

Verwertung von Überschusssanden als Zusatz im Beton

Forschung Betonrecycling: Die Entstehung von Brechsanden ist eine unvermeidliche Begleiterscheinung bei der Aufbereitung von Betonbruch zu rezyklierten Gesteinskörnungen. Die Verwertung dieser Brechsande als feine Gesteinskörnung für die Betonherstellung ist nach den gültigen Vorschriften [1] nicht zulässig. Unsere Autoren forschen am IAB - Institut für Angewandte Bauforschung Weimar - und zeigen neue Verwertungswege auf.



Schachtunterteil aus Referenzbeton.



Schachtunterteil aus Beton mit 10 % Zementeinsparung bei gleichzeitiger Zugabe von 15 % Altbetonmehl.

Fotos: IAB Weimar

» Eine Variante der Verwertung könnte darin bestehen, die Brechsande nach einer Mahlung zu feinpartikulären Mehlen als Zementsubstitut bzw. als Zusatzstoff im Beton einzusetzen. Im Folgenden soll über experimentelle Untersuchungen berichtet werden, welche diese Verwertungsvarianten zum Inhalt hatten.

Zur Verwertung von Betonbrechsanden in Mörteln und Betonen gibt es vergleichsweise wenige Untersuchungen. Dabei wurde in der Regel die Wirkung eines teilweisen Zementersatzes durch Altbetonmehl auf die Frisch- und Fest-

betoneigenschaften untersucht. Die Gemeinsamkeit der Untersuchungen ist, dass ein Teil des Zements durch Altbetonmehl ausgetauscht wurde, ohne den Wasserzementwert anzupassen. Übereinstimmend wurde in den Untersuchungen ein Rückgang der Festigkeit in Abhängigkeit von der ausgetauschten Menge festgestellt [2], [3], [5]. Ausführliche Untersuchungen zum Einfluss der Mahlfineinheit sowie eine Gegenüberstellung der Wirkung von Betonmehlen aus Labor- und Praxisbetonen wurden von Heinz und Schubert vorgenommen [4]. Es zeigt sich,

dass die Festigkeiten mit abnehmender Partikelgröße nur wenig zunehmen. Nur bei Substitution des Zementes mit den feinsten Mehlen mit Partikelgrößen von $x_{90} \leq 10 \mu\text{m}$ wird die nach einem „Verdünnungsansatz“ berechnete Festigkeit erreicht. Systematische Unterschiede zwischen den Mehlen aus Praxisbetonen bzw. Laborbetonen wurden nicht festgestellt. Aus den Literaturergebnissen lässt sich folgern, dass sich die Altbetonmehle inert verhalten. Das schließt nicht aus, dass Altbetonmehle bei Anpassung des Wasserzementwertes als

Produkt	Ausgangsmaterial	eingesetzte Mühlen
→ Betonmehle AB 1 und AB 2	Sande, hergestellt aus den Betonen B 15 und B 35	Laborkugelmühle in Chargen zu je 600 g unter Zugabe von Mahlhilfsmitteln Erzeugung unterschiedlicher Mahlfineinheiten durch Variation der Mahldauer zwischen 0 und 480 min
→ Betonmehle AB 3 und AB 4	2 Körnungen, hergestellt aus Rückständen der Betonwarenproduktion	Kreislaufmahl- Anlage mit Durchsätzen zwischen 3 und 40 kg/h Erzeugung unterschiedlicher Mahlfineinheiten durch Variation der Drehzahl des Kanalaradsichters zwischen 1.500 und 10.000 U/min
→ Betonmehle AB 5 und AB 6	2 Rezyklate, hergestellt in einem Recyclingunternehmen aus Betonbruch	Kreislaufmahl- Anlage, Sichterraddrehzahl 1200 U/min, keine Variation

Tabelle 1: Für die Herstellung der Mehle eingesetzte Mahlanlagen.

