

**Schaumgenerator für eine Erddruckschild-Tunnelvortriebsmaschine
und Verfahren zum Konditionieren abgetragenen Bodenmaterials als
Stützmedium für ein Erddruckschild**

5 Die Erfindung betrifft einen Schaumgenerator für eine
Erddruckschild-Tunnelvortriebsmaschine mit einer Mischkammer,
die eine erste Einlassöffnung für eine schäumbare Flüssigkeit
und eine zweite Einlassöffnung für ein Gas sowie eine
Schaumaustrittsöffnung aufweist, einer mit der Einlassöffnung
10 für die schäumbare Flüssigkeit verbundenen
Flüssigkeitszuführvorrichtung und einer mit der Einlassöffnung
für das Gas verbundenen Gaszuführvorrichtung, wobei die
Mischkammer eine rohrförmige Strömungskammer aufweist, an deren
einem Ende sich die Einlassöffnung für die schäumbare
15 Flüssigkeit und an deren anderem Ende sich die
Schaumaustrittsöffnung befindet, sowie ein Verfahren zum
Konditionieren abgetragenen Bodenmaterials als Stützmedium für
ein Erddruckschild einer Tunnelvortriebsmaschine, bei dem Boden
abgetragen und einer Abbaukammer der Tunnelvortriebsmaschine
20 zugeführt wird, in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des
abgetragenen Bodens ein Schaum bereitgestellt wird, indem
wenigstens ein Schaumgenerator mit einer rohrförmigen
Strömungskammer bereitgestellt wird und dem Schaumgenerator an
einem Ende einer rohrförmigen Strömungskammer eine schäumbare
25 Flüssigkeit zugeführt wird, und der an dem anderen Ende der
rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum der Abbaukammer
zugeführt und mit dem abgetragenen Boden gemischt wird.

Ein Schaumgenerator für eine Erddruckschild-
Tunnelvortriebsmaschine und ein Verfahren zum Konditionieren
30 abgetragenen Bodenmaterials als Stützmedium für ein
Erddruckschild einer Tunnelvortriebsmaschine sind bekannt aus M.
Thewe und C. Budach, „Schildvortrieb mit Erddruckschilden:
Möglichkeit und Grenzen der Konditionierung des Stützmediums“,
7. Kolloquium Bauen in Boden und Fels, Technische Akademie
35 Esslingen, 26.-27.01.2010, S. 171-183.

Bei diesen bekannten Schaumgeneratoren wird zunächst eine Tensidlösung durch Mischen von Wasser und Tensid bereitgestellt und diese Tensidlösung einem Schaumgenerator zugeführt und dort mit Luft vermischt. Das Luft-Tensidlösung-Gemisch wird dann
5 durch einen Strömungskanal geleitet, der Störkörper enthält. Die Störkörper umfassen quer zur Strömungsrichtung angeordnete Gitter und/oder im Strömungsquerschnitt zwischen Haltesieben angeordnete Glaskugeln. Diese Störkörper erzeugen Verwirbelungen und dadurch Schaum, der dann in die Abbaukammer geleitet wird.

10 Struktur und Größe der so erzeugten Schaumbläschen sind mehr oder weniger zufällig und können nicht auf die Beschaffenheit des anstehenden Bodens abgestimmt werden.

Ferner ist aus dem Gebrauchsmuster DE 20 2004 015 637 U1 eine Schaumlanze bekannt, bei der in einen rohrförmigen
15 Strömungskanal an einem Ende Druckluft einströmt und ein flüssiges Schaummittel auf einen quer zur Luftströmung angeordneten Prallteller aufgespritzt wird, dann das verwirbelte Luft-Schaummittel-Gemisch am anderen Ende des Strömungsrohres durch einen den Strömungskanal überdeckenden porösen
20 Schaumerzeuger gedrückt wird, wobei jenseits des Schaumerzeugers der gebildete Schaum in ein Gehäusevolumen eintritt und das Gehäuse über eine Austrittsöffnung verlässt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Schaumgenerator bzw. ein Verfahren der eingangs genannten Art zu
25 schaffen, der bzw. das eine Abstimmung von Struktur und Größe der erzeugten Schaumbläschen auf die Beschaffenheit des anstehenden Bodens ermöglicht und zugleich eine Beimischung von Zusätzen, wie insbesondere festen Bestandteilen, zu dem gebildeten Schaum ermöglicht.

