

Einfluss der Trockenrohdichte des Porenbetons auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln

T 2979

T 2979

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2002, ISBN 3-8167-6482-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail info@irb.fhg.de

URL <http://www.IRBbuch.de>



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE UND KONSTRUKTION
MPA BAU ABTEILUNG MASSIVBAU

Einfluss der Trockenrohdichte des Porenbetons auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln

Konrad Zilch
Klaus Guckenberger †
Andreas Jähring

Forschungsbericht
Februar 2002

gefördert durch das
Deutsche Institut für Bautechnik

Technische Universität München
Institut für Baustoffe und Konstruktion
MPA BAU Abteilung Massivbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Zilch

Briefanschrift:
80290 München

Hausanschrift:
Gebäude N6, Theresienstrasse 90, 80333 München

Tel.: 089 / 289 – 23000
Fax: 089 / 289 – 23046
E-Mail: massivbau@mb.bv.tum.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	1
Besondere Bezeichnungen	2
1. Einführung und Aufgabenstellung	3
2. Versuchsmaterial	4
2.1 Porenbeton	4
2.2 Kunststoff-Spreizdübel	5
3. Dübelmontage	6
4. Versuchsdurchführung	7
5. Versuchsergebnisse	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Feuchtegehalt des Porenbetons	9
5.3 Streuungen der Versuchswerte	10
5.4 Überblick über wesentliche Versuchsergebnisse	10
5.5 Einfluss der Trockenrohddichte auf die Dübeltragfähigkeit	13
5.5.1 Allgemeines	13
5.5.2 Einfluss der Trockenrohddichte auf die Bruchlast	14
5.5.3 Einfluss der Trockenrohddichte auf die Druckfestigkeit	14
5.5.4 Kombination der Einflüsse und Schlussfolgerungen	15
6. Zusammenfassung	17
7. Literaturverzeichnis	18
Anhang	19

Besondere Bezeichnungen

- $\mu_{m, \text{Stein}}$ massenbezogener Feuchtegehalt eines Porenbetonsteines, im Bericht auch als Steinfeuchte bezeichnet.
- $\mu_{m, \text{Würfel}}$ massenbezogener Feuchtegehalt eines dem Stein entnommenen Würfels der Kantenlänge 100 mm, im Bericht auch als Würfelfeuchte bezeichnet.
- f_c Druckfestigkeit eines dem Stein entnommenen Würfels der Kantenlänge 100 mm, quer zur Treibrichtung geprüft.

1. Einführung und Aufgabenstellung

Porenbeton gehört zur Gruppe der leichten Leichtbetone. Den Charakteristika seiner Herstellung zufolge ist er ein porosierter Spezialmörtel [1]. Bedingt durch den geringen Feststoffanteil ist die Druckfestigkeit eines Porenbetons stark von seiner Trockenrohddichte abhängig.

Versuche an der TU München [2] ergaben, dass zwischen der Druckfestigkeit des Porenbetons und der Bruchlast des Kunststoffdübels eine geradlinige Beziehung besteht; siehe Bild 1. Die geradlinige Beziehung kann darauf zurückgeführt werden, dass die Zugfestigkeit des Porenbetons etwa 10% der jeweiligen Würfel-Druckfestigkeit beträgt [3] und zwischen beiden Festigkeitsgrößen eine Proportionalität besteht. Die extrapolierende Verlängerung der Ausgleichsgeraden trifft jedoch nicht auf den Koordinaten-Nullpunkt, sondern schneidet die Festigkeitsachse bei $0,6 \text{ N/mm}^2$. Daraus kann geschlossen werden, dass für nötige Umrechnungen der in Zulassungsversuchen ermittelten Dübel-Bruchlasten der alleinige Bezug auf die Druckfestigkeit des Verankerungsgrundes unvollständig sein muss.

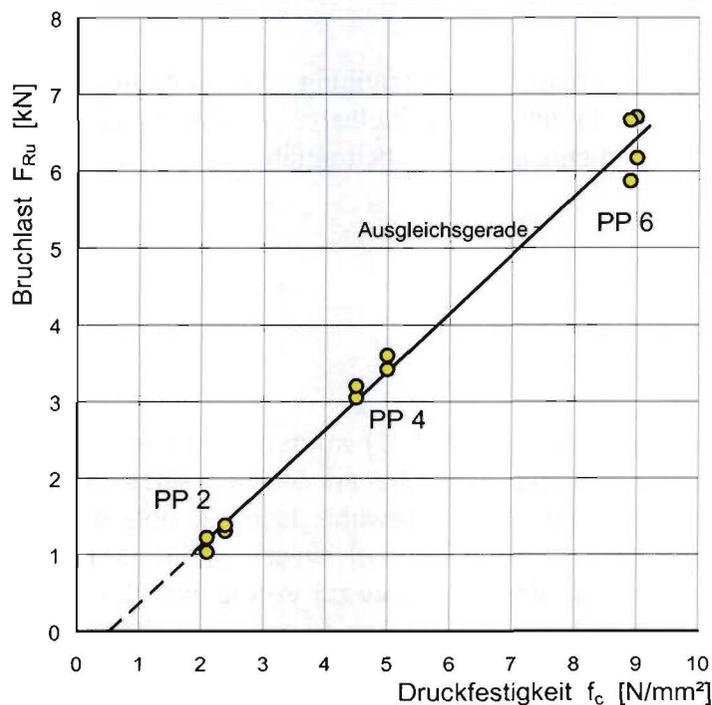


Bild 1 Abhängigkeit der Bruchlasten eines Kunststoffdübels von der Druckfestigkeit des Porenbetons

In [4] wurde für den Fall von im Porenbeton verankerten Kopfbolzen ein konstantes Verhältnis zwischen $\sigma_u = \text{Zug-Bruchlast } F_{Ru} / \text{Lasteinleitungsfläche } A$ und dem Produkt aus Porenbetondruckfestigkeit f_c und Trockenrohddichte ρ festgestellt. Es folgt für konstantes A :

$$F_{Ru} = \kappa \cdot f_c \cdot \rho \quad (1)$$

Diese Proportionalität zwischen Dübel-Bruchlast und gleichrangiger Kombination der Materialkennwerte f_c und ρ konnte durch die Münchner Versuche [2] mit Kunststoffdübeln nicht festgestellt werden. Die Versuchsergebnisse lassen jedoch erkennen, dass eine Proportionalität nur durch eine Kombination beider Materialkennwerte formuliert werden kann. Ziel der folgenden Auswertungen war es deshalb diese Kombination – als ergänzende Grundlage für Auswertungen von Zulassungsversuchen mit Kunststoffdübeln – genauer zu betrachten und einen Ansatz für die Beziehung zwischen F_{Ru} und ρ kombiniert mit f_c zu finden.

