(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer: **0 045 026**
A1

(12) # EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **81105667.0**

(22) Anmeldetag: **20.07.81**

(51) Int. Cl.³: **E 01 C 3/04**, E 01 C 3/06, E 01 B 1/00, C 09 K 17/00

(30) Priorität: **29.07.80 DE 3028670**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung: **03.02.82 Patentblatt 82/5**

(84) Benannte Vertragsstaaten: **AT BE CH DE FR GB LI LU NL SE**

(71) Anmelder: **becker bau GmbH & Co. KG, Segeberger Landstrasse, D-2351 Bornhöved (DE)**

(72) Erfinder: **Kadelka, Friedrich, Bussardweg 18, D-2360 Bad Segeberg (DE)**

(74) Vertreter: **Uexküll & Stolberg Patentanwälte, Beselerstrasse 4, D-2000 Hamburg 52 (DE)**

(54) **Verfahren zur Bodenverfestigung und danach hergestellte Frostschutzschichten.**

(57) Verfahren zur Bodenverfestigung, bei dem der zu verfestigende, Feuchtigkeit enthaltende Boden, Abraum oder ein Boden/Abraum-Gemisch mit Zement vermischt und dann verdichtet wird, das dadurch gekennzeichnet ist, daß man der zu verfestigenden Masse zusätzlich Verflüssigungsmittel zusetzt. Als Verflüssigungsmittel werden an sich bekannte Betonverflüssiger und/oder Betonfließmittel verwendet. Im Vergleich zur Beton-Technologie werden die Verflüssigungsmittel in sehr viel größeren Mengen, d. h. bezogen auf den Zementgehalt in einer Menge von 2,5 bis 5% eingesetzt. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann natürliche Feuchtigkeit enthaltender Boden ohne zusätzliche Bewässerung verwendet werden. Außerdem kann der Zementanspruch um $^1/_3$ gesenkt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren führt zu Bodenverfestigungen mit verbessertem Schwind- bzw. Rißbildungsverhalten, das stark bis auf eine Mikrorißbildung reduziert ist oder ganz unterbleibt, so daß beispielsweise im Straßenbau dünnere bituminöse oder zementgebundene Straßenbeläge verwendet werden können.

EP 0 045 026 A1

becker bau GmbH & Co. KG
Segeberger Landstraße

2351 Bornhöved

0045026

Juli 1981

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bodenverfestigung sowie danach hergestellte Frostschutzschichten als Untergrund bzw. Unterbau für den Straßen- und Eisenbahnbau.

Beim Bau von Straßen und Eisenbahnlinien wird üblicherweise vor Aufbringung des Straßenbelags (Oberbau) bzw. Aufbringen des Schotterbettes im Eisenbahnbau der Untergrund bzw. Unterbau befestigt. Dies geschieht heutzutage nach einem als Bodenverfestigung bekannten Verfahren, bei dem die verschiedensten Böden (Lockermassen), wie zum Beispiel Böden gemäß DIN 18196, staubförmige mineralische Materialien oder Gemische derselben, mit Wasser und Zement versetzt, beispielsweise mit Bodenfräsen oder in Mischanlagen durchmischt und dann durch Walzeinwirkung beispielsweise mittels Gummiradwalzen verdichtet werden. Durch die Erhärtung des in der Bodenverfestigungsmasse enthaltenen Zements werden die einzelnen Körner der Bodenverfestigungsmasse zu einem festen verkitteten Gerüst verbunden. Während beim Beton der Zementstein die Körner praktisch vollständig umhüllt, verkittet er bei der Bodenverfestigung die Körner nur an einzelnen Punkten. Dies rührt daher, daß bei Beton im allgemeinen sehr viel höhere Druckfestigkeiten angestrebt werden und dementsprechend

mehr Zement beigegeben wird als dies bei der Bodenverfestigung erforderlich ist, wo man je nach Boden mit 80 bis 220 kg Zement je m^3 (entsprechend 4 bis 16 % Zement) auskommt.

Unter den zuvorgenannten staubförmigen mineralischen Materialien, die im folgenden und in den Patentansprüchen der Kürze halber als Abraum bezeichnet werden, werden natürliche und künstliche mineralische Materialien wie Flugaschen, Verbrennungsrückstände, sonstige staubförmige bzw. feinstsandhaltige Rückstände aus Trocken-, Naß- und Elektroentstaubungsanlagen, schluff- und tonhaltige Waschrückstände aus Kies- und Bruchsteinwaschanlagen, Abraumstoffe aus Schleifprozessen und sonstige feinteilige anorganische und organische Rückstände jeder Art verstanden.

Aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzungen und der unterschiedlichen eingesetzten Materialien bestehen zwischen der Bodenverfestigung mit Zement und der Betonherstellung grundlegende technologische Unterschiede. Während man bei Beton (Zementbeton) stets eine praktisch vollständige Verdichtung voraussetzt, so daß die Hohlräume zwischen den einzelnen Kies- und Sandkörnern nahezu vollständig mit Zementleim ausgefüllt sind, ist bei der Bodenverfestigung eine praktisch vollständige Verdichtung nicht zu erzielen.

Gütebestimmend ist daher bei Beton (außer der Zementgüte) nur der Zementleim, d. h. der Wasserzementwert und die damit zusammenhängende Porosität des erhärteten Zementsteines. Demgegenüber können bei der Bodenverfestigung keine besonderen, etwa auf ein Hohlraumminimum zielenden Anforderungen gestellt werden. Auch bei guter Verdichtung verbleiben deshalb bei der Bodenverfestigung im Korngerüst mehr Hohlräume als bei Beton. Während der Beton üblicherweise ein Restporengehalt von ungefähr 2,0 Vol.% oder weniger und nur in Ausnahmefällen wie bei Straßenbeton ein Gesamtporeninhalt von etwa 4 Vol.% angestrebt wird, ist der Porenanteil bei der Bodenverfestigung 10 bis 20mal größer, das heißt, der Mineralhohlraum bei Bodenverfestigungen mit Zement schwankt in einem weiten Bereich zwischen etwa 20 und 40 Vol.%.

Die Herstellung von Zusammensetzungen für die Bodenverfestigung mit Zement erfolgt deshalb gegenüber der Betonherstellung nach anderen Grundsätzen, nämlich denen der Bodenmechanik. Diese geht aus von einem System aus Feststoffen sowie Wasser und Luft als Poren. Grundsätzlich ist man bestrebt, eine dichteste Lagerung der Mineralstoffe zu erreichen. Dementsprechend sind die wesentlichen Bestimmungsgrößen für die Qualität der Bodenverfestigung mit Zement der Wassergehalt, der Zementgehalt und das Maß der Verdichtung.

Für die Bodenverfestigung mit Zement kann jeder in der Natur vorkommende Boden verwendet werden, der in erforlichem Maße zerkleinert werden kann, keine erhärtungsstörenden Stoffe enthält und mit Zement (hydrophobiert oder nicht hydrophobiert) und Wasser sowie ggf. geeigneten Additiven mischbar ist. Wasser und Zement verhalten sich hier in keinem der Betontechnologie ähnlichen Wasserzementwertverhältnis. Es gibt dementsprechend keine Möglichkeit, "zielsicher" bestimmte Festigkeitseigenschaften in der Bodenverfestigung mit Zement zu berechnen.

Wie bereits zuvor erwähnt, kann die Bodenverfestigung auch unter Zumischung von Abraum oder, wie bereits versuchsweise durchgeführt, unter ausschließlicher Verwendung von Abraum wie Flugasche erfolgen. Dabei gelten ebenfalls im wesentlichen die zuvor genannten Gesichtspunkte.

In den zu verfestigenden Boden-Zement-Gemischen wirkt das Wasser als "Schmiermittel". Dementsprechend gibt es für jeden Boden, Abraum oder Boden/Abraum-Gemisch bzw. für jedes Boden-Zement-Gemisch, Boden/Abraum-Zement-Gemisch oder Abraum-Zement-Gemisch unter dem Gesichtspunkt der obigen Grundsätze einen sogenannten "optimalen Wassergehalt", der im sogenannten Proctorversuch ermittelt wird (siehe Merkblatt DIN 18127 für den Proctorversuch, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen).

Der Wasseranspruch bei der Bodenverfestigung richtet sich also nach dem "optimalen Wassergehalt", der sich - wie in dem genannten Merkblatt beschrieben - nach den Regeln der Bodenmechanik ermitteln läßt. Die diesem optimalen Wassergehalt entsprechende Trockenraumdichte (Proctordichte) ist im allgemeinen auch bei der Bauausführung anzustreben, vorausgesetzt, daß sich das Ergebnis des Proctor-Versuches bei der anschließenden Herstellung von Probezylindern zur Bestimmung des erforderlichen bzw. geeigneten Zementgehalts zur Erzielung der notwendigen Druckfestigkeit bestätigt.

Die beim Proctor-Versuch gebildeten Prüfkörper untersucht man am 7. und/oder 28. Tag nach ihrer Herstellung auf Druckfestigkeit (siehe TVV 74, Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau). Hierbei steht der Festigkeitsanstieg etwa in einem linearen Zusammenhang mit dem Anstieg der Zementgehalte. Durch Interpolation wird aus einer erreichten Druckfestigkeit auf den damit in Zusammenhang stehenden Zementbedarf geschlossen (vgl. "Beton" 19 (1969), Seite 19 bis 24).

Eine Beziehung zwischen Festigkeitseigenschaften und Wasserzementwert wie bei Beton gibt es bei der Bodenverfestigung nicht. Eine sogenannte "optimale Verdichtung" wie beim Beton gibt es in der Bodenverfestigung ebenfalls nicht, denn der Verdichtungsgrad richtet sich immer nach der aus der gleichen Masse ermittelten "Proctordichte".

