

4 Betone mit kleinem Größtkorn – Verarbeitungsfreundliche Betone für alle Bauaufgaben

Dipl.-Ing. Jens Uwe Pott

4.1 Einleitung

Speziell im norddeutschen Raum gibt es auf Grund der natürlichen Verteilung von Kies und Sand in den regionalen Lagerstädten erhebliche Mengen an Überschusssanden. Die sinnvolle Verwertung dieser natürlichen Ressourcen ist aus ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten dringend geboten.

Dieser Grund hat in der Vergangenheit wiederholt zu Entwicklungen von sandreichen Betonen geführt. Als sandreich werden dabei Betone bezeichnet, die Sieblinien oberhalb der Regelsieblinien C aufweisen [Kordina-86, Drinkgern-89, Sievers-91, Schießl-03]. Hohe w/z-Werte, ausgeprägte Schwinderscheinungen und das Abweichen von den zulässigen Sieblinien der alten DIN 1045:1988 haben jedoch eine Nutzung dieser Betone in der Vergangenheit ökonomisch und baupraktisch unrentabel gemacht. Auch wenn sandreiche Betone in neuerer Zeit durch die Weiterentwicklungen in der Betonchemie wesentlich bessere Eigenschaften aufweisen als in der Vergangenheit, fehlt bislang der entscheidende technische Vorteil, der sandreiche Betone für die Praxis interessant macht.

Mit Blick auf die Entwicklung neuer Hochleistungsbetone, wie z. B. dem Selbstverdichtenden Beton, kann man feststellen, dass es eine deutliche Tendenz zu weicheren Frischbetonkonsistenzen, höheren Mehlkorngelalten und einer Reduzierung des Größtkorns gibt. Dadurch werden insbesondere die Verarbeitungseigenschaften der Betone positiv beeinflusst. Mitunter ist das Betonieren komplexer Bauteilgeometrien oder von Bauteilen mit hohem Bewehrungsgrad überhaupt erst durch diese neuen Betone möglich geworden. Der Einsatz solcher Hochleistungsbetone kommt jedoch aus ökonomischen wie auch aus technologischen Gründen nur für einen kleinen Teil der Bauaufgaben in Frage, da es sich in der Regel um hoch spezialisierte und sehr sensible Betone handelt, die noch dazu einen erheblich höheren Überwachungsaufwand erfordern. Dennoch ist auch für die breite Masse der Bauaufgaben eine einfachere Verarbeitbarkeit von Interesse.

Die entscheidenden Vorteile der hier vorgestellten Betone mit kleinem Größtkorn, sowohl gegenüber Normalbetonen als auch gegenüber den vorgenannten sandreichen Betonen, ergeben sich durch einen höheren Mehlkorngelalt und den vollkommenen Verzicht auf Gesteinskörnungen mit einem Größtkorn über 8 mm. So wird z. B. die Gefahr des Entmischens reduziert, es ergibt sich eine deutlich verbesserte Pumpfähigkeit und das Glätten von Oberflächen fällt einfacher. Mit diesen Vorteilen lassen sich vereinfachte und robustere Einbaumethoden, z. B. mit relativ kompakten und günstigen Betonpumpen, vergleichbar mit Estrichpumpen, entwickeln. Eine Begrenzung der Fallhöhe oder der Einsatz von speziellen Fußmischungen beim Betonieren hoher Bauteile kann ggf. entfallen. Auch die Wahl einer besonderen

Rezeptur zum Betonieren filigraner Bauteile mit hohem Bewehrungsgrad wird überflüssig. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, mit sehr wenigen Betonsorten auszukommen, was den logistischen Aufwand sowie die Verwechslungsgefahr und Fehleranfälligkeit beim Betonieren verringert, während sich die Flexibilität hinsichtlich kurzfristiger Änderungen im Bauablauf erhöht. Praxiserfahrungen haben darüber hinaus gezeigt, dass der erforderliche Aufwand zur Nachbearbeitung und Beseitigung von Fehlstellen bei Betonen mit kleinem Größtkorn deutlich geringer ist. Auch bei der Herstellung von Sichtbeton werden bessere Ergebnisse erwartet als bei herkömmlichen Normalbetonrezepturen.

4.2 Ziele

Ziel des hier dargestellten Forschungsprojekts war der Einstieg in die Entwicklung eines Betons mit kleinem Größtkorn und hohem Flugascheanteil, der aufbauend auf den neueren Entwicklungen der Bauchemie das breite Marktsegment der Normalbetone bedient.

