



(11)

EP 2 728 070 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
07.05.2014 Patentblatt 2014/19

(51) Int Cl.: **E02D 5/28** ^(2006.01) **E02D 7/02** ^(2006.01)
E02D 27/12 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12190848.7**

(22) Anmeldetag: 31.10.2012

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

(72) Erfinder: **Krischik, Mark, Dipl. -Ing.**
22159 Hamburg (DE)

(74) Vertreter: **Raffay & Fleck**
Patentanwälte
Grosse Bleichen 8
20354 Hamburg (DE)

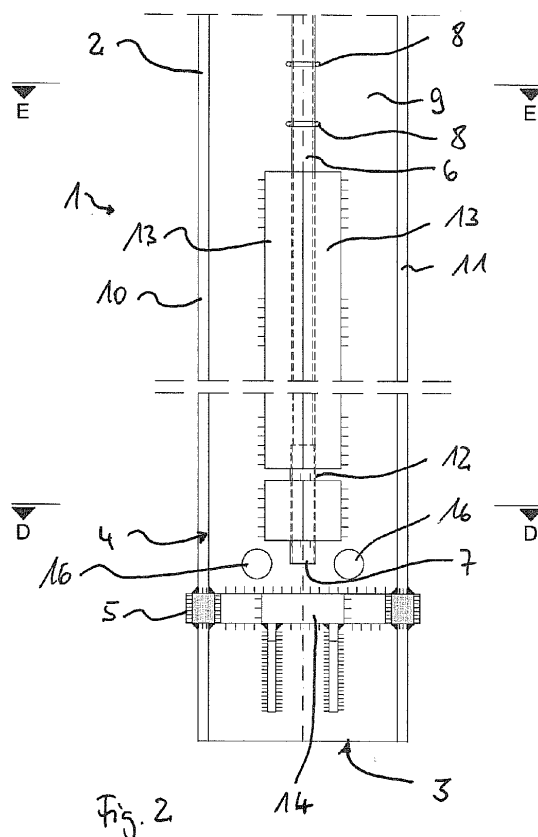
(71) Anmelder: **Aug. Prien Bauunternehmung (GmbH & Co. KG)**
21079 Hamburg (DE)

(54) **Verfahren zum Eintreiben und Verankern eines Rammpfahls im Erdreich sowie Rammpfahl**

(57) Mit der Erfindung soll ein Verfahren zum Eintreiben und Verankern eines im Bereich eines Vorderendes einen Pfahlfuß aufweisenden und im Bereich eines Hinterendes einen Pfahlkopf aufweisenden Rammpfahls im Erdreich dahingehend verbessert werden, dass es in unterschiedlichen, insbesondere an einem Eintreibort lagenweise übereinandergeschichteten Bodenbeschaffenheiten zur Anwendung gelangen kann.

Dazu wird vorgeschlagen, dass der im Bereich des Pfahlfußes eines gegenüber dem Querschnitt des übrigen Rammpfahls vergrößerten Querschnitt aufweisende Rammpfahl durch Aufbringen von in dessen Längsrichtung wirkenden Rammimpulsen auf den Pfahlkopf mit dem Pfahlfuß voran in das Erdreich getrieben und zugleich durch eine an dem Rammpfahl verlaufende Leitung eine Suspension eines aushärtbaren Materials bis zum Pfahlfuß in den Bereich, in dem der Querschnitt gegenüber dem Bereich mit vergrößertem Querschnitt in Richtung des Pfahlkopfes verjüngt ist, eingepresst wird, wobei die Suspension eine Viskosität von höchstens 250 mPa*s, insbesondere höchstens 200 mPa*s, aufweist und zumindest zeitweise mit einem Druck von mindestens 10 bar, vorzugsweise mindestens 25 bar, insbesondere von bis zu 100 bar eingepresst wird.

Zudem wird ein neuartiger Rammpfahl angegeben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Eintreiben und Verankern eines im Bereich eines Vorderendes einen Pfahlfuß aufweisenden und im Bereich eines Hinterendes einen Pfahlkopf aufweisenden Rammpfahls im Erdreich. Sie betrifft ferner einen Rammpfahl mit den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruchs 4.

[0002] Rammpfähle sind seit langem bekannt als Mittel zum Ausbilden von Gründungen für Bauwerke wie auch zum Stabilisieren von Bauten, insbesondere auf feuchtem Untergrund und in der Nähe vom bzw. am Wasser, wie z.B. zur Querstabilisierung von Spundwänden. Dies spielt insbesondere dann eine besondere Rolle, wenn z.B. im Zuge von Baumaßnahmen Baugruben auszuheben, mit Spundwänden zu sichern und diese Spundwände quer zu stabilisieren sind. Gleichmaßen werden Rammpfähle aber auch zur Verankerung von Dauerbauwerken, wie z.B. Schleusenbauwerken, Uferwänden und dergleichen Wasserbauten, aber auch für Hochbauten und dergleichen, eingesetzt.

[0003] Zum Einbringen von Rammpfählen sind verschiedene Maßnahmen und Möglichkeiten bekannt. Bei einer ersten Vorgehensweise werden Rammpfähle durch Aufbringen von in Richtung der Pfahlängsachse wirkenden Rammimpulsen auf den jeweiligen Pfahlkopf ins Erdreich getrieben. Bei einem anderen Verfahren wird der Pfahl, der dort häufig auch als Rüttelpfahl bezeichnet wird, hier jedoch zum Zwecke der Vereinfachung der Terminologie ebenfalls Rammpfahl genannt wird, durch in höherer Frequenz als beim herkömmlichen Rammen in Längsrichtung des Rammpfahls wirkende Vibrationen in das Erdreich gerüttelt.

[0004] Je nach geologischer Beschaffenheit des Untergrundes ist ein Vorgehen mit Einrammen bzw. ist die Gründung eines Rammpfahls durch Rütteln die günstigere Variante. So sind bindige (z.B. tonhaltige oder lehmhaltige) Bodenformationen für ein Vorgehen mittels Einrammens des Rammpfahles durch Aufbringen von Rammimpulsen geeignet, während Rammpfähle in derartige Bodenformationen nicht oder nur sehr schwer durch Rütteln eingebracht werden können. Für die Anwendung von Rüttelverfahren eignen sich hingegen rollige Untergründe (sandhaltige Böden) sehr gut. Dort lässt sich der Untergrund durch das Rütteln leicht verdrängen und eine Gasse zum Eintreiben des Rammpfahles bilden.

[0005] Bei den verschiedenen Verfahren sind Vorgehensweisen bekannt, bei denen zur Stabilisierung der Verankerung des Rammpfahles im Untergrund ein aushärtendes Material, wie insbesondere Beton oder Mörtel, in einen Zwischenraum zwischen dem Rammpfahl und dem umgebenden Erdreich eingebracht wird. Dies geschieht insbesondere bei den Rüttelverfahren beim Einbringen von Rammpfählen in rollige Untergründe, da dort anders als in sehr zähen Bodenschichten bindigen Charakters eine Primärverankerung des Rammpfahles ohne zusätzliche Maßnahmen nicht von gleichwertiger Stabilität ist. Dort dient also das sich verfestigende Material,

insbesondere der Beton, einem Eindringen in freigerüttelte Zwischenräume und damit dem Verankern des Rammpfahles im Untergrund.

[0006] Rammpfähle gibt es dabei mit sehr unterschiedlichen Querschnittsprofilen. So zeigt die DE-GM 75 40 863 einen Rammpfahl mit einem H-Profil, welches am Pfahlfuß spitz zuläuft zum Bilden einer Rammsschneide. Über das H-Profil ist im Bereich des Pfahlfußes eine Fußverstärkung in Form von Verdrängungsblechen gelegt, die beim Einrammen des Pfahls dem Eindringen in das Erdreich bzw. in den Untergrund Vorschub leisten und einen im Querschnitt rechteckigen oder quadratischen Raum frei räumen soll.

[0007] In der AT 229 230 ist ein Rammpfahl beschrieben mit einem in seinem Inneren liegenden Hohlraum, durch den Zementmilch oder Zementmörtel in den Bereich des Pfahlfußes verbracht werden und dort unter hohem Druck ausgepresst werden kann. Dieser Rammpfahl ist insbesondere für die Ausbildung von Gründungen unter Wasser vorgesehen. Ein im unteren Bereich spitz zulaufender Pfahlschuh verdrängt das Erdreich im Bereich des Pfahlfußes und hinterlässt einen um den Hohlpfahl herum verlaufenden Ringraum, der mit dem austretenden Material wie Zementmilch oder Zementmörtel verfüllt wird, um den Rammpfahl so im Boden zu verankern.

[0008] In der EP 2 374 943 A2 ist ein Rammhorn gezeigt, der einen hohlen Schaft aufweist, durch den aushärtendes Material in den Bereich des Rammhornfußes verbracht und dort austreten und verpresst werden kann. Dazu ist bei dem dort gezeigten Rammhorn (Ausführungsbeispiel nach den Figuren 9a und 9b) ein spitz zulaufender Rammhornsuh angeordnet, der zugleich auch als Ventil zum Öffnen und Schließen des Auslaufs für die aushärtbare Masse dient. Der Rammhorn wird nach Erreichen einer Rammtiefe aus dem Rammloch herausgezogen, das Ventil wird geöffnet und das Rammloch wird mit aushärtbarem Material zum Bilden eines Verankerungspfahls aus Beton verfüllt.