30 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Schaumgenerator für eine Erddruckschild-Tunnelvortriebsmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. ein Verfahren zum Konditionieren abgetragenen Bodenmaterials als Stützmedium für ein Erddruckschild einer Tunnelvortriebsmaschine mit den
35 Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst.

Der erfindungsgemäße Schaumgenerator für eine Erddruckschild-Tunnelvortriebsmaschine umfasst eine Mischkammer,

die eine erste Einlassöffnung für eine schäumbare Flüssigkeit und eine zweite Einlassöffnung für ein Gas sowie eine Schaumaustrittsöffnung aufweist, eine mit der Einlassöffnung für die schäumbare Flüssigkeit verbundene

- 5 Flüssigkeitszuführvorrichtung und eine mit der Einlassöffnung für das Gas verbundene Gaszuführvorrichtung. Zusätzlich zu einer ersten und einer zweiten Einlassöffnung sowie einer Auslassöffnung können auch weitere solcher Einlass- bzw. Auslassöffnungen vorgesehen sein. Die Mischkammer weist eine
- 10 rohrförmige Strömungskammer auf, an deren einem Ende sich die Einlassöffnung für die schäumbare Flüssigkeit und an deren anderem Ende sich die Schaumaustrittsöffnung befindet. Diese rohrförmige Strömungskammer braucht grundsätzlich weder einen konstanten noch einen kreisförmigen Querschnitt zu haben und
- 15 kann darüber hinaus auch gekrümmt sein. Ein Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer ist als Begasungsstrecke mit einer gasdurchlässigen porösen Wandung ausgebildet. Der als Begasungsstrecke ausgebildete Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer ist von einer Druckkammer umgeben. Die
- 20 Druckkammer weist die Einlassöffnung für das Gas auf und umschließt den als Begasungsstrecke ausgebildeten Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer derart, dass das durch die Einlassöffnung unter einem Druck zugeführte Gas durch die gasdurchlässige poröse Wandung in die rohrförmige
- 25 Strömungskammer eintritt und sich dort mit der schäumbaren Flüssigkeit unter Schaumbildung mischt. Die Gaszuführvorrichtung und die Flüssigkeitszuführvorrichtung sind so ausgebildet, dass der Druck des der Druckkammer zugeführten Gases so eingestellt werden kann, dass der Druck größer als der von der Flüssigkeit
- 30 auf die gasdurchlässige poröse Wandung ausgeübte Druck ist und dass ein gewünschtes Verhältnis von zugeführtem Gas zu zugeführter Flüssigkeit erzielt wird.

Ein Grundgedanke der Erfindung besteht darin, engmaschige Barrieren, wie sie die Gitter, Haltesiebe oder

- 35 Glasperlenpackungen oder der aus dem o.g. Gebrauchsmuster bekannte poröse Schaumerzeuger darstellen, aus dem Strömungsweg zwischen Tensidlösungseintritt und Schaumauslassöffnung

herauszuhalten, weil sich solche engmaschigen Barrieren aufgrund von in der Lösung enthaltenen Partikeln zusetzen können.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Gaszuführvorrichtung und die

5 Flüssigkeitszuführvorrichtung so ausgebildet, dass der Druck des der Druckkammer zugeführten Gases so eingestellt werden kann, dass der Druck 0,5 bis 2 bar, vorzugsweise 1 bis 2 bar, größer als der Druck der Flüssigkeit ist. Dies gestattet einen ausreichenden Zutritt von Luft für ein gewünschtes Verhältnis
10 zwischen Schaumvolumenstrom und Flüssigkeitszufuhr, d.h. ein gewünschtes FER (Foam Expansion Ratio).

Die Druckkammer kann an die Strömungskammer einseitig angrenzen; vorzugsweise umgibt oder umschließt sie die Strömungskammer teilweise oder vollständig (mit Ausnahme der
15 Einlass- und Auslassöffnung).

Bei einer Ausführungsform weist der als Begasungsstrecke ausgebildete Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer einen konstanten Strömungsquerschnitt auf. Vorzugsweise weist der Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer auch einen
20 kreisförmigen Querschnitt auf. Dies vereinfacht die Herstellung.

