können. Die Segmenthöhe kann beispielsweise eine Höhe zwischen 1m und 2m sein. Welche Eigenschaft einem Segment in dem Säulenprofil zugeordnet ist, ist beispielsweise davon abhängig, in welcher Bodenschicht das Segment entsprechend dem Bodenprofil größtenteils verläuft.
- 5
- 10 Bei dem erläuterten Verfahren dient die Rüttleranordnung 1, die zur Herstellung der Materialsäule 30 ohnehin in den Boden 100 eingebracht werden muss, beim Einfahren in den Boden wie eine Art Bodensonde, die eine Ermittlung des Bodenprofils ermöglicht. Bei diesem Verfahren kann mit geringem Aufwand für jede herzustellende Säule exakt ein Bodenprofil des die spätere Säule umgebenden Bodens ermittelt werden, so dass jede Säule optimal an die jeweiligen Bodenverhältnisse angepasst hergestellt werden kann.
- 15

Das Bodenprofil kann auf verschiedene Weise beim Einfahren der Rüttleranordnung 1 in den Boden ermittelt werden. Bei einem Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, die Rüttleranordnung 1 getrieben durch die Tragvorrichtung 2 mit annäherungsweise konstanter Geschwindigkeit in den Boden 100 einzufahren und dabei die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors beim Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden zu messen. Der Rüttlermotor kann ein Elektromotor oder ein Hydraulikmotor sein. Bei einem Elektromotor ist beispielsweise eine Stromaufnahme des Motors (bei bekannter konstanter Versorgungsspannung des Rüttlermotors) repräsentativ für die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors, während bei einem Hydraulikmotor ein hydraulischer Druck, der zu Antreiben des Motors notwendig ist, repräsentativ ist für die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors. Allgemein gilt, dass die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors umso höher ist, je dichter/fester der Boden beim Einfahren mit konstanter Geschwindigkeit ist. Die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors bei einer bestimmten Bodentiefe stellt also unmittelbar ein Maß für die Dichte/Festigkeit des Bodens in der jeweiligen Tiefe, und damit unmittelbar ein Maß für den Bodenparameter P dar.

20

25

30

Die Rüttleranordnung 1 kann sowohl unter Verwendung eines Erdbaugeräts mit einem Tragarm (wie beispielsweise in Figur 4 dargestellt ist) als auch unter Verwendung eines Masts 25 mit einem an den Mast 25 angeordneten Schlitten 24
5 (wie in Figur 5 dargestellt) mit konstanter Geschwindigkeit in den Boden 100 eingefahren werden. Zur Ermittlung des Bodenprofils ist während des Einfahrens lediglich die Leistungsaufnahme des Rüttlermotors abhängig von der Bodentiefe zu messen und die für die Leistungsaufnahme erhaltenen Messwerte sind den jeweiligen Bodentiefen zuzuordnen. Die Bodentiefe, die einer bestimmten Leistungs-
10 aufnahme zuzuordnen ist, entspricht dabei der Position der Spitze 13 der Rüttleranordnung in dem Boden bei der jeweiligen Leistungsaufnahme. Die Position der Rüttlerspitze 13 im Boden 100, d. h. der Abstand zwischen der Rüttlerspitze 13 und der Oberfläche 101 kann in herkömmlicher Weise ermittelt werden. Bei Verwendung einer Tragvorrichtung mit einem Erdbaugerät, beispielsweise anhand
15 eines Tragarms und bei einer Tragvorrichtung mit einem Mast, beispielsweise anhand der Position des Schlittens 24 an dem Mast 25.

Bei einem weiteren Beispiel zur Ermittlung des Bodenprofils ist vorgesehen, eine wenigstens annäherungsweise konstante Kraft auf die Rüttleranordnung 1 durch
20 die Tragvorrichtung 2 beim Einbringen der Rüttleranordnung 1 in den Boden 100 aufzubringen und dabei eine Geschwindigkeit zu messen, mit der die Rüttleranordnung in den Boden einfährt. Diese Geschwindigkeit ist allgemein dahingehend von der Bodenbeschaffenheit anhängig, da bei einer bestimmten Bodentiefe die Geschwindigkeit mit zunehmender Dichte/Festigkeit des Bodens an der jeweiligen
25 Bodentiefe abnimmt. Die Einfahrtgeschwindigkeit kann also unmittelbar ein Maß für die Dichte/Festigkeit des Bodens und damit unmittelbar ein Maß für den Bodenparameter P darstellen. Sowohl mittels eines Tragarms eines Erdbaugeräts als auch mittels eines an einem Mast verfahrbaren Schlittens kann eine konstante Kraft, die in Längsrichtung der Rüttleranordnung 1 wirkt, auf die Rüttleranordnung 1 beim
30 Einfahren in den Boden aufgebracht werden. Die Geschwindigkeit kann beispielsweise dadurch gemessen werden, dass in regelmäßigen Abständen, beispielsweise alle 0,5 Sekunden, die Eindringtiefe der Rüttleranordnung gemessen wird und dass aus der Differenz der Eindringtiefe (Wegdifferenz) zwischen zwei

Messzeitpunkten in Kenntnis der Zeitdauer zwischen zwei Messpunkten (Zeitdifferenz) auf die Geschwindigkeit geschlossen wird, d.h.

$$v = \Delta x / \Delta t,$$

5

wobei v die Geschwindigkeit, Δx die Wegdifferenz und Δt die Zeitdifferenz ist.

Bei einem weiteren Beispiel zu Ermittlung des Bodenprofils ist ebenfalls vorgesehen, die Tragvorrichtung mit wenigstens annäherungsweise konstanter Geschwindigkeit in den Boden einzufahren und dabei eine Schwingungsamplitude an der Spitze 13 der Rüttleranordnung als Betriebsparameter zu messen. Die Schwingungsamplitude kann hierbei mit zunehmender Festigkeit des Bodens abnehmen.

Ein Absolutwert des beim Einfahren der Rüttleranordnung 1 in den Boden ermittelten Bodenparameters P ist für die spätere Herstellung der Materialsäule 30 weniger relevant als eine Änderung dieses Bodenparameters P über der Tiefe x . Bei Bodentiefen, bei denen eine solche Änderung auftritt, wie beispielsweise bei den Bodentiefen x_1 , x_2 , x_3 gemäß Figur 6 liegt eine Schichtgrenze zwischen zwei benachbarten Bodenschichten vor, so dass anhand des Bodenprofils insbesondere die Bodentiefen ablesbar sind, an denen Schichtgrenzen zwischen benachbarten Bodenschichten vorhanden sind.

Bezugnehmend auf die vorangehende Erläuterung werden die einzelnen Materialsäulenabschnitte abhängig von dem Säulenprofil hergestellt, das aus dem Bodenprofil abgeleitet wird, wobei das Säulenprofil der Säule an jeder Tiefenposition eine Eigenschaft, wie beispielsweise Durchmesser oder Festigkeit zuordnet. Das Säulenprofil wird beispielsweise so erzeugt, dass die entsprechend dem Säulenprofil hergestellte Materialsäule 30 dort einen größeren Durchmesser aufweist, wo das Bodenprofil auf eine geringe Dichte/Festigkeit des Bodens hinweist, und dort einen geringeren Durchmesser aufweist, wo das Bodenprofil auf eine höhere Dichte/Festigkeit des Bodens hinweist. Alternativ wird das Säulenprofil beispielsweise so erzeugt, dass die entsprechend dem Säulenprofil hergestellte Materialsäule 30 dort eine größere Festigkeit aufweist, wo das Bodenprofil auf eine geringe Dich-

te/Festigkeit des Bodens hinweist, und dort eine geringere Festigkeit aufweist, wo das Bodenprofil auf eine höhere Dichte/Festigkeit des Bodens hinweist.