[0009] Die Erfinder haben erkannt, dass die bekannten Verfahren zum Eintreiben und Verankern eines Rammpfahls und aus dem Stand der Technik bekannte Rammpfähle Unzulänglichkeiten insbesondere dann aufweisen, wenn der Untergrund, in den dieser Rammpfahl zu treiben ist, vielschichtig aufgebaut ist mit wechselnden Schichten aus rolligen (sandigen) Bodenlagen und bindigen (tonigen bzw. lehmigen) Bodenformationen. Derartige gemischt aufgebaute Bodenstrukturen und geologische Verhältnisse mit Schichten, die für eine ausreichende Gründung von einem einzigen Rammpfahl in mehreren aufeinander folgenden Lagen durchdrungen werden müssen, sind vergleichsweise häufig anzutreffen. So findet man z. B. in der norddeutschen Tiefebene entsprechende Formationen, die glazial gebildet und in der dort typischen Moränenlandschaft durch aufeinanderfolgende Ablagerungen entstanden sind. Um mit den bekannten Rammpfählen und bekannten Verfahren in solchen Bodenformationen eine ausreichende Stabilität

für hohe Lastaufnahmen zu erzielen, müssen häufig Ramppfähle von sehr großen Längen zum Einsatz kommen, die letztlich kaum noch gehandhabt werden können, deren Einbringen in den Untergrund kostspielig und aufwendig ist. Auch können bei derartigen Untergründen überwiegend keine Rüttelverfahren zum Einsatz kommen, da mit diesen - wie oben beschrieben - bindige Schichten wie etwa Lehm- oder Tonschichten nicht gequert werden können.

[0010] Hier also ein verbessertes Verfahren zum Eintreiben eines Ramppfahls im Erdreich anzugeben sowie einen für diesen Zweck optimiert gestalteten Ramppfahl, ist Aufgabe der Erfindung.

[0011] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäße in verschiedenen Aspekten gelöst, nämlich einmal durch ein Verfahren gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 mit vorteilhaften Weiterbildungen gemäß den Merkmalen der abhängigen Ansprüche 2 und 3, in einem weiteren Aspekt durch einen Ramppfahl mit den Merkmalen des Anspruchs 4, zu dem vorteilhafte Weiterbildungen in den abhängigen Ansprüchen 5 bis 15 angegeben sind, und zuletzt auch in einem System mit den Merkmalen des Anspruchs 16.

[0012] In einem ersten Aspekt besteht die Erfindung also in einem Verfahren zum Eintreiben und Verankern eines im Bereich eines Vorderendes einen Pfahlfuß aufweisenden und im Bereich eines Hinterendes einen Pfahlkopf aufweisenden Ramppfahles im Erdreich. Erfindungsgemäß wird bei dem Verfahren der Ramppfahl, der im Bereich des Pfahlfußes einen gegenüber dem Querschnitt des übrigen Ramppfahls vergrößerten Querschnitt aufweist, durch Aufbringen von in dessen Längsrichtung wirkenden Rammimpulsen auf den Pfahlkopf mit dem Pfahlfuß voran in das Erdreich getrieben, und es wird zugleich durch eine an dem Ramppfahl verlaufende Leitung eine Suspension eines aushärtbaren Materials bis zum Pfahlfuß in den Bereich, in dem der Querschnitt gegenüber dem Bereich mit vergrößertem Querschnitt in Richtung des Pfahlkopfes verjüngt ist, eingepresst. Dabei weist erfindungsgemäß die Suspension eine Viskosität von maximal 250 mPa*s, insbesondere höchstens 200 mPa*s, auf und wird zumindest zeitweise mit einem Druck von mindestens 10 bar, vorzugsweise mindestens 25 bar, bevorzugt von mindestens 50 bar, insbesondere von bis zu 100 bar eingepresst. Die Viskosität der Suspension kann als Obergrenze auch geringere Werte annehmen, wie z.B. maximal 150 mPa*s, 100 mPa*s oder 50 mPa*s.

[0013] Insbesondere ist in dem Pfahlfuß der Bereich mit vergrößertem Querschnitt mit einem zusätzlichen Aufmaß auf die jeweilige Oberfläche von maximal 10 cm, insbesondere ≤ 5 cm, in vielen Fällen auch $\leq 2,5$ cm versehen, so dass ein im Übermaß ausgeräumter Spaltraum, in den die Suspension des aushärtbaren Materials eingepresst wird, eine entsprechend geringe Spaltbreite aufweist. Die Kombination aus dem während des Einrammens des Ramppfahls ausgebildeten, insbesondere von dünner Spaltbreite dimensionierten, Spaltraum

und dem Einpressen der Suspension des aushärtbaren Materials mit einer Viskosität von maximal 250 mPa*s, insbesondere höchstens 200 mPa*s, ermöglicht ein Eintreiben und Verankern des Ramppfahls mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sowohl in bindigen Bodenschichten, wie etwa tonhaltigen Schichten, als auch in rolligen Formationen, wie beispielsweise sandigen Schichten. Insbesondere kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein Ramppfahl auch in Bodenformationen mit großem Halt verankert werden, die übereinander geschichtet unterschiedliche Schichten aufweisen mit darin vorhandenen Schichten rolliger Eigenschaften und solche mit bindigem Material. In Versuchen konnten mit Pfählen von einer Länge von etwa 30 m (es wurden Pfähle hergestellt mit bis zu 60 m Länge), die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in den Untergrund eingetrieben und dort verankert worden waren, Tragfähigkeiten und Zugfestigkeiten von bis zu 8.000 kN (dies entspricht einer Last von etwa 800t) erzielt werden, dies insbesondere in den genannten, für herkömmliche Verfahren zum Eintreiben von Ramppfählen schwierig handzuhabenden Böden gemischtlagigen Aufbaus.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren kann dabei verwendet werden für das Eintreiben und Verankern von vertikal in den Untergrund einzubringenden Ramppfählen, aber auch für solche, die ein schräges, von einer Vertikalen abweichendes und um einen vorgegebenen Winkel zur Vertikalen gerichtetes Eintreiben eines Pfahles erfordern, z.B. um eine vertikal aufgestellte Spundwand einer Baugrube, gegen den anlastenden Boden- bzw. Wasserdruck zu verankern.

[0015] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die Suspension mit Vorteil eine solche aus Zement, Flugasche, ggf. weiteren Bindemitteln und Wasser, der ggf. Betonzusatz-Mittel, wie z.B. Verflüssiger und/oder Verzögerer, beigegeben sein können. Wichtig, damit die Suspension unter den angegebenen hohen Drücken eingepresst werden kann, ist, dass diese in den enthaltenen Feststoffen ein feinkörniges Material beinhaltet und nicht etwa mit Kies oder dgl. grobkörnigen Material versetzt ist.

[0016] Um ein "Ausblasen" der eingepressten Suspension aus dem Eintrittsbereich, in welchem der Ramppfahl an der Oberfläche in das zu verankernde Erdreich eindringt, zu verhindern, kann das erfindungsgemäße Verfahren derart vollzogen werden, dass zunächst der Ramppfahl über einen ersten Längenabschnitt ohne Einpressen der Suspension, nach Erreichen einer vorgegebenen Anfangstiefe des Rammfußes unter Einpressen der Suspension in das Erdreich gebracht wird. Diese vorgegebene Anfangstiefe kann beispielsweise 5 m oder mehr bis z.B. 10 m oder sogar bis 20 m betragen. Wichtig ist dabei, dass ein noch ausreichend tiefer weiterer Abschnitt folgt, in dem der Ramppfahl in den Untergrund getrieben wird und in dem die Suspension des aushärtbaren Materials, bei dem es sich beispielsweise um eine bindemittel-, insbesondere zementhaltige Suspension handeln kann, eingepresst wird.

[0017] In der Praxis wird insbesondere dann, wenn die

örtlichen geologischen Gegebenheiten ein Bodenprofil mit horizontal geschichteten, unterschiedliche Eigenschaften aufweisenden, insbesondere abwechseln rolligen bzw. bindigen Schichtbereichen ergeben, der für das Einbringen der Suspension erforderliche Einpressdruck gemäß einem Bodenprofil mit der Vortriebslänge, anhand derer sich ergibt, in welcher Position des Bodenprofils sich der Pfahlfuß und damit der Einbringungsort der eingepressten Suspension befindet, gesteuert. So wird zur Ausbildung einer ausreichenden Verankerung in bindigen Bodenschichten, beispielsweise tonhaltigen Schichten, ein höherer Einpressdruck erforderlich sein, als dies für die Anbindung in einem rolligen Bodenabschnitt, beispielsweise einer stark sandhaltigen Bodenschicht, erforderlich ist. So können also bei dem erfindungsgemäßen Verfahren abhängig von der Eindringtiefe des Pfahlfußes und dem Fortschreiten des Eintreibens des Rammpfahls ganz unterschiedliche Einpressdrücke für die Suspension gegeben sein. Diese können in einzelnen Bodenschichten sehr gering sein, deutlich unterhalb von 10 bar und somit auch unterhalb von 25 bar liegen (bis nahezu bei 0 bar, also einem reinen "Einsinkernlassen" der Suspension), in anderen Bodenabschnitten hingegen stark ansteigen bis hin zu einem aktuell als Maximaldruck vorgesehenen Einpressdruck von 100 bar. Je nach technischer Ausgestaltung der Suspensionsleitungen und Pumpen können hier ggf. sogar Drücke von mehr als 100 bar erreicht werden und von Vorteil sein.

[0018] Insbesondere ist es von Vorteil, wenn für die Überwachung und Qualitätsüberprüfung des Eintreib- und Verankerungsvorganges aufgenommen über die Vortriebslänge des Rammpfahles Profilkurven unterschiedlicher Messgrößen genommen werden, hierbei insbesondere des Einpressdruckes der Suspension und/oder der Durchflussmenge der eingebrachten Suspension. Auch können Daten über die Vortriebstiefe in Abhängigkeit der jeweils aufgebrachten Rammimpulse aufgenommen werden bzw. Daten über die Impulsstärke in Abhängigkeit von der Eintreibtiefe des Rammpfahles. Sämtliche dieser Daten können zum einen zum Abgleich mit dem zuvor aufgenommenen geologischen Profil ausgewertet werden, um festzustellen, ob das Verhalten des Rammpfahles und des Einrammsystems die zuvor aufgrund geologischer Untersuchungen festgestellten Gegebenheiten und Erwartungen widerspiegelt. Zum anderen können diese Daten für überprüfende Modellrechnungen herangezogen werden, aus denen sich eine Lasttragfähigkeit des eingetriebenen und verankerten Rammpfahles errechnet.