Wenngleich die Bodenverfestigung mit Zement eine erhebliche Verbesserung der Eigenschaften des Unterbodens bzw. Unterbaues, insbesondere im Hinblick auf die Frostbeständigkeit beim Straßen- und Eisenbahnbau ergibt, so weist diese Verfahrensweise dennoch verschiedene Nachteile auf. Durch die Zugabe von Fremdwasser über den Eigenwassergehalt des Verfestigungsmaterials in situ hinaus sind zusätzliche Verfahrensschritte und erhöhte Kosten erforderlich. Ferner treten bei derartig verfestigten Böden bzw. Frostschutzschichten beim Erhärten infolge Schwindens sogenannte Makrorisse auf. Diese machen es erforderlich, daß beispielsweise verhältnismäßig dicke bituminöse bzw. zementgebundene Straßenbeläge verwendet werden müssen, um die Reflexion der Makrorisse in den Oberbau zu vermeiden. Es besteht ein großer Bedarf für ein Verfahren zur Bodenverfestigung, das in einfacherer und billigerer Weise durchführbar ist und zu gleich guten und möglichst besseren Ergebnissen hinsichtlich der Frostbeständigkeit, Tragfähigkeit und Rißstruktur führt. Dabei ist insbesondere die Vermeidung von Makrorissen erwünscht, da diese im Straßenbau die Verwendung dünnerer bituminöser bzw. zementgebundener Straßenbeläge erlauben würde, was angesichts der Verknappung und des steigenden Preises von Erdöl in Zukunft eine immer größer werdende Notwendigkeit darstellt.

Dementsprechend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bodenverfestigung und danach hergestellte Frostschutzschichten, insbesondere für den Straßen- und Eisenbahnbau vorzuschlagen, das gegenüber der herkömmlichen Bodenverfestigung mit Zement in einfacherer Weise und gegebenenfalls unter Verwendung geringerer Zement- und Wassermengen durchführbar ist. Darüber hinaus soll das erfindungsgemäße Verfahren zu einer verringerten Makrorißbildung führen, so daß beispielsweise im Straßenbau dünnere bituminöse oder zementgebundene Straßenbeläge verwendet werden können.

Gegenstand der Erfindung ist deshalb ein Verfahren zur Bodenverfestigung, bei dem der zu verfestigende, Feuchtigkeit enthaltende Boden, Abraum oder ein Boden/Abraum-Gemisch mit Zement vermischt und dann verdichtet wird, das dadurch gekennzeichnet ist, daß man der zu verfestigenden Masse zusätzlich Verflüssigungsmittel zusetzt.

Gegenstand einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ein Verfahren wie oben angegeben, das dadurch gekennzeichnet ist, daß man einen natürliche Feuchtigkeit enthaltenden Boden verwendet und dessen Feuchtigkeitsge-

halt nicht erhöht.

Es ist bekannt, bei der Betonherstellung Zusatzmittel wie Betonverflüssiger, Betonbeschleuniger, Luftporenbildner, Dichtungsmittel, Betonverzögerer und Einpreßhilfen sowie Zusatzstoffe wie mineralische Stoffe, organische Stoffe und Farbmittel zu verwenden. Bei der Bodenverfestigung sind derartige Zusatzmittel oder Zusatzstoffe mit Ausnahme der mineralischen Stoffe (Abraum) bisher jedoch nicht verwendet worden. Es wurde nun überraschend gefunden, daß die Verwendung von Verflüssigungsmitteln wie Betonverflüssigern und/oder Betonfließmitteln trotz der völlig anders gelagerten Verhältnisse auch bei der Bodenverfestigung zu vorteilhaften Ergebnissen führt. So kann beispielsweise bei unverändertem Zementgehalt auf die Zugabe von Fremdwasser verzichtet werden, d.h. die Eigenfeuchtigkeit des zu verfestigenden Materials reicht aus. Darüber hinaus führt die Zugabe von Verflüssigungsmitteln zu höheren Druckfestigkeiten, so daß es möglich ist, den Zementanteil wesentlich zu senken. Aus der Verringerung des Wasser- und Zementgehaltes wiederum resultiert ein geringeres Rißverhalten der verfestigten Massen, so daß bei gleicher oder höherer Druckfestigkeit Makrorisse, wie bisher üblich, nicht mehr auftreten. Vielmehr ist bei den erfindungsgemäßen

Bodenverfestigungen nur noch höchstens ein Mikrorißverhalten zu beobachten. Dies erlaubt im Gegensatz zu der bisherigen Bodenverfestigung mit Zement auch die Verwendung dünner bituminöser oder zementgebundener Straßenbeläge, was zusätzlich zu den Einsparungen bei der Bodenverfestigung selbst zu einer weiteren Kostenverringerung beim Straßenbau führt.

Betonverflüssiger (Plastifizierungsmittel) sind vor einigen Jahrzehnten vorwiegend in Deutschland und in der Schweiz entwickelt worden. Ihre Aufgabe besteht darin, einen steifen Frischbeton ohne größeren Wasserzusatz in einen plastischen Frischbeton umzuwandeln. Vor Anwendung von Betonverflüssigern war es üblich, mit einer größeren Zementleimmenge, d.h. mit einem höheren Zementzusatz, verbunden mit einem höheren Wassergehalt einen plastischeren Beton zu erhalten. Seit einigen Jahren gibt es darüber hinaus Betonfließmittel, die in ihrer Wirkung Superverflüssiger darstellen.

Die bei der Bodenverfestigung ebenfalls verwendbaren Abraumstoffe erhöhen nach heutigen technologischen Kenntnissen im Frischzustand der Bodenverfestigung nach erreichter Verdichtung die scheinbare Kohäsion in der frischen Tragschichtlage. Außerdem sind gewisse mineralische Feinststoffe latenthydraulisch, d.h. sie nehmen bis zu einem gewissen Grad infolge Anregung durch die Port-

landzement-Klinker-Anteile an dem Erhärtungsverhalten teil, so daß eine Reduzierung des Zements als "rißfördernder" Bestandteil des Systems möglich ist.

Als Verflüssiger und Fließmittel bei der Betonherstellung dienen gemäß dem Stand der Technik im wesentlichen folgende Substanzen:

1. Präparate aus Sulfitablaugen (Ligninsulfonsäuren bzw. deren Salze),

2. Carbon- und Oxycarbonsäuren sowie deren Salze, Derivate dieser Verbindungen und Detergentien,

3. bestimmte Silikone,

4. sulfonierte Melamin-Formaldehyd-Kondensationsprodukte (Superverflüssiger),

5. Kondensationsprodukte aus Naphthalinsulfonsäure und Formaldehyd,

6. Präparate aus Zuckerarten, die wegen ihrer Verzögerung des Erhärtungsvorganges gelegentlich mit Calciumchlorid kombiniert werden,

7. Kondensationsprodukte von Anthracenen analog wie beim Naphthalin,

8. sulfoniertes Phenolformaldehydkondensat und

9. Kombinationen der unter 1. bis 8. aufgeführten Substanzen.

(Die Sulfongruppen enthaltenden Verbindungen der genannten Substanzen werden üblicherweise in Form ihrer Natriumsalze im Handel angeboten und auch in dieser Form verwendet).

In der Praxis werden für die Betonherstellung bezogen auf den Zementanteil 0,2 bis maximal 1,5 % Betonverflüssigerlösungen verwendet. Hierbei handelt es sich bedingt durch die begrenzte Löslichkeit im allgemeinen um 20 bis 30- %ige Lösungen. Größere Mengen dieser Zusatzmittel bringen im allgemeinen keine zusätzlichen Vorteile, sondern führen zu einer zu starken Verflüssigung, Entlüftung bei Straßenbetonen und zu einer unerwünscht langen Erhärtungsverzögerung. In Deutschland richtet sich die Verwendung von Betonverflüssigern und Betonfließmitteln in Zementbeton nach DIN 1045.

Wenngleich anzunehmen ist, daß die "Klinkerphasen" des Zements bei der Bodenverfestigung mit Zement ähnlich wie bei der Betonherstellung mit Wasser in Wechselwirkung treten, gibt es gegenüber dem Beton bei der Bodenverfestigung einige gravierende Unterschiede. Während die Zuschlaggemische A, B, C gemäß DIN 1045 Oberflächen von etwa 0,8 bis 4,6 m^2/kg aufweisen, verlaufen die Sieblinien der zu verfestigenden Sande und Böden in weitem Abstand zu den Beton-Sieblinien im Fein- bis Mittelkornbereich. Eine spezifische Oberfläche läßt sich nur annähernd mit etwa 10,0 m^2/kg abschätzen. Aufgrund des bei der Bodenverfestigung sehr viel geringeren Volumenanteils des Zementleims (Zement + Wasser + Poren) steht der vorhandenen Zementleimmenge bei der Bodenverfestigung eine sehr viel größere Oberfläche als beim Beton gegenüber. Hieraus resultiert das bereits erwähnte hohe Porenvolumen bei Bodenverfestigungsmassen. Ferner resultiert aus der verhältnismäßig geringen Zementleimmenge bei der Bodenverfestigung, daß die Verteilung im ganzen Bodensystem nicht kontinuierlich vorhanden sein kann. Dies führt bei Bodenfestigungsmassen zu "punktförmigen Verkittungen" der Bodenteilchen mit Zementleim. Wegen Mangels des Dispersionsmittels Wasser als Trägersubstanz für den Zement als disperse Phase bilden sich Zementkornaggregate in zahlreichen Kornpackungspunkten. Infolge der Zusammenballung von Zementkörnchen zu größeren Aggregaten verläuft die Durchhydratation einer größeren Zement-

packung mit immer dichter werdender Gel-Bildung und Volumenvergrößerung ständig langsamer, jedoch immer fortschreitend. Hierin liegt einer der Gründe für die oft bemängelten Spätfestigkeiten nach größeren Zeiträumen.