Das Herstellen der Materialsäule kann beginnen, nachdem der Tiefenrüttler bis zu
5 einer vorbestimmten Tiefe, die bei dem Beispiel gemäß Figur 6 mit x4 bezeichnet
ist, eingebracht wurde. Diese maximale Tiefe definiert den Boden der herzustel-
lenden Materialsäule 30. Das Herstellen eines Segments der Materialsäule kann
in grundsätzlich bekannter Weise dadurch erfolgen, dass die Rüttleranordnung 1
um eine vorbestimmte Wegstrecke durch die Tragvorrichtung 2 angehoben wird,
10 so dass ein Hohlraum unterhalb der Rüttleranordnung 1 entsteht (Schritt a), indem
ein Füllmaterial G in den durch Anheben der Rüttleranordnung 1 unterhalb der
Rüttleranordnung 1 entstehenden Hohlraum eingebracht wird (Schritt b) und in-
dem die Rüttleranordnung 1 in das eingebrachte Füllmaterial eingefahren wird, um
dadurch das Füllmaterial G zu verdichten bzw. zur Seite hin in den umgebenden
15 Boden zu drängen (Schritt c). Die Rüttleranordnung kann hierbei entsprechend
der Wegstrecke, um die sie zuvor angehoben wurde, in das Füllmaterial eingefah-
ren werden. Diese Verfahrensschritte, nämlich Anheben der Rüttleranordnung,
Einbringen des Füllmaterials und Einfahren der Rüttleranordnung in das Füllmate-
rial können n-mal wiederholt werden, mit $n \geq 0$. Die Anzahl n der Wiederholungs-
20 schritte ist hierbei abhängig von dem gewünschten Durchmesser des herzustellenden Ma-
terialsäulenabschnitts. Die Anzahl der Wiederholungen ist dabei umso größer, je
größer der gewünschte Durchmesser ist, wobei der Durchmesser umso größer ist,
je niedriger die zuvor ermittelte Dichte/Festigkeit des Bodens ist. Diese Anzahl n
der Wiederholungen kann für jeden gewünschten Säulendurchmesser fest vorge-
25 geben sein, d.h. zu Beginn der Herstellung eines Segments steht bereits fest, wie
viele Wiederholungen durchgeführt werden.

Wenn es beispielsweise gilt, ein Säulensegment mit einer bestimmten Festigkeit
herzustellen, steht die Anzahl n zu Beginn der Herstellung noch nicht fest. In die-
30 sem Fall wird bei jeder Wiederholung die Festigkeit des Segments gemessen und
es findet dann keine weitere Wiederholung statt, wenn die gewünschte Festigkeit
erreicht ist. Die Festigkeit der Säule kann beispielsweise anhand der Leistungs-
aufnahme des Rüttlermotors ermittelt werden. Die Säule, bzw. ein Säulenabschnitt

ist dabei um so fester, je höher die Leistungsaufnahme des Rüttlers beim Einfahren in das zuvor eingebrachte Füllmaterial ist.

Figur 8 zeigt schematisch die Herstellung einer Materialsäule. Dargestellt ist in
5 Figur 7 die Position der Rüttlerspitze 13 der Rüttleranordnung 11 über der. Das Verfahren beginnt zu einem Zeitpunkt t_0 , zu dem die Rüttlerspitze bis auf die Tiefe x_4 in den Boden eingebracht wurde. Vor dem Zeitpunkt t_0 erfolgt das Einbringen der Rüttleranordnung 1 in den Boden, beispielsweise entsprechend einem der zuvor erläuterten Verfahren, bei dem das Bodenprofil ermittelt wird.

10

Bei dem anhand von Figur 8 erläuterten Verfahren, werden sechs Segmente der Materialsäule 30 hergestellt, wobei in dem Beispiel zur Herstellung jedes dieser Segmente, die Rüttlerspitze wenigstens zwei Mal angehoben wird, um Füllmaterial auszubringen und anschließend wieder in das Füllmaterial abgesenkt wird. Die
15 einzelnen Segmente besitzen jeweils die gleiche Höhe, was anhand von Figur 8 dadurch ersichtlich ist, dass Amplituden einer Auf- und Abbewegung der Rüttlerspitze für die Herstellung der einzelnen Segmente jeweils gleich sind.

Gemäß Figur 8 wird ein erstes Segment zwischen den Bodentiefen x_3 und x_4 her-
20 gestellt, so dass dieses Segment dem Materialsäulenabschnitt 34 gemäß Figur 6 entspricht. Zwischen den Bodentiefen x_2 und x_3 werden übereinander liegend zwei weitere Segmente hergestellt, die den Materialsäulenabschnitt 33 gemäß Figur 6 bilden. Die Anzahl der durchgeführten Wiederholungen ist für die Segmente dieses Materialsäulenabschnitts 33 größer als für den Materialsäulenabschnitt
25 34, um dadurch den Materialsäulenabschnitt 33 mit einem größeren Durchmesser als den Materialsäulenabschnitt 34 herzustellen. Ein weiteres Segment, das in dem Beispiel dem Materialsäulenabschnitt 32 gemäß Figur 6 entspricht, wird zwischen den Bodentiefen x_1 und x_2 hergestellt, wobei für diesen Materialsäulenabschnitt 32 die Anzahl der Wiederholungen noch größer als für den Materialsäulenabschnitt 33 ist, um diesen Materialsäulenabschnitt 32 mit einem noch größeren
30 Durchmesser herzustellen, da der diesen Abschnitt 32 umgebende Boden die niedrigste Dichte/Festigkeit aufweist. Schließlich werden zwei weitere Segmente übereinander zwischen den Bodentiefen x_0 (die dem Niveau der Oberfläche 110

entspricht) und x1 hergestellt. Diese beiden Segmente bilden den Materialsäulenabschnitt 31 gemäß Figur 6, der einen kleineren Durchmesser als die Materialsäulenabschnitte 32, 33, jedoch einen größeren Durchmesser als der Materialsäulenabschnitt 34 aufweist.

5

Die Höhen der einzelnen Segmente ist bestimmt durch die Wegstrecke, um die die Rüttleranordnung 1 zu Beginn der Herstellung des jeweiligen Segments gegenüber dem Boden oder gegenüber dem unmittelbar zuvor hergestellten Segment angehoben wird, um Füllmaterial auszubringen. Die einzelnen Segmente können jeweils mit der gleichen Höhe hergestellt werden. Es ist, abhängig von der Bodenbeschaffenheit jedoch auch möglich, die einzelnen Segmente mit unterschiedlichen Höhen herzustellen, insbesondere um die einzelnen Materialsäulenabschnitte derart an die Dicke der einzelnen Bodenschichten anzupassen, dass für jede Bodenschicht der optimale Materialsäulenabschnitt ermittelt werden kann.

15

Bei dem anhand von Figur 8 erläuterten Verfahren, verfährt die Rüttleranordnung bei der Herstellung eines Segments stets über die gesamte Höhe (oder Tiefe) des Segments, d.h. die Rüttleranordnung verfährt nach Ausbringen von Füllmaterial durch das ausgebrachte Füllmaterial wieder bis zum Boden des Segments, um es zu verdichten. Das im letzten Wiederholungszyklus ausgebrachte Füllmaterial wird dann allerdings nicht mehr verdichtet, sondern die Rüttleranordnung fährt bis an das obere Ende des nächsten Segments, wobei der darunter liegende Hohlraum mit Füllmaterial aufgefüllt wird. Dieses Füllmaterial wird nachfolgend allerdings nur noch im Bereich des neu herzustellenden Segments verdichtet.

