

## Alternative bei der Zementherstellung

# Brechsand als Hauptbestandteil im Zement<sup>\*)</sup>

Katrin Severins und Christoph Müller, Düsseldorf

<sup>\*)</sup> Das Verbundforschungsprojekt „R-Beton – Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen bieten durch den effizienten Einsatz des Portlandzementklinkers eine Möglichkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Herstellung von Zement zu senken. Sollen Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen in Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 eingesetzt werden, mit denen bisher in Deutschland keine baupraktischen Erfahrungen vorliegen, müssen entsprechende Nachweise ihrer Eignung im Beton erbracht werden. In Zulassungsverfahren wird üblicherweise der Einfluss der Zemente auf dauerhaftigkeitsrelevante Parameter (z.B. Chlorideindringen, Frostwiderstand) unter definierten Randbedingungen (Grenzrezepturen der

Betonzusammensetzung, Vorlagerung der Probekörper, Prüfverfahren, Bewertungskriterien) überprüft.

Feine rezyklierte Gesteinskörnungen, sogenannte Brechsande, sind nicht als Hauptbestandteil gemäß EN 197-1 (Abschnitt 5.2) definiert und dürfen somit nicht im Zement verwendet werden. Zemente unter Verwendung von Brechsand als Hauptbestandteil bedürfen einer Zulassung. Mit den Untersuchungen, die im Rahmen des R-Beton-Teilvorhabens Nr. 5 am Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf durchgeführt werden, sollen Nachweise erbracht werden, unter welchen produktions- und zementtechnischen Rahmenparametern

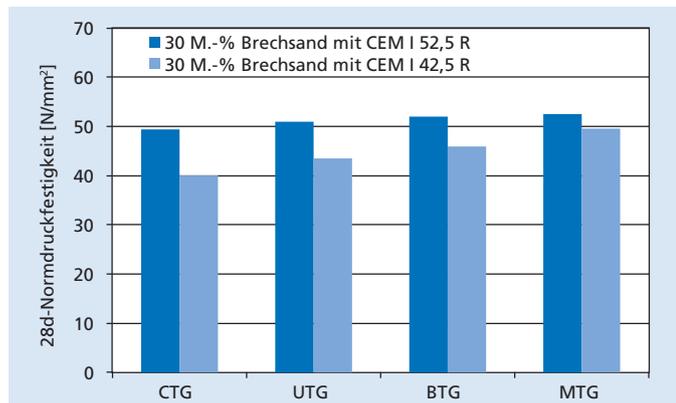
ermittelt werden, Nachweise der Eignung von R-Zementen im Beton erbracht werden.

Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen werden i.d.R. durch gemeinsames Mahlen bzw. durch getrenntes Mahlen und anschließendes Mischen der Haupt- und Nebenbestandteile sowie des Erstarrungsreglers hergestellt. Die wesentliche Grundlage der in diesem Projekt hergestellten R-Zemente (Laborzemente) bilden die Portlandzemente CEM I der Spenner Zement GmbH & Co. KG, die als Klinkerkomponente eingesetzt wurden und in den Festigkeitsklassen 42,5 R und 52,5 R zur Anwendung kamen. Die im R-Zement verwendeten Brechsande unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung (Herkunft), der Körnung und dem Aufbereitungsverfahren. Zur Anwendung kamen Brechsande aus der Aufbereitung von

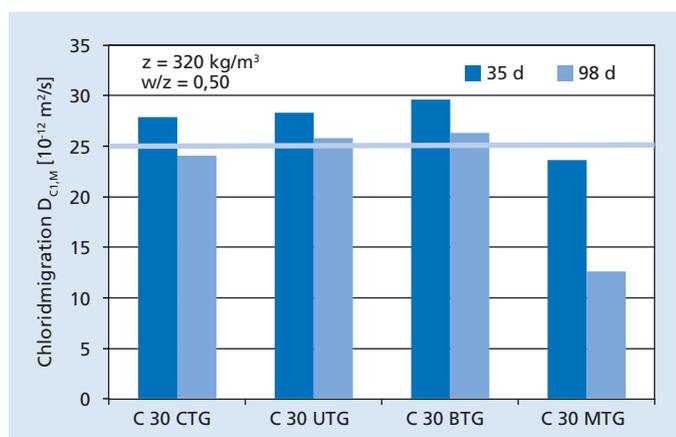
- Bahnschwellen (RC 04 T/CTG),
- Gleisschotter (RU 04 T/UTG),
- Betonbruch (B 04 T/BTG) und
- Mauerwerksbruch (M 04 T/MTG)

der Scherer & Kohl GmbH & Co. KG. Die Brechsande wurden nach Anlieferung getrocknet und in einer diskontinuierlich arbeitenden Laborkugelmühle auf eine Feinheit von ca. 4000 cm<sup>2</sup>/g nach Blaine gemahlen. Schließlich wurden die Portlandzemente im Labor mit mehlfinem Brechsand zu R-Zement gemischt. Es wurden Anteile von 10 M.-% bzw. 30 M.-% Brechsand im Zement eingestellt.