Im Bild 2 ist die Aufgabenstellung schematisch dargestellt.

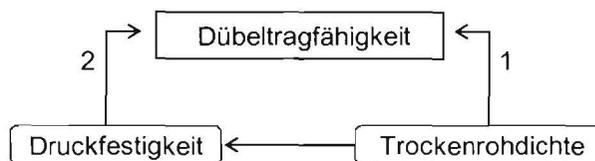


Bild 2 Schematische Darstellung des unmittelbaren Einflusses (1) und des mittelbaren Einflusses (2) der Trockenrohdichte auf die Dübeltragfähigkeit

2. Versuchsmaterial

2.1 Porenbeton

Aus einer größeren Serie von Versuchen [2] wurden für die Auswertungen im Rahmen dieser Forschungsvorhabens die Versuche an Steinen eines Herstellers im interessanten Steifeuchtebereich um 5% ausgewählt. Damit konnte der Einfluss der Steifeuchte und der Werkseinfluss weitgehend eliminiert werden und es steht für die Auswertungen eine ausgewogene Versuchsbasis zur Verfügung [2].

Als Verankerungskörper der Dübel dienten je zwei Porenbeton-Plansteine der Festigkeits-/Rohdichteklassen 2/0,4; 4/0,5 und 6/0,7 (Tabelle 1). Im Folgenden wird die Kombination von Festigkeitsklasse mit Rohdichteklasse synonym mit Güteklasse oder Steinsorte bezeichnet.

Bei Einlieferung im Labor hatten alle Steine einen Feuchtegehalt $\mu_{m,Stein}$ über 45%. Die Steine wurden einer Lufttrocknung ausgesetzt bis sie einen Feuchtegehalt $\mu_{m,Stein}$ von ca. 5% aufwiesen. Zur Fixierung des Feuchtegehalts wurden die Steine dann bis zum Versuch in Folie eingehüllt.

Tabelle 1 Merkmale der verwendeten Porenbeton-Plansteine

Festigkeits-/ Rohdichte- klasse	Steinabmessung			Stirnflächen mit		ermittelte Trocken- rohichte ** [kg/dm ³]	Werk ***
	Länge	Breite	Höhe	Nut(e)/ feder(n)	Griffloch		
2 – 0,40	499	300	249	x	-	0,393	H
4 – 0,50 *	499	240	249	x	-	0,474	H
6 – 0,70	499	175	249	-	-	0,662	H

*) gemäß bauaufsichtlicher Zulassung

**) Mittel der Prüfwerte von 3 Prismen 100mm x 100mm x –Steinlänge aus je einem Stein nach [5]

***) H = Hebel Wirtschaftsbau GmbH & Co, Niederlassung Emmering, Reginawerk 1-3

2.2 Kunststoff-Spreizdübel

Für die Zugversuche wurde ein Dübel Hilti HRD-PGS 10x100/30 verwendet, der als repräsentativ für die im Verankerungsgrund Porenbeton zugelassenen Kunststoff-Spreizdübel angesehen werden kann. Die galvanisch verzinkte Sechskantschraube hat einen Schraubendurchmesser von 7 mm. Die Mindest-Verankerungstiefe des verwendeten Dübels beträgt 70 mm und die maximale Befestigungsdicke entsprechend 30 mm. In Bild 3 ist der verwendete Dübel gezeigt.

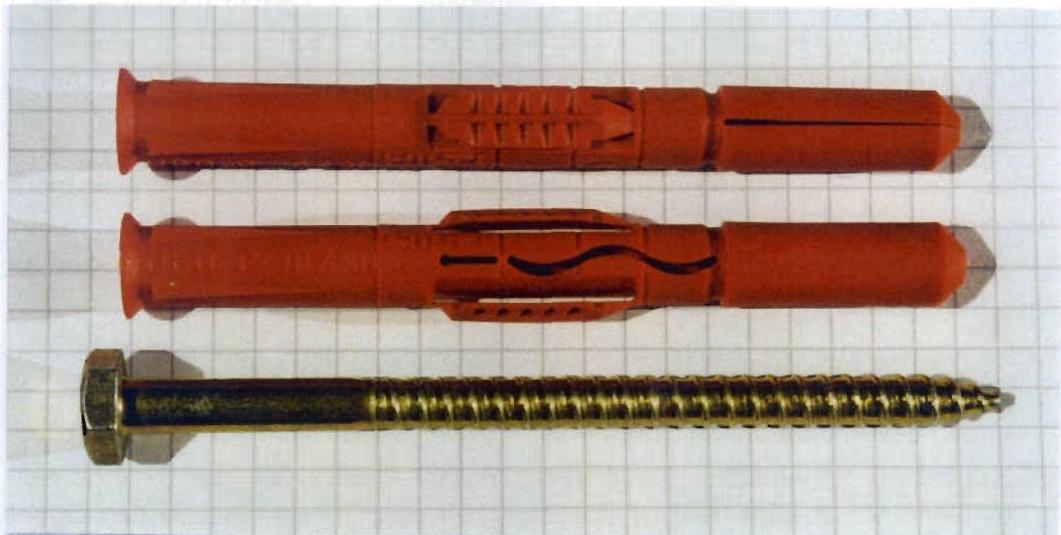


Bild 3 Foto des verwendeten Kunststoff-Spreizdübels mit Blick auf zwei unterschiedlich orientierte Kunststoffhülsen. Der Rasterabstand auf der Unterlage beträgt 5 mm.

Vor den Zugversuchen lagerten die Dübel im Klima 20°C/ 65% rel. Luftfeuchtigkeit. Mit einer Lagerdauer von 11 - 16 Wochen stellte sich in den aus Polyamid gefertigten Dübelhülsen nach anfänglichem kräftigem Anstieg ein weitgehend übereinstimmender Feuchtegehalt ein. Der erreichte Feuchtegehalt ist zwar größer als der bei luftfeucht

konditionierten Dübelhülsen, eine nennenswerte Minderung der Dübeltragfähigkeit hierdurch ist jedoch auszuschließen.

3. Dübelmontage

Die generellen Montagemerkmale der Versuchsdübel sind (vgl. Bild 4):

- Setzen von 2 Dübeln pro Planstein, und zwar von oben in dessen Breitseite.
- Randabstand der Setzstellen in Steinlängsrichtung 15 cm. Mittige Lage in Querrichtung.
- Verankerungstiefe 70 mm.