25

Figur 9 veranschaulicht eine Alternative zu dem Verfahren nach Figur 8 anhand der Herstellung eines Segments, in dem Beispiel des Segments zwischen den Bodentiefen x3 und x4. Bei diesem Verfahren fährt die Rüttleranordnung – wie auch bei dem Verfahren gemäß Figur 8 - zu Beginn der Herstellung des Segments von dessen unterem Ende (an der Position x4) zu dessen oberem Ende (an der Position x3), wobei der dadurch entstehende Hohlraum zwischen x4 und x3 mit Füllmaterial aufgefüllt wird. Der Hub bzw. die Aufwärts-Wegstrecke, um die die Rüttleranordnung in diesem Fall bewegt wird, ist in Figur 9 mit h1 bezeichnet. An-

30

schließlich fährt die Rüttleranordnung allerdings nicht mehr bis zum unteren Ende des Segments, sondern ausgehend von dem oberen Ende nur noch um eine Distanz bzw. Abwärts-Wegstrecke h_2 , mit $h_2 < h_1$, nach unten und anschließend wieder bis zum oberen Ende, d.h. um die Distanz h_2 nach oben, so dass der Hub h_2
5 im ersten Wiederholschritt kleiner als der Hub h_1 im ersten Schritt ist. Ein Hub h_3 im nächsten Wiederholschritt ist erneut kleiner als im vorangehenden Schritt. Nach diesem Wiederholschritt endet in dem Beispiel die Herstellung dieses Segments und die Herstellung eines neuen Segments beginnt, in dem die Rüttleranordnung bis an das obere Ende des nachfolgenden Segments verfährt (bzw. verfahren
10 wird).

Der erste Hub h_1 definiert die Höhe des Segments. Dieser Hub beträgt beispielsweise 1m und allgemein zwischen 1m und 2m. Bei einem Beispiel ist vorgesehen, dass eine Differenz Δh des Hubs (Hubdifferenz) zwischen zwei Schritten jeweils
15 gleich ist. Bezugnehmend auf das Beispiel gemäß Figur 9 gilt dann: $h_1 = h_2 + \Delta h$ und $h_2 = h_3 + \Delta h$. Bei einem Beispiel ist vorgesehen, die Rüttleranordnung so lange anzuheben (und dabei Füllmaterial auszubringen) und mit verringertem Hub wieder abzusenken (um das Füllmaterial zu verdichten), bis der Hub kleiner oder gleich einem vorgegebenen Wert ist. Dieser Wert entspricht beispielsweise der
20 Differenz Δh . Gilt beispielsweise $h_1 = 1\text{m}$ und $\Delta h = 20\text{cm}$, so werden folgende Schritte für die Herstellung eines Segments durchgeführt: Anheben 1m, Absenken 80cm, Anheben 80cm, Absenken 60cm, Anheben 60cm, Absenken 40cm, Anheben 40cm, Absenken 20cm, Anheben bis zum oberen Ende des nächsten Segments. Über die Hubdifferenz Δh kann bei diesem Verfahren die Anzahl der Wiederholungsschritte und damit der Durchmesser bzw. die Festigkeit des Segments
25 eingestellt werden. Allgemein nimmt der Durchmesser mit kleiner werdender Hubdifferenz Δh zu, da in diesem Fall mehr Wiederholschritte durchgeführt werden, so dass mehr Material eingebracht wird.

30 Bei einem Verfahren ist vorgesehen, dass das Säulenprofil für jedes Segment dessen Höhe und die Hubdifferenz Δh definiert. Bei einem weiteren Verfahren ist vorgesehen, dass das Säulenprofil für jedes Segment dessen Höhe und die Hub-

differenz Δh definiert und außerdem eine maximale Leistungsaufnahme des Rüttlermotors definiert, wobei die Herstellung eines Segments endet, wenn der Hub kleiner als der vorgegebene Minimalwert ist, wenn also alle Wiederholungsschritte durchlaufen wurden, oder wenn die maximale Leistungsaufnahme erreicht ist.

- 5 Das Einbringen von Füllmaterial in den Boden erfolgt bei den zuvor erläuterten Rüttleranordnungen, die ein Silorohr oder Materialrohr 11 aufweisen, aus dem Silorohr oder Materialrohr. Die Abmessungen, d.h. insbesondere der Durchmesser der Säule, ergibt sich rechnerisch aus dem Integral der bei der Summe aller Aufwärtsbewegungen in den Boden abgegebenen Füllmaterialmenge, welche sich
- 10 durch den bekannten Querschnitt von Rüttler und Materialrohr und durch Aufwärts-Wegstrecke leicht berechnen lässt. Beträgt der Rüttlerquerschnitt beispielsweise $0,2 \text{ m}^2$ Querschnitt, so wird, an einer Stelle, an der der Rüttler beispielsweise 5-mal auf und abfährt dort rechnerisch einen Säulenquerschnitt mit einer Fläche von $5 \times 0,2 = 1,0 \text{ m}^2$ erzeugt.

15

- Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel einer Rüttleranordnung (nicht dargestellt) ist das Rohr 11 lediglich als Verlängerungsrohr ausgebildet. Füllmaterial wird bei dieser Rüttleranordnung in den Hohlraum unterhalb der Rüttleranordnung dadurch eingebracht, dass Material von oben an dem Rohr vorbei, d. h. in einem Ringspalt
- 20 zwischen dem Rohr 11 und dem umgebenden Boden nach unten gebracht wird.

- Das zuvor erläuterte Verfahren kann vollautomatisch durch einen Rechner gesteuert durchgeführt werden. Der Rechner ist dazu ausgebildet, die Tragvorrichtung 2 zu steuern und erhält Informationen über die Position der Rüttleranordnung
- 25 1 durch einen geeigneten Sensor und den Betriebsparameter (wie beispielsweise Leistungsaufnahme des Rüttlermotors, Einfahrgeschwindigkeit oder Schwingungsamplitude) der Rüttleranordnung. Die Steuerung der Tragvorrichtung 2 durch den Rechner kann beim Einfahren, je nach speziellem Verfahren, das Einfahren der Rüttleranordnung 1 mit konstanter Geschwindigkeit oder konstanter
- 30 Kraftbeaufschlagung umfassen, wobei der Rechner beim Einfahren die erhaltenen Werte für den Betriebsparameter den jeweiligen Bodentiefen zuordnet, um dadurch das Bodenprofil zu erhalten.

Das Säulenprofil kann aus dem Bodenprofil, wie es beispielsweise in Figur 6 dargestellt ist, automatisch, d.h. beispielsweise softwaregesteuert erzeugt werden. Wie erläutert sind in dem Säulenprofil verschiedene Segmente definiert, die jeweils eine vorgegebene Höhe und Eigenschaft aufweisen. Beispiele solcher Säulenprofile sind in den Figuren 6 und 7 dargestellt. Die einzelnen Segmente können
5 entsprechend einem der zuvor anhand der Figuren 6 bis 9 erläuterten Verfahren hergestellt werden.

Das Steuern der Tragvorrichtung 2 durch den Rechner für die Herstellung jedes
10 Segments umfasst, die Rüttleranordnung wenigstens einmal um eine vorgegebene Wegstrecke (Aufwärts-Wegstrecke) anzuheben und wenigstens einmal um eine vorgegebene Wegstrecke (Abwärts-Wegstrecke) wieder abzusenken. Wie erläutert können Aufwärts-Wegstrecke und Abwärts-Wegstrecke in einem Schritt
15 gleich sein, können sich aber auch um eine Hub-Differenz Δh unterscheiden. Sowohl bei Verwendung eines Aufsatzrüttlers mit einem Silorohr als auch bei Verwendung eines Tiefenrüttlers mit Silorohr fließt Füllmaterial beim jedem Anheben der Rüttleranordnung automatisch in den Hohlraum unterhalb der Rüttleranordnung 1, so dass lediglich sicherzustellen ist, dass stets ausreichend Füllmaterial in dem Silorohr vorhanden ist. Die Höhe eines herzustellenden Segments, also die
20 Wegstrecke um die die Rüttleranordnung 1 ausgehend vom Grund der Aussparung oder ausgehend vom oberen Ende eines zuvor hergestellten Segments erstmals angehoben wird, und den Durchmesser und/oder die Festigkeit des Materialsäulenabschnitts steuert der Rechner abhängig von dem zuvor ermittelten, von dem Bodenprofil abhängigen Säulenprofil in bereits erläuterter Weise. Der
25 Durchmesser und/oder die Festigkeit eines Segments wird kann in erläuterter Weise durch die Anzahl der Wiederholungen eingestellt werden. Ein Geräteführer hat bei diesem automatischen Verfahren nur noch eine Kontroll- und Sicherheitsfunktion und fährt die Rüttleranordnung 1 mit dem Traggerät 2 von Punkt zu Punkt, an dem eine Materialsäule hergestellt werden soll.

