

(19)



(11)

EP 2 662 499 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

13.11.2013 Patentblatt 2013/46

(51) Int Cl.:

E02D 29/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13166376.7**

(22) Anmeldetag: **03.05.2013**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

• **TuTech Innovation GmbH**
21079 Hamburg (DE)

(72) Erfinder: **Grabe, Jürgen**
21075 Hamburg (DE)

(74) Vertreter: **Hansen, Jochen**
Hansen und Heeschen
Patentanwälte
Eisenbahnstrasse 5
21680 Stade (DE)

(30) Priorität: **08.05.2012 DE 102012104009**

(71) Anmelder:

• **Technische Universität Hamburg-Harburg**
21073 Hamburg (DE)

(54) **Qualitätssicherungsverfahren zum Erstellen von Pfählen sowie offenes Profil dafür**

(57) Die Erfindung betrifft ein Qualitätssicherungsverfahren zum Erstellen von Pfählen im Untergrund (U) mit einem voreilenden, offenen Profil und innenseitiger Abförderung des Bodens oder bei unterem Verschluss des Profils Verdrängung des Bodens, wobei am Fuß (11) des offenen Profils (1) innenseitig entlang einer Sehne

des Profils (1) eine Kompressionswellengeschwindigkeit (v_p) des Untergrundes (U) gemessen wird.

Ferner betrifft die Erfindung ein Profil (1) für die Erstellung von Pfählen im Untergrund (U), wobei am Fuß (11) des Profils (1) innenseitig wenigstens ein Schallsender (31) und entlang einer Sehne gegenüberliegend wenigstens ein Schallempfänger (32) vorgesehen sind.

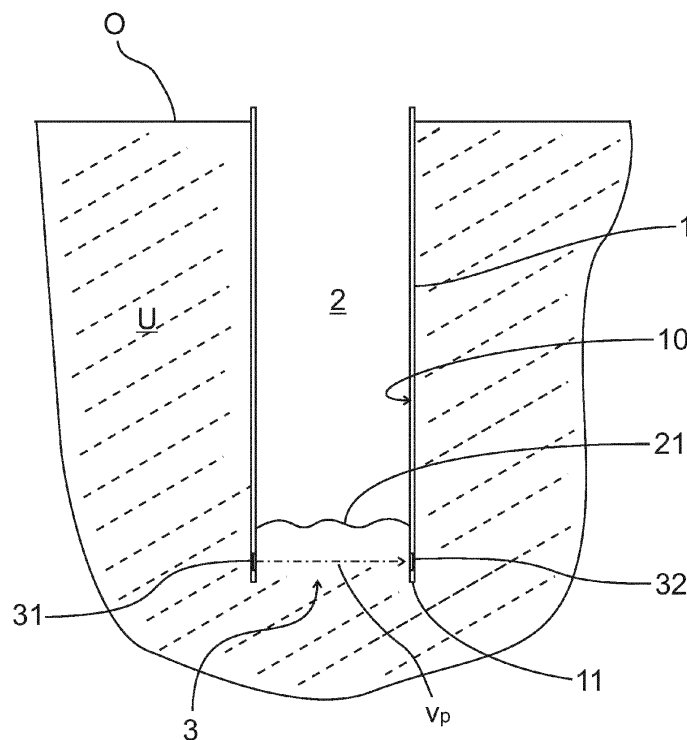


Fig. 1

EP 2 662 499 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Qualitätssicherungsverfahren zum Erstellen von Pfählen im Untergrund mit einem voreilenden, offenen Profil und innenseitiger Abförderung des Bodens oder bei unterem Verschluss des Profils Verdrängung des Bodens. Ferner betrifft die Erfindung ein offenes Profil für die Erstellung von Gründungspfählen.

[0002] Offenes Profil bedeutet dabei ein Bauteil mit einem in sich geschlossenen, in Längsrichtung entlang des Profils im Wesentlichen gleichen Querschnitt. Das Profil ist unten und oben offen. Entsprechend können offene Profile neben kreisförmigen Verrohrungen auch Vierkantrohre, Kastenprofile, Schächte, Senkkästen und dergleichen sein. Als Pfahl ist dabei jegliche Form einer durch ein derartiges offenes Profil erstellten Gründung gemeint.