[0019] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Rammpfahl insbesondere ohne zugespitzten, in einer Spitze oder Schneide mündenden Pfahlschuh eingetrieben werden, insbesondere dann, wenn der Rammpfahl aus einem im Querschnittsprofil H- bzw. doppel-T-förmigen Pfahlkörper gebildet ist.

[0020] Der erfindungsgemäße Rammpfahl, der mittels des vorstehend beschriebenen Verfahrens in das Erd-

reich eingetrieben und darin verankert werden kann, für dieses Verfahren besonders geeignet und gestaltet ist, hat einen aus einem H-Profil gebildeten Pfahlkörper, welcher Pfahlkörper einen in einem Vorderende mündenden Pfahlfuß und einen durch ein Hinterende begrenzten Pfahlkopf aufweist. Er zeichnet sich dadurch aus, dass im Bereich des Pfahlfußes ein sich entlang der Oberfläche des H-Profiles in einer Richtung quer zu der Längsrichtung im Wesentlichen geschlossen um das Profil herum auf allen Oberflächen erstreckende Materialverdickung vorgesehen ist. Diese Materialverdickung steht erfindungsgemäß um ein Maß d über die angrenzende Oberfläche des H-Profiles über, wobei für dieses Maß gilt: $0,5 \text{ cm} \leq d \leq 10 \text{ cm}$, insbesondere $0,5 \text{ cm} \leq d \leq 5 \text{ cm}$. Eine höhere Untergrenze von z.B. 1,5 cm kann fallweise von besonderem Vorteil sein. Ferner ist bei dem erfindungsgemäßen Rammpfahl in Längsrichtung des Pfahlkörpers ausgehend von dem Pfahlkopf bis zu dem Pfahlfuß eine durchgehende Förderleitung vorgesehen und an dem Pfahlkörper festgelegt, welche Förderleitung im Bereich des Pfahlfußes oberhalb der Materialverdickung in wenigstens einer Austrittsöffnung mündet. Oberhalb der Materialverdickung bedeutet in diesem Zusammenhang in einem Bereich von dem Vorderende des Pfahlkörpers her gesehen jenseits der Materialverdickung.

[0021] Der erfindungsgemäße Rammpfahl endet an seinem Vorderende insbesondere stumpf, d.h., dass er keinen Rammschuh und keine Form mit einer als Spitze oder Schneide ausgebildeten Verjüngung aufweist. Die Förderleitung ist insbesondere in dem Verständnis durchgehend gebildet, als dass sie in einem durchgehenden Stück und ohne zwischengesetzte Kupplungsteile oder Verbindungsmuffen gebildet ist. Dies ist insbesondere deshalb relevant, da durch diese Förderleitung beim Eintreiben und Verankern des erfindungsgemäßen Rammpfahles eine Suspension eines aushärtbaren Materials unter zeitweise hohem Druck eingepresst wird. Die dabei auftretenden Drücke können bis zu 100 bar, ggf. sogar darüber betragen, so dass Kupplungsteile oder Verbindungsmuffen insbesondere dann, wenn sie beim Eintreiben des Rammpfahles in den Boden durch Kontakt mit umgebenden Bodenbestandteilen beansprucht werden, Gefahr laufen den hohen Drücken nicht standhalten zu können und abzureißen.

[0022] Das Besondere an dem erfindungsgemäßen Rammpfahl ist, dass durch die Materialverdickung beim Eintreiben desselben durch Einrammen, also Aufbringen von in Längsrichtung des Rammpfahles wirkenden Rammimpulsen auf den Pfahlkopf, die Materialverdickung einen Spaltraum zwischen dem Pfahlkörper und dem umgebenden Erdreich schafft, in welchen die unter Druck, teilweise unter hohem Druck von mindestens 10 bar, vorzugsweise mindestens 25 bar, insbesondere von bis zu 100 bar, eingebrachte Suspension eingepresst wird und nach Aushärten eine entsprechend verpresste Verankerung bildet und somit für eine hohe Zug- und Druckstabilität und Tragkraft des Rammpfahles in dessen Längsrichtung sorgt. Dabei ist vor allem wichtig, dass die Ma-

terialverdickung von vergleichsweise geringer Stärke von maximal 10 cm, bisweilen maximal 5 cm, jedoch aber auch von ausreichender Stärke von mindestens 0,5 cm, bisweilen mindestens 1,5 cm ist. Die ausreichende Stärke von mindestens 0,5 cm besorgt, dass ein ausreichend breiter Spaltraum zur Verfügung steht, um darin in ausreichender Menge einer aushärtenden Suspension einpressen zu können. Mit einem größeren Überstand als die maximal vorgesehenen 10 cm würde durch die Materialverdickung jedoch ein zu breiter Spaltraum im Erdreich entstehen, in den eine unter hohem Druck eingebrachte Suspension eines aushärtenden Materials nicht mehr mit dem gewünschten verpressenden Effekt und dem erfolgreichen Druckaufbau eingebracht werden bzw. die ausgehärtete Masse die auftretenden Kräfte nicht mehr sicher an das umgebende Erdreich übertragen könnte. Mit besonderem Vorteil liegt das Maß d in einem Bereich $0,5 \text{ cm} \leq d \leq 2,5 \text{ cm}$, beträgt insbesondere 2 cm.

[0023] Die Austrittsöffnung der Förderleitung kann insbesondere eine einzige sein, die insbesondere in Richtung des Pfahlfußes weist. Nicht nur für eine derartige Ausgestaltung, aber insbesondere bei einer solchen kann, um ein Blockieren der Auslassöffnung durch beim Eintreiben des Rammpfahles dorthin vordringendes gelöstes Erdreich auszuschließen in einem in Längsrichtung des Pfahlkörpers in Richtung des Vorderendes der Austrittsöffnung gegenüberliegenden Bereich eine Ableitkonsole vorgesehen sein. Diese Ableitkonsole weist insbesondere eine von der Oberfläche des sonstigen Pfahlkörpers abstehende Länge bzw. Breite auf, die ausreichend ist, um die Austrittsöffnung der Förderleitung in genügendem Maße zu beschatten. Dabei kann diese Ableitkonsole in dem Bereich der Materialverdickung integriert sein, jedoch um ein größeres Maß über die angrenzende Oberfläche des H-Profiles vorstehen als die Materialverdickung. Die Ableitkonsole ist insoweit auch als ein weiterer Vorsprung der Materialverdickung in dem der Austrittsöffnung in genannter Weise gegenüberliegenden Bereich zu verstehen. Insbesondere um ein Abreißen der Ableitkonsole beim Eintreiben des Rammpfahls zu verhindern, ggf. auch um eine Ableitstruktur für verdrängtes Erdreich zu schaffen, können in Längsrichtung des Pfahlkörpers verlaufende, ausgehend von einem dem Vorderende zugewandten Bereich des Pfahlkörpers schräg ausgestellt bis zu der Ableitkonsole verlaufende, mit dieser verbundene Leit- und Stützstrukturen vorgesehen sein.

[0024] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung können bei dem erfindungsgemäßen Rammpfahl im Bereich des Pfahlfußes, insbesondere in einem zwischen der Austrittsöffnung der Förderleitung und der umlaufenden Materialverdickung gelegenen Längsabschnitt des Pfahlkörpers angeordnete, durch die Flächenabschnitte des H-Profiles geführte Durchlassöffnungen gebildet sein. Der erfindungsgemäße Rammpfahl kann im Rahmen der Erfindung mehrere Förderleitungen aufweisen, die insbesondere in den verschiedenen Querschnittsabschnitt

ten des H-Profiles im Wesentlichen in einem gleichen Längsabschnitt münden. Es liegt aber im besonderen Fokus der Erfindung und wird als vorteilhafte Ausgestaltung angesehen, wenn lediglich eine Förderleitung gegeben ist. Dies verringert den erforderlichen Aufwand, führt dennoch zu den festgestellten hervorragenden Verankerungsergebnissen eines erfindungsgemäßen Rammpfahles. Um dann im Bereich des Pfahlfußes eine optimale Verteilung des über die Förderleitung eingepressten, in Suspension vorliegenden aushärtenden Materials zu erreichen, sind mit Vorteil die genannten Durchlassöffnungen vorgesehen. Denn so muss das in Suspension vorliegenden aushärtende Material nicht allein entlang der das H-Profil umgehenden Spalträume bzw. des durchgehenden Spaltraumes verteilt werden, eine Verteilung um den Rammpfahl herum erfolgt dann auch mit Materialdurchfluss durch die Durchlassöffnungen. Dies bedingt insgesamt eine bessere Verteilung der eingepressten Suspension und mithin eine verbesserte Verankerung des Rammpfahles im Untergrund.

[0025] Grundsätzlich kann die Förderleitung im Rahmen der Erfindung auf unterschiedliche Weise gebildet sein, z.B. auch als Rohrleitung. Es wird jedoch bevorzugt, dass die Förderleitung eine flexible Schlauchleitung ist. Eine solche flexible Schlauchleitung kann, wenn der Schlauch insbesondere für die Durchleitung der Suspension unter den hohen Drücken ausgelegt und mit entsprechend verstärkter Schlauchwand versehen ist, sehr einfach an dem Rammpfahl montiert werden, insbesondere in einer durchgehenden Weise. Derartige Schlauchleitungen liegen als Endlosware vor, können für die Herstellung des erfindungsgemäßen Rammpfahles entsprechend zugeschnitten und an dem Rammpfahl festgelegt werden. Bei einer solchen als vorteilhaft angesehenen Verwendung einer Schlauchleitung als Förderleitung ist es dann jedoch auch von Vorteil und gemäß einer Weiterbildung der Erfindung bevorzugt, wenn die Schlauchleitung im Bereich der Austrittsöffnung durch einen diesen umgebenden, vorzugsweise aus einem metallischen Werkstoff, wie z.B. Messing oder niedrig legiertem Stahl ("Baustahl"), bestehenden Rohrabschnitt verstärkt ist. Anstelle eines die Schlauchleitung umgebenden Rohrabschnittes kann mit gleicher Wirkung auch ein sich an ein Ende der Schlauchleitung anschließender, mit der Schlauchleitung fest verbundener Rohrabschnitt gewählt werden. Dieser Rohrabschnitt mit einer festen Rohrwandung gibt einen besonders stabilen und geschützten Austrittsbereich mit der darin angeordneten Austrittsöffnung.

