

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bodenverbesserung mittels Düsenstrahltechnik. Hierfür wird der im Bereich des Bohrlochs anstehende Boden mit Hilfe eines Düsenstrahles aus Wasser oder Zementsuspension, der auch mit Luft ummantelt werden kann, aufgeschnitten bzw. erodiert. Der erodierte Boden wird umgelagert und mit Zementsuspension vermischt. Mit dem Düsenstrahlverfahren können Bauelemente verschiedenster geometrischer Formen hergestellt werden. Mit den hergestellten Bauelementen kann die Tragfähigkeit des Bodens verbessert, Setzungen vermieden bzw. Untergrund verfestigt werden, beispielsweise bei Unterfangungen; ebenso kann das Verfahren zur Abdichtung, beispielsweise unter Staudämmen oder von Baugrubensohlen, verwendet werden.

[0002] Aus der DE 199 60 023 A1 ist ein Düsenstrahlverfahren zur Bodenverbesserung bekannt, um dessen Tragfähigkeit zu erhöhen. Hierfür wird Bindemittelsuspension aus einer Vielzahl von über eine Bodenoberfläche nach einem Flächenraster verteilt angeordneten Bohrlöchern in den anstehenden Boden injiziert. Die Injektionen werden im Düsenstrahl unmittelbar nach dem Bohren aus einem entsprechend hergerichteten Bohrgestänge ausgebracht.

[0003] Das sogenannte Hochdruckinjektionsverfahren, das auch unter Firmenbezeichnungen wie Soilcrete- oder Jet-Grouting-Verfahren bekannt ist, stellt eine Weiterentwicklung des Injektionsverfahrens dar. Hierfür wird ein Rohr unter Spülhilfe abgeteuft. Nach Erreichen der Endteufe werden durch am unteren Ende des Rohres befindliche seitliche Düsen energiereiche Schneidstrahlen aus einer Suspension mit hohen Drücken in den Boden gepresst und das Rohr mit langsamer Rotation oder Schwenkbewegung gezogen. Dabei entsteht eine säulenförmige Kubatur, die durch das eingebrachte Bindemittel zu einem festen Körper aushärtet. Durch verschiedene Anordnung von Düsen oder unterschiedliche Bewegungsmuster des Bohrwerkzeuges lassen sich diverse geometrische Elemente herstellen, wie Halbsäulen oder Lamellen.

[0004] Aus der KR 10 2005 003 7911 A ist ein Verfahren und eine Vorrichtung mit Mehrfachdüsenstrahl bekannt. Hierfür ist ein doppelwandiges Gestänge vorgesehen, aus dem Zement aus mehreren seitlich angeordneten Düsen gleichzeitig in den Boden injiziert wird. Zur Herstellung einer wasserdichten Wand werden mehrere Körper benachbart zueinander nacheinander hergestellt.

[0005] Eine bekannte Weiterentwicklung ist das Einsetzen von zwei parallelen Bohrwerkzeugen auf einem Trägergerät. Diese haben einen definierten Abstand zueinander und werden gleichzeitig angetrieben und abgeteuft. Dadurch lassen sich zwei Körper herstellen. In der Veröffentlichung "Jet grouting to construct a soilcrete wall using a twin stem system" von K. Andromalos und H. Gazaway auf dem Jahre 1989 ist diese Technologie als

"Double Stem Method" beschrieben.

[0006] Aus der US 5 589 775 ist ein Verfahren zum Ermitteln des Abstandes und der Ausrichtung eines ersten Bohrlochs von einem zweiten Bohrloch bekannt. Hierfür wird ein drehendes Magnetfeld erzeugt, dessen Amplitude und Phase mittels Sensoren ermittelt wird. Eine ähnliche Vorrichtung ist aus der DE 102 25 518 B3 bekannt.

[0007] Generell besteht bei der Herstellung von Dichtwänden oder Dichtsohlen mittels Düsenstrahlverfahren das Problem, dass zwischen zwei Düsenstrahlkörpern Bereiche des Bodens ungestrahlt bleiben. Diese sogenannten "Zwickel" können den Verbund zwischen zwei benachbarten Düsenstrahlkörpern reduzieren und haben damit einen Einfluss auf die Dichtigkeit, was von besonderer Wichtigkeit ist, wenn die Düsenstrahlkubatur abdichtend gegen drückendes Grundwasser wirken soll. Es besteht folglich ein Interesse daran, diesen Zwickel möglichst klein zu halten.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bodenverbesserung bereitzustellen, das eine besonders hohe Erosionsleistung bei der Herstellung der Düsenstrahlkörper bietet bzw. mit dem eine hohe Dichtigkeit zwischen zwei benachbarten Düsenstrahlkörpern erreicht werden kann. Die Aufgabe besteht weiter darin, eine entsprechende Vorrichtung vorzuschlagen, mit der sich Düsenstrahlkörperanordnungen effizient bzw. mit hoher Dichtigkeit zwischen den einzelnen Körpern herstellen lassen.

[0009] Die Lösung besteht in einem Verfahren zur Herstellung von Bodenelementen mittels zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeugen, mit den Verfahrensschritten:

Abteufen und Einstellen der Tiefe der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge derart, dass eine Austrittsdüse eines ersten Düsenstrahlwerkzeugs und eine Austrittsdüse eines zweiten Düsenstrahlwerkzeugs zumindest etwa in einer zu den Düsenstrahlwerkzeugen senkrechten Ebene (E) liegen; und Drehen der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge um ihre jeweiligen Längsachse zum Einbringen von Injektionsmittel, wie Wasser bzw. einer Suspension, in den Boden, wobei die Winkelstellung zumindest eines der Düsenstrahlwerkzeuge derart geregelt wird, dass die Austrittsdüse des ersten Düsenstrahlwerkzeugs und die Austrittsdüse des zweiten Düsenstrahlwerkzeugs gleichzeitig auf einen zwischen den beiden Düsenstrahlwerkzeugen liegenden Bereich des Bodens gerichtet sind.

[0010] Der Vorteil liegt in der Regelung der Winkelstellung, welche ermöglicht, dass die Austrittsdüsen zweier benachbarter Düsenstrahlwerkzeuge beim Einbringen des Injektionsmittels in den Boden gezielt zusammenwirken. Durch das gleichzeitige Injizieren des Injektionsmittels in den zwischen den beiden Düsenwerkzeugen liegenden Bodenbereich werden hier höhere Porenwas-

serüberdrücke und eine stärkere Wassersättigung erreicht, was wiederum zu einer höheren Erosionsleistung im Zwickelbereich führt. Die Düsenstrahlen werden vorzugsweise so gegeneinander ausgerichtet, dass sich die Porenwasserdrücke der einzelnen Düsenstrahlen addieren, so dass ein Grundbruch des Bodens eher bzw. weiter entfernt vom Düsenstrahl auftritt, als bei Verwendung nur eines Strahls bzw. bei unregelmäßig drehenden Düsenstrahlen. Es kann somit bei vergleichbarem Achsabstand der Düsenstrahlwerkzeuge mit der Erfindung ein höherer Überdeckungsgrad der Säulenkörper erreicht werden, oder es kann bei vergleichbarem Überdeckungsgrad der herzustellenden Säulenkörper ein größerer Abstand der Düsenstrahlwerkzeuge eingestellt werden.

[0011] Mit "zumindest etwa in einer Ebene" in Bezug auf das Einstellen und Regeln einer einheitlichen Tiefe der zusammenwirkenden Austrittsdüsen zweier Düsenstrahlwerkzeuge ist gemeint, dass hiermit Mess- beziehungsweise Verfahrenstoleranzen mit berücksichtigt werden. Vorzugsweise erfolgt das Einstellen und Regeln der Tiefenlage zweier benachbarter Düsenstrahlwerkzeuge derart, dass, in einer gegebenen Tiefenposition, ein in den Boden eingebrachter Schneidstrahl des ersten Düsenstrahlwerkzeuges in Längsrichtung des Werkzeugs eine zumindest teilweise Überdeckung mit einem in den Boden eingebrachten Schneidstrahl des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges hat. Mit anderen Worten soll auch bei einem maximalen axialen Versatz der beiden gegenüberliegenden Austrittsdüsen noch eine bereichsweise Überdeckung und Vermischung der von den beiden Düsenstrahlwerkzeugen in den dazwischen liegenden Boden injizierten Injektionsmittel erfolgen. Dieser Versatz kann je nach Tiefe der Bohrungen bis zu einem Meter betragen.

[0012] Das Injektionsmittel kann auf die Untergrundverhältnisse und das gewünschte Arbeitsergebnis abgestimmt beziehungsweise danach ausgewählt werden. Als Injektionsmittel können beispielsweise Flüssigkeiten, Wasser, Suspensionen, Zementleim, chemische Mittel in Form von Lösungen und/oder Emulsionen verwendet werden. Für die Verfestigung des Untergrundes, beispielsweise bei Unterfangungen oder Abdichtungen, wird insbesondere eine Suspension aus Wasser und Bindemittel verwendet. Als Bindemittel kommen insbesondere Mörtel, Zement, Utrafeinzemente, Silikatgele oder auch Kunststofflösungen in Frage. Zur Erhöhung der Erosionsleistung und damit der Reichweite kann der Düsenstrahl über eine Ringdüse zusätzlich mit Druckluft ummantelt werden. Mit dem Aushärten des Bindemittels entstehen zwei halbsäulen-, säulen- oder lamellenförmige Bodenverbesserungskörper, welche einen sich überdeckenden Schnittbereich haben. Es ist aber auch die Verwendung von reinem Wasser als Injektionsmittel denkbar.

[0013] Mit zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeugen ist gemeint, dass die Vorrichtung auch drei, vier oder mehr Düsenstrahlwerkzeuge aufweisen kann, welche gleichzeitig Injektionsmittel in den Boden einbringen. Jedes der

Düsenstrahlwerkzeuge umfasst zumindest eine Austrittsdüse, wobei auch zwei, drei oder mehr Austrittsdüsen je Werkzeug vorgesehen sein können. Die Anordnung bzw. Verteilung der Austrittsdüsen ist für alle Düsenstrahlwerkzeuge vorzugsweise identisch. So wird gewährleistet, dass bei Verwendung mehrerer übereinander angeordneter Austrittsdüsen des einen Werkzeuges diese in eine Tiefenposition mit entsprechenden Austrittsdüsen des benachbarten Werkzeuges gebracht und mit diesen zusammenwirken können.