Bei einer Ausführungsform des Schaumgenerators ist der als Begasungsstrecke ausgebildete Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer ein sich zwischen der Einlassöffnung für die schäumbare Flüssigkeit und der Schaumaustrittsöffnung
25 erstreckender Hohlzylinder mit gasdurchlässiger poröser Wandung. Vorzugsweise weist der Hohlzylinder eine gasdurchlässige poröse Wandung konstanter Dicke auf.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist das zugeführte Gas Luft (d.h. Druckluft) und umfasst die Gaszuführvorrichtung einen
30 Kompressor. Dabei ist die schäumbare Flüssigkeit ein Wasser-Tensid-Gemisch und die Flüssigkeitszuführvorrichtung umfasst eine Wasser-Tensid-Mischvorrichtung, mit der das Mengenverhältnis von Wasser und Tensid eingestellt werden kann.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Konditionieren
35 abgetragenen Bodenmaterials als Stützmedium für ein Erddruckschild einer Tunnelvortriebsmaschine wird Boden abgetragen und einer Abbaukammer der Tunnelvortriebsmaschine

zugeführt. In Abhängigkeit von der Beschaffenheit des abgetragenen Bodens wird ein Schaum bereitgestellt, indem wenigstens ein Schaumgenerator mit einer rohrförmigen Strömungskammer bereitgestellt wird, dem Schaumgenerator an
5 einem Ende einer rohrförmigen Strömungskammer eine schäumbare Flüssigkeit zugeführt wird, und einem als Begasungsstrecke ausgebildeten Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer durch dessen gasdurchlässige poröse Wandung hindurch ein sich in der Strömungskammer mit der schäumbaren Flüssigkeit unter
10 Schaumbildung mischendes Gas zugeführt wird, indem einer Druckkammer, die den als Begasungsstrecke ausgebildeten Abschnitt umschließt, das Gas unter einem Druck zugeführt wird, der größer als der von der Flüssigkeit auf die gasdurchlässige poröse Wandung ausgeübte Druck ist. Dabei wird - in Abhängigkeit
15 von der Beschaffenheit des abgetragenen Bodens - ein Schaumgenerator mit einer Begasungsstrecke einer vorgegebenen Länge, eines vorgegebenen Strömungsquerschnitts und einer vorgegebenen Porengröße und -dichte bereitgestellt und wird das Verhältnis von zugeführtem Gas zu zugeführter Flüssigkeit
20 eingestellt, so dass sich eine gewünschte Struktur und Größe der Schaumbläschen ergeben. Der an dem anderen Ende der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum wird der Abbaukammer zugeführt und mit dem abgetragenen Boden gemischt.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen
25 Verfahrens wird das Gas der Druckkammer unter einem Druck zugeführt, der 0,5 bis 2 bar, vorzugsweise 1 bis 2 bar, größer als der Druck der Flüssigkeit ist. Dies gestattet ein gewünschtes Verhältnis zwischen Schaumvolumenstrom und Flüssigkeitszufuhr, d.h. ein gewünschtes FER (Foam Expansion
30 Ratio).

Bei einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Schaum der Abbaukammer mit einem Druck
zugeführt, der 1 bis 2 bar größer als der Druck in der Abbaukammer ist. Dies gestattet das Einpressen gewünschter
35 Schaummengen.

Vorzugsweise wird der aus der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum an mehreren Injektionsstellen in der

Abbaukammer zugeführt, um eine gewünschte Verteilung des Schaums zu erzielen. Dabei kann der aus der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum an Injektionsstellen an einem Schneidrad sowie an einer der Abbaukammer zugewandten Seite einer Druckwand zugeführt werden. Zusätzlich kann der aus der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum an Injektionsstellen in einer den abgetragenen Boden aus der Abbaukammer fördernden Förderschnecke zugeführt werden.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens zum Konditionieren abgetragenen Bodenmaterials als Stützmedium für ein Erddruckschild einer Tunnelvortriebsmaschine wird dem Schaumgenerator an dem einen Ende der rohrförmigen Strömungskammer zusammen mit der schäumbaren Flüssigkeit ein Feststoff zugeführt. Vorzugsweise enthält der Feststoff ein Bentonitpulver oder -granulat. Dabei wird der Vorzug einer barrierefreien Durchströmung der Tensidlösung durch den Strömungskanal ausgenutzt.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird der Schaumgenerator mit einer Begasungsstrecke einer vorgegebenen Länge, eines vorgegebenen Strömungsquerschnitts und einer vorgegebenen Porengröße und -dichte in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des abgetragenen Bodens bereitgestellt, indem anhand von ausgewählten Parametern des abgetragenen Bodens ein als Begasungsstrecke dienender Hohlzylinder vorgegebenen Länge und vorgegebenen Innenquerschnitts mit einer gasdurchlässigen porösen Wandung vorgegebener Porengröße und -dichte für den Schaumgenerator ausgewählt wird. Dies gestattet eine einfache Anpassung der Schaumzusammensetzung an sich ändernde Bodenverhältnisse. Die verschieden ausgebildeten, als Begasungsstrecken dienenden Hohlzylinder können einfach ausgewechselt werden.