[0003] Pfähle sind zur Gründung von Bauwerken in schwierigen Untergründen bekannt. Sie dienen zum Abtragen von Lasten in größere Tiefen. Insbesondere sind Bohrpfähle zur erschütterungsfreien Herstellung von Pfahlgründungen für Bauwerke auf nicht ausreichend standfestem Untergrund bekannt. Bei dem Erstellen von Bohrpfählen wird beispielsweise ein einen kreisförmigen Querschnitt aufweisendes, offenes Profil, hier als Verrohrung mit einer oszillierenden Bewegung in den Untergrund gedrückt. Gleichzeitig wird der im Innenraum dieser Verrohrung enthaltene Boden als Bohrgut mit einem in der Verrohrung geführten Greifer oder Spülverfahren entnommen. Anschließend wird ein Bewährungskorb in den freigelegten Innenraum der Verrohrung eingesetzt und betoniert, wobei die Verrohrung wieder entfernt wird.

[0004] An diesem Verfahren ist kritisch, dass bei einer zu geringen Voreilung der Verrohrung zu der Bohrgutentnahme eine Auflockerung des Bodens im Bereich der Bohrlochsohle auftritt. Insbesondere kann es bei gebohrten Pfählen unbemerkt passieren, dass der Boden am Bohrpfahlfuß durch den Bohrvorgang entspannt oder erheblich aufgelockert wird. Im Grundwasser kann es an der Bohrlochsohle zu einem hydraulischen Grundbruch mit der Folge von Auslockerungen oder Transport von Bodenteilchen kommen. Des weiteren kann bei ungeübten Gerätefahrern ein tieferer Aushub als die Verrohrung geschehen. Die Verrohrung muss eigentlich vorlaufend sein, um die seitliche Stützung des Bodens zu gewährleisten. Eine Auflockerung der Bohrlochsohle führt zu einem verschlechterten Pfahltragverhalten.

[0005] Bisher war es bekannt, einem hydraulischen Grundbruch durch einen ausreichenden Wasserstand in der Verrohrung und einem gefühlvollen Niederbringen und Austragen des Bohrgutes durch den Maschinenführer zu begegnen. Die tatsächlich erreichte Qualität dieser auf Erfahrungen basierenden, gefühlvollen Maschinenführung kann nicht herstellungsparell beurteilt werden.

[0006] Ferner ist es bekannt, bei in den Untergrund eingebrachten offenen Profilen eine Pfropfenbildung zu

nutzen, um die gesamte Sohlfläche des eingebrachten offenen Profils als lasteintragende Fläche nutzen zu können. Ein Pfropfen bildet sich, wenn sich der Boden innerhalb des Profils ausreichend verspannt. Ist also eine Gründung mit einem in den Untergrund eingetriebenen offenen Profil mit Pfropfenbildung gewünscht oder zu erwarten, kann deren Qualität bisher nicht herstellungsparell beurteilt werden.

[0007] Weiter ist es im sog. Franki-Pfahl bekannt, ein mit einem Pfropfen aus trockenem Beton unten verschlossenes Profil mit einem sog. Rammbaren in den Untergrund zu bringen. Dabei wird der Boden von dem mit dem Betonpfropfen unten geschlossenen Profil verdrängt. Bei Erreichen des tragfähigen Baugrundes kommt der Vortrieb des Profils zum Stillstand und der trockene Betonpfropfen wird von dem Rammbaren am Fuß unter weiterer Verdrängung des Bodens ausgetrieben und zu einem querschnittserweiterten Fuß ausgestampft, wobei das Grundwasser anschließend zum hydraulischen Aushärten des aufgeweiteten Fußes führt.

[0008] Auch bei dieser bereits 100 Jahre alten Gründungsmethode wird bisher keine herstellungsparelle Verifizierung der Betonfußausbildung gegeben.