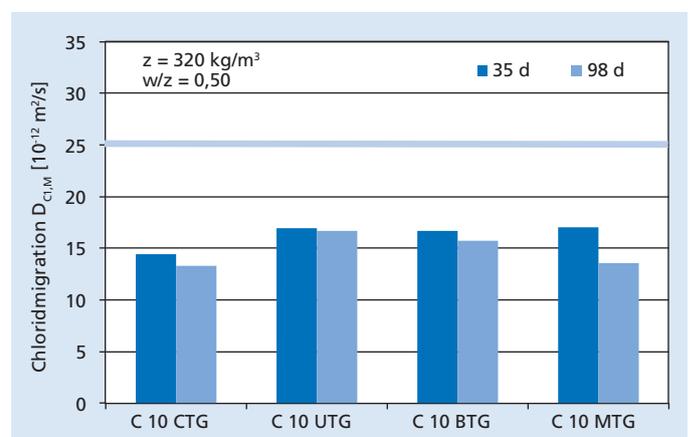
An allen R-Zementen wurden die Normdruckfestigkeiten im Alter von 2 und 28 Tagen (DIN EN 196) geprüft. Bild 1 zeigt



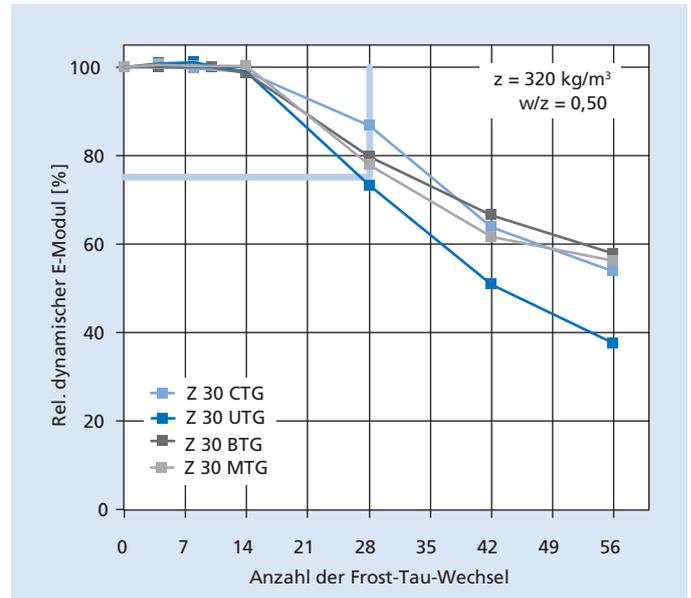
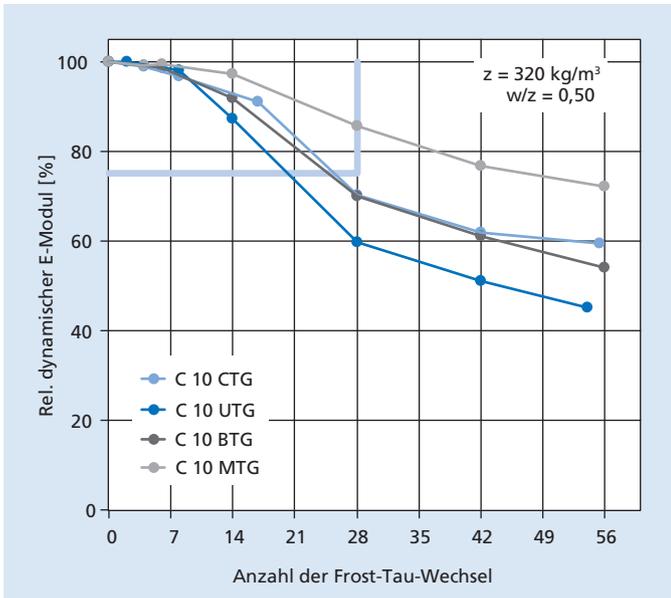
**Bild 1:** 28-d-Druckfestigkeit der R-Zemente mit 30 M.-% gemahlenem Brechsand aus trockener Aufbereitung in Kombination mit CEM I 42,5 R bzw. CEM I 52,5 R