Mit einer grundsätzlich anderen Philosophie als bei der Entwicklung spezialisierter, sensibler Hochleistungsbetone wird hier die Entwicklung eines robusten Betons angestrebt. Wie oben beschrieben soll es sich nicht um einen sandreichen Beton mit einer Sieblinie oberhalb der Regelsieblinie C handeln. Statt dessen soll bei einer Verringerung des Größtkorns eine ausgewogene Sieblinie, z. B. nahe B8 verwendet werden. Dadurch können die Vorteile einer günstigen Korngrößenverteilung und besseren Packungsdichte der Gesteinskörnung zur Steigerung der Festigkeit und Verringerung des Leimbedarfs genutzt werden. Die sich aus den neueren Entwicklungen der Bauchemie ergebenden betontechnologischen Möglichkeiten hinsichtlich stark verflüssigender Zusatzmittel werden dazu genutzt, ein möglichst breites Anwendungsfeld zu erschließen und dabei dennoch unempfindlich gegen übliche schwankende Einflüsse aus Produktion und Verarbeitung zu sein.

Durch den Einsatz eines relativ hohen Anteils Flugasche und leistungsstarker Fließmittel kann eine weiche Konsistenz erreicht werden, ohne den Zementgehalt und die Hydratationswärme nennenswert zu erhöhen [Thielen-97]. So können Schwinderscheinungen gering gehalten werden. Darüber hinaus wirkt sich der hohe Flugaschegehalt günstig auf den Zusammenhalt der Mischung aus, reduziert also die Gefahr des Blutens und hält den Wasseranspruch in vertretbaren Grenzen. So lassen sich bessere, gleichmäßige Oberflächenqualitäten bei weniger Nacharbeiten erreichen. Durch eine ausgeprägte Nacherhärtung sorgt die Flugasche dafür, dass die Festigkeitsanforderungen der neuen Norm auch bei niedrigen Zementgehalten und $(w/z)_{eq}$ -Werten nahe den höchstzulässigen Werten nach 56 Tagen oder 90 Tagen zielsicher erreicht werden. Unterstützt wird diese puzzolanische Wirkung durch eine zusätzliche physikalische festigkeitssteigernde Wirkung aus der Optimierung der Packungsdichte, da die Flugasche gut geeignet ist, die in der Sandsieblinie verbleibenden Hohlräume auszufüllen [Lutze-04, DAfStb-448]. Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit sollen die zu entwickelnden Feinbetone für folgende Expositionsklassen gemäß DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 [1045/2-01] anwendbar sein:

XC1 – XC4	XD1 – XD2	XS1 – XS2	XA1 – XA2
XF1 + XF3	XM1		

Die vollständige Umsetzung dieser Ziele soll zu einer Grundrezeptur führen, die fast alle Anforderungen des allgemeinen Hoch- und Industriebaus erfüllt. Für Anwendungen mit reduzierten Anforderungen (z. B. Außen- oder Innenbauteile im Wohnungsbau) sollen aus der oben beschriebenen Grundrezeptur durch systematische Modifikation weitere Mischungen abgeleitet werden, die in diesen Fällen wirtschaftlich rentabler sind. Allgemein wird für alle Rezepturen angestrebt, dass Mehrkosten z. B. aus der Verwendung von Betonzusatzmitteln weitgehend durch Einsparungen im Bereich der Gesteinskörnung und speziell durch die Vereinfachung von Bauabläufen und des Qualitätsmanagements kompensiert werden.

Die im Folgenden vorgestellte erste Forschungsphase diente dem Einstieg in die Problematik. Durch eine gezielte Auswahl exemplarischer Tastversuche wurde die prinzipielle Möglichkeit zur Herstellung von Feinbetonen mit den vorgenannten Eigenschaften nachgewiesen. Darüber hinaus sollte das Programm einen ersten Einblick in das Leistungsspektrum dieser Betone geben und den weiteren Forschungsbedarf aufzeigen.

4.3 Rezepturen und Versuche

Im Rahmen der ersten Forschungsphase wurden Tastversuche an ausgewählten Kombinationen unterschiedlicher Flugaschen und Sande durchgeführt. Dazu wurden insgesamt 20 unterschiedliche Betonrezepturen untersucht, davon 16 Betone mit kleinem Größtkorn (8 mm) sowie als Referenz drei Normalbetone mit 32 mm Größtkorn und ein herkömmlicher Sandbeton mit 32 mm Größtkorn.