[0026] Mit Vorteil ist die Förderleitung an den zwischen den äußeren Profilabschnitten, den sogenannten Flanschen, verlaufenden, diese zu dem H-Profil verbindenden Mittelabschnitt, dem sogenannten Steg, des Pfahlkörpers festgelegt. Eine Festlegung an diesem Profilabschnitt verlegt die Förderleitung in einen Mittelabschnitt des Rammpfahles, was beim Einrammen dieses Pfahles günstig ist.

[0027] Für die Befestigung der Förderleitung an dem

Pfahlkörper werden mit Vorteil mit ihren freien Enden durch Öffnungen in einer Profilfläche geführte und daran verschraubte U-Klemmen vorgesehen, mit welchen die Förderleitung an dem Pfahlkörper gehalten und festgelegt ist.

[0028] Schließlich wird gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bevorzugt, dass zwischen dem Vorderende und der umlaufenden Materialverdickung am Pfahlfuß in Längsrichtung des Pfahlkörpers gesehen ein Abstand a gegeben ist, für welchen Abstand a vorzugsweise gilt $5\text{ cm} \leq a \leq 100\text{ cm}$, insbesondere $5\text{ cm} \leq a \leq 50\text{ cm}$, bevorzugt $15\text{ cm} \leq a \leq 25\text{ cm}$. In einer besonderen Ausgestaltung kann dieser Abstand a bei 20 cm liegen. Auf diese Weise wird bei dem erfindungsgemäßen Rammpfahl, der wie oben bereits ausgeführt ohne einen spitz zu einer Schneide oder einer Spitze zulaufenden Rammschuh auskommt, ein Eindringbereich geschaffen, der für das weitere Eindringen des Rammpfahles in das Erdreich Sorge trägt, bevor dann mit der umlaufenden Materialverdickung ein weiteres Verdrängen des Erdreiches zur Ausbildung des Spaltraumes stattfindet. Dies erlaubt eine präzisere Führung des Rammpfahls unter Ausbildung des Spaltraumes in zuverlässiger Weise.

[0029] Der Pfahlkörper des erfindungsgemäßen Rammpfahles ist insbesondere aus Stahl gebildet.

[0030] Schließlich wird mit der Erfindung auch noch ein System angegeben, das aus einem Rammpfahl mit den vorstehend beschriebenen Eigenschaften, einer Pfahlramme, einer Suspensionsdruckpumpe mit einer Hochdrucksuspensionsleitung zum Anschließen an das im Bereich des Hinterendes des Pfahlkörpers liegende Ende der Förderleitung sowie aus einer Suspension aus einem aushärtbaren Material gebildet ist. Mit diesem System kann ein Verfahren gemäß der eingangs zur Lösung der Erfindung beschriebenen Art durchgeführt werden. Die in dem System enthaltene Suspension ist dabei vorzugsweise eine solche aus Zement, Flugasche und Wasser sowie ggf. weiteren Bindemitteln und/oder Betonzusatz-Mitteln, wie Verflüssigern und/oder Verzögerern. Die Suspensionsdruckpumpe ist mit Vorteil in der Lage, eine solche Suspension mit einem Druck von mindestens 10 bar, insbesondere mindestens 25 bar, insbesondere bis zu wenigstens 100 bar durch die Hochdrucksuspensionsleitung und die Förderleitung bis zu deren Austrittsöffnung zu befördern und einzuspeisen. Sie verfügt mithin über eine entsprechend ausreichend hohe Kompressionsleistung an ihrer Hochdruckseite.

[0031] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der beigegeführten Figuren. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine geschnittene Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Rammpfahles in einem dem Pfahlfuß benachbarten Ausschnitt,

Fig. 2 eine Draufsicht auf den in Figur 1 dargestellten

Abschnitt aus der in Figur 1 links gelegenen Blickrichtung,

Fig. 3 eine Aufsicht auf den Rammpfahl von oben gemäß der Blicklinie E-E in den Figuren 1 bzw. 2,

Fig. 4 eine Schnittdarstellung durch den Rammpfahl gemäß der Schnitt- und Blicklinie D-D in den Figuren 1 bzw. 2,

Fig. 5 ein Verbaubeispiel erfindungsgemäßer Rammpfähle zur Absicherung einer im Wasserbereich gelegenen Baugrube und

Fig. 6 in Diagrammen a) bis d) Messwerte für verschiedene Parameter, wie sie während eines Einrammenvorganges eines erfindungsgemäßen Rammpfahls nach dem erfindungsgemäßen Verfahren aufgenommen worden sind.

[0032] Die Darstellungen in den Figuren sind schematischer Natur, dienen insbesondere lediglich der Erläuterung der wesentlichen Merkmale der Erfindung und sind dabei nicht zwingend maßstabgerecht.

[0033] Zunächst wird unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 4, der dort in verschiedenen Ausschnittsansichten und Schnittdarstellungen gezeigte Rammpfahl 1 beschrieben. Der Rammpfahl 1 hat einen Pfahlkörper 2, der, wie insbesondere die Figuren 3 und 4 gut erkennen lassen, die Form eines H-Profil, als auch Doppel-T-Profil oder auch 1-Profil bezeichnet, aufweist. Der Pfahlkörper 2 ist hier aus Stahl gebildet, in an sich bekannter Weise.

[0034] In den Figuren 1 und 2 ist dabei von dem Pfahlkörper lediglich ein das Vorderende 3 und ein den in dem Vorderende 3 mündenden Pfahlfuß 4 umfassender Abschnitt dargestellt. Der weitere Längsverlauf des Rammpfahles 1, der insgesamt eine Länge von mehreren 10m, z. B. 30m, bis hin zu 60m oder sogar mehr, haben kann, ist hier nicht dargestellt. So fehlt auch eine Darstellung des dem Vorderende 3 in Längsrichtung des Rammpfahles 1 gegenüberliegenden Hinterendes mit dem Pfahlkopf. Dieser Pfahlkopf kann mit Verstärkungen versehen sein zur sicheren Einleitung der Rammimpulse.

[0035] Zu erkennen ist in den Figuren 1 und 2 eine in einem Abstand a vom Vorderende 3 gelegene umlaufende Materialverdickung 5, die zu einer lokalen Verbreiterung des H-Profiles führt. Diese umlaufende Materialverdickung 5 hat eine Dicke d , um die sie die Außenabmessungen des H-Profiles des Pfahlkörpers 2 in dem Bereich, in dem sie aufgebracht ist, vergrößert bzw. verstärkt. Diese Materialverdickung 5 ist gebildet durch auf den Pfahlkörper 2 aufgeschweißte Stahlstreifen, die eine Höhe h aufweisen, über die sich die Materialverdickung 5 in Längsrichtung des Pfahlkörpers 2 erstreckt. Die Materialverdickung 5 ist insgesamt umlaufend um das H-Profil geführt und verläuft parallel zu dem Vorderende 3 bzw. im Wesentlichen senkrecht zu der Längserstreckung des Pfahlkörpers 2. Die Dicke d der Materialverdickung 5 liegt

von 0,5 cm bis maximal 10 cm, mit Vorteil von 0,5 cm bis maximal 5 cm, insbesondere von 1,5 cm bis 2,5 cm und bemisst in diesem Ausführungsbeispiel bevorzugt 2 cm. Die Höhe h kann in diesem Ausführungsbeispiel 5 cm betragen, der Abstand a liegt insbesondere in einem Wertebereich von 5 cm bis 100 cm, vorzugsweise in einem Wertebereich von 5 cm bis 50 cm, insbesondere von 15 cm bis 25 cm und beträgt in diesem Ausführungsbeispiel besonders bevorzugt 20 cm.

[0036] Zu erkennen ist hier auch, dass das Vorderende 3 des Rammpfahles 1 "stumpf" gebildet ist, also nicht etwa einen Rammschuh aufweist oder eine Form, die verjüngt ist zu einer Spitze oder Schneide.

[0037] Zu erkennen ist auch, eine in Längsrichtung des Pfahlkörpers 2 verlaufende Förderleitung 6, die sich über die gesamte Länge des Rammpfahles 1, also von dem hier nicht dargestellten Rammkopf und Hinterende des Rammpfahles 1 bis in den Bereich des Pfahlfußes 4 erstreckt und dort in einer Austrittsöffnung 7 mündet. Die Förderleitung 6 besteht in diesem Ausführungsbeispiel aus einem hochdruckstabilen Schlauch, der in einem Stück ausgehend von Pfahlkopf entlang des Pfahlkörpers 2 bis zum Pfahlfuß 4 geführt ist. Er ist mit U-förmigen Halte- und Klemmbügeln 8 an dem Pfahlkörper 2 festgelegt, die durch Öffnungen an einem Profilabschnitt geführt und auf der der Förderleitung 6 gegenüberliegenden Seite durch auf ihre mit entsprechenden Gewinden versehenen freien Enden aufgeschraubte Schraubmuttern gesichert und gehalten sind.

[0038] In dem gezeigten Ausführungsbeispiel liegt die Förderleitung 6 festgelegt in etwa mittig an einem zentralen Profilabschnitt 9, dem Steg, des H-Profiles, der die beiden seitlichen Profilabschnitte 10, 11, die Flansche, miteinander verbindet.

