

(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
3. Februar 2011 (03.02.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/012406 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01C 9/00 (2006.01) G01D 5/26 (2006.01)
G01C 15/00 (2006.01) G01D 5/353 (2006.01)
E02D 1/00 (2006.01) G01L 1/24 (2006.01)
E02D 17/00 (2006.01) G02B 6/50 (2006.01)
E21B 47/022 (2006.01) E21B 47/04 (2006.01)
E21B 47/12 (2006.01) G01B 11/16 (2006.01)
G01B 7/26 (2006.01)

GMBH [DE/DE]; Im Tiefen See 45, 64293 Darmstadt (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DÖRING, Heinz [DE/DE]; Birkenweg 25, 09648 Mittweida (DE). HAASE, Karl-Heinz [DE/DE]; Theodor-Haubach-Str. 3, 64319 Pfungstadt (DE). HURTIG, Eckart [DE/DE]; Beethovenstrasse 34, 14480 Potsdam (DE). GROSSWIG, Stephan [DE/DE]; Georg-Weerth-Str. 4, 07749 Jena (DE). BERGER, Wolfgang [DE/DE]; Kurt-Nehrling-Str. 66, 99423 Weimar (DE). BÜCHNER, Ute [DE/DE]; Zum Wilden Graben 6, 99425 Weimar (DE). SCHOLZ, Enrico [DE/DE]; Weimarerische Str. 53, 99441 Mellingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/059596

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Juli 2010 (06.07.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 035 372.0 30. Juli 2009 (30.07.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK

(74) Anwalt: MEISSNER, BOLTE & PARTNER GBR; Widenmayerstr. 48, 80538 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE SPATIALLY-RESOLVED RECORDING OF GROUND MOTION

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ORTSAUFGELÖSTEN ERFASSEN VON BODENBEWEGUNGEN

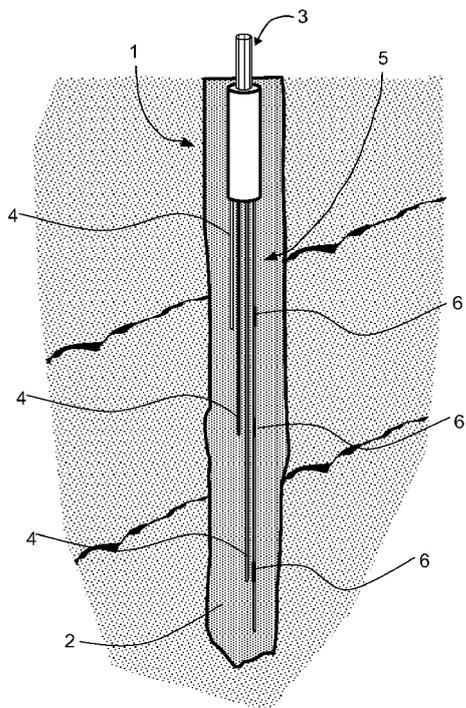


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for the spatially resolved recording of ground motion. The device comprises a free-flowing, self-compacting fill (2) placed in at least one bore hole or trench (1), with a light guide bundle (3) embedded in the fill and containing at least one primary optical fiber (4) to form a fiber optic length sensor and/or at least a second optical fiber (5) with a fiber Bragg grating (6) to form a fiber optic sensor cable (7) for the spatially resolved measurement of expansion and shear. The method entails sinking at least one bore hole or excavating a trench (1) in an area of the ground, introducing a light guide bundle (3) with at least one fiber optic length sensor and/or at least one fiber optic expansion- and shear-sensing assembly formed from a cable with at least one fiber Bragg grating (6), introducing protection against overexpansion, by filling the bore hole or trench with a free-flowing and self-compacting fill and by optically measuring of any change in length in the fiber optic length sensor and/or by carrying out an optical measurement of expansion and shear on the expansion- and shear-sensing assembly.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/012406 A1



BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, RO, RS, RU, 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.

UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum orts aufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen. Die Vorrichtung umfasst ein in mindestens ein Bohrloch oder einen Graben (1) eingebrachtes fließfähiges und selbstverdichtendes Verfüllmaterial (2) mit einem in dem Verfüllmaterial eingebetteten Lichtleiter-Bündel (3) aus mindestens einem ersten Lichtwellenleiter (4) zu m Ausbilden eines faseroptischen Längensensors und/oder mindestens einem zweiten Lichtwellenleiter (5) mit einem Faser-Bragg-Gitter (6) zu m Ausbilden einer orts aufgelöst messenden faseroptischen Dehnungs- und Schersensorkette (7). Verfahrensseitig erfolgt ein Abteufen mindestens eines Bohrloches bzw. ein Ausheben eines Grabens (1) in einen Bodenbereich, ein Einbringen eines Lichtleiter-Bündels (3) mit mindestens einem faseroptischen Längensensor und/oder mindestens einer faseroptischen Dehnungs- und Schersensoranordnung aus einer Kette mit mindestens einem Faser-Bragg-Gitter (6), ein Einbringen eines Überdehnungsschutzes durch ein Verfüllen des Bohrloches bzw. des Grabens mit einem fließfähigen und selbstverdichtenden Verfüllmaterial und ein optisches Messen einer Längenänderung an dem faseroptischen Längensensor und/oder ein Ausführen einer optischen Dehnungs- und Schermessung an der faseroptischen Dehnungs- und Schersensoranordnung.

Vorrichtung und Verfahren zum orts aufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum orts aufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen nach Anspruch 1 und ein Verfahren zum orts aufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen nach Anspruch 10.

Bodenbewegungen, insbesondere Hangrutschungen an Böschungen, Ufern und vergleichbaren Orten, Senkungen, Kippen von Bodenbestandteilen, Gleiten von Boden- oder Felsmassen, Materialdriftungen und Fließen von Bodenabschnitten treten nicht als plötzliches, unerwartetes Ereignis auf. Sie kündigen sich lange vor dem Ereignis durch sehr geringfügige Bodenbewegungen im μm bis sub-mm-Bereich an. Diese sind nur mittels eines online-Dauermonitorings des rutschungsgefährdeten Gebietes frühzeitig detektierbar.

Zum frühzeitigen Erfassen von Bodenbewegungen und zum Überwachen von diesbezüglichen Risikogebieten, beispielsweise Böschungen, sind bereits verschiedene Verfahren bekannt. Gebräuchlich sind Überwachungsverfahren zum Monitoring für oberflächennahe Deformationen unter Verwendung von Fissurometern, Drahtextensometern, Tiltmetern, oder einer Luftbilddauswertung, weiterhin Überwachungsverfahren für teufenabhängige Deformationen unter Verwendung von Inklinometern, Extensometern und Verfahren zu Seismoakustik, ferner Verfahren zum Überwachen des Grundwassers unter Ausführen einer Porenwasserdruckmessung und Verfahren zur Umgebungsüberwachung durch geophysikalische und meteorologische Verfahren, insbesondere zum Verfolgen von Niederschlagsmengen, Temperaturen und Luftdruck durch Wetterstationen.

Sobald eine Bewegung des Bodens durch Oberflächenverfahren nicht messbar ist, werden Messverfahren innerhalb des Untergrundes notwendig, um dort Bodenbewegungen frühzeitig aufzuklären. Dabei ist zur Detektion einer zu erwartenden Gleit- bzw. Scherebene eine teufenaufgelöste Erfassung dieser sehr

geringfügigen Bodenbewegungen in dem rutschungsgefährdeten Gebiet notwendig. Für eine dreidimensionale Erfassung der Bodenbewegung ist ein möglichst sehr engmaschiges Netz von Einzelsensoren notwendig.

Um Bewegungen in tieferen Erdschichten kontinuierlich zu messen, ist bereits eine Reihe von Verfahren und Vorrichtungen bekannt.

Eine erste Möglichkeit dazu stellen Neigungsmesser (Inklinometer) dar, die nach dem Prinzip eines Winkelmessers funktionieren. Diese werden zur Positionsbestimmung von Gleitzonen bezüglich der Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung, sowie zur Ermittlung von Stabilität und Instabilität von Böschungsbereichen angewendet. Die Messgeräte sind lagefest, beispielsweise an einem Bauwerk oder in einem Bohrloch, angebracht.

Die einfachste Art der Neigungsbestimmung funktioniert nach dem Arbeitsprinzip einer Wasserwaage. Dabei leitet ein sogenannter Lotfühler in Abhängigkeit der Neigung gegenüber der Horizontalen, ein elektrisches Signal an ein Auswertegerät. Bei einer in der deutschen Offenlegungsschrift DE 40 35 930 A1 offenbarten Form des Inklinometers werden Neigungen in Bohrlöchern durch abschnittsweises Abteufen über die komplette Tiefe des Bohrlochs erfasst. Per Datenkabel werden die benötigten Informationen der einzelnen Positionen im Bohrloch an die Auswertesoftware weitergeleitet.

In der Offenlegungsschrift DE 10 2005 049 153 A1 wird eine Neigungsbestimmung mittels eines in einem Inklinometer montierten kapazitiven Positionssensors offenbart. Bei einer derartigen Anordnung sind zwei Elektroden fest mit einem Sensorgehäuse verbunden, während eine dritte frei mittig zwischen beiden pendelt. Bei einer Lageveränderung verringert bzw. vergrößert sich der Abstand der Elektroden. Die Neigungsrichtung ist durch eine elektrische Kapazitätsänderung bestimmbar.

Die Druckschrift DE 695 06 088 T2 beschreibt ein Inklinometer mit einem Doppelpendel. Bei dieser Konstruktion sind zwei Pendel mit zwei Querarmen ver-

bunden. In den beiden vertikalen Schenkelrohren ist jeweils ein Draht frei pendelnd befestigt. Ein am unteren Ende der Drähte befestigtes Gewicht hängt teilweise in einer Flüssigkeit, um eine ausreichende Dämpfung des Pendels gegenüber ruckartigen Erdmassenbewegungen zu gewährleisten. Einer der Querarme der Vorrichtung dient der Stabilität des Systems und ist auch mit einem LVDT-Wandler ausgestattet. Bei einer Neigung des Hanges verschiebt sich der Querarm im Wandler, und die daraus resultierende Lageveränderung wird elektronisch erfasst.

