

Beton aus mineralischen Bauabfällen

Autor(en): **Leemann, Andreas / Olbrecht, Hanspeter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **117 (1999)**

Heft 24

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79751>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Andreas Leemann, Hanspeter Olbrecht, Dübendorf

Beton aus mineralischen Bauabfällen

Mineralische Bauabfälle fallen in der Schweiz in grossen Mengen an. Zum einen ist nicht genügend Deponieraum für eine Entsorgung vorhanden. Zum anderen gehen die Kiesreserven in der Schweiz langsam zur Neige. Diese Situation drängt eine Wiederverwendung von mineralischem Bauabbruch auf. Eine Möglichkeit ist die Verwendung als Betonzuschlag.

In der Schweiz existieren Richtlinien, die eine Klassierung des mineralischen Bauabfalls gestatten [1, 2]. Soll das Material als Betonzuschlag zur Anwendung gelangen, muss es die Anforderungen der Empfehlung SIA 162/4 [3] erfüllen.

Vorausgesetzt dass der mineralische Bauabbruch die Anforderungen [3] bezüglich Verunreinigungen, Chlorid- und Sulfatgehalt erfüllt, kann er als Zuschlag für unbewehrten Beton eingesetzt werden. Nur bei Abbruchmaterial mit einem Anteil unter drei Massenprozent an Mischabbruch (Backsteine, Ziegelschrott, Kalksandsteine usw.), was einem praktisch reinen Betonabbruch entspricht, ist der Einsatz für bewehrten Beton statthaft. Diese Einschränkung deckt sich nicht mit den heutigen, betontechnologischen Möglichkeiten.

An der Empa wurde ein Projekt durchgeführt, bei dem Mischabbruch als Betonzuschlag zum Einsatz kam. Dabei wurde Beton mit Zuschlag aus verschiedenen Arten von Mischabbruch hergestellt. Es soll gezeigt werden, wie die Zusammensetzung des Abbruchs die Qualität des Betons beeinflusst.

Betonversuche

Als Zuschlag wurden Beton-, Backstein- und Kalksandsteinabbruch 0/32 mm verwendet. Die einzelnen Zuschlagstypen wurden getrennt aufbereitet und getrocknet. Danach wurde der Zuschlag in zwei verschiedenen Verhältnissen gemischt:

- Mischabbruch A: Betonabbruch: 30, Kalksandsteinabbruch: 30 und Backsteinabbruch: 40 Massenprozent
- Mischabbruch B: Betonabbruch: 15, Kalksandsteinabbruch: 15 und Backsteinabbruch: 70 Massenprozent

Mit dem Mischabbruch A wurden 38 Mischungen hergestellt (Bild 1), mit dem Mischabbruch B 36 Mischungen (Bild 2). Zusätzlich wurden Mischungen hergestellt, bei denen jeder der drei Zuschlagstypen einzeln verwendet wurde (drei Betonmischungen mit Beton-, drei mit Kalksandstein- und fünf mit Backsteinabbruch).

In einem nächsten Schritt wurden acht Mischungen aus realem Mischabbruch hergestellt. Dieser Mischabbruch wurde in einem Recycling-Werk aufbereitet. Er entspricht dem zu dieser Zeit im Werk angelieferten und aufbereiteten Material (s. Zusammenfassung). Je nach Quelle des Mischabbruchs kann seine Zusammensetzung beträchtlich streuen:

- realer Mischabbruch: Betonabbruch: 95 und Backsteine / Ziegelschrott: 5 Massenprozent

Bei einigen Mischungen aus realem Mischabbruch wurden wegen des geringen Feinanteils 10 bzw. 30 Massenprozent Sand zugemischt (Bild 3).

