

Einfluss der Trockenrohdichte des Porenbetons auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln

K. Zilch, K. Guckenberger†, A. Jähring

Zusammenfassung

Frühere Versuche an der TU München ergaben, dass zwischen der Druckfestigkeit des Porenbetons und der Bruchlast des Kunststoffdübels näherungsweise eine lineare Beziehung besteht. Dieses kann darauf zurückgeführt werden, dass die Zugfestigkeit des Porenbetons etwa 10% der jeweiligen Würfel-Druckfestigkeit beträgt und zwischen beiden Festigkeitsgrößen eine Proportionalität besteht. Trägt man die Versuchsergebnisse F_{Ru} in einem Diagramm über die Druckfestigkeit f_c auf und ermittelt eine Ausgleichsgerade, so ist jedoch festzustellen, dass die extrapolierende Verlängerung der Ausgleichsgeraden nicht auf den Koordinaten-Nullpunkt trifft, sondern die Festigkeitsachse bei einer Festigkeit $0 \leq f_c \leq 1,0 \text{ N/mm}^2$ schneidet (vgl. auch Bild 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.

Die Versuchsergebnisse ließen erkennen, dass eine Proportionalität durch eine Kombination der Materialkennwerte Druckfestigkeit f_c und Trockenrohdichte ρ formuliert werden kann. Ziel der 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 1 ist die Aufgabenstellung schematisch dargestellt.

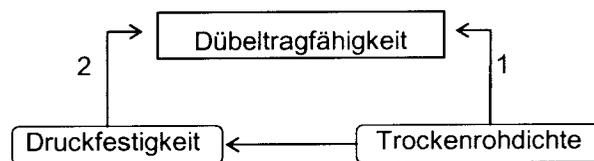


Bild 1 Schematische Darstellung des unmittelbaren Einflusses (1) und des mittelbaren Einflusses (2) der Trockenrohdichte auf die Dübeltragfähigkeit

Aus einer größeren Serie von Versuchen wurden für die Auswertungen die Versuche an Steinen eines Herstellers im interessanten Steinfeuchtebereich um 5% ausgewählt. Damit konnte der Einfluss der Steinfeuchte und der Werkseinfluss weitgehend eliminiert werden und es standen für die Auswertungen eine ausgewogene Versuchsbasis zur Verfügung¹.

Als Verankerungskörper der Dübel dienten je zwei Porenbeton-Plansteine der Festigkeits-/Rohdichteklassen 2/0,4; 4/0,5 und 6/0,7. 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 generellen Montagemerkmale der Versuchsdübel waren:

- 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.

Die wesentlichen Merkmale des Versuchsaufbaues und der Versuchsdurchführung waren:

- 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.

An aus den Steinblöcken herausgearbeiteten Würfeln wurden die Referenzgrößen

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

bestimmt.

¹ Guckenberger, K.; Schaaf, E.: Einfluss von Druckfestigkeit, Trockenrohddichte und Feuchtegehalt des Porenbetons auf die Dübeltragfähigkeit. Forschungsbericht MPA Bau, gefördert vom Fachverband Werkzeugindustrie e.V.. München 1999.

Die Streuungen der den Auswertungen zugrunde liegenden Versuche liegen mit Variationskoeffizienten von maximal 5,4% auf dem Niveau, das bei Versuchen mit Kunststoff-Spreizdübeln ohne wesentliche Einwirkung von Treibhöhen- und Feuchteeffekten zu erwarten ist.

In den Bildern 2 und 3 sind die im Versuch ermittelten Bruchlasten F_{Ru} über der Druckfestigkeit f_c bzw. über der Trockenrohddichte ρ aufgetragen. Nach Bild 2 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.