Das deutsche Patent DE 39 32 053 C2 beschreibt eine Inklinometervorrichtung, bei der die Pendel mittels Servo-Beschleunigungsaufnehmern bei einer Neigungsänderung am Ausschlagen gehindert werden. Hierzu werden die Pendel so befestigt, dass diese nur in eine Richtung auslenken können. Die Beschleuniger verhindern die Lageveränderung bei einer Neigung durch eine angelegte elektrische Spannung. Diese ist proportional zur auftretenden Winkeländerung.

Bei einer ebenfalls in der DE 39 32 053 C2 beschriebenen Vorrichtung wird auf eine aus zwei mit einem Kardangelenk verbundenen Rohren bestehende Anordnung zurückgegriffen. Diese Konstruktion wird in einem Graben verlegt. Ein von einem Rohr ausgesendeter Lichtstrahl wird an einer Zielscheibe, welche im anderen Rohr montiert ist, reflektiert. Die Koordinaten des auftreffenden Lichtes geben Aufschluss über den räumlichen Verkippungswinkel zwischen den Rohren und damit über die vorliegende Neigung.

Die genannten Inklinometervorrichtungen zeichnen sich sämtlich durch eine anspruchsvolle Messtechnik aus. Die Ausführung einer Bodenüberwachung mittels Inklinometerketten ist damit aufwendig und wird extrem teuer, wenn viele Einzelinklinometer in die Kette eingebunden werden müssen. Inklinometerketten eignen sich damit nicht für eine wirklich flächendeckende und wirtschaftliche Überwachung gefährdeter Bodenbereiche.

Des Weiteren werden auch Extensometer und Dilatometer eingesetzt, die in Bohrlöchern installiert sind. Diese messen die Deformation bzw. die Verform-

barkeit des Bodens bezüglich einer apparativ vorgegebenen Achse und liefern Informationen über eine Ortsveränderung innerhalb von Bodenschichten beispielsweise innerhalb einer Böschung.

Bei dem Dilatometerverfahren wird ein Druck auf einen Bohrlochabschnitt ausgeübt. Die dabei entstehende Ausweitung der anliegenden Erdmassen gibt Aufschluss über deren Beschaffenheit und Verformbarkeit. Hierzu sind aufwendige Vorbohrungen und Sicherungen der Messstelle notwendig. Dadurch sind nur abschnittsweise Messungen möglich und eine dauerhafte Überwachung des Bodenbereichs ist nicht realisierbar.

Rissbildungen durch Spannungsverlagerungen im Erdreich können unter Anwendung seismoakustischer Methoden oder mittels elektromagnetischen Impulsen gemessen werden. Die bei Spannungsumlagerungen im Untergrund entstehenden Risse bilden dabei die Ursache für die Entstehung elastischer Wellen. Die dabei auftretenden akustischen Signale werden aufgenommen und geben Hinweise zu Bewegungen von instabilen Hängen. Erfahrungen mit dem seismoakustischen Messverfahren haben allerdings ergeben, dass eine Anwendung einer zweiten unabhängigen Überwachungsmethode unabdingbar ist. Für die Interpretation der seismoakustischen Aktivität hinsichtlich der Bewegungsvorgänge im Boden sind nicht immer hinreichende Kriterien vorhanden. Zudem muss ein relativ enges Netz von Mikrofonen installiert werden. Die Ausführung des seismoakustischen Verfahrens wird darüber hinaus auch durch Witterungsverhältnisse, insbesondere Vereisungen, erschwert. Damit scheidet eine echte Praxistauglichkeit eines derartigen Verfahrens aus.

Eine in der Offenlegungsschrift DE 277 339 A1 offenbarte Komplexsonde ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung rutschungsgefährdeter Bereiche und die Erfassung verschiedener Einflussfaktoren. Die Sonde ist kompakt ausgeführt und mit verschiedenen Sensoren ausgestattet. Diese messen Gleitgeräusche und Rissbildungen mittels seismoakustischer Sensoren, Verformungen mittels Neigungssensoren, Wassersäulen mittels Drucksensoren sowie Temperaturen und Magnetfelder. Eine derartige Sonde ist nur unter Beachtung be-

stimmter Faktoren ordnungsgemäß einsetzbar. Eine präzise Aufnahme der Werte ist nur gegeben, wenn die Aufnehmer in einer richtigen Position angebracht sind. So muss der Wasserdruckgeber beispielsweise zwingend unterhalb des jeweiligen Grundwasserspiegels angeordnet sein. Aufgrund dieser Faktoren sind Messungen mit einer derartigen Komplexsonde nur örtlich begrenzt ausführbar.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine kostengünstige, aufwandsarme und einfach zu installierende Vorrichtung für ein ortsaufgelöstes Erfassen von Bodenbewegungen und ein damit verbundenes effizientes Verfahren anzugeben, mit dem eine dreidimensionale Erfassung und eine Langzeitüberwachung gefährdeter Bodenbereiche mit einem hohen Genauigkeitsgrad und einer großen Nachweisempfindlichkeit möglich ist.

Die Aufgabe wird vorrichtungsseitig mit einer Vorrichtung zum ortsaufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und hinsichtlich ihres Verfahrensaspektes mit einem Verfahren zum teufenaufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen nach der Lehre des Anspruchs 9 gelöst. Die jeweiligen Unteransprüche betreffen zweckmäßige und/oder vorteilhafte Ausführungsformen der Vorrichtung bzw. des Verfahrens.

Vorrichtungsseitig ist ein in mindestens ein Bohrloch eingebrachtes zunächst fließfähiges und dann selbstverdichtendes Verfüllmaterial mit einer in dem Verfüllmaterial eingebetteten Lichtleiteranordnung zum Ausbilden eines faseroptischen Längensensors und/oder einer faseroptischen Dehnungs- und Schersensorkette vorgesehen.

Die Lichtleiteranordnung besteht bei einer Ausführungsform aus mindestens einem ersten Lichtwellenleiter zum Ausbilden eines faseroptischen Längensensors und/oder mindestens einem zweiten Lichtwellenleiter mit Faser-Bragg-Gittern zum Ausbilden einer faseroptischen Dehnungs- und Schersensorkette.

Die Lichtleiteranordnung registriert somit Längenänderungen des beliebig orientierten Bohrlochs und/oder Scher- und Dehnungsbewegungen, die quer zur Bohrlochachse erfolgen oder eine Krümmung der Bohrlochachse hervorrufen. Dabei enthält die Lichtleiteranordnung mindestens einen Lichtwellenleiter zum Ausbilden eines Längensensors. Dieser kann zusätzliche Faser-Bragg-Gitter zum Aufbau einer Dehnungs- und Schersensorik enthalten.

Ein großer Vorteil des erfindungsgemäßen Aufbaus besteht weiterhin darin, dass auf das Einbringen von Rohren an sich verzichtet werden kann. Die Vorrichtung ist somit in einer vergleichsweise kurzen Zeit installierbar. Zusätzliche Verrohrungen können entfallen.

Die faseroptische Dehnungs- und Schersensorkette weist zweckmäßigerweise mindestens ein erstes Faser-Bragg-Gitter mit einer ersten Bezugswellenlänge bei einer ersten Teufe und mindestens ein zweites Faser-Bragg-Gitter mit einer zweiten Bezugswellenlänge bei einer zweiten Teufe auf.

Bedingt durch die Konstruktion eines Faser-Bragg-Gitters reflektieren diese Anordnungen ausschließlich Licht in einer durch den Aufbau des Gitters bestimmten Bezugswellenlänge, während das Faser-Bragg-Gitter für Licht mit anderen Wellenlängen durchlässig ist. Mit der genannten Anordnung ist es somit möglich, Faser-Bragg-Gitter innerhalb der Kette in einfacher Weise über deren Bezugswellenlänge messtechnisch einer Teufe zuzuordnen und deren Zustände somit teufenaufgelöst abzufragen. Damit lassen sich Dehnungs- und Scherzonen bzw. Gleitebenen im Boden sehr leicht registrieren.

Der faseroptische Längensensor kann auf verschiedene Weise ausgebildet sein. Bei einer ersten Ausführungsform weist der Lichtwellenleiter des faseroptischen Längensensors einen schleifenförmigen Verlauf auf und ist mit einer Laufzeitmessanordnung für Lichtsignale verbunden.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist der Lichtwellenleiter des faseroptischen Längensensors mit einer Messanordnung aus einem optischen Signalge-

ber und einem Signalempfänger zum Messen eines Rückstreusignals aus dem Lichtwellenleiter verbunden.

Der Lichtwellenleiter gemäß der ersten Ausführungsform ist somit zum Registrieren von Längenveränderungen mittels einer Laufzeitmessung eines Lichtsignals, der Lichtwellenleiter gemäß der weiteren Ausführungsform zum Registrieren von Längenänderungen mittels einer Intensitätsmessung eines Rückstreusignals ausgelegt.

Als Lichtwellenleiter für den faseroptischen Längensensor kann ein Vielmoden- oder ein Einmoden-Leiter verwendet werden. Der Lichtwellenleiter für die faseroptische Dehnungs- und Schersensorkette ist zweckmäßigerweise in Form eines Einmoden-Leiters ausgebildet.

Das Verfahren zum orts aufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen wird erfindungsgemäß wie folgt realisiert.

Es erfolgt ein Einbringen mindestens eines beliebig orientierten Bohrloches oder eines Grabens in einen dafür vorgesehenen Bodenbereich. Danach wird ein Lichtleiter-Bündel mit mindestens einem faseroptischen Längensensor und mindestens einer faseroptischen Dehnungs- und Schersensoranordnung aus einer Kette mit mindestens einem Faser-Bragg-Gitter eingehangen. Es wird ein Überdehnungsschutz für das Lichtleiter-Bündel durch ein Verfüllen des Bohrlochs mit einem fließfähigen und selbstverdichtenden Verfüllmaterial eingebracht. Anschließend erfolgt ein optisches Messen einer Längenänderung an dem faseroptischen Längensensor und/oder Ausführen einer optischen Dehnungs- und Schermessung an der faseroptischen Dehnungs- und Schersensoranordnung.

Zweckmäßigerweise werden bei dem Einhängen des Lichtleiterbündels eine Vielzahl von faseroptischen Längensensoren mit unterschiedlichen Längen und/oder eine Dehnungs- und Schersensoranordnung mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Teufen angeordneten Faser-Bragg-Gittern mit unterschied-

lichen Bezugswellenlängen in dem Bohrloch angeordnet. Dadurch lässt sich mit dem Lichtleiterbündel eine teufenaufgelöste Längenmessung und Dehnungs- und Schermessung ausführen.