Es wurde nun überraschend gefunden, daß bei Verwendung von Betonverflüssigern und/oder Betonfließmitteln in Bodenverfestigungsmassen der Wasseranteil auf etwa 70 Liter/m^3 verringert werden kann und dennoch ein ausreichend verdichtungsfähiger Baustoff erhalten wird, obwohl bei Bodenverfestigungsmassen von vornherein für eine weitaus größere Oberfläche (im Vergleich zu Beton) eine wesentlich geringere Zementleimmenge zur Verfügung steht und der geringe Wassergehalt nicht mehr die Kontinuität der flüssigen Phase innerhalb des Baustoffgemisches Bodenverfestigung gewährleistet. Es ist zu vermuten, daß dieses Phänomen darauf beruht, daß die Verflüssiger- bzw. Fließmittelsubstanzen nicht nur eine dispergierende Wirkung auf die Zementpartikel ausüben, sondern ihre Wirkung auch auf die Feinstbestandteile des Betons ausdehnen.

Die durchgeführten Entwicklungsarbeiten haben ergeben, daß eine Wassereinsparung bis zu 50 %, bezogen auf den "optimalen Wassergehalt", möglich ist. Überraschender-

weise werden brauchbare Ergebnisse jedoch erst bei sehr viel höheren Konzentrationen an Verflüssiger und/oder Fließmittel als bei der Betonherstellung üblich erzielt. Als geeignet haben sich - bezogen auf den Zementgehalt - Mengen von 2,5 bis 5 % und vorzugsweise 3 bis 4,5 % Trockensubstanz in Pulverform erwiesen.

Die für die Bodenverfestigung geeigneten Betonverflüssiger und Betonfließmittel können als Trockensubstanz, d.h. in Pulverform eingesetzt werden. Demgegenüber dürfen bei der Herstellung von Fließbeton nach DIN 1045 nur flüssige Betonfließmittel verwendet werden. Die Verflüssiger und Fließmittel können aber auch in flüssiger Form zum Einsatz kommen, wobei solche Mengen zu verwenden sind, daß die oben angegebenen, auf Trockensubstanz bezogenen Konzentrationen eingehalten werden. Sie können in flüssiger Form vor der Zementzugabe auf das Planum aufgespritzt bzw. in den Mischer gefüllt oder in Pulverform zusammen oder getrennt mittels der Streuvorrichtungen für Zement auf das Planum gestreut bzw. in den Mischer gegeben oder auch vor dem Aufbringen auf den zu verfestigenden Boden mit dem Zement innig vermischt werden.

Als geeignetes Mittel zur Verflüssigung hat sich bei Versuchen insbesondere sulfoniertes Naphthalinformaldehyd-

kondensat erwiesen. Die anderen gebräuchlichen Verflüssigungsmitel können nur dann in der Praxis angewandt werden, wenn keine bisher festgestellten Beeinträchtigungen des Erhärtungsverlaufes und keine Raumveränderungen (Quellungen) mehr auftreten. In diesem Zusammenhang hat sich insbesondere der häufig hohe Zuckergehalt von im Handel befindlichen Betonverflüssigern und Betonfließmitteln negativ bemerkbar gemacht (siehe unten).

Die Möglichkeit zur Wassereinsparung von etwa 50 % hat große wirtschaftliche und technische Vorteile. Die wirtschaftlichen Vorteile bestehen darin, daß die meisten zur Bodenverfestigung hergerichteten Rohplanien von Straßen und Wegen keiner Vornässung mehr bedürfen. Die Bereitstellung von Bewässerungseinrichtungen kann somit entfallen. Ein großer technischer Vorteil liegt darin, daß infolge der Anwendung von stark reduzierten Feuchtigkeitsmengen das Schwind- bzw. Rißbildungsverhalten ebenfalls stark reduziert wird. Aus der einschlägigen Literatur ist bekannt, daß die Rißbildungen in Bodenverfestigungslagen nur in geringem Maße durch höhere Druckfestigkeit beeinflußt werden. In weit größerem Maße entstehen die Risse infolge des Schwindverhaltens aufgrund der Kapillarität feinkörniger Massen. Bei den erfindungsgemäßen Bodenverfestigungen ist die Schwindrißbildung

stark bis auf eine Mikrorißbildung reduziert oder unterbleibt ganz, da es gelingt, den technisch normal notwendigen Wassersättigungswert stärker zu senken.

Ferner werden durch die erfindungsgemäße Verwendung von Verflüssigungsmitteln höhere Druckfestigkeiten erreicht. Aus den erfindungsgemäß erzielbaren höheren Druckfestigkeiten resultiert wiederum ein weiterer wirtschaftlicher Vorteil in der Weise, daß im Vergleich mit dem Normalfall ohne Verlust an Festigkeit eine Zementeinsparung möglich ist.

Von den bei der Bodenverfestigung einsetzbaren Abraumstoffen dürfte insbesondere der Flugasche in Zukunft eine große Bedeutung zukommen, da sie in großen Mengen anfällt und bisher nur in geringem Umfang einer sinnvollen Verwendung zugeführt werden konnte. Die im Rahmen der Erfindung durchgeführten Untersuchungen haben allerdings ergeben, daß die Einsatzmöglichkeiten von Flugasche in der Bodenverfestigung stark von deren Eigenschaften abhängen. Als geeigneter Beurteilungsmaßstab hat sich bei den bisherigen Versuchen die Größe des Glühverlustes erwiesen.

Am besten geeignet für das erfindungsgemäße Verfahren ist Flugasche mit dem geringsten Glühverlust (Flugasche 1 mit einem Glühverlust von nicht mehr als 5 Gew.%), die allein oder in jedem beliebigen Verhältnis gemischt mit Böden eingesetzt werden kann. Geeignete Mengen an Flugasche in Mischungen mit Böden liegen bei 30 bis 70 % und insbesondere bei etwa 50 %. Flugasche mit höherem Glühverlust (Flugasche 2 mit einem Glühverlust zwischen 5 und 8 Gew.%) dürfte nur in Ausnahmefällen allein in der Bodenverfestigung einsetzbar sein. Üblicherweise kann derartige Flugasche jedoch in Mengen bis zu 60 % und vorzugsweise 40 bis 50 % dem zu verfestigenden Boden zugefügt werden. Auch Flugasche mit hohem Glühverlust (Flugasche 3 mit einem Glühverlust über 10 Gew.%, z.B. bis zu 40 Gew.% und mehr) eignet sich nicht allein für die Bodenverfestigung, kann aber zu verfestigenden Böden in Mengen bis zu 20 % zugesetzt werden. Es sei in diesem Zusammenhang jedoch darauf hingewiesen, daß die zuvor genannten Mengenanteile der verschiedenen Flugaschen darauf abgestellt sind, daß die herzustellende Bodenverfestigung den Anforderungen der TVV 74 genügt. Werden an die Bodenverfestigung höhere oder niedrigere Anforderungen gestellt, dann ändern sich insbesondere die möglichen Einsatzmengen der Flugaschen mit höherem und hohem Glühverlust.

Die Ausführungen in der Beschreibung und in den nachfolgenden Beispielen sind im wesentlichen auf die von der TVV 74 vorgegebenen Anforderungen abgestellt. Selbstverständlich ist das erfindungsgemäße Verfahren jedoch nicht auf die Erfüllung dieser Anforderungen beschränkt, sondern es liegt im Belieben des Durchschnittsfachmannes bei abweichenden Anforderungen das erfindungsgemäße Verfahrens entsprechend anzupassen.

Beispiel 1

Es wurden bestimmte Böden bei einem Zementgehalt von 7 % zunächst normal nach Proctor untersucht. Dazu wurden die entnommenen Böden über mehrere Tage luftgetrocknet. Anschließen begann die Untersuchung nach Proctor von einem Wassergehalt etwa um 1,0 bis 1,5 % aus. Der Wassergehalt wurde abgestuft um jeweils 1,5 % erhöht und bis über den optimalen Punkt hinweggeführt. Der Endwassergehalt betrug 10,5 %. Die über somit 7 Feuchtigkeitsstufen geführte Proctoruntersuchung ergab für den Repräsentativboden (frostsicherer Sand SE nach DIN 18 196 und ZTVE-StB 76) einen Proctorwert von 1,87 g/cm^3 und einen optimalen Wassergehalt von 9,0 %.

Mit dem gleichen Bodenmaterial wurden anschließend mit gleichen Feuchtigkeitsstufen, jedoch unter Zugabe von

Verflüssigern und Fließmitteln in Pulverform in den Dosierungen zwischen 2,5 % und 5,0 %, bezogen auf den Zementgehalt der Probe, Proctoruntersuchungen durchgeführt. Es wurde gefunden, daß bereits Wassergehalte zwischen 3,0 und 4,5 % Trockenraumdichten ergaben, die in der Nähe von 100 % Proctordichte (Normalfall) lagen. Bei Wassergehalten von über 4,5 % zeigten diese Substanzen sogar Proctordichten von weit über 100 %.

Anschließend durchgeführte Druckfestigkeitsprüfungen an Proctorzylindern ergaben höhere Festigkeiten als normale Bodenverfestigungsmassen, d.h. ohne Zusatz von Verflüssigern hergestellte Bodenverfestigungsmassen.