Alternativ können bei einer Ausführungsform mehrere Begasungsstrecken strömungstechnisch parallel angeordnet sein, wobei dann aus den mehreren strömungstechnisch parallel angeordneten Begasungsstrecken eine Begasungsstrecke mit den gewählten Parametern ausgewählt wird, indem die Zufuhr von

Flüssigkeit und Gas zu den anderen Begasungsstrecken gesperrt wird.

Vorteilhafte und/oder bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

5

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von in den Zeichnungen dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispielen erläutert werden. In den Zeichnungen zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer
10 Tunnelvortriebsmaschine mit den für die Erfindung wesentlichen Elementen;

Figur 2 eine schematische Längsschnittansicht eines erfindungsgemäßen Schaumgenerators; und

Figur 3 eine schematische Querschnittansicht des
15 Schaumgenerators gemäß Figur 2.

Figur 1 zeigt schematisch einige für die vorliegende Erfindung wesentliche Elemente einer Tunnelvortriebsmaschine 1. Ein Schneidrad 2 trägt mit Hilfe von Schälmessern und Schneidrollen den Boden an einer Ortsbrust des Tunnels ab. Der
20 abgetragene Boden fällt daraufhin in eine Abbaukammer 3. Die Abbaukammer 3 wird rückseitig von einer Druckwand 4 der Tunnelvortriebsmaschine 1 begrenzt. In der Abbaukammer 3 wird der abgetragene Boden mit Hilfe von Mischflügeln, die sich sowohl am Schneidrad 2 als auch an der Druckwand 4 befinden,
25 durchmischt und üblicherweise mit Konditionierungsmitteln vermengt. Das in der Abbaukammer 3 gebildete Gemisch wird dann mittels einer Förderschnecke 5 aus der Abbaukammer 3 abgezogen und auf ein Förderband 6 zum Abtransport geleitet. Über die Drehzahl der Förderschnecke 5 werden die aus der Abbaukammer 3
30 abgeführte Menge und somit der nötige Stützdruck geregelt. Der Vortrieb wird über (in Figur 1 nicht dargestellte) hydraulische Vortriebszylinder geregelt, die sich rückseitig an einem zuletzt errichteten Tunnelring abstützen, wobei sich der Tunnelring aus Tübbings genannten Stahlbetonsegmenten zusammensetzt.

35 Natürlich gewachsene Böden haben oftmals nicht diejenigen geologischen Eigenschaften, die erforderlichlich wären, damit allein der abgetragene Boden in der Abbaukammer als Stützmedium dienen

kann. Deshalb werden Konditionierungsmittel zugemischt. Gegenwärtig werden Wasser, Tone (unter anderem Bentonit), Polymere und Schäume als Konditionierungsmittel bei Erddruckschilden eingesetzt. Während Wasser, Tone und Polymere hauptsächlich für die Konditionierung von feinkörnigen Böden herangezogen werden, werden bei grobkörnigen Böden üblicherweise Tensidschäume in die mit gelöstem Boden gefüllte Abbaukammer 3 eingebracht, um diesen zu konditionieren. Die Tensidschäume bestehen normalerweise aus einem Großteil Luft, einem Anteil Wasser und einer geringen Menge eines Tensids.