[0014] Die zu verwendenden Werkzeuge können je nach Baugrundeigenschaften, geometrischer Form und erforderlicher Qualität der Säulenkörper ausgewählt werden. Die Düsenstrahlwerkzeuge können einen oder mehrere Injektionsmittelstrahlen allein aufweisen. Mit diesem auch als Single-Direktverfahren bezeichneten Verfahren lassen sich insbesondere kleine bis mittlere Säulendurchmesser herstellen. Es können auch Werkzeuge zum Ausbringen von luftummantelten Injektionsmittel- beziehungsweise Suspensionsstrahlen zum Schneiden und Vermörteln des Bodens verwendet werden. Zur Erhöhung der Erosionsleistung und damit der Reichweite wird der Injektionsmittelstrahl über eine Ringdüse zusätzlich mit Druckluft ummantelt. Dieses auch als Double-Direktverfahren bezeichnete Verfahren wird insbesondere für Lamellenwände, Unterfangungen und Dichtsohlen eingesetzt. Nach einer weiteren Möglichkeit können auch Werkzeuge zum Ausbringen eines zusätzlichen Wasserstrahls eingesetzt werden. Mit diesem auch als Triple-Trennverfahren bezeichneten Verfahren wird der Boden mit einem luftummantelten Wasserstrahl mit hoher Austrittsgeschwindigkeit erodiert. Über eine zusätzliche Düse unterhalb der Wasserdüse wird die Zementsuspension zeitgleich zugegeben. Eine Variante des Verfahrens kann auch ohne Luftummantelung arbeiten. Entscheidend beim Einsatz des letzten Verfahrens ist, dass zwei gleiche Werkzeuge verwendet werden, so dass sowohl die Suspensionsstrahlen als auch die Wasserstrahlen der beiden Werkzeuge in jeweils übereinstimmenden Tiefen liegen.

[0015] Nach einer bevorzugten Verfahrensführung wird das Injektionsmittel in den Boden unter Regelung der Tiefe und der Winkelstellung eines ersten der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge in Abhängigkeit von der Tiefe und der Winkelstellung eines zweiten der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge eingebracht.

[0016] Das Verfahren zur Regelung der Tiefen der beiden Düsenstrahlwerkzeuge bzw. der Austrittsdüsen umfasst vorzugsweise die Schritte: Erfassen einer die Tiefenlage des ersten Düsenstrahlwerkzeuges repräsentierenden ersten Tiefengröße mittels einer ersten Tiefenmess-einrichtung; Erfassen einer die Tiefenlage des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges repräsentierenden zweiten Tiefengröße mittels einer zweiten Tiefenmess-einrichtung; Vergleichen der ersten und zweiten Tiefengröße; und Anpassen der Abteuf- bzw. Ziehgeschwindigkeit des ersten Düsenstrahlwerkzeuges an die Abteuf- bzw. Ziehgeschwindigkeit des zweiten Düsenstrahl-

werkzeuges.

[0017] Die Regelung der Winkelstellung kann vorzugsweise durch folgende Verfahrensschritte erfolgen: Erfassen einer die Winkelposition des ersten Düsenstrahlwerkzeuges repräsentierenden ersten Winkelgröße mittels einer ersten Winkelerfassungseinrichtung; Erfassen einer die Winkelposition des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges repräsentierenden zweiten Winkelgröße mittels einer zweiten Winkelerfassungseinrichtung; Vergleichen der ersten und zweiten Winkelgrößen; und Anpassen der Winkelposition des ersten Düsenstrahlwerkzeuges an die Winkelposition des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges.

[0018] Durch entsprechende Regelkreise können die Tiefe bzw. die Winkelstellung des einen Werkzeuges bei auftretender Abweichung von der Tiefe bzw. Winkelstellung des anderen Werkzeuges schnell nachgeführt werden. Auf diese Weise wird in vorteilhafter Weise sichergestellt, dass die Injektionsmittel in der gleichen Tiefe und in synchronisierter Winkelstellung der beiden Düsenstrahlwerkzeuge in den Boden injiziert wird. Die Düsenstrahlen weisen beim Durchlaufen einer vollen Umdrehung (360°) in einem bestimmten Winkelbereich gleichzeitig aufeinander zu, so dass sich die Porenwasserdrücke der einzelnen Düsenstrahlen addieren und das Injektionsmittel tiefer in den Boden eindringen kann.

[0019] Es versteht sich, dass das Verfahren je nach Bedarf für die Herstellung beliebiger Kubaturen verwendet werden kann. Zur Erzeugung von Säulen beziehungsweise Zylindern werden die Düsenstrahlwerkzeuge fortlaufend um ihre jeweilige Drehachse gedreht. Entsprechend können halbsäulenartige Körper durch Hin- und Herschwenken der Düsenstrahlwerkzeuge um ihre Drehachse während des Abteufens bzw. während des Ziehens erzeugt werden. Lamellen lassen sich durch partielles Einbringen von Injektionsmittel beziehungsweise Suspension mittels des Düsenstrahlwerkzeugs in verschiedenen Tiefen herstellen.

[0020] Nach einer günstigen Verfahrensführung ist vorgesehen, dass das erste Düsenstrahlwerkzeug und das zweite Düsenstrahlwerkzeug derart angetrieben werden, dass sie mit derselben Winkelgeschwindigkeit drehen und/oder dass sie synchron angetrieben werden und/oder dass das erste Düsenstrahlwerkzeug und das zweite Düsenstrahlwerkzeug derart angetrieben werden, dass sie in entgegengesetzte Drehrichtungen drehen.

[0021] Das Ausbringen des Injektionsmittels erfolgt vorzugsweise beim Ziehen der Düsenstrahlwerkzeuge, so dass säulenförmige Kubaturen hergestellt werden, oder schrittweise, so dass Säulenabschnitte hergestellt werden, oder auch nur in einer Tiefenlage in einem vorgegebenen Raster, um eine abdichtende Sohle herzustellen. Während des Ziehens werden die Tiefen und die Winkelstellungen der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge kontinuierlich erfasst und geregelt.

[0022] Nach einer bevorzugten Verfahrensführung erfolgt das Regeln der Winkelstellung der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge derart, dass die Austrittsdüse

des ersten Düsenstrahlwerkzeuges und die Austrittsdüse des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges, in einer Querschnittsebene durch die Werkzeuge betrachtet, in jeder Drehstellung während des Einbringens von Injektionsmittel in den Boden zumindest etwa spiegelsymmetrisch zu einer zwischen den beiden Werkzeugen verlaufenden Mittelebene ausgerichtet sind.

[0023] Die Drehbewegung des ersten Düsenstrahlwerkzeuges kann durch einen ersten Phasenwinkel (φ_1) über der Zeit (t) und die Drehbewegung des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges kann durch einen zweiten Phasenwinkel (φ_2) über der Zeit (t) definiert werden. Vorzugsweise wird die Winkelstellung der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge derart geregelt, dass der Sinus der ersten und zweiten Phasenwinkel (φ_1 , (φ_2) phasengleich ist (Phasenversatz von 0°) und der Kosinus der ersten und zweiten Phasenwinkel (φ_1 , (φ_2) einen Phasenversatz von 180° aufweist. Ein von diesen Phasen abweichender toleranzbedingter Versatz für den Sinus und den Kosinus liegt vorzugsweise innerhalb eines Bereichs von jeweils höchstens $\pm 10^\circ$, insbesondere von höchstens $\pm 5^\circ$, oder sogar von höchstens $\pm 2,5^\circ$.

[0024] Die Lösung der obengenannten Aufgabe besteht weiter in einer Vorrichtung zur Herstellung von Bodenelementen, umfassend: zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge, die von einer Antriebseinheit drehend antreibbar sind; je Düsenstrahlwerkzeug einen Tiefenmesser zur Ermittlung der Tiefe des Düsenstrahlwerkzeuges; je Düsenstrahlwerkzeug einen Winkelerfassungseinrichtung zur Ermittlung einer die Winkelstellung des Düsenstrahlwerkzeuges repräsentierenden Winkelgröße; und eine Stelleinheit, mit der Tiefe und die Winkelstellung zumindest eines der beiden Düsenstrahlwerkzeuge derart einstellbar ist, dass eine Austrittsdüse des ersten Düsenstrahlwerkzeugs und eine Austrittsdüse des zweiten Düsenstrahlwerkzeugs zumindest etwa in einer zu den Drehachsen der Düsenstrahlwerkzeuge senkrechten Ebene liegen und gleichzeitig auf einen zwischen den beiden Düsenstrahlwerkzeugen liegenden Bodenbereich gerichtet sind.

[0025] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Tiefenmessern, Winkelmessern und Stelleinheit zur Regelung bzw. Anpassung der Tiefe und Winkelstellung der beiden Werkzeuge ergeben sich die im Zusammenhang mit dem vorgeschlagenen Verfahren obengenannten Vorteile, auf die insofern Bezug genommen wird. Im Ergebnis ermöglicht die Vorrichtung in vorteilhafter Weise ein gezieltes Zusammenwirken der Düsenstrahlen der beiden benachbarten Werkzeuge in einem Bodenbereich, so dass in diesem Bereich eine stärkere Wassersättigung und damit eine höhere Erosionsleistung gegeben ist. Für einen automatisierten Prozess ist es besonders günstig, wenn eine Regeleinheit vorgesehen ist, welche die Tiefe und die Winkelstellung eines ersten Düsenstrahlwerkzeugs in Abhängigkeit von der Tiefe und der Winkelstellung eines zweiten der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge selbstständig regelt.