Abbildungen und Tabellen: Autoren

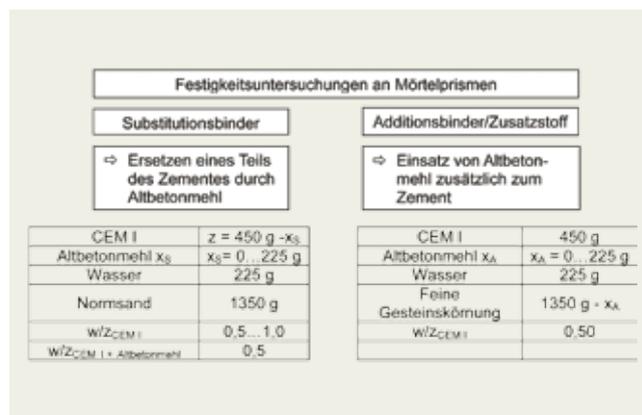


Bild 1: Vorgehensweise bei den Mörteluntersuchungen zur Verwertung der Betonmehle.

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6
Herkunft	Beton B 15	Beton B 35	Betonelemente- produktion		Aufbereiteter Betonbruch von einer RC-Anlage	
Gehalt [%]						
SiO ₂	75,1	70,8	27,13	38,59	63,0	63,9
Al ₂ O ₃	3,6	3,9	10,95	7,91	9,2	7,4
Fe ₂ O ₃	2,2	2,1	4,88	6,24	3,8	3,5
CaO	11,2	14,0	37,62	30,04	10,4	12,2
TiO ₂	n.b.	n.b.	0,37	0,27	0,45	0,36
MgO	0,4	0,5	0,63	1,37	1,4	1,3
Na ₂ O	0,13	0,13	1,46	1,79	1,23	1,01
K ₂ O	0,95	0,99	2,93	4,21	2,02	1,89
SO ₃	n.b.	n.b.	1,83	0,72	0,76	0,76
Cl	n.b.	n.b.	0,03	0,04	n.b.	n.b.
Glühverlust	6,9	7,8	11,76	8,32	7,9	7,4

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung der Betonmehle.

Zusatzstoffe eingesetzt werden können. Im Folgenden soll zunächst über eigene Untersuchungen zu den Auswirkungen einer Zementsubstitution durch Altbetonmehle unterschiedlicher Herkunft berichtet werden. Des Weiteren werden Ergebnisse dargestellt, bei welchen die Mehle nicht als Zementsubstitut sondern unter der Bezeichnung „Additionsbinde-“ als Zusatzstoff im Beton eingesetzt wurden.

Überblick über Material und Methoden

Die verwendeten Betonbrechsande wurden aus bereits länger gelagerten, definierten Betonen B 15 und B 35 (AB 1 und AB 2) und aus aktuellen Rückständen der Produktion von Betonelementen (AB 3 und AB 4) hergestellt. Zusätzlich wurden zwei rezyklierte Gesteinskörnungen 0/45 mm aus aufbereitetem Betonbruch von einem Recycling-Unternehmen einbezogen (AB 5 und AB 6).

Die Vorgehensweise bei der Herstellung der Betonmehle ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Bei den Betonen B 15 und B 35 erfolgte zunächst eine Grobzerkleinerung im Laborbackenbrecher, an welche sich eine Vibrationssiebung anschloss. Anschließend wurden die erzeugten Sande < 4 mm in einer Laborkugelmühle gemahlen. Bei den Rückständen aus der Betonelementproduktion und bei den rezyklierten Gesteinskörnungen wurde das Gesamtmaterial mit Korngrößen bis 45 mm nach der Vorzerkleinerung einer Kreislauf-Mahlanlage aufgegeben, die mit einer Kugelmühle und einem Kanalsichter ausgerüstet ist. Für die Vermahlung mittels Kreislauf-Mahlanlage erfolgte keine vorherige Abtrennung der Sandfraktion.