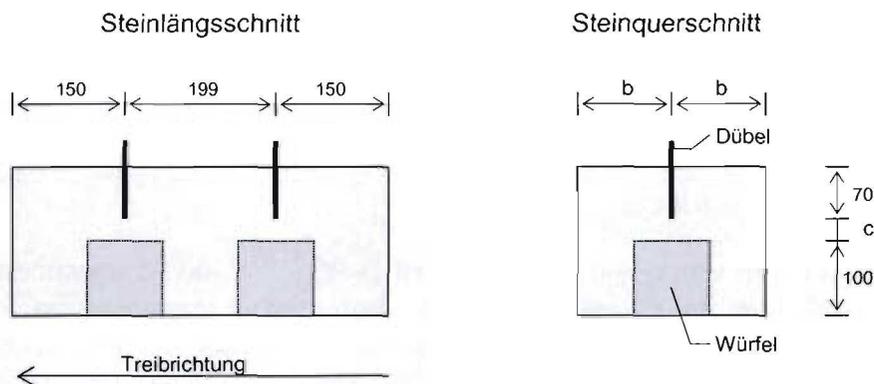


Bild 4 Lage der Dübel und der (nach den Zugversuchen entnommenen) Würfeln der Kantenlänge 100 mm im Planstein. $2 \cdot b$ entspricht dem größeren Maß von Steinbreite und -höhe. Das Maß c erfasst den Abstand des inneren Hülsendes des Dübels von der angrenzenden Würfelseite; es betrug 5 mm (Steinsorte 6 – 0,70), 70 mm (4 – 0,50) und 79 mm (2 – 0,40).

Die Dübel wurden von ein und demselben Laboranten in einheitlicher Weise montiert. Die wesentlichen Details sind:

- Herstellen des Bohrloches mittels Bohrmaschine im Drehgang unter Benutzung eines Bohrständers.
- Schneidendurchmesser des Hartmetallbohrers an der oberen Grenze von $d_{cut,m}$ nach [6]. Dieser Durchmesser betrug i. M. 10,35 mm.
- Auskippen des entstandenen Bohrmehls.
- Am stählernen Klemmstück der Abmessung 60 x 60 x 30 mm (= Anbauteil der Ausziehvorrichtung siehe Bild 5) Durchstecken des Dübels. Setzen des Dübels in das Bohrloch, und zwar stets mit Schlitzebene der Hauptspreizzone (= Bereich der Kunststoffhülse mit keilartiger Verspreizung in die Bohrlochwand – Länge ca. 30 mm von Spitze der Hülse aus) quer zur Treibrichtung.
- Eindrehen der Sechskantschraube mit einer Bohrmaschine und Einstellung 150 Umdrehungen/Minute.

Im Fall der hochfesten Steinsorte 6 – 0,70 wurde eine Vorkehrung gegen Steinspalten erforderlich. Bei einigen Vorversuchen trat nämlich Spalten quer zur Treibrichtung auf, sobald die Schraubenspitze beim Eindrehen die Hauptspreizzone nahezu durchdrungen

hatte. Die Spaltgefahr ist auf die relativ geringe Querschnittsfläche des Steins von 175 mm x 249 mm zurückzuführen. Vor der Dübelmontage erhielten deshalb die Steine eine geringe Längsvorspannung von ca. 0,06 N/mm², welche erst nach den Zugversuchen entfernt wurde.

4. Versuchsdurchführung

Die bei den Zugversuchen an den montierten Dübeln eingesetzte Ausziehvorrichtung zeigt Bild 5.



Bild 5 Aufnahme der für die Dübelzugversuche verwendeten Ausziehvorrichtung

Die wesentlichen Merkmale des Versuchsaufbaues und der Versuchsdurchführung sind:

- Gelenkiger Anschluss des Zuggliedes der Ausziehvorrichtung an das montierte Klemmstück.
- Ringförmige Abstützung der Zugvorrichtung mit einem Innendurchmesser von 243 mm. Der Quotient aus Abstützabstand und Verankerungstiefe des Dübels ist mit $243/70 = 3,5$ ausreichend groß, um mögliche wesentliche Betonausbrüche nicht zu behindern.

- Erzeugen der Zugkraft im Zugglied mittels Hohlkolbenzylinder und daran angeschlossener hydraulischer Motorpumpe. Messung der Zugkraft mittels integrierter 100 kN-Kraftmessdose.
- Messung der Verschiebung des Klemmstückes unter Last gegenüber der Steinoberfläche mittels zwei diametral angeordneten induktiven Wegaufnehmern.
- Kontinuierliche Steigerung der Zugkraft bis zum Kraftmaximum (= Bruchlast F_{Ru}). Weiterfahren bis zum deutlichen Abfall der Zugkraft. Dabei quasi-kontinuierliche Speicherung aller Messdaten und Verfolgen der Kraft/Verschiebungsentwicklung auf einem Bildschirm.
- Die Zeit bis zum Erreichen der Kraftmaxima betrug zwischen 50 und 70 Sekunden.

Bild 6 zeigt exemplarisch eine Kraft/Verschiebungskurve.

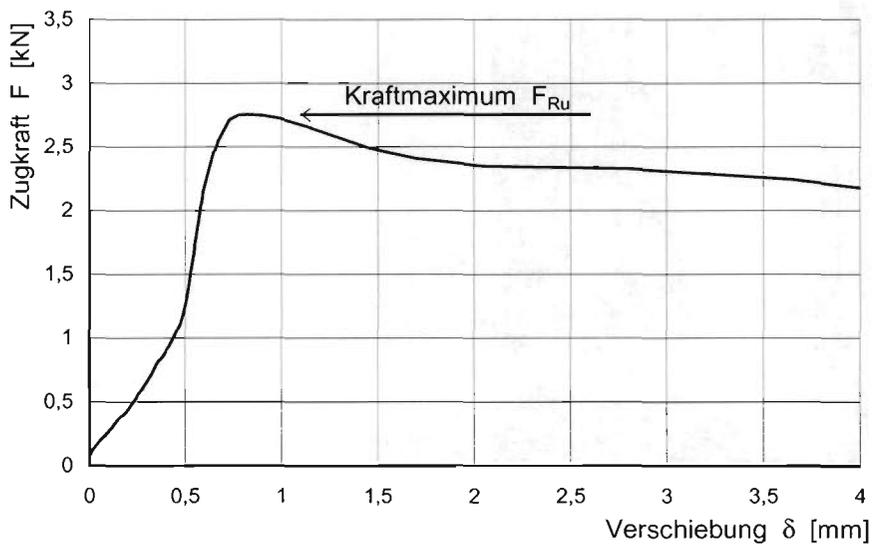


Bild 6 Typischer Kraft/Verschiebungsverlauf, hier mit Steinsorte 4 – 0,50

Die Montage der Dübel nach Abschnitt 3 und die Durchführung der Zugversuche an ihnen erfolgten Stein für Stein. Jeder derart geprüfte Stein wurde mit der vor der Dübelmontage entfernten Folie bis zur baldigen Würfelgewinnung wieder verpackt. An den nach Bild 4 herausgearbeiteten Würfeln wurden die Referenzgrößen

- Druckfestigkeit f_c ,
- Trockenrohdichte ρ und
- Feuchtegehalt $\mu_{m,Würfel}$

bestimmt.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Allgemeines

Zur Auswertung im Rahmen diese Forschungsvorhabens wurden 12 Versuche aus [2] ausgewählt (siehe auch Abschnitt 2.1, 1. Absatz). Die Aufteilung der Zugversuche nach Güteklasse und Steinfeuchte zeigt Tabelle 2.

