(19) **DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK**

PATENTSCHRIFT

Wirtschaftspatent

Erteilt gemaeß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461 (11) **203 582**

Int.Cl.³ 3(51) **E 02 D 3/11**

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veroeffentlicht

(21) WP E 02 D/ 2374 616 (22) 17.02.82 (44) 26.10.83

(71) siehe (72)
(72) DRAGANOV, LILIAN,DOZ. DR.-ING.;BG;REUTER, FRITZ,PROF. DR. SC. TECHN.;DD;
HERZOG, HARRY,DR.-ING.;DD;LANGE, WOLFGANG,DIPL.-ING.;DD;
(73) siehe (72)
(74) BERGAKADEMIE FREIBERG DIREKTORAT FORSCHUNG ABT. PAT.- U. NEUERERW. 9200 FREIBERG
AKADEMIESTRASSE 6

(54) VERFAHREN ZUR VERFESTIGUNG BINDIGER LOCKERGESTEINE

(57) Verfahren zur Verfestigung bindiger Lockergesteine vorzugsweise im Bergbau-Tagebau, im Bauwesen und in der Melioration. Ziel ist die Intensivierung der elektrochemischen Verfestigung und deren Gleichmäßigkeit über den genannten Bauraum sowie die Hydrophobisierung der Oberfläche zur Erhöhung der Festigkeitseigenschaften bindiger Lockergesteine mit einfachen Mitteln. Die technische Aufgabe besteht darin, ein Verfahren zu schaffen, das die prozeßhemmenden Niederschläge zeitweise verhindert und die Strömung der Erdalkaliionen zur Oberfläche zwingt, um ihre gute Hydrophobisierung zu erzielen. Erfindungsgemäß werden dazu Zwischenelektrodenreihen als Wanderelektroden ausgebildet bzw. als feststehende Elektroden, die nacheinander geschaltet werden, so daß dadurch das Wandern des Energiefeldes erreicht wird. Die Behandlungsdauer zwischen der Anoden- und der ersten Zwischenkatodenreihe ist am kürzesten; in Richtung zur Hauptkatodenreihe nimmt sie zu. Vorteilhaft sind die gleichmäßige oberflächige Hydrophobisierung des gesamten Bauraums, dessen Austrocknung und die Erhöhung der Festigkeitseigenschaften der bindigen Lockergesteine. Durch die Wanderelektroden können die Ergebnisse des elektrochemischen Prozesses nach den Erfordernissen der Praxis gesteuert werden.

a) Titel der Erfindung

Verfahren zur Verfestigung bindiger Lockergesteine

b) Anwendungsgebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektrochemischen Verfestigung und Hydrophobisierung bindiger Lockergesteine, vorzugsweise im Bergbau-Tagebau zur Böschungsstabilisierung, im Bauwesen zur Baugrundverbesserung, im Verkehrsbau zur Verbesserung des Straßen- und Schienenunterbaues und in der Melioration zur Entwässerung.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Ein vorbekanntes Verfahren zum Verfestigen bindiger Lockergesteine besteht darin, daß perforierte, rohrförmige Elektroden reihenweise in bestimmten Abständen der Reihen und untereinander eingeschlagen und an ein Gleichstromfeld derart angeschlossen werden, daß die eine Reihe als Anoden- und die andere als Katodenreihe ausgebildet wird. Durch das Anlegen einer Gleichspannung beginnt ein Ionenaustauschprozeß. Das Porenwasser wird aus dem Boden in Richtung von der Anode zur Katode abgeführt und von dort abgeleitet. Diese Austrocknung und das Eindringen von emittierten Ionen von der Anode bewirken die gewünschte Verfestigung. Außerdem werden in die perforierten Anoden Lösungen von Erdalkalimetallen gefüllt, deren Ionen ebenfalls in den Boden wandern und diesen hydrophobisieren. Nachteilig bei diesem Verfahren ist die zu langsame