Zusätzlich zu den Betonbrechsanden wurden ein Quarzsand und ein Korund auf unterschiedliche Feinheiten gemahlen und in die Untersuchungen einbezogen. Bei dem Quarzsand handelte es sich um Normsand, der für die Herstellung von Normmörtelprismen eingesetzt wird. Der Korund war ein handelsübliches Produkt. Die Mahlung auf unterschiedliche Fein-

heiten erfolgte mit der Laborkugelmühle. Im Anschluss an die Mahlung wurden die Partikelgrößenverteilungen der Mehle mit Hilfe der Laserbeugungsanalyse mit dem Coulter LS 230 in den Bereichen 0,04/0,4 µm und 0,4/2000 µm bestimmt. Die chemische Zusammensetzung wurde mittels induktionsgekoppelter Plasmamassenspektrometrie (ICP/OES) bzw. ICP-Emissionsspektrometrie nach Totalaufschluss gemessen. Die Ermittlung der mineralogischen Zusammensetzung bzw. der Kristallinität erfolgte mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie. An ausgewählten Proben wurde außerdem die hydraulische Aktivität mit Hilfe der Differentialkalorimetrie ermittelt.

Die Festigkeitsuntersuchungen zur Eignung der feinpartikulären Stoffe als Zementersatz oder Zusatzstoff zum Beton wurden an Mörtelprismen durchgeführt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen: Bei dem Einsatz der Mehle als Zementsubstitut wurde ein Teil des Zementes durch das Mineralmehl ersetzt. Die zugegebene Wassermenge wurde nicht angepasst, so dass sich der Wasserzementwert mit zunehmender Substitution erhöhte. Diese Vorgehensweise lehnt sich an die Bestimmung des Aktivitätsindex [6] an. Dieser gibt das Verhältnis der Druckfestigkeiten an, die im gleichen Alter an Mörtelprismen gemessen werden, die einerseits Mischungen aus Portlandzement und Substitut sind und andererseits unverdünnten Prüfzement als Bindemittel enthalten. Wurden die Mehle als Zusatzstoff eingesetzt, wurde das Mineralmehl zu Lasten der feinen Gesteinskörnung zugegeben. Der Zementgehalt und der Wasserzementwert wurden nicht verändert.

Die Vorgehensweise bei den Untersuchungen ist im Bild 1 dargestellt. Die Verarbeitbarkeit der verschiedenen Mischungen wurde – sofern erforderlich – durch die Zugabe von Fließmitteln so eingestellt, dass mit einem Ausbreitmaß von 128 mm eine plastische Konsistenz für alle Mörtelmischungen erreicht werden konnte. Eine Beeinflussung der Festigkeitsergebnisse durch unterschiedliche Frischmörtelkonsistenzen ist damit ausgeschlossen.

Tabelle 3: Dichten und granulometrische Parameter der Betonmehle und der verwendeten Zemente.

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6
Herkunft	Beton B 15	Beton B 35	Betonelemente- produktion		Aufbereiteter Beton- bruch einer RC-Anlage	
Dichten [g/cm ³]						
Reindichte	2,687	2,688	2,656	2,705		2,62
Rohdichte	2,248	2,108				
Mittlere Partikelgröße im Ausgangszustand [µm]						
	614,3	533,8	938,4	706,1		3150
Untersuchter Bereich der mittleren Partikelgrößen nach der Mahlung [µm]						
Min	9,3	11,8	2,0	2,0		21,9
Max	243,2	185,3	22,0	21,0		
Für die Mörtelherstellung verwendete Zemente und deren mittlere Partikelgröße [µm]						
	CEM I 32,5 R 21,2		CEM I 52,5R HS/NA 11,2		CEM I 52,5 R-F 10,0	

Zur Herstellung der Mörtel kamen Portlandzemente zum Einsatz, die sich in ihrer Festigkeitsklasse unterschieden. Für die Untersuchungen mit den Altbetonmehlen 1 und 2 wurde ein CEM I 32,5 verwendet. Die Mehle 3,4,5 und 6 wurden zusammen mit einem CEM I 52,5 verarbeitet. Als Einflussgrößen bei den Mörteluntersuchungen wurden die substituierten bzw. addierten Mengen und die Feinheit der Mehle untersucht. Außerdem wurde die Wirkung der in ihrer Herkunft unterschiedlichen Altbetonmehle gegenübergestellt.