Die Versuchsergebnisse sind im Anhang tabellarisch wiedergegeben. In den Spalten von links nach rechts aufgeführt sind die Stein-Kenngrößen, die bei den Zugversuchen ermittelten Dübel-Bruchlasten F_{Ru} und die an den Referenzwürfeln bestimmten Materialgrößen.

5.2 Feuchtegehalt des Porenbetons

In Tabelle 2 sind die festgestellten mittleren Feuchtegehalte $\mu_{m,Würfel}$ den Feuchtegehalten $\mu_{m,Stein}$ gegenübergestellt.

Tabelle 2 Aufteilung der Zugversuche und der ermittelten Würfelfeuchtigkeiten nach Güteklasse und Steinfeuchtigkeit

Güteklasse	Steinfeuchte $\mu_{m,Stein}$ *	5%
2 – 0,40	Versuchszahl n	4
	Würfelfeuchte $\mu_{m,Würfel}$ **	8%
4 – 0,50	Versuchszahl n	4
	Würfelfeuchte $\mu_{m,Würfel}$ **	8%
6 – 0,70	Versuchszahl n	4
	Würfelfeuchte $\mu_{m,Würfel}$ **	10%

*) entsprechend der Soll-Masse nach Abschnitt 2.1
(Basis Trockenrohichte und Steinvolumen)

**) Mittelwerte

Die Differenzen $\Delta\mu_m = \mu_{m,Würfel} - \mu_{m,Stein}$ betragen +3% bzw. +5%.

Wesentliche Ursache für diese Differenzen ist der ungleichmäßig verteilte Feuchtegehalt im Stein. Um den feuchten Kern herum fällt der Feuchtegehalt stark zu den Außenflächen ab. Besonders trocken sind dabei die Randbereiche an den zweiseitig verdunstenden Steinkanten und – noch mehr ausgeprägt – an den dreiseitig verdunstenden Steinecken. Da die Würfel von einer einseitig verdunstenden Fläche in Richtung zum feuchteren Kern des Steins herausgearbeitet sind (vgl. Bild 4), liegt der Mittelwert der Feuchte der Würfel $\mu_{m,Würfel}$ deutlich höher als der Mittelwert der Feuchte des Steins $\mu_{m,Stein}$.

Wie in [2] gezeigt wurde, ist die Dübeltragfähigkeit mittelbar von der Feuchte abhängig. Da die Steinbereiche, in dem die Dübel gesetzt wurden, in ihrer Charakteristik und Lage den Bereichen der herausgearbeiteten Würfel entsprechen (jeweils gegenüberliegende Steinseite – vgl. Bild 4), ist die an den Würfeln festgestellte Feuchte $\mu_{m,Würfel}$ als Bezugswert für die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens verwendeten Versuchsergebnisse heranzuziehen.

5.3 Streuungen der Versuchswerte

Die die Streuungen der Versuchswerte charakterisierenden Variationskoeffizienten sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3 Variationskoeffizienten der Versuchsergebnisse

Güteklasse	Anzahl n	Variationskoeffizient		
		Bruchlast F_{Ru}	Druckfestigkeit f_c	Trockenrohddichte ρ
2 – 0,40	4	4,4%	4,7%	1,2%
4 – 0,50	4	3,5%	3,1%	0,9%
6 – 0,70	4	5,4%	1,8%	0,7%

Die Variationskoeffizienten der ermittelten *Bruchlasten* F_{Ru} liegen mit Werten von maximal 5,4% auf dem Niveau, das bei Versuchen mit Kunststoff-Spreizdübeln ohne wesentliche Einwirkung von Treibhöhen- und Feuchteeffekten zu erwarten ist.

Im Fall der *Druckfestigkeiten* f_c sind die Variationskoeffizienten in ähnlicher maximaler Größenordnung wie im Fall der Bruchlasten. Sie nehmen mit zunehmender Steinfestigkeit ab; die Streuung der Druckfestigkeiten wird mit zunehmenden Festigkeitsniveau kleiner.

Im Fall der *Trockenrohddichten* sind die Variationskoeffizienten mit Werten zwischen 0,7% und 1,2% wesentlich kleiner als bei den Bruchlasten und Druckfestigkeiten.

5.4 Überblick über wesentliche Versuchsergebnisse

In den Diagrammen der Bilder 7 bis 9 sind die im Versuch ermittelten Bruchlasten F_{Ru} über der Druckfestigkeit f_c (Bild 7), über der Trockenrohddichte ρ (Bild 8) und über den kombinierten Materialgrößen $f_c \cdot \rho$ (Bild 9) aufgetragen.

Als Orientierungshilfe für erste Folgerungen dienen Ausgleichskurven auf der Basis eines potentiellen Gleichungsansatzes; siehe beispielsweise die Kurvengleichung im Bild 7. Die jeweils blaue Ausgleichskurve schließt die Versuchswerte der Steinsorte 6 - 0,70 mit ein, die grüne Ausgleichskurve dagegen nicht.

Nach Bild 7 ist die den Zusammenhang zwischen *Druckfestigkeit* und *Bruchlast* charakterisierende Ausgleichskurve nur in Nähe des Koordinaten-Nullpunktes wesentlich gekrümmt. Im Bereich höherer Rohdichten nimmt Sie einen nahezu linearen Verlauf an. Ergänzend zu den Ausgleichskurven ist eine strichlierte Ausgleichsgerade eingezeichnet, welche alle Versuchswerte außer den Werten der Steinsorte 6 – 0,70 beinhaltet. Zu ersehen ist, dass im Festigkeitsbereich zwischen 2,5 und 4,5 N/mm² die Lage der Linien sehr gut übereinstimmt.