Bei einer ersten Ausführungsform des Verfahrens erfolgt die optische Messung der Längenänderung als eine optische Laufzeitmessung. Dabei wird ein harmonisch moduliertes optisches Signal in einen als Schleife ausgebildeten faseroptischen Längensensor eingekoppelt und die Laufzeit des optischen Signals mittels einer Phasendetektion bestimmt.

Bei einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird die optische Messung der Längenänderung als eine Rückstreumessung ausgeführt. Dabei wird eine veränderte Intensität eines Rückstreusignals aus dem Lichtwellenleiter bestimmt und daraus ein Wert für eine Längenänderung bestimmt.

Bei der optischen Dehnungs- und Schermessung wird eine Wellenlänge eines an dem jeweiligen Faser-Bragg-Gitter rückreflektierten Lichtsignals bestimmt, wobei eine mechanische Veränderung des Faser-Bragg-Gitters als eine Veränderung der Wellenlänge des reflektierten Lichtsignals gegenüber einer Bezugswellenlänge des Faser-Bragg-Gitters registriert wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren sollen nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Zur Verdeutlichung dienen die Figuren 1 bis 9. Es werden für gleiche bzw. gleichwirkende Teile die selben Bezugszeichen verwendet.

Es zeigen:

Fig. 1 ein in einen Bodenbereich eingebrachtes Bohrloch mit Verfüllmaterial und einem Lichtleiterbündel,

Fig. 2 eine genauere Darstellung eines Ausschnitts der Dehnungs- und Schersensorkette,

- Fig. 3 eine beispielhafte Darstellung des Messprinzips der Dehnungs- und Schersensorkette,
- Fig. 4 ein weiteres Beispiel des Messprinzips der Dehnungs- und Schersensorkette,
- Fig. 5 einen beispielhaften Grundaufbau für die faseroptische Längenmessung,
- Fig. 6 mehrere für eine faseroptische Längenmessung verlegte Lichtwellenleiter in einem Messabschnitt,
- Fig. 7 eine beispielhaft mögliche Kombination verschiedener faseroptischer Komponenten,
- Fig. 8 eine beispielhafte Bodensonde,
- Fig. 9 ein beispielhaftes Sondenfeld zur Bodenüberwachung.

Fig. 1 zeigt ein in einen Bodenbereich eingebrachtes Bohrloch 1. Das Bohrloch wird mit einem Verfüllmaterial 2 versehen. Das Verfüllmaterial dient einer Stabilisierung und damit als Trägermaterial für ein darin eingebettetes Lichtleiterbündel 3. Das Lichtleiterbündel kann sowohl aus mehreren Lichtleitfasern bestehen oder auch nur eine einzige Lichtleitfaser beinhalten. Bei der Verwendung nur einer Faser ist zweckmäßigerweise eine hier nicht gezeigte Splitter- und Verteilereinheit vorgesehen, die die Lichtleitfaser zum einen mit unterschiedlichen Lichtsignalen beaufschlagt und die resultierenden Messsignale voneinander trennt und unterschiedlichen Auswertungsroutinen als Input zur Verfügung stellt.

Das Verfüllmaterial weist mechanische Eigenschaften auf, die denen des anstehenden Bodens ähneln, insbesondere weist das Verfüllmaterial ähnliche me-

chanische Eigenschaften auf. Hierzu kann beispielsweise ein geeigneter Bodenmörtel verwendet werden.

Insbesondere ist das Verfüllmaterial spatenlösbar. Das Verfüllmaterial untersetzt durch seine Beschaffenheit und härtet demzufolge nicht vollständig aus. Damit wird dem Problem Rechnung getragen, dass Glasfasern bzw. auf Glasfasern basierende Lichtwellenleiter aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften nur bis Dehnungen von ca. 2% einsetzbar sind, wobei größere Dehnungen zu einem Zerreißen der Glas-Lichtwellenleiter führen. Das Verfüllmaterial untersetzt durch seine Beschaffenheit große Bodenbewegung derart, dass das Lichtleiterbündel bei derartigen Bewegungen das Verfüllmaterial durchteilt. Die Fasern des Lichtleiterbündels vollziehen dabei über ein gewisses Maß hinausgehende Bodenbewegungen nur teilweise mit, sie werden somit weniger gedehnt und bleiben auch unter diesen Bedingungen funktionstüchtig. Bei kleineren Bodenbewegungen findet ein solches Durchschneiden jedoch nicht statt. Derartige Bodenbewegungen werden durch das Verfüllmaterial auf das Lichtleiterbündel vollständig übertragen. Dabei wird die Wirkung der Haftreibung zwischen dem Verfüllmaterial, insbesondere dem Bodenmörtel, und einer darauf abgestimmten Materialbeschichtung an dem Lichtleiterbündel ausgenutzt.

Alternativ zu den Glasfasern können für das Lichtleiterbündel auch Polymerfasern verwendet werden. Diese sind für deutlich größere Dehnungen verwendbar, allerdings weisen diese eine hohe Dämpfung auf und können daher nur für kürzere Strecken eingesetzt werden.

Das Lichtleiterbündel 3 besteht aus grundsätzlich zwei Faserkomponenten. Eine erste Komponente wird durch mehrere Lichtwellenleiter 4 gebildet. Diese bilden jeweils einen faseroptischen Längensensor mit verschiedenen Grundlängen aus. Eine zweite Komponente des Lichtleiterbündels ist in Form eines Lichtwellenleiters 5 ausgeführt. Dieser enthält eine Kette aus Faser-Bragg-Gittern 6. Jedes der einzelnen Faser-Bragg-Gitter stellt einen optischen Dehnungs- und Schersensor für eine bestimmte Teufe des Bohrlochs 1 dar. Die Anordnung aus dem Lichtwellenleiter und den Faser-Bragg-Gittern bildet eine

faseroptische Dehnungs- und Schersensorkette 7, die sich entlang des gesamten Bohrloches erstreckt.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus der faseroptischen Dehnungs- und Schersensorkette 7. An dem für die Dehnungs- und Schersensorkette vorgesehenen Lichtwellenleiter 5 sind hier beispielhaft drei Faser-Bragg-Gittern 6 angeordnet. Diese sind auf verschiedenen Abschnitten des Lichtwellenleiters 5 aufgereiht und damit im Bohrloch auf verschiedenen Teufen T_1 bis T_n angeordnet.

Der Lichtwellenleiter weist ein so genanntes Gladding mit einem Brechungsindex n_1 und einen Kern mit einem Brechungsindex n_2 auf. Dabei ist der Brechungsindex des Kerns n_2 größer als der Brechungsindex der Ummantelung n_1 . Im Bereich jedes einzelnen Faser-Bragg-Gitters 6 ist der Brechungsindex des Kerns in der Ausbreitungsrichtung des Lichtes moduliert. An diesen Stellen wechselt der Brechungsindex n_2 mit Bereichen ab, die einen Brechungsindex n_3 aufweisen. Das so gebildete optische Schichtsystem entspricht optisch einer Folge von Antireflexbeschichtungen mit geringen Brechzahlunterschieden. Das so gebildete Faser-Bragg-Gitter weist in Abhängigkeit vom Aufbau des Schichtsystems, insbesondere von der Periodenlänge der verschiedenen Brechzahlen n_2 und n_3 eine hohe Reflektivität für Licht mit einer für dieses optische System ausgezeichneten Bezugswellenlänge λ_{ref} auf. Weißes Licht mit einer kontinuierlichen Wellenlängenverteilung λ_{kont} wird dadurch monochromatisch mit der jeweiligen Bezugswellenlänge λ_{ref} reflektiert, wobei der restliche Lichtanteil aus dem kontinuierlichen Spektrum das einzelne Faser-Bragg-Gitter im Wesentlichen ungeschwächt durchläuft.

Die Bezugswellenlänge λ_{ref} für jedes einzelne Faser-Bragg-Gitter kann durch die Stapelfolge, insbesondere die Dicke der einzelnen alternierenden Schichten in dem optischen Schichtsystem sehr einfach festgelegt werden. Dabei zeichnet sich jedes einzelne Faser-Bragg-Gitter 6 innerhalb der Kette 7 durch je eine eigene Bezugswellenlänge λ_{ref1} , λ_{ref2} und λ_{ref3} aus. Diese sind jeweils auf einer eigenen Teufe T_1 , T_2 und T_3 angeordnet. Damit ist jedes einzelne Faser-Bragg-Gitter innerhalb der Kette 7 auf der entsprechenden Teufe über dessen

jeweilige Bezugswellenlänge identifizierbar und kann daher messtechnisch einzeln auf dessen Zustand untersucht werden.

Fig. 3 zeigt auf schematische Weise das Messprinzip für die Dehnungs- und Schersensorkette 7. Eine Scherung bzw. eine Dehnung auf einer Scherebene S innerhalb einer gewissen Teufe beeinflusst das dort befindliche Faser-Bragg-Gitter 6 des Lichtwellenleiters 5. Durch die dabei bewirkte Dehnung, Stauchung oder Scherung wird der Lichtwellenleiter um einen Betrag proportional zu einer gegebenen Strecke Δx verformt. Der Schichtaufbau des dort gelegenen Faser-Bragg-Gitters 6 wird dadurch beeinflusst. Das Faser-Bragg-Gitter reflektiert das eingestrahlte Licht nun nicht mehr an seiner Bezugswellenlänge λ_{ref} sondern mit einer Wellenlänge, die gegenüber der Bezugswellenlänge um einen Betrag $\Delta\lambda$ verschoben ist.

Zusammen mit der vorhergehend erläuterten Adressierung der Faser-Bragg-Gitter innerhalb der Sensorkette 7 kann damit zum einen aus der Verschiebung $\Delta\lambda$ auf die Stärke der Verformung dieses Abschnitts des Lichtwellenleiters geschlossen werden und zum anderen lässt sich auch aus der beeinflussten Bezugswellenlänge λ_{ref} die Teufe der Verformung S angeben. In dem hier vorgegeben Beispiel ist die Bezugswellenlänge λ_{ref3} des Faser-Bragg-Gitters auf der Teufe T_3 um einen Betrag $\Delta\lambda_{ref3}$ verschoben. Damit befindet sich die Tiefe S der Verformung Δx im Bereich der Teufe T_3 .