und ungleichmäßige Austrocknung, die Restfeuchtigkeit steigt von der Anodenzone über die Zwischenzone zur Katodenzone. Damit verringert sich auch die Festigkeitseigenschaft des zu behandelnden Lockergesteins, was wiederum Unsicherheiten an Strossen und Böschungen in Tagebauen, unter Straßen oder Schienensträngen oder im Baugrund bedingt. Außerdem ist das Verfahren durch hohen Energieverbrauch gekennzeichnet. Einem anderen Verfahren liegt der Gedanke zugrunde, statt des Gleichstromfeldes einen asymetrischen Wechselstrom anzulegen. Dabei treten aber die gleichen Nachteile wie beim Gleichstromfeld auf und außerdem stört der asymetrsiche Wechselstrom den Ablauf der elektrokinetischen und elektrochemischen Prozesse.
Beiden Verfahren haftet der Nachteil an, daß die Anoden infolge Abwanderung von Ionen zerstört werden. Bekannt ist auch die Verfestigung durch eine feststehende Katodendrainage, die unter den betreffenden Bauabschnitt in die Erde eingegraben wird und mittels einer an der Erdoberfläche beweglichen Anode, z. B. einem Traktor.
Nachteilig ist der sehr langsame Ablauf des elektroosmotischen Prozesses, der hohe Bedarf an Arbeitskräften zum Eingraben der Drainage, das Auftreten mehrerer Zonen mit verschiedenen Eigenschaften sowie relativ große Feuchtigkeit in der Katodenzone und geringe Hydrophobisierung der Anoden- und Zwischenzone.

d) Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist die Intensivierung der elektrochemischen Verfestigung und die gleichmäßige Hydrophobisierung der Oberfläche zur Erhöhung der Festigkeitseigenschaften bindiger Lockergesteine.

e) Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die technische Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verfestigung bindiger Lockergesteine zu schaffen, mit dem ohne höheren Energieaufwand und durch

schrittweise Verringerung des Abstandes zwischen den Elektrodenreihen der elektrochemische Prozeß intensiviert wird, die Ablagerungen von Metallionen, Kalzium- und Magnesiumhydroxid sowie von Kalzium- und Magnesiumkarbonat, die die Poren verstopfen und den Prozeß hemmen, verhindert werden. Außerdem soll die Verfestigungslösung zur Hydrophobisierung der Oberfläche gezwungen und deren Austrocknung verhindert werden.

Erfindungsgemäß werden vorbekannte Elektrodenreihen in einem orthogonalen Netz bzw. schachbrett- oder kreisförmig mit bestimmten Abständen zueinander in den zu verfestigenden Bauabschnitt eingebracht. Zwischen diesen feststehenden Elektroden werden parallel dazu Rinnen gegraben, in die man Wanderelektroden einbringt, oder es werden feststehende Zwischenelektroden angebracht, die nacheinander geschaltet werden, so daß das Wandern des Energiefeldes durch das Nacheinanderschalten erreicht wird.

Beim Anlegen des Gleichstromfeldes werden die Ionen der Erdalkalimetalle aus der diffusen Schicht, die Ionen der Verfestigungslösung und die durch die Elektrolyse aus den Anoden emittierten Ionen in Richtung zu den Haupt- und Wanderkatoden bewegt. Damit wird eine aktive Sättigung des gesamten Bauraumes durch diese Ionen erreicht. Im Verlauf der Verfestigung wird das Porenwasser aus den tieferen Teilen des Bauraumes an den Wanderelektroden gesammtelt und über die Rinnen abgeführt. Dabei vergrößert sich zeitweilig die Feuchtigkeit rund um die Wanderelektroden, die wiederum eine mechanische Verdichtung erlaubt. Um die Wanderelektrode herum ist an der Oberfläche eine typische weiße Färbung sichtbar, die sich fast über den gesamten Bauraum erstreckt. Das ist ein sicheres Zeichen für die gelungene Verfestigung und Hydrophobisierung der behandelten Lockergesteinsabschnitte.

f) Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend in zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert:

Ausführungsbeispiel 1:

Entsprechend Figur 1 werden die feststehenden perforierten Anoden 1 und Katoden 2 in den Bauabschnitt eingeschlagen. Je nach geforderter Intensität der Verfestigung beträgt der Abstand 2 bis 10 m.
Parallel dazu werden Rinnen gegraben mit einem, den Wanderelektroden entsprechenden Querschnitt, in die Wanderkatoden $3_{1,2,\ldots,n}$ einzudrücken sind, welche jeweils mit den Hauptkatoden elektrisch zusammengeschlossen werden. Die Umsetzung der Wanderkatoden in die jeweils nächste Rinne ist abhängig von der Austrocknung und Verfestigung des Bauabschnittes sowie vom Sättigungsgrad der Oberfläche des zu verfestigenden Abschnittes mit Ionen der Erdalkalimetalle, der an Hand der typischen weißen Färbung an der Erdoberfläche zu erkennen ist. Die Wanderkatoden bestehen nach Figur 2 a aus kurzen perforierten Rohren mit zackenförmiger Ausbildung des Rohrumfanges zum besseren Kontakt mit dem Boden, entsprechend Figur 2 b aus trapezförmigen Blechen, aus denen dreieckige Zacken ausgestanzt werden oder entsprechend Figur 2 c aus einem einfachen Drahtgeflecht, das mit Schienennägeln in die Rinnen eingeschlagen wird. Das an den Wanderkatoden abgesonderte Porenwasser fließt über die Rinnen ab, die dazu eine geringe Neigung aufweisen.

Ausführungsbeispiel 2:

Für rutschungsgefährdete Hänge oder Böschungen, wo eine tiefgreifende Verfestigung erforderlich ist, werden feststehende Zwischenelektrodenreihen verwendet, wie in Figur 3 gezeigt, die nacheinander angeschaltet werden, so daß gewissermaßen das Spannungsfeld wandert.
Am oberen Ende der perforierten Zwischenkatoden 4 wird ein krempenartiges Stahlblech angebracht, das zur Kontaktverbesserung dient und die Hydrophobilierung verstärkt. Die Länge der Zwischenkatoden muß $\approx$ 30 % größer sein als die

vermutete Tiefe der Gleitfläche 5.
Die hydrophobisierte Oberfläche rund um die Zwischenkatode verhindert das Eindringen des atmosphärischen Wassers in den Boden und damit die Verschlechterung der Festigkeitseigenschaften. Die Indizes zeigen die Reihenfolge für das Anlegen des Spannungsfeldes. Alle Zwischenkatoden sind mehrmals verwendbar, ihr Verschleiß ist gering.
Die Anzahl der Zwischenkatodenreihen ist abhängig von der Neigungslänge des Hanges. Die Behandlungsdauer zwischen der Anoden- und der ersten Zwischenkatodenreihe ist am kürzesten; in Richtung zur Hauptkatodenreihe nimmt sie zu. Im Verlauf der elektroosmotischen Austrocknung wird das Porenwasser abgeführt, demzufolge sinkt das Grundwasser ab. Umfangreiche Experimente mit dem vorgeschlagenen Verfahren zeigen im Vergleich zu den klassischen Verfahren (nur feststehende Anoden- und Katodenreihen) folgende Vorteile:

1. Schnellere und bessere Austrocknung und Verfestigung des Bauraumes. Bei der Behandlung von drei verschiedenen Lockergesteinsarten ergaben sich folgende Werte in den drei Hauptzonen (Anodenzone A, Zwischenzone Z und Katodenzone K):

$$K_A = \frac{W_A}{W_A^{WK}} = 1,18$$

$$K_Z = \frac{W_Z}{W_Z^{WK}} = 1,20$$

$$K_K = \frac{W_K}{W_K^{WK}} = 1,16$$

K Verhältnis der Feuchtigkeiten in den drei Hauptzonen
W Feuchtigkeit in Gewichtsprozent der einzelnen Zonen bei den klassischen Verfahren und bei Behandlung mit
W^{WK} Wanderkatoden

Das mittlere Verhältnis K' zwischen dem abgesonderten Porenwasser bei klassischen Verfahren Q und bei Anwendung von Wanderkatoden Q^{WK} beträgt

$$K' = \frac{Q^{WK}}{Q} = 2,0$$

2)

Bei erfindungsgemäßer Anwendung erhöht sich der Eindringwiderstand des Lockergesteins. Nach einer Behandlungsdauer von ein bis zwei Wochen ergab sich das Verhältnis der mittleren Eindringwiderstände E mit der Stein'schen Handsonde in den drei Hauptzonen:

$$E_A = \frac{h_A^{WK}}{h_A} = 2,0$$

$$E_Z = \frac{h_Z^{WK}}{h_Z} = 1,9$$

$$E_K = \frac{h_K^{WK}}{h_K} = 1,6$$

h^{WK} mittlerer Eindringwiderstand mit Anwendung der
h Wanderkatoden und mit klassischen Verfahren

3)

Der Sättigungsgrad der Anoden- und Zwischenzone mit Kalziumionen ist bei erfindungsgemäßer Anwendung zweimal größer als bei klassischen Verfahren. Daraus ergibt sich die gute Hydrophobisierung des gesamten Bauraums.