[0009] Verfahren und Vorrichtungen zur Messung der Kompressionswellengeschwindigkeit von Erdformationen sind im Bereich der Bohrlochmesstechnik in unterschiedlicher Gestaltung bekannt. Beispielsweise wird auf die DE 31 06 345 A1 verwiesen, in der eine Bohrlochsonde mit einem Schallsender und einem Schallempfänger ausgestattet ist, wobei die Aufzeichnungen als Funktion der Tiefe im Bohrloch erhalten werden.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Qualitätssicherungsverfahren zum Erstellen von Bohrpfählen und eine entsprechend dafür vorbereitete Verrohrung anzugeben, bei der die Qualität der Pfahlherstellung überwacht werden kann.

[0011] Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Qualitätssicherungsverfahren gemäß Anspruch 1 und einem Profil gemäß Anspruch 6.

[0012] Dadurch, dass am Fuß des Profils innenseitig entlang einer Sehne des Querschnitts des Profils eine Kompressionswellengeschwindigkeit des Untergrundes gemessen wird, wird die Kompressionswellengeschwindigkeit im Bereich des Untergrundes nahe der Bohrlochsohle gemessen, auf den später der betonierte Pfahl abgesetzt wird. Dabei bedeutet "entlang einer Sehne des Querschnitts des Profils" eine Messung der Kompressionswellengeschwindigkeit senkrecht zur Längserstreckung des Profils, also im Querschnitt des Profils von einem Punkt des Querschnitts des Profils zu einem gegenüber liegenden weiteren Punkt auf dem Querschnitt des Profils. Dabei kann die Messstrecke bevorzugt diagonal über dem Querschnitt des Profils, bei kreisförmigen Verrohrungen insbesondere auf dem Durchmesser, aber auch auf kürzeren Strecken (Sehnen) gemessen werden. Da die Wellengeschwindigkeit gleich der Wurzel aus dem Quotienten aus dem druck- und bodenabhängigen Elastizitätsmodul zur Dichte ist, deutet eine Ab-

nahme der Wellengeschwindigkeit auf eine Entspannung bzw. Auflockerung des Bodens im Inneren am Fuße des Profils hin. Dem gegenüber deutet eine Zunahme der Wellengeschwindigkeit auf das Erreichen einer tragfähigen Bodenschicht hin. Somit erhält der Gerätefahrer durch die Informationen aus der Schallmessung einen Messwert zur Beurteilung der Herstellqualität der Pfahlgründung. Vorrichtungsgemäß wird dies dadurch ermöglicht, dass am Fuß des Profils innenseitig wenigstens ein Schallsender und entlang einer Sehne im Querschnitt des Profils gegenüberliegend wenigstens ein Schallempfänger vorgesehen sind. Als Schallsender und -empfänger können beispielsweise Piezosensoren, insbesondere Ultraschallsensoren verwendet werden. Um eine repräsentative Messstrecke zu erzielen, sollte die Messstrecke entlang einer Sehne des Profils, beispielsweise über den kreisförmigen Querschnitt bei einer Verrohrung, insbesondere über dessen Durchmesser ausgeführt werden. Bei mehreren

[0013] Schallsendern und -empfängern kann beispielsweise kreuzweise über zwei im wesentlichen zueinander senkrecht stehenden Durchmesser-Messstrecken gemessen werden. Selbstverständlich sind auch andere geometrische Verteilungen möglich.

[0014] Ebenso ist es bei einer Pfahlgründung mit Pfropfenbildung möglich, über die Sender/Empfänger am Fuße des Profils die Verfestigung im Bereich des Pfropfens durch eine entsprechend erhöhte Kompressionswellengeschwindigkeit nachzuweisen. Im Umkehrschluss kann damit auch eine nicht erreichte Pfropfenbildung durch eine zu geringe Kompressionswellengeschwindigkeit nachgewiesen werden.

[0015] Beim Setzen von Franki-Pfählen kann die Lage des Trockenbetons durch Messen der Kompressionswellengeschwindigkeit überwacht werden.

[0016] Ferner kann beim Niederbringen derartiger Profile in den Untergrund mittels der an dem Profil angeordneten Schallsender und -empfänger eine Baugrunderkundung erfolgen, in dem die fast noch ungestörte Kompressionswellengeschwindigkeit des Untergrundes beim Niederbringen des Profils gemessen wird.