Charakterisierung der Materialeigenschaften

In der Tabelle 2 ist die chemische Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien dargestellt. Die reinen Betonmehle AB 1 und AB 2 und die RC-Betonmehle AB 5 und AB 6 haben ähnliche Zusammensetzungen. Die Betonmehle aus der Betonelementproduktion AB 3 und AB 4 weisen dagegen deutlich geringere SiO₂-Gehalte und höhere CaO-Gehalte auf. Die Ursache dürfte darin liegen, dass die Ausgangsbetone für diese Mehle auch Gesteinskörnungen aus Kalkstein enthielten. Die mittleren Partikelgrößen der Sande vor der Mahlung und der erzeugten Mehle sind in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Für die reinen Mehle ist unabhängig von ihrer Feinheit keine Wärmeentwicklung nachweisbar. Die Wärmeentwicklung der untersuchten Mischung aus 30 Masse-% Altbetonmehl und 70 Masse-% Zement ist geringer als die des reinen Zements und stimmt in etwa mit den Messwerten für die Mischung aus Quarzsandmehl und Zement überein. Daraus kann geschlossen werden, dass das Altbetonmehl sich nicht an der Hydratation beteiligt und somit kein Reaktionspotential aufweist.

Ergebnisse zur Entwicklung der Festigkeit bei Substitution

Festigkeitswerte bei der Substitution des Zementes durch Altbetonmehle: Hinsichtlich des Einflusses des Anteils an Altbeton, der als Zementsubstitut ein-

gesetzt wurde, auf die Mörtelfestigkeit nach 28 Tagen wurde festgestellt, dass die Festigkeiten in etwa linear mit der Zunahme der substituierten Zementmenge abnehmen. Für die Abnahme der Festigkeit mit zunehmendem Zementersatz können zwei Ansätze formuliert werden:

Verdünnungsansatz: Die Festigkeit ist der im Mörtel enthaltenen Portlandzementmenge proportional. Für die bezogene Festigkeit gilt somit

$$\beta / \beta_0 = 1 - x_S / z_0 \quad [-]$$

Dabei sind

- β_0 : Festigkeit der Mörtelprismen mit der Ausgangszementmenge z_0 ohne Substitution
- β : Festigkeit der Mörtelprismen mit der um die Altbetonmehlmenge x_S verringerten Zementmenge
- x_S/z_0 : als Substitut eingesetzte Altbetonmenge bezogen auf die Ausgangszementmenge in kg Altbetonmehl/kg CEM I

Wasserzementwertansatz: Die Festigkeit ist dem Wasserzementwert umgekehrt proportional. Für die bezogene Festigkeit können anhand von Literaturangaben unterschiedliche Beziehungen abgeleitet werden. Aus den von Wesche [7] angegebenen Werten für die relative Festigkeit von Zementstein folgt

$$\beta / \beta_0 = 9,025^{[(w/z)_0 - (w/z)]}$$

Aus den Koeffizienten für das Abrahamssche Wasserzementwert-Gesetz, die von Monteiro [8] angegeben werden, ergibt sich

$$\beta / \beta_0 = 11,03^{[(w/z)_0 - (w/z)]}$$

Dabei sind

- $(w/z)_0$: Ausgangswasserzementwert, für den sich die Festigkeit β_0 ergibt.