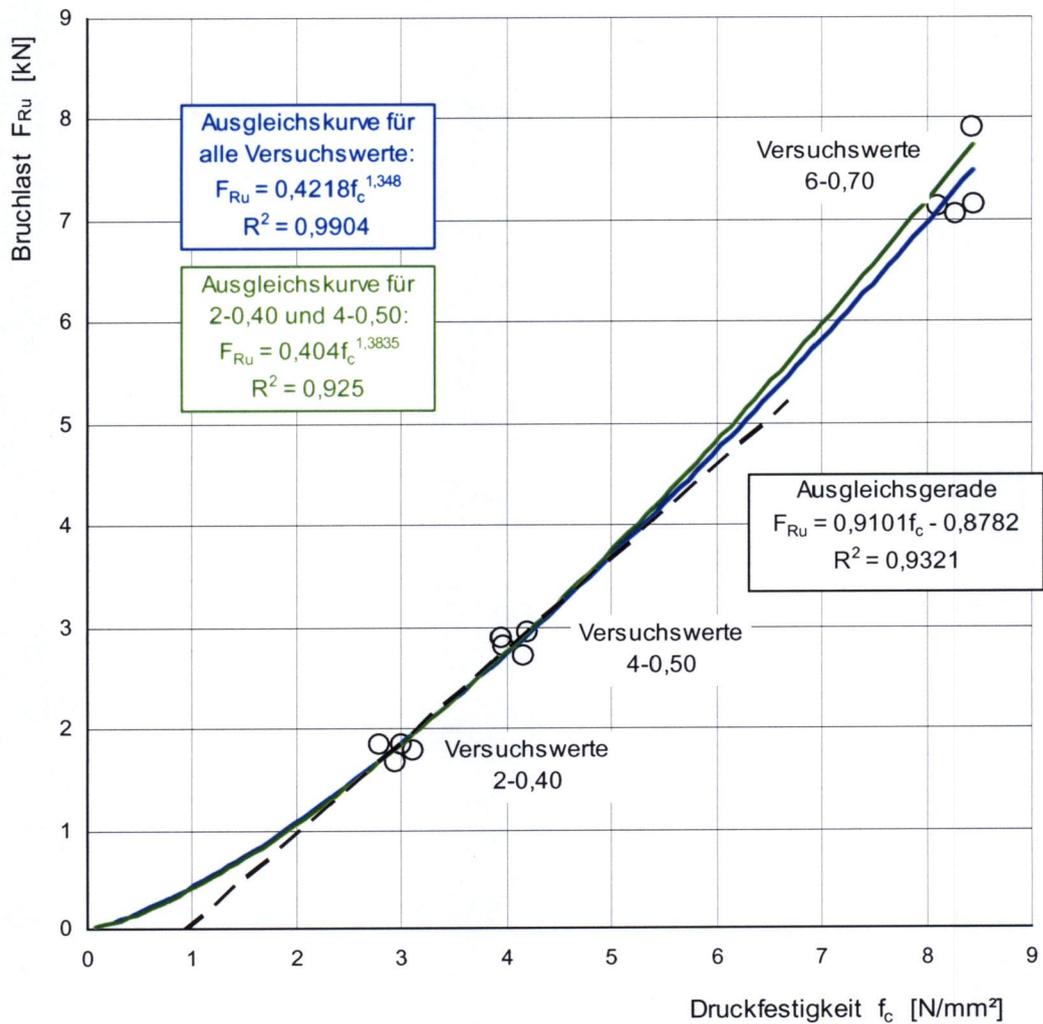


Bild 2 Abhängigkeit der Bruchlast von der Druckfestigkeit.

Nach Bild 3 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.

In Bild 4 sind die Werte für die Druckfestigkeit f_c in Abhängigkeit von der Trockenrohddichte ρ angegeben. 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 3, dies schlägt sich auch in den niedrigeren Potenzzahlen in den angegebenen Gleichungen für die Ausgleichsgraden nieder.