[0017] Um den besonders kritischen Bereich von der Bohrlochsohle bis zum Fuß des Profils durchschallen zu können, sind die Sender/Empfänger 5 cm bis 40 cm, bevorzugt 10 cm bis 30 cm, besonders bevorzugt ca. 20 cm über dem unteren Ende des Profils angeordnet. Damit liegen die Sender/Empfänger im Bereich der Voreilung des Profils gegenüber der Bohrgutentnahme. Somit liefert die ermittelte Kompressionswellengeschwindigkeit des Untergrundes ein Mass für die Tragfähigkeit oder Auflockerung des Untergrundes an der Bohrlochsohle.

[0018] Wenn vom Fuß des Profils eine an der Bohrlochsohle reflektierte Welle gemessen wird, kann die Höhendifferenz zwischen der freigelegten Bohrlochsohle bis zur Unterkante des Profils ermittelt werden. Somit sind auch durch Auflockerungen oder hydraulischen Grundbruch entstandene Auflockerungen im Bereich der Bohrlochsohle erkennbar. Insbesondere wird dabei unter

Zugrundelegung der gemessenen Kompressionswellengeschwindigkeit aus der Laufzeit der reflektierten Welle auf die Voreilung des Fußes des Profils zur Bohrlochsohle geschlossen. Bei unterem Verschluss des Profils durch einen Trockenbetonfuß wird die vom unteren Rand des Trockenbetonfusses reflektierte Welle gemessen. Aus der dabei ermittelten Frühfestigkeitsentwicklung kann dann nach Ziehen der Verrohrung (Profil) über Korrelation die Endfestigkeit abgeschätzt werden.

[0019] Wenn nach Erreichen der Endtiefe oder einer Zwischentiefe die zeitliche Veränderung der Voreilung gemessen wird, kann bei bindigen Böden die Veränderung der Bohrlochsohlenlage infolge Relaxationshebungen indirekt gemessen werden. Daraus kann auf den Zähigkeitsindex und die "over consolidation rate" (OCR) geschlossen werden, womit für die Gründung bodenmechanisch wichtige Parameter ermittelt werden können. Vorrichtungsgemäß sind die Sender/Empfänger im Profil eingelassen, um beim oszillierenden Eindrücken und/oder beim Ziehen des Profils eine Beschädigung der Sender/Empfänger zu vermeiden.

[0020] Wenn zu jedem Sender/Empfänger eine im Profil geschützt eingebrachte Kabelverbindung zur Spannungs- und Signalübertragung vorgesehen ist, können die Messgeräte direkt vom Gerätefahrer angesteuert und die Messwerte unmittelbar angezeigt und ausgewertet werden.

[0021] Alternativ hat jeder Sender/Empfänger eine Spannungsversorgung, insbesondere Akkumulator, um für einen Pfahlgründungseinsatz eingesetzt werden zu können. Dabei werden die Messdaten kabellos über Datenübertragungsmittel, beispielsweise durch Funk- oder Ultraschallübertragung übermittelt, womit ebenfalls eine simultane Messdatenauswertung möglich ist. Alternativ kann auch ein Signallogger am Sender/Empfänger vorgesehen sein, der nach Erstellung der Pfahlgründung ausgelesen wird. Bei dieser Ausgestaltung ist zwar eine simultane Qualitätskontrolle nicht möglich, jedoch können die aufgezeichneten Werte für die Absicherung der Standsicherheit der erstellten Pfahlgründung verwendet werden. Vorteilhaft ist in dieser Ausgestaltung das Fehlen jeglicher, in der Bohrsituation möglicherweise gestörten und empfindlichen Übertragungsmittel.

[0022] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen detailliert beschrieben.

[0023] Darin zeigt:

Fig. 1 eine im Untergrund eingedrückte Verrohrung mit der sich ausbildenden Bohrlochsohle in einem schematischen Querschnitt und

Fig. 2 im Detail der untere Bereich der Verrohrung mit einer sich ausbildenden reflektierten Welle.

