

Zielsichere Herstellung von weichen Betonen durch Mehlkornoptimierung

Jürgen Macht, Peter Nischer

Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie

A – 1030 Wien, Reisnerstr. 53

Zusammenfassung

Für die Herstellung von Bohrpfehlen und Schlitzwänden werden üblicherweise Betone mit einem Ausbreitmaß f von etwa 60 cm eingesetzt. Bei beiden Betonanwendungen kommt es immer wieder zu Verarbeitungsproblemen, insbesondere durch Entmischungen beim Einbau. Durch ein Absetzen der groben Gesteinskörnung nach dem Verdichten kommt es ausserdem zu Wasser- und Feinteilanreicherungen in den oberflächennahen Bereichen. Dies führt zu Qualitätsproblemen und zu zusätzlichen Kosten für die Instandsetzung. Ein Frischbeton kann als stabil bezeichnet werden, wenn diese Probleme nicht entstehen. Die Erhöhung der Stabilität ist ein wichtiges Thema für diese Betone – dies kann durch Mehlkornoptimierung erreicht werden.

1. Einleitung

Bei der Betonierung hoher Bauteile (z.B. Bohrpfehle und Schlitzwände) mit weichem Beton kann beim und nach dem Verdichten, insbesondere bei nicht entsprechender Sieblinie, durch die im Beton wirkende Auflast eine Anreicherung von Wasser und Feinteilen in den oberen Bereichen entstehen. Zur Prüfung dieser Anreicherung haben sich Druckpressverfahren bewährt.

Das von der bpv Himberg entwickelte Gerät für diesen Versuch besteht aus einem druckdichten 10 l Topf (Eisenhut und Pekarek: 2007). Während der Prüfung wird der gewünschte Luftdruck (i. a. 3 bar für 15 Minuten) mit einem Druckventil geregelt und mit einem geeichten Manometer gemessen. Nach Prüfende wird der Deckel abgenommen und der Wassergehalt des Betons in der oberflächennahen Schicht (d.h. die obersten 2 cm) durch trocknen geprüft.

2. Versuchsprogramm und Ergebnisse

Untersucht wurden Betone mit einem Größtkorn $D_{max}=16$ mm sowie einem Wassergehalt von 208 l/m³. Die Zement-, Zusatzstoff- und Fließmittelgehalte sowie die Ausbreitmaße der Betone sind in Tab. 1 zusammengestellt, die Sieblinien in Tab. 2. Die Korngrößenverteilungen des Mehlkorns inklusive der Feinteile der Gesteinskörnung erfolgte mittels FPIA (Flow Particle Image Analyse, für Details siehe (Macht und Nischer, 2006)), die Korngrößenverteilungen der untersuchten Zemente und Zusatzstoffe sind in Abb. 1 dargestellt. Die „Referenz-Sieblinien“ in Tab. 2 für Beton und für das Mehlkorn in Abb. 2 wurden gemäß (Macht und Nischer, 2006) ermittelt.

Nach augenscheinlicher Beurteilung waren mit Ausnahme von Beton 4 und Beton 10 alle Betone an der Grenze zur Entmischung und hätten keine größere Wasser oder Fließmittelbeigabe vertragen.

Die beim Druckpressversuch gemessene Wasseranreicherung (in Prozent bezogen auf die Anmachwassermenge) ist in Abb. 2 dargestellt und in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Ausbreitmaß, Fließmittel- und Mehlkorngelalt, Wasseranreicherung der untersuchten Betone

Beton	Ausbreit- maß [cm]	Fließ- mittel [kg/ m³]	Zement		Zusatzstoff		Wasseran- reicherung [%]
			Typ*	[l/m³]	Typ**	[l/m³]	
Nr. 1	64	1,96	1	93	-	-	56
Nr. 2	66	1,96	2	93	-	-	13
Nr. 3	66	1,96	3	93	-	-	25
Nr. 4	61	4,60	2	87	A	6	5
Nr. 5	66	5,60	2	87	A	6	14
Nr. 6	66	2,30	1	93	B	34	25
Nr. 7	66	2,41	1	127	-	-	12
Nr. 8	66	2,30	2	93	B	34	16
Nr. 9	71	5,40	2	127	-	-	12
Nr. 10	64	3,00	1	117	C	48	10
Nr. 11	75	5,00	1	117	C	48	10

* 1 = CEM II 42,5N ($\varphi=3,0$ kg/m³); 2 = CEM II 42,5R ($\varphi =3,0$ kg/m³);

3 = CEM I 52,5R ($\varphi =3,0$ kg/m³)

** A = Microsilica ($\varphi =3,0$ kg/m³); B = Steinmehl 1($\varphi =2,7$ kg/m³);

C = Steinmehl 2 ($\varphi =2,7$ kg/m³)