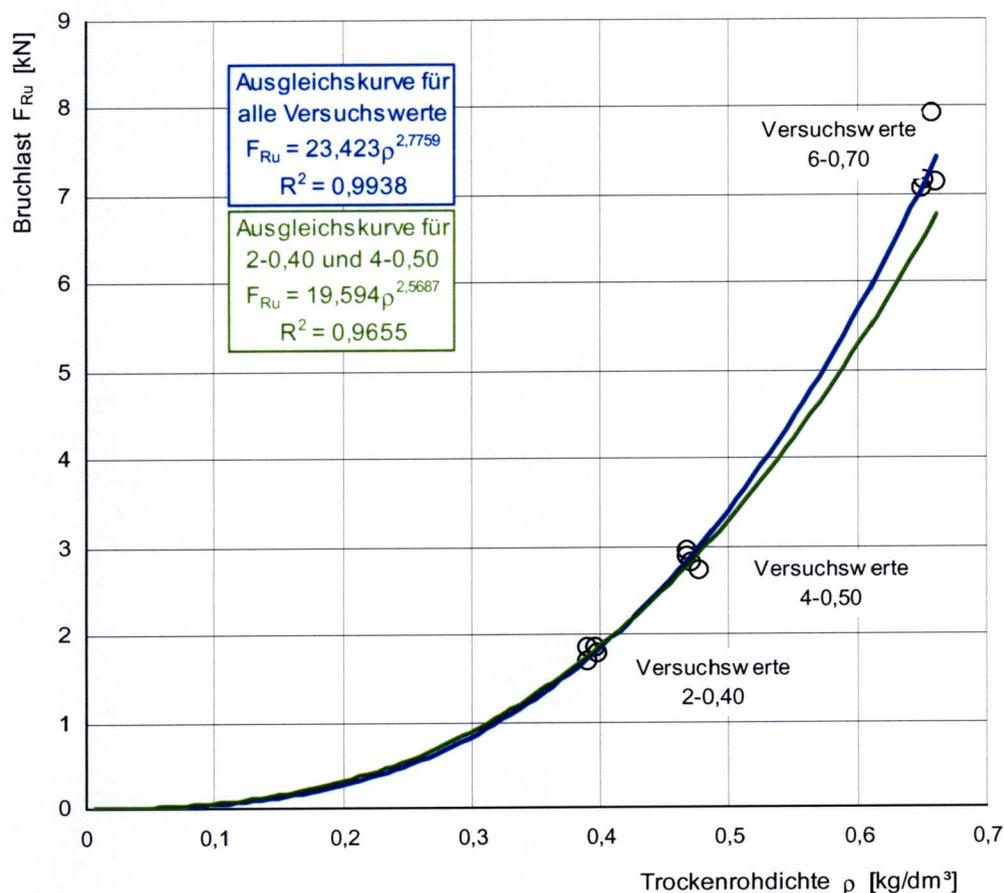


Bild 3 Abhängigkeit der Bruchlast von der Trockenrohddichte.