Als Bindemittel kam bei allen Mischungen CEM I 42.5 zur Anwendung. Bei einem Teil der Mischungen wurden Hochleistungsverflüssiger und Luftporenbildner verwendet. Der hergestellte Beton soll folgende Anforderungen erfüllen:

- gute Verarbeitbarkeit des Frischbetons (Verdichtungsmaß 1,08-1,18)
- eine mittlere 28-Tage-Druckfestigkeit von mindestens 30 N/mm²

Resultate

Druckfestigkeit - WZ-Wert

Die Druckfestigkeit zeigt eine lineare Beziehung zum WZ-Wert (Bild 4). Bei einer Veränderung des WZ-Werts um 0,1

Zementdosierung [kg/m ³]		300	350	400	450
kein Zusatzmittel	WZ	1,20	1,10	0,78	0,72
	VM	1,21	1,21	1,13	1,06
	ρ [kg/m ³]	1979	1984	2061	2064
	f _{c28} [N/mm ²]	15,8	15,7	31,2	31,4
ein Zusatzmittel: HBV = 1,2 M-%*	WZ	0,94	0,82	0,72	0,62
	VM	1,25	1,15	1,12	1,19
	ρ [kg/m ³]	2053	2070	2068	2093
	f _{c28} [N/mm ²]	26,2	28,1	31,8	37,3
zwei Zusatzmittel: HBV = 1,2 M-%* LP = 0,1 M-%*	WZ	0,93	0,80	0,72	0,64
	VM	1,13	1,16	1,06	1,10
	ρ [kg/m ³]	2055	2046	2055	2037
	f _{c28} [N/mm ²]	23,5	28,6	30,6	32,4

* Dosierung in Massenprozent der Zementdosierung

1

Resultate bei Zuschlag mit Mischabbruch A. WZ = Wasser-Zement-Wert, VM = Verdichtungsmaß

Zementdosierung [kg/m ³]		300	350	400	450
kein Zusatzmittel	WZ	1,15	0,95	0,85	0,76
	VM	1,10	1,15	1,09	1,10
	ρ [kg/m ³]	2003	2000	2019	2022
	f _{c28} [N/mm ²]	28,1	30,1	29,6	32,8
ein Zusatzmittel: HBV = 1,2 M-%*	WZ	1,05	0,86	0,76	0,70
	VM	1,26	1,13	1,09	1,22
	ρ [kg/m ³]	2010	2021	2029	2026
	f _{c28} [N/mm ²]	29,9	31,0	33,5	36,5
zwei Zusatzmittel: HBV = 1,2 M-%* LP = 0,1 M-%*	WZ	1,00	0,87	0,79	0,70
	VM	1,24	1,16	1,16	1,16
	ρ [kg/m ³]	2011	2014	2028	2035
	f _{c28} [N/mm ²]	29,3	32,7	34,6	34,4

* Dosierung in Massenprozent der Zementdosierung

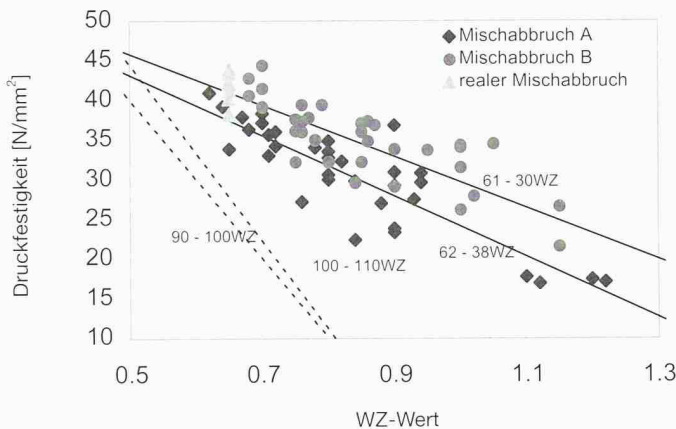
2

Resultate bei Zuschlag mit Mischabbruch B. WZ = Wasser-Zement-Wert, VM = Verdichtungsmaß

	Zementgehalt [kg/m ³]	WZ	VM	ρ [kg/m ³]	f _c [N/mm ²]
Mischabbruch:	305	0,65	1,15	2250	42,0
100 M-%	318	0,65	1,10	2300	43,9
	305	0,65	1,23	2307	43,4
Mischabbruch: 90 M-%	310	0,65	1,12	2286	41,2
Sand: 10 M-%	319	0,65	1,06	2321	42,2
Mischabbruch: 70 M-%	291	0,65	1,28	2226	38,2
Sand: 30 M-%	309	0,65	1,07	2287	42,2
	298	0,65	1,18	2265	40,2