Tab. 2: Sieblinien der untersuchten Betone

Beton	Siebdurchgang [Vol%] bei mm										
	0.01	0.02	0.063	0.09	0.125	0.25	1	2	4	16	22
Referenz*	5.0	7.0	11	13	15	21	38	48	62	100	
Nr. 1	1.1	2.5	8	11	15	19	38	49	62	95	100
Nr. 2	3.0	6.6	12	14	16	19	38	49	62	95	100
Nr. 3	2.5	6.2	11	13	15	19	38	49	62	95	100
Nr. 4, 5	3.8	7.1	12	14	16	19	38	49	62	95	100
Nr 6.	1.5	3.3	9	14	19	23	41	51	64	95	100
Nr. 7	1.4	3.4	10	15	19	23	41	51	64	95	100
Nr. 8	3.4	7.4	14	16	19	23	41	51	64	95	100
Nr. 9	3.9	9.1	17	18	19	23	41	51	64	95	100
Nr. 10, 11	1.8	4.1	11	18	24	27	45	54	66	95	100

* siehe (Macht und Nischer, 2006)

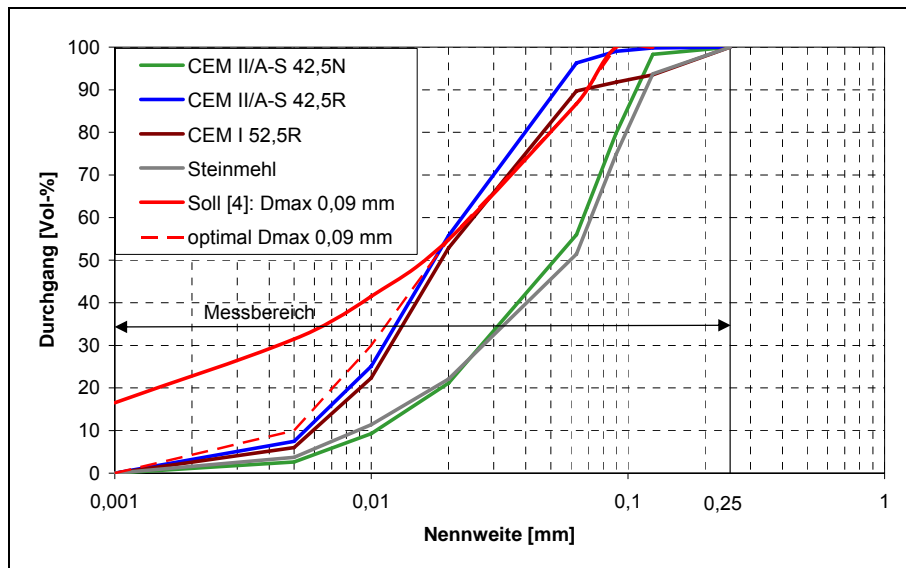


Abb. 1: Sieblinien des verwendeten Mehlkorns (Macht und Nischer, 2006)

3. Diskussion der Ergebnisse

3.1 Einfluss des Mehlkorngelhalts

Ein Vergleich der Betone 1, 2 und 3 mit 120 l Mehlkorn je m³ Beton (93 l/m³ Zement, 27 l/m³ aus der Gesteinskörnung) zeigt beim verwendeten relativ feinen CEM 42,5R die kleinste Wasseranreicherung in der oberflächennahen Schicht und die größte beim verwendeten relativ groben CEM 42,5N. Die 3 Betone enthielten die gleiche Wasser- und Fließmittelmenge und hatten praktisch das gleiche Ausbreitmaß.

Wird der Mehlkorngelhalt im Beton auf 153 l/m³ erhöht (127 l/m³ Zement und Steinmehl, 26 l/m³ aus der Gesteinskörnung), ist die Wasseranreicherung in der oberflächennahen Schicht beim relativ groben CEM 42,5N (Beton 6 und 7) signifikant kleiner, beim relativ feinen CEM 42,5R (Beton 8) geringfügig größer als bei den entsprechenden Betonen mit 120 l/m³ Mehlkorn. Der höhere Mehlkorngelhalt dieser Betone erforderte für ein gleiches Ausbreitmaß etwa 15% mehr Fließmittel als die Betone mit weniger Mehlkorn.

Bei Beton 7 und 9 bestehen die 127 l/m³ Mehlkorn ausschließlich aus Zement. Bei Beton 9 mit dem relativ feinen CEM 42,5R ist bei gleicher Wasseranreicherung in der oberflächennahen Schicht ein um 5 cm größeres Ausbreitmaß als bei Beton 7, mit dem relativ groben CEM 42,5N, möglich.