30

Das Verfahren kann auch als halbautomatisches Verfahren durchgeführt werden, bei dem die Rüttleranordnung 1 zunächst rechnergesteuert in den Boden eingefahren und das Bodenprofil ermittelt wird und bei dem bei Herstellung der Materi-

alsäule 30 die Tragvorrichtung 2 durch einen Geräteführer gesteuert wird, und zwar nach Vorgaben, die vom Rechner auf einem Anzeigegerät (Display) angezeigt werden. Das Display zeigt dabei Symbole, die dem Geräteführer beispielsweise anzeigen, in welcher Richtung die Tragvorrichtung bewegt werden soll, d.h.

5 nach oben oder nach unten, und wie weit die Tragvorrichtung noch bewegt werden soll. Eine Sequenz (a-f) solcher Symbole bei der Herstellung eines Materialsäulenabschnitts ist in Figur 8 dargestellt. Ein Anzeigefeld für die Symbole umfasst in dem Beispiel einen Richtungspfeil als erstes Symbol und einen verschiebbaren Balken als zweites Symbol. In Figur 8 ist das Anzeigefeld für sieben verschiedene

10 Zeitpunkte dargestellt. Der Richtungspfeil zeigt dem Geräteführer an, in welcher Richtung der Tragarm bewegt werden soll. Ein Pfeil nach oben, wie beispielsweise in den Figuren 8a und 8b symbolisiert eine Bewegung nach oben, während ein Pfeil nach unten, wie in den Figuren 8d, 8e und 8f eine Bewegung nach unten symbolisiert. Der Balken (schraffiert dargestellt) zeigt an, wie weit die Tragvorrichtung 2 mit der Rüttleranordnung 1 noch in der durch den Richtungspfeil vorgegebenen Richtung bewegt werden soll. Ist das Anzeigefeld vollständig durch den

15 Balken ausgefüllt ist, wie beispielsweise in Figur 8c dargestellt ist, oder vollständig leer, wie beispielsweise in Figur 8c dargestellt ist, so ist der Umkehrpunkt für eine Umkehr der Bewegungsrichtung der Tragvorrichtung erreicht.

20

Die Anzeige wird durch den Rechner abhängig von dem zuvor ermittelten Säulenprofil und von der aktuellen Eindringtiefe der Rüttleranordnung 1 bzw. der Rüttlerspitze 13 im Boden gesteuert. Die Bewegung des Balkens symbolisiert dabei die Bewegung der Rüttleranordnung 1 nach oben oder nach unten. Ein unteres

25 Ende des Anzeigefeldes bzw. des Balkens markiert bei der Anzeige gemäß Figur 8 einen unteren Umkehrpunkt für eine Abwärtsbewegung der Rüttleranordnung und ein oberes Ende markiert einen oberen Umkehrpunkt für eine Aufwärtsbewegung der Rüttleranordnung. Jeder dieser Umkehrpunkte repräsentiert eine Bodentiefe, wobei die durch den oberen und unteren Umkehrpunkt repräsentierten Bodentiefen sich im Verlauf der Säulenherstellung ändern.

30

Je nach Art des Herstellungsverfahrens können der obere und der untere Umkehrpunkt bei der Herstellung eines Segments jeweils gleich bleiben, oder der o-

bere Umkehrpunkt kann gleich bleiben und der untere Umkehrpunkt kann sich ändern. Dies ist nachfolgend für die Herstellung eines Säulensegments erläutert, das bei der Säule 30 gemäß Figur 6 den unteren Säulenabschnitt 34 bildet.

- 5 Bei einem Verfahren gemäß Figur 8, bei dem die Rüttleranordnung während der einzelnen Wiederholungsritte stets über die gesamte Höhe des Segments verfahren wird, repräsentiert der untere Umkehrpunkt des Anzeigefelds stets die Bodentiefe x_4 und der obere Umkehrpunkt stets die Bodentiefe x_3 . Nach Herstellung des untersten Säulenabschnitts bzw. Segments 34 ändert sich die dem oberen Umkehrpunkt zugeordnete Bodentiefe, d.h. das Anzeigefeld zeigt so lange eine notwendige Aufwärtsbewegung der Rüttleranordnung 1 an, bis die Rüttleranordnung auf eine Bodentiefe zwischen x_2 und x_3 ausgefahren ist, an der ein erstes Segment des Säulenabschnitts 33 hergestellt wird.
- 10
- 15 Bei einem Verfahren gemäß Figur 9, bei dem sich der Hub mit jedem Wiederholungsschritt ändert, repräsentiert der obere Umkehrpunkt stets die Bodentiefe x_3 , der untere Umkehrpunkt ändert sich mit jedem Wiederholungsschritt, so dass beispielsweise der erste Umkehrpunkt bei einem ersten Einfahren die Bodentiefe $x_4 - \Delta h$, bei einem zweiten Einfahren die Bodentiefe $x_4 - 2\Delta h$, bei einem dritten Einfahren (in Figur 9 nicht dargestellt) $x_4 - 3\Delta h$, usw. repräsentiert. Nach Herstellung des untersten Säulenabschnitts bzw. Segments 34 ändert sich die dem oberen Umkehrpunkt zugeordnete Bodentiefe, d.h. das Anzeigefeld zeigt so lange eine notwendige Aufwärtsbewegung der Rüttleranordnung 1 an, bis die Rüttleranordnung auf eine Bodentiefe zwischen x_2 und x_3 ausgefahren ist, an der ein erstes Segment des Säulenabschnitts 33 hergestellt wird.
- 20
- 25

Die tatsächliche Lage der Umkehrpunkte im Boden, die die Bodentiefe, die einem Umkehrpunkt zugeordnet ist, und auch die Anzahl der Wiederholungsschritte pro Segment müssen dem Geräteführer nicht bekannt sein. Diese werden durch einen Rechner bzw. eine Steuerung basierend auf dem zuvor ermittelten Säulenprofil vorgegeben und den Umkehrpunkten des Anzeigefelds zugeordnet.

30

Das Anzeigefeld zeigt einen ersten Umkehrpunkt und einen zweiten Umkehrpunkt, denen jeweils eine Bodentiefe zugeordnet ist, sowie eine Bewegung der Rüttleranordnung zwischen den beiden Umkehrpunkten sowohl bezüglich einer Bewegungsgeschwindigkeit als auch bezüglich einer Bewegungsrichtung. Hierzu wird in

5 regelmäßigen oder unregelmäßigen Zeitabständen die Position der Rüttleranordnung im Boden (zwischen den zwei Umkehrpunkten) erfasst und auf die Anzeige abgebildet. Bei dem Beispiel gemäß Figur 10 ist ein unterer Umkehrpunkt durch ein unteres Ende eines Anzeigefeldes repräsentiert und ein oberer Umkehrpunkt ist durch ein oberes Ende des Anzeigefeldes repräsentiert, ein Pfeil zeigt die ge-

10 wünschte Bewegungsrichtung (Soll-Bewegungsrichtung) und ein Balken veranschaulicht die Position der Rüttleranordnung zwischen den Umkehrpunkten. Außer einem Balken und einem Pfeil eignen sich selbstverständlich beliebige weitere Symbole zur Anzeige der gewünschten Bewegungsrichtung und des noch erforderlichen Bewegungsumfangs.

15

Die zuvor erläuterten automatischen oder halbautomatischen Verfahren, bei denen eine Materialsäule 30 im Boden mit mehreren Segmenten abhängig von einem Säulenprofil hergestellt wird, ist unabhängig von der Art der Ermittlung des Säulenprofils. Dieses Säulenprofil kann, wie erläutert, automatisch aus einem Bodenprofil erzeugt werden, das beim Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden

20 ermittelt wird.