Messtechnisch wird die Detektion ausgeführt, indem über eine Weißlichtquelle 8 weißes Licht erzeugt und in den Lichtwellenleiter 5 eingekoppelt wird. Das aus dem Lichtwellenleiter rückreflektierte Licht wird spektral analysiert (9). Anschließend werden in dem dabei erhaltenen Spektrum die Verschiebungen der Bezugswellenlängen λ_{ref1} bis λ_{ref3} in einer Auswerteeinheit, insbesondere einem PC mit einem entsprechenden Auswerteprogramm geprüft und ausgegeben, wodurch die Teufe einer Bodenbewegung und deren Stärke ermittelt werden kann.

Fig. 4 zeigt hierzu ein weiteres Beispiel. Bei dem hier dargestellten Beispiel sind zehn Faser-Bragg-Gitter und damit zehn Dehnungs- und Schersensoren G1 bis G10 vorgesehen. Der Lichtwellenleiter 5 ist mittels einer optischen Anschlussleitung 11 mit der hier nicht dargestellten Messtechnik, d. h. der Anordnung aus Weißlichtquelle und Spektrometer, verbunden. Der Abstand der einzelnen Dehnungs- und Schersensoren beträgt ca. 1 Meter. Die in der Glasfaser eingeschriebenen Faser-Bragg-Gitter zeigen nur in unmittelbarer Umgebung der Scherzone eine große Dehnung an. In einem größeren Abstand von der Scherzone (ca. 2 Meter) bleiben die Faser-Bragg-Gitter unbeeinflusst.

In ausgedehnten Messfeldern kann es vorteilhaft sein, die einzelnen Faser-Bragg-Gitter der faseroptischen Dehnungs- und Schersensorkette auf ein und dieselbe Wellenlänge auszulegen. In einer an sich bekannten Weise werden dann Veränderungen der Wellenlänge infolge mechanischer Bodenbeanspruchung im entsprechenden einzelnen Gitter mittels eines Interrogators, also einer Abfrageeinrichtung, detektiert und über eine Laufzeitmessung geortet.

Alternativ zu der beschriebenen Spektrometeranordnung ist auch eine Anwendung eines so genannten tuned laser-Verfahrens möglich. Hierbei wird mittels einer speziellen Laseranordnung zunächst ein sehr schmalbandiges Laserlicht erzeugt und über einen vorgegebenen Wellenlängenbereich durchgestimmt.

Scherversuche haben gezeigt, dass mit Hilfe einer Faser-Bragg-Gitter-Kette und in Kombination mit einer faseroptischen Längenmessung die Lage einer Scherzone eindeutig detektiert werden kann. Als Versuchsanordnung für einen Test der Faser-Bragg-Gitter-Kette wird beispielsweise in ein ca. 6 m langes D30-PVC-Rohr konzentrisch eine Faser-Bragg-Gitter-Kette eingebracht und mit dem erwähnten Verfüllmaterial verfüllt. Dieses Rohr wird halbseitig eingespannt. Am freien Ende werden unterschiedliche Lasten aufgebracht und sowohl eine Längung der Faser-Bragg-Gitter als auch deren Beeinflussung durch eine Durchbiegung des Rohres wird messtechnisch erfasst.

Fig. 5 zeigt einen beispielhaften Grundaufbau für die faseroptische Längenmessung. Hierbei wird in einem zu überwachenden Gelände, in einer mit Trägermaterial verfüllten Bohrung oder einem Bauwerk ein speziell gecoatetes Glasfaserkabel oder eine Polymerkabel verlegt, dessen Gesamtlänge einige bis mehrere hundert Meter beträgt. Je nach Anforderung liegt die Genauigkeit der mit diesem Kabel ausgeführten optischen Weglängenmessung im Zentimeter- bis sub-Millimeter-Bereich.

Messtechnisch ist bei dem hier gezeigten Beispiel der Lichtwellenleiter 4 des faseroptischen Längenmessensors schleifenförmig verlegt. Die Schleife ist so bemessen, dass sich deren Umkehrpunkt an einer vorgegebenen Teufe T innerhalb des Bohrlochs befindet. Von einer Lichtquelle 12, beispielsweise einer Lasereinheit, wird ein Lichtsignal erzeugt, das von einem Signalmodulator 13 harmonisch moduliert wird. Das Lichtsignal tritt in den Lichtwellenleiter 4 ein, durchläuft die Schleife und wird anschließend von einem Detektor 14, insbesondere einem Fotoelement, empfangen. Ein Phasendetektor 15 ermittelt nun einen Phasenunterschied φ zwischen dem am Eingang des Lichtwellenleiters 4 eintretenden Lichtsignal aus dem Signalmodulator 13 und dem an dem Fotoelement empfangenen Signal. Dieser Phasenunterschied hängt von der Laufzeit des Lichtes innerhalb der Schleife des Lichtwellenleiters ab und ist somit proportional zur Länge des Lichtwellenleiters und letztlich auch zur konkret vorliegenden Teufe T des Umkehrpunktes der Schleife. Ein einzelner Lichtwellenleiter, dessen Länge und damit dessen Teufe T bekannt ist kann damit über den Phasenunterschied φ identifiziert werden. Wird diese Messung mit unterschiedlichen Modulationsfrequenzen durchgeführt, lässt sich daraus auch die absolute Länge des Lichtwellenleiters 4 und damit auch die Teufe T bestimmen.

Bei einer Längenänderung ΔL des Lichtwellenleiters 4 wird die Laufzeit des Lichtes innerhalb der Anordnung verändert. Damit ändert sich auch der Phasenunterschied φ um einen Betrag $\Delta\varphi$. Aus dem Wertepaar φ und dem diesem Wert zugeordneten Phasenunterschied $\Delta\varphi$ kann somit einem Lichtwellenleiter mit einer vorab bekannten Teufe T eine Längenänderung ΔL in eindeutiger

Weise zugeordnet und damit eine lokale Bodenbewegung, insbesondere eine Hebung oder Senkung, registriert werden.

Ist nicht nur ein Lichtwellenleiter 14 in Form eines gecoateten Glasfaserkabels, sondern ein ganzes Bündel solcher Kabel mit unterschiedlichen Längen in der Bohrung enthalten oder in einer Böschung verlegt, so werden nur die Lichtwellenleiter durch die Bodenbewegung gedehnt und in ihrer Länge beeinflusst, die die Zone der Bodenbewegung überstreichen. Die übrigen Leiter bleiben unbeeinflusst.

Gemäß der Darstellung aus Fig. 6 sind jeweils mehrere Lichtwellenleiter 4 vorgesehen, deren Umkehrpunkte jeweils in einem Abstand von ca. 30 Metern an einzelnen Verankerungen 16 in einer Böschung 17 befestigt sind. Jeder der einzelnen Lichtwellenleiter weist eine bekannte Gesamtlänge auf. Eine im Bereich S stattfindende Veränderung der Böschung 17 und eine damit einhergehende Streckung der diesen Bereich überstreichenden Lichtleiter führt dabei zu einer an diesen Leitern detektierbaren Längenänderung. Alle anderen Lichtleiter bleiben unbeeinflusst und liefern somit kein Längenänderungssignal. Damit lässt sich der Bereich S der Veränderung der Böschung eingrenzen, wobei bei einer Länge des Lichtwellenleiters von mehreren hundert Metern bereits kleine Längenänderungen im mm- und sub-mm-Bereich sehr empfindlich nachweisbar sind.

Ebenso ist eine optische Längenmessung auch im Rahmen eines Rückstreuverfahrens möglich, das hier nicht in einer Figur dargestellt ist. Der dafür vorgesehene Lichtwellenleiter ist nicht als eine Schleife ausgebildet. Vielmehr weist dessen in das Bohrloch verlegte Ende eine Verspiegelung auf. Das in den Lichtwellenleiter eingekoppelte Licht läuft durch den Leiter und wird an dessen Ende reflektiert. Aus der Intensität des reflektierten Lichtes kann dann bei einem für den Kern des Lichtwellenleiter bekannten Extinktionskoeffizienten bzw. aus einer für den Lichtwellenleiter bekannten Dämpfung die Länge des Leiters bestimmt und als gemessener Tiefenwert ausgegeben werden.

Fig. 7 zeigt eine beispielhafte mögliche Kombination von verschiedenen vorhergehend erläuterten faseroptischen Komponenten. Die hier gezeigte Kombination vereinigt einen Lichtleiter FBG mit einem Faser-Bragg-Gitter nach der vorhergehend beschriebenen Art sowie mehrere faseroptischen Längenmess-einrichtungen. Dies sind insbesondere faseroptische Einrichtungen auf Glasfaserbasis für einen Vielmodenbetrieb ILMM sowie für einen Einzelmodenbetrieb ILSM sowie eine auf Polymerfasern beruhende faseroptische Einrichtung ILPOF. In Verbindung damit sind faseroptische Einrichtungen für eine Längenmessung im Rückstreumodus vorgesehen. Dies ist insbesondere eine Faseroptik auf der Basis von Polymerfasern OTDR POF sowie entsprechende Einrichtungen auf Glasfaserbasis mit einem Einzelmodenbetrieb OTDR SM und einen Vielmodenbetrieb OTDR MM. Diese sind sämtlich in dem vorher erwähnten Verfüllmaterial eingegossen.

Fig. 8 zeigt eine beispielhafte Bodensonde 18 mit den darin vereinigten vorhergehend erläuterten faseroptischen Komponenten. Die Lichtwellenleiter sind im nichtsensitiven Bereich der Bodensonde mit einer Isolation 18a umgeben. Im unteren, sensitiven Bereich der Bodensonde liegen die faseroptischen Lichtwellenleiter als Bestandteile einzelner Lichtleitkabel 19 vor, die vorzugsweise dünn und flexibel ausgebildet sind. Der obere, aus dem Boden der Bodensonde herausragende Teil der Lichtwellenleiter ist zu einem Pigtailbündel 20 zusammengefasst, das über entsprechende Steckvorrichtungen an die jeweiligen Messeinheiten 21 oder an ein entsprechendes Interface angekoppelt ist.

Bei Bohrungen an der Erdoberfläche sind die faseroptischen Kabel zweckmäßigerweise von einem Drahtnetz umgeben, das hinreichend grobmaschig ist, um ein Einfließen der Verfüllung zwischen die Lichtleitkabel 19 zu ermöglichen. Das Drahtnetz soll gewährleisten, dass die Lichtleitkabel innerhalb der Bohrung im Boden nicht verkanten oder auf andere Weise falsch und irregulär verlegt sind.