Wird der Mehlkorngelhalt im Beton auf 190 l/m³ erhöht (165 l/m³ Zement und Zusatzstoff, 25 l/m³ aus der Gesteinskörnung) ist bei gleicher Wasseranreicherung in der oberflächennahen Schicht beim relativ groben CEM 42,5N (Beton 11) ein um 9 cm größeres Ausbreitmaß als bei 127 l Zement je m³ Beton (Beton 7) möglich. Der Fließmittelbedarf ist für 66 cm Ausbreitmaß um mehr als 60% größer als bei 120 l Mehlkorn je m³ Beton.

Wird bei Beton mit 120 l Mehlkorn je m³ Beton 7% des relativ feinen CEM 42,5R gegen Mikrosilica ausgetauscht steigt der Fließmittelbedarf für ein gleiches Ausbreitmaß von 66 cm (Beton 5) auf das 3,5 fache. Der Austausch vergrößert die Wasseranreicherung in der oberflächennahen Schicht geringfügig, weil der Fließmittelbedarf signifikant größer ist.

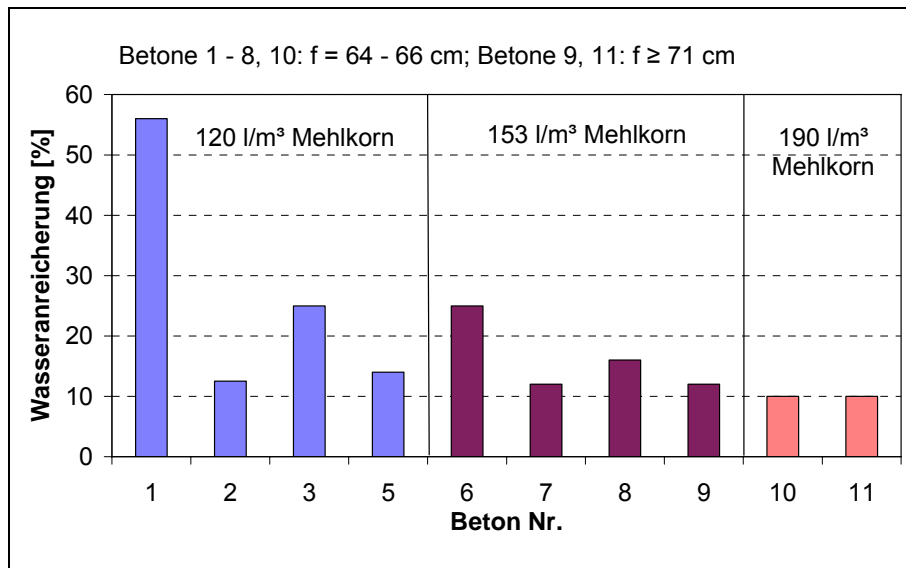


Abb. 2: Wasseranreicherung in den obersten 2 cm

3.2 Einfluss der Korngrößenverteilung

Basierend auf der Korngrößenverteilung (Tab. 2) sind die Ergebnisse gemäß Abb. 2 wie folgt zu erklären:

- (1) Betone GK 16 mit 120 l Mehlkorn je m³ Beton (93 l/m³ Zement, 27 l/m³ aus der Gesteinskörnung): Bei diesen Betonen ist der Mehlkorngehalt etwa so groß wie für eine optimale Korngrößenverteilung erforderlich. Die Sieblinie der Betone entspricht bei 0,125 mm und darüber der „Referenz-Sieblinie“.
 - Beton 1, 2 und 3 unterscheiden sich nur in der Zementart und haben im Bereich $\geq 0,25$ mm die gleiche Gesamtsieblinie. Die, im Verhältnis zu Beton 1, bei Beton 2 bedeutend geringere Abweichung von der „Referenz-Sieblinie“ im Bereich $\leq 0,09$ mm erklärt die gute Stabilität des Frischbetons von Beton 2. Das, gegenüber Beton 2, bedeutend schlechtere Verhalten von Beton 3 mit CEM I 52,5R ist mit der ungünstigeren Kornverteilung nur teilweise erklärbar.
 - Größerer Kornanteil im Bereich $\leq 0,01$ mm: Ein Vergleich der Betone 2 und 5 zeigt, dass bei dem untersuchten CEM II/A-S 42,5R ein teilweiser Ersatz des Zementes durch Microsilica, trotz besserer Anpassung an die „Referenz-Sieblinie“ im Bereich $\leq 0,01$ mm, wegen dem größeren Fließmittel- bzw. Wasseranspruch (Tab. 1), ungünstig ist. Die größere Menge von feinem Schlupfkorn (Mikrosilica) führt hier zu keiner Verbesserung.
- (2) Betone GK 16 mit 153 l Mehlkorn je m³ Beton (127 l/m³ Zement und Steinmehl, 26 l/m³ aus der Gesteinskörnung): Bei diesen Betonen ist der Mehlkorngehalt um etwa 30 l je m³ Beton größer als für eine optimale Korngrößenverteilung erforderlich. Auf Grund des höheren Mehlkorngehaltes ist die Sieblinie auch bei 0,25 mm und darüber feiner als erforderlich.
 - Beton 6, 7 und 8 benötigen für das gleiche Ausbreitmaß mehr Fließmittel als Beton 2 und haben somit einen höheren Wasseranspruch, was eine schlechtere Stabilität des Frischbetons dieser Betone, im Vergleich zu Beton 2, bewirkt.
 - Das bei Beton 8 zugegebene Steinmehl beeinträchtigt im Vergleich zu Beton 2 die Anpassung des Mehlkorns an die „Referenz-Sieblinie“, was das schlechtere Abschneiden gegenüber Beton 2 erklärt.
 - Beton 6 und 8 enthalten die gleiche Menge an Zement und Steinmehl, ein direkter Vergleich auf Grund der Sieblinie erscheint möglich und erklärt, wegen der besseren Anpassung an die „Referenz-Sieblinie“ (höheren Kornanteils $\leq 0,063$ mm), das bessere Abschneiden bei Beton 8.
 - Beton 7 hat praktisch die gleiche Gesamtsieblinie wie Beton 6 enthält aber nur Zement und kein Steinmehl. Das Steinmehl hat im Vergleich zum Zement einen schlechteren