Das Säulenprofil kann allerdings auch manuell aus einem Bodenprofil erzeugt werden, wie beispielsweise aus einem beim Einfahren der Rüttleranordnung in

25 den Boden ermittelten Bodenprofil oder auch aus einem mittels einer Kernlochbohrung ermittelten Bodenprofils.. So kann beispielsweise zunächst nur die Anzahl und die Lage der einzelnen Segmente in dem Säulenprofil vorgegeben werden, wobei den einzelnen Segmenten dann Eigenschaften, wie beispielsweise Durchmesser oder Festigkeit (die das Verfahren zur Herstellung der einzelnen

30 Segmente bestimmen) manuell zugeordnet werden. Diese Zuordnung kann abhängig von dem Bodenprofil erfolgen. Dieses Vorgehen kann insbesondere dann gewählt werden, wenn der Bodenaufbau grundsätzlich bekannt ist, wenn also bekannt ist, welche Arten von Bodenschichten vorhanden sind und in welcher Abfol-

ge diese Bodenschichten vorhanden sind, wenn jedoch nicht genau bekannt ist, wie dick die einzelnen Bodenschichten sind. Das Bodenprofil zeigt in diesem Fall insbesondere die Schichtgrenzen an, zeigt also an, in welchen Tiefen die Grenzen zwischen einzelnen Schichten liegen. Eine Bedienperson, wie beispielsweise ein

5 Bodeningenieur, kann dann in Kenntnis der Lage der Schichtgrenzen einzelnen Segmenten in dem Säulenprofil bestimmte Eigenschaften zuordnen. Das Säulenprofil wird beispielsweise an einem Display angezeigt. Die Zuordnung von Eigenschaften zu einzelnen Segmenten kann mittels beliebiger Eingabewerkzeuge erfolgen, wie einer Tastatur, sprachgesteuert oder direkt an dem Display, wenn die-

10 ses als Touchpad, wie beispielsweise als Touchpad eines Smartphones oder eines Tablet-Computers, ausgebildet ist. Ein so bereitgestelltes Säulenprofil kann dann bei einem der zuvor erläuterten Herstellungsverfahren verwendet werden.

Merkmale, die zuvor im Zusammenhang mit einem Ausführungsbeispiel erläutert

15 wurden, können selbstverständlich auch mit Merkmalen anderer Ausführungsbeispiele kombiniert werden, auch wenn dies zuvor nicht explizit erwähnt wurde, sofern sich diese Merkmale nicht gegenseitig ausschließen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren, das aufweist:
 - Bereitstellen einer Rüttleranordnung (1), die an einer Tragvorrichtung (2)
 - 5 gehalten ist, die dazu ausgebildet ist, in den Boden (100) einzudringen, und die einen Rüttlermotor aufweist;
 - Einfahren der Rüttleranordnung (1) bis zu einer vorbestimmten Tiefe in den Boden (100);
 - 10 Ermitteln eines Bodenprofils des Bodens (100) beim Einfahren der Rüttleranordnung (1), wobei das Ermitteln des Bodenprofils das Messen wenigstens eines Betriebsparameters der Rüttleranordnung (1) beim Einfahren in den Boden (100) umfasst und wobei das Bodenprofil jeweils einen Bodenparameter (P) für wenigstens zwei unterschiedliche Bodentiefen umfasst.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, das weiterhin aufweist:
 - Herstellen einer Materialsäule (30) unter Verwendung der Rüttleranordnung (1) abhängig von dem Bodenprofil in dem Boden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, das weiterhin aufweist:
 - 20 Einfahren der Rüttleranordnung (1) getrieben durch die Tragvorrichtung (2) mit wenigstens annäherungsweise konstanter Geschwindigkeit in den Boden;
 - Messen einer Leistungsaufnahme des Rüttlermotors als Betriebsparameter beim Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden (100).
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 1, das weiterhin aufweist:
 - Ausüben einer wenigstens annäherungsweise konstanten Kraft auf die Rüttleranordnung (1) durch die Tragvorrichtung (2) beim Einbringen der Rüttleranordnung (1) in den Boden (100);
 - 30 Messen einer Geschwindigkeit, mit der die Rüttleranordnung in den Boden einfährt, als Betriebsparameter.
5. Verfahren nach Anspruch 1, das weiterhin aufweist:

Einfahren der Rüttleranordnung (1) getrieben durch die Tragvorrichtung (2) mit wenigstens annäherungsweise konstanter Geschwindigkeit in den Boden;

Messen einer Schwingungsamplitude einer Spitze der Rüttleranordnung (1) als Betriebsparameter beim Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden (100).

5

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Herstellen der Materialsäule (30) abhängig von dem Bodenprofil derart erfolgt, dass ein Durchmesser der Materialsäule (30) in einer bestimmten Bodentiefe abhängig ist von dem für diese Bodentiefe ermittelten Bodenparameter.

10

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der für eine bestimmte Bodentiefe ermittelte Bodenparameter abhängig ist von einer Bodendichte und/oder einer Bodensteifigkeit, und bei dem die Materialsäule derart hergestellt wird, dass der Durchmesser der Materialsäule mit abnehmender Bodendichte und/oder abnehmender Bodensteifigkeit zunimmt.

15

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Herstellen der Materialsäule (30) das Herstellen von wenigstens zwei Segmenten aufweist, wobei das Herstellen jedes Segments aufweist:

20

a) Anheben der Rüttleranordnung (1) um eine vorbestimmte Aufwärts-Wegstrecke, so dass ein Hohlraum unterhalb der Rüttleranordnung (1) entsteht;

b) Einbringen eines Füllmaterials (G) in den Hohlraum;

25

c) Einfahren der Rüttleranordnung (1) um eine vorbestimmte Abwärts-Wegstrecke in das Füllmaterial;

d) Wiederholen der Verfahrensschritte a) bis c) n-mal, mit $n \geq 0$.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Aufwärts-Wegstrecke und die Abwärts-Wegstrecke in den Schritten a) und b) jeweils gleich sind.

30

10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Abwärts-Wegstrecke im Schritt b) um eine Wegdifferenz (Δh) kleiner als die Aufwärts-Wegstrecke im unmittelbar

vorangehenden Schritt a) ist und bei dem jeder Wiederholung die Aufwärts-Wegstrecke im Schritt a) gleich der Abwärts-Wegstrecke im unmittelbar vorangehenden Schritt b) ist.

5 11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Wegdifferenz (Δh) bei allen Wiederholungen gleich ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei dem für die Herstellung eines Materialsäulenabschnitts in einer vorbestimmten Bodentiefe, die Anzahl n
10 der Wiederholungen im Schritt d) abhängig ist von dem für diese Bodentiefe ermittelten Bodenparameter.

13. Verfahren nach Anspruch 12,
bei dem der Bodenparameter abhängig ist von einer Bodendichte und/oder
15 einer Bodensteifigkeit, und
bei dem die Anzahl n der Wiederholungen mit abnehmender Bodendichte und/oder abnehmender Bodensteifigkeit zunimmt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei dem die Festigkeit des
20 Segments während der Herstellung gemessen wird und bei dem die Anzahl n der Wiederholungen von der gemessenen Festigkeit abhängig ist.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Rüttleranordnung aufweist:
25 ein Rüttlerrohr (11) mit einem oberen und einem unteren Ende;
einen an dem Rüttlerrohr (11) angeordneten Rüttler (12) mit dem Rüttlermotor.

16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem der Rüttler (12) als Tiefenrüttler ausgebildet und an einem unteren Ende des Rüttlerrohres (11) befestigt ist.
30

17. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem der Rüttler (12) als Aufsatzrüttler ausgebildet und an einem oberen Ende des Rüttlerrohres (11) befestigt ist.

18. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das Rohr als Silorohr ausgebildet ist.
19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Tragvorrichtung (2) einen Tragarm eines Erdbaugeräts aufweist.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, bei dem die Tragvorrichtung einen Mast (25) und einen an dem Mast verfahrbaren Schlitten (24) aufweist.
- 10 21. Verfahren zur Herstellung einer Materialsäule (30) im Boden (100), wobei das Verfahren aufweist:
- Bereitstellen einer Rüttleranordnung (1), die an einer Tragvorrichtung (2) gehalten ist und die dazu ausgebildet ist, in den Boden (100) einzudringen;
- Einfahren der Rüttleranordnung in den Boden (100);
- 15 Mehrfaches Verfahren der Rüttleranordnung in dem Boden zwischen Umkehrpunkten, nämlich einem oberen Umkehrpunkt und einem Umkehrpunkt, und Einbringen von Füllmaterial in den Boden beim Verfahren der Rüttleranordnung vom unteren Umkehrpunkt zum oberen Umkehrpunkt; und
- Erfassen einer Position der Rüttleranordnung im Boden;
- 20 wobei die Umkehrpunkte durch eine Steuerung vorgegeben werden, und wobei eine Bewegung der Rüttleranordnung zwischen den Umkehrpunkten, in einem elektronischen Anzeigefeld dargestellt wird, das eine Soll-Bewegungsrichtung der Rüttleranordnung sowie die Position der Rüttleranordnung zwischen den Umkehrpunkten anzeigt.
- 25 22. Verfahren nach Anspruch 21, das das Herstellen von wenigstens zwei Segmenten der Materialsäule umfasst, wobei das Herstellen eines Segments aufweist:
- a) Anheben der Rüttleranordnung (1) um eine vorbestimmte Aufwärts-
- 30 Wegstrecke bis zu einem oberen Umkehrpunkt, so dass ein Hohlraum unterhalb der Rüttleranordnung (1) entsteht;
- b) Einbringen eines Füllmaterials (G) in den Hohlraum;

c) Einfahren der Rüttleranordnung (1) um eine vorbestimmte Abwärts-Wegstrecke in das Füllmaterial bis zu einem unteren Umkehrpunkt;

d) Wiederholen der Verfahrensschritte a) bis c) n-mal, mit $n \geq 0$.

5 23. Verfahren nach Anspruch 22, bei dem die oberen Umkehrpunkte bei jeder Wiederholung gleich sind und bei dem die unteren Umkehrpunkte bei jeder Wiederholung gleich sind.

10 24. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Abwärts-Wegstrecke im Schritt b) um eine Wegdifferenz (Δh) kleiner als die Aufwärts-Wegstrecke im unmittelbar vorangehenden Schritt a) ist und bei dem jeder Wiederholung die Aufwärts-Wegstrecke im Schritt a) gleich der Abwärts-Wegstrecke im unmittelbar vorangehenden Schritt b) ist.

15 25. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Wegdifferenz (Δh) bei allen Wiederholungen gleich ist.

20 26. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 25,
bei dem das Anzeigefeld ein unteres Ende aufweist, das einen unteren Umkehrpunkt repräsentiert, und ein oberes Ende aufweist, das einen oberen Umkehrpunkt repräsentiert,
und bei dem ein zwischen dem oberen und dem unteren Ende angeordneter Balken die Position der Rüttleranordnung zwischen den Umkehrpunkten anzeigt.

25

27. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem ein Richtungspfeil in oder neben dem Anzeigefeld die Soll-Bewegungsrichtung der Rüttleranordnung anzeigt.