[0039] An ihrem unteren Abschnitt im Bereich der Austrittsöffnung 7 ist die Förderleitung 6 durch einen festen Rohrabschnitt 12 gebildet bzw. durch einen solchen um den flexiblen Schlauch gelegten festen Rohrabschnitt 12 verstärkt, um den sensiblen Bereich der Austrittsöffnung 7 zu stabilisieren. Zudem sind dachartig angelegte Schutzbleche 13 im Bereich des Pfahlfußes 4 über die Förderleitung 6 gelegt, auch in einem Abschnitt, in welchem diese noch als Schlauch geführt ist. Diese dachartig gelegten Schutzbleche sind mit dem zentralen Profilabschnitt verschweißt und dienen ebenfalls dem Schutz der Förderleitung 6 im Bereich des Pfahlfußes 4. Der Austrittsöffnung 7 gegenüberliegend und von dieser weiter zum Vorderende 3 des Pfahlkörpers 2 gelegen ist eine Ableitkonsole 14 angeordnet, die von dem H-Profil, hier vom zentralen Profilabschnitt 9, um ein weiteres Maß absteht als die umlaufende Materialverdickung 5. Von der Austrittsöffnung 7 aus gesehen jenseits der Materialverdickung 5 ist die Ableitkonsole 14 gestützt durch Leit- und Stützbleche 15, die ausgehend von einem dem Vorderende 3 des Pfahlkörpers 2 nahe gelegenen Abschnitt sich aus einer dem H-Profil genauer dessen zentralen Profilabschnitt 3 näher gelegenen Bereich schräg auswärts verlaufend bis zur Ableitkonsole 13 erstrecken

und mit dieser verbunden sind. Diese Leit- und Schutzbleche 15 bieten der Ableitkonsole 14 weiteren Halt gegen die nachfolgend noch näher zu beschreibenden Belastungen.

[0040] Ferner sind im Bereich des Pfahlfußes 4 in einem Abschnitt zwischen der Austrittsöffnung 7, der Förderleitung 6 und der umlaufenden Materialverdickung 5 angeordnete, durch die Profilabschnitte 9, 10, 11 geführte Durchlassöffnungen 16 zu erkennen.

[0041] Verwendet wird der in den Figuren 1 bis 4 gezeigte Rammpfahl 1 wie folgt:

Der Rammpfahl 1 wird mit seinem Rammfuß 4 und dem Vorderende 3 voran durch in Längsrichtung des Pfahlkörpers 2 wirkende, auf den hier nicht näher dargestellten Pfahlkopf aufgebrachte Rammimpulse in den Untergrund bzw. in das Erdreich getrieben. Dabei schneiden gleichermaßen die Profilabschnitte 9, 10, 11 mit ihren in dem vorderen Ende 3 mündenden Stirnkanten einen Weg in den Untergrund. Durch die umlaufende Materialverdickung 5, die sich ausgehend von dem vorderen Ende 3 im Abstand a am Pfahlfuß 4 anschließt, wird beim Einrammen des Rammpfahles 1 ein dessen H-Profil-förmigen Pfahlkörper 2 umgebender Spaltraum frei geräumt, der im Wesentlichen eine Dicke des Maßes d aufweist. Dieser Spaltraum wird während des Einrammens des Rammpfahls 1 mit unter Druck über die Förderleitung 6 und durch die Auslassungsöffnung 7 in diesen eingepresster Suspension aus einem aushärtbaren Material, insbesondere einer Betonmischung geringer Viskosität von maximal 250 mPa*s, insbesondere höchstens 200 mPa*s oder sogar geringer, verfüllt. Das über die Förderleitung 6 während des Rammvorganges eingepresste, hoch fluide aushärtbare Material strömt unter hohem Druck, zumindest zeitweise während des Rammvorganges belaufen sich diese Drücke typischerweise auf 10 bar und mehr, zum Teil bis zu 100 bar, gegen die Ableitkonsole 14. Damit die Ableitkonsole 14 infolge des hier auftretenden hohen Drucks nicht abreißt, ist diese von den Leit- und Stützblechen 15 zusätzlich gehalten. Umgelenkt durch die Ableitkonsole 14 und nach unten hin in Richtung des Vorderendes 3 des Rammpfahles 1 durch die Materialverdickung 5 abgedichtet, strömt die Suspension des aushärtbaren Materials quer zur Längsrichtung des Rammpfahles 1 und verfüllt den Spaltraum. Um eine Ausbreitung entlang des gesamten Spaltraumes zu erleichtern und damit ein Verfüllen des Spaltraumes mit eingepresstem, in einer Suspension vorliegenden aushärtbaren Material zu begünstigen, sind die Durchtrittsöffnungen 16 vorgesehen, durch die diese Suspension sich ebenfalls ausbreiten und darüber sämtliche Spalten des Spaltraumes verfüllen kann.

[0042] Die Ableitkonsole 14 hat dabei neben der Prallablenkung der dort unter hohem Druck auftreffenden,

durch die Austrittsöffnung 7 die Förderleitung 6 verlassenden Suspension des aushärtbaren Materials eine weitere Funktion. Sie dient dazu, beim Eintreiben des Rammpfahles 1 in Richtung der Austrittsöffnung 7 drückendes Erdreich abzuwenden und von der Austrittsöffnung 7 abzuleiten. Diese Ableitung unterstützend und das Eindringen der in größerem Abstand von dem zentralen Profilabschnitt 9 des Pfahlkörpers 2 abstehenden Ableitkonsole befördernd sind die Leit- und Stützbleche 15, die insoweit ebenfalls eine zweite Funktion ausüben.

[0043] Der in den Figuren 1 bis 4 gezeigte und vorstehend erläuterte Rammpfahl 1 ist insbesondere geeignet, in unterschiedlich beschaffenen Böden zur Anwendung zu kommen. So kann dieser Rammpfahl in gleicher Weise in rollige, z.B. sandhaltige, Untergründe getrieben und darin erfolgreich verankert werden, wie er in bindige, beispielsweise tonhaltige, Bodenschichten eingebracht und dort festgelegt werden kann. Insbesondere geeignet ist der erfindungsgemäße Rammpfahl damit auch für die Verankerung in solchen Untergründen, die wechselnde Schichtungen mit sowohl rolligem als auch bindigem Bodenmaterial aufweisen. Gerade solche Bodenschichten, wie sie häufig in glazial geprägten geologischen Abschnitten, wie z.B. der norddeutschen Tiefebene, aber auch Bereichen der angrenzenden Gebiete, wie beispielsweise in den Niederlanden, vorkommen, waren bisher für die Gründung über Rammpfähle bekannter Art nur sehr schwer zu bearbeiten. Hier mussten häufig, um entsprechend hohe Zugfestigkeiten zu erreichen, besonders lange Rammpfähle verwendet werden, deren Eintreiben bis zu den erforderlichen Tiefen regelmäßig mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden waren. Mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung können auch vergleichsweise kurz bemessene Rammpfähle von beispielsweise nur 30 m in derart schwierigen Untergründen hohe Lastfestigkeiten erreichen. So konnten in von den Erfindern durchgeführten Versuchen Last- bzw. Tragfestigkeiten von bis 8.000 kN, entsprechend ungefähr 800t erzielt werden. Der wie oben beschrieben ausgebildete Rammpfahl eignet sich sowohl für eine vertikale Verankerung als auch für ein schräg gestelltes Eintreiben in den Untergrund. Es können Rammpfähle auch größerer Längen hergestellt werden, so sind mit derzeitig üblichen Geräten Gründungen mit solchermaßen gestalteten Rammpfählen von Längen bis zu 60 m denkbar.

[0044] In Fig. 5 ist schematisch ein Beispiel für die Verwendung der erfindungsgemäßen Rammpfähle gezeigt. Gezeigt ist dort eine unterhalb einer Wasserlinie WL ragende, durch Spundwände S gesicherte Baugrube B. Eine solche Baugrube B kann beispielsweise im Bereich des Hafen- oder des Schleusenbaus in natürlichen oder künstlichen Wasserläufen anzulegen sein für entsprechende Baumaßnahmen. Sie kann aber auch im Bereich des Tiefbaus dort anfallen, wo hohe Grundwasserspiegel oder aber besonders tief in das Erdreich hinein durchzuführende Baumaßnahmen solche Baugruben B erforderlich machen. So ist beispielsweise aus der nach der deutschen Wiedervereinigung stark durchgeführten Bautä-

tigkeit im Zentrum Berlins bekannt, dass dort große und tief gründende Baugruben ausgehoben worden sind, die für Bauarbeiten unterhalb des Wasserspiegels dienen. Hier wurden ebenfalls zunächst Spundwände S in den Untergrund getrieben, diese dann wie in der Fig. 5 gezeigt mit schräg verlaufenden Rammpfählen 1 gesichert gegen Querlasten, bevor in einem anschließenden Schritt dort die Baugruben leergepumpt und trockengelegt wurden. In Fig. 5 ist dargestellt, wie für die weitere Stabilisierung der Baustelle zusätzliche Rammpfähle 1 sowohl vertikal als auch quer dazu verlaufend im Grund der Baugrube B verankert sind. Bei all diesen Rammpfählen 1 kann es sich, und handelt es sich mit Vorteil, um die in den Figuren 1 bis 4 ausschnittsweise dargestellten Rammpfähle gemäß der Erfindung handeln.

[0045] Um diese Rammpfähle 1 z.B. wie in der Fig. 5 dargestellt in das Erdreich einzutreiben und dort zu verankern, wird ein wie oben anhand der Figuren 1 bis 4 bereits beschriebenes Verfahren und wird ein entsprechendes System verwendet. Dazu bedarf es neben dem erfindungsgemäß ausgestalteten Rammpfahl einer hier nicht näher dargestellten Pfahlramme mit einer Rammpfahlführung, die auch eine schräg verlaufende Eintreibrichtung des Rammpfahles 1 gestattet. Mit dieser Pfahlramme, die in der Lage ist, auf den Kopf des Rammpfahls entsprechende Rammimpulse auszuüben, wird der in der Längsrichtung des Rammpfahles 1 bzw. seines Pfahlkörpers 2 ausgeübte Rammimpuls übertragen, der für ein Eintreiben des Rammpfahles 1 in seiner Längsrichtung sorgt. Ferner bedarf es in diesem System einer Suspensionsdruckpumpe, mit der eine Suspension eines aushärtbaren Materials, beispielsweise eines Betons, so z.B. einer Mischung aus Wasser, Zement, Flugasche, ggf. weiteren Bindemitteln und ggf. Betonzusatzmitteln, wie z.B. Verflüssigern und/oder Verzögerern, fördern und auf einer Hochdruckseite unter hohem Druck, insbesondere unter einem regelbaren Druck ausgeben kann in eine Hochdrucksuspensionsleitung, die ihrerseits wiederum an das im Bereich des Hinterendes des Pfahlkörpers liegende Ende der Förderleitung angeschlossen werden kann. Zudem bedarf es einer entsprechenden Suspension des aushärtbaren Materials, das in der Praxis in einem auf einer Saugseite an die Suspensionsdruckpumpe angeschlossenen Vorratsbehälter gelagert ist.