Fig. 9 zeigt ein aus mehreren derartigen Bodensonden 18 aufgebautes Son-
denfeld 23. Die Bodensonden sind jeweils nach dem in Fig. 1 gezeigten Prinzip
eingebracht. Sie müssen nicht notwendigerweise senkrecht in dem Boden ver-
ankert sein. Es ist ebenso möglich, diese in einer Bodenflanke hinein zu trei-
ben oder sie auch gemäß der Darstellung aus Fig. 6 parallel zum Verlauf einer
Böschung oder einer Bodenflanke zu treiben. Die aus der Oberfläche herausra-
genden Pigtailbündel 20 werden an eine hier nicht gezeigte Mess- und Über-
wachungsstation geführt. Dabei ist jeder der Messpunkte für die zu ermitteln-
den Bodenbewegungen sowohl faseroptisch bezüglich der Tiefe als auch auf
dem Messfeld selbst durch die Nummer und die Lage der Bohrung im Boden
eindeutig bestimmt. Hierdurch lassen sich dreidimensionale Übersichten über
die im Messfeld stattfindenden Bodenbewegungen und Bewegungsrichtungen
gewinnen.

Die Deformationsmessung kann mit einem Verfahren zur punktuellen oder in-
tegralen Temperaturmessung zur Temperaturkompensation kombiniert werden.

Für die integrale Temperaturmessung wird parallel zum Lichtwellenleiter ein
Material mit temperaturabhängigem elektrischen Widerstand (z. B. elektrisches
Kabel) verlegt, dessen elektrischer Gesamtwiderstand zur Temperaturkompensation genutzt werden kann.

Bezugszeichenliste

- 1 Bohrloch
- 2 Verfüllmaterial
- 3 Lichtleiterbündel
- 4 Lichtwellenleiter für Längenmessung
- 5 Lichtwellenleiter für Scher- und Dehnungsmessung
- 6 Faser-Bragg-Gitter
- 7 Dehnungs- und Schersensorkette
- 8 Weißlichtquelle

- 9 Spektrometereinheit
- 11 optische Anschlussleitung mit Stecker
- 12 Lichtquelle
- 13 Signalmodulator
- 14 Fotoelement
- 15 Phasendetektor
- 16 Verankerung
- 17 Böschung
- 18 Bodensonde
- 19 Lichtleitkabel
- 20 Pigtailbündel
- 21 Messeinheit/Interface
- 22 Sondenfeld

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum orts aufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen, umfassend
ein in mindestens ein Bohrloch oder einen Graben (1) eingebrachtes zunächst fließfähiges und dann selbstverdichtendes Verfüllmaterial (2) mit einer in dem Verfüllmaterial eingebetteten Lichtleiteranordnung zum Ausbilden eines faseroptischen Längensensors und/oder einer faseroptischen Dehnungs- und Schersensorkette.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
die Lichtleiteranordnung mindestens einen ersten Lichtwellenleiter (4) zum Ausbilden des faseroptischen Längensensors und/oder mindestens einem zweiten Lichtwellenleiter (5) mit Faser-Bragg-Gittern (6) zum Ausbilden der faseroptischen Dehnungs- und Schersensorkette (7) umfasst.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
das Verfüllmaterial (2) durch die Lichtleiteranordnung, ohne selbige zu zerstören, durchschneidbar ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die Lichtleiteranordnung (3) mindestens einen ersten faseroptischen Längensensor in einer ersten Länge und mindestens einen zweiten faseroptischen Längensensor in einer zweiten Länge aufweist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
die faseroptische Dehnungs- und Schersensorkette (7) mindestens ein erstes Faser-Bragg-Gitter mit einer ersten Bezugswellenlänge (λ_{ref1}) bei einer ersten Teufe und mindestens ein zweites Faser-Bragg-Gitter mit einer zweiten Bezugswellenlänge (λ_{ref2}) bei einer zweiten Teufe aufweist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtwellenleiter (4) des faseroptischen Längensensors einen schleifenförmigen Verlauf aufweist und mit einer Laufzeitmessanordnung für ein Lichtsignal (13, 15) verbunden ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtwellenleiter (4) des faseroptischen Längensensors mit einer Messanordnung aus einem optischen Signalgeber und einem Signalempfänger zum Messen eines Rückstreuensignals aus dem Lichtwellenleiter verbunden ist.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtwellenleiter (4) des faseroptischen Längensensors als ein Vielmoden- oder ein Einmoden-Leiter ausgebildet ist.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtwellenleiter (5) der faseroptischen Dehnungs- und Schersensor-kette in Form eines Einmoden-Leiters ausgebildet ist.
10. Verfahren zum orts aufgelösten Erfassen von Bodenbewegungen, mit folgenden Verfahrensschritten
Einbringen mindestens eines beliebig orientierten Bohrloches oder Grabens (1) in einen Bodenbereich, Einhängen eines Lichtleiter-Bündels (3) mit mindestens einem faseroptischen Längensensor und/oder mindestens einer faseroptischen Dehnungs- und Schersensoranordnung aus einer Kette mit mindestens einem Faser-Bragg-Gitter (6), Einbringen eines Überdehnungsschutzes durch ein Verfüllen des Bohrlochs oder Grabens mit einem fließfähigen und selbstverdichtenden Verfüllmaterial, optisches Messen einer Längenänderung an.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem Einhängen des Lichtleiterbündels eine Vielzahl von faseroptischen Längensensoren mit unterschiedlichen Längen und/oder eine Dehnungs- und Schersensoranordnung mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Teufen angeordneten Faser-Bragg-Gittern mit unterschiedlichen Bezugswellenlängen in dem Bohrloch angeordnet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Messung der Längenänderung als eine optische Laufzeitmessung erfolgt, wobei ein harmonisch moduliertes optisches Signal in einen als Schleife ausgebildeten faseroptischen Längensensor eingekoppelt und die Laufzeit des optischen Signals mittels einer Phasendetektion bestimmt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Messung der Längenänderung als eine Rückstreuungsmessung ausgeführt wird, wobei eine veränderte Intensität eines Rückstreusignals aus dem Lichtwellenleiter bestimmt und daraus ein Wert für eine Längenänderung bestimmt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass bei der optischen Dehnungs- und Schermessung eine Wellenlänge eines an dem jeweiligen Faser-Bragg-Gitter rückreflektierten Lichtsignals bestimmt wird, wobei eine mechanische Veränderung des Faser-Bragg-Gitters als eine Veränderung der Wellenlänge des reflektierten Lichtsignals gegenüber einer Bezugswellenlänge des Faser-Bragg-Gitters registriert wird.