30

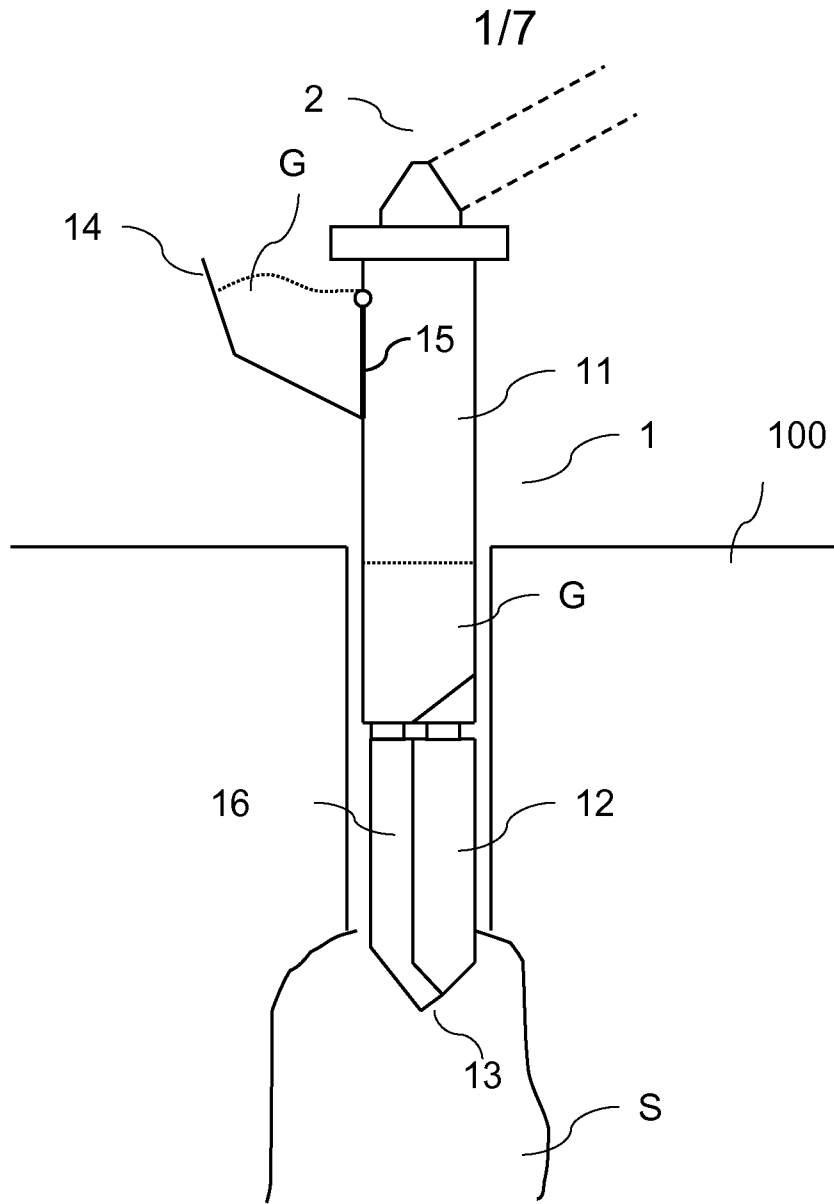


FIG 1

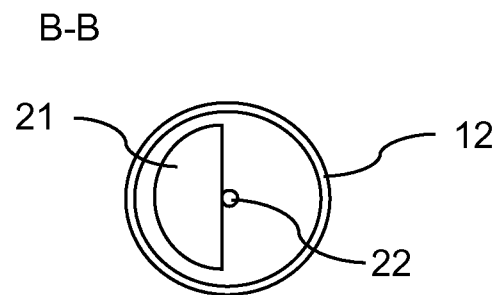


FIG 2

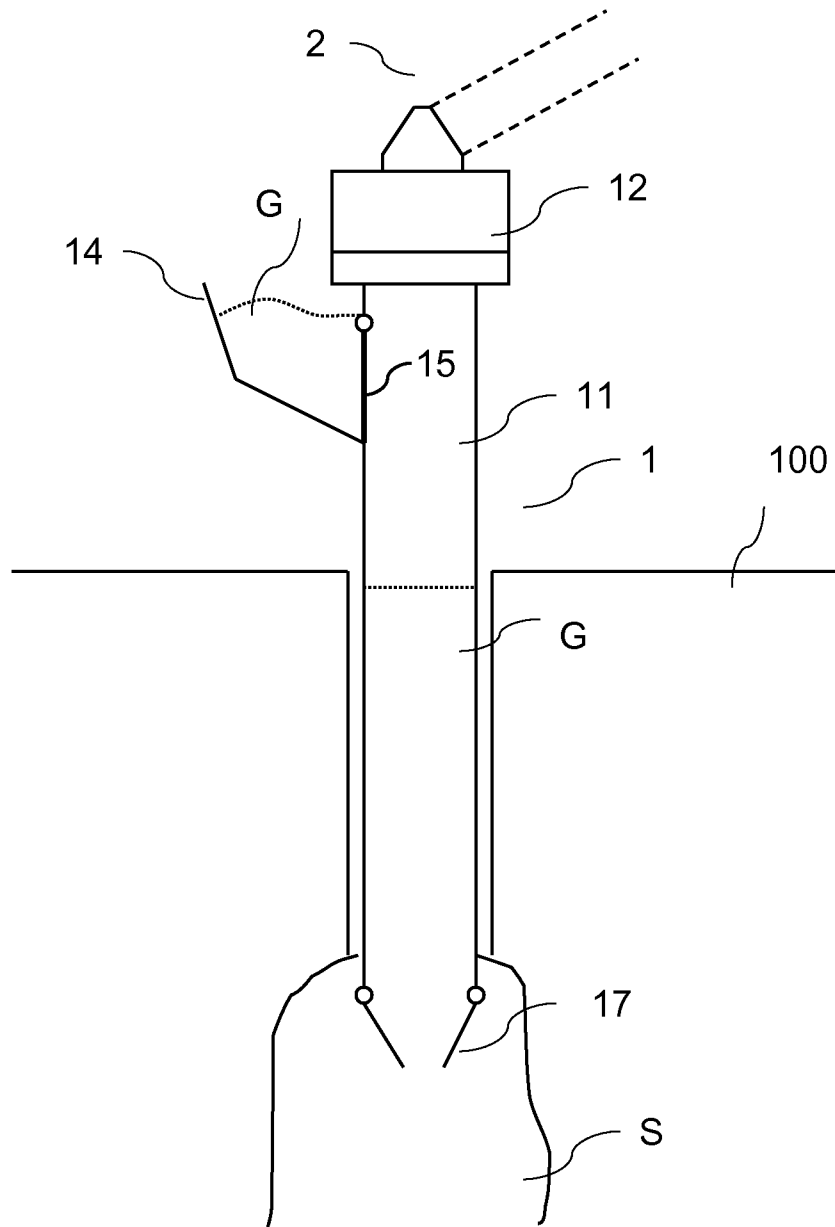


FIG 3

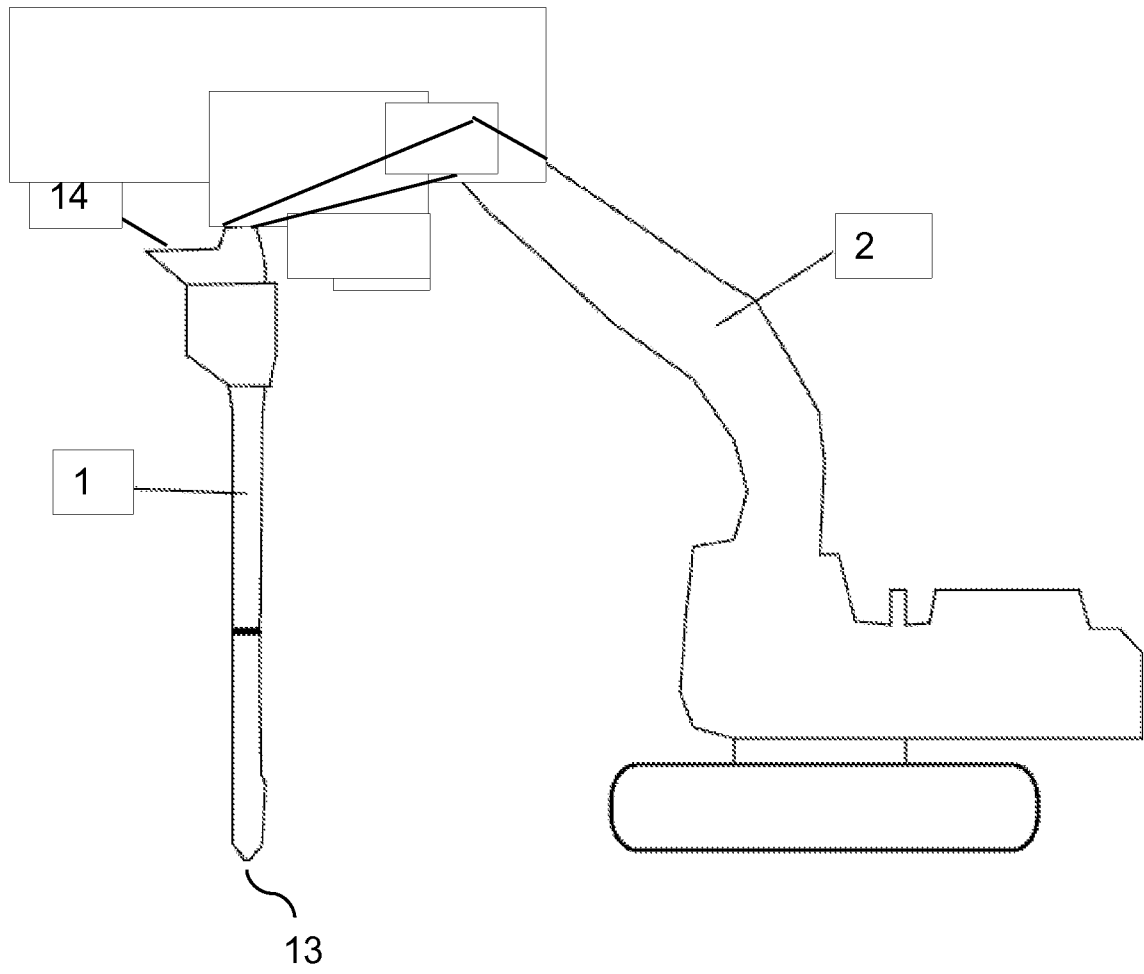


FIG 4

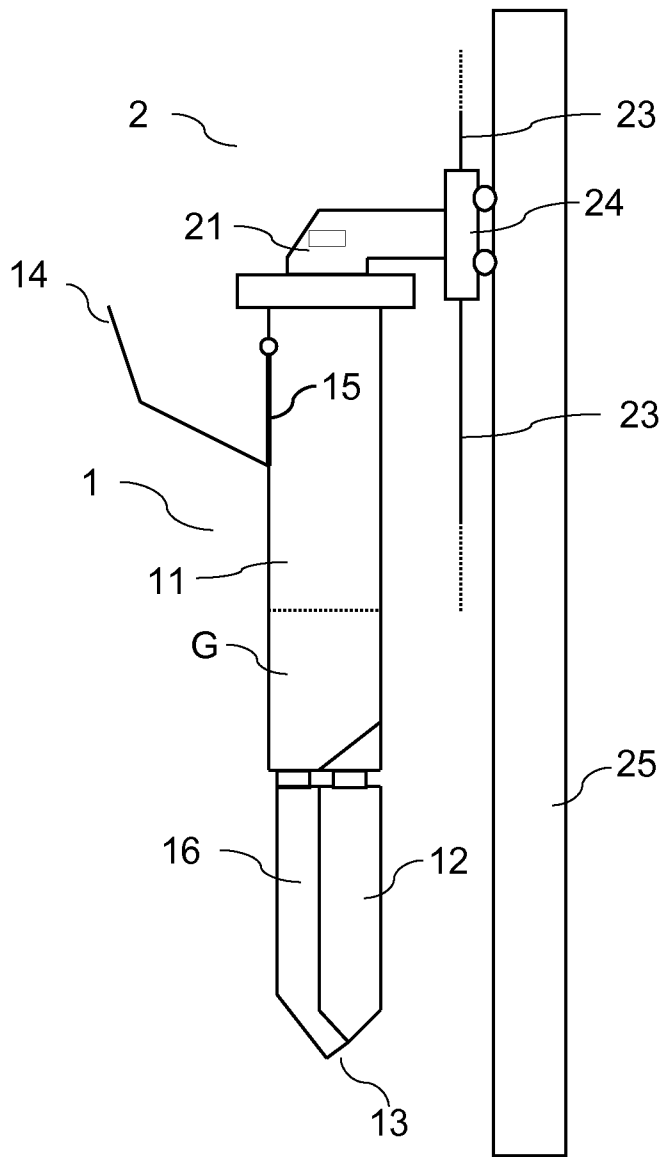


FIG 5