[0046] Beim Eintreiben der Rammpfähle 1 in den Untergrund können diese über eine erste Vortriebsstrecke zunächst einmal ohne Einpressen der Suspension vorangetrieben werden, um zu verhindern, dass aus der Eintrittsstelle unter hohem Druck stehende Suspension austritt bzw. ausschießt. Mit Erreichen einer vorgegebenen Mindesttiefe kann mit dem Einpressen der Suspension begonnen werden. Dabei wird die Suspension typischerweise nicht immer mit gleichbleibend hohem Druck eingepresst, der Einpressdruck wird vielmehr typischerweise auf einem Mindestdruck von z.B. 10 bar oder 25 bar oder 50 bar gehalten und liegt, abhängig von den geologischen Formationen des Untergrundes, den der Pfahl-

fuß mit der Austrittsöffnung passiert, teilweise bei höheren Werten. Liegen dort Schichten mit größerer Lagerungsdichte und/oder bindige Schichten vor, so kann ein höherer Einpressdruck gewählt werden, typischerweise von bis zu 100 bar. Sind dort Schichten mit geringerer Lagerungsdichte und/oder rollige bzw. sandhaltige Schichten vorzufinden, so kann der Einpressdruck abgesenkt werden bis hin zu einem Einpressdruck von nahe bei 0 in einem extremen Fall, z.B. bei rein organischen Bodenschichten wie untergründigen Torflinsen.

[0047] Für eine Qualitätskontrolle und Überprüfung der Übereinstimmung des Rückhaltes des Rammpfahles im Erdreich mit den zuvor errechneten Werten, wird mit Vorteil der Verlauf des Einpressdruckes ebenso wie der Verlauf des zugeführten Suspensionsvolumens korreliert zu der fortschreitenden Eindringtiefe des Rammpfahles in den Untergrund aufgezeichnet, um darüber Daten der Verpressung und auch Rückschlüsse auf die Struktur des Untergrundes zu gewinnen. Insbesondere dann, wenn der Rammpfahl in tiefer liegende Schichten eingebracht wird, sind häufig keine exakten geologischen Daten über die dort anzutreffenden Bodenschichten, z.B. mittels von Bohrkernen, Drucksondierungen oder ähnlichen Aufschlüssen vorhanden. Insbesondere um hier also die zuvor bestimmte Bodenbeschaffenheit und Profilierung zu bestätigen bzw. Abweichungen aufzuzeigen, ist ein Ziel der entsprechenden Überwachung.

[0048] In Figur 6 sind in den einzelnen Darstellungen a), b), c), d) insgesamt vier verschiedene Diagramme mit Messwerten für verschiedene Verfahrensparameter wiedergegeben, die bei einem Einrammvorgang eines erfindungsgemäßen Rammpfahls in den Untergrund nach dem erfindungsgemäßen Verfahren aufgenommen worden sind. In der Darstellung a) ist auf der Hochachse die Eintreibtiefe des Pfahls in Metern (von 0m bis 30m, mit den ganzen Metern vor dem Doppelpunkt und Dezimalstellen hinter dem Doppelpunkt) und auf der Rechtsachse der Einpressdruck der Suspension des aushärtbaren Materials in bar aufgetragen. Der Anfang der Hochachse mit 0m ist dabei nicht der Erdoberfläche an der Eintreibstelle entsprechend, sondern bezeichnet einen bereits in der Tiefe des Erdreichs liegenden Punkt, ab dem die Zuführung der Suspension und das Verpressen des um das Pfahlprofil herum freigeräumten Raumes beginnt.

[0049] Zu erkennen ist, dass in diesem Fall das Verfahren mit einem eingestellten "Normaldruck" von etwa 25 bar betrieben worden ist. Ein Druckabfall auf nahe 0 bar im Bereich zwischen den Eintreibtiefen 3m und 4m ist hier ein systembedingtes Artefakt. In dem Bereich bis etwa 10m Eintreibtiefe passierte der Rammpfahl mit seinem Pfahlfuß Bodenschichten aus überwiegend rolligem Material, so dass die Suspension nur mit dem Normaldruck von 25 bar als Mindestdruck eingepresst wurde. Im Bereich zwischen 10m und 11 m steigt der Einpressdruck zunächst in Ausschlägen und dann durchgehend schlagartig an und ist im Bereich zwischen etwa 11 m und etwa 14m bei 100 bar abgeregelt. Dort durchquerte der Rammpfahl mit seinem Rammfuß eine Bodenschicht

bindigen Materials. Durch die weitergeführte Zuförderung der Suspension mittels der Suspensionspumpe stieg der Druck. Bei 100 bar wurde das System aus Sicherheitsgründen abgeregelt, da ansonsten bei noch weiter steigenden Drücken Schäden an den Suspensionsleitungen und/oder der Suspensionspumpe zu befürchten waren. Wenn dieses Material höhere Druckfestigkeiten aufweist, könnte sogar mit höheren Drücken gearbeitet werden.

[0050] Im Bereich zwischen etwa 14m und 17m Einrammtiefe fiel der Druck dann langsam ab, blieb jedoch weiterhin oberhalb des Wertes des Normaldrucks für diesen Verfahrenslauf, der bei 25 bar lag. Zwischen 17m und etwa 19m Einrammtiefe war dann erneut ein leichter Anstieg des Drucks zu beobachten, bis bei etwa 19m ein erneuter sprunghafter Anstieg auftrat bis hin zu einem Druck von 100 bar, bei dem wiederum das System abgeregelt wurde.

[0051] In dem Bereich zwischen etwa 14m und 19m Einrammtiefe war die Bodenschicht weniger bindig bzw. hatte einen höheren Anteil rolligen Materials, so dass die eingepresste Suspension leichter in den umgebenden Boden eindringen und der Druck absinken konnte. Die Schicht in diesem Bereich war jedoch nach wie vor von höherem Widerstand gegenüber einem Eindringen der Suspension als die Bodenschicht am Anfang des Einrammens im Bereich zwischen 0m und etwa 10m Einrammtiefe.

[0052] In einem Bereich zwischen etwa 19m Einrammtiefe und etwa 23m Einrammtiefe durchquerte der Pfahlfuß eine Bodenschicht mit ähnlichen Eigenschaften wie die Schicht im Bereich zwischen 11 m und 14m Einrammtiefe, so dass dort das hohe Druckniveau des als maximal möglicher Druck eingestellten Abregeldruckes von 100 bar gehalten wurde.

[0053] Im letzten Abschnitt schloss sich eine Schicht aus rolligem Material an, in die der Pfahlfuß dann im Bereich ab etwa 23m Einrammtiefe bis zu der Endtiefe von 30m vordrang und in der der Druck zunächst in einem Übergangsbereich zwischen 23m und 24m Einrammtiefe langsam abfiel und dann auf dem hier eingestellten Normaldruck von 25 bar gehalten wurde.

[0054] Hierbei ist noch einmal zu betonen, dass der Normaldruck auch einen geringen Wert annehmen kann, solange dieser zumindest zeitweise mindestens 10 bar beträgt.

[0055] Das Diagramm in der Darstellung b) der Figur 6 zeigt in einer ähnlichen Auftragung mit der Einrammtiefe in Metern auf der Hochachse auf der Rechtsachse die Durchflussmenge der eingebrachten Suspension in l/min aufgetragen. Es ist gut zu erkennen, dass der Verlauf der Durchflussmenge mit dem Druckverlauf insoweit korreliert, als dass in den Bereichen, in denen der Einpressdruck ansteigt, der Boden eine geringe Durchdringbarkeit zeigt, die Durchflussmenge der Suspension abfällt bis hin zu einem Durchfluss von null. Dort, wo die Bodenschicht aus rolligem Material gebildet war, wurden größere Mengen der Suspension pro Zeiteinheit einge-

bracht, da diese besser in das umgebende Bodenreich eindringen konnte.

[0056] Die Darstellung c) zeigt mit dem gleichen Tiefenverlauf entlang der Hochachse aufgezeigt auf der Rechtsachse die beim Einrammen aufgebrauchte Rammenergie pro eingetriebenen Meter in kJ/m. Diese Rammenergie ist ein Maß für die Bodenbeschaffenheit der vom Pfahlfuß durchquerten Schicht. Eine hohe aufgewendete Rammenergie pro eingetriebenen Meter zeugt von einer Schicht mit hoher Lagerungsdichte, niedrige aufzuwendende Rammenergie pro eingetriebenen Meter belegt eine gerade durchquerte Schicht mit geringer Lagerungsdichte. Hier ist also zu erkennen, dass insbesondere in einer Einrammtiefe ab etwa 17m die Lagerungsdichte deutlich ansteigt.

[0057] Die letzte Darstellung d) zeigt das in den unterschiedlichen Einrammtiefen (die Einrammtiefe ist erneut auf der Hochachse mit gleicher Skalierung wie in den Darstellungen a), b) und c) aufgetragen) pro eingerammten Meter eingebrachte Volumen der Suspension des aushärtbaren Materials in l/m auf der Rechtsachse aufgetragen. Auch dieser Auftrag zeigt eine Korrelation zu den Verläufen der Druckkurve nach Darstellung a) und der Durchflussmengenkurve nach Darstellung b). Dort, wo der Druck hoch, die Durchflussmenge der Suspension gering war, fällt auch das eingebrachte Volumen pro Meter Vortriebslänge ab. Das eingebrachte Volumen pro Meter Vortriebslänge ist eine in einer vorherigen Modellierung berechnete Rahmengröße des Verfahrens. Hier wird aktuell ein Volumen von etwa dem 1,5- bis 2,5-fachen des durch den Querschnitt des Rammpfahls im Bereich des vergrößerten Querschnitts bei entsprechendem Vortrieb gebildeten Volumens als Richtgröße angestrebt und vorgegeben.