Kornindex, was einen höheren Mehlkornbedarf ergibt. Außerdem haben die Körner des Steinmehls eine größere Rauigkeit als jene des Zementes. Dies erklärt warum, trotz geringfügig höherem Fließmittelbedarf, die Stabilität des Frischbetons bei Beton 7 besser als bei Beton 6 ist.

- Beton 9 und Beton 7 enthalten die gleiche Zementmenge. Beton 9 enthält den relativ feinen CEM II/A-S 42,5R was zu einer besseren Anpassung an die „Referenz-Sieblinie“ führt. Dies ermöglicht, ohne Beeinträchtigung der Stabilität des Frischbetons, ein um 5 cm größeres Ausbreitmaß als bei Beton 7.
- (3) Betone GK 16 mit 190 l Mehlkorn je m³ Beton (165 l/m³ Zement und Zusatzstoff, 25 l/m³ aus der Gesteinskörnung): Bei diesen Betonen ist der Mehlkorngehalt um etwa 70 l je m³ Beton größer als für eine optimale Korngrößenverteilung erforderlich.
Beton 10, 11 überschreitet im Bereich $\geq 0,063$ mm die „Referenz-Sieblinie“. Ursache hierfür ist der hohe Mehlkorngehalt (Zement + Steinmehl). Ein größerer Mörtelanteil im Beton bewirkt bei gleicher Konsistenz des Mörtels ein größeres Ausbreitmaß des Betons als ein kleinerer Mörtelanteil. Beton 11 hat daher eine gleich gute Stabilität des Frischbetons wie Beton 7 obwohl er ein um 9 cm größeres Ausbreitmaß hat.

4. Zusammenfassung

Für stabilen Frischbeton, der sich beim Einbau nicht entmischt und bei dem sich die grobe Gesteinskörnung nach dem Verdichten nicht absetzt, ist umso mehr Mehlkorn erforderlich je weicher der Beton eingebaut wird. Je mehr Wasser und/oder Fließmittel für die Verarbeitbarkeit erforderlich ist umso größer ist die Entmischungsfahr.

Für den jeweils erforderlichen Mehlkorngehalt (Korn $< 0,125$ mm) sind die Korngrößenverteilung und die Korneigenschaften entscheidend. Je besser die Kornverteilung der „Referenz-Sieblinie“ entspricht, umso weniger Mehlkorn ist für einen stabilen Frischbeton erforderlich. Eine Anhebung des Mehlkorngehalts führt nur dann zu einer Verbesserung der Stabilität des Frischbetons, wenn hiedurch die Anpassung des Mehlkorns an dessen „Referenz-Sieblinie“ nicht verschlechtert wird.

5. Literatur

- Eisenhut, T. und Pekarek, A.: Blüten von Pfahl- Schlitzwandbeton, Pfahl-Symposium 2007, Braunschweig.
- Macht, J. und Nischer, P.: Mehlkornoptimierung – Notwendigkeit und Möglichkeiten zur Ermittlung der Korneigenschaften. BFT Heft 4, 2006
- Nischer, P. und Macht, J.: Weiche Betone mit verschiedenem Mehlkorn – Maßnahmen zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit, BFT Heft 8, 2006