Beispiel 2

Es wurde ein Sand (Sandentnahme Moorfleet; Frostschutzsand SE nach DIN 18 196, Boden F1) unter Zusatz von 7 % Zement und 2,5 % Verflüssiger, bezogen auf den Zementgehalt, nach Proctor untersucht. Es wurden die aus Figur 1 ersichtlichen Proctorkurven erhalten.

Bei dem eingesetzten Verflüssigern handelte es sich um ein Ligninsulfonat. Die Dosierungsempfehlung des Herstellers (gedacht für Beton) wurde um das Zehnfache überschritten. Wie sich aus den in Figur 1 wiedergegebenen

Proctorkurven ergibt, wurde ein deutlicher Anstieg der Trockendichte beobachtet.

Bei Proben mit 5 % Verflüssiger, bezogen auf den Zement, wurde ebenfalls eine gute Verflüssigungswirkung beobachtet. Aufgrund des sehr hohen Zuckergehaltes des verwendeten Ligninsulfonats und der damit verbundenen Erhärtungsverzögerung wurden allerdings nach 7 Tagen keine brauchbaren Druckfestigkeitswerte ermittelt.

Beispiel 3

Der Versuch gemäß Beispiel 2 wurde unter Verwendung von zwei weiteren Verflüssigungsmitteln wiederholt. Das Verflüssigungsmittel B bestand aus einer Kombination aus Ligninsulfonaten und Melamin-Formaldehyd-Kondensaten. Das Verflüssigungsmittel C bestand aus einer Kombination von Ligninsulfonaten und Naphthalinsulfonatformaldehydkondensaten. Die beiden Verflüssigungsmittel wurden jeweils in einer Menge von 2,5 und 5 %, bezogen auf die Zementmenge, eingesetzt. Die erhaltenen Trockendichten nach Proctor sind in den Figuren 2 und 3 wiedergegeben.

Der beobachtete Verflüssigungseffekt war sehr gut (vgl. Figuren 2 und 3). Aufgrund des hohen Zuckergehalts der Ligninsulfonate waren die erhaltenen Druckfestigkeitsergebnisse nur zum Teil befriedigend.

Beispiel 4

Der Versuch gemäß Beispiel 2 wurde unter Verwendung eines im Handel erhältlichen sulfonierten Naphthalinformaldehydkondensats in Form des Natriumsalzes (Verflüssiger A) als Verflüssigungsmittel wiederholt. Das Verflüssigungsmittel wurde, bezogen auf den Zement, in einer Menge von 1,5, 2,5 und 5,0 % eingesetzt. Die erhaltenen Proctorkurven sind in Figur 4 wiedergegeben.

Die Ergebnisse zeigen, daß bereits bei einem Wassergehalt von etwa 3 bis 4,5 % die für die Bodenverfestigung erforderliche Mindestverdichtung von 98 % der normalen Proctordichte erhalten wird.

Die Untersuchung von Proben mit einem Wassergehalt von 4,5 % ergab um etwa 1/3 höhere Druckfestigkeitswerte (nach 7 Tagen) als für entsprechende Proben ohne Zusatz von Verflüssiger. Dies zeigt, daß der Zementgehalt bei Verwendung von Verflüssigern gegenüber der "normalen" Bodenverfestigung mit Zement um etwa 1/3 reduziert werden kann (siehe Beispiel 6).

Beispiel 5

In der vorangegangenen Beschreibung ist mehrmals betont worden, daß Beton mit einem sehr geringen Anteil von Restporen hergestellt wird, während bei der Bodenverfestigung der Porenanteil das 10- bis 20fache der Betonporen beträgt. Aus der Literatur und eigenen Untersuchungen ergibt sich, daß eine Bodenverfestigung als frostsicher gelten kann, wenn eine Druckfestigkeit von 2,5 N/mm^2 in dem Bauteil erreicht worden ist. Diese im Gegensatz zum Beton erheblich niedrigere Mindestdruckfestigkeit liegt darin begründet, daß auch bei Wasserlagerung erkennbar ein Prüfkörper aus Bodenverfestigungsmaterial bei weitem nicht die Wassermengen aufnimmt, die er aufgrund seines Porenvolumens aufnehmen könnte. Somit steht der Eisbildung genügend Porenraum für die Volumenänderung aus Wasser zu Eis (plus 9 %) zur Verfügung.

Um den Einfluß des Frosts im Frost-Tau-Wechselverfahren auf Prüfkörper mit den in den Beispielen 3 und 4 beschriebenen Dosierungen der Verflüssiger- und Fließmittelsubstanzen zu untersuchen, wurden Proctor-Prüfzylinder mit 7 % Pectacrete-Zement hergestellt. Als die Prüfzylinder nach 7 Tagen etwa eine Druckfestigkeit von ca. 5 N/mm^2 besaßen, begannen die Untersuchungen gemäß Merkblatt für Eignungsprüfungen bei Bodenverfestigung mit

Zement, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Arbeitsgruppe Untergrund-Unterbau, Ausgabe 1975, Absatz 4.4.3-Frostprüfung. In Abänderung des Absatzes 4.4.3 wurde nicht nur der Meßwert der Längenänderung zwischen der ersten und nach der zwölften Frosteinwirkung angegeben, sondern die Längenänderung wurde nach jeder Frosteinwirkung ermittelt, um so den Entwicklungsgang von Frosthebungen besser sichtbar zu machen. Nach Abschluß der 12 Frost-Tau-Wechsel wurden die Versuche abgebrochen und die Meßwerte in einer graphischen Darstellung (siehe Figur 5) ausgewertet.

Die Prüfkörper enthielten jeweils bezogen auf Zement 2,5 % Verflüsiger A, B oder C. Die Höhe der Proctorprüfzylinder betrug 12 cm. Die zulässige Längenänderung soll nach dem 12. Frost-Tau-Wechsel maximal 1 °/oo betragen. 1 °/oo von12 cm sind 0,12 mm.

Ferner wurde die Druckfestigkeit der Prüfzylinder nach 7 und 28 Tagen sowie nach Beendigung der Frost-Tau-Wechsel bestimmt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Druckfestigkeit in N/mm^2

	Verflüssiger A	Verflüssiger B	Verflüssiger C
nach 7 Tagen (ohne Frost)	5,9	2,3	5,5
nach 28 Tagen (ohne Frost)	9,9	8,6	6,2
nach 12 Frost-Tau-Wechsel	7,2	2,9	2,9

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, daß bei Einsatz aller drei Verflüssigungsmittel brauchbare Druckfestigkeitswerte erhalten wurden. Hinsichtlich der Längenänderung nach 12 Frost-Tau-Wechseln ergab nur der Verflüssiger A die geforderte Längenänderung von weniger als 1 °/oo, nämlich eine Längenänderung von unter 0,1 mm. Wie sich auch aus den Druckfestigkeitswerten bei Verwendung der Verflüssiger B und C ergibt, macht sich der hohe Zuckergehalt bei den Verflüssigern B und C auch bei den Frost-Tau-Wechsel-Untersuchungen negativ bemerkbar.

Beispiel 6

In Beispiel 4 wurde darauf hingewiesen, daß der Zusatz von Verflüssigern zu etwa 1/3 höheren Druckfestigkeitswerten führt, so daß der Zementgehalt bei Verwendung von Verflüssigern gegenüber der "normalen" Bodenverfestigung mit Zement um etwa 1/3 reduziert werden kann. Um dies zu zeigen, wurde ein Spülsand "SE" nach DIN 18 196 und ZTV StB 76 nach Proctor untersucht. Dabei wurde zunächst bei konstantem Wassergehalt von 4,5 % der Zementgehalt verändert. Bei einem Zementgehalt von 4,6 % wurden eine Trockendichte nach Proctor von 1,840 und eine Druckfestigkeit nach sieben Tagen von 2,4 N/mm^2 gefunden, während bei einem Zementgehalt von 7,0 % die Trockendichte nach Proctor 1,871 und die Druckfestigkeit nach sieben Tagen 4,5 N/mm^2 betrugen. Diese Ergebnisse bestätigen die obige Feststellung, daß der Festigkeitsanstieg etwa in einem linearen Zusammenhang mit dem Anstieg der Zementgehalte steht.

Weiterhin wurden Proben mit einem Gehalt von 4,5 % Wasser, 4,6 % Zement und - bezogen auf den Zementanteil - 3 % des Verflüssigers A untersucht. Es wurden eine Trockenraumdichte von 1,898 und eine Druckfestigkeit nach sieben Tagen von 4,4 N/mm^2 gefunden. Dies zeigt, daß der Zusatz

von Verflüssiger tatsächlich eine Einsparung von etwa 1/3 des Zements erlaubt, ohne daß sich die Druckfestigkeit verschlechert.

Im Rahmen der durchgeführten Versuche wurden auch Proben untersucht, die bein einem Wassergehalt von 4,5 % nur die angegebene Menge Verflüssiger A aber keinen Zement enthielten. Es zeigte sich, daß bereits der Zusatz von Verflüssiger A allein eine bessere Verdichtung, d. h. eine höhere Trockenraumdichte im Proctorversuch ergibt. Dies bestätigt, daß das Verflüssigungsmittel nicht nur eine dispergierende Wirkung auf die Zementpartikel, sondern auch auf die Feinstbestandteile des Bodens ausübt (vgl. oben).