Vor dem Hintergrund der großen Anzahl zu variierender Parameter galt es, die Rezepturen so auszuwählen, dass sie einerseits eine möglichst weite Bandbreite von Einflussfaktoren erfassen und andererseits zu Kleinserien zusammengefasst werden können, die es erlauben, Tendenzen mit ausreichender Zuverlässigkeit ablesen zu können. Um dieses zu erreichen, kamen insgesamt drei Basisrezepturen (BR 1-3) (vgl. Tabelle 4.1) zur Anwendung. Hierbei handelte es sich um eine Rezeptur für die Referenzmischungen und zwei Rezepturen für die Mischungen mit Größtkorn 8 mm, je eine mit einem $(w/z)_{eq}$ -Wert von 0,6 bzw. 0,5. Die Berechnung des äquivalenten Wasser-Zementwertes $(w/z)_{eq}$ erfolgt auf Grundlage der DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 [1045/2-01] mit einem Anrechenbarkeitsfaktor $k_f = 0,4$ und einem maximalen anrechenbaren Flugascheanteil vom Zementgewicht von $f = 0,33$ z. Auf eine normgemäße Berücksichtigung der Fließmittelzugabe bei der Ermittlung der $(w/z)_{eq}$ -Werte wurde bewusst verzichtet, da der Untersuchungsschwerpunkt in der Systematik der Konsistenzsteuerung durch Fließmittelzugabe lag. Für einen Praxiseinsatz müssen die angegebenen Rezepturen also noch geringfügig modifiziert werden.

Ausgehend von diesen Basisrezepturen wurden durch Zugabe verschiedener Flugaschemengen im Austausch gegen Gesteinskörnung sowie Variation der Flugasche- und Sandart unterschiedliche Mischungen hergestellt.

Tabelle 4.1: Daten zu den Basisrezepturen

Eigenschaft /Stoff	BR 1	BR 2	BR 3
w/z _{eq} -Wert	0,60	0,60	0,50
Größtkorn [mm]	32	8	8
Zementart	CEM I 32,5 R	CEM I 32,5 R	CEM I 32,5 R
Zementmenge [kg/m ³]	270	270	270
Wasser [kg/m ³]	176	183	153
Fließmittel	FM 1	FM 2	FM 2

In Tabelle 4.2 sind die wichtigsten Daten zu den Mischungen zusammengestellt. Ferner erfolgte eine systematische Gliederung der Versuche:

Tabelle 4.2: Übersicht über die hergestellten Betonrezepturen

Rezeptur	Größtkorn		(w/z) _{eq} -Wert		Flugasche						Gesteinskörnung			Konsistenz					
	32 mm	8 mm	0,6	0,5	FA 1	FA 2	FA 3	90 kg/m ³	120 kg/m ³	150 kg/m ³	180 kg/m ³	Andere Menge	SA 1	SA 2	Sandreich	F 3	F 4	F 5	F 6
R 1-1	X		X				X					X	X			X			
R 1-2	X		X				X					X	X			X	X	X	(X)
R 2	X		X			X						X	X			X		X	X
R 3	X		X		X							X	X			X		X	X
R 4	X		X		X							X			X	X			
R 5		X	X		X			X					X			X			
R 6		X	X				X						X			X	X	X	X
R 7		X	X			X			X				X			X			
R 8		X	X		X			X						X		X			
R 9		X	X				X						X			X	X		
R 10		X	X			X			X				X			X			
R 11		X		X	X			X					X			X			
R 12-1		X		X			X						X			X			
R 13		X		X		X			X				X			X			
R 14		X	X				X	X					X			X		X	X
R 15		X	X				X			X			X				X		X
R 16		X	X				X				X		X				X		X
R 12-2		X		X			X	X					X			X	X	X	X
R 17		X		X			X			X			X			X	X	X	X
R 18		X		X			X				X		X			X	X	X	X
R 19		X	X		X							X	X			X			
R 20		X	X		X							X	X				X		

Das gewählte Versuchsprogramm umfasste u. a. folgende Prüfungen bzw. Beobachtungen, die z. T. nur exemplarisch an einigen Mischungen vorgenommen wurden:

- Frischbeton:
 - Konsistenz
 - Entmischen
 - Luftgehalt/ Rohdichte
- Festbeton:
 - Festigkeit nach 1, 2, 28, 56, 90 Tagen
 - CIF-Test
 - Probekörper zur Beurteilung der Oberflächeneigenschaften

4.4 Untersuchungsergebnisse

Wie schon erwähnt, haben die durchgeführten Versuche im Wesentlichen einen exemplarischen Charakter. Es liegen einzelne Messwerte und kleine Messreihen vor, die tendenzielle Aussagen ermöglichen sollen. Die weitere Verifizierung und die Bestimmung von Gültigkeitsbereichen der hier geschilderten Zusammenhänge müssen durch weitere, vertiefte Forschung erfolgen.

4.4.1 Konsistenz

Durch den Einsatz der verwendeten Fließmittel auf Basis von Polycarboxylatethern können die Konsistenzen unabhängig vom $(w/z)_{eq}$ -Wert in weiten Bereichen eingestellt werden. Für fließfähige Konsistenzen (F5 – F6) steigt der Fließmittelbedarf für Feinbetonrezepturen allerdings überproportional an (vgl. Bild 4.1).