**Bild 2:** Chloridmigrationskoeffizienten der Betone B2 unter Verwendung der R-Zemente mit 30 M.-% trocken aufbereitetem Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R im Prüfalalter von 35 d und 98 d, Betone mit  $z = 320 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z = 0,50$



**Bild 3:** Chloridmigrationskoeffizienten der Betone B2 unter Verwendung der R-Zemente mit 10 M.-% trocken aufbereitetem Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R im Prüfalalter von 35 d und 98 d, Betone mit  $z = 320 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z = 0,50$



**Bild 4:** Relativer dynamischer E-Modul der Betone B2 im CIF-Test in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, R-Zemente mit 10 M.-% trocken aufbereitetem Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R, Betone mit  $z = 320 \text{ kg/m}^3$  und  $w/z = 0,50$

**Bild 5:** Relativer dynamischer E-Modul der Betone B2 im CIF-Test in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, R-Zemente mit 30 M.-% trocken aufbereitetem Brechsand in Kombination mit CEM I 52,5 R, Betone mit  $z = 320 \text{ kg/m}^3$  und  $w/z = 0,50$

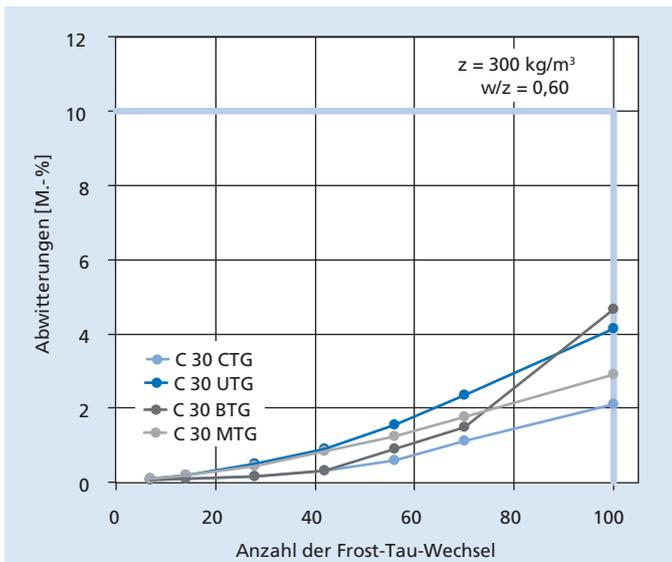
beispielsweise die Druckfestigkeit der R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand aus trockener Aufbereitung im Prüfalalter 28 Tagen unter Verwendung der CEM I-Zemente 42,5 R und 52,5 R als Klinkerbestandteile. Aus dem Bild geht hervor, dass die Art des Brechsands keine signifikanten Auswirkungen auf die Druckfestigkeit der R-Zemente hatte, wenn CEM I 52,5 R als Klinkerbestandteil verwendet wurde. Die Zemente erfüllten die Anforderungen an einen Zement der Festigkeitsklasse 42,5 R gemäß DIN EN 197-1 Tabelle 2. Wurden die R-Zemente in Kombination mit CEM I 42,5 R hergestellt, zeigten sich in

Abhängigkeit von der Art des Brechsands Festigkeitsunterschiede von bis zu  $10 \text{ N/mm}^2$ . Gemäß DIN EN 197-1 Tabelle 2 erfüllten diese R-Zemente die Anforderungen der Festigkeitsklasse 32,5 R. Vergleichsweise hohe Normfestigkeiten wurden an den R-Zementen unter Verwendung des Brechsands aus Mauerwerksbruch (M 04 T/MTG) ermittelt.

Auf Basis ausgewählter R-Zemente mit 10 M.-% bzw. 30 M.-% Brechsand wurden Betone hergestellt und geprüft. Die Betone hatten folgende Zusammensetzungen:

B1:  $z = 300 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z = 0,60$

B2:  $z = 320 \text{ kg/m}^3$ ,  $w/z = 0,50$ .



**Bild 6:** Abwitterungen der Betone B1 im Würfelverfahren in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, R-Zemente mit 30 M.-% trocken aufbereitetem Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R, Betone mit  $z = 300 \text{ kg/m}^3$  und  $w/z = 0,60$

Der Widerstand der Betone B2 gegenüber eindringenden Chloriden wurde mithilfe des Migrationstests nach BAW-Merkblatt bzw. EAD 15001-00-0301 untersucht. Die Prüfkörper wurden bis zum Prüfalalter von 35 d bzw. 98 d wassergelagert. Der Chloridmigrationskoeffizient der Betone wurde beispielsweise unter Verwendung der R-Zemente mit 30 M.-% bzw. mit 10 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R ermittelt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den Bildern 2 und 3 dargestellt.