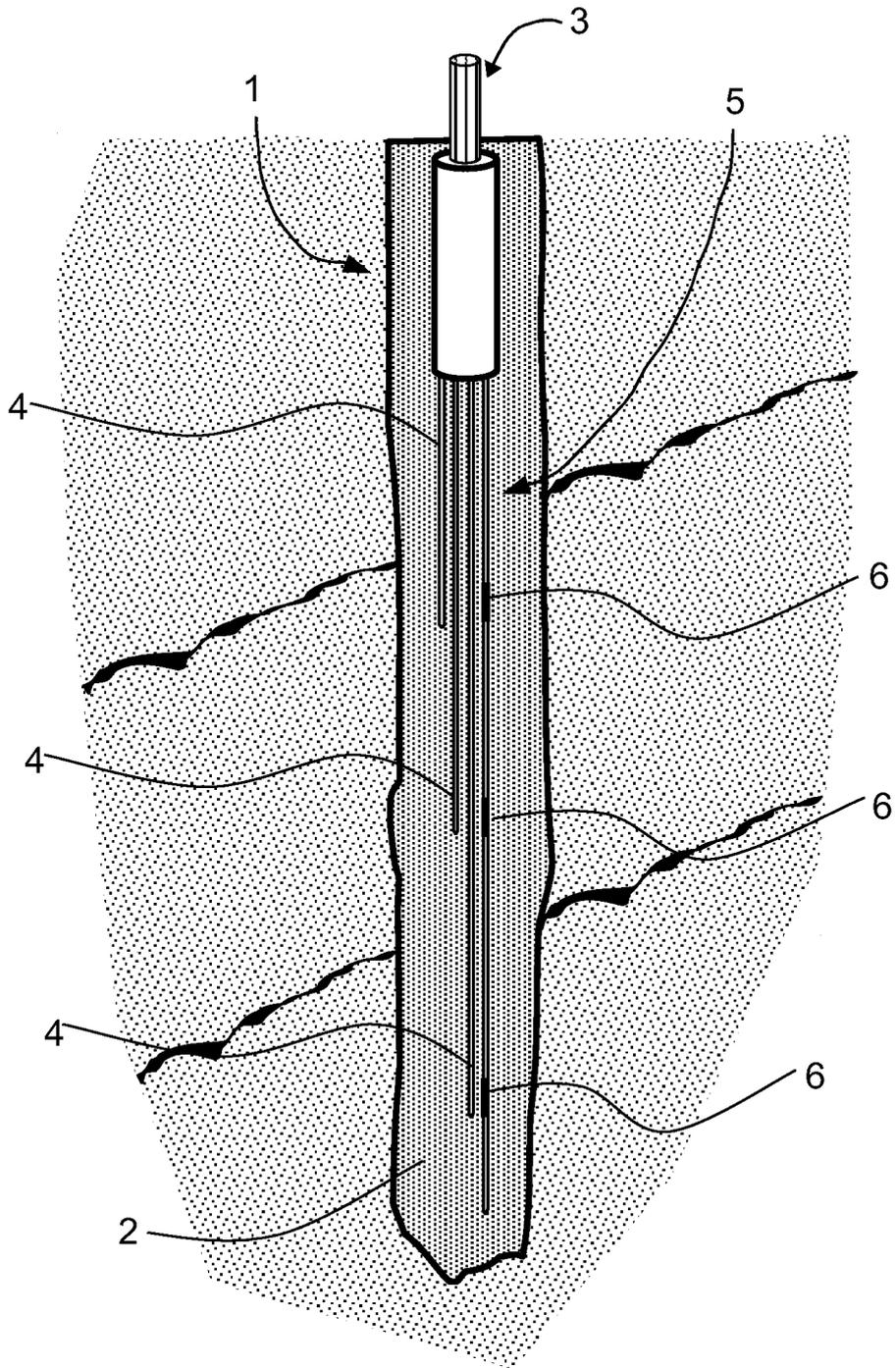


Fig. 1

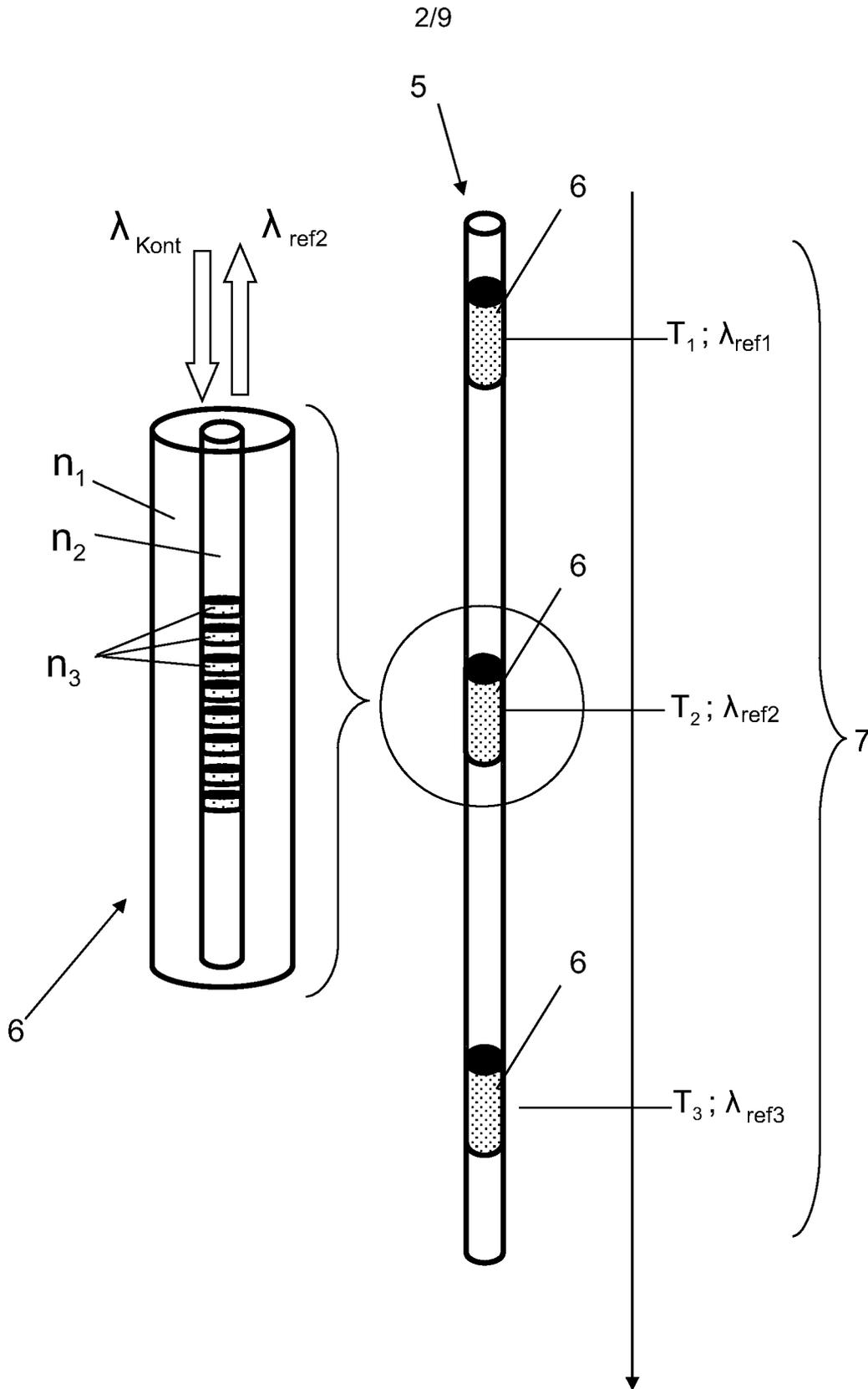


Fig. 2

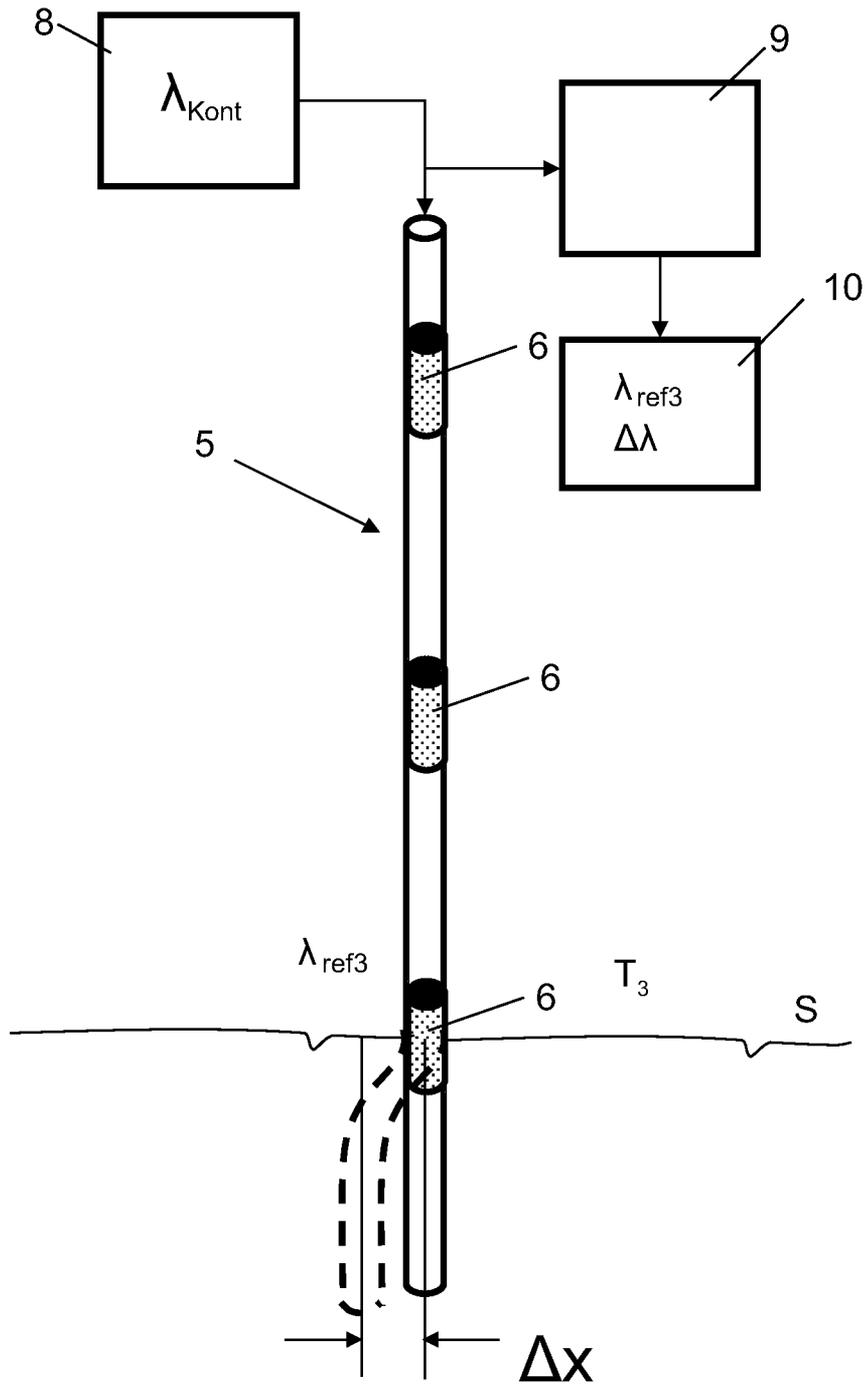


Fig. 3

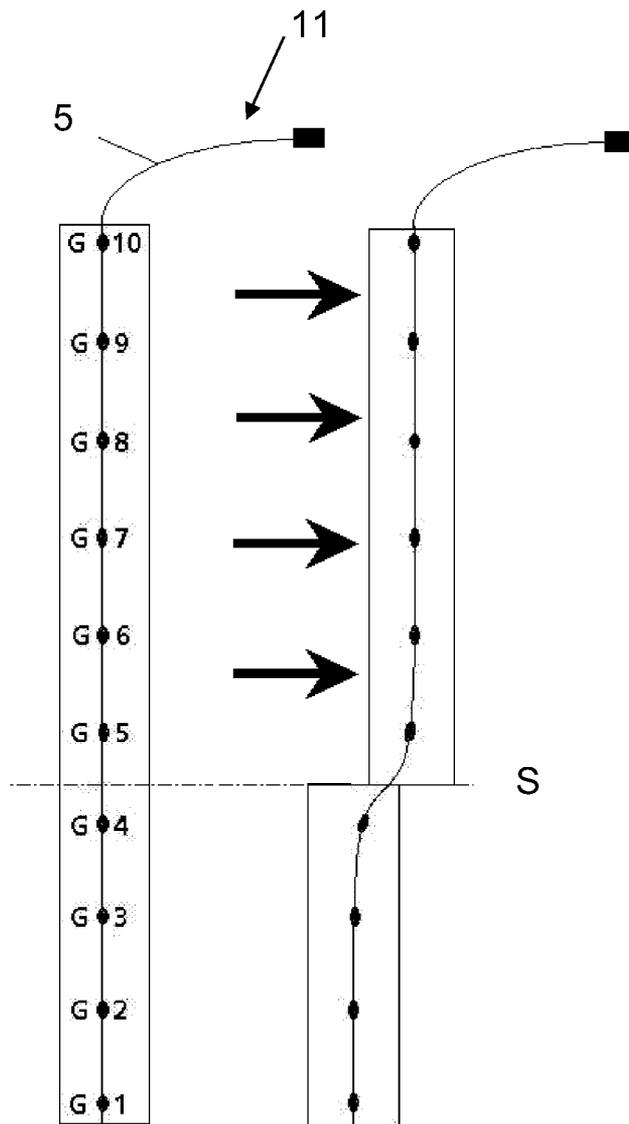


Fig. 4

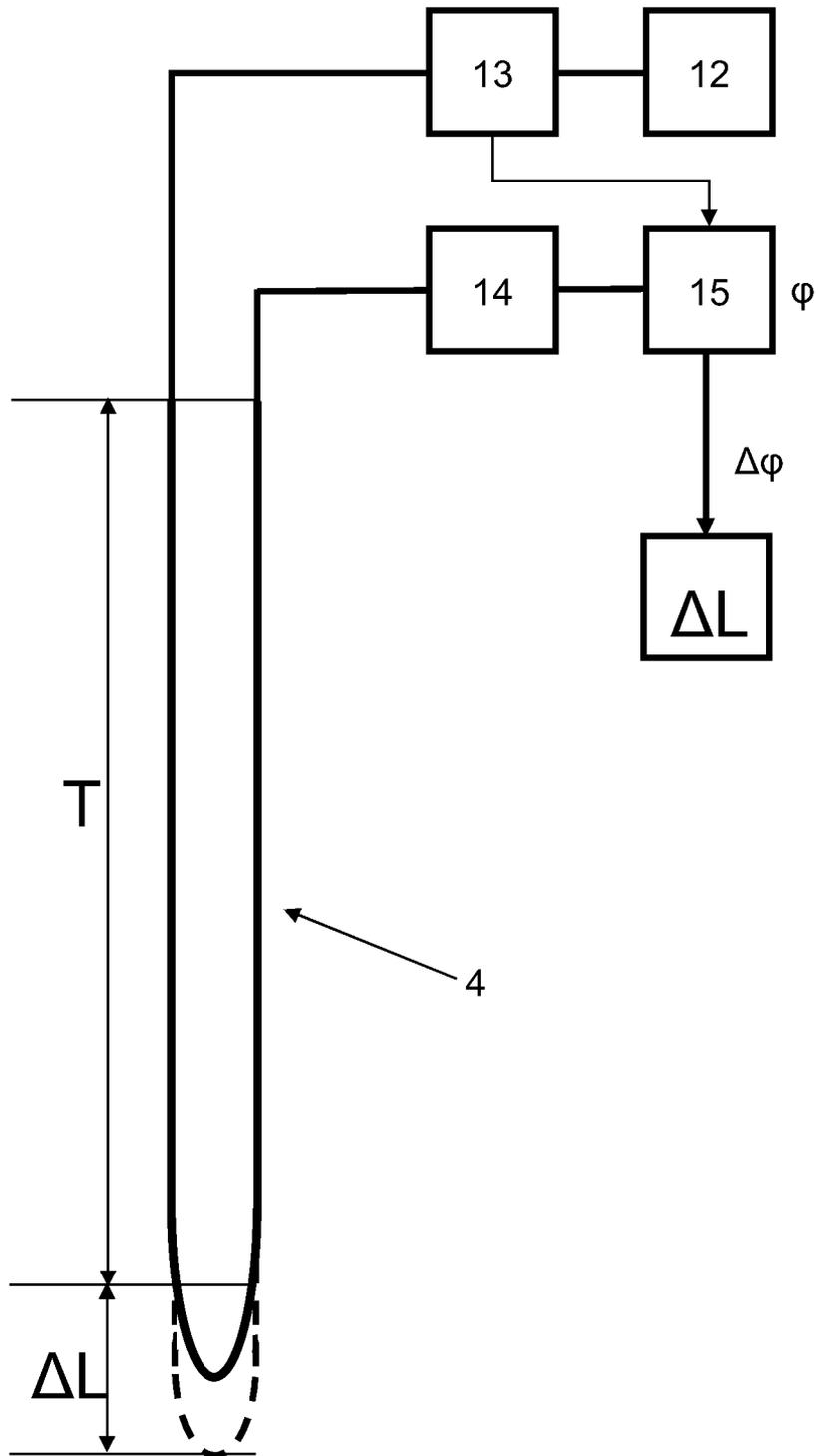


Fig. 5

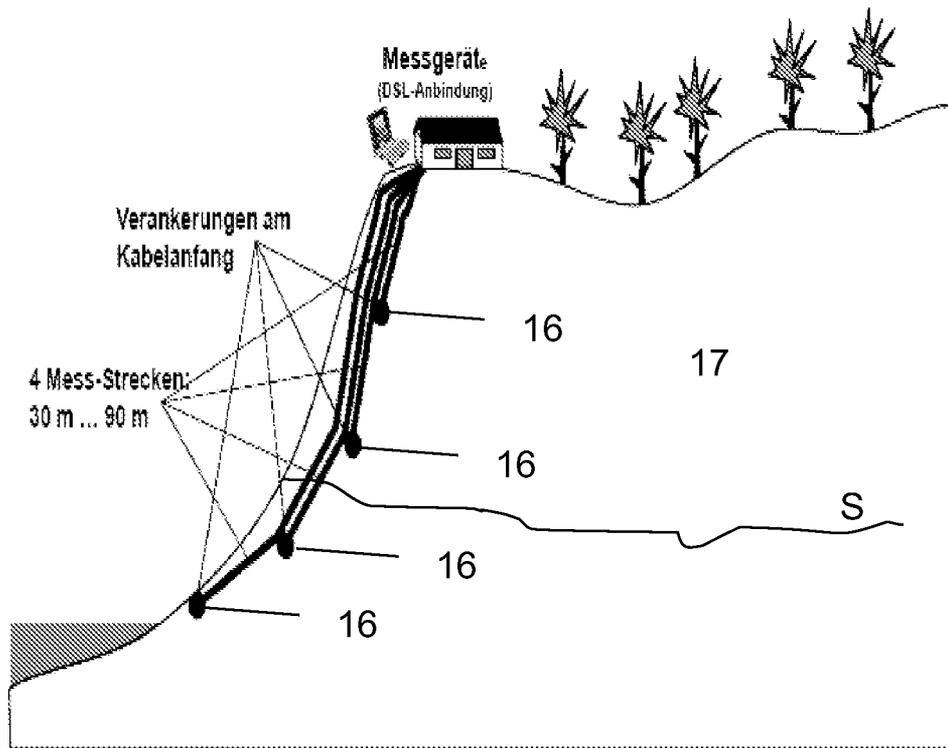


Fig. 6

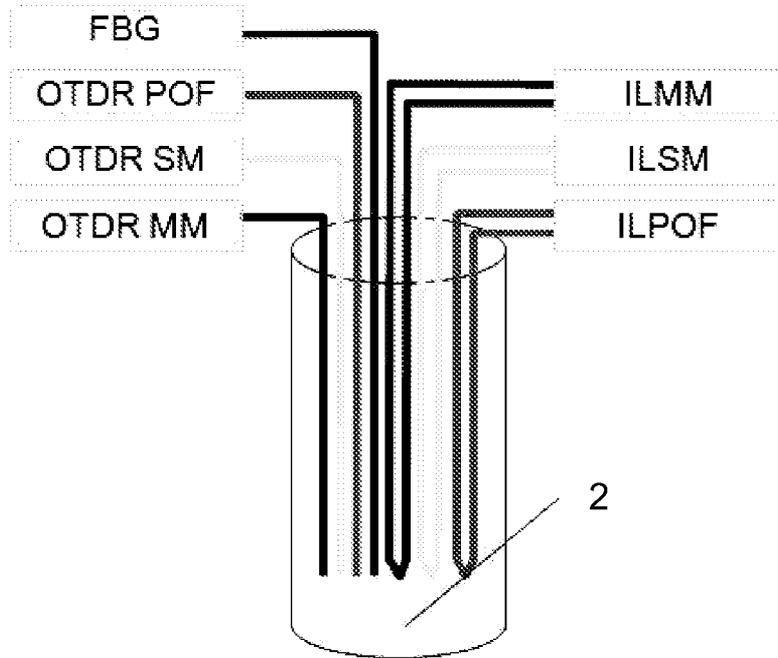


Fig. 7

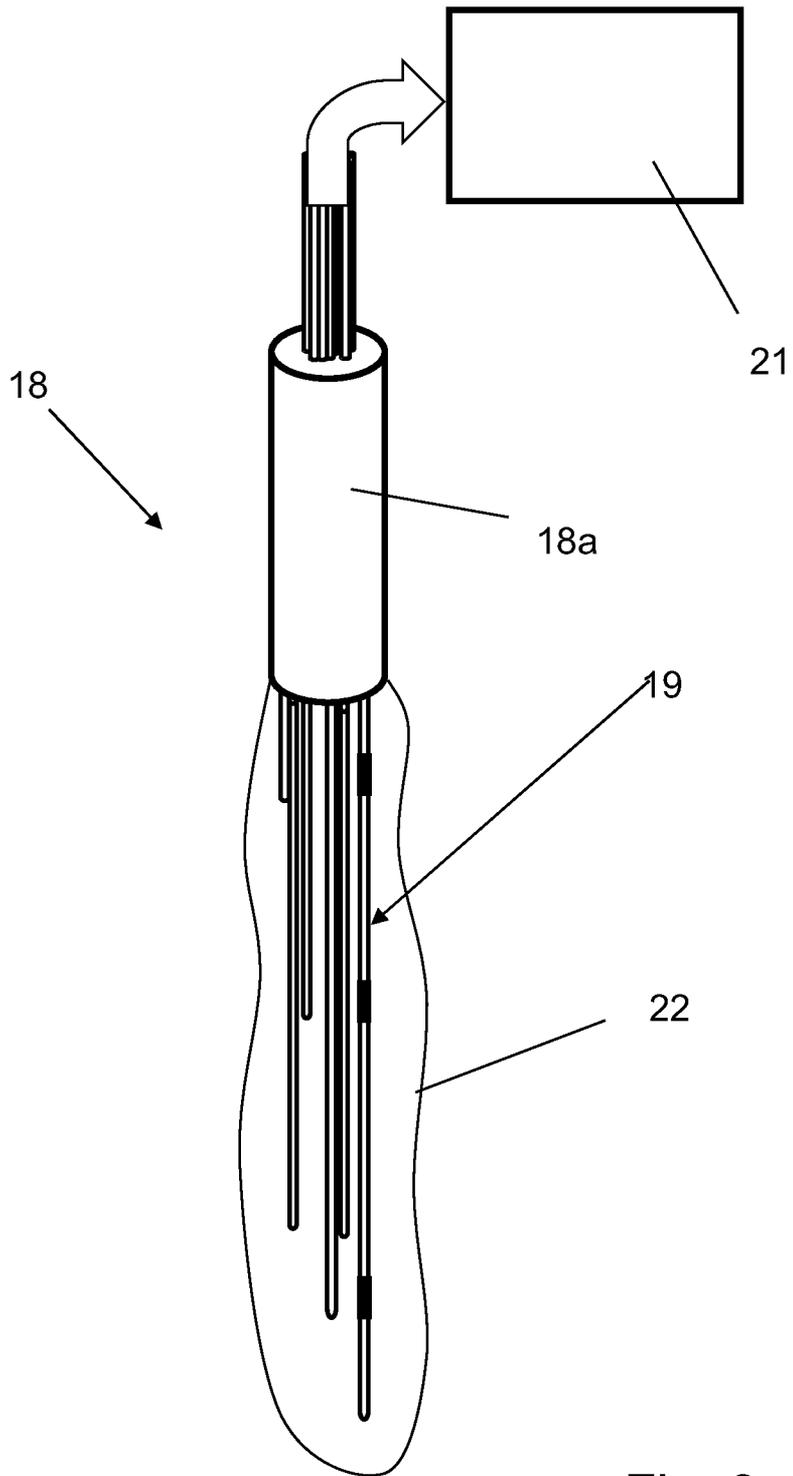


Fig. 8

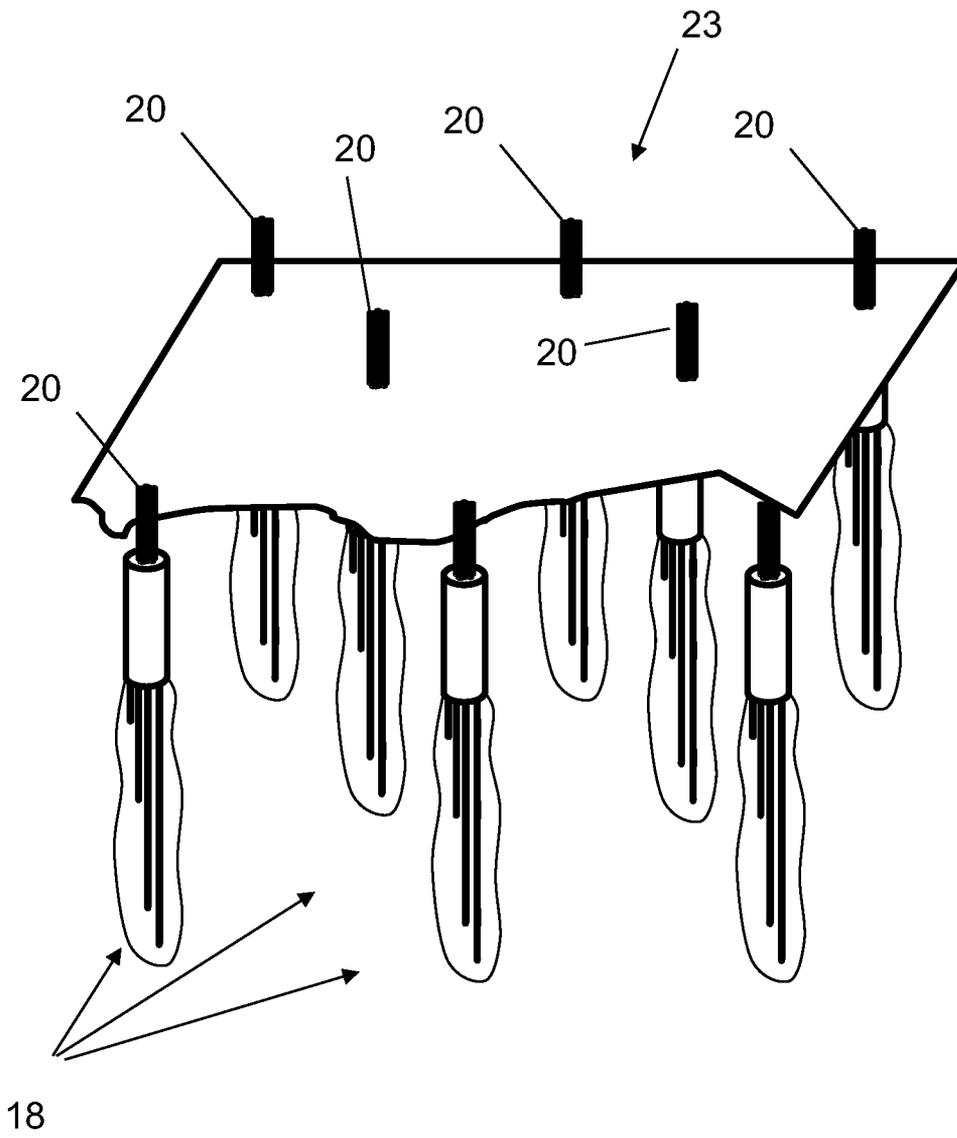


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/059596

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01C9/00 G01C15/00 E02D1/00 E02D17/00 E21B47/022 E21B47/12 G01B7/26 G01D5/26 G01D5/353 G01L1/24 G02B6/50 E21B47/04 G01B11/16				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01C E02D E21B G01B G01D G01V G01L G02B				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages			Relevant to claim No.
X	EP 0 464 346 A1 (STRABAG BAU AG [DE]) 8 January 1992 (1992-01-08)			1-4,6-13
Y	column 2, line 27 - column 4, line 41 column 4, line 47 - column 7, line 52; figure 1			5,14
X	----- JP 2002 054956 A (DAI ICHI HIGH FREQUENCY CO LTD) 20 February 2002 (2002-02-20)			1-4,6-9
A	* abstract paragraphs [0013], [0023], [0024]; figures 1-3			5,10-14
X	----- JP 2004 309181 A (TAISEI CORP) 4 November 2004 (2004-11-04)			1-14
Y	* abstract figures 2-5, 7 paragraphs [0031], [0032]; figures 6a, 6b			5,14
	----- -/--			
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :				
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention		
"E" earlier document but published on or after the international filing date		"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone		
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.		
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		"&" document member of the same patent family		
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed				
Date of the actual completion of the international search 21 September 2010			Date of mailing of the international search report 04/10/2010	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016			Authorized officer Kuhn, Robert	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/059596