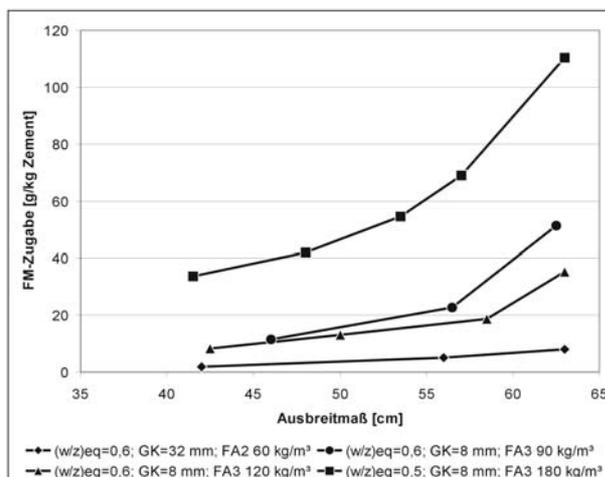


Bild 4.1: Relation zwischen Fließmittelzugabe und Ausbreitmaß

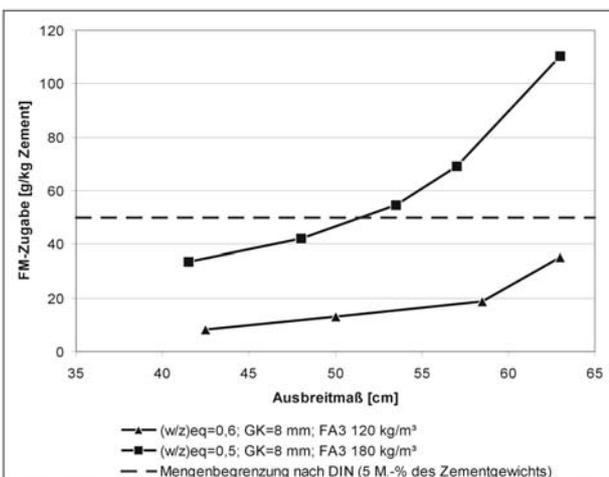


Bild 4.2: Begrenzung der Fließmittelzugabe nach DIN 1045-2

Nach DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2 [1045/2-01] ist die Verwendung einzelner Zusatzmittel auf 5 M.-% vom Zement beschränkt. Dies ist auch unter Gesichtspunkten der Wirtschaftlichkeit für einen Beton mit breitem Anwendungsspektrum eine sinnvolle Begrenzung. In den hier durchgeführten Versuchen wurde deutlich, dass eine effiziente Nutzung der Fließmittel einen Mindestwassergehalt erfordert, der erheblich von dem Feinstoffgehalt und von der Art der Feinstoffe abhängt. Bei Reduzierung des $(w/z)_{eq}$ -Wertes von 0,6 auf 0,5 war ein unverhältnismäßiger Mehrbedarf an Fließmittel festzustellen, der, wie in Bild 4.2 dargestellt, die Anwendungsgrenzen der Norm deutlich überstieg.

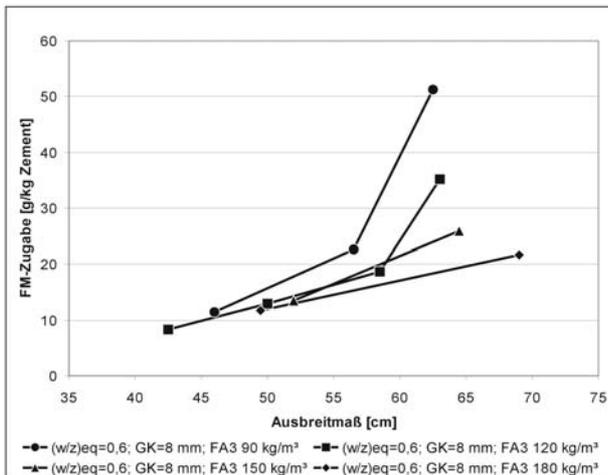


Bild 4.3: Reduzierung des Fließmittelbedarfs durch Erhöhung der Flugaschezugabe

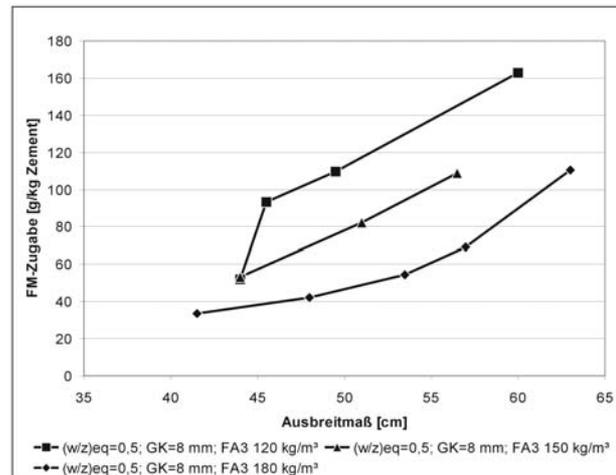


Bild 4.4: Reduzierung des Fließmittelbedarfs durch Erhöhung der Flugaschezugabe

Durch eine Erhöhung des Flugaschegehalts konnten, wie für andere Betone bereits bekannt, auch hier sehr positive Einflüsse auf die Konsistenz bzw. den Fließmittelbedarf beobachtet werden. Dieses gilt für Feinbetone mit einem $(w/z)_{eq}$ -Wert von 0,6 (Bild 4.3) und 0,5 (Bild 4.4).