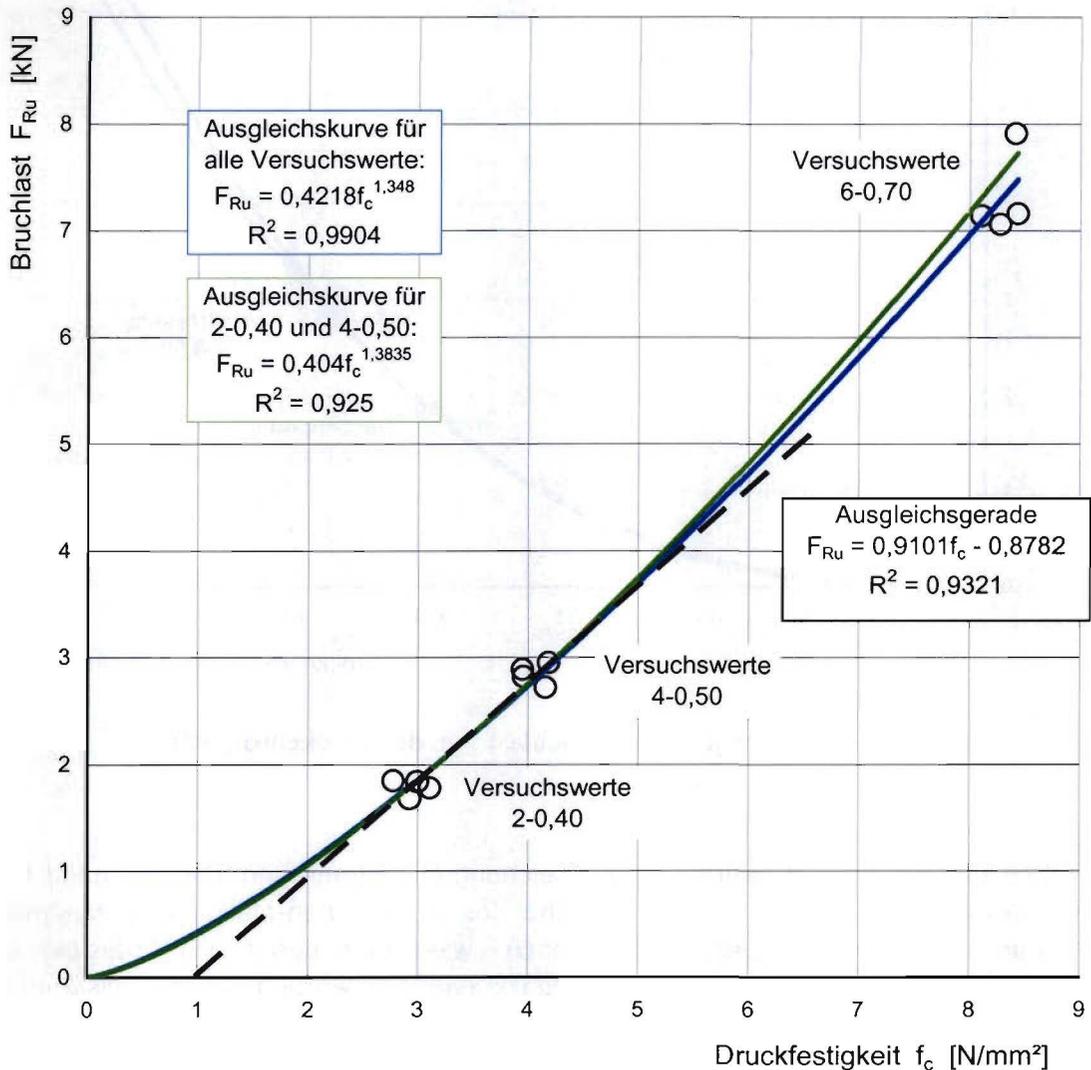


Bild 7 Abhängigkeit der Bruchlast von der Druckfestigkeit.

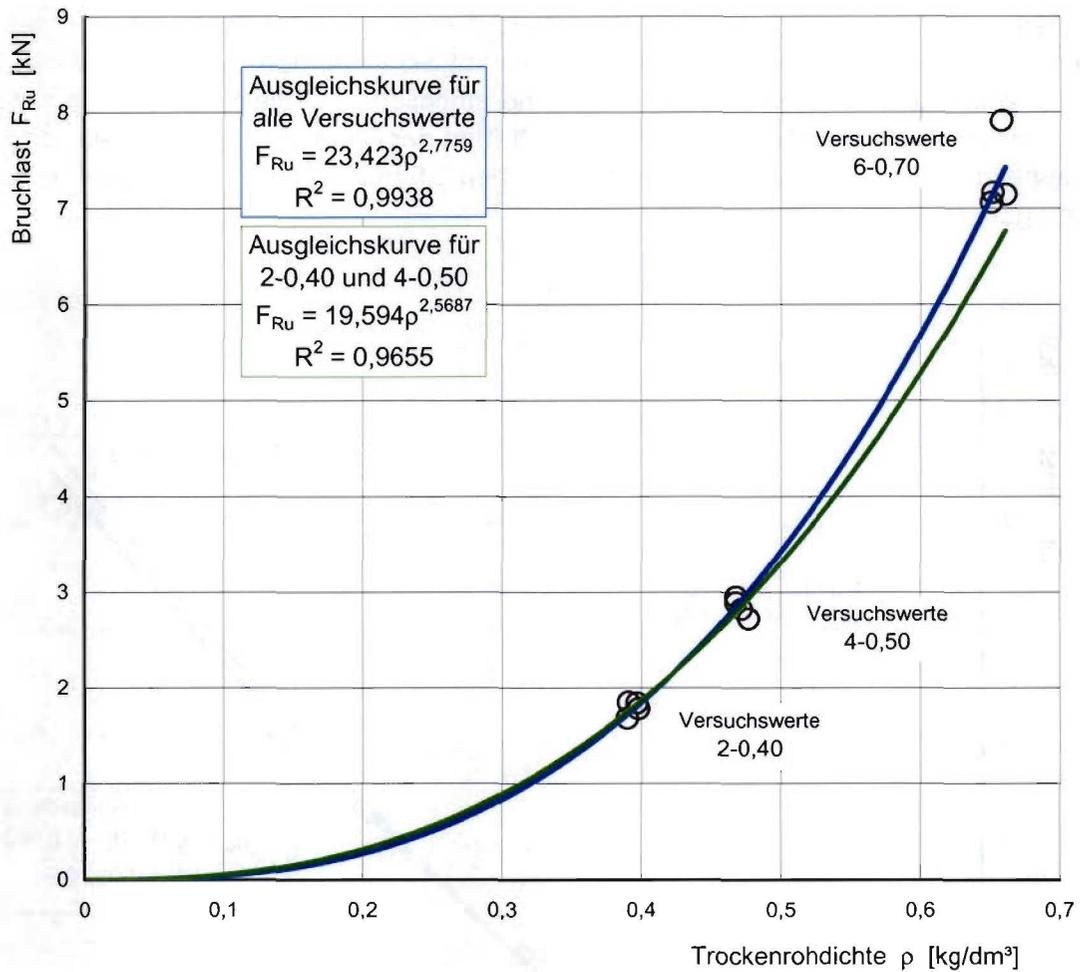


Bild 8 Abhängigkeit der Bruchlast von der Trockenrohddichte.