Patentansprüche

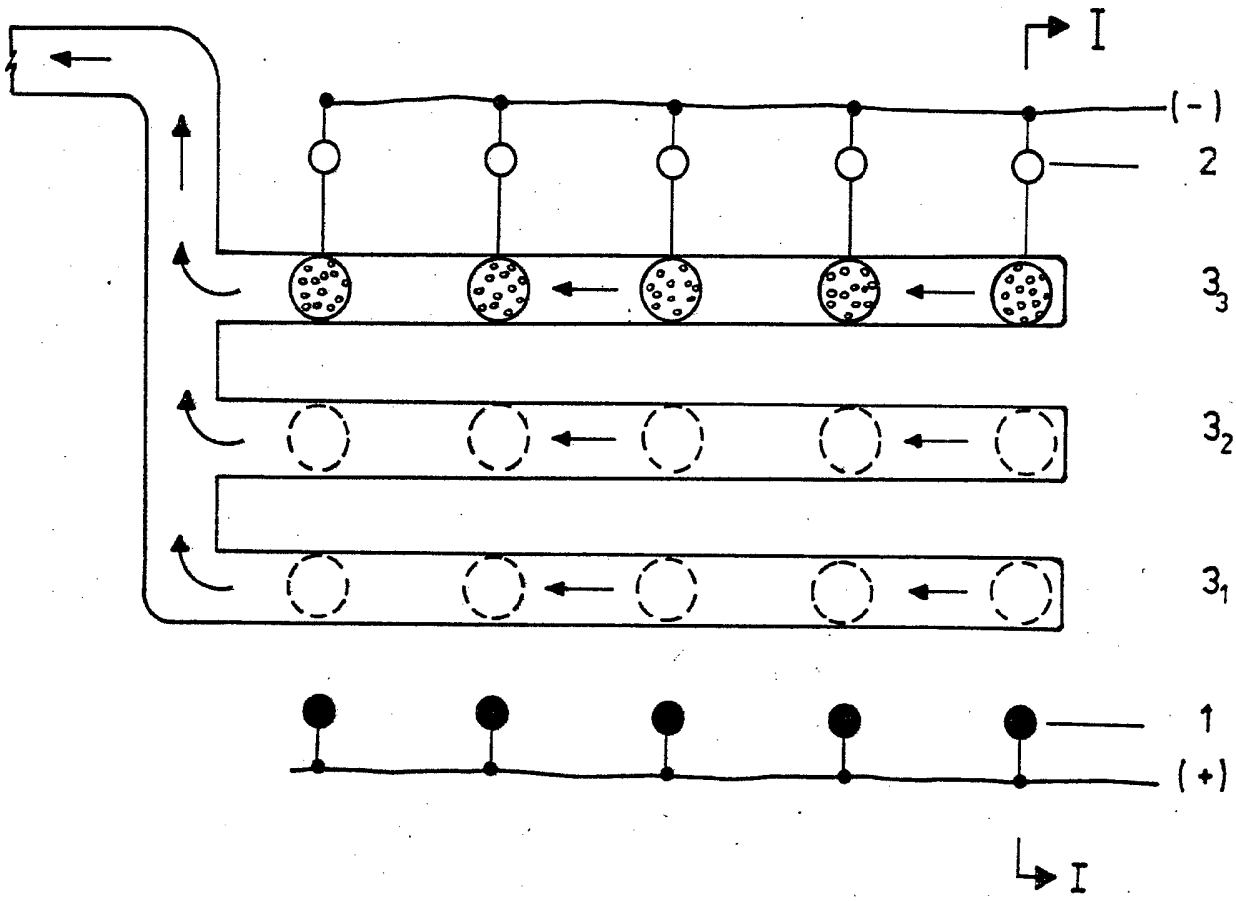
1. Verfahren zur Verfestigung bindiger Lockergesteine mittels in den Boden des zu verfestigenden Bauabschnittes eingebrachter Hauptelektrodenreihen, wobei zwischen Anoden- und Katodenreihe eine Zwischenkatodenreihe eingebracht und an ein Gleichstromfeld angelegt sind, gekennzeichnet dadurch, daß diese Zwischenkatoden als Wanderelektroden ausgebildet sind, die im Laufe der Verfestigung des Bauabschnittes schrittweise in parallel zu den Hauptelektrodenreihen gegrabenen Porenwasserabflußrinnen eingebracht bzw. umgesetzt werden oder daß sie vorzugsweise zum Zwecke der Böschungsverfestigung feststehend sind und mit ihrer Länge bis zu einer bestimmten Tiefe unter die vermutete Gleitfläche reichen, wobei das Wandern des Energiefeldes durch das nacheinander Anschließen der Zwischenelektrodenreihen erzwungen wird.