[0026] Nach einer bevorzugten Ausgestaltung ist eine

einzigste Antriebseinheit zum drehenden Antreiben der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge vorgesehen. Vorzugsweise ist im Antriebsstrang zwischen der Antriebseinheit und den zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeugen eine Verteilereinheit angeordnet, welche ein eingeleitetes Antriebsmoment auf die zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge aufteilt und die zumindest zwei Düsenstrahlgestänge bzw. -werkzeuge in entgegengesetzte Drehrichtungen antreiben kann. Hiermit wird eine einfache und kostengünstige Lösung zum Antreiben beider Düsenstrahlwerkzeuge zur Verfügung gestellt. Besonders günstig ist es, wenn die Stelleinheit im Antriebsstrang zwischen der Antriebseinheit und den zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeugen angeordnet ist, mit der die Winkelstellung zumindest eines der Düsenstrahlwerkzeuge individuell änderbar ist.

[0027] Die Erfassung der Winkelstellung der beiden Düsenstrahlwerkzeuge erfolgt mittels einer entsprechenden Winkelerfassungseinrichtung. Diese kann je Düsenstrahlwerkzeug einen Drehwinkelsensor aufweisen, welcher mit einem Magneten auf dem anderen Düsenstrahlwerkzeug zusammenwirkt. Der Magnet erzeugt ein senkrecht auf der Längsachse des Werkzeugs stehendes magnetisches Moment, welches von dem Drehwinkelsensor des parallelen Düsenstrahlwerkzeugs erfasst wird. Hierfür weist der Drehwinkelsensor einen Empfänger auf, der drei zeitabhängige Magnetfeldkomponenten $H_x(t)$, $H_y(t)$ und $H_z(t)$ erkennen kann.

[0028] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachstehend anhand der Zeichnungsfiguren erläutert. Hierin zeigt:

Figur 1 ein Bohrgerät mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung von Bodenelementen zur Baugrundverbesserung in Frontalansicht vor dem Abteufen;

Figur 2 das Bohrgerät nach Figur 1 während des Ziehens der Düsenstrahlwerkzeuge und unter gleichzeitigem Einbringen eines Injektionsmittels in den Boden;

Figur 3 die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Figur 2 im Querschnitt durch die Düsenstrahlwerkzeuge während der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens

- a) zu einem ersten Zeitpunkt (t_1) mit ersten Winkelstellungen der Düsenstrahlwerkzeuge;
- b) zu einem zweiten Zeitpunkt (t_2) mit zweiten Winkelstellungen der Düsenstrahlwerkzeuge;
- c) zu einem dritten Zeitpunkt (t_3) mit dritten Winkelstellungen der Düsenstrahlwerkzeuge;
- d) zu einem vierten Zeitpunkt (t_4) mit vierten Winkelstellungen der Düsenstrahlwerkzeuge;

Figur 4 ein Ablaufschema zur Tiefenregelung

- a) vor Herstellungsbeginn einer Kubatur;
- b) während der Herstellung einer Kubatur;

Figur 5 ein Ablaufschema zur Winkelstellungsregelung

- a) vor Herstellungsbeginn einer Kubatur;
- b) während der Herstellung einer Kubatur;

Figur 6 schematisch den Verlauf des Porenwasserüberdrucks bei einem Düsenstrahl eines Düsenstrahlwerkzeugs;

- Figur 7 schematisch den Verlauf der Porenwasserüberdrücke bei gegengleich ausgerichteten Düsenstrahlen gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren; und

- Figur 8 ein Düsenstrahlraster für eine Dichtsohle einer Baugrube hergestellt nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in Draufsicht.

[0029] Die Figuren 1 und 2, welche im folgenden gemeinsam beschrieben werden, zeigen ein Bohrgerät 2 mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 11 in einer ersten Ausführungsform. Das Bohrgerät 2 steht auf einer Bodenoberfläche 3 und ist dem Betrachter zugewandt. An dem Bohrgerät 2 ist ein Mäklermast 4 befestigt, welcher vertikal verfahrbare Tragvorrichtungen 5 zum Tragen von zwei Düsenstrahlgestängen 6, 7 für jeweils ein Düsenstrahlwerkzeug 8, 9. Die Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 umfassen jeweils ein oder mehrere Austrittsdüsen 15, 16 über die ein Injektionsmittel, wie eine Suspension, und/oder Wasser und/oder Druckluft durch das Düsenstrahlgestänge 6, 7 in den anstehenden Boden eingebracht werden kann, sowie eine Bohrkronen 12, 13 die am Ende des jeweiligen Düsenstrahlgestänges 6, 7 angeordnet ist. Die Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 sind jeweils durch einen Durchsteckdrehkopf 23 geführt, mittels dem das jeweilige Düsenstrahlgestänge 6, 7 um eine Drehachse A_1 , A_2 drehend antreibbar ist. Die Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 sind Teile der erfindungsgemäßen Vorrichtung 11 zur Herstellung von Bodenelementen zur Baugrundverbesserung im Boden.

- [0030]** Das Düsenstrahlgestänge 6, 7 sind über entsprechende Halterungen bzw. Schlitten mit dem Mäkler 4 verbunden und gegenüber diesem verfahrbar. Am oberen Ende der Düsenstrahlgestänge 6, 7 sind ein Drehantrieb 14 und ein Spülkopf 22 vorgesehen, welche sich beide vertikal am Mäkler 4 verfahren lassen. Der Drehantrieb 14 dient zum drehbaren, respektive schwenkbaren Antreiben des Düsenstrahlgestänges 6, 7. Der Spülkopf 22, der auch als Swivel bezeichnet wird, dient zum Anschließen von Leitungen zum Einleiten von Suspension beziehungsweise Wasser, gegebenenfalls auch Luft, wobei die Leitungen nicht dargestellt sind. Zum Abteufen eines Bohrlochs in einen Baugrund werden der jeweilige Drehkopf 14 mit dem Düsenstrahlgestänge 6, 7 abgesenkt.

- [0031]** Es sind zwei Düsenstrahlgestänge 6, 7 mit Drehantrieben 14 für entsprechende Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 vorgesehen. Die zwei Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 werden über die jeweiligen Bohrgestänge 6, 7 und

die zugehörigen Drehantriebe 14 gemeinsam abgesenkt, um zwei zueinander parallele Bohrlöcher 20, 21 abzuteufen. Der Vorteil der vorliegenden Vorrichtung 11 mit zwei Düsenstrahlwerkzeugen 8, 9 besteht darin, dass zwei Bodenkörper 29, 30 gleichzeitig hergestellt werden können.

[0032] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand der Figuren 1, 2 und 3a bis 3d erläutert. Figur 1 zeigt das Bohrgerät 2 in der Ausgangsstellung. Es ist erkennbar, dass die unter der Geländeroberkante 3 liegenden Bodenschichten 26, 27 eine unterschiedliche Beschaffenheit aufweisen. Beispielfhaft ist die Beschaffenheit vorliegend so, dass die obere Bodenschicht 26 weicher ist und unter Zugabe von Bindemittel, beispielsweise Zement oder Betonit, mittels Düsenstrahlverfahren verbessert werden soll. Die darunter liegende untere Bodenschicht 27 stellt einen tragfähigen oder wasserundurchlässigen Boden dar, der als Unterkante für das zu erstellende Bodenelement dienen soll.

[0033] Im ersten Schritt, welcher nicht gesondert dargestellt ist, werden die zwei nebeneinander befindlichen Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 jeweils unter Drehbewegung um ihre jeweilige Achse A1, A2 durch die obere Bodenschicht 26 abgeteuft, und zwar bis zur vorgesehenen Endtiefe T, die vorliegend etwa durch die Grenze der aneinander liegenden Schichten 26, 27 definiert ist.

[0034] Nachdem die Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 die gewünschte Endtiefe T erreicht haben und die Bohrungen 20, 21 bis zur untersten Bodenschicht 27 abgeteuft worden sind, werden mittels der Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 zwei Bodenkörper 29, 30 gleichzeitig hergestellt. Dieser zweite Verfahrensschritt ist in Figur 2 gezeigt. Das Herstellen der zwei Bodenkörper 29, 30, die auch als Düsenstrahlkörper oder Kubaturen bezeichnet werden können, werden dadurch bewerkstelligt, dass die Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 unter Drehung, bzw. unter Durchführung von Schwenkbewegungen, nach oben gezogen werden, wobei aus ein oder mehreren Düsen 15, 16 Wasser beziehungsweise Suspension unter hohem Druck austritt und den anstehenden Boden erodiert. Gleichzeitig mit dem Erodieren bzw. Aufschneiden des Bodens wird Zementsuspension unter Druck zugeführt und durch die verfahrensbedingten Turbulenzen eingemischt. In Figur 2 sind schematisch die Düsenstrahlen S1, S2 sowie untere Teile der bereits hergestellten Kubatur erkennbar. Diese besteht aus zwei einander sich mittig überschneidenden Säulenkörpern 29, 30. Die Verfahrensführung erfolgt von unten nach oben durch die obere Bodenschicht 26, und zwar von einer etwas unterhalb der Tiefe T liegenden Tiefe ausgehend bis zum Erreichen der gewünschten Höhe der Düsenstrahlkörper 29, 30. Nach der Herstellung der Düsenstrahlkörper 29, 30 werden im anschließenden Schritt, welcher nicht gesondert dargestellt ist, die Düsenstrahlwerkzeuge 6, 7 nach oben gezogen.

[0035] Die Besonderheit des vorliegenden Verfahrens bzw. der Vorrichtung liegt darin, dass neben der Einstellung und Regelung der Tiefenlage der Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 bzw. der Austrittsdüsen 15, 16 auch eine Re-

gelung der Winkelstellung der Düsenstrahlwerkzeuge erfolgt, und zwar derart, dass die Austrittsdüse 15 des einen Düsenstrahlwerkzeugs 8 und die Austrittsdüse 16 des anderen Düsenstrahlwerkzeugs 9 gleichzeitig auf einen zwischen diesen liegenden Bereich des Bodens gerichtet sind. Diese Einstellung bzw. Regelung der Winkelpositionen der Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 ist in den Figuren 3a bis 3d gezeigt, welche nachstehend gemeinsam beschrieben werden.