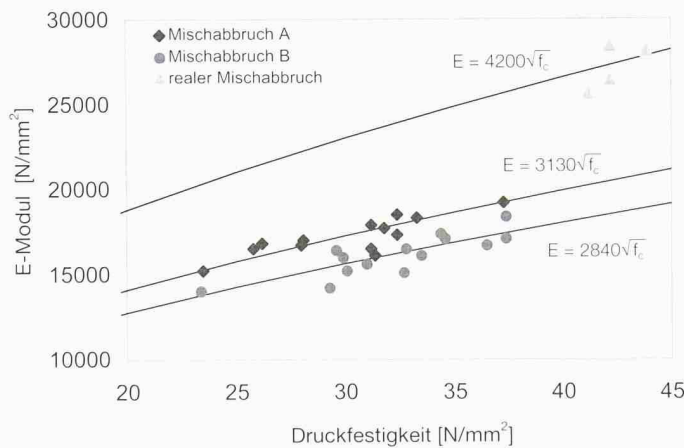
3

Resultate bei Zuschlag mit realem Mischabbruch 0/32. Dosierung Hochleistungsverflüssiger: 1,2 Massenprozent bez. Zement. WZ = Wasser-Zement-Wert, VM = Verdichtungsmass



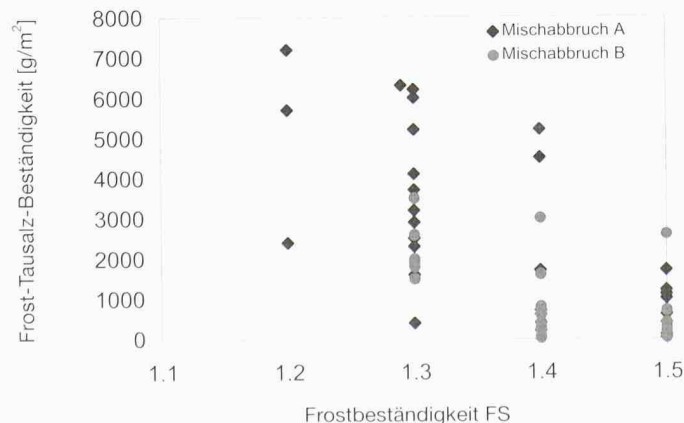
4

Druckfestigkeit in Abhängigkeit des WZ-Werts von Beton aus Mischabbruch im Vergleich zu der Beziehung nach [4]



5

E-Modul in Abhängigkeit der Druckfestigkeit beim Mischabbruch



6

Die Frost-Tausalz-Beständigkeit in Abhängigkeit der Frostbeständigkeit FS beim Mischabbruch

ändert sich die 28-Tage-Festigkeit um etwa 3 N/mm². Dieser Gradient ist beim Mischabbruch A gleich wie beim Mischabbruch B. Allerdings liegt die Druckfestigkeit des Mischabbruchs B etwa 5 N/mm² höher als bei A. Die Durchschnittswerte der Mischungen aus realem Mischabbruch liegen im Bereich von Mischabbruch B.

Beim Alluvialkies beträgt der Gradient rund 9 N/mm² bei einer Änderung des WZ-Werts um 0,1. Die Differenz im Gradienten lässt sich mit dem unterschiedlichen Zementsteinvolumen und den unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften des Zuschlags erklären.

Die Mischungen mit Mischabbruch haben im untersuchten Festigkeitsbereich und bei gleichem WZ-Wert eine höhere Druckfestigkeit als Beton aus Alluvialkies. Da die Druckfestigkeit in erster Linie vom WZ-Wert abhängig ist, bestätigt sich hier, dass der Mischabbruch Wasser vom Zementleim absorbiert und damit die Zementsteinqualität verbessert.

Eine Erhöhung des Zementgehalts von 300 auf 400 kg/m³ bringt bei Mischabbruch A und B eine Verbesserung der Druckfestigkeit, da mit niedrigerem WZ-Wert gearbeitet werden kann. Wird der Zementgehalt weiter auf 450 kg/m³ erhöht, ist trotz tieferem WZ-Wert keine entsprechende Zunahme der Druckfestigkeit zu beobachten.