[0024] In Fig. 1 ist im schematischen Querschnitt durch einen Bereich des Untergrundes U ein von einer Verrohrungsmaschine eingedrücktes Profil, hier eine Verroh-

5 rung 1 mit einem im Wesentlichen freigeräumten Innenraum 10 dargestellt. Die Verrohrung 1 wird beginnend von der Erdoberfläche O an der gewünschten Stelle von einer hier nicht dargestellten Verrohrungsmaschine durch oszillierende Bewegung eingedrückt. Gleichzeitig wird dabei mit einem ebenfalls nicht dargestellten Greifer der Innenraum 10 der Verrohrung 1 vom Bohrgut freigeräumt. Es entsteht somit ein Bohrloch 2 im Untergrund U, das durch die Verrohrung 1 offen gehalten wird. Das Abfordern des Bohrgutes wird dabei so vorgenommen, dass die Bohrlochsohle 21 um ca. 0,5 m oberhalb des Fußes 11 der Verrohrung liegt. Um einen hydraulischen Grundbruch im Bereich der Bohrlochsohle 21 zu vermeiden, ist in dem Bohrloch 2 (Innenraum 10 der Verrohrung 1) eine einen Gegendruck aufbauende Stützflüssigkeit, beispielsweise Wasser eingefüllt.

[0025] Nahe des Fußes 11 der Verrohrung 1 sind Sender/Empfänger 3, hier bestehend aus einem Schallsender 31 und einem auf dem Durchmesser gegenüber liegend angeordneten Schallempfänger 32 angeordnet. Der Schallsender 31 und der Schallempfänger 32 sind in Ausnahmen 12, die ca. 20 cm oberhalb des Fußes 11 der Verrohrung 1 eingebracht sind, eingesetzt. Der Schallsender 31 sendet bei Aktivierung ein in Fig. 1 dargestelltes Schallsignal aus, das vom Schallempfänger 32 gegenüberliegend aufgenommen wird. Aufgrund der messbaren Laufzeit des Schallsignals durch den Boden im Bereich unterhalb der Bohrlochsohle 21 ist somit die Kompressionswellengeschwindigkeit v_p ermittelbar. Da die Wellengeschwindigkeit gleich der Wurzel aus dem Quotienten aus dem druck- und bodenabhängigen Elastizitätsmodul zur Dichte ist, nämlich $v_p = \sqrt{E/\rho}$, mit E = Elastizitätsmodul und ρ = Dichte des Bodens, kann somit aus der gemessenen Geschwindigkeit die Bodentragfähigkeit hergeleitet werden.

[0026] In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird ebenfalls durch geeignete Ansteuerung und Messaufnahme des Schallsenders 31 und des Schallempfängers 32 eine an der Bohrlochsohle 21, also dem Übergang zwischen dem noch feststehenden Boden im Innenraum 10 der Verrohrung 1 und dem geschaffenen Bohrloch 2 reflektierte Welle gemessen (Fig. 2). Aufgrund der gemessenen Laufzeit und der zu Grunde zu legenden Kompressionswellengeschwindigkeit aus der Messung gemäß Fig. 1 kann somit die Höhe der Bohrlochsohle 21 über dem Fuß 11 der Verrohrung 1 ermittelt werden.

[0027] Mit dem erfindungsgemäßen Qualitätssicherungsverfahren sowie der erfindungsgemäßen Verrohrung ist es somit möglich bei der Erstellung eines Bohrpfahls bereits beim Niederbringen der Verrohrung und dem Fördern des Bohrgutes die Qualität der Gründung zu erfassen und etwaigen Risiken aufgrund von hydraulischem Grundbruch und/oder Auflockerungen des Bodens unmittelbar entgegen wirken zu können. Dabei können Auflockerungen in Folge hydraulischen Grundbruch oder extremer Bodenentspannung durch eine deutlich verringerte Kompressionswellengeschwindigkeit verifiziert werden. Ferner kann durch die erfindungsgemäßen

Merkmale beim Erstellen von Bohrpfählen stets das Voreilen der Verrohrung, also das Maß zwischen dem Fuß 11 der Verrohrung 1 und der Bohrlochsohle 21 durch Auswerten der an der Bohrlochsohle reflektierten Welle ermittelt werden. Weiter kann die in der Tiefe gewünschte tragfähige Bodenschicht durch das Messen der Kompressionsgeschwindigkeit (Merkmal große Kompressionswellengeschwindigkeit) verifiziert werden. Ggf. kann so bereits bei geringerer Tiefe mit dem Setzen des Bohrpfahles aufgehört werden, was eine deutliche Kostenersparnis bedeutet. Ferner kann der Viskositätsindex bzw. der Erddruckbeiwert bei überkonsolidiertem Boden ermittelt werden.