Bezugszeichenliste

[0058]

1	Rammpfahl
2	Pfahlkörper
3	Vorderende
4	Pfahlfuß
5	Materialverdickung
6	Förderleitung
7	Austrittsöffnung
8	U-förmige Halte- und Klemmbügel
9	zentraler Profilabschnitt
10	seitlicher Profilabschnitt
11	seitlicher Profilabschnitt
12	Rohrabschnitt
13	Schutzblech
14	Ableitkonsole
15	Leit- und Stützblech
16	Durchlassöffnung
a	Abstand
d	Dicke

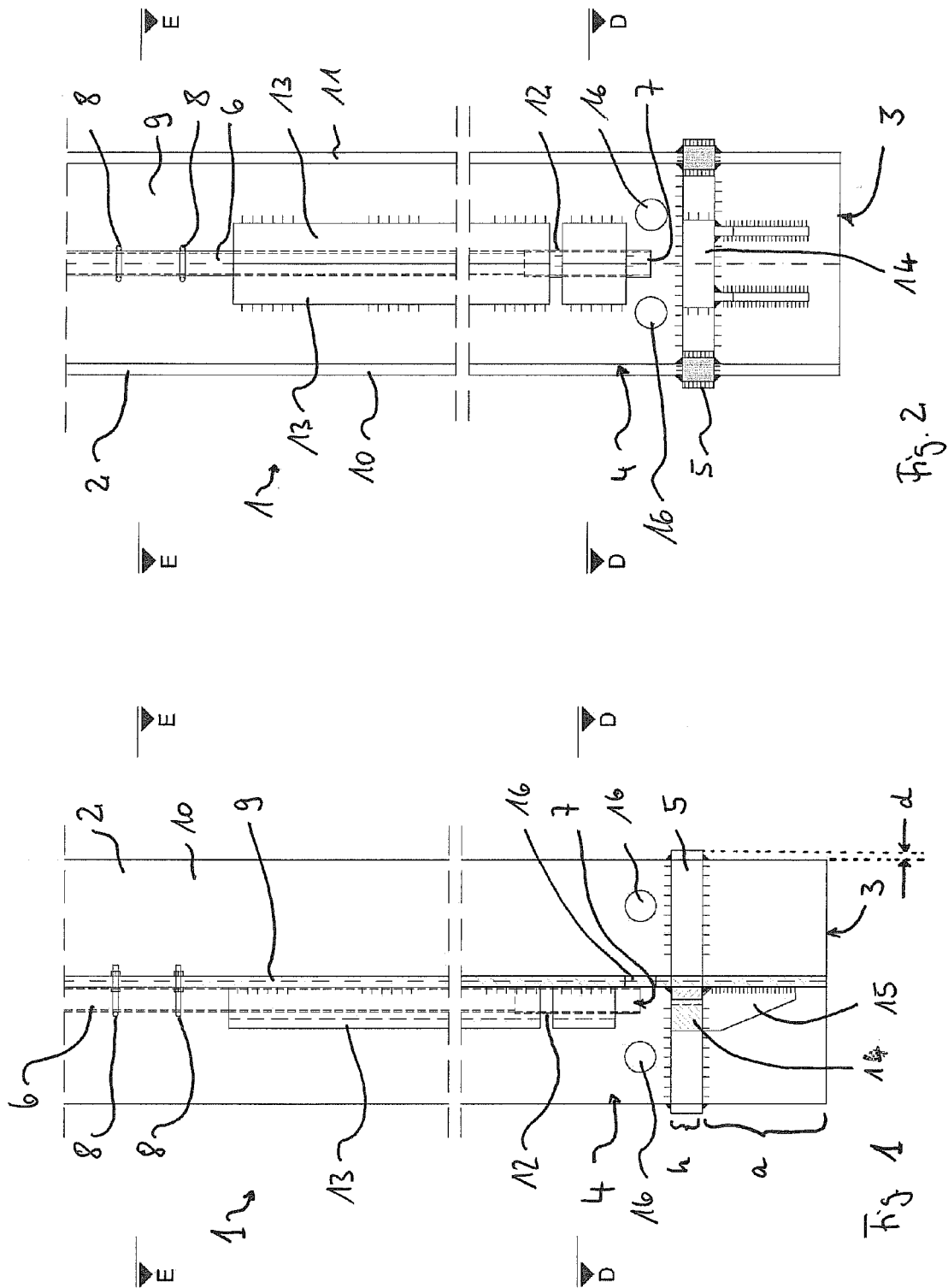
h	Höhe
B	Baugrube
S	Spundwand
WL	Wasserlinie

5

Patentansprüche

- Verfahren zum Eintreiben und Verankern eines im Bereich eines Vorderendes einen Pfahlfuß aufweisenden und im Bereich eines Hinterendes einen Pfahlkopf aufweisenden Rammpfahls im Erdreich, wobei der im Bereich des Pfahlfußes einen gegenüber dem Querschnitt des übrigen Rammpfahls vergrößerten Querschnitt aufweisende Rammpfahl durch Aufbringen von in dessen Längsrichtung wirkenden Rammimpulsen auf den Pfahlkopf mit dem Pfahlfuß voran in das Erdreich getrieben und zugleich durch eine an dem Rammpfahl verlaufende Leitung eine Suspension eines aushärtbaren Materials bis zum Pfahlfuß in den Bereich, in dem der Querschnitt gegenüber dem Bereich mit vergrößertem Querschnitt in Richtung des Pfahlkopfes verjüngt ist, eingepresst wird, wobei die Suspension eine dynamische Viskosität von höchstens 250 mPa*s, insbesondere höchstens 200 mPa*s, aufweist und zumindest zeitweise mit einem Druck von mindestens 10 bar, vorzugsweise von mindestens 25 bar, insbesondere von bis zu 100 bar eingepresst wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Suspension eine Suspension aus Zement, Flugasche, ggf. weiteren Bindemitteln und Wasser sowie gegebenenfalls Betonzusatz-Mitteln, wie Verflüssigern und/oder Verzögerern, ist.
- Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rammpfahl über einen ersten Längenabschnitt ohne Einpressen der Suspension, nach Erreichen einer vorgegebenen Anfangstiefe des Rammfußes unter Einpressen der Suspension in das Erdreich eingebracht wird.
- Rammpfahl mit einem aus einem H-Profil gebildeten Pfahlkörper (2) mit einem in einem Vorderende (3) des Pfahlkörpers (2) mündenden Pfahlfuß (4) und mit einem durch ein Hinterende des Pfahlkörpers (2) begrenzten Pfahlkopf, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich des Pfahlfußes (4) eine sich entlang der Oberfläche des H-Profiles in einer Richtung quer zu der Längsrichtung im Wesentlichen geschlossen um das Profil herum auf allen Oberflächen erstreckende Materialverdickung (5) vorgesehen ist, die um ein Maß d über die angrenzende Oberfläche des H-Profiles übersteht, für das gilt $0,5 \text{ cm} \leq d \leq 5 \text{ cm}$, und dass in Längsrichtung des Pfahlkörpers (2) aus-

- gehend von dem Pfahlkopf bis zu dem Pfahlfuß (4) eine durchgehende Förderleitung (6) verläuft und an dem Pfahlkörper (2) festgelegt ist, die im Bereich des Pfahlfußes (4) oberhalb der Materialverdickung (5) in wenigstens einer Austrittsöffnung (7) mündet. 5
5. Rammpfahl nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** für das Maß d gilt $0,5 \text{ cm} \leq d \leq 10 \text{ cm}$, insbesondere $0,5 \text{ cm} \leq d \leq 5 \text{ cm}$. 10
6. Rammpfahl nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** an dem Pfahlfuß (4) in einem der Austrittsöffnung (7) in Längsrichtung des Pfahlkörpers (2) in Richtung des Vorderendes (3) gegenüberliegenden Bereich eine Ableitkonsole (14) vorgesehen ist. 15
7. Rammpfahl nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ableitkonsole (14) in dem Bereich der Materialverdickung (5) integriert ist, jedoch um ein größeres Maß über die angrenzende Oberfläche des H-Profils vorsteht als die Materialverdickung (5). 20
8. Rammpfahl nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **gekennzeichnet, durch** in Längsrichtung des Pfahlkörpers (2) verlaufende, ausgehend von einem dem Vorderende (3) zugewandten Bereich des Pfahlkörpers (2) schräg ausgestellt bis zu der Ableitkonsole (14) verlaufende, mit dieser verbundene Leit- und Stützstrukturen (15). 25 30
9. Rammpfahl nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **gekennzeichnet durch** im Bereich des Pfahlfußes (4), insbesondere in einem zwischen der Austrittsöffnung (7) der Förderleitung (6) und der umlaufenden Materialverdickung (5) gelegenen Längsabschnitt des Pfahlkörpers (2) angeordnete, **durch** die Flächenabschnitte (9, 10, 11) des H-Profils geführte Durchlassöffnungen (16). 35 40
10. Rammpfahl nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **gekennzeichnet durch** eine flexible Schlauchleitung als Förderleitung (6). 45
11. Rammpfahl nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schlauchleitung im Bereich der Austrittsöffnung (7) durch einen diese umgebenden Rohrabchnitt (12) verstärkt ist. 50
12. Rammpfahl nach einem der Ansprüche 4 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Förderleitung (6) an dem zwischen den äußeren Profilabschnitten (10, 11) verlaufenden, diese zu dem H-Profil verbindenden Mittelabschnitt (9) des Pfahlkörpers (2) festgelegt ist. 55
- durch gekennzeichnet, dass** die Förderleitung (6) an dem Pfahlkörper (2) mittels mit ihren freien Enden durch Öffnungen in einer Profilfläche (9) geführten und daran verschraubten U-Klemmen (8) gehalten ist.
14. Rammpfahl nach einem der Ansprüche 4 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Pfahlfuß (4) in Längsrichtung gesehen ein Abstand a zwischen dem Vorderende (3) und der umlaufenden Materialverdickung (5) gegeben ist, wobei vorzugsweise gilt $5 \text{ cm} \leq a \leq 100 \text{ cm}$, insbesondere $5 \text{ cm} \leq a \leq 50 \text{ cm}$, bevorzugt $15 \text{ cm} \leq a \leq 25 \text{ cm}$.
15. Rammpfahl nach einem der Ansprüche 4 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Pfahlkörper (2) aus Stahl gebildet ist.
16. System bestehend aus einem Rammpfahl (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche 4 bis 15, einer Pfahlramme, einer Suspensionsdruckpumpe mit einer Hochdrucksuspensionsleitung zum Anschließen an das im Bereich des Hinterendes des Pfahlkörpers liegenden Endes der Förderleitung (6) sowie einer Suspension aus einem aushärtbaren Material.