Beispiel 7

Es wurden mehrere Versuchsreihen mit ungewaschenem Sand 0/8 mm (Sand SE nach DIN 18196) unter Zusatz der Flugaschen 1, 2 und 3, die in der Beschreibung erläutert worden sind, durchgeführt. Flugasche 1 mit geringem Glühverlust stammte aus dem Kohlekraftwerk Kiel-Ost, Flugasche 2 mit höherem Glühverlust aus dem Kohlekraftwerk Wedel und Flugasche 3 mit hohem Glühverlust aus den Kohlenkraftwerken Tiefstaak und Neuhof, Hamburg. Es wurden die Proctorkurven für verschiedene Zusammensetzungen ermittelt.

Versuch A: Es wurde die Proctorkurve für Sand unter Zusatz von 4 Gewichtsteilen Zement auf 100 Gewichtsteile Sand ermittelt. Dabei ergab sich eine maximale Trockendichte von 1,919.

Versuch B: Es wurden die Proctorkurven für Zusammensetzungen aus 100 Gewichtsteilen Sand, 2 Gewichtsteilen Zement und 4 Gewichtsteilen Flugasche ermittelt. Dabei wurden jeweils Versuche ohne Zusatz von Verflüssigungsmittel und mit Verflüssigungsmittel (3 % bezogen auf den Zement) durchgeführt. Die erhaltenen maximalen Trockendichte sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Versuch C: Versuch B wurde wiederholt mit dem Unterschied, daß 4 Gewichtsteile Zement verwendet wurden. Die erhaltenen maximalen Trockendichten sind ebenfalls in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Versuch D: Versuch C wurde wiederholt mit dem Unterschied, daß der Anteil an Flugasche auf 15 Gewichtsteile erhöht wurde. Die Ergebnisse sind ebenfalls in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Versuch E: Versuch D wurde wiederholt mit dem Unterschied, daß der Anteil der Flugasche auf 30 Gewichtsteile erhöht wurde. Die Ergebnisse sind ebenfalls in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Versuch F: Versuch E wurde wiederholt mit dem Unterschied, daß der Anteil der Flugasche auf 50 Gewichtsteile erhöht wurde. Die Ergebnisse sind ebenfalls in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Trockendichte (g/cm^3)

	Flugasche 1		Flugasche 2		Flugasche 3	
Versuch	o.V.	m.V.	o.V.	m.V.	o.V.	m.V.
B	1,931	1,960	1,922	1,951	-	-
C	1,964	1,984	1,933	1,969	-	-
D	2,028	2,068	1,993	2,035	1,950	1,977
E	2,034	2,057	1,977	1,997	1,839	1,850
F	1,962	2,000	1,899	-	-	-

Die Gemische mit Flugasche 1 besitzen unter Verwendung der pulverförmigen Verflüssigungsmittel die höchsten Trockenraumdichten. Ohne Verwendung von Pulververflüssiger liegen die Dichten eindeutig niedriger. Die Gemische mit Flugasche 2 zeigen im wesentlichen die gleichen Trockendichteunterschiede, doch bewegen sich die Trockendichten im allgemeinen etwas unterhalb der Trockendichten der Gemische mit Flugasche 1. Die Flugasche 3 verhält

sich insofern stark verändert gegenüber den beiden vorgenannten Flugaschen, als die Trockendichten der Gemische mit einem wirtschaftlich interessanten Flugascheanteil von oberhalb 15 Gewichtsteilen stark absinken. Niedrigere Trockendichten stehen im Zusammenhang mit hohem Porenanteil und im allgemeinen auch mit schwächeren Festigkeitseigenschaften. Entsprechend durchgeführte Proctorversuche mit Stahlplatteneinsatz ergaben, daß die Kornzertrümmerung bei der Flugasche 3 am größten war. Es wurde festgestellt, daß ganz allgemein mit Absinken der Trockendichte bei gleichzeitig ansteigendem Flugascheanteil die Kornzertrümmerung abzunehmen scheint.

Zusammenfassend ist anhand der obigen Proctoruntersuchungen erkennbar, daß Flugaschen mit einem verbrennbaren Rückstand (Glühverlust) von ca. 3 % (Flugasche 1) gute Eigenschaften auch in höherem Mischungsanteil besitzen, Flugaschen mit einem Glühverlust bis zu ca. 8 % etwas weniger günstige Eigenschaften aufweisen und Flugaschen mit Glühverlusten über 10 % und mehr ungünstige Eigenschaften auf die Entwicklung der Trockendichte haben.

Mit einigen Grundrezepturen wurden Proctorprüfzylinder zur Ermittlung der Druckfestigkeiten nach 7 und 28 Tagen hergestellt. Bei allen Grundrezepturen betrugen der

Sandanteil 100 Gewichtsteile und der Wasseranteil 4,5 Gewichtsteile. Die Pulververflüssigermenge betrug konstant 3 %, bezogen auf den Zementgehalt. Es wurden jeweils Prüfzylinder mit 3, 5 und 7 Gewichtsteilen Zement, bezogen auf Sand und Flugasche, hergestellt. Aus der graphischen Darstellung der erhaltenenen Druckfestigkeitswerte in Abhängigkeit vom Zementanteil wurde derjenige Zementbedarf ermittelt, der eine den Anforderungen der TVV 74 genügende Druckfestigkeit ergibt. Die verwendeten Grundrezepturen enthielten folgende Mengen an Flugasche:

Grundrezeptur A: 4 Gewichtsteile Flugasche 1

Grundrezeptur B: 4 Gewichtsteile Flugasche 2

Grundrezeptur C: 15 Gewichtsteile Flugasche 1

Grundrezeptur D: 30 Gewichtsteile Flugasche 1

Grundrezeptur E: 30 Gewichtsteile Flugasche 3

Grundrezeptur F: 15 Gewichtsteile Flugasche 3

Grundrezeptur	3 GT Zement	5 GT Zement	7 GT Zement	Zementbedarf nach TVV 74 in GT Zement
	Druckfestigkeit nach 7 Tagen (N/mm^2)			
A	3,2	6,2	11,0	3,55
B	2,7	6,3	9,5	3,80
C	3,8	5,5[1]	-	3,20
D	2,9	4,4	-	4,50
E	0,8[2]	1,0[3]	-	-[4]
F	2,0	4,5	-	4,60
	Druckfestigkeit nach 28 Tagen (N/mm^2)			
A	3,9	9,9	13,8	3,72
B	3,8	8,6	11,7	3,90
C	6,2	12,6[1]	-	2,96
D	6,0	8,9	-	3,00
E	0,9[2]	2,3[3]	-	-[4]
F	3,0	7,9	-	4,35

1) Zementanteil betrug 4,35 Gewichtsteile
2) Zementanteil betrug 2,30 Gewichtsteile
3) Zementanteil betrug 3,85 Gewichtsteile
4) Die erhaltenen Druckfestigkeiten lagen unterhalb der Anforderungen gemäß TVV 74

0045026

Die in der obigen Tabelle wiedergegebenen Ergebnisse zeigen, daß unter Zugrundelegung der 7- oder 28-Tage- Druckfestigkeit gemessen an den Forderungen der TVV 74 mit steigendem Anteil Flugasche erhebliche Unterschiede in den Zementbedarfsmengen auftreten. Dies macht deutlich, daß die latenthydraulischen Eigenschaften der Flugasche zu hoher Nacherhärtung führen können. Die Flugasche 1 erfordert bei einem Mischungsanteil von 30 Gewichtsteilen auf 100 Gewichtsteile Sand bei Verwendung eines Pulververflüssigers nur noch 3 Gewichtsteile Zement, d. h. also weniger als etwa 50 % des nach dem Stand der Technik üblichen Zementanteils. Verwendet man jedoch die Flugasche 1 nur in einem Anteil von 4 Gewichtsteilen auf 100 Gewichtsteile Sand, so steigt der Zementbedarf nur auf 3,5 bis 3,7 Gewichtsteile an.

Mischungen mit 4 Gewichtsteilen Flugasche 2 lassen den Zementbedarf nur geringfügig auf 3,8 bis 3,9 Gewichtsteile ansteigen. Selbst die qualitativ schlechteste Flugasche, nämlich Flugasche 3, kann noch in einem Anteil von 15 Gewichtsteilen verwendet werden, wobei der Zementbedarf auf etwa 4,5 Gewichtsteile ansteigt. Dagegen verhalten sich Mischungen mit Anteilen von 30 Gewichtsteilen Flugasche 3 ungünstig, da sie unzureichende Festigkeitseigenschaften erkennen lassen.

Als bemerkenswert muß hervorgehoben werden, daß alle Zementbedarfsmengen sich aus Festigkeitseigenschaften auf der Grundlage von 4,5 Gewichtsteilen Wasser in der Bodenverfestigungsmasse ableiten. Dies ist eine überaus wichtige Voraussetzung, gemeinsam mit einem relativ geringen Zementbedarf, für eine weitgehend rissefreie Bodenverfestigungs-Belagskonstruktion.

Beispiel 8

Um den Einfluß von Kalksteinmehl als staubförmigem Produkt basischer Zusammensetzung in einem Bodenverfestigungsgemisch zu untersuchen, wurden wiederum zuerst Proctorversuche zwecks Ermittlung der Einflüsse der Mineralstoffe aufeinander sowie Versuche mit und ohne Verwendung des Pulververflüssigers durchgeführt. Auch hier zeigten sich wie zuvor unterschiedliche Proctorkurven, d. h. daß bei gleichen Rezepturen die Proctorkurve mit Pulververflüssiger oberhalb der Proctorkurve ohne Pulververflüssiger lag. Mit einer Grundrezeptur durchgeführte Versuche zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Prüfkörpern nach 7 und 28 Tagen (vgl. Beispiel 7) ergaben ähnliche Ergebnisse wie in Beispiel 7, wobei der Zementbedarf bezogen auf die nach TVV 74 erforderliche Druckfestigkeit nach 7 Tagen 3,80 Gewichtsteile und bezogen auf die nach TVV 74 erforderliche Druckfestigkeit nach 28 Tagen 4,14 Gewichtsteile

betrug. Die Grundrezeptur bestand aus 100 Gewichtsteilen Sand und 15 Gewichtsteilen Kalksteinmehl. Der Pulververflüssigeranteil betrug konstant 3 %, bezogen auf den Zement. Auch hier ergab sich also ein erheblich geringerer Zementbedarf, und zwar bei einem Wassergehalt von etwa 50 % des optimalen Wassergehaltes. Diese enorme Wassereinsparung ist bei der Beurteilung aller berichteten Ergebnisse stets mit zu berücksichtigen.

Übereinstimmende Versuche wurden unter Verwendung von Quarzsteinmehl durchgeführt. Es wurden entsprechende Ergebnisse erhalten, wobei sich z. B. bei Verwendung von 15 Gewichtsteilen Quarzsteinmehl auf 100 Gewichtsteile Sand (Sand SE nach DIN 18196) ein Zementbedarf gemäß den Anforderungen der TVV 74 nach 7 Tagen von 3,85 Gewichtsteilen ergab.

Beispiel 9

Wie in Beispiel 5 beschrieben, wurden Prüfkörper aus den Zusammensetzungen gemäß den Beispielen 7 und 8 im Frost- Tau-Wechselverfahren untersucht. Nur die Sand-Flugasche- Gemische, deren Proctorzylinder nach 7 Tagen Druckfestigkeiten von unter 2,0 bis 2,5 N/mm^2 besaßen, zeigten über 1 °/oo hinausgehende Längenänderungen. Alle

übrigen Zusammensetzungen, auch die mit höchsten Beimengungen von Steinmehlen, ergaben Längenänderungen im zulässigen Rahmen.

Als ein Phänomen stehen allerdings die Untersuchungen mit Quarzsteinmehl dar, die im Gegensatz zu allen anderen Ergebnissen keine geringfügige Längenvergrößerung, sondern eine geringfügige Längenverkürzung ergaben. Diese Längenverkürzungen bewegten sich jedoch alle unterhalb von 1 °/oo (0,12 mm).

Zusammenfassend ist festzustellen, daß lediglich die Anfangsfestigkeit der Bodenverfestigung, nicht jedoch der Anteil von feinsten Mineralstoffen Ursache für Frostschäden sein kann.

Zur Überprüfung des Einflusses der Frost-Tau-Wechsel wurden die Prüfkörper anschließend auf ihre Druckfestigkeit untersucht. Dabei ergab sich, daß kein Prüfkörper einen Druckfestigkeitsabfall zeigte, der darauf hindeuten würde, daß ein festigkeitsschädigender Einfluß durch Frost stattgefunden hatte. Vielmehr zeigten die nach Frosteinfluß geprüften Prüfkörper im Mittelwert verschiedentlich höhere Druckfestigkeitsergebnisse im Vergleich zu den normalen 28-Tage-Druckfestigkeitsergebnissen. Damit ist der Beweis erbracht, daß die Erhöhung der

Feinstanteile $< 0{,}06$ mm in Bodenverfestigungsmassen zu keinem frostschädigenden Einfluß auf den Bauteil Bodenverfestigung führt.

Beispiel 10

In Ergänzung zu den vorangegangenen Beispielen 7 bis 9 wurden Flugaschen ohne Beimengung von Sand allein Proctoruntersuchungen unterzogen. Es wurden jeweils Versuche mit und ohne Zusatz von Verflüssigerpulver durchgeführt. Während Flugasche 3 bei Verwendung von 6 bzw. 10 Gewichtsteilen Zement auf 100 Gewichtsteile Flugasche mit und ohne Verflüssiger praktisch unbrauchbare Ergebnisse ergab, führte der Zusatz von Verflüssigerpulver bei Flugasche 2 zu einer deutlichen Erhöhung der Trockendichte und der Druckfestigkeiten. Noch wesentlich höher als bei Flugasche 2 lagen die Trockendichten bei Flugasche 1. Auch hier führte der Zusatz von Verflüssigungsmitteln zu einem starken Anstieg der Druckfestigkeiten.

Es hat den Anschein, daß Bodenverfestigungsmassen, die nur aus Flugasche und Zement bestehen, keinen eindeutigen Proctorwert erkennen lassen. Der Anstieg der Kurve der Trockendichte führt zu einem Höchstwert, der in Zusammenhang steht mit dem Austritt von Wasser während

der Versuchsdurchführung. Der Vergleich aller drei Flugaschen deutet darauf hin, daß der Wasserbedarf desto höher ist, je höher der Glühverlust ist.

Die Versuche mit Flugasche 1, bei denen Zement mit und ohne Pulververflüssiger in die Flugasche eingemischt wurde und dann die Wasserzugagbe erfolgte, ergaben, daß bei einem Wasseranteil von 50 % des maximalen Wasserbedarfs die Verwendung von Verflüssigungsmittel zu einer Verringerung des Zementbedarfs um etwa 35 bis 40 % führte. Bei Anhebung des Wassergehaltes auf den Maximalwassergehalt von etwa 16 Gewichtsteilen ergab sich eine Erhöhung der Druckfestigkeit. Dies macht wiederum die Verwendung sehr viel geringerer Zementmengen möglich. Es ist jedoch zu beachten, daß die Wahrscheinlichkeit der Bildung von Rissen mit der Möglichkeit hoher Abgaben von Feuchtigkeit aus der Bodenverfestigungslage zunimmt. Wie bereits in den vorangegangenen Beispielen wurde der Zementbedarf anhand der Kriterien der TVV 74 bestimmt.

In allen beschriebenen Beispielen wurde hydrophobierter Zement (Pectacrete-Zement, siehe DE-PS 13 00 856, 13 03 934, 16 42 380 und 16 46 502) verwendet. In den Beispielen 7 bis 10 wurde als pulverförmiges Verflüssigungsmittel handelsübliches sulfoniertes Naphthalinformaldehydkondensat eingesetzt.

KA/lü/wo

Verfahren zur Bodenverfestigung und danach hergestellte Frostschutzschichten

---

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bodenverfestigung, bei dem der zu verfestigende, Feuchtigkeit enthaltende Boden, Abraum oder ein Boden/Abraum-Gemisch mit Zement vermischt und dann verdichtet wird, dadurch gekennzeichnet, daß man der zu verfestigenden Masse zusätzlich Verflüssigungsmittel zusetzt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man einen natürliche Feuchtigkeit enthaltenden Boden verwendet und dessen Feuchtigkeitsgehalt nicht erhöht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß man als Verflüssiger an sich bekannte Betonverflüssiger und/oder Betonfließmittel zusetzt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man als Verflüssigungsmittel Ligninsulfonate, sulfonierte Melaminformaldehydkondensate, sulfoniertes Naphthalinformaldehydkondensat, verflüssigende Silikone, sulfonierte Anthracenformaldehydkondensate, sulfoniertes Phenolformaldehydkondensat, Carbon- und Oxycarbonsäuren, deren Salze und Derivate dieser Verbindungen, Detergenzien oder Mischungen von zwei oder mehreren dieser Substanzen verwendet.

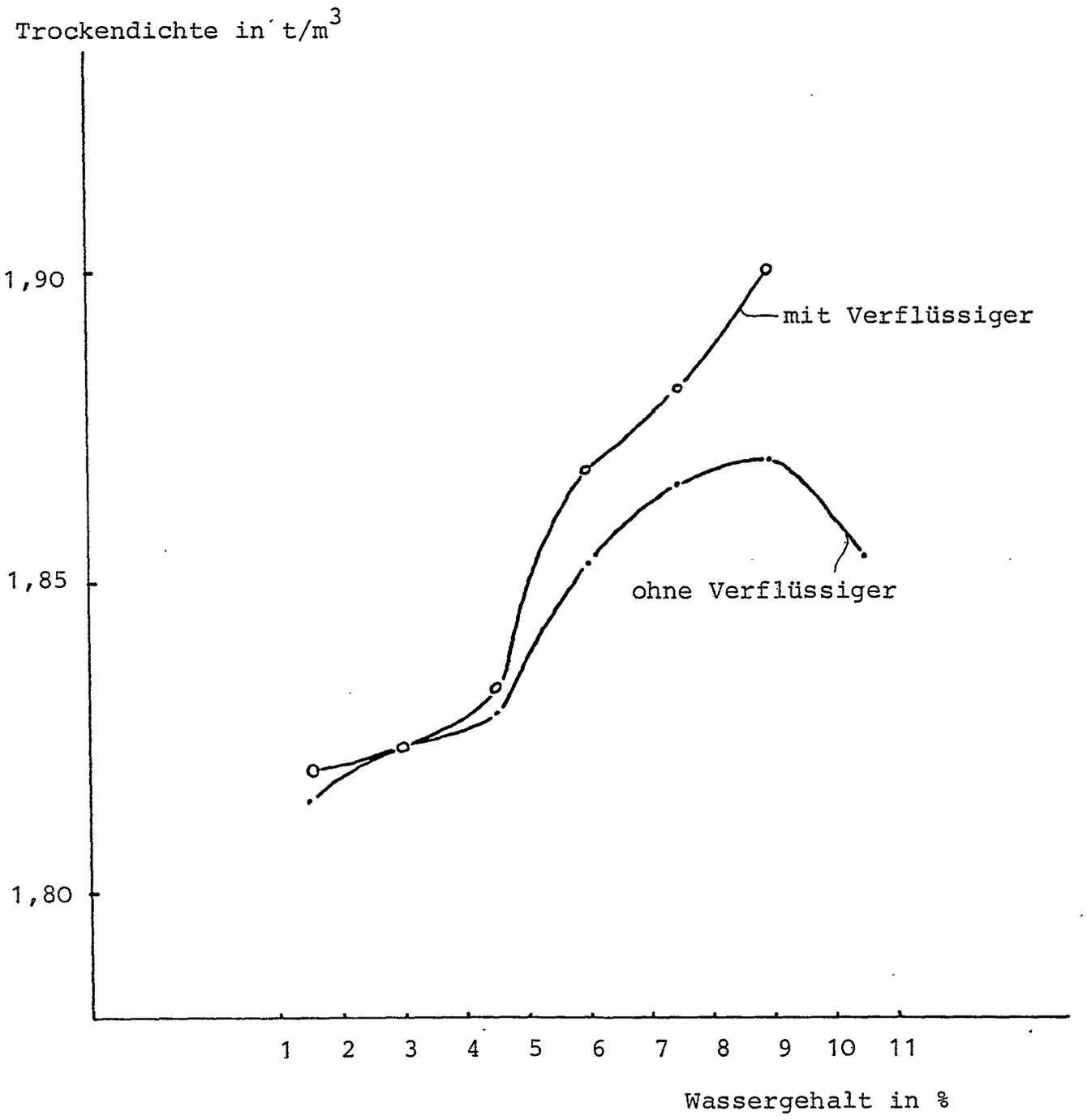
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß man das Verflüssigungsmittel, berechnet als Trockensubstanz, in einer Menge von 2,5 bis 5 % und vorzugsweise 3 bis 4,5 %, bezogen auf den Zementgehalt, zusetzt.