[0028] Damit ist das erfindungsgemäße Qualitätssicherungsverfahren sowie die erfindungsgemäße Verrohrung eine Maßnahme zur arbeitsparallelen Qualitätskontrolle beim Absetzen von Bohrpfählen im Untergrund. Durch die simultan ermittelten Messergebnisse kann u. U. eine Einsparung an Pfahlänge erreicht werden oder eine verbesserte Qualität, also höhere Tragfähigkeit verifiziert werden. Ferner kann die begleitende Messung auch als indirekter Baugrundaufschluss des ungestörten Bodens hinsichtlich Lagerungsdichte und Spannungszustand dienen.

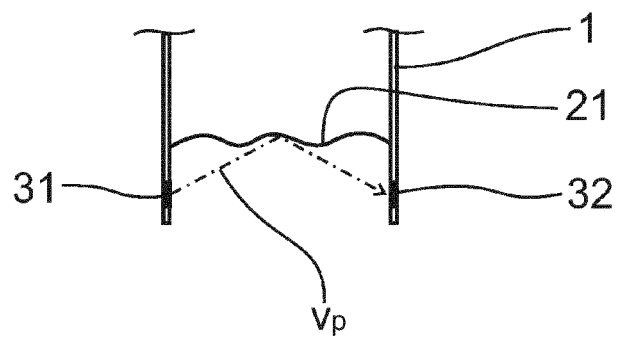
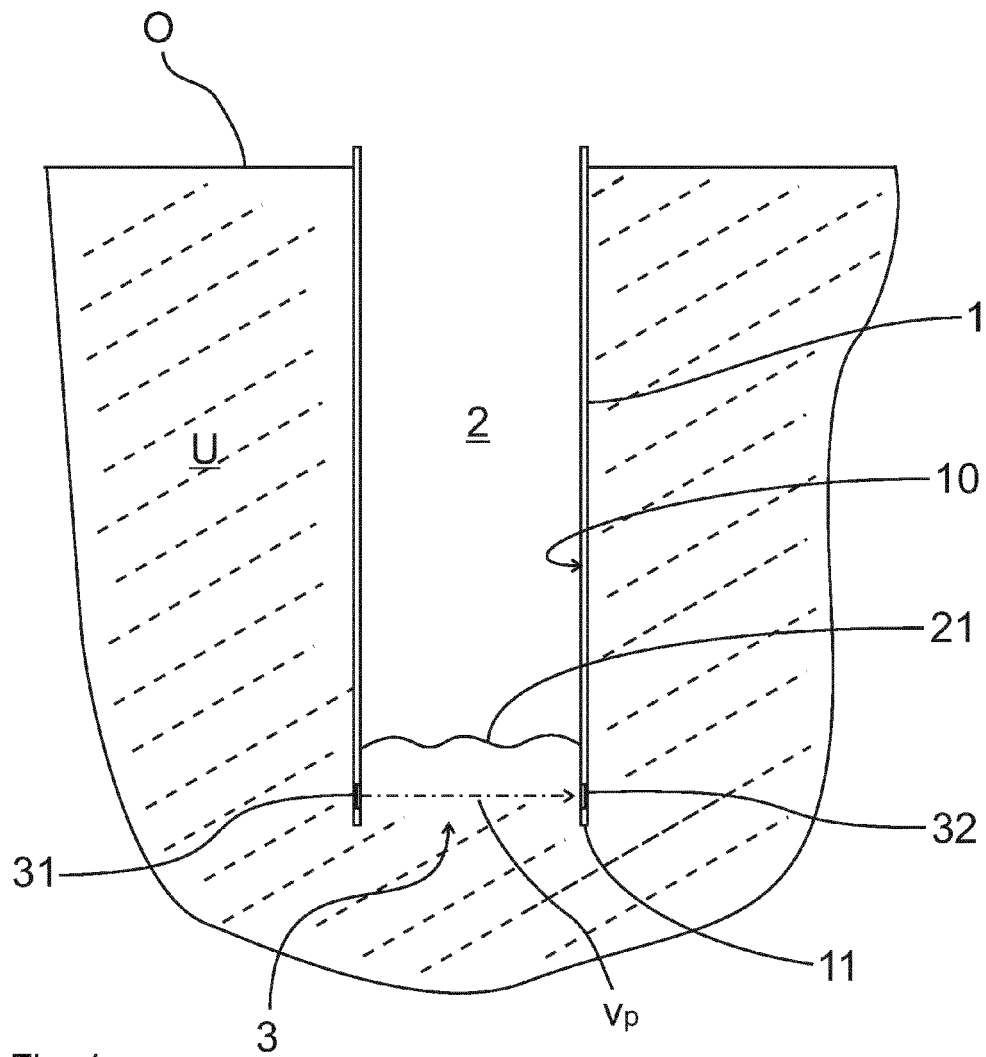
Bezugszeichenliste