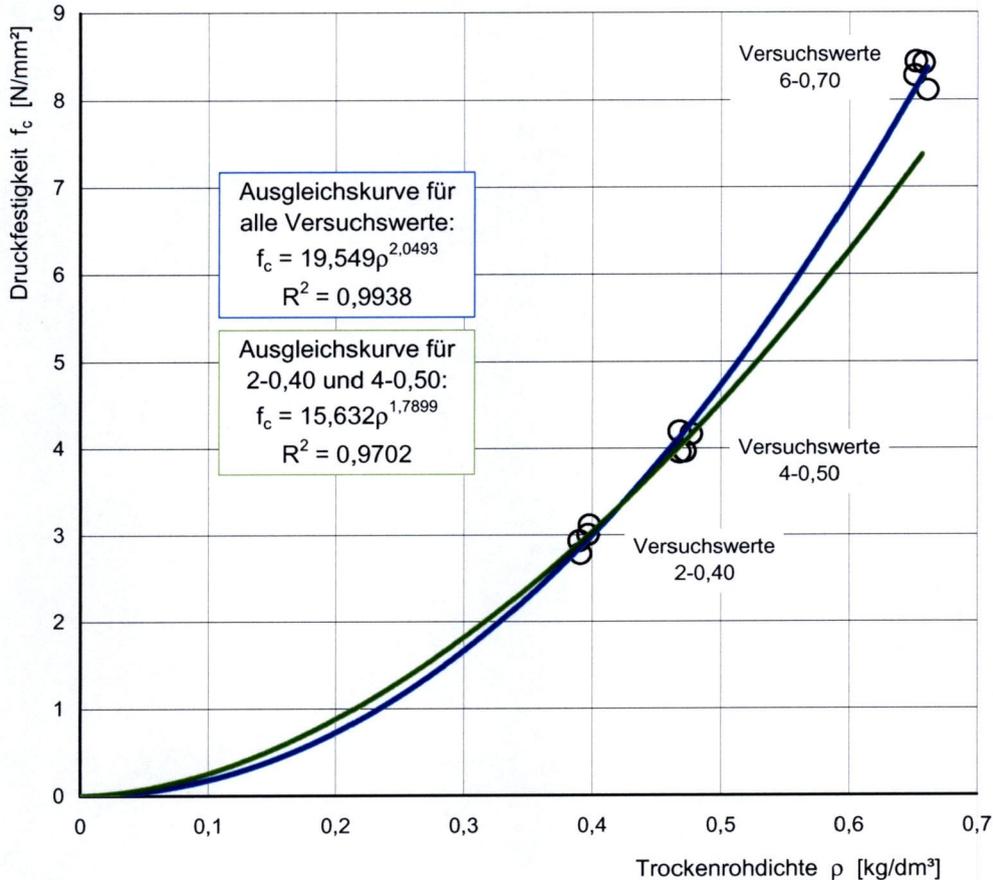


Bild 4 Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Trockenrohdichte

Dividiert man die Gleichungen für F_{Ru} nach Bild 3 durch die entsprechenden Gleichungen für f_c nach Bild 4, 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 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 Trockenrohdichte auf die Dübeltragfähigkeit.

Die Ermittlung der in Bild 5 dargestellten Werte erfolgte auf Basis der Gleichung (3). Aus dem Bild 5 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:

Steinsorten 2 – 0,40 + 4 – 0,50 $b = 1,20$

Steinsorten 2 – 0,40 + 4 – 0,50 + 6 – 0,70 $b = 1,22$

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

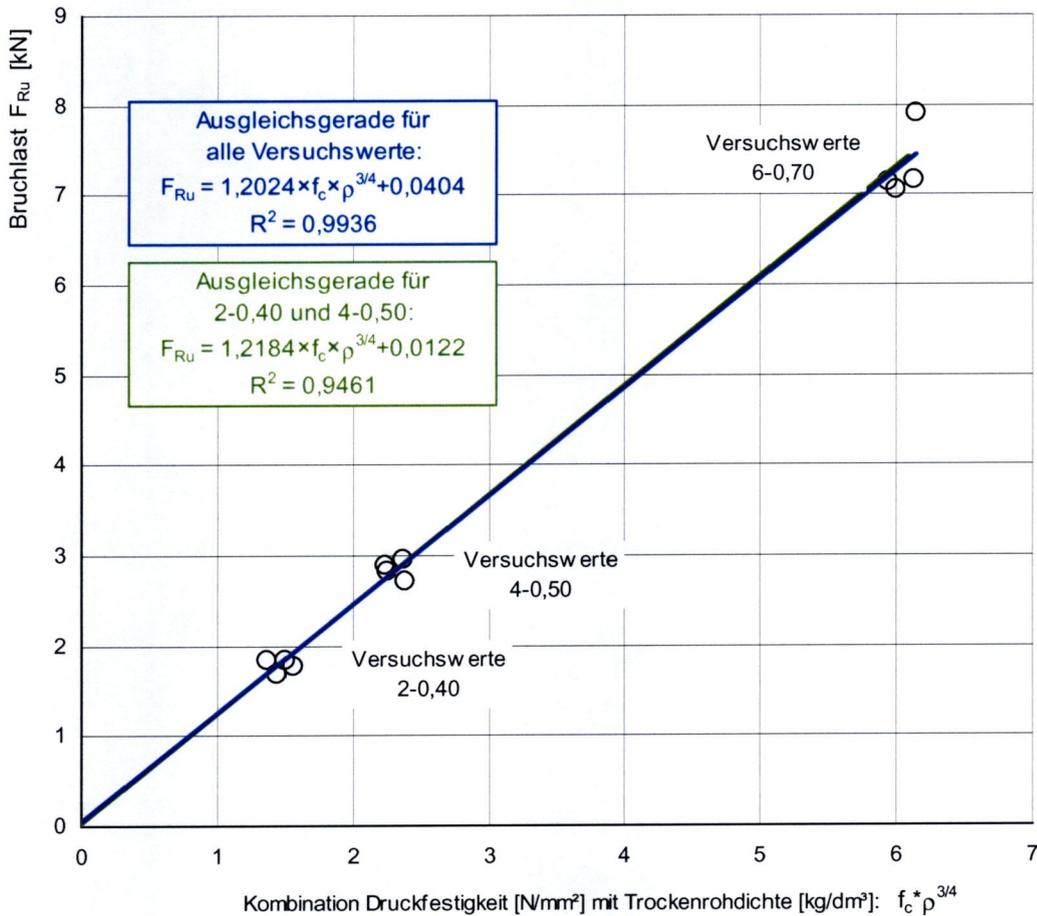


Bild 5 Abhängigkeit der Bruchlast von den kombinierten Materialgrößen Druckfestigkeit und Trockenrohdichte (= Proportionalfall).