[0036] Es ist erkennbar, dass die beiden Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 zumindest etwa in eine Winkelstellung gebracht werden, derart, dass die radiale Ausrichtung der Austrittsdüse 15 des einen Düsenstrahlwerkzeugs 8 in Bezug auf eine zwischen den beiden Werkzeugen liegende Mittelebene EM spiegelsymmetrisch zur radialen Ausrichtung der Austrittsdüse 16 des anderen Düsenstrahlwerkzeugs 9 liegt. Vor Beginn des Düsenstrahlverfahrens werden die beiden Austrittsdüsen 15, 16 entsprechend gegeneinander ausgerichtet. Der Antrieb der beiden Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 erfolgt synchron mit derselben Winkelgeschwindigkeit. Dabei werden die beiden Düsenstrahlwerkzeuge in entgegengesetzte Drehrichtungen angetrieben, das heißt eines der beiden Werkzeuge wird im und das andere gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Während der Durchführung des Düsenstrahlverfahrens wird die Winkelstellung der zwei Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 kontinuierlich geregelt, um beim Herstellen der Kubatur zu gewährleisten, dass die Düsenstrahlen S1, S2 gleichzeitig auf den zwischen den beiden Werkzeugen liegenden Boden gerichtet sind und in diesen Injektionsmittel, wie eine Suspension oder Wasser, einbringen. Die Drehbewegung des ersten Düsenstrahlwerkzeuges kann durch einen ersten Phasenwinkel φ_1 über der Zeit t und die Drehbewegung des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges kann durch einen zweiten Phasenwinkel φ_2 über der Zeit t definiert werden. Die Winkelstellung der Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 wird so geregelt, dass der Sinus der ersten und zweiten Phasenwinkel φ_1 , φ_2 gleichphasig ist und der Kosinus der ersten und zweiten Phasenwinkel φ_1 , φ_2 einen Phasenversatz von 180° aufweist. Ein von diesen Phasen abweichender toleranzbedingter Versatz für den Sinus und den Kosinus liegt vorzugsweise innerhalb eines Bereichs von höchstens $\pm 10^\circ$, insbesondere höchstens $\pm 5^\circ$, oder sogar höchstens $\pm 2,5^\circ$.

[0037] Figur 3a zeigt die Austrittsdüsen 15, 16 bzw. die Düsenstrahlen S1, S2 des ersten und zweiten Düsenstrahlwerkzeugs 8, 9, die ausgehend von einer Ausgangsstellung (0°), um einen Phasenwinkel φ_1 , φ_2 von betragsmäßig etwa 115° verdreht sind. Es ist ferner der Radius R1, R2 der Düsenstrahlen S1, S2 erkennbar. Radial außerhalb der von der Düsenstrahlfront erfassten Strahlzone ZS, deren Grenze durch den Radius R dargestellt ist, befindet sich eine angrenzende Wassersättigungszone. Das in der Wassersättigungszone enthaltene Wasser kann von vornherein im Boden enthalten sein, beispielsweise durch eine Lage unterhalb des Grundwasserspiegels, oder es wird durch den Düsen-

strahl selbst in das Erdreich eingebracht. Bei letzterem eilt die Wassersättigungszone dem Düsenstrahl bzw. der Düsenstrahlfront voraus. In der gezeigten Drehstellung wirken beide Düsenstrahlen S1, S2 gemeinsam auf den außerhalb der Strahlzone ZS im Bereich der Mittelebene EM liegenden Bodenbereich 24 ein. In diesem Bodenbereich 24, welcher in Figur 3a schraffiert dargestellt ist, addieren sich die Porenwasserüberdrücke der beiden Düsenstrahlen S1 und S2, da diese gleichzeitig einwirken, was zu einer besonders hohen Erosionsleistung führt. Auf die im Zusammenhang mit den Porenwasserüberdrücken in der Wassersättigungszone stehenden Erosionseffekte wird weiter unten noch näher eingegangen.

[0038] In Figur 3b sind die Austrittsdüsen 15, 16 bzw. die Düsenstrahlen S1, S2 des ersten und zweiten Düsenstrahlwerkzeugs 8, 9 weiter verdreht, und zwar um einen Phasenwinkel φ_1 , φ_2 von etwa 155° ausgehend von der Ausgangsstellung (0°). In dieser Winkelstellung liegen die beiden Düsenstrahlen S1, S2 annähernd in einer von den Längsachsen der Werkzeuge aufgespannten Ebene EW. Die beiden Schneidstrahlen S1, S2 der beiden Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 treffen aufeinander; es kommt zum sogenannten "Durchschuss" durch das zwischen den beiden Strahlen liegende Erdreich, und zur Verbindung der beiden Kubaturen miteinander zu einer Kubatur.

[0039] Figur 3c zeigt die Düsenstrahlwerkzeuge in einer weiter verdrehten Stellung, in der die beiden Düsenstrahlen S1, S2 gerade noch zur Erzeugung einer gemeinsamen Kubatur in der Mittelebene EM aufeinandertreffen. Ausgehend von der 0° -Ausgangsstellung sind die Werkzeuge bzw. die Düsenstrahlen S1, S2 um Phasenwinkel φ_1 , φ_2 von betragsmäßig etwa 190° verdreht, was einer Verdrehung relativ zur Werkzeugebene EW von etwa 210° entspricht. In der gezeigten Drehstellung wirken beide Düsenstrahlen S1, S2 im Bereich der Mittelebene EM auf die außerhalb der Strahlzone ZS liegende Wassersättigungszone 25 ein, welche in Figur 3c schraffiert dargestellt ist. Hier addieren sich die Porenwasserüberdrücke aufgrund des gemeinsamen Einwirkens der beiden Düsenstrahlen S1 und S2 auf, was zu einer besonders hohen Erosionsleistung führt.

[0040] In Figur 3d sind die Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 schematisch nach erneutem Erreichen der Ausgangsposition der Düsenstrahlen S1, S2 gezeigt, das heißt nach genau einer vollen Umdrehung (360°). Es sind die beiden Kubaturen 29, 30 erkennbar, welche im Bereich der Mittelebene EM unter Ausbildung von Einschnürungen 28 miteinander zu einem Körper verbunden sind. Diese Einschnürungen 28 im Übergangsbereich der beiden Kubaturen werden auch als Zwickel bezeichnet. Durch das erfindungsgemäße Verfahren bzw. Vorrichtung mit in einer gemeinsamen Tiefe synchron rotierenden und gegengleich ausgerichteten Austrittsdüsen 15, 16 wird in vorteilhafter Weise erreicht, dass die Einschnürungen 28 besonders klein sind bzw. dass der Verbindungsbereich zwischen den beiden Kubaturen 29, 30 be-

sonders groß ist.

[0041] Die zur Durchführung des Verfahrens bevorzugten Regelungsschritte sind in den Figuren 4a, 4b, 5a und 5b gezeigt und werden nachstehend beschrieben.

[0042] In Figur 4a ist ein Regelungsschema für die Tiefenregelung vor Herstellungsbeginn der Kubaturen gezeigt. Zur Einstellung einer einheitlichen Tiefenlage von mehreren Düsenstrahlwerkzeugen werden im Schritt V1 zunächst die Tiefen der beiden Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 festgestellt, was durch Abmessen beim Einführen der Gestänge 6, 7 erfolgen kann. Anschließend werden die ermittelten Tiefe der beiden Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 miteinander verglichen (Schritt V2). Befinden sich die beiden Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 bzw. die Austrittsdüsen 15, 16 unter Berücksichtigung von Toleranzen von bis zu maximal einem Meter in derselben Tiefe (Schritt V3: Lage gleich) erfolgt im Schritt V4 die Freigabe für die Herstellung der Kubaturen. Wird allerdings festgestellt, dass die Werkzeuge nicht in einer Tiefe liegen (Schritt V5: Lage unterschiedlich), wird das tiefer liegende Düsenstrahlgestänge im Verfahrensschritt V6 um den ermittelten Differenzbetrag gezogen, und es erfolgt eine erneute Feststellung der Tiefenlage (Schritt V1).

[0043] Die Regelung der Tiefenlage während der Herstellung einer Kubatur ist in Figur 5 gezeigt. Diese erfolgt analog zu der Tiefenregelung vor Herstellungsbeginn, so dass hinsichtlich der gemeinsamen Schritte auf obige Beschreibung zu Figur 4 Bezug genommen wird. Dabei sind gleiche Schritte mit gleichen Bezugszeichen versehen, wie in Figur 4. Ein Unterschied besteht darin, dass bei Feststellung einer unterschiedlichen Lage (Schritt V5) im nachfolgenden Verfahrensschritt V6' ein Angleichen der Ziehgeschwindigkeiten der beiden Düsenstrahlwerkzeuge vorgenommen wird. Dies kann, wie abgebildet, durch eine Reduzierung der Ziehgeschwindigkeit des höherliegenden Gestänges für eine bestimmte Zeitdauer erfolgen, aber auch durch eine Erhöhung der Ziehgeschwindigkeit des tiefer liegenden Gestänges.

[0044] In Figur 5a ist ein Ablaufschema für die Ausrichtung der Düsenstrahlen vor Herstellungsbeginn der Kubaturen gezeigt. Dieses erfolgt ähnlich wie die Einstellung der Tiefe vor Herstellungsbeginn, so dass diesbezüglich auf die Beschreibung zu Figur 4a Bezug genommen wird. Zur Einstellung der gewünschten spiegelsymmetrischen Ausrichtung der Düsenstrahlwerkzeuge 8, 9 werden im Schritt V1 zunächst die Winkelpositionen der beiden Düsenstrahlwerkzeuge festgestellt, was durch entsprechende Kennzeichnungen am Gestänge oder Winkelstellungssensoren erfolgen kann. Anschließend werden die ermittelten Winkelstellungen der beiden Düsenstrahlwerkzeuge miteinander verglichen (Schritt V2). Befinden sich die beiden Düsenstrahlwerkzeuge bzw. die Austrittsdüsen unter Berücksichtigung von Toleranzen von bis zu maximal $\pm 5^\circ$ in spiegelsymmetrischer Ausrichtung zueinander (Schritt V3: Lage OK), erfolgt im Schritt V4 die Freigabe für die Herstellung der Kubatur. Wird allerdings festgestellt, dass die Werkzeuge nicht in der gewünschten Winkelposition liegen

(Schritt V5: Ausrichtung nicht OK), wird eines der Düsenstrahlwerkzeuge im Verfahrensschritt V6 einen Betrag verdreht, und es erfolgt eine erneute Feststellung der Ausrichtung (Schritt V1), bis die Ausrichtung spiegelsymmetrisch zur Mittelebene EM ist. Dann kann die Herstellung der Kubaturen bei spiegelsymmetrischer Ausrichtung der Austrittsdüsen mit derselben Winkelgeschwindigkeit in entgegengesetzte Drehrichtungen beginnen.