Schnitt D-D

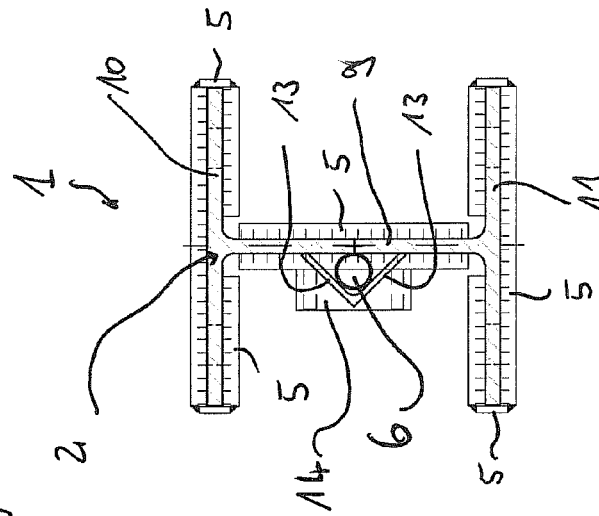


Fig. 4

Schnitt E-E

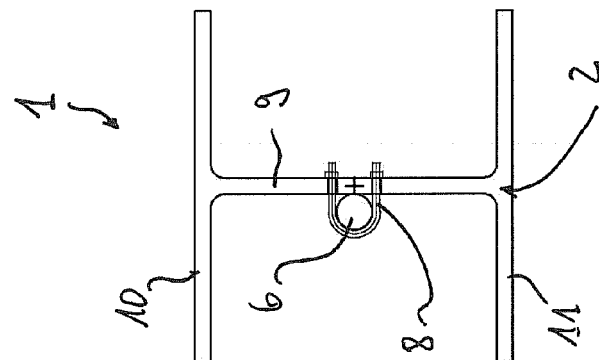
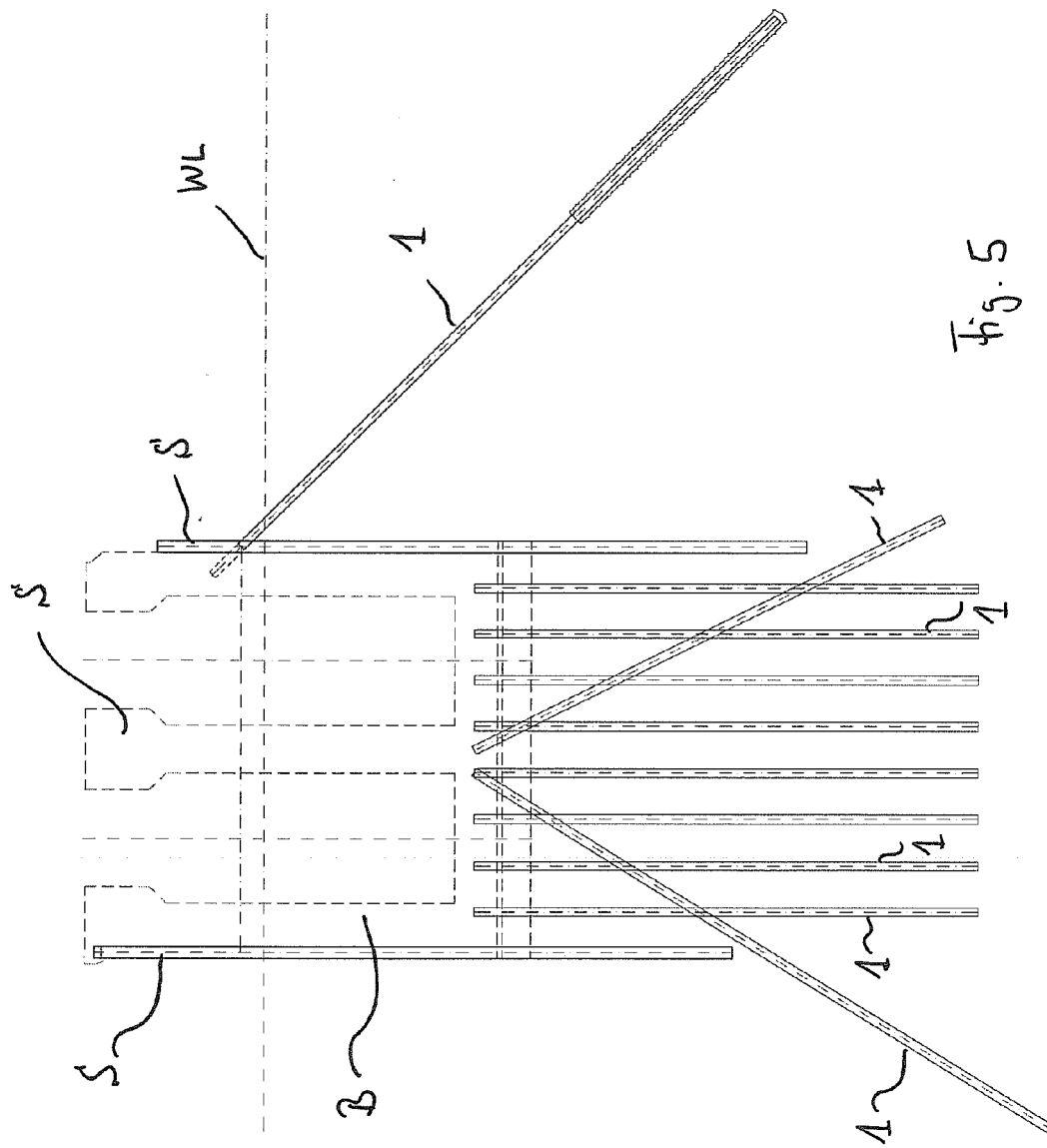
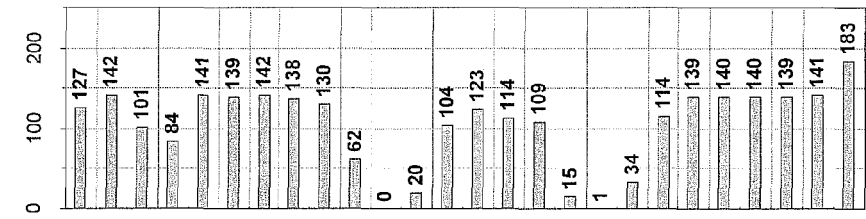
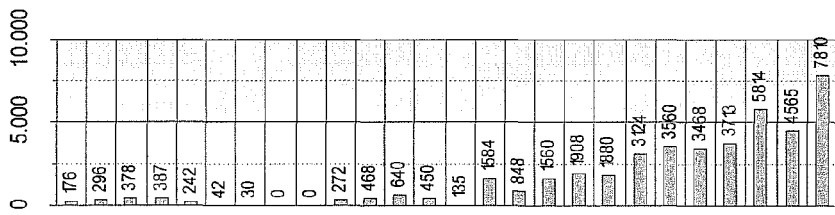


Fig. 3

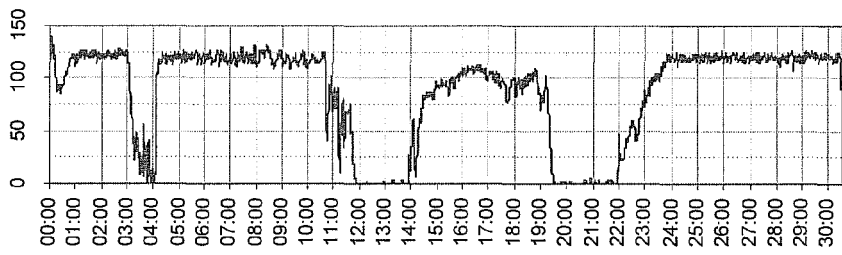




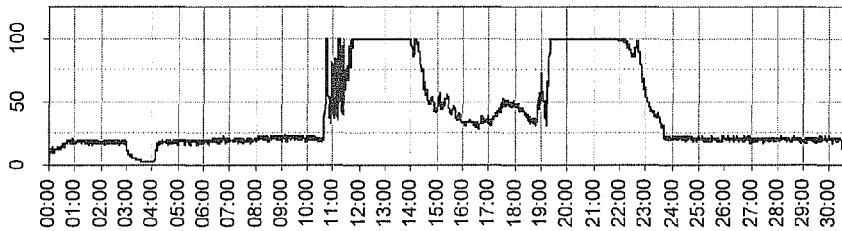
d)



c)



b)



a)

Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 19 0848

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 75 40 863 U (MÜLLER LUDWIG) 6. Mai 1976 (1976-05-06) * das ganze Dokument *	1-16	INV. E02D5/28 E02D7/02 E02D27/12
A	EP 1 939 360 A1 (UNIV HAMBURG HARBURG TECH [DE]; TUTECH INNOVATION GMBH [DE]) 2. Juli 2008 (2008-07-02) * das ganze Dokument *	1-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E02D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 23. April 2013	Prüfer Friedrich, Albert
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 19 0848

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-04-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 7540863 U	06-05-1976	KEINE	
EP 1939360 A1	02-07-2008	AT 556177 T	15-05-2012
		DE 102006060643 A1	07-08-2008
		EP 1939360 A1	02-07-2008

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- AT 229230 [0007]
- EP 2374943 A2 [0008]