Zur Herstellung der Tensidschäume wird zunächst eine Tensidlösung bereitgestellt, indem Wasser und Tensid in einem vorgegebenen Verhältnis zusammengeführt und zur Tensidlösung vermischt werden. Figur 1 zeigt einen Tensidlösungstank 16, dem ein Tensid aus einem Vorratsbehälter 17 und Wasser über eine Leitung 18 zugeführt werden. Die Tensidlösung wird über eine Leitung 15 einem Schaumgenerator 14 zugeführt. Zugleich wird dem Schaumgenerator 14 über eine Leitung 19 Druckluft zugeführt. Eine (in Figur 1 nicht gezeigte) Steuervorrichtung sorgt dafür, dass die Tenside und das zugeführte Wasser in einem vorgegebenen Verhältnis gemischt und dem Tank 16 zugeführt werden und dass die Tensidlösung über die Leitung 15 sowie die Druckluft über die Leitung 19 in einem vorgegebenen Mengenverhältnis und bei vorgegebenen Drücken dem Schaumgenerator 14 zugeführt werden.

In dem nachfolgend näher beschriebenen Schaumgenerator 14 wird aus der Tensidlösung und der Druckluft ein Schaum erzeugt, der dann über eine Leitung 8 einem Verteiler 9 zugeführt wird. Der Verteiler 9 verteilt den Schaum über Leitungen 10 an Injektionsstellen 11 im Schneidrad 2 und über weitere Leitungen 7 an Injektionsstellen 12 an der Druckwand 4 sowie Injektionsstellen 13 im Schneckenförderer 5.

Eine (in Figur 1 nicht dargestellte) Steuereinrichtung steuert die den jeweiligen Injektionsstellen 11, 12 und 13 zugeführten Schaummengen durch ein entsprechendes Stellen der in den Leitungen angeordneten Stellventile.

Figur 1 zeigt schematisch nur einen Schaumgenerator 14. Bei alternativen und/oder bevorzugten Ausführungsformen können auch

mehrere Schaumgeneratoren vorgesehen sein, die alternativ in den Strömungsweg eingekoppelt werden können und die auch unterschiedliche Schäume erzeugen können. Es können alternativ auch separate Schaumgeneratoren für die unterschiedlichen Injektionsstellen vorgesehen sein, was es ermöglicht, dass die Parameter der Schäume, die an den unterschiedlichen Injektionsstellen injiziert werden, an die Beschaffenheit der Mischung an den jeweiligen Injektionsstellen angepasst werden können.

Während des Vortriebs kann sich die Beschaffenheit des Bodens ändern, so dass die Parameter des Schaumes, wie beispielsweise das Verhältnis von Luft und Flüssigkeit oder die Größe der Schaumbläschen, in Abhängigkeit von der festgestellten Bodenqualität variiert werden können, bis ein für den Vortrieb zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wird. Durch Vorversuche kann man für eine jeweils anzutreffende Bodenzusammensetzung eine optimale Porengröße des Tensidschaumes ermitteln. Auf der Grundlage dieser experimentell ermittelten Zusammenhänge kann man mit Hilfe des nachfolgend näher beschriebenen erfindungsgemäßen Schaumgenerators dann in Abhängigkeit vom anstehenden Boden die gewünschten Schaumparameter einstellen, wie beispielsweise die Aufschäumrate FER und die Schaumporengröße. Darüber hinaus gestattet es der erfindungsgemäße Schaumgenerator 14, dass zusätzlich der über Leitung 15 zugeführten Tensidlösung ein Feststoffanteil, beispielsweise ein Ton (insbesondere Bentonit) zugegeben werden kann. Dies dient beispielsweise der Stabilisierung von Lockerböden. Durch diese Möglichkeit wird das Einsatzgebiet von Erddruckschilden erweitert.

Figur 2 zeigt eine schematische Längsschnittansicht des erfindungsgemäßen Schaumgenerators 14. Ein Gehäuse besteht aus zwei Gehäuseschalen 20, 21, die mittels Schraubbolzen 31 zusammengepresst werden, wobei eine Dichtung 30 zwischen den Gehäusenhälften 20 und 21 angeordnet ist. Die in Figur 2 unten dargestellte Gehäusenhälfte 21 weist eine Einlassöffnung 22 auf, in die eine Tensidlösung eintreten kann. Die obere Gehäuseschale 20 weist eine Schaumauslassöffnung 24 auf. Im Inneren des