1	offenes Profil, Verrohrung
10	Innenraum
11	Fuß
12	Ausnahme
2	Bohrloch
21	Bohrlochsohle
3	Sender/Empfänger
31	Schallsender
32	Schallempfänger
O	Erdoberfläche
U	Untergrund
v_p	Kompressionswellengeschwindigkeit

Patentansprüche

1. Qualitätssicherungsverfahren zum Erstellen von Pfählen im Untergrund (U) mit einem voreilenden, offenen Profil und innenseitiger Abförderung des Bodens oder bei unterem Verschluss des Profils Verdrängung des Bodens, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Fuß (11) des offenen Profils (1) innenseitig entlang einer Sehne des Querschnitts des Profils (1) eine Kompressionswellengeschwindigkeit (v_p) des Untergrundes (U) gemessen wird.
2. Qualitätssicherungsverfahren nach Anspruch 1, **da-**

- durch gekennzeichnet, dass** die ermittelte Kompressionswellengeschwindigkeit (v_p) des Untergrundes (U) ein Mass für die Tragfähigkeit oder Auflockerung des Untergrundes (U) am Fuß (11) des Profils (1) liefert. 5
3. Qualitätssicherungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** vom Fuß (11) des Profils (1) eine an einer Bohrlochsohle (21) reflektierte Welle oder bei unterem Verschluss des Profils durch einen Trockenbetonfuß die vom unteren Rand des Trockenbetonfusses reflektierte Welle gemessen wird. 10
4. Qualitätssicherungsverfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** unter Zugrundelegung der gemessenen Kompressionswellengeschwindigkeit (v_p) aus der Laufzeit der reflektierten Welle auf die Voreilung des Fußes (11) des Profils (1) zur Bohrlochsohle (21) geschlossen wird. 15 20
5. Qualitätssicherungsverfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Erreichen der Endtiefe oder einer Zwischentiefe die zeitliche Veränderung der Voreilung gemessen wird. 25
6. Profil (1) für die Erstellung von Pfählen im Untergrund (U), zur Durchführung eines Qualitätssicherungsverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Fuß (11) des Profils (1) innenseitig wenigstens ein Schallsender (31) und entlang einer Sehne im Querschnitt des Profils gegenüberliegend wenigstens ein Schallempfänger (32) vorgesehen sind. 30 35
7. Profil (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sender/Empfänger (3) 5 cm bis 40 cm, bevorzugt 10 cm bis 30 cm, besonders bevorzugt ca. 20 cm über dem unteren Ende des Profils (1) angeordnet sind. 40
8. Profil (1) nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sender/Empfänger (3) im Profil (1) eingelassen sind. 45
9. Profil (1) nach Anspruch 6, 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu jedem Sender/Empfänger (3) eine im Profil (1) geschützte Kabelverbindung zur Versorgungsspannungs- und Signalübertragung vorgesehen sind. 50
10. Profil (1) nach Anspruch 6, 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Sender/Empfänger (3) eine Spannungsversorgung, insbesondere Akkumulator, und einen Signallogger oder kabellose Datenübertragungsmittel haben. 55



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

- DE 3106345 A1 [0009]