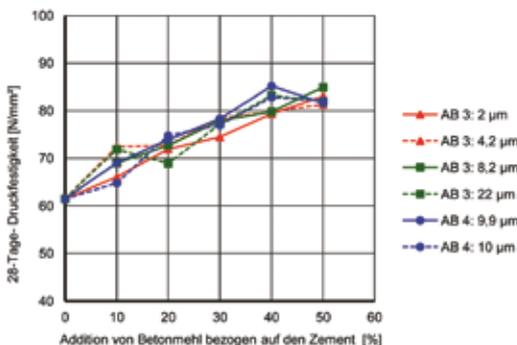


Bild 3: Einfluss der addierten Menge an Altbetonmehl auf die Druckfestigkeit der Mörtel.

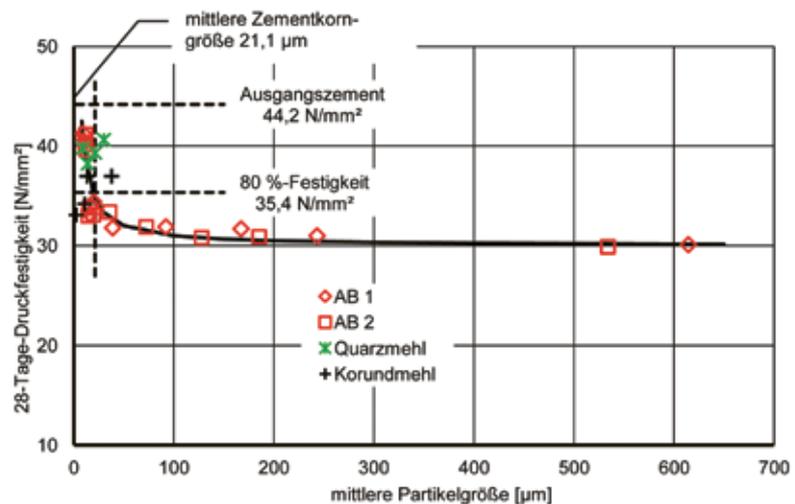


Bild 2: Einfluss der Feinheit der Altbetonmehle auf die Mörteldruckfestigkeit bei Bindemittelmischungen aus 20 Masse-% Altbetonmehl und 80 Masse-% Portlandzement.

w/z : Wasserzementwert, bei welchem die Festigkeit β gemessen wird.

Die nach dem Verdünnungsansatz berechneten bezogenen Druckfestigkeiten liegen etwas über den gemessenen Werten. Die nach den Wasserzementwertansätzen berechneten Werte liegen deutlich unter den Messwerten. Der Verdünnungsansatz erlaubt also eine näherungsweise Abschätzung der Festigkeitsreduktion bei Zugabe eines inertes Feinstoffes zu Lasten des Zements. Die Wasserzementwert-Ansätze weisen zu geringe Festigkeiten auf. Die Zunahme der Porosität infolge des steigenden Wasserzementwertes als eigentliche Ursache der Festigkeitsabnahme ist geringer als berechnet. Durch die geringere Partikelgröße und durch das größere Volumen, welches das Altbetonmehl infolge seiner geringeren Dichte einnimmt, wird die Porositätszunahme bei Erhöhung der Wasserzementwertes scheinbar zumindest teilweise kompensiert. Der Einfluss der Feinheit des Altbetonmehls ist am Beispiel der Altbetonmehle AB 1 und AB 2, die aus den definierten Betonen B 15 und B 35 hergestellt wurden und die den Zement zu einem Anteil von 20 Masse-% substituierten, im Bild 2 dargestellt. Die Festigkeit steigt mit abnehmender Partikelgröße nach einer hyperbolischen Funktion an. Bei Partikelgrößen $> 100 \mu\text{m}$ besteht ein geringer Einfluss der Feinheit der Betonmehle auf die Festigkeit. Bei Partikelgrößen $< 100 \mu\text{m}$ zeigt sich bereits ein stärkerer Einfluss. Bei Unterschreiten der Zementkorngröße wird die Festigkeit, die nach dem Verdünnungsansatz berechnet wurde, überschritten. Das Quarzmehl zeigt ein nahezu identisches Verhalten wie die Altbetonmehle. Die mit Korundmehl als Substitut hergestellten Mörtel weisen etwas geringere Festigkeiten als die Mörtel auf, die Beton- oder Quarzmehl enthielten. Die Herkunft der Altbeton-

mehle beeinflusst die erreichten Festigkeiten nur wenig. Bei einer Substitution von 20 Masse-% erreichten die mit den reinen Betonmehlen AB 1, AB 2, AB 3 und AB 4 hergestellten Mörtel bezogene Festigkeiten zwischen 0,7 und 0,78. Die Mörtel mit den Mehlen AB 5 und AB 6, die aus dem Betonbruch eines Recyclingunternehmens hergestellt worden waren, weisen etwas günstigere Werte auf. Ursache könnten die Ziegelanteile in diesem Material sein. Um eine endgültige Aussage treffen zu können, wären Untersuchungen an einer größeren Anzahl von Proben erforderlich.

Ergebnisse zur Entwicklung der Festigkeit bei Addition

Festigkeiten bei der Addition der Altbetonmehle zum Zement: Die Auswirkungen

Literatur

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: DAfStb-Richtlinie - Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 - Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1, Beuth-Verlag, Berlin 2004.
- [2] Montgomery 1998
- [3] Kerkhoff, B.; Siebel, E.: Einfluss von rezykliertem Zuschlag aus Betonbruch auf die Eigenschaften, insbesondere die Dauerhaftigkeit von Beton. Beuth-Verlag, Berlin 2002.
- [4] Heinz, D.; Schubert, J.: Nachhaltige Verwertung von Betonbruchsand als Betonzusatzstoff. Abschlussbericht. TUM, Centrum Baustoffe und Materialprüfung, München 2006.
- [5] Yong Jic Kim, Yun Wang Choi: Utilization of waste concrete powder as a substitution material for cement. Construction and Building Materials. 30 (2012) 500-504.
- [6] Silikastaub für Beton - Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien. Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2009.
- [7] Wesche, K.: Baustoffe für tragende Bauteile. Bauverlag GMHB, Wiesbaden und Berlin, 1993.
- [8] Monteiro, P.J.M.; Helene, P.R.L.; Kang, S.H.: Designing concrete mixtures for strength, elastic modulus and fracture energy. Materials and Structures, 26 (1993) 443-452.

auf die Mörtel­eigen­schaf­ten, die sich bei einer Zugabe von Alt­beton­mehl zu Lasten der feinen Gesteinskörnung aber ohne Reduzierung des Zement­gehaltes er­ge­ben, wurden bisher nur an den Alt­beton­mehlen AB 3 und AB 4 un­ter­sucht. Die Fließ­mit­tel­zugabe, die er­for­der­lich war, um die Ver­ar­beit­bar­keit des Frisch­mör­tels un­ab­hän­gig von der zuge­ge­be­nen Men­ge an Alt­beton­mehl kon­stant zu hal­ten, be­trug 0,1 bis 0,3 Masse-% be­zo­gen auf die Zement­men­ge bei 10 % Addition bzw. 0,6 bis 0,8 Masse-% bei 50 % Addition.

Im Bild 3 sind die Aus­wir­kun­gen auf die Festig­keit in Ab­hän­gig­keit von der zu­ge­setzten Alt­beton­men­ge dar­ge­stellt. Es er­gibt sich ein deut­licher Festig­keits­an­stieg. Der An­stieg der Festig­keit kann em­pi­risch mit der Gleichung

$$\beta/\beta_0 = 1,335 - 0,335 \cdot \exp[-0,06 \cdot x_A/z_0]$$

be­schrie­ben wer­den.