Schaumgenerators 14 ist zwischen den Gehäuseschalen 20 und 21 ein Hohlzylinder 25 mit poröser Wandung 26 derart angeordnet, dass eine Stirnseite 27A des Hohlzylinders 25 dicht an einer stirnseitigen Wandung der Gehäuseschale 21 anliegt, so dass die
5 in die Einlassöffnung 22 einströmende Tensidflüssigkeit vollständig in eine Strömungskammer 28 im Inneren des Hohlzylinders 25 eintritt. Auf der gegenüberliegenden Seite ist die andere Stirnseite 27B des Hohlzylinders ebenfalls dicht mit einer Stirnfläche der Gehäuseschale 20 verbunden, so dass der
10 aus der Strömungskammer 28 austretende Schaum vollständig aus der Auslassöffnung 24 austritt.

Wenn die Gehäuseschalen 20 und 21 voneinander getrennt sind, kann der Hohlzylinder 25 mit poröser Wandung 26 zwischen die Gehäuseschalen 20 und 21 eingesetzt werden, so dass nach dem
15 Zusammensetzen und dem Festziehen der Schraubbolzen 31 sowohl der Hohlzylinder mit seinen Stirnflächen 27A und 27B an Dichtflächen der Gehäuseschalen anliegt als auch beide Gehäuseschalen dicht aufeinander gepresst sind. Im Inneren der Gehäuseschalen 20 und 21 umgibt eine Druckkammer 29 den
20 Hohlzylinder 25. Diese Druckkammer 29 ist mit einer Einlassöffnung 23 für Druckluft verbunden. Die über die Einlassöffnung 23 in die Druckkammer 29 einströmende Druckluft dringt über die Poren der Wandung 26 des Hohlzylinders 25 in die Strömungskammer 28 ein, so dass kleine Luftbläschen der durch
25 die Strömungskammer 28 strömenden Tensidlösung zugemischt werden. Dabei entsteht ein Schaum, der durch die Auslassöffnung 24 austritt. Die Porengröße des Schaums sowie das Verhältnis zwischen Flüssigkeit und Luft, d. h. die Aufschäumrate, hängen einerseits von den Abmessungen des Hohlzylinders und der
30 Porengröße der Wandung 26 ab, andererseits von den Druckverhältnissen, d. h. dem Druck der Luft in der Druckkammer 29 und dem Druck der Flüssigkeit an der Eintrittsöffnung 22 sowie dem Druck in der mit der Auslassöffnung 24 verbundenen Abbaukammer 3. Hierbei ist zu beachten, dass der Druck des
35 Schaumes an der Auslassöffnung 24 vorzugsweise 1 - 2 bar über dem Druck in der Abbaukammer 3 liegen sollte. Der Luftdruck in der Druckkammer 29 liegt dann zwischen 1 und 2 bar über dem

Druck des Tensid-Wasser-Gemisches an der Einlassöffnung 22. Bei den üblicherweise in der Abbaukammer 3 auftretenden Drücken ergibt sich dann ein Luftdruck in der Druckkammer 29 von 1,5 - 6,5 bar.

5 Figur 3 zeigt eine Querschnittsansicht des in Figur 2 schematisch dargestellten Schaumgenerators 14. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die beiden Gehäusehälften 20 und 21 mit sechs Bolzenschrauben 31 zusammengehalten. Es ist in Figur 3 der radial an die Gehäuseschale 21 angeflanschte
10 Stutzen mit der Lufteintrittsöffnung 23 zu erkennen.

Im Rahmen des Erfindungsgedankens sind zahlreiche alternative Ausführungsformen denkbar. Beispielsweise können in der von den Gehäuseschalen 20, 21 gebildeten Druckkammer mehrere parallel angeordnete Hohlzylinder mit Strömungskammern 28
15 angeordnet sein. Auch ist es umgekehrt denkbar, dass innerhalb einer zylindrischen Strömungskammer, die von der Tensidflüssigkeit durchströmt wird, ein beispielsweise konzentrisches Rohr mit einer porösen Wandung angeordnet ist, wobei die Druckluft dem Innenraum dieses Rohres zugeführt wird,
20 so dass die Luft über die poröse Wandung nach außen in die sie umgebende Strömungskammer gedrückt wird. Bei noch einer anderen Ausführungsform können die porösen Wandungen zwischen einer oder mehreren Druckkammern und einer oder mehreren Strömungskammern ebene Platten sein, wobei die Kammern parallel benachbart
25 zueinander angeordnet sind.

