

# Einfluß des Zuschlaggrößtkorns auf die Zusammensetzung und die Druckfestigkeit des Betons

(Darstellung nach einigen Veröffentlichungen)

Von Bernhard Dartsch, Düsseldorf

## Übersicht

*Die Verwendung eines möglichst grobkörnigen Zuschlaggemisches wird im allgemeinen angestrebt, weil damit der Beton weniger Zementleim mit einem bestimmten Wasserzementwert für die verlangte Verarbeitbarkeit und Druckfestigkeit benötigt.*

*Einigen größeren amerikanischen Untersuchungen, von denen hier ausgegangen wird, ist zu entnehmen, daß neben dem Wasserzementwert auch das Größtkorn des Zuschlaggemisches sich auf die Druckfestigkeit auswirkt. Im ganzen ergab sich für Beton etwa gleicher Konsistenz, daß im Bereich niedriger Wasserzementwerte mit zunehmendem Größtkorn des Zuschlaggemisches die Druckfestigkeit etwas kleiner erhalten wird als bei Beton mit gleichem Wasserzementwert und kleinerem Größtkorn.*

## 1. Allgemeines

In Amerika befaßten sich mehrere umfangreiche Arbeiten mit dem Einfluß des Größtkorns auf die Druckfestigkeit des Betons. Nachfolgend werden diese, mit Hinweis auf einige deutsche Untersuchungen, gedrängt wiedergegeben.

Zu den Untersuchungen wurde üblicher Zuschlag benutzt, für den vorausgesetzt werden kann, daß er fester ist als der ihn im Beton umgebende Zementstein. Zur Erklärung der Auswirkung des Größtkorns eines Zuschlaggemisches auf die Betondruckfestigkeit sind allgemein folgende Umstände zu beachten:

Je geringer die Zuschlagmenge im Beton ist, desto größer ist der Zementleimgehalt und desto größer ist die mittlere Schichtdicke des Zementsteins zwischen den Zuschlagkörnern. Sandreiche Zuschlaggemische mit größerem Größtkorn können etwa gleiche Summenkennwerte (z. B. Körnungsziffer  $k$ , F-Wert) und damit etwa gleiche Wasseranspruchszahlen aufweisen wie sandarme Zuschlaggemische mit kleinerem Größtkorn. Als Beispiel seien die Sieblinien B 16 und A 8 (DIN 1045 neu) angeführt, die beide eine etwa gleiche Körnungsziffer (3,64 bzw. 3,66) bzw. beide einen F-Wert von 134 aufweisen.

Zuschlaggemische mit kleineren Körnern haben weniger Unstetigkeiten in der Spannungsverteilung im Beton zur Folge.

Die gleiche Zuschlagmenge in Form kleinerer Körner ergibt eine große Oberfläche und damit eine große Haftfläche mit dem Zementstein.

Beim Vergleich von Versuchsergebnissen mit unterschiedlichem Größtkorn spielt u. U. auch die Größe der Prüfkörper eine Rolle (Verhältnis der kleinsten Abmessung zum Größtkorndurchmesser [1]). Daher sind Form, Schlankheit und Größe der Prüfkörper zu beachten.

## 2. Amerikanische Versuche

Die in den amerikanischen Veröffentlichungen benutzten anderen Maßeinheiten wurden auf die hier üblichen umgerechnet und die dort an Zylindern ermittelte Druckfestigkeit auf jene von 20-cm-Würfeln nach DIN 1048 bezogen [2]. Die angegebenen Korngrößen des Zuschlags entsprechen Quadratlochsieben.

Die in den amerikanischen Untersuchungen benutzten Zemente der Typen I und II sind in der Beziehung zwischen Betondruckfestigkeit und Wasserzementwert mit einem Z 350 (DIN 1164) verglichen worden.

### 2.1 Untersuchungen von Higginson, Wallace und Ore [3]

Diese sind besonders umfangreich; sie werden daher in erster Linie für die Darstellung der Zusammenhänge benutzt. Die Untersuchungen schließen 64 verschiedene Betonmischungen mit 648 Zylindern von 15 cm bis 61 cm Durchmesser ein ( $D : H = 1 : 2$ ).