[0045] Die Regelung der Winkellage während der Herstellung einer Kubatur ist in Figur 5b gezeigt. Diese erfolgt analog zur Winkелеinstellung vor der Herstellung, so dass hinsichtlich der gemeinsamen Schritte auf obige Beschreibung Bezug genommen wird. Dabei sind gleiche bzw. einander entsprechende Schritte mit gleichen Bezugszeichen versehen, wie in Figur 5a. Ein Unterschied besteht darin, dass bei Feststellung einer unterschiedlichen Winkellage (Schritt V5) im nachfolgenden Verfahrensschritt V6 ein Angleichen der Drehgeschwindigkeiten der beiden Düsenstrahlwerkzeuge vorgenommen wird. Dies kann, wie abgebildet, durch Reduzierung der Drehgeschwindigkeit des vorlaufenden Werkzeuges für eine bestimmte Zeitdauer sein, aber auch durch Erhöhung der Drehgeschwindigkeit des nachlaufenden Werkzeuges.

[0046] Das Düsenstrahlverfahren beginnt erst dann, wenn sowohl eine übereinstimmende Tiefe (Regelkreis gemäß Figur 4a) als auch die gewünschte Winkelstellung (Regelkreis gemäß Figur 5a) der beiden Düsenstrahlwerkzeuge anliegt. Die Regelung der Tiefe und Winkelstellung während der Herstellung der Kubatur, das heißt während des Einbringens des Injektionsmittels in den Boden, erfolgt fortlaufend über der Zeit beziehungsweise in definierten Intervallen bis zum Erreichen der gewünschten Endlage.

[0047] Nachstehend wird die Besonderheit und der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. Vorrichtung anhand der Figuren 6 und 7 erläutert.

[0048] Der Düsenstrahl S eines Düsenstrahlwerkzeugs ist schematisch als Pfeil gezeigt, wobei die Pfeilspitze die Düsenstrahlfront bzw. den Radius darstellt, bis zu der das Injektionsmittel in den Boden eindringt. Hieran radial außen angrenzend befindet sich eine wassergesättigte Zone, welche in direkter Kommunikation mit dem Düsenstrahl steht. Das Druckniveau des in den Poren zwischen einzelnen Körnern enthaltenen Wassers verläuft von einem Maximalwert direkt an der Düsenstrahlfront bis auf etwa Null am Rand zwischen der Wassersättigungszone und dem anstehenden trockenen Boden. Dieser Porenwasserdruck in der Wassersättigungszone ist also umso höher, je kleiner die Entfernung zum Düsenstrahl S ist. Durch den lokal begrenzten Energieeintrag des Düsenstrahls S entsteht im Nahbereich der Strahlspitze eine überproportionale Druckerhöhung im Wasser, die auch als Porenwasserüberdruck P bezeichnet werden kann. Dabei verlieren Bodenkörner im Nahbereich den Kontakt untereinander, wodurch die Scherfestigkeit herabgesetzt und der Boden erodiert wird. Insofern ist dieser beschriebene Effekt der Reibungsredu-

zierung im Boden durch Druckerhöhung des Porenwassers in der Nähe der Düsenstrahlspitze für die Erosionsleistung eines Düsenstrahls von wesentlicher Bedeutung.

[0049] Figur 6 zeigt qualitativ den Verlauf des Porenwasserüberdrucks P bei einem Düsenstrahl S über dem Abstand A zur Düsenstrahlfront. Dabei ist auf der X-Achse der Abstand A zur Düsenstrahlfront angetragen, während die Y-Achse den Porenwasserüberdruck P angibt. Der Düsenstrahl S ist schematisch als Pfeil dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Porenwasserüberdruck P im Bereich der Düsenstrahlspitze ($X = 0$) maximal ist und mit zunehmendem Abstand von der Düsenstrahlspitze ($X > 0$) exponentiell abnimmt.

[0050] Durch das symmetrische Ausrichten der Düsenstrahlen gegeneinander und die synchrone Drehbewegung der beiden Düsenstrahlen in entgegengesetzte Drehrichtung, addieren sich die Porenwasserdrücke P1, P2 der aufeinander zu gerichteten Düsenstrahlen S1, S2, so dass eine Erosion des Bodens eher bzw. weiter entfernt vom jeweiligen Düsenstrahl S1, S2 eintritt, als bei Verwendung nur eines Strahls bzw. zeitlich versetztem Einwirken zweier Düsenstrahlen.

[0051] Dieser Sachverhalt ist in Figur 7 dargestellt, welche qualitativ den Verlauf des Porenwasserüberdrucks P (Y-Achse) über dem Abstand A zur Düsenstrahlfront (X-Achse) zeigt. Ein von links wirkender Düsenstrahl S1 ist mit einem ersten Pfeil, ein von rechts wirkender Düsenstrahl S2 mit einem zweiten Pfeil schematisch dargestellt. Eine erste durchgezogene Kurve zeigt den Porenwasserüberdruck P1(A), welcher durch den ersten Düsenstrahl S1 bewirkt wird. Eine zweite durchgezogene Kurve zeigt den Porenwasserüberdruck P2(A), welcher durch den entgegengesetzt gerichteten zweiten Düsenstrahl S2 bewirkt wird.

[0052] Es ist erkennbar, dass sich die Porenwasserüberdrücke P1(A), P2(A) im Boden zu einem resultierenden Porenwasserüberdruck Pges(A) aufaddieren, welcher mit einer gestrichelten Linie dargestellt ist. Vorliegend sind die beiden Düsenstrahlen S1, S2 genau entgegengesetzt gerichtet. Es versteht sich jedoch, dass diese auch winklig zueinander verlaufen können. Die zwei Düsenstrahlen S1, S2 müssen sich nicht direkt berühren, um eine höhere Scheidleistung zu erreichen. Vielmehr bewirkt schon die Addition der Porenwasserüberdrücke P1, P2 im an die Düsenstrahlzone angrenzenden Bodenbereich hier einen verstärkten Bodenaustrag durch Herabsetzung der Scherfestigkeit zwischen den Bodenkörnern. Dieser Effekt tritt durch das erfindungsgemäße Verfahren bzw. Vorrichtung insbesondere im sogenannten Zwickelbereich zwischen zwei gleichzeitig im Überschneidungsbereich hergestellten Vollsäulen auf. Der Zwickelbereich ist der Bereich der Einschnürung zwischen den beiden sich überschneidenden Körpern.

[0053] Figur 8 zeigt beispielhaft ein Düsenstrahlraster für eine aus einzelnen Kubaturen hergestellte Dichtsole einer Baugrube.

[0054] Durch den oben beschriebenen Effekt der

Reichweitenvergrößerung durch Addition der Porenwasserüberdrücke P1, P2 zweier Düsenstrahlen S1, S2 und der damit verbundenen größeren Scheidleistung im Zwickelbereich zweier Düsenstrahlkörper 29, 30, wird im Zwickelbereich eine größere Schneidleistung gegenüber der Herstellung mit nur einem Düsenstrahl oder zwei willkürlich drehenden Düsenstrahlen erreicht. Bei gleichen Herstellparametern wie Düsendruck, Umdrehungsgeschwindigkeit und Ziehgeschwindigkeit kann beim erfindungsgemäßen Doppelverfahren der Achsabstand eines gleichzeitig hergestellten Düsenstrahlkörperpaares 29, 30 vergrößert werden, ohne die Dichtigkeit der Düsenstrahlsole zu gefährden. Denn gerade in den Zwickelbereichen ist die Schneidleistung erhöht, so dass trotz größeren Achsabstandes der Körper die gleiche Zwickelüberdeckung, wie beim herkömmlichen Verfahren erreicht wird. Dadurch werden in Summe über die gesamte Dichtsole weniger Düsenstrahlkörper benötigt, so dass die Kosten der gesamten Herstellung reduziert sind.

Bezugszeichenliste

[0055]

2	Bohrgerät
3	Bodenoberfläche
4	Mäklermast
5	Tragvorrichtung
6	Düsenstrahlgestänge
7	Düsenstrahlgestänge
8	Düsenstrahlwerkzeug
9	Düsenstrahlwerkzeug
10 11	Vorrichtung
12	Bohrkrone
13	Bohrkrone
14	Drehantrieb
15	Austrittsdüse
16	Austrittsdüse 17 18 19
20	Bohrloch
21	Bohrloch
22	Spülkopf
23	Durchsteckdrehkopf
24	Bodenbereich
25	Bodenbereich
26	Bodenschicht
27	Bodenschicht
28 29	Bodenkörper
30	Bodenkörper
A	Achse
E	Ebene
R	Radius
S	Schneidstrahl
T	Tiefe
V	Verfahrensschritt
Z	Zone
φ	Winkel

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Bodenelementen mittels einer Vorrichtung (11) mit zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeugen (8, 9), mit den Verfahrensschritten:

Abteufen und Einstellen der Tiefe (T) der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) derart, dass eine Austrittsdüse (15) eines ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8) und eine Austrittsdüse (16) eines zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (9) zumindest etwa in einer zu den Längsachsen (A1, A2) der Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) senkrechten Ebene (ED) liegen, Drehen der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) um ihre jeweiligen Längsachse (A1, A2) zum Einbringen eines Injektionsmittels in den Boden, wobei die Winkelstellung (φ_1 , φ_2) zumindest eines der Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) derart geregelt wird, dass die Austrittsdüse (15) des ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8) und die Austrittsdüse (16) des zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (9) gleichzeitig auf einen zwischen den beiden Düsenstrahlwerkzeugen (8, 9) liegenden Bereich des Bodens gerichtet sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** ein Injektionsmittel in den Boden unter Regelung der Tiefe und der Winkelstellung eines ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8, 9) in Abhängigkeit von der Tiefe (T) und der Winkelstellung (φ) eines zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (9, 8) eingebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** als weitere Verfahrensschritte vorgesehen sind:

Ziehen der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) aus dem Boden unter Einbringen von Injektionsmittel in den Boden, wobei die Tiefe (T) und die Winkelstellung (φ) der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) beim Ziehen erfasst und geregelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, Regeln der Tiefe (T) der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) derart, dass, in einer gegebenen Tiefenposition des ersten bzw. zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (8, 9), ein in den Boden eingebrachter Schneidstrahl (S1, S2) des ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8, 9) in Längsrichtung des Düsenstrahlwerkzeugs zumindest teilweise eine Überdeckung mit einem in den Boden eingebrachten

Schneidstrahl (S2, S1) des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges (9, 8) hat.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, 5
Regeln der Winkelstellung (φ) der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) derart, dass die Austrittsdüse (15) des ersten Düsenstrahlwerkzeuges (8) und die Austrittsdüse (16) des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges (9), in einer Querschnittsebene durch die Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) betrachtet, in jeder Drehstellung während des Einbringens von Injektionsmittel in den Boden zumindest etwa spiegelsymmetrisch zu einer zwischen den beiden Längsachsen (A1, A2) verlaufenden Mittelebene (EM) ausgerichtet sind. 10
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, 20
dass die Drehbewegung des ersten Düsenstrahlwerkzeuges (8) durch einen ersten Phasenwinkel (φ_1) über der Zeit (t) definiert ist und die Drehbewegung des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges (9) durch einen zweiten Phasenwinkel (φ_2) über der Zeit (t) definiert ist, 25
wobei die Winkelstellung (φ) der zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) derart geregelt wird, dass der Sinus der ersten und zweiten Phasenwinkel (φ_1 , φ_2) einen Phasenversatz $0^\circ \pm 10^\circ$ aufweist und der Kosinus der ersten und zweiten Phasenwinkel (φ_1 , φ_2) einen Phasenversatz von $180^\circ \pm 10^\circ$ hat. 30
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, 35
dass das erste und zweite Düsenstrahlwerkzeug (8, 9) derart angetrieben werden, dass sie mit derselben Winkelgeschwindigkeit drehen.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, 40
dass das erste und zweite Düsenstrahlwerkzeug (8, 9) derart angetrieben werden, dass sie in entgegengesetzte Drehrichtungen drehen.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, 45
dadurch gekennzeichnet,
dass das erste und zweite Düsenstrahlwerkzeug (8, 9) synchron angetrieben werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, 50
dadurch gekennzeichnet,
dass als weiterer Verfahrensschritt vorgesehen ist:

Erfassen einer die Tiefenlage (T1) des ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8) repräsentierenden ersten Tiefengröße mittels einer ersten Tiefenmessereinrichtung, 55
Erfassen der die Tiefenlage (T2) des zweiten

Düsenstrahlwerkzeugs (9) repräsentierenden zweiten Tiefengröße mittels einer zweiten Tiefenmessereinrichtung,
Vergleichen der ersten und zweiten Tiefengröße,
Anpassen der Abteuf- bzw. Ziehgeschwindigkeit des ersten Düsenstrahlwerkzeuges (8, 9) an die Abteuf- bzw. Ziehgeschwindigkeit des zweiten Düsenstrahlwerkzeuges (9, 8).

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass als weiterer Verfahrensschritt vorgesehen ist:

Erfassen einer die Winkelposition (φ_1) des ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8) repräsentierenden ersten Winkelgröße mittels einer ersten Winkelerfassungseinrichtung,
Erfassen einer die Winkelposition (φ_2) des zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (9) repräsentierenden zweiten Winkelgröße mittels einer zweiten Winkelerfassungseinrichtung,
Vergleichen der ersten und zweiten Winkelgröße,
Anpassen der Winkelposition (φ_1) des ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8) an die Winkelposition (φ_2) des zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (9).
12. Vorrichtung zur Herstellung von Bodenelementen, umfassend:

ein erstes Düsenstrahlwerkzeug (8) und ein zweites Düsenstrahlwerkzeug (9),
die von zumindest einer Antriebseinheit (14) drehend antreibbar sind;
je Düsenstrahlwerkzeug (8, 9) eine Tiefenmessereinrichtung zur Ermittlung der Tiefe des Düsenstrahlwerkzeugs,
je Düsenstrahlwerkzeug (8, 9) eine Winkelerfassungseinrichtung zur Ermittlung einer die Winkelstellung des Düsenstrahlwerkzeuges repräsentierenden Winkelgröße,
eine Stelleinheit, mit der die Tiefe (T1, T2) und die Winkelstellung (φ_1 , φ_2) zumindest eines der beiden Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) derart einstellbar ist,
dass eine Austrittsdüse (15) des ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8) und eine Austrittsdüse (16) des zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (9) zumindest etwa in einer zu den Drehachsen (A1, A2) der Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) senkrechten Ebene (ED) liegen und gleichzeitig auf einen zwischen den beiden Düsenstrahlwerkzeugen (8, 9) liegenden Bodenbereich gerichtet sind.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Regeleinheit vorgesehen ist, welche der-

art gestaltet ist, dass die Tiefe (T1) und die Winkelstellung ($\varphi 1$) des ersten Düsenstrahlwerkzeugs (8) in Abhängigkeit von der Tiefe (T2) und der Winkelstellung ($\varphi 2$) des zweiten Düsenstrahlwerkzeugs (9) einstellbar ist.

5

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13,

dadurch gekennzeichnet,

dass mindestens eine Antriebseinheit (14) zum drehenden Antreiben der beiden Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) vorgesehen ist,

10

wobei im Antriebsstrang zwischen der Antriebseinheit (14) und den Düsenstrahlwerkzeugen (8, 9) eine Verteilereinheit angeordnet ist, die ein eingeleitetes Antriebsmoment auf die zumindest zwei Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) aufteilt und die beiden Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) in entgegengesetzte Drehrichtungen antreibt.

15

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14,

20

dadurch gekennzeichnet,

dass die Stelleinheit zum Einstellen der Winkelstellung zumindest eines der Düsenstrahlwerkzeuge (8, 9) im Antriebsstrang zwischen der Antriebseinheit (14) und den Düsenstrahlwerkzeugen angeordnet ist.