Im Bild 9 sind die Versuchswerte analog Gleichung (1) aufgetragen. Die hier nach links oben gewölbte Ausgleichskurve ist in Nähe des Koordinaten-Nullpunktes wesentlich gekrümmt. Eine Proportionalität liegt demnach – wie im Fall des in Bild 7 dargestellten Zusammenhangs – nicht vor. Beide Ausgleichskurven decken sich nahezu vollständig.

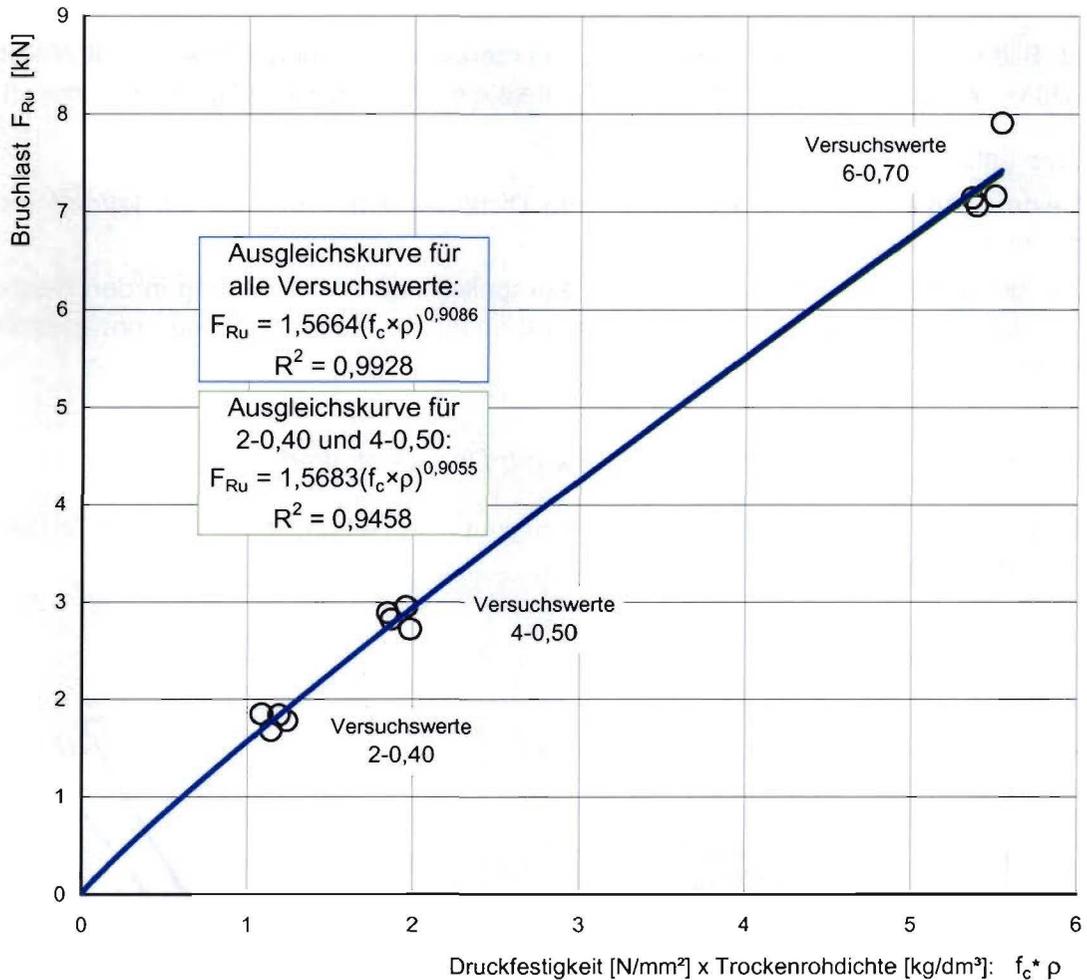


Bild 9 Abhängigkeit der Bruchlast von dem Produkt aus Druckfestigkeit und Trockenrohdichte.

5.5 Einfluss der Trockenrohdichte auf die Dübeltragfähigkeit

5.5.1 Allgemeines

Der Aufgabenstellung entsprechend wurde auf Grundlage der Versuchsergebnisse der unmittelbare Einfluss der Trockenrohdichte auf die Dübeltragfähigkeit untersucht.

Die Untersuchung setzt voraus, dass die Beziehungen zwischen der Trockenrohdichte und der Bruchlast einerseits und zwischen der Trockenrohdichte und der Druckfestigkeit andererseits bekannt sind. Demgemäß werden in den folgenden Abschnitten 5.5.2 und 5.5.3 beide Beziehungen abgeleitet.

Im Abschnitt 5.5.4 werden die Beziehungen miteinander verknüpft und hieraus Schlussfolgerungen gezogen.

5.5.2 Einfluss der Trockenrohddichte auf die Bruchlast

Nach Bild 8 zeigt sich ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Trockenrohddichte und Bruchlast. Mit zunehmender Trockenrohddichte steigt die Bruchlast überproportional an.

Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Beide Ausgleichskurven decken sich im Dichtebereich von 0 bis 0,5 kg/dm³ weitgehend.
- Die grüne Ausgleichskurve würde bei extrapolierender Verlängerung in den Bereich der Steinsorte 6 – 0,70 hinein die betreffenden Versuchswerte nur unwesentlich verfehlen.

5.5.3 Einfluss der Trockenrohddichte auf die Druckfestigkeit

In Bild 10 sind die Werte für die Druckfestigkeit f_c in Abhängigkeit von der Trockenrohddichte ρ angegeben.