Neben drei verschiedenen Zementen des Typs II wurden zwei unterschiedliche Zuschläge benutzt. Der Sand und Kies des Zuschlages C (Clear-Creek-Zuschlag) bestand hauptsächlich aus nicht besonders festem Granit und Gneis. Die Körner waren „rund bis kantig“; die Korngruppe 2/4 mm wurde durch gebrochenen Sand ergänzt. Das Gestein war wassersaugend und für hochwertigen Beton nur mäßig geeignet. Der Sand und Kies des Zuschlages G (Grand-Coulee-Zuschlag) bestand größtenteils aus festem Granit und Basalt. Die Eigenschaften des Zuschlags wurden als besonders gut beurteilt. Die Korngruppe 2/4 mm wurde ebenfalls durch Brechsand ergänzt.

Das Größtkorn der Zuschlaggemische reichte von 9,5 bis 152 mm; ihre Sieblinien sind in Bild 1 dargestellt. Soweit vergleichbar, verlaufen die Sieblinien im günstigen Bereich der DIN 1045 (neu), wobei die Kornanteile bis etwa 1 mm an der oberen Grenze und ab etwa 4 mm Korngröße an der unteren Grenze des günstigen Bereiches liegen.

Die Betone wiesen Zementgehalte von 167, 280, 335 und 390 kg/m<sup>3</sup> auf. Die Mischungsverhältnisse wurden in Vorversuchen festgelegt; für alle Betone wurde ein Setzmaß von etwa 5 cm angestrebt. Die Setzmaße der Mischungen für die Zylinder lagen etwa zwischen 3,5 und 9 cm, das entspricht einer Konsistenz K 2 bis K 3. Die Druckfestigkeit der Zylinder wurde im Alter von 28, 90 und 365 Tagen nach Feuchtlagerung bei 23 °C ermittelt. Das Verhältnis von Zylinderdurchmesser zum Größtkorndurchmesser ist aus Tafel 1 ersichtlich; es lag zwischen 2 und 64.

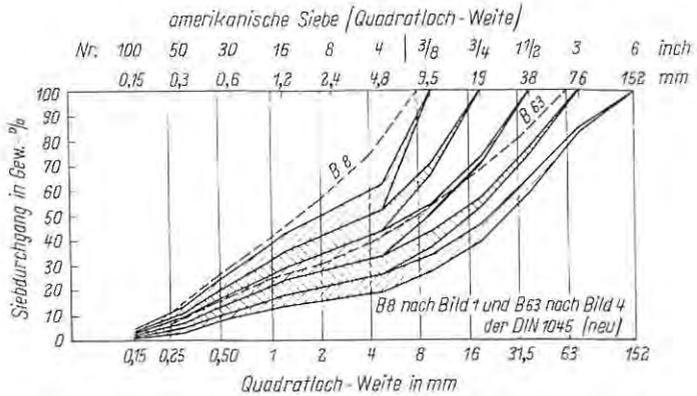


Bild 1 Kornzusammensetzung von Zuschlagsgemischen mit verschiedenem Größtkorn (nach [3])

Tafel 1 Zylinderabmessungen und Größtkorn

Zylinder		Größtkorn				
Durchmesser D	Höhe H	Durchmesser d in mm (Verhältnis D : d)				
cm	cm					
15	30	—	76 (2,0)	38 (4,0)	19 (8,0)	9,5 (16)
20	40	—	76 (2,6)	38 (5,3)	19 (11)	9,5 (21)
46	91	152 (3,0)	76 (6,1)	38 (12)	19 (24)	9,5 (48)
61	122	152 (4,0)	76 (8,0)	38 (16)	19 (32)	9,5 (64)

Unterschiedlich große Zylinder lieferten unabhängig vom Größtkorn einer mit ihnen geprüften Mischung im allgemeinen etwa die gleiche Druckfestigkeit. Eine Ausnahme bildeten nur die kleinsten Zylinder 15/30 cm, mit denen bei gleicher Mischung deutlich höhere Druckfestigkeiten erzielt wurden.

Aus den zahlreichen Versuchsergebnissen werden die nachfolgenden Diagramme für die Beziehungen zwischen Druckfestigkeit des Betons und Größtkorn wiedergegeben oder abgeleitet.

In Bild 2 ist zunächst der Einfluß des Zementgehalts auf den Wasseranspruch des Frischbetons in Abhängigkeit vom Größtkorn dargestellt. Wenn von dem Beton mit 152 mm Größtkorn, der nur für sehr massige, unbewehrte Bauten (z. B. Talsperren) anwendbar ist, abgesehen wird, nimmt im ganzen gesehen der Wasseranspruch mit einem von 167 auf 335 kg/m<sup>3</sup> ansteigenden Zementgehalt ab und erst bei noch höherem Zementgehalt wieder zu.

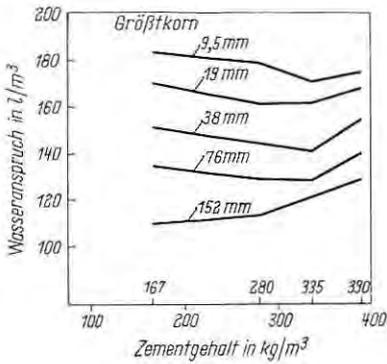


Bild 2  
Wasseranspruch von Betonen mit einem Setzmaß von 3,5 bis 9 cm in Abhängigkeit vom Zementgehalt und Größtkorn des Zuschlags (nach [3])

In Bild 3 wird der Einfluß von Größtkorn und Zementgehalt auf die Druckfestigkeit ersichtlich. (Die Druckfestigkeit, der Zementgehalt und die Siebweiten des deutschen Siebsatzes wurden aus den Versuchsergebnissen interpoliert, wobei alle verwendeten drei Zemente und beide Zuschlagarten berücksichtigt wurden.) Im Originalbericht finden sich ähnliche Diagramme auch für die Druckfestigkeit nach 90 Tagen und einem Jahr, die hiervon nicht wesentlich abweichen.

Man erkennt aus Bild 3, daß Beton für eine bestimmte Druckfestigkeit bis etwa 350  $kp/cm^2$  mit zunehmendem Größtkorn einen

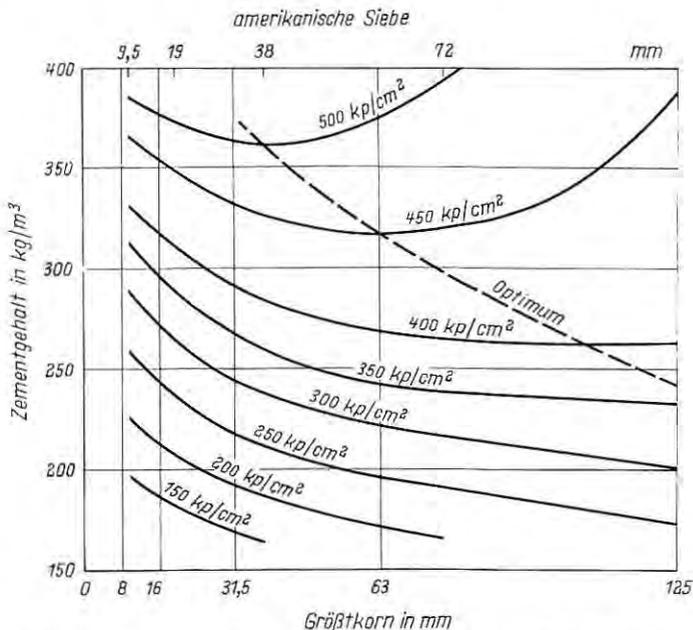


Bild 3 Zementgehalt für eine bestimmte Druckfestigkeit nach 28 Tagen, abhängig vom Größtkorn (nach [3])

kleineren Zementgehalt benötigt. Für Beton mit Druckfestigkeiten von  $400 \text{ kp/cm}^2$  und höher zeigt sich jedoch ein Wendepunkt, von dem ab mit zunehmendem Größtkorn für gleiche Druckfestigkeit wieder mehr Zement erforderlich wird, gleiche Frischbetonkonsistenz vorausgesetzt.

Bild 4 ist aus Bild 3 abgeleitet; die Linien gleicher Wasserzementwerte wurden interpoliert. Geht man von den die Druckfestigkeit weitgehend bestimmenden Wasserzementwerten aus, so wird bei gleichem Wasserzementwert mit kleiner werdendem Größtkorn z. T. eine größere Druckfestigkeit erhalten. Für die Betone mit einem Größtkorn von 8, 16 und 32 mm und den häufig vorkommenden Wasserzementwerten von 0,50 bis 0,80 mit Zementgehalten zwischen rd. 190 und  $340 \text{ kg/m}^3$  ist die Zunahme jedoch praktisch gering oder völlig unbedeutend, insbesondere bei Wasserzementwerten über 0,50.

Im Bericht wird dazu allgemein gefolgert: Es gibt ein Optimum in der Beziehung zwischen Zementgehalt, Größtkorn und Druckfestigkeit. Dieses ist bei niedrigen Wasserzementwerten bzw.

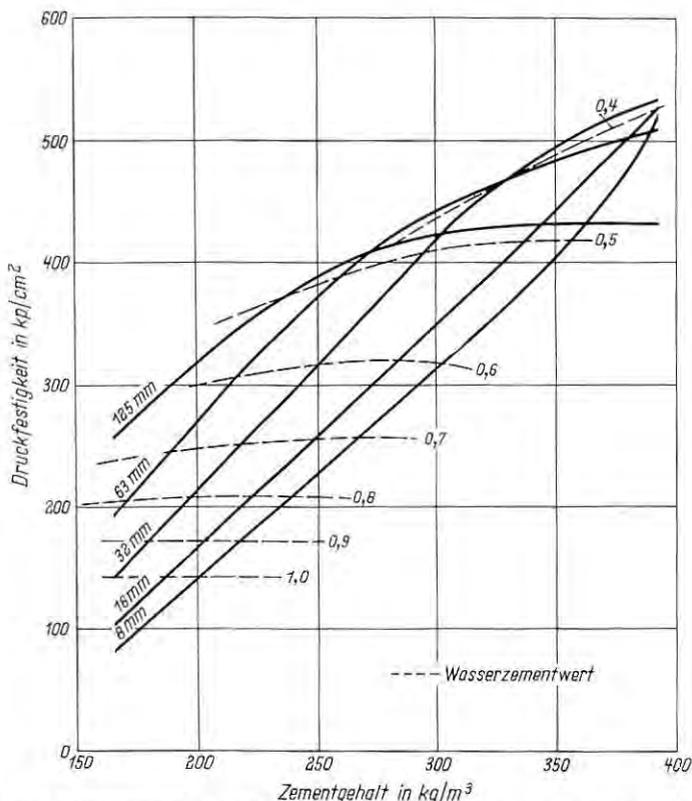


Bild 4 Zementgehalt und Wasserzementwert für eine bestimmte Druckfestigkeit des Betons im Alter von 28 Tagen, abhängig vom Größtkorn (interpoliert nach Versuchsergebnissen in [3]).

höheren Betonfestigkeiten besonders ausgeprägt. Wo dieses Optimum liegt, muß dabei von Fall zu Fall bestimmt werden.

Schließlich sind in Bild 5 die aus allen Einzelwerten ermittelten Druckfestigkeiten in Abhängigkeit vom Größtkorn und vom Wasserzementwert zusammen mit der Kurve nach Walz [4] für die Zementfestigkeitsklasse Z 350 aufgetragen. Die Beziehung aus den Prüfwerten entspricht in der Tendenz dieser Kurve, wobei für die Lage der Prüfwerte eine Reihe von Einflüssen bestimmend ist, siehe [5]. Dabei ist auch zu beachten, daß die Zylinder in feuchtem Zustand geprüft wurden und die eigentliche Normfestigkeit des Versuchszements nicht bekannt ist.

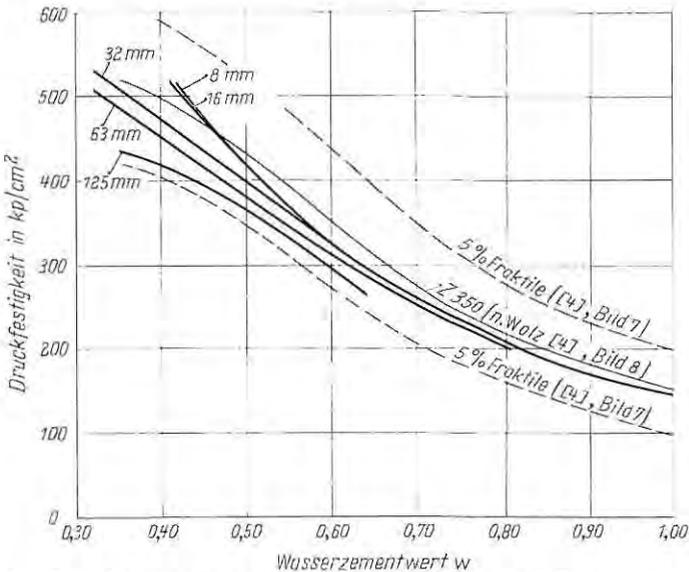


Bild 5 Beziehungen zwischen Betondruckfestigkeiten nach 28 Tagen und dem Wasserzementwert für Betone mit sehr unterschiedlichem Größtkorn (interpoliert nach Versuchsergebnissen in [3])

## 2.2 Untersuchungen von Walker und Bloem [6]

Die stetig zusammengesetzten Korngemische wiesen ein Größtkorn von 9,5; 19,5; 38 und 63 mm auf. Die Kornverteilung des Sandes 0/4,8 mm war immer gleich; der Anteil bis 1 mm im Sand 0/4,8 mm betrug 66 %. Die Sieblinien der Zuschlaggemische sind in Bild 6 wiedergegeben. Der Zement war eine Mischung aus fünf örtlich gebräuchlichen Zementen (wahrscheinlich des Typs I). Der Zementgehalt betrug 223, 335 und 446  $\text{kg/m}^3$  und das Setzmaß 3,5 bis 8 cm (entspricht etwa der Konsistenz K 2 bis K 3). Die Druckfestigkeit wurde an Zylindern 15/30 cm nach 28tägiger Feuchtlagerung ermittelt; sie ist in Bild 7 abhängig vom Wasserzementwert aufgetragen. Daraus geht folgendes hervor:

Mit der Zunahme des Größtkorns fällt bei gleichem Wasserzementwert die Druckfestigkeit etwas kleiner aus, am deutlichsten bei niedrigen Wasserzementwerten.

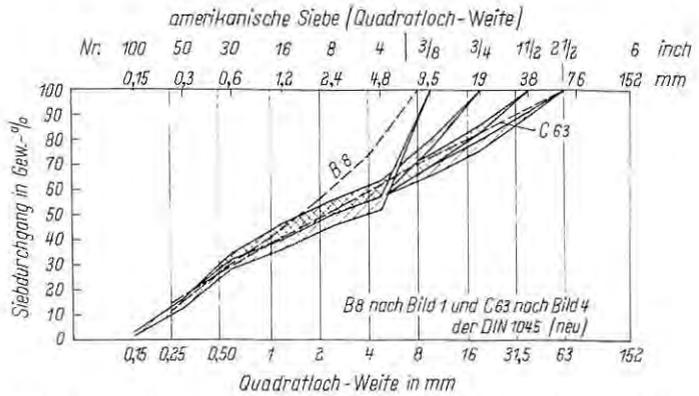


Bild 6 Kornzusammensetzung von Zuschlaggemischen mit verschiedenem Größtkorn (nach [6])

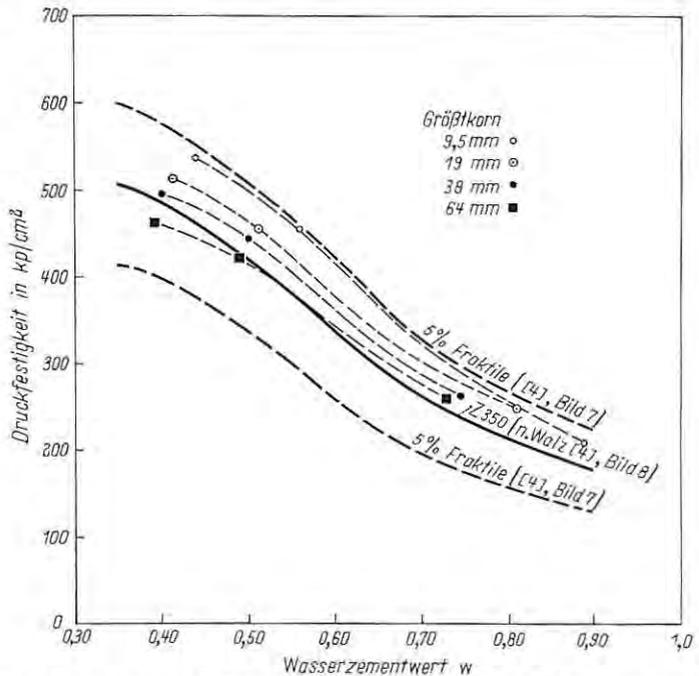


Bild 7 Beziehungen zwischen Belndruckfestigkeiten nach 28 Tagen und dem Wasserzementwert für Betone mit sehr unterschiedlichem Größtkorn (nach Versuchsergebnissen in [6])

Das ebenfalls untersuchte Schwinden nahm mit der Zementleimmenge zu und war dabei unabhängig vom Größtkorn.

Mischungen mit künstlichen Luftporen lieferten allgemein ähnliche Ergebnisse.

Im Vergleich zu der wieder eingetragenen Kurve nach Walz [4] gelten die Hinweise zu Bild 5 entsprechend.

### 2.3 Untersuchungen von Cordon und Gillespie [7]

In den oben beschriebenen Versuchen mit unterschiedlichen Zuschlaggemischen wurde ein bestimmter Konsistenzbereich (Setzmaß 5 cm, entsprechend etwa K 2) bei einem gegebenen Zementgehalt durch den Wassergehalt eingestellt. Hier wurden der Wasserzementwert (0,40; 0,55 und 0,70) gleichgehalten und Betone aller drei Konsistenzbereiche hergestellt. Die Korngemische wiesen ein Größtkorn von 4,8; 9,5; 19,5; 38 und 76 mm auf. Die Sieblinien der Zuschlaggemische sind in Bild 8 dargestellt. Es wurde ein Zement des Typs I verwendet. Die Druckfestigkeit wurde an Zylindern mit 15 cm Durchmesser und 30 cm Höhe geprüft, bei Betonen mit 76 mm Größtkorn an Zylindern mit 20 cm Durchmesser und 41 cm Höhe.

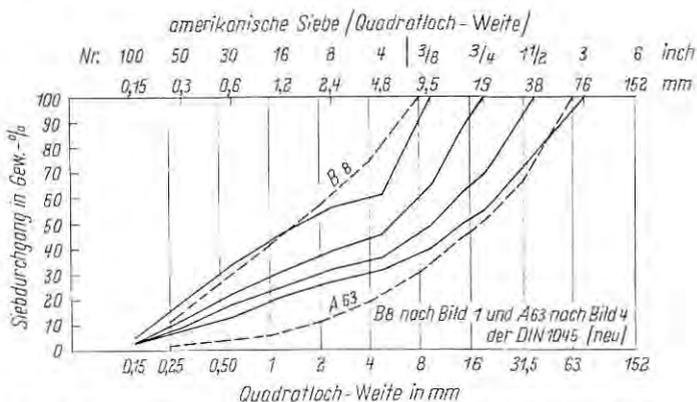


Bild 8 Kornzusammensetzung von Zuschlaggemischen mit verschiedenem Größtkorn (nach [7])

In Bild 9 ist die Druckfestigkeit der Betone mit verschiedenem Größtkorn in Abhängigkeit vom Wasserzementwert dargestellt. Auch hiernach fiel die Druckfestigkeit bei gleichem Wasserzementwert mit der Zunahme des Größtkorns wieder kleiner aus. Bei Beton mit dem Wasserzementwert von 0,40 war dies besonders ausgeprägt, jedoch bei Beton mit den Wasserzementwerten von 0,55 und besonders 0,70 und Zuschlaggemischen mit einem Größtkorn bis 38 mm praktisch nicht mehr sehr bedeutend.

Bei der ebenfalls geprüften Biegezugfestigkeit trat der entsprechende Einfluß des Größtkorns allgemein noch weniger hervor.

### 2.4 Allgemeine Feststellung

Aus den amerikanischen Untersuchungen ergibt sich, daß bei gleichem Wasserzementwert und gleicher Konsistenz die Druckfestigkeit des Betons größer ausfällt, wenn das Größtkorn des Zuschlaggemisches kleiner wird. Die Druckfestigkeitsunterschiede

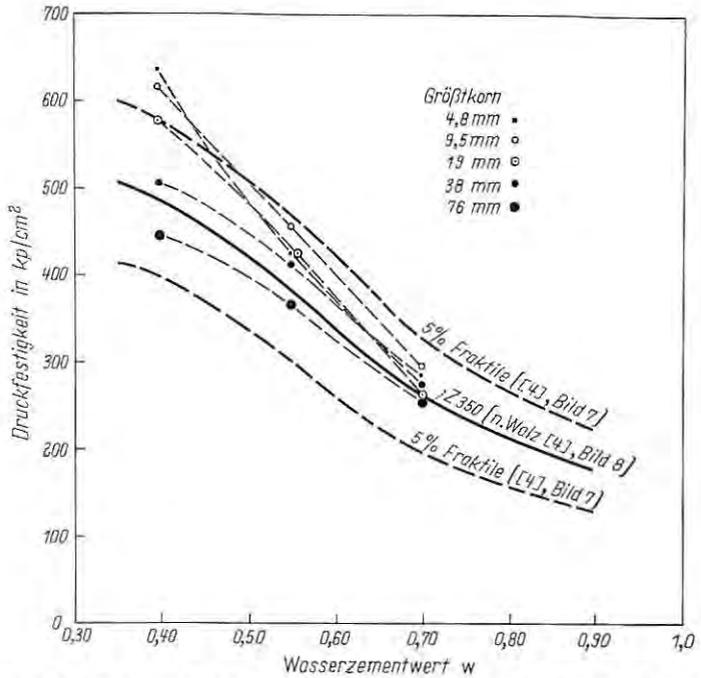


Bild 9 Beziehungen zwischen Betondruckfestigkeiten nach 28 Tagen und dem Wasserzementwert für Betone mit sehr unterschiedlichem Größtkorn (nach [7])

sind im üblichen Bereich von Zuschlaggemischen allerdings verhältnismäßig gering und liegen in ihrer Größe innerhalb von Prüfstreuungen. Nur bei Betonen hoher Festigkeit ist die Tendenz deutlicher.

### 3. Feststellungen aus anderen Berichten

Aus einigen Feststellungen in Berichten über Untersuchungen mit anderer Zielsetzung läßt sich ebenfalls der Einfluß eines unterschiedlichen Größtkorns erkennen. Bei der Prüfung der Schlagfestigkeit von Zylindern 15/30 mm aus Beton mit einem Wasserzementwert von 0,42, etwa gleicher Konsistenz und Zuschlaggemischen mit Sieblinien im günstigen Bereich, aber mit unterschiedlichem Größtkorn, verhielten sich die Druckfestigkeiten bei einem Größtkorn von 50 mm, 30 mm und 7 mm wie 1,00 zu 1,15 zu 1,22. Die Schlagfestigkeiten unterschieden sich sogar noch mehr [8].

Bei Untersuchungen über den Einfluß des Zuschlags auf den E-Modul des Betons [9] verhielt sich die Druckfestigkeit der Mischungen mit verschiedenem Größtkorn bei gleichem Wasserzementwert (0,40; 0,50 und 0,70) und unterschiedlicher Konsistenz bei einem Größtkorn von 15 mm, 7 mm und 3 mm im Mittel wie 1,00 zu 1,05 zu 1,21. (Der Zementleimgehalt der Betone betrug 50 und 67 Vol.-%.)

#### 4. Ursachen für den Einfluß des Größtkorns

Auf Grund der dreiaxialen Druckversuche, die an Betonen mit 19 und 38 mm Größtkorn durchgeführt wurden [7], konnten die Mohrsche Spannungskreise aufgezeichnet werden (Bild 10). Danach wurde festgestellt, daß bei gleichem Wasserzementwert die Kohäsion  $c$  mit kleiner werdendem Größtkorn zunimmt und der Winkel der inneren Reibung  $\varrho$  etwas kleiner wird. Der Änderung der Kohäsion wird dabei der größere Einfluß eingeräumt. Das weist auf die Bedeutung der großen Kornoberfläche bei Gemischen mit kleinerem Größtkorn hin.

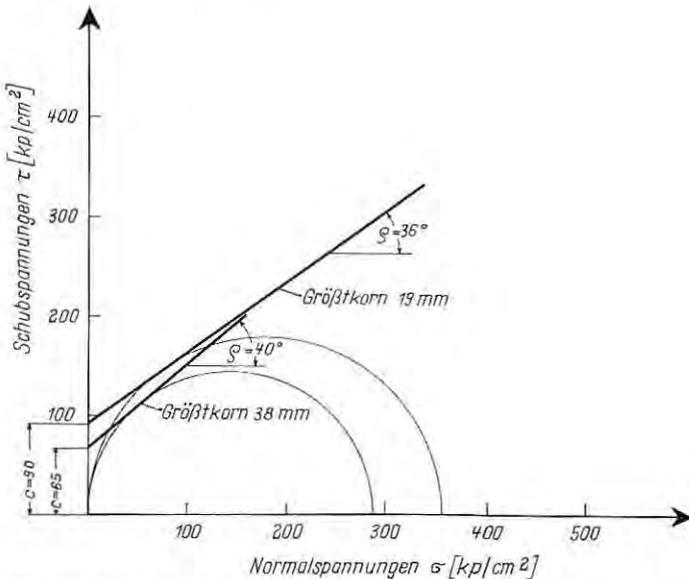


Bild 10 Idealisierte Mohrsche Kreise für Beton aus stetig aufgebauten Zuschlaggemischen mit 19 und 38 mm Größtkorn und einem Wasserzementwert von 0,55; Darstellung von Reibungswinkel  $\varrho$  und Kohäsion  $c$  nach der Gleichung von Coulomb  $\tau = c + \sigma \cdot \tan \varrho$  (nach [7])

Andere Überlegungen führen den Abfall der Festigkeit mit zunehmendem Größtkorn auf die durch große Körner erzwungene Unstetigkeit des Kraftflusses zurück, die zu einem früheren Bruchbeginn führt als beim Beton mit kleinerem Größtkorn [9].

#### 5. Zusammenfassung

Aus umfangreichen amerikanischen Untersuchungen geht u. a. hervor, daß insbesondere bei Beton mit einem kleinen Wasserzementwert die Druckfestigkeit größer ausfällt, wenn bei gleicher Konsistenz das Größtkorn des Zuschlaggemisches abnimmt. Die Beziehungen zwischen Zementgehalt, Wasserzementwert, Größtkorn und Druckfestigkeit sind für etwa gleiche Konsistenz des Betons aus Diagrammen ersichtlich (siehe insbesondere Bild 4).

## SCHRIFTTUM

- [1] Albrecht, W.: Einfluß des Verhältnisses von Probendicke zu Größtkorndurchmesser und Einfluß der Probengröße auf die Betondruckfestigkeit. *beton* 17 (1967) H. 5, S. 173/181.
- [2] Walz, K.: Beton und Zementdruckfestigkeit in den USA und ihre Umrechnung auf deutsche Prüfwerte. *Betontechnische Berichte* 1962, Beton-Verlag, Düsseldorf 1963, S. 123/140.
- [3] Higginson, E. E., G. B. Wallace und E. L. Ore: Effect of maximum size aggregate on compressive strength of mass concrete. Symposium on Mass Concrete, ACI-Publication SP - 6, Amer. Concr. Inst., Detroit 1963, S. 219/256.
- [4] Walz, K.: Herstellung von Beton nach DIN 1045. Beton-Verlag, Düsseldorf 1971.
- [5] Walz, K.: Beziehung zwischen Wasserzementwert, Normfestigkeit des Zements (DIN 1164, Juni 1970) und Betondruckfestigkeit. *Betontechnische Berichte* 1970, Beton-Verlag, Düsseldorf 1971, S. 165/178.
- [6] Walker, S., und D. L. Bloem: Effects of aggregate size on properties of concrete. *Proc. Amer. Concr. Inst.* 57 (1960/61) S. 283/298.
- [7] Cordon, W. A., und H. A. Gillespie: Variables in concrete aggregates and portland cement paste which influence the strength of concrete. *Proc. Amer. Concr. Inst.* 60 (1963) S. 1029/1052.
- [8] Dahms, J.: Die Schlagfestigkeit des Betons. *Betontechnische Berichte* 1968, Beton-Verlag, Düsseldorf 1969, S. 49/82.
- [9] Manns, W.: Über den Einfluß der elastischen Eigenschaften von Zementleim und Zuschlag auf die elastischen Eigenschaften von Mörtel und Beton. *Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen* Nr. 2112, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1970.