Die Verwendung von 30 M.-% Brechsand als Zementbestandteil führte im Prüfalalter von 35 Tagen zu Chloridmigrationskoeffizienten von rd.  $24 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  bis  $30 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . Nach 98 Tagen wurden bei diesen Betonen Migrationskoeffizienten von rd.  $26 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  bzw.  $13 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ermittelt. Die niedrigsten Migrationskoeffizienten erreichte der Beton unter Verwendung des R-Zements mit Brechsand MTG (Mauerwerksbruch). Das in den Zulassungsverfahren des DIBt herangezogene Beurteilungskriterium für den Chloridmigrationskoeffizienten von  $25 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  im Prüfalalter von 35 Tagen wurde in dieser Versuchsreihe nur von diesem Beton eingehalten.

Wurde der Brechsandanteil der im Beton B2 verwendeten R-Zemente von 30 M.-% auf 10 M.-% verringert, erreichten die Migrationskoeffizienten im Prüfalalter von 35 d Werte deutlich unterhalb der vom DIBt geforderten  $25 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . Die Anforderungen an den Chlorideindringwiderstand für Anwendungen im Wasserbau ( $\leq 10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  für XS1-2, XD1-2 bzw.  $\leq 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  für XS3, XD3) wurden nicht erreicht.

Unter Verwendung der R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 52,5 R bzw. der R-Zemente mit 10 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R wurden Betone B2 zur Untersuchung der inneren Gefügeschädigung (relativer dynamischer E-Modul) im CIF-Test hergestellt. Die Herstellung der Probekörper und der Ablauf der Prüfung erfolgten gemäß CEN/TR 15177. Die Prüfungen wurden über 56 Frost-Tau-Wechsel durchgeführt. In Deutschland wurden Kriterien für Abwitterungen (CF-Test) und Kriterien für die innere Gefügeschädigung (CIF-Test) von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ festgelegt.

Bild 4 zeigt den Verlauf des relativen dynamischen E-Moduls der Betone B2 in Abhängigkeit von der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel. Wie daraus hervorgeht, hat nur der Beton, der mit dem R-Zement C 10 MTG aus 10 M.-% Mauerwerksbrechsand und CEM I 42,5 R hergestellt wurde, das maßgebliche Beurteilungskriterium für den CIF-Test eingehalten. Es wurde nach 28 Frost-Tau-Wechseln ein relativer dynamischer E-Modul von > 75 % erzielt. Die Betone, die auf Basis der anderen R-Zemente hergestellt wurden, haben das Beurteilungskriterium für die innere Gefügeschädigung nicht eingehalten.

Aus Bild 5 geht hervor, dass drei von vier Betonen (R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand und CEM I 52,5 R) das Beurteilungskriterium für den CIF-Test nach Merkblatt

„Frostprüfung von Beton“ eingehalten haben. Der Beton, der mit dem R-Zement Z 30 UTG (Gleisschotter) hergestellt wurde, hat das maßgebliche Beurteilungskriterium nicht eingehalten. An den anderen Betonen wurde im CIF-Test ein relativer dynamischer E-Modul von > 75 % nach 28 Frost-Tau-Wechseln erzielt.

Die Abwitterungen der Betone zeigen nur geringe Unterschiede in Abhängigkeit von der Art der Brechsande. Bild 6 ist zu entnehmen, dass bei Anwendung von R-Zement mit 30 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R die Abwitterungen mit maximal 4,7 M.-% auf niedrigem Niveau lagen. Bei der Anwendung von R-Zementen im Beton wurde der in den Zulassungsprüfungen des DIBt verwendete Grenzwert für Abwitterungen von 10 M.-% nach 100 Frost-Tau-Wechseln mit Abstand eingehalten.

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse an Laborzementen wurden R-Zemente großtechnisch hergestellt. Portlandzementklinker, Sulfatträger und Brechsand (Mauerwerksbruch) wurden im Rahmen eines Betriebsversuchs im Zementwerk gemeinsam gemahlen. Zur Mahlung wurde eine im Kreislauf mit Sichter betriebene Kugelmühle verwendet. Im R-Zement wurden Brechsandgehalte von 8 M.-% bis 15 M.-% eingestellt. Die Untersuchungen an den großtechnisch hergestellten R-Zementen werden zeigen, welchen Einfluss ein gemeinsames Mahlverfahren bzw. die Zusammensetzung eines Brechsands aus selektivem Rückbau auf die Eigenschaften der R-Zemente sowie auf die Dauerhaftigkeit der mit ihnen hergestellten Betone haben können.