E-Modul - Druckfestigkeit

Das Verhältnis der Druckfestigkeit zum E-Modul bei unterschiedlichem Zuschlag präsentiert sich wie folgt:

	E	ρ ₀
Alluvialkies:	~ 6066√f _c	100
Mischabbruch A:	~ 3130√f _c	52
Mischabbruch B:	~ 2840√f _c	47
realer Mischabbruch:	~ 4200√f _c	69
reiner Betonabbruch:	~ 4660√f _c	76
reiner Kalksandsteinabbruch:	~ 2430√f _c	40
reiner Backsteinabbruch:	~ 2430√f _c	40

Das Verhältnis von E-Modul zu f_c wird mit zunehmendem Anteil an Kalksandstein- und Backsteinabbruch kleiner (Bild 5). Entsprechend weist der reale Mischabbruch ähnliche Werte auf wie der reine Betonabbruch. Im Vergleich zu Beton aus Alluvialkies nach Norm SIA 162 (1968) [4] ist das Verhältnis allerdings deutlich tiefer.

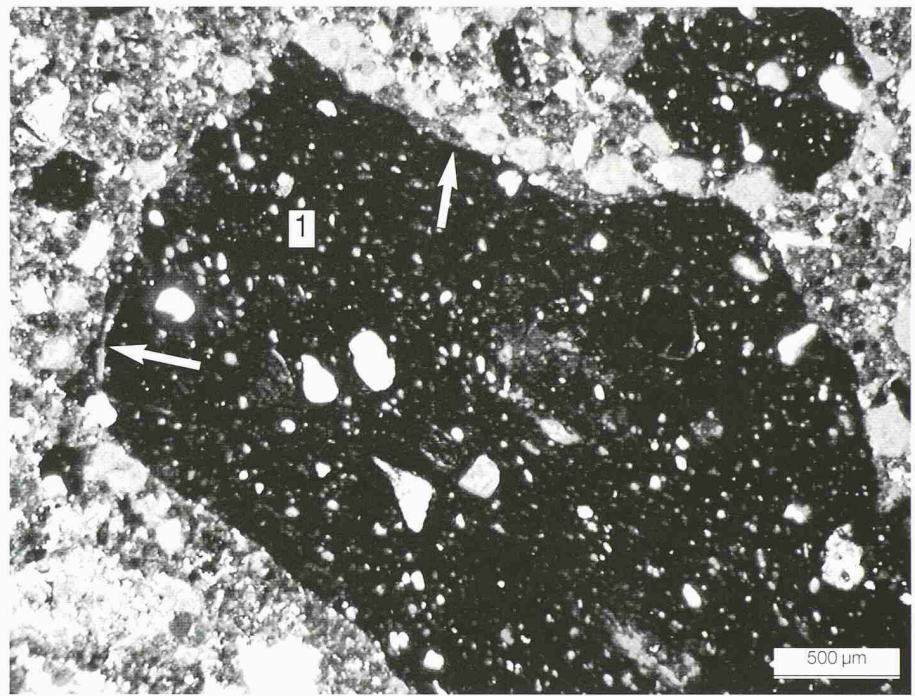
Frost-Tausalz-Beständigkeit - Frostbeständigkeit

Die Frostbeständigkeit FS wurde aus den Porositätswerten des Betons errechnet und die Frost-Tausalz-Beständigkeit (beide Norm SIA 162/1) im Labor mit Frostwechsel-Zyklen bestimmt (Bild 6).

Bei $FS > 1,5$ wird bei der Frost-Tausalz-Prüfung nur eine minimale Ablösemenge festgestellt. Dies entspricht der Erfahrung mit Alluvialkies.

Bei einem Beton aus Alluvialkies werden die Frost- und Frost-Tausalz-Beständigkeit durch die Eigenschaften des Porensystems bestimmt (Verhältnis von nicht füllbaren Poren $n-U_E$ und der Gesamtporosität n). Dieses Prinzip gilt auch für Beton aus Mischabbruch. Allerdings ist die Zugabe eines Luftporenbildners erforderlich, um eine hohe Frostbeständigkeit zu erreichen.

Bei einem Beton aus reinem Backsteinabbruch ist bei einem bestimmten Wert für FS eine kleinere Ablösemenge vorhanden als bei einem Beton aus den anderen verwendeten Zuschlägen. Dünnschliffuntersuchungen haben gezeigt, dass um den Backsteinzuschlag Ansammlungen von Luftporen vorhanden sind (Bild 7). Diese Ansammlungen entstehen, wenn Wasser aus dem Frischbeton die Luft im Zuschlag verdrängt. Sie sind wahrscheinlich für die hohe Frost-Tausalz-Beständigkeit von Beton aus diesem Zuschlag mitverantwortlich.