Dabei sind

β_0 : Festig­keit der Mörtel­prismen mit der Aus­gangs­zement­men­ge ohne Addition

β : Festig­keit der Mörtel­prismen mit der Addition einer Alt­beton­men­ge von x_A

x_A/z_0 : addierte Men­ge Alt­beton be­zo­gen auf die Aus­gangs­zement­men­ge in kg Alt­beton­mehl/kg CEM I.

Die Ur­sa­che des An­stiegs dürf­te in der Zu­nah­me der Packungs­dichte lie­gen, was aber nicht über­prüft wurde. Somit hängt die ge­fun­dene Festig­keits­zu­nah­me von der Partikel­grö­ßen­ver­tei­lung des Zements, der Partikel­grö­ßen­ver­tei­lung der Gesteinskörnung und der Partikel­grö­ßen­ver­tei­lung des Alt­beton­mehls ab. Sie ändert sich, wenn sich diese Pa­ra­me­ter ändern. Im Un­ter­schied zu dem Festig­keits­ab­fall bei der Substitution des Zements durch zement­feine Beton­mehle, die mit dem Ver­dün­nungs­an­satz annähernd be­re­chnet wer­den kann, müs­sen bei der Ver­wen­dung von Beton­mehl als Beton­zu­sat­z­stoff die er­reich­ba­ren Festig­keits­zu­wächse für jeden neuen Mischungs­ent­wurf ex­pe­ri­men­te­ll be­stimmt wer­den.

Praxisversuche: Alt­beton­mehle bei der Beton­her­stellung

Aus den Labor­er­geb­nis­sen kann ein Kon­zept der kom­bi­nierten Substitution und Addition ent­wickelt wer­den. Wie im Bild 4 sche­ma­tisch dar­ge­stellt, nimmt die Festig­keit ab, wenn ein Teil des Zementes durch Alt­beton­mehl er­setzt wird. Wird mit diesem „ver­dünnten“ Zement Mörtel

oder Beton her­ge­stellt und dabei Beton­mehl als Zu­sat­z­stoff zuge­ge­ben, folgt ein Festig­keits­an­stieg. Damit kann die ur­sprün­gliche Festig­keits­ab­nahme zu­min­dest kom­pen­siert wer­den.

Die Er­geb­nis­se der Labor­ver­suche wurden in Praxis­ver­suchen über­prüft, in welchen Beton­fer­tig­teile unter Ver­wen­dung von Beton­mehlen her­ge­stellt wurden. Ziel­grö­ßen waren die Ver­ar­beit­bar­keit und die Festig­keit, die sich nicht von denen des Referenz­betons un­ter­schieden sollten. Be­son­de­res Augen­merk lag dar­über hin­aus auf den Ober­flä­chen­eigen­schaf­ten, die Sicht­beton­quali­tät er­rei­chen sollten. Als Ein­fluss­grö­ßen wurden die Feinheit der zuge­ge­be­nen Mehle, die substituier­te Zement­men­ge und die Men­ge an addiertem Beton­mehl variiert. Die in meh­re­ren Rezept­schrit­ten er­ziel­ten Re­sul­ta­te lassen sich wie folgt zu­sam­men­fas­sen:

- Im In­ter­esse einer guten Ver­ar­beit­bar­keit ist das „grobe“ Beton­mehl mit einer mitt­le­ren Partikel­grö­ße von 22 μm zu be­vor­zugen. Die feiner auf­ge­mah­le­nen Mehle föh­ren zu einem An­stieg des Wasser­an­spruchs, so dass der Wasser­bin­de­mit­tel­wert er­höht wer­den muss, um eine gleich­bleibende Konsistenz sicher­zu­stel­len.
- Die Zement­substitution durch Beton­mehl föhrt wie bei den Labor­ver­suchen zu einem Festig­keits­rück­gang.
- Bei einer Zugabe von bis zu 25 Masse-% Beton­mehl waren Zement­ein­spa­run­gen von 10 bis 12 Masse-% mög­lich, ohne dass Eigen­schaf­ts­ver­än­de­run­gen ge­gen­über dem Referenz­beton ein­tra­ten.