Auf Grund der extrem hohen erforderlichen Fließmittelzugaben bei den Mischungen mit $(w/z)_{eq}$ -Wert von 0,5 (siehe Abbildung 4.4) lassen die durchgeführten Versuche vermuten, dass ein erheblicher Anteil der Konsistenzveränderung auf den Wassergehalt und nicht allein auf die Wirkung des Fließmittels zurückzuführen ist. Daher erscheint eine moderate Erhöhung des Wassergehalts und damit verbunden auch des Zementgehalts sinnvoll, da bei Einhaltung eines feinstoffspezifischen Mindestwassergehalts die Fließmittel ihre Wirksamkeit besser entfalten. Genauere Untersuchungen sollten zu diesem Punkt noch erfolgen.

4.4.2 Entmischungerscheinungen

Alle Mischungen haben bis zur Konsistenzklasse F5 durchweg keine oder nur leichte Entmischungerscheinungen in Form von Blüten und Wolkenbildung an der Oberfläche aufgewiesen. Bei einer weiteren in der Regel erheblichen Fließmittelzugabe bis zum Erreichen der Konsistenzklasse F6 haben sich hingegen meist sehr deutliche Entmischungerscheinungen eingestellt. Teilweise war das Erreichen der Konsistenz F 6 mit vertretbaren Fließmittelgehalten gar nicht möglich,

oder der Beton war nicht mehr verarbeitbar. Mit steigendem Flugaschegehalt konnte jedoch eine deutliche Verbesserung der Mischungsstabilität auch bei fließfähigen Konsistenzen beobachtet werden. Dieses deckt sich mit Erfahrungen aus der Forschung an Selbstverdichtenden Betonen, bei denen ebenfalls ein hoher Feinkornanteil die Mischungsstabilität positiv beeinflusst.

Bei der Herstellung von Probekörpern kam es bei allen Zusammensetzungen durch das Verdichten zu mäßig starken dunklen Wasser-Feinststoff-Absonderungen an der Oberseite der Probekörper.

Zur Beurteilung der Sedimentationsneigung wurden aus Mischungen der Rezepturen R 7 und R 10 Zylinder hergestellt, die im erhärteten Zustand längs aufgesägt wurden. Ungeachtet einer minimalen Häufung der groben Gesteinskörnung im unteren Bereich liegt bei beiden Mischungen eine gute, weitgehend homogene Verteilung der Gesteinskörner vor (Bild 4.5).