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1 043 565 A2 (SCHRECK MARTIN DR [JP]; GROSSWIG STEPHAN DR [DE]; NISHIGAKI MAKOTO DR) 11 October 2000 (2000-10-11)	5,14
A	paragraphs [0018] - [0025]; figures 1-5 paragraphs [0007] - [0016], [0028] - [0030]	1-4,6-13
A	----- US 5 767 411 A (MARON ROBERT J [US]) 16 June 1998 (1998-06-16) column 2, line 24 - column 3, line 20 column 3, line 36 - column 5, line 61; figures 1, 2 column 7, lines 7-20 column 7, line 55 - column 8, line 14 -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/059596

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0464346	A1	08-01-1992	DE 4018740 A1 19-12-1991
			NO 912241 A 13-12-1991
			US 5148017 A 15-09-1992
<hr/>			
JP 2002054956	A	20-02-2002	NONE
<hr/>			
JP 2004309181	A	04-11-2004	JP 3728297 B2 21-12-2005
<hr/>			
EP 1043565	A2	11-10-2000	JP 2000303481 A 31-10-2000
<hr/>			
US 5767411	A	16-06-1998	AU 5722098 A 31-07-1998
			CA 2276449 A1 09-07-1998
			CO 4771128 A1 30-04-1999
			DE 69715455 D1 17-10-2002
			DE 69715455 T2 28-05-2003
			EP 0950170 A1 20-10-1999
			NO 993222 A 29-06-1999
			WO 9829717 A1 09-07-1998
<hr/>			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2010/059596

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES					
INV.	G01C9/00	G01C15/00	E02D1/00	E02D17/00	E21B47/022
	E21B47/12	G01B7/26	G01D5/26	G01D5/353	G01L1/24
	G02B6/50	E21B47/04	G01B11/16		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC					
B. RECHERCHIERTE GEBIETE					
Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)					
G01C E02D E21B G01B G01D G01V G01L G02B					
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen					
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)					
EPO-Internal					
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN					
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile			Betr. Anspruch Nr.	
X	EP 0 464 346 A1 (STRABAG BAU AG [DE]) 8. Januar 1992 (1992-01-08)			1-4,6-13	
Y	Spalte 2, Zeile 27 - Spalte 4, Zeile 41 Spalte 4, Zeile 47 - Spalte 7, Zeile 52; Abbildung 1			5,14	
X	JP 2002 054956 A (DAI ICHI HIGH FREQUENCY CO LTD) 20. Februar 2002 (2002-02-20)			1-4,6-9	