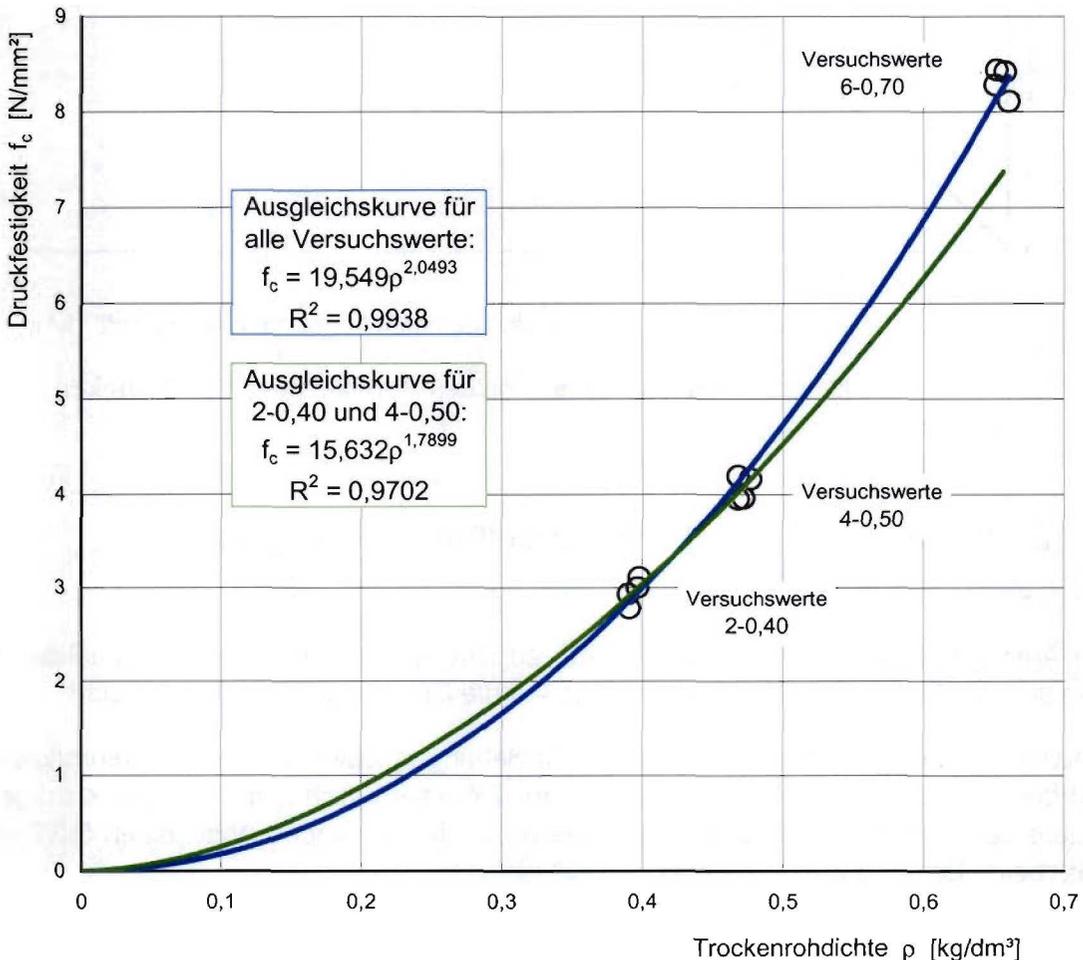


Bild 10 Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Trockenrohddichte

Es zeigt sich ebenfalls ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Trockenrohddichte und Druckfestigkeit. Mit zunehmender Trockenrohddichte steigt die Druckfestigkeit überproportional an. Die Ausgleichskurven sind allerdings weniger stark gekrümmt als im Bild 8, dies schlägt sich auch in den niedrigeren Potenzzahlen in den angegebenen Gleichungen für die Ausgleichsgraden nieder.

Die im Vorabschnitt festgestellten Ergebnisse gelten hier genauso.

5.5.4 Kombination der Einflüsse und Schlussfolgerungen

Dividiert man die Gleichungen für F_{Ru} nach Bild 8 durch die entsprechenden Gleichungen für f_c nach Bild 10, so ergibt sich folgende allgemeine Gleichung:

$$F_{Ru}/f_c = \kappa \cdot \rho^\psi \quad (2)$$

mit $\psi = \psi_{\text{Bild 8}} - \psi_{\text{Bild 10}}$

Im Fall der blauen Ausgleichskurven beträgt $\psi = 2,7759 - 2,0493 = 0,7266$. Im Fall der grünen Ausgleichskurven beträgt $\psi = 2,5687 - 1,7899 = 0,7788$.

Auch unter Hinzuziehung weiterer Versuche in anderen Steifeuchtebereichen und mit anderen Steingütern [2] lässt sich feststellen, dass ψ nur unwesentlich um $0,75 = \frac{3}{4}$ schwankt.

Damit lässt sich Gleichung (2) vereinfachen:

$$F_{Ru} = \kappa \cdot f_c \cdot \rho^{3/4} \quad (3)$$

Der in Gleichung (3) enthaltene Term $\rho^{3/4}$ beschreibt den unmittelbaren Einfluss der Trockenrohddichte auf die Dübeltragfähigkeit; siehe hierzu Bild 2.

Die Ermittlung der in Bild 11 dargestellten Werte erfolgte auf Basis der Gleichung (3). Aus dem Bild 11 ist zu ersehen, wie genau der Proportionalfall die einzelnen Versuchsergebnisse erfasst. Die blaue Gerade schließt die Steinsorte 6 – 0,70 ein, die grüne nicht. Zu ersehen ist, dass sich die Ausgleichsgeraden weitgehend decken.

Die Steigungen der Ausgleichsgeraden b stellen ein Maß für die Verankerungskapazität des verwendeten Dübel dar, denn sie entsprechen dem Faktor κ in Gleichung (3). Die Steigungen dieser Geraden betragen auf Basis der angegebenen Dimensionen:

$$\text{Steinsorten 2 – 0,40 + 4 – 0,50} \quad b = 1,20$$

$$\text{Steinsorten 2 – 0,40 + 4 – 0,50 + 6 – 0,70} \quad b = 1,22$$

Versuche mit Steinen anderer Hersteller und Werke zeigen abweichende Werte für b [2]. Dieser Werkseinfluss wurde hier durch die Auswahl von Versuchen mit Steinen eines Werkes vermieden.