Patentansprüche

1. Schaumgenerator (14) für eine Erddruckschild-Tunnelvortriebsmaschine (1) mit

5 einer Mischkammer, die eine erste Einlassöffnung (22) für eine schäumbare Flüssigkeit und eine zweite Einlassöffnung (23) für ein Gas sowie eine Schaumaustrittsöffnung (24) aufweist,

einer mit der Einlassöffnung (22) für die schäumbare
10 Flüssigkeit verbundenen Flüssigkeitszuführvorrichtung (15 - 18) und

einer mit der Einlassöffnung (23) für das Gas verbundenen Gaszuführvorrichtung (19),

wobei die Mischkammer eine rohrförmige Strömungskammer
15 (28) aufweist, an deren einem Ende sich die Einlassöffnung (22) für die schäumbare Flüssigkeit und an deren anderem Ende sich die Schaumaustrittsöffnung (24) befindet,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer (28)
20 als Begasungsstrecke mit einer gasdurchlässigen porösen Wandung (26) ausgebildet ist,

dass der als Begasungsstrecke ausgebildete Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer (28) an eine Druckkammer (29) angrenzt,

25 dass die Druckkammer (29) die Einlassöffnung (23) für das Gas aufweist und an den als Begasungsstrecke ausgebildeten Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer (28) derart angrenzt, dass das durch die Einlassöffnung (23) unter einem Druck zugeführte Gas durch die gasdurchlässige poröse Wandung
30 (26) in die rohrförmige Strömungskammer (28) eintritt und sich dort mit der schäumbaren Flüssigkeit unter Schaumbildung mischt, und

dass die Gaszuführvorrichtung (19) und die Flüssigkeitszuführvorrichtung (15 - 18) so ausgebildet sind,
35 dass der Druck des der Druckkammer (29) zugeführten Gases so eingestellt werden kann, dass der Druck größer als der von der

Flüssigkeit auf die gasdurchlässige poröse Wandung (26) ausgeübte Druck ist und dass ein gewünschtes Verhältnis von zugeführtem Gas zu zugeführter Flüssigkeit erzielt wird.

5 2. Schaumgenerator (14) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaszuführvorrichtung (19) und die Flüssigkeitszuführvorrichtung (15 - 18) so ausgebildet sind, dass der Druck des der Druckkammer (29) zugeführten Gases so eingestellt werden kann, dass der Druck 0,5 bis 2 bar,
10 vorzugsweise 1 bis 2 bar, größer als der Druck der Flüssigkeit ist.

3. Schaumgenerator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Druckkammer (29) die Strömungskammer
15 (28) zumindest teilweise umschließt.

4. Schaumgenerator nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, dass der als Begasungsstrecke ausgebildete Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer (28) einen
20 konstanten Strömungsquerschnitt aufweist.

5. Schaumgenerator nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der als Begasungsstrecke ausgebildete Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer (28) einen
25 kreisförmigen Querschnitt aufweist.

6. Schaumgenerator nach einem der Ansprüche 1 - 5, dadurch gekennzeichnet, dass der als Begasungsstrecke ausgebildete Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer (28) ein sich
30 zwischen der Einlassöffnung (22) für die schäumbare Flüssigkeit und der Schaumaustrittsöffnung (24) erstreckender Hohlzylinder (25) mit gasdurchlässiger poröser Wandung (26) ist.

35 7. Schaumgenerator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlzylinder (25) eine gasdurchlässige poröse Wandung (26) konstanter Dicke aufweist.

8. Schaumgenerator nach einem der Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas Luft ist und dass die Gaszuführvorrichtung einen Kompressor umfasst.

5

9. Schaumgenerator nach einem der Ansprüche 1 - 8, dadurch gekennzeichnet, dass die schäumbare Flüssigkeit ein Wasser-Tensid-Gemisch ist und dass die Flüssigkeitszuführvorrichtung (15 - 18) eine Wasser-Tensid-Mischvorrichtung (16) umfasst, mit der das Mengenverhältnis von Wasser und Tensid eingestellt werden kann.