6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß man 1/3 weniger Zement als für die Erreichung der gleichen Druckfestigkeig des Bodenverfestigungsmaterials ohne Zusatz von Verflüssigungsmittel benötigt verwendet.

7. Frostschutzschicht für den Straßen- und Eisenbahnbau, dadurch gekennzeichnet, daß sie neben üblichen Bodenbestandteilen, Abraumbestandteilen oder Gemischen von Boden- und Abraumbestandteilen und Zement zusätzlich ein Verflüssigungsmittel enthält.

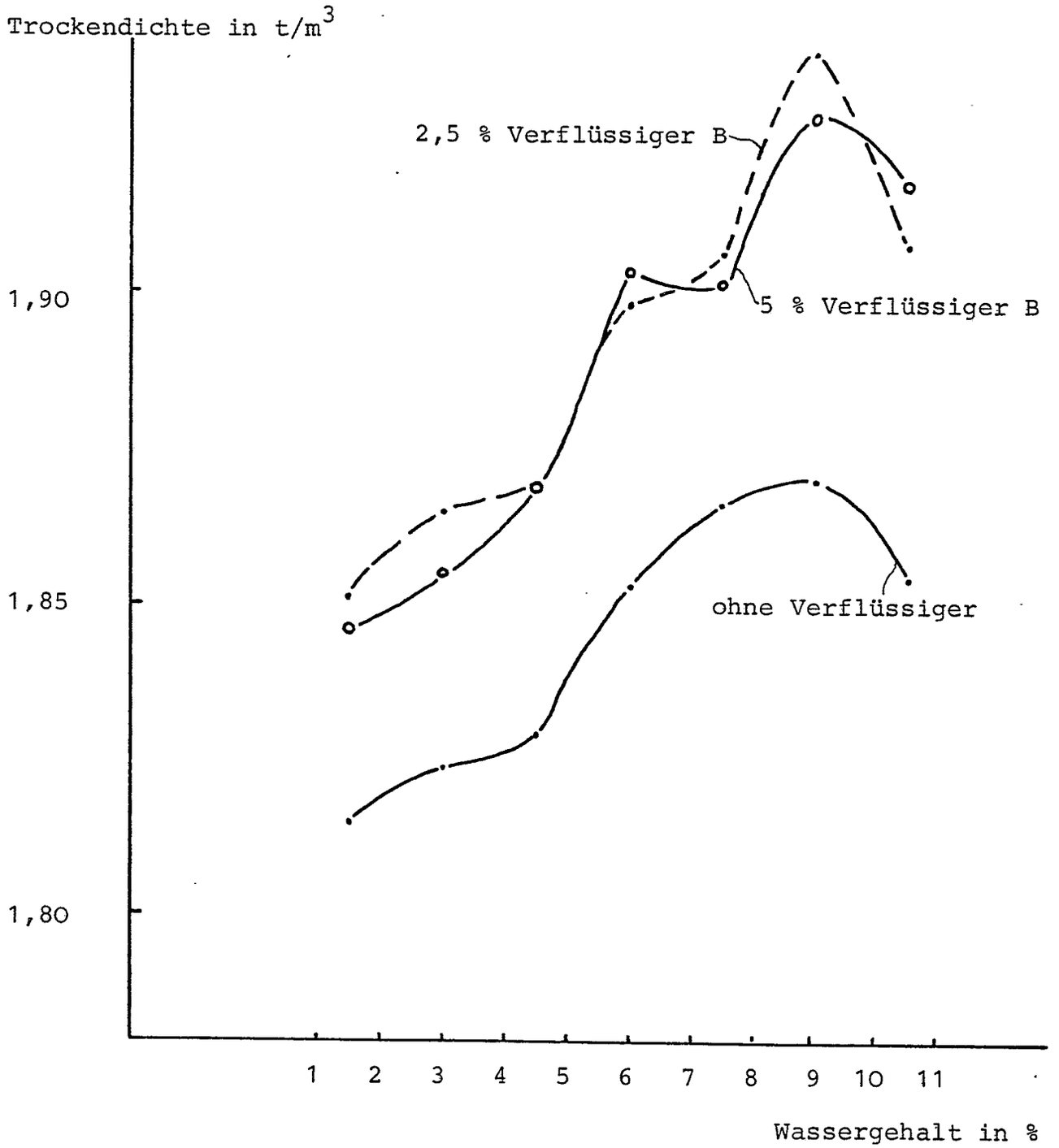
0045026

Figur 1

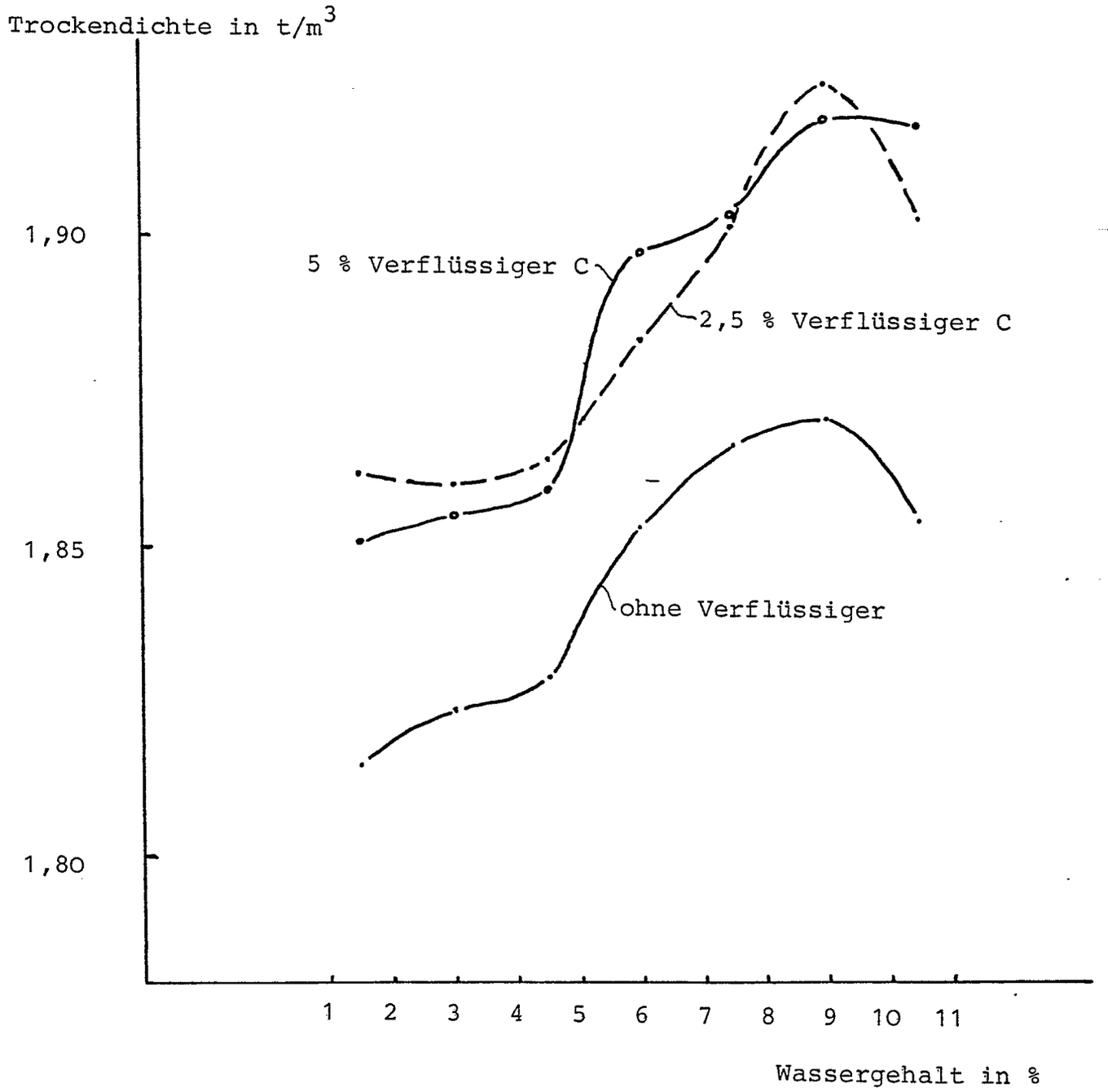


0045026

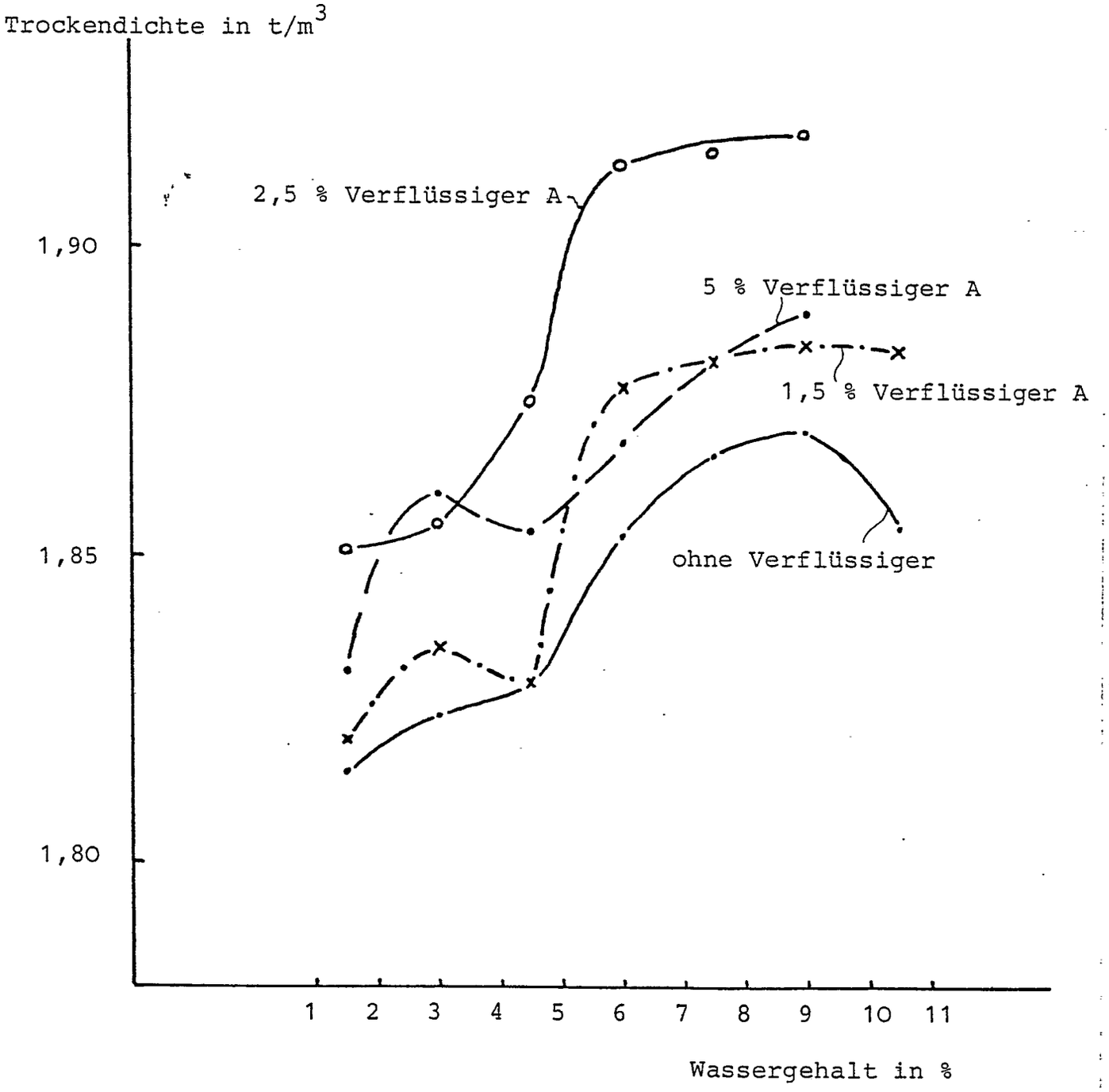
Figur 2



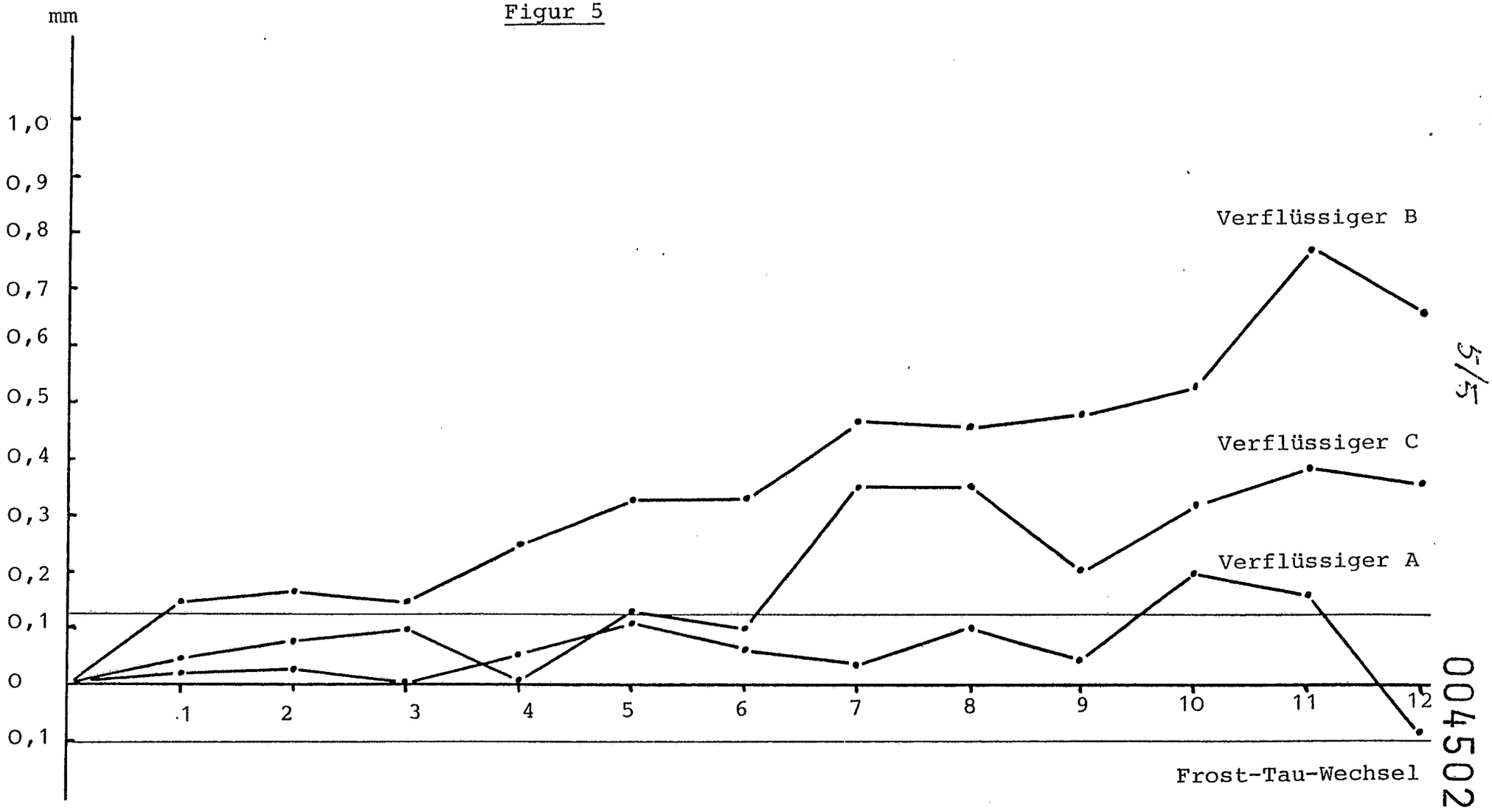
Figur 3


Trockendichte in t/m3
1,90
1,85
1,80
5 % Verflüssiger C
2,5 % Verflüssiger C
ohne Verflüssiger
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Wassergehalt in %

Figur 4


Trockendichte in t/m3
2,5 % Verflüssiger A
5 % Verflüssiger A
1,5 % Verflüssiger A
ohne Verflüssiger
1,90
1,85
1,80
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Wassergehalt in %

Figur 5



5/5

0045026

Europäisches Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0045026
Nummer der Anmeldung

EP 81 10 5667.0

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch
	DE - C - 895 461 (REINHOLD) * Patentanspruch 1 * --	1
A	DE - C - 1 119 891 (RÖHM & HAAS GMBH) --	
A	DE - A1 - 2 501 312 (THIELE) --	
A	DE - A1 - 2 423 068 (KROPFHAMMER et al.) ----	

KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.³)

E 01 C 3/04
E 01 C 3/06
E 01 B 1/00
C 09 K 17/00

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.³)

C 09 K 17/00
E 01 B 1/00
E 01 B 2/00
E 01 C 3/00
E 01 C 21/00

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X: von besonderer Bedeutung
A: technologischer Hintergrund
O: nichtschriftliche Offenbarung
P: Zwischenliteratur
T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E: kollidierende Anmeldung
D: in der Anmeldung angeführtes Dokument
L: aus andern Gründen angeführtes Dokument
&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

X Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Berlin	21-10-1981	PAETZEL