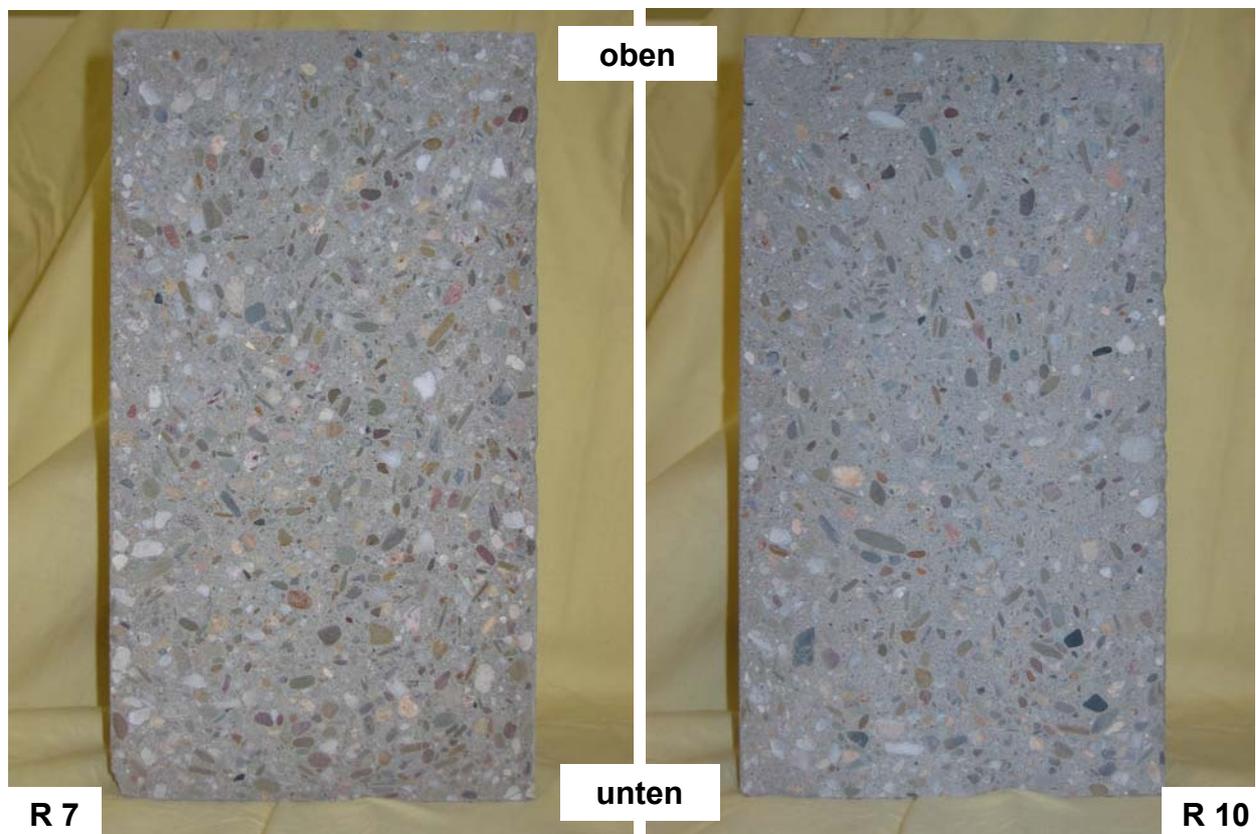


Bild 4.5: Aufgeschnittene Zylinder zur Beurteilung der Sedimentationsneigung

4.4.3 Luftgehalt

Im Zuge der Frischbetonuntersuchungen wurde an den hier untersuchten flugaschereichen Feinbetonen ein relativ geringer Luftporengehalt von 0,8-1,5 Vol.-% bei $(w/z)_{eq}$ -Werten von 0,6 und 1,0-2,5 Vol.-% bei $(w/z)_{eq}$ -Werten von 0,5 ermittelt. Auch die gemessenen Frischbetonrohddichten belegen geringe Luftgehalte. Dieses steht den aus der Literatur (z.B. [Thielen-97]) bekannten Erfahrungen, dass sandreiche Betone relativ hohe Luftgehalte haben, entgegen.

4.4.4 Druckfestigkeit

Wie die folgenden Diagramme zeigen, sind trotz des geringen Stichprobenumfangs (bei allen Werten handelt es sich in der Regel um Einzelmessungen) überwiegend gleichmäßige Festigkeitsentwicklungen beobachtet worden.

Für alle Untersuchungen zeigt sich einheitlich, dass die unterschiedlichen Flugaschen zwar einen individuellen Beitrag zur Festigkeitsentwicklung leisten, die Ergebnisse jedoch in ähnlichen Größenordnungen (vgl. Bild 4.6) liegen. Da die Rezepturen robust angelegt sein sollen und deshalb nicht das Ziel ist, das Wirkmaximum jeder Betonkomponente voll auszunutzen, scheint auf Basis der drei verwendeten Flugaschen unter dem Gesichtspunkt der Festigkeiten eine Beschränkung auf einzelne Flugaschetypen nicht erforderlich. Inwieweit auch andere Steinkohlenflugaschen für die Festigkeit dieser Betone als weitgehend gleichwertig einzustufen sind, muss sich aus weiteren Untersuchungen ergeben.

Deutliche Einflüsse ergaben sich hingegen aus der Wahl des Sandes. Während die Ergebnisse der Würfeldruckfestigkeitsprüfungen bei fast allen Betonen mit $(w/z)_{eq}$ -Wert von 0,6 bei Verwendung von Sand 1 nach 28-Tagen eine Festigkeit von 40 bis 50 N/mm² und nach 56-Tagen von 50 bis 60 N/mm² aufweisen, lagen diese Werte bei Verwendung von Sand 2 im Schnitt ca. 10 N/mm² niedriger. Die Ursache dafür liegt wahrscheinlich darin, dass Sand 2 eine wesentlich höhere Fließmitteldosierung erforderte, die zu einer Erhöhung des w/z -Wertes geführt hat. Bild 4.7 zeigt die Einflüsse exemplarisch an zwei Rezepturen, die jeweils einmal mit Sand 1 und einmal mit Sand 2 hergestellt wurden.

Hinsichtlich des Einflusses der Sande auf die Feinbetoneigenschaften und seiner möglichen Quantifizierung im Vorfeld, sind also weitere Untersuchungen erforderlich. Allgemein kann aber festgestellt werden, dass die erreichten Druckfestigkeiten in der Regel ausreichen, um die Anforderungen aus den meisten Bauvorhaben zu erfüllen.