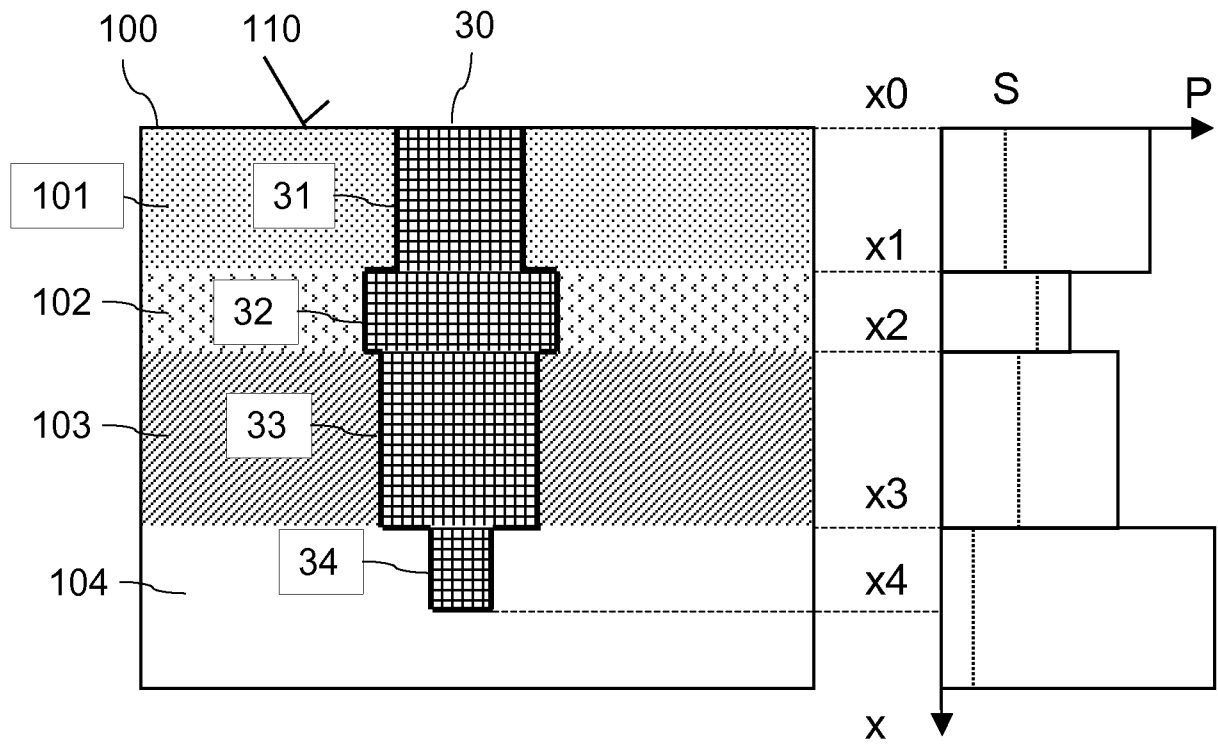


FIG 6

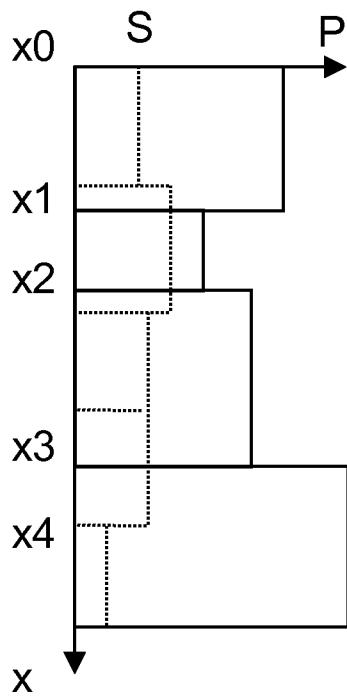


FIG 7

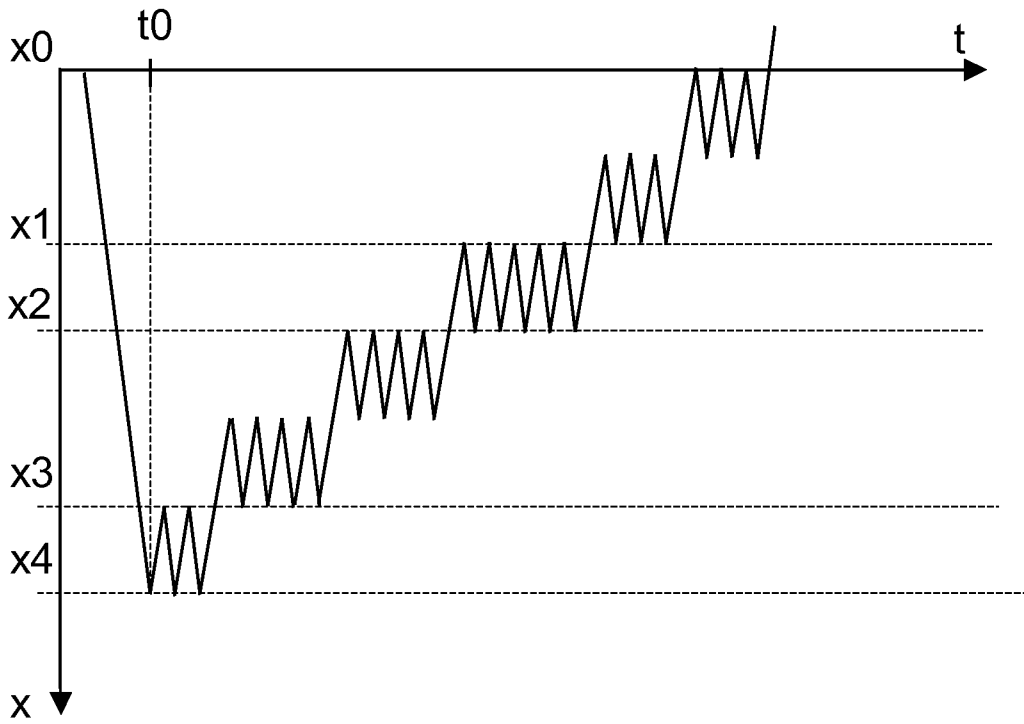


FIG 8

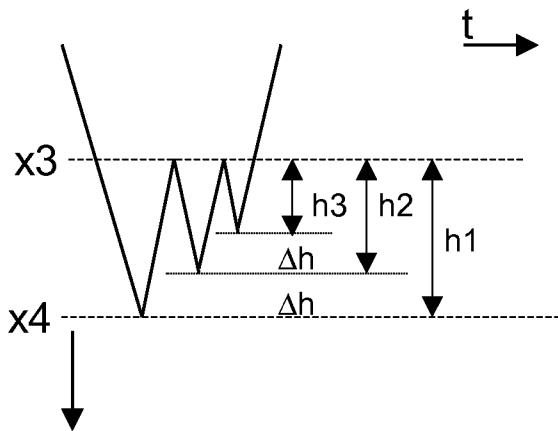


FIG 9

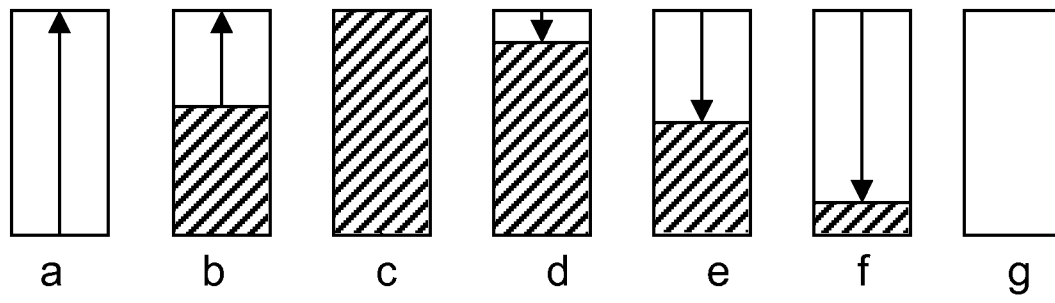


FIG 10