25

30

35

40

45

50

55

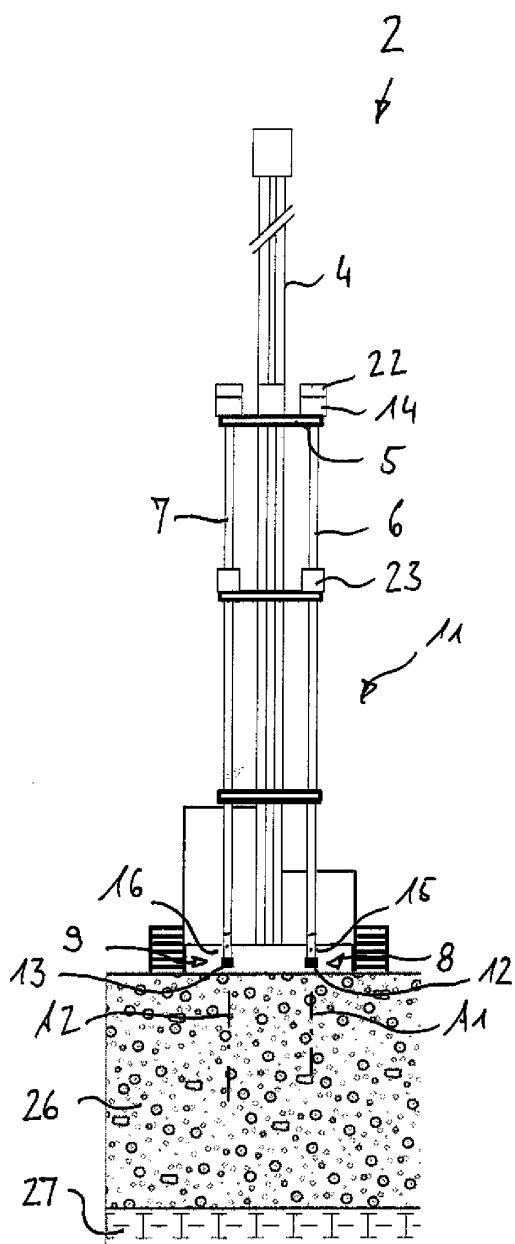


Fig. 1

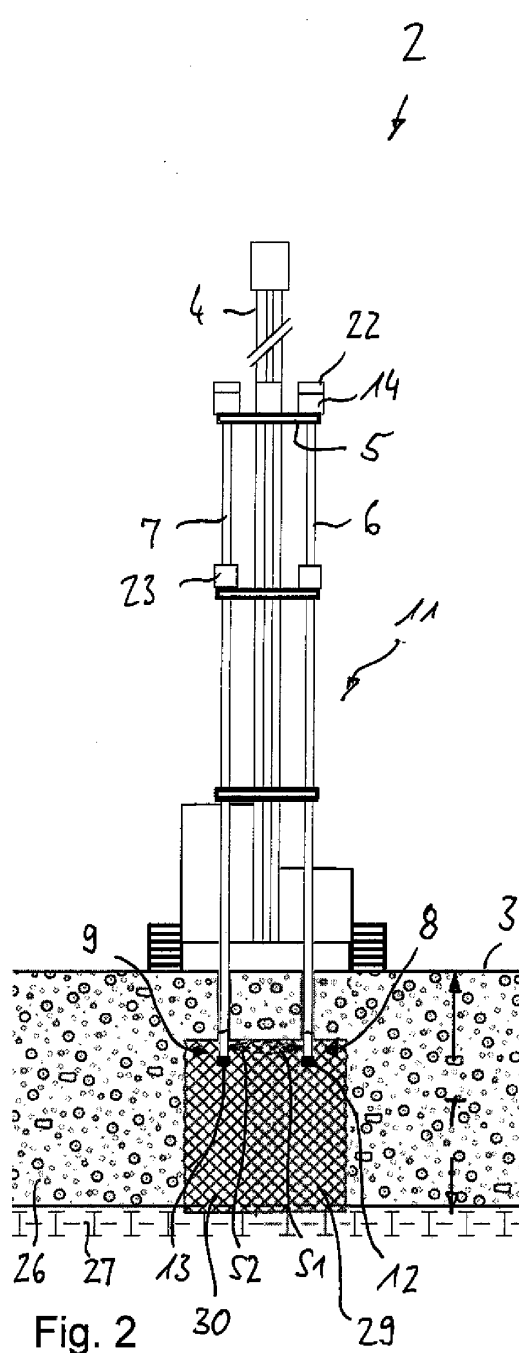


Fig. 2

Fig. 3a

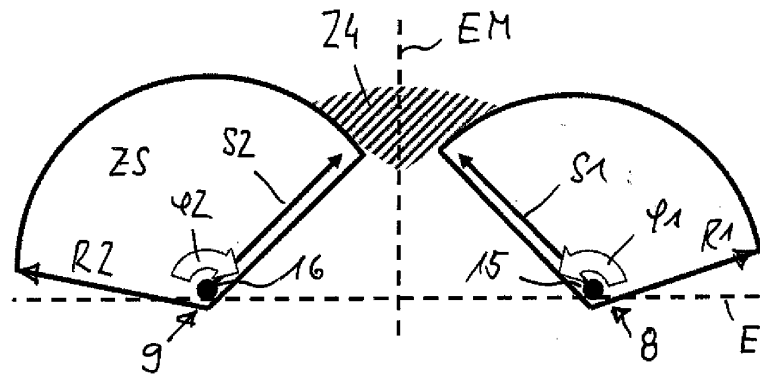


Fig. 3b

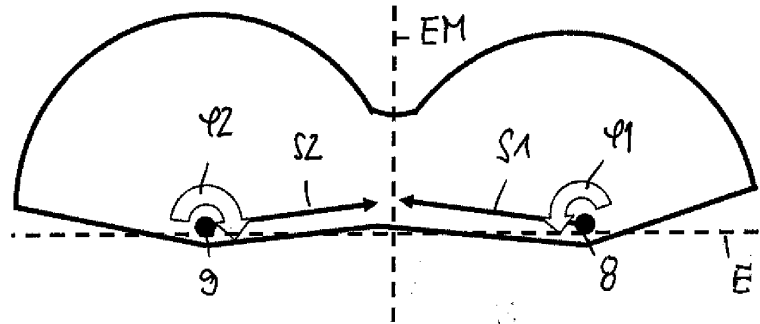


Fig. 3c

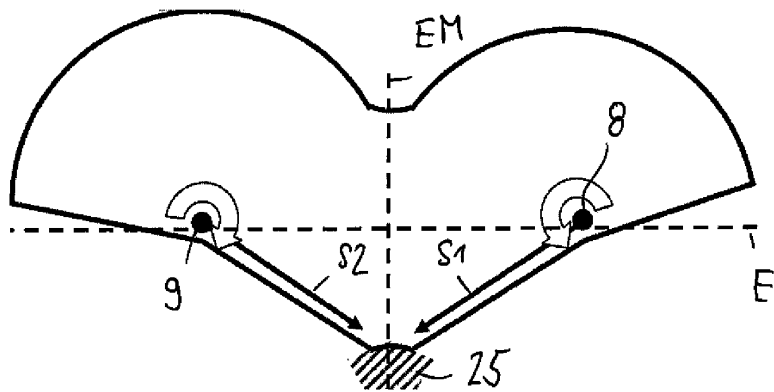
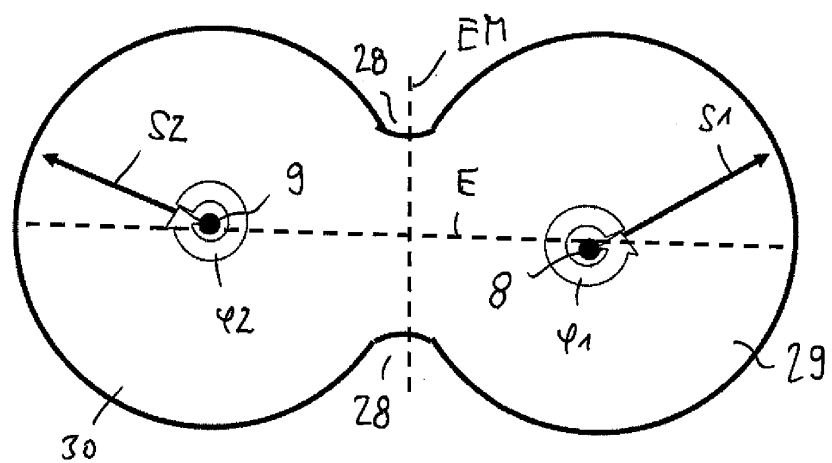