2. Verfahren nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß die Wanderelektroden als kurzes perforiertes Rohr mit einem ebenso perforiertem unteren Abschlußboden und mit am unteren Umfang angebrachten Bodenkontaktzacken oder als mit ausgestanzten Zähnen versehenes Stahlrinnenstück bzw. als mit den Porenwasserabflußrinnen vernageltes Stahlnetz ausgeführt werden.

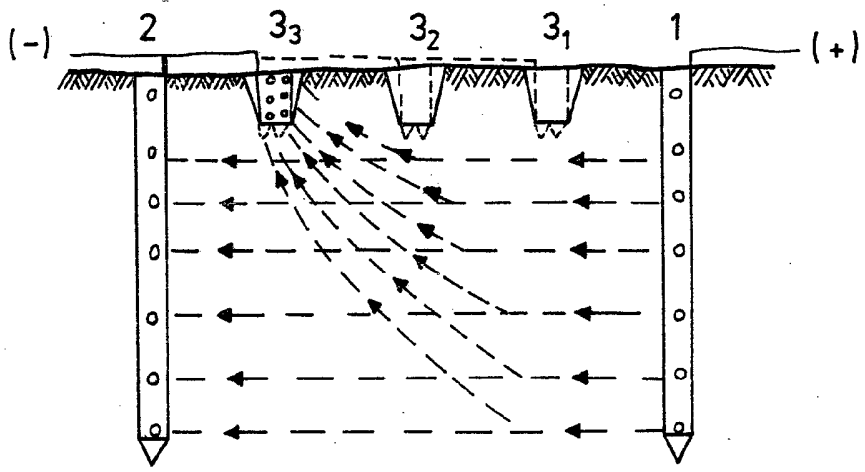
3. Verfahren nach Pkt. 1, gekennzeichnet dadurch, daß am oberen Ende der Zwischenkatoden ein krempenartiger Kontaktring aus Stahlblech angebracht ist.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

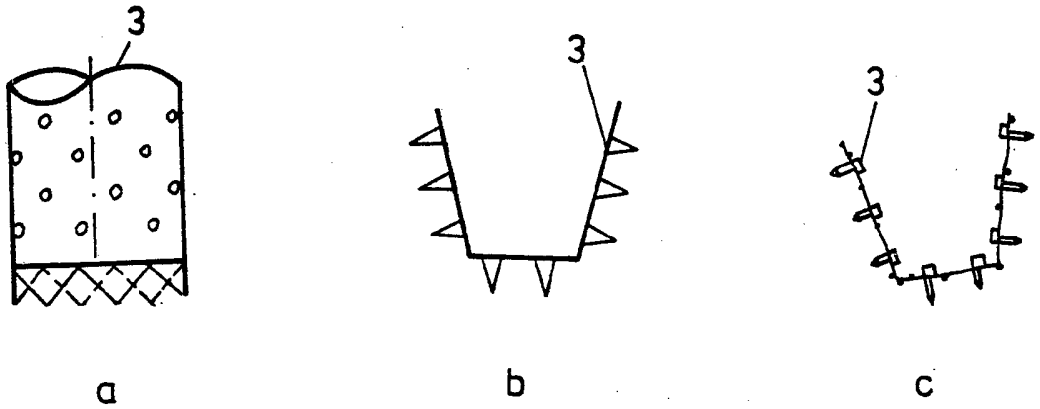
Figur 1



Schnitt I-I



Figur 2



a b c

Figur 3