10. Verfahren zum Konditionieren abgetragenen Bodenmaterials als Stützmedium für ein Erddruckschild einer Tunnelvortriebsmaschine, wobei

Boden abgetragen und einer Abbaukammer der Tunnelvortriebsmaschine zugeführt wird,

in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des abgetragenen Bodens ein Schaum bereitgestellt wird, indem

20 wenigstens ein Schaumgenerator mit einer rohrförmigen Strömungskammer bereitgestellt wird, dem Schaumgenerator an einem Ende einer rohrförmigen Strömungskammer eine schäumbare Flüssigkeit zugeführt wird, und

25 einem als Begasungsstrecke ausgebildeten Abschnitt der rohrförmigen Strömungskammer durch dessen gasdurchlässige poröse Wandung hindurch ein sich in der Strömungskammer mit der schäumbaren Flüssigkeit unter Schaumbildung mischendes Gas zugeführt wird, indem einer Druckkammer, die den als Begasungsstrecke ausgebildeten Abschnitt umschließt, das Gas unter einem Druck zugeführt wird, der größer als der von der Flüssigkeit auf die gasdurchlässige poröse Wandung ausgeübte Druck ist,

35 wobei - in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des abgetragenen Bodens - ein Schaumgenerator mit einer Begasungsstrecke einer vorgegebenen Länge, eines

vorgegebenen Strömungsquerschnitts und einer vorgegebenen Porengröße und -dicke bereitgestellt wird und das Verhältnis von zugeführtem Gas zu zugeführter Flüssigkeit eingestellt wird, so dass sich eine gewünschte Struktur und Größe der Schaumbläschen ergeben,

der an dem anderen Ende der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum der Abbaukammer zugeführt und mit dem abgetragenen Boden gemischt wird.

11. Verfahren zum Konditionieren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas der Druckkammer unter einem Druck zugeführt wird, der 0,5 bis 2 bar, vorzugsweise 1 bis 2 bar, größer als der Druck der Flüssigkeit ist.

12. Verfahren zum Konditionieren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaum der Abbaukammer mit einem Druck zugeführt wird, der 1 bis 2 bar größer als der Druck in der Abbaukammer ist.

13. Verfahren zum Konditionieren nach einem der Ansprüche 10 - 12, dadurch gekennzeichnet, dass der aus der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum an mehreren Injektionsstellen in der Abbaukammer zugeführt wird.

14. Verfahren zum Konditionieren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der aus der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum an Injektionsstellen an einem Schneidrad sowie an einer der Abbaukammer zugewandten Seite einer Druckwand zugeführt wird.

15. Verfahren zum Konditionieren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der aus der rohrförmigen Strömungskammer austretende Schaum zusätzlich an Injektionsstellen in einer den abgetragenen Boden aus der Abbaukammer fördernden Förderschnecke zugeführt wird.

16. Verfahren zum Konditionieren nach einem der Ansprüche 10 - 15, dadurch gekennzeichnet, dass dem Schaumgenerator an dem einen Ende der rohrförmigen Strömungskammer zusammen mit der schäumbaren Flüssigkeit ein Feststoff zugeführt wird.

5

17. Verfahren zum Konditionieren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Feststoff ein Bentonitpulver oder -granulat enthält.

10 18. Verfahren zum Konditionieren nach einem der Ansprüche 10 - 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Schaumgenerator mit einer Begasungsstrecke einer vorgegebenen Länge, eines vorgegebenen Strömungsquerschnitts und einer vorgegebenen Porengröße und -dichte in Abhängigkeit von der Beschaffenheit
15 des abgetragenen Bodens bereitgestellt wird, indem anhand von ausgewählten Parametern des abgetragenen Bodens ein als Begasungsstrecke dienender Hohlzylinder vorgegebener Länge und vorgegebenen Innenquerschnitts mit einer gasdurchlässigen porösen Wandung vorgegebener Porengröße und -dichte für den
20 Schaumgenerator ausgewählt wird.

19. Verfahren zum Konditionieren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass aus mehreren strömungstechnisch parallel angeordneten Begasungsstrecken eine Begasungsstrecke mit den
25 gewählten Parametern ausgewählt wird, indem die Zufuhr von Flüssigkeit und Gas zu den anderen Begasungsstrecken gesperrt wird.