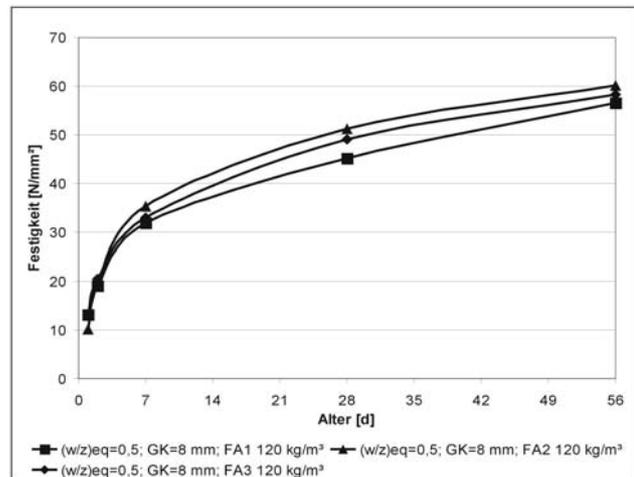


Bild 4.6: Einfluss unterschiedlicher Flugaschen auf die Betondruckfestigkeit

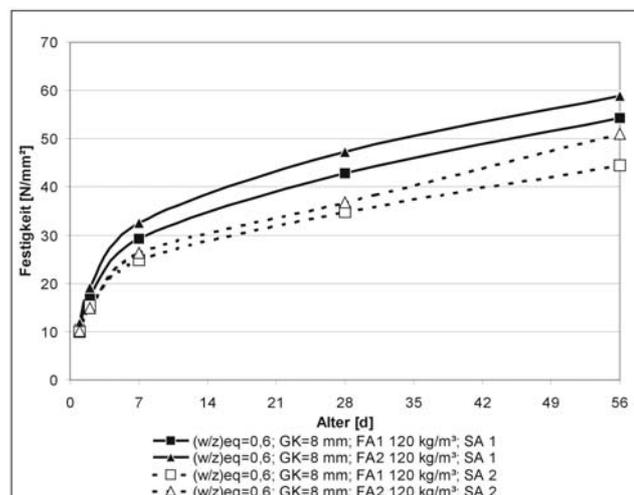


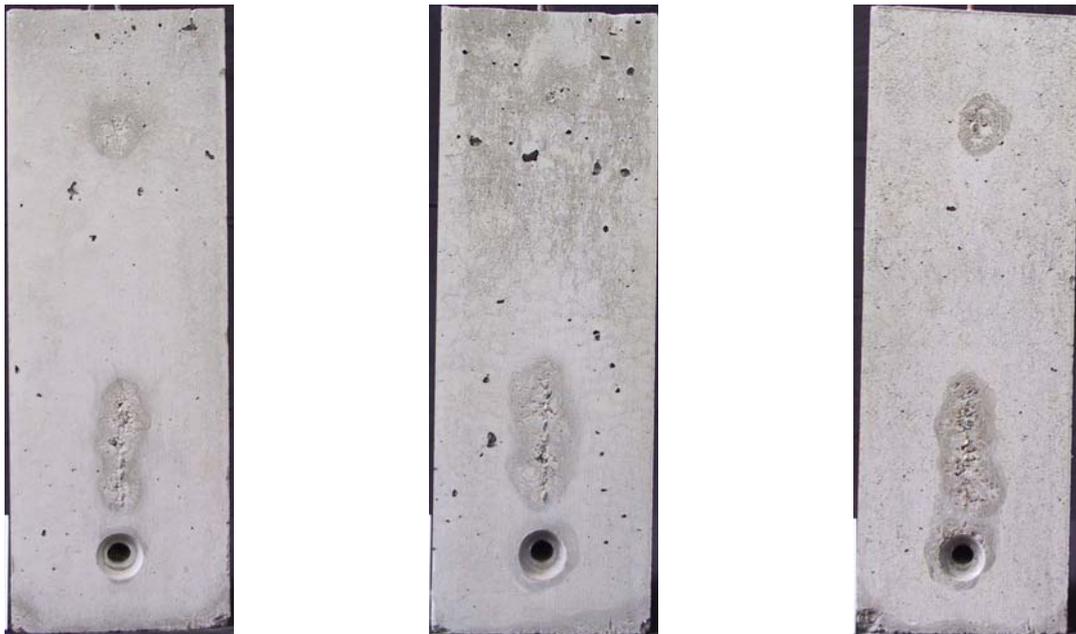
Bild 4.7: Einfluss unterschiedlicher Sande auf die Betondruckfestigkeit

4.4.5 Frost-Tau-Wechselbeanspruchung

Bei der Prüfung der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung mit dem CIF-Test konnten durchgängig gute Ergebnisse erzielt werden. Die innere Schädigung, bestimmt durch Ultraschallmessung des dynamischen E-Moduls während 56 Frost-Tau-Wechseln, ist im Rahmen der üblichen Messgenauigkeit kaum nachweisbar und die Abwitterung liegt für alle untersuchten Rezepturen mehr als 50 % unter dem zulässigen Grenzwert.