7 Anreicherung von Luftporen (Pfeile) um Backsteinzuschlag (1)

Petrographische und chemische Untersuchungen

Je nach Quelle des Mischabbruchs kann seine Zusammensetzung beträchtlich streuen (s. oben). Die Ergebnisse der petrographischen und chemischen Untersuchungen gelten deshalb nur für das untersuchte Material. Trotzdem geben sie einen Anhaltspunkt für den Bereich, in dem die Zusammensetzung von Mischabbruch liegen kann.

Petrographische Beschaffenheit

Sowohl nach [3] als auch nach [1] werden nur Zuschlagkörner > 8 mm beurteilt (Bild 8). Der untersuchte Mischabbruch darf nach [3] nur für unbewehrten Beton eingesetzt werden. Nach der Richtlinie des Buwal [1] wird der Zuschlag als «Mischabbruchgranulat» klassiert.

Chemische Untersuchungen

Für die chemischen Untersuchungen wurden zwei Stichproben der Fraktion 0/32 analysiert (Bild 9). Die gemessenen Konzentrationen von Sulfat und Chlorid liegen deutlich unter den vorgeschriebenen Grenzwerten. Vom betontechnologischen Standpunkt aus ist die Verwendung des Materials unbedenklich.

In der Richtlinie des Buwal [2] werden die erlaubten Grenzwerte der chemischen Belastung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial definiert. Diese

Richtlinie bezieht sich allerdings nicht spezifisch auf Mischabbruch, der als Betonzuschlag wiederverwendet werden soll. Um Betonzuschlag aus Mischabbruch aus Sicht der Umweltverträglichkeit beurteilen zu können, wäre ein spezifisches Anforderungsprofil bezüglich der chemischen Belastung wünschenswert.

Zusammenfassung

Der Hohlraumgehalt des lose geschütteten Mischabbruchs (40-50 Volumenprozent) ist wegen des höheren Anteils an nichtkubischen Körnern und der Rauigkeit des Zuschlags gegenüber dem Alluvialkies (25-30 Volumenprozent) erhöht. Entspre-

Petrographische Beschreibung	Siebkurve 8/32 [M-%]	Anforderung [4] klassifizierter Recyclingbeton [M-%]	Anforderung [4] nicht klassifizierter Recyclingbeton [M-%]
Kies-Sand, Betonabbruch	95,0	-	-
Ausbauasphalt	0,0	-	< 7,0 erfüllt
Mischabbruch	5,0	< 3,0 nicht erfüllt	-
Fremdstoffe	< 0,3	< 0,3 erfüllt	< 0,5 erfüllt

8 Petrographische Beschaffenheit

Substanz	A 0/32	B 0/32	Anforderung [4] Beton bewehrt/unbewehrt
SO ₄ -Gehalt [M-%]	0,26	0,27	1,0/1,0 erfüllt/erfüllt
Chlorid-Gehalt [M-%]	0,007	0,007	0,03/0,12 erfüllt/erfüllt

9 Chemische Untersuchungen

chend wird ein erhöhter Anteil an Zementleim benötigt, um Frischbeton gut verarbeiten zu können.

Ein weiterer Unterschied zum üblicherweise verwendeten Alluvialkies ist die vergleichsweise hohe Porosität des Zuschlags. Sie beeinflusst verschiedene Betoneigenschaften:

- Durch die Feuchtigkeitsaufnahme des Zuschlags während des Mischvorgangs verschlechtert sich die Verarbeitbarkeit.

- Durch die Feuchtigkeitsaufnahme des Zuschlags während des Abbindens wird dem Zementleim lokal Wasser entzogen. Dadurch verbessert sich die Qualität des Zementsteins um den Backsteinabbruch-Zuschlag. Die Druckfestigkeit von Beton aus Mischabbruch B ist deshalb höher als beim Mischabbruch A. Die Druckfestigkeit von allen Mischungen aus Mischabbruch ist höher als von Beton mit Alluvialkies bei entsprechendem WZ-Wert (Bild 1).