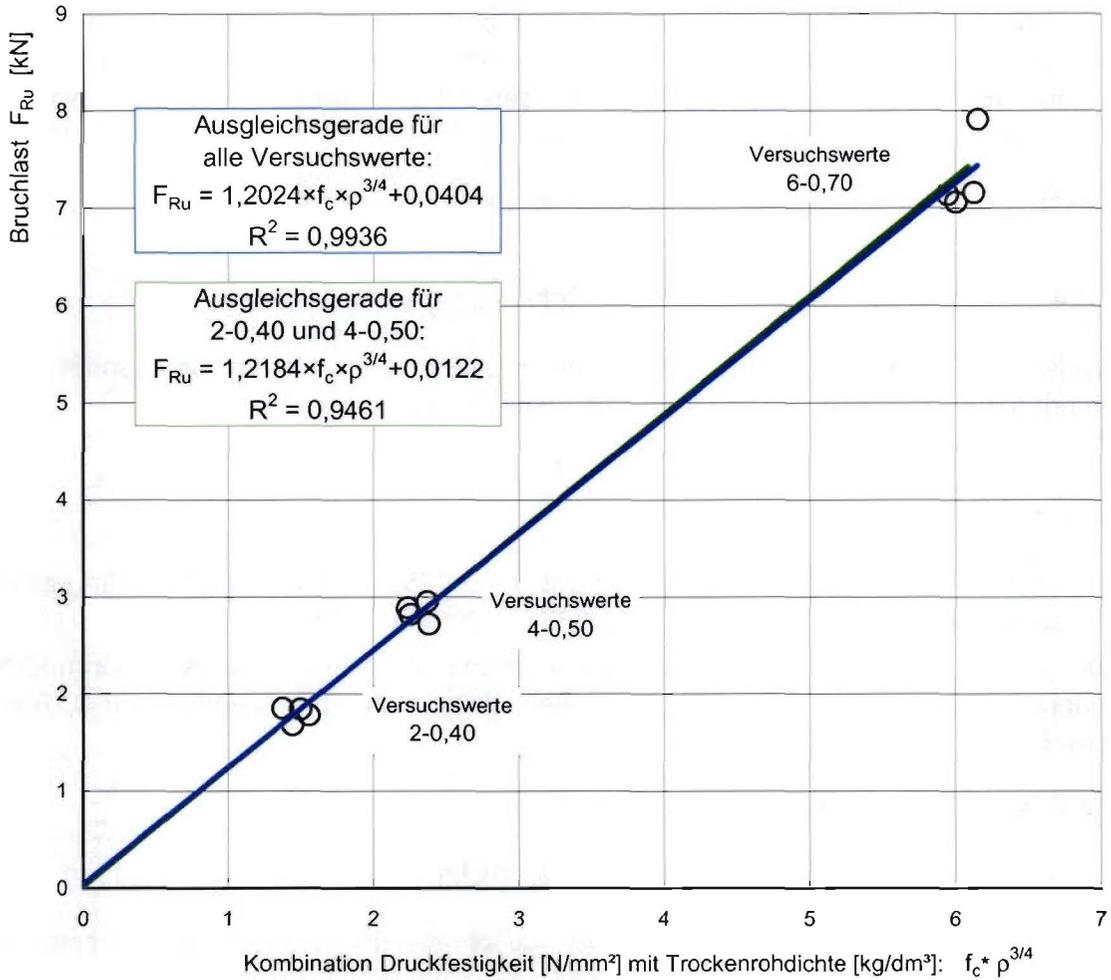


Bild 11 Abhängigkeit der Bruchlast von den kombinierten Materialgrößen Druckfestigkeit und Trockenrohddichte (= Proportionalfall).

6. Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Einfluss der Kombination der Materialparameter Druckfestigkeit f_c und Trockenrohddichte ρ des Porenbetons auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln aufgrund von Versuchsergebnissen genauer zu betrachten und einen Ansatz für die Beziehung zwischen F_{Ru} und ρ kombiniert mit f_c zu finden (vgl. Abschnitt 1).

Im Abschnitt 2 sind die Details der verwendeten Porenbeton-Plansteine und des ausgewählten Kunststoff-Spreizdübels beschrieben. Die Merkmale der Dübelmontage, der Versuchsdurchführung und der Entnahme von Referenzwürfeln für die Ermittlung der Materialkennwerte sind in den Abschnitten 3 und 4 dargelegt.

Der Parameterbereich der für die vorliegende Auswertung herangezogenen 12 Dübel-Ausziehversuche aus [2] ist in Abschnitt 2.1 umrissen. Es wurden je Dübelversuch ein Satz Referenzprüfungen (Druckfestigkeit, Trockenrohddichte und Feuchtegehalt) durchgeführt (Abschnitt 5.1).

Die Streuungen der Dübel-Bruchlasten entsprechen im westlichen dem üblichen Niveau bei Dübelversuchen. Die Streuungen der Druckfestigkeiten sind ähnlich groß, die der Trockenrohddichten sehr klein. Der Einfluss des Treibhöheneffekts und der Steifeuchte auf die Ergebnisse der Auswertung konnte durch die Auswahl der Versuche beschränkt werden (Abschnitt 5.3).

Abschnitt 5.4 vermittelt auf Basis von Versuchsdiagrammen einen Überblick über die Zusammenhänge zwischen den Materialgrößen Druckfestigkeit und Trockenrohddichte auf die Dübel-Bruchlast. Ein Werkseinfluss konnte durch die Auswahl der Versuche weitgehend ausgeschlossen werden.

Die Prüfung des Einflusses der Trockenrohddichte ρ erfolgt zunächst ebenfalls für die Dübel-Bruchlast und für die Druckfestigkeit getrennt. Durch Verknüpfung der gefundenen Gleichungen lässt sich eine Gleichung ableiten, welche die Proportionalität zwischen kombinierten Materialgrößen und Dübel-Bruchlast beschreibt. Der enthaltene Term $\rho^{3/4}$ gibt den unmittelbaren Einfluss der Trockenrohddichte auf die Dübeltragfähigkeit wieder (Abschnitt 5.5).

7. Literaturverzeichnis

- [1] Wesche K.: Baustoffe für tragende Bauteile. Band 2. Wiesbaden; Berlin: Bauverlag, 1993
- [2] Guckenberger, K.; Schaaf, E.: Einfluss von Druckfestigkeit, Trockenrohdichte und Feuchtegehalt des Porenbetons auf die Dübeltragfähigkeit. Forschungsbericht MPA Bau, gefördert vom Fachverband Werkzeugindustrie e.V.. München 1999.
- [3] Weber, H.: Das Porenbetonhandbuch. Wiesbaden; Berlin: Bauverlag, 1996
- [4] Stork, J. und Wörner, J.D.: Ausbruchtragfähigkeit von Porenbeton. Betonwerk+Fertigteiltechnik, Heft 10/1992, S. 92-98
- [5] DIN 4 165: Porenbeton-Blocksteine und Porenbeton-Plansteine. Ausgabe November 1996
- [6] EOTA: Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalldübel zur Verankerung im Beton. Anhang A: Einzelheiten der Versuche. Ausgabe Juni 1997

Anhang

Tabelle A1 Zusammenstellung der Versuchsergebnisse [2]

Versuch Nr.	Planstein		Bruchlast Dübel F_{Ru} [kN]	Würfel		
	Güteklasse	Feuchte $\mu_{m,Stein}$ [%]		Druck- festigkeit f_c [N/mm ²]	Trocken- rohdichte ρ [kg/dm ³]	Feuchte $\mu_{m,Würfel}$ [%]
71	2-0,40	4-6	1,84	3,00	0,397	6,9
72			1,68	2,93	0,390	7,7
73			1,78	3,11	0,398	8,2
74			1,85	2,78	0,391	8,9
75	4-0,50	4-6	2,82	3,96	0,472	7,5
76			2,95	4,19	0,468	8,4
81			2,72	4,16	0,477	7,5
82			2,89	3,95	0,468	8,5
61	6-0,70	4-6	7,91	8,42	0,658	7,7
62			7,16	8,44	0,652	9,5
63			7,14	8,11	0,661	10,2
64			7,06	8,28	0,651	13,1