4.4.6 Oberflächenqualität

Im Hinblick auf eine mögliche Eignung der Feinbetone mit hohem Flugascheanteil zur Verwendung als Sichtbeton wurden aus drei Feinbetonrezepturen Sichtbetonprobekörper hergestellt. Die dabei erzielten Oberflächenqualitäten waren sehr unterschiedlich. Eine pauschale Bewertung flugaschereicher Feinbetone als geeignet oder ungeeignet für Sichtbetonbauteile ist daher bislang nicht möglich. Wie aus den folgenden Bildern deutlich wird, besteht jedoch noch ein erhebliches Optimierungspotential. Keine der hier ausgeführten Mischungen hätte gehobene Sichtbetonanforderungen erfüllt.



Bilder 4.8: Probekörper von drei unterschiedlichen Feinbetonrezepturen, jeweils aus der gleichen Schalung mit Ankerstelle und definierten Fehlstellen (Schlitz und Loch)

4.5 Zusammenfassung und Ausblick

Es zeigt sich somit, dass das gewählte Konzept zur Herstellung eines Feinbetons für das breite Marktsegment der Normalbetone zahlreiche Erfolg versprechende Ansätze bietet. Die bislang entwickelten Rezepturen waren für Bauteile in schwach bis mäßig aggressiven Umgebungsbedingungen geeignet (z.B. XC 4, XD 1, XS 1, XA 1, XF 1 und XF 3). Durch eine leichte Erhöhung des Zementgehaltes um ca. 20 kg/m³ können die

entwickelten Betone auch für die Expositionsclassen XD 2, XS 2 und XA 2 (w/z_{eq} -Wert = 0,5) angewendet werden. Schon damit könnte ein nicht unerheblicher Teil der allgemein anfallenden Betonieraufgaben unter Ausnutzung der beschriebenen Verarbeitungsvorteile mit flugaschereichen Feinbetonen durchgeführt werden. Zur umfassenden Beschreibung des Eigenschaftsprofils dieser Betone, sowie zur Erschließung weiterer Anwendungsbereiche, z. B. im Industriebau, sind jedoch vertiefte Untersuchungen erforderlich. Daher wurde bereits ein auf den vorliegenden Ergebnissen aufbauendes Forschungsvorhaben beantragt, dass zahlreiche noch offene Fragen beantworten soll und die Entwicklung einer Entwurfssystematik für Feinbetone unterschiedlicher Anforderungsklassen zum Ziel hat.

4.6 Projektförderung

Das dargestellte Forschungsprojekt wurde aus Mitteln der VGB-Forschungstiftung gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

4.7 Literatur

- [1045/2-01] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.). Berlin, Köln: Beuth, Juli 2001; in Verbindung mit DIN EN 206-1 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000. Deutsches Institut für Normung (Hrsg.). Berlin, Köln: Beuth, 2000
- [DAfStb-448] DAfStb Heft 448: Härdtl, R.: Veränderung des Betongefüges durch die Wirkung von Steinkohlenflugasche und ihr Einfluß auf die Betoneigenschaften. Beuth Verlag 1995
- [Drinkgern-89] Drinkgern, G.: Wasseranspruch sandreicher Betone – Einfluß der Sieblinie des Sandes auf die Konsistenz. Beton 9/89 S. 381 – 383, 1989
- [Kordina-86] Kordina, K., Ertingshausen, H.: Beton aus sandreichen Korngruppen - Abschlußbericht. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1986
- [Lohaus-04] Lohaus, L.; Pott, J. U.: Feinbeton mit Flugasche - Abschlussbericht zum VGB-Forschungsvorhaben. Institut für Baustoffe, Universität Hannover, 2004
- [Lutze-04] Lutze, D. vom Berg, W. (Hrsg.): Handbuch Flugasche im Beton. Verlag Bau + Technik, Düsseldorf, 2004
- [Schießl-03] Schießl, P., Wiegrink, K.-H., Spengler, A.: Beton mit Überschusssanden – Abgrenzung und Einsatzgebiete. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2003
- [Sievers-97] Sievers, H.: Sandreiche Betonzusammensetzungen. Beton 1/97 S. 20 – 25, 1997
- [Thielen-97] Thielen, G., Spanka, G., Grube, H.: Regelung der Konsistenz von Beton durch Fließmittel. Beton 8/97 S. 470-475, 1997