In­ge­sam­te konnten Schacht­un­ter­teile her­ge­stellt wer­den, die in ihren optischen Eigen­schaf­ten min­de­stens der originalen Beton­rezeptur ent­sprachen. Für eini­ge Rezepturen konnten teil­weise Ver­besse­run­gen der Ober­flä­chen­eigen­schaf­ten ge­gen­über denen des Referenz­betons er­reicht wer­den. In den Bildern am An­fang dieses Bei­trages ist der Referenz­beton dem Beton mit der kom­bi­nierten Substitution und Addition ge­gen­über­ge­stellt.

Zusammenfassung und Ausblick

Un­ter­suchungs­ge­gen­stand war der Ein­satz von mehlfine gemah­le­nem Beton­brech­sand aus der Auf­be­rei­te­rung von Beton­bruch für die Beton­her­stellung. Dabei wurden zwei An­sätze ver­folgt:

- Beton­mehl als Zement­substitut: Das Beton­mehl be­tei­ligt sich nicht an der Festig­keits­ent­wick­lung. Eine Ab-

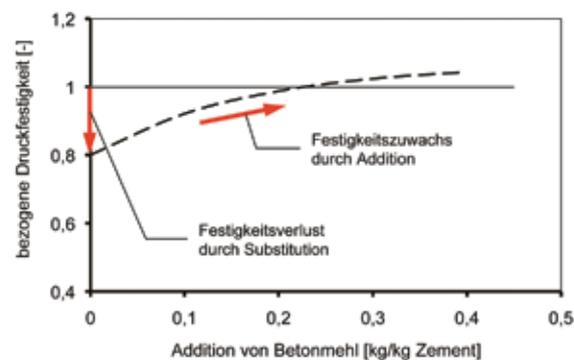


Bild 4: Schematische Darstellung zur Kombination von Substitution und Addition von Betonmehl als Möglichkeit der Zement­ein­spa­rung.

schätzung der Festig­keits­ab­nahme ist anhand eines „Ver­dün­nungs­an­satzes“ mög­lich, wenn die Partikel­grö­ße des Alt­beton­mehles in etwa der des Zements ent­spricht.

- Beton­mehl als Beton­zu­sat­z­stoff: Eine Zu­nah­me der Festig­keit wurde er­mit­telt, die ver­mut­lich auf die Ver­besse­rung der Packungs­dichte durch die Addition des Mehles zu­rück­zu­föhren ist.

Aus den Er­geb­nis­sen kann abge­lei­tet wer­den, dass eine Kombination von Substitution und Addition Zement­ein­spa­run­gen ohne Festig­keits­ver­luste er­laubt. Dazu durch­ge­führte Praxis­ver­suche be­stätigten das Kon­zept der kom­bi­nierten Substitution und Addition. Es konnten tat­säch­lich Zement­ein­spa­run­gen ohne Festig­keits­re­du­zierun­gen er­reicht wer­den. In den be­schrie­benen Un­ter­suchun­gen wurden die Mörtel und die Praxis­betone unter Ver­wen­dung natürlicher Gesteinskörnungen her­ge­stellt.

Der Ein­satz der Beton­mehle in Betonen aus re­zy­klierten Gesteinskörnungen wurde in den be­schrie­benen Ver­suchs­rei­hen nicht un­ter­sucht und sollte deshalb Gegen­stand zukünftiger Un­ter­suchun­gen sein. (Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller, Dipl.-Ing. Steffen Liebezeit, Dipl.-Ing. Arik Badstübner, alle Autoren sind beim Institut für Angewandte Bau­for­schung GmbH Weimar tätig) »»

✘ SUSA Wegweiser
www.iab-weimar.de