A	* Zusammenfassung Absätze [0013], [0023], [0024]; Abbildungen 1-3			5,10-14	
X	JP 2004 309181 A (TAISEI CORP) 4. November 2004 (2004-11-04)			1-14	
Y	* Zusammenfassung Abbildungen 2-5, 7 Absätze [0031], [0032]; Abbildungen 6a, 6b			5,14	
	----- -/-- -----				
<input checked="" type="checkbox"/>	Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen			<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie	
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist			
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist		"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden			
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist			
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)		"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist			
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht					
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist					
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts			
21. September 2010		04/10/2010			
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2290 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Kuhn, Robert			

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 1 043 565 A2 (SCHRECK MARTIN DR [JP]; GROSSWIG STEPHAN DR [DE]; NISHIGAKI MAKOTO DR) 11. Oktober 2000 (2000-10-11)	5,14
A	Absätze [0018] - [0025]; Abbildungen 1-5 Absätze [0007] - [0016], [0028] - [0030]	1-4,6-13
A	US 5 767 411 A (MARON ROBERT J [US]) 16. Juni 1998 (1998-06-16) Spalte 2, Zeile 24 - Spalte 3, Zeile 20 Spalte 3, Zeile 36 - Spalte 5, Zeile 61; Abbildungen 1, 2 Spalte 7, Zeilen 7-20 Spalte 7, Zeile 55 - Spalte 8, Zeile 14	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/059596

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0464346	A1	08-01-1992	DE 4018740 A1 19-12-1991
			NO 912241 A 13-12-1991
			US 5148017 A 15-09-1992
JP 2002054956	A	20-02-2002	KEINE
JP 2004309181	A	04-11-2004	JP 3728297 B2 21-12-2005
EP 1043565	A2	11-10-2000	JP 2000303481 A 31-10-2000
US 5767411	A	16-06-1998	AU 5722098 A 31-07-1998
			CA 2276449 A1 09-07-1998
			CO 4771128 A1 30-04-1999
			DE 69715455 D1 17-10-2002
			DE 69715455 T2 28-05-2003
			EP 0950170 A1 20-10-1999
			NO 993222 A 29-06-1999
			WO 9829717 A1 09-07-1998