Fig. 3d



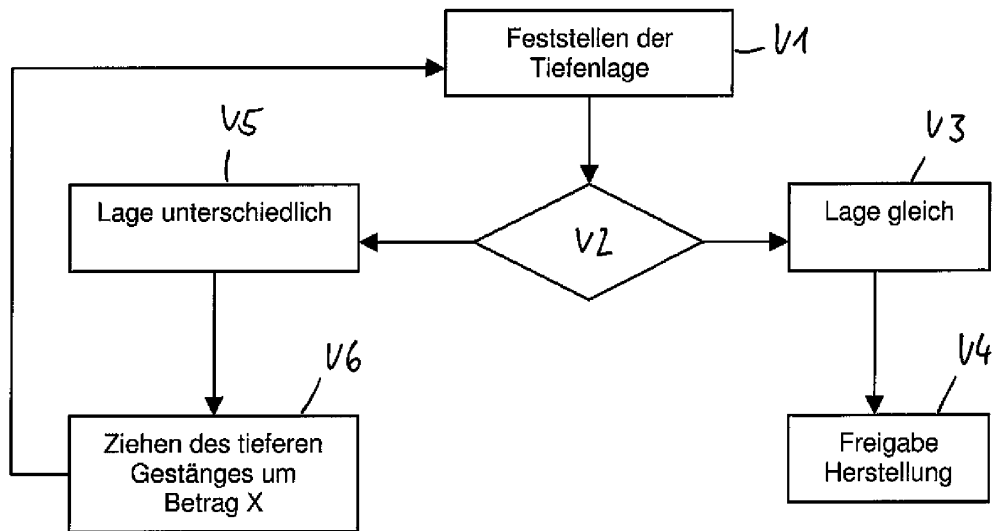


Fig. 4a

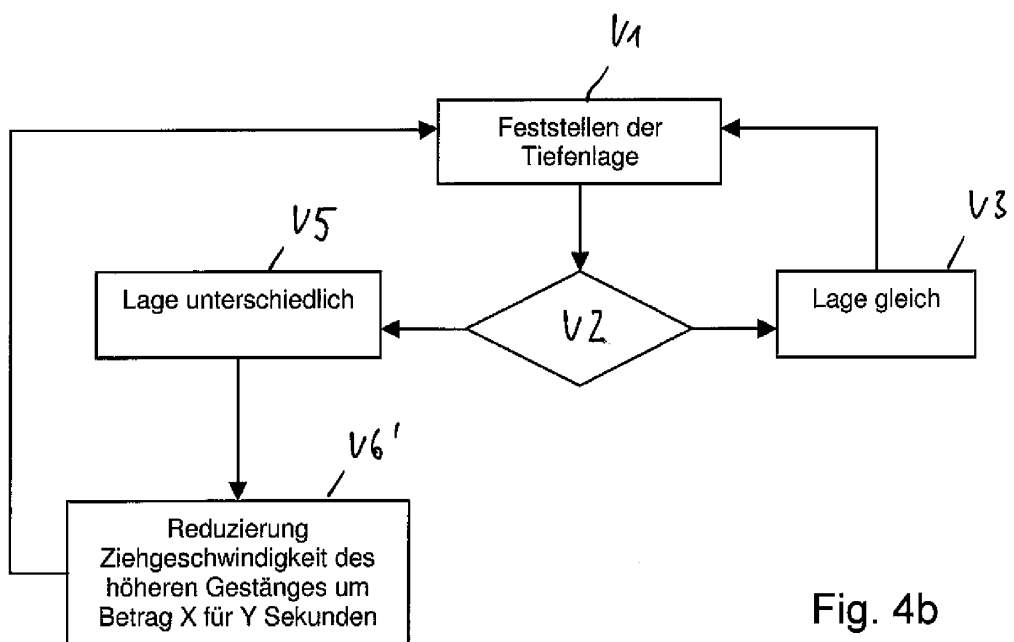


Fig. 4b

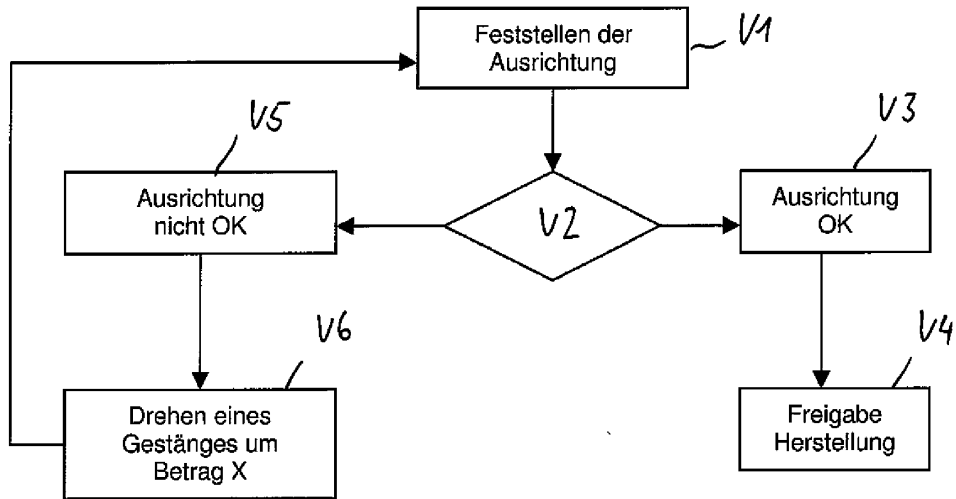


Fig. 5a

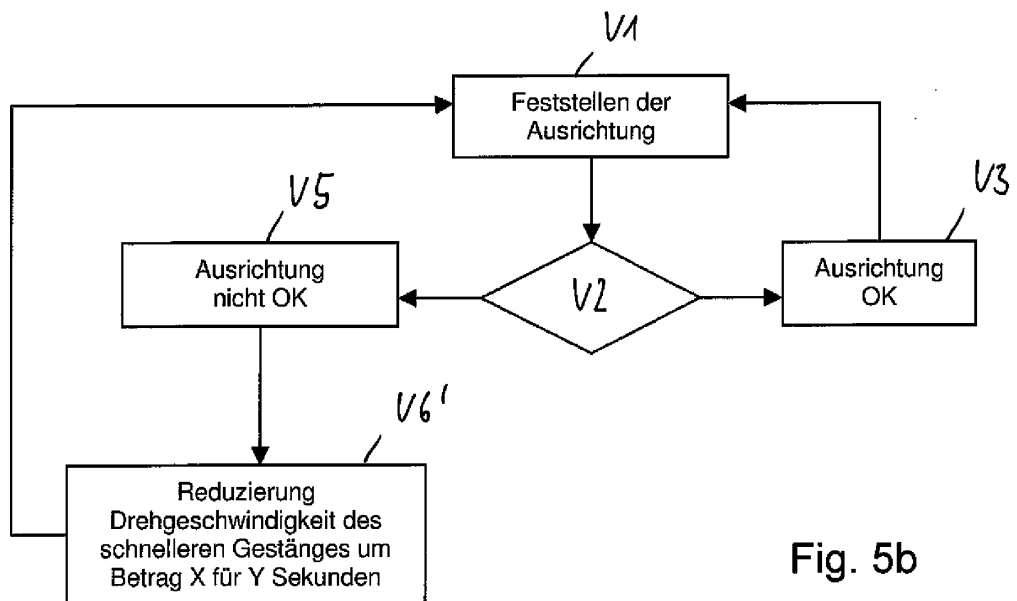
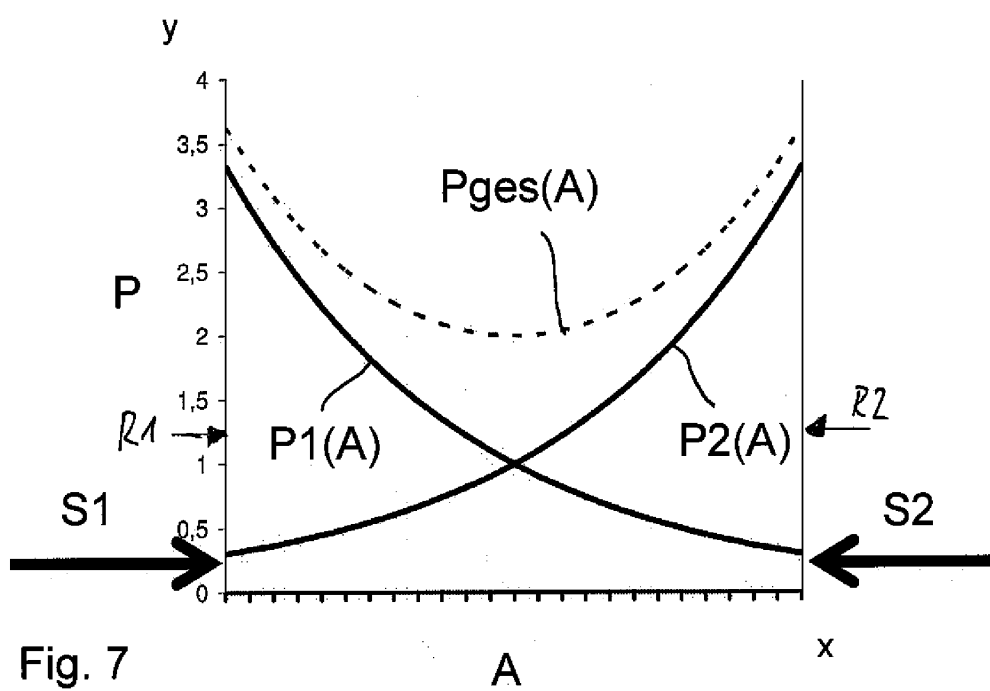
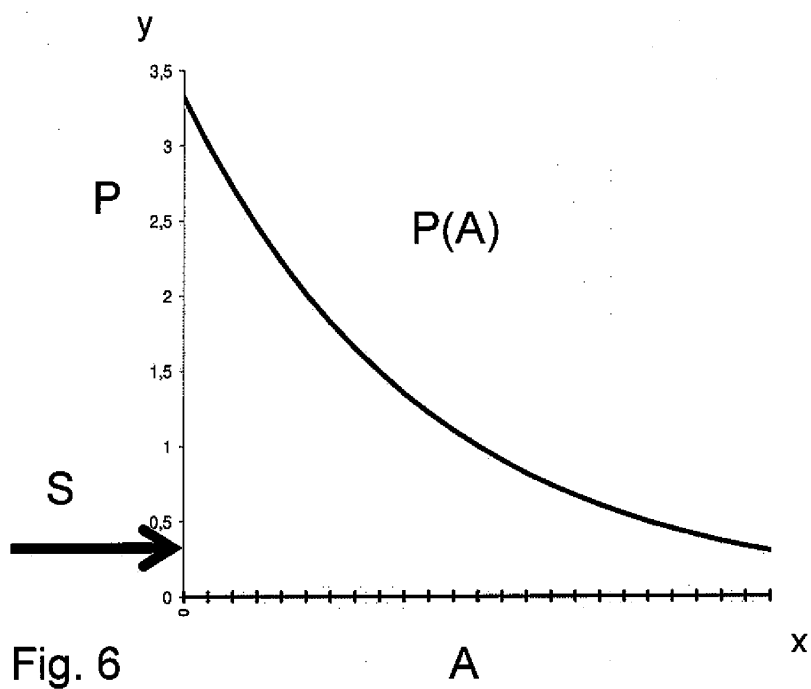


Fig. 5b



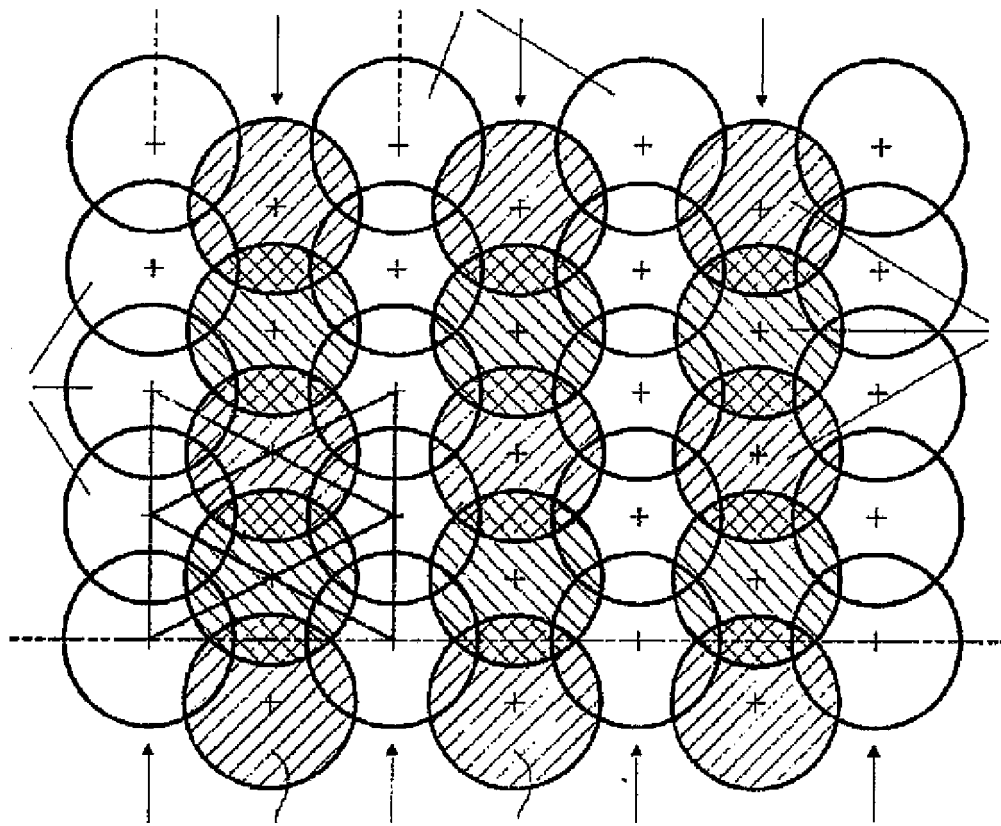


Fig. 8



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 12 19 0925

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 1 045 073 A1 (TREVI SPA [IT]) 18. Oktober 2000 (2000-10-18) * das ganze Dokument *	1-15	INV. E02D3/12
A	WO 03/103492 A1 (RAYONEX SCHWINGUNGSTECHNIK GMB [DE]; INST PHYSIKALISCHE HOCHTECH EV [D]) 18. Dezember 2003 (2003-12-18) * das ganze Dokument *	1,12	
A,D	DE 199 60 023 A1 (KELLER GRUNDBAU GMBH [DE]) 28. Juni 2001 (2001-06-28) * das ganze Dokument *	1-15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			E02D E21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 4. April 2014	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 : mündliche 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	

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 12 19 0925

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.

04-04-2014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1045073	A1	18-10-2000	KEINE

WO 03103492	A1	18-12-2003	AU 2003246406 A1 22-12-2003
			DE 10225518 A1 08-01-2004
			GB 2405943 A 16-03-2005
			JP 4755416 B2 24-08-2011
			JP 2005528947 A 29-09-2005
			US 2005288576 A1 29-12-2005
			WO 03103492 A1 18-12-2003

DE 19960023	A1	28-06-2001	AT 282738 T 15-12-2004
			DE 19960023 A1 28-06-2001
			EP 1108818 A2 20-06-2001

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

- DE 19960023 A1 [0002]
- KR 1020050037911 A [0004]
- US 5589775 A [0006]
- DE 10225518 B3 [0006]