- Wenn der Backsteinzuschlag Wasser aufnimmt, wird gleichzeitig die im Zuschlag enthaltene Luft verdrängt. Sie wird im Frischbeton als Luftporen abgegeben und sammelt sich zum Teil im Zementleim um die Zuschlagkörner herum an. Dieser Eintrag von Luftporen in den Zementstein wirkt sich positiv auf die Frost-Tausalz-Beständigkeit aus.

- Mit steigendem Anteil an Backsteinabbruch nimmt das Schwinden des Betons ab.

Beton aus reinem Betonabbruch weist die Beziehung $E \sim 4700 \bar{f}_c$ auf. Mit steigendem Anteil an Kalksandstein und Backsteinabbruch wird der E-Modul bei gleichbleibender Druckfestigkeit kleiner und

weist bei reinem Kalksandstein- bzw. Backsteinabbruch die Beziehung $E \sim 2400 \bar{f}_c$ auf.

Weil bei Beton aus mineralischen Bauabfällen gegenüber Beton aus Alluvialkies normalerweise mit höheren Zementdosierungen und höherem WZ-Wert gearbeitet wird, sind auch die Kapillarporosität und damit die Wasserleitfähigkeit relativ hoch. Wenn der Anteil an Backsteinen klein ist, wirkt sich die hohe Kapillarporosität auch negativ auf die Frost-Tausalz-Beständigkeit aus.

Die Rohdichte des Festbetons aus Abbruchmaterial ($2000\text{--}2300 \text{ kg/m}^3$) liegt tiefer als bei Beton aus Alluvialkies (2400 kg/m^3). Für Tragkonstruktionen kann die niedrigere Rohdichte des Betons aus Abbruchmaterial ein Vorteil sein. Da aber der E-Modul bei gleicher Druckfestigkeit deutlich kleiner ist als bei einem Alluvialkies-Beton, ist auch die Durchbiegung entsprechend grösser.

Die höheren Kosten für Zement und Zusatzmittel bei Beton aus Abbruchmaterial gegenüber Beton aus Alluvialkies werden durch die geringeren Kosten des Zuschlags mindestens kompensiert.

Bei der Verwendung von Mischabbruch gilt es bei der Betonherstellung folgende Punkte zu beachten:

- Die üblichen Beziehungen zwischen den einzelnen Prüfgrössen beim Frisch- und Festbeton aus Alluvialkies sind nicht direkt auf Beton aus Abbruchmaterial übertragbar. Für eine sichere Interpretation der Prüfwerte ist es unerlässlich, möglichst viele Eigenschaften zu bestimmen (z.B. Porosität, Wasserleitfähigkeit und Festigkeit).

- Bei der Betonherstellung spielt die Vorbehandlung des Mischabbruchs wegen sei-

Literatur

- [1] Buwal: Abfall: Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle, 1997
- [2] Buwal: Abfall und Altlasten: Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von mineralischem Aushub-, Abraum- und Abbruchmaterial, 1997
- [3] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: Empfehlung SIA 162/4: Recycling-Beton. SN 562 162/4, Zürich 1994
- [4] Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein: Norm SIA 162: Betonbauten. Zürich 1968
- [5] SN 670 743a: Recycling; Betonabbruch, 1998

ner Saugfähigkeit eine wichtige Rolle. Der Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlags muss zuverlässig bestimmt werden oder das Material muss immer gleich vorbehandelt werden, damit es einen konstanten Wassergehalt [5] aufweist. Entsprechend können bei der Konzeption von Mischungen der WZ-Wert angepasst und die Qualität des Betons kontrolliert werden.

Die Untersuchungsergebnisse lassen folgenden Schluss zu:

Es gibt keine betontechnologischen Gründe mineralische Bauabfälle mit einem Anteil an Mischabbruch über drei Massenprozent nicht auch für bewehrten Beton einzusetzen, falls der Zuschlag die in [3] formulierten Anforderungen bezüglich Sulfat- und Chlorid-Gehalt erfüllt.

Adresse der Verfasser:

Andreas Leemann, Dr. sc. nat., Hanspeter Olbrecht, Bauing. HTL, Eidgenössische Forschungs- und Materialprüfungsanstalt, Abt. Beton/Bauchemie, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf