

SUMMARY

The use of recycled crushed sands contributes to closing the material cycles in the building materials industries that process non-metallic minerals. The potential that arises from the processing of mineral demolition waste for the production of resource-conserving concretes was investigated in the "R-Beton" joint research project. Investigations by VDZ gGmbH showed that the production and use of clinker-efficient cements that contain finely ground crushed sand as a main cement constituent can represent an alternative recycling route. Crushed sand from railway sleepers, railway ballast, crushed concrete, bricks, tiles and masonry was used in the project. In Germany, the recycling of crushed sand in this way involves proof of usability in accordance with building regulations law. In addition to the environmental compatibility of the crushed sands and the technical performance of the cements containing crushed sand as specified in DIN EN 197-1 it is also necessary to comply with the approval-relevant durability for the concretes to be produced with these cements (so-called R-cements) and fulfil building inspectorate requirements. The investigations in the project have shown, for example, that concretes made with R-cements containing 10 or 30 mass % crushed masonry with a high clay brick content can pass all the durability tests safely, in contrast to cements made with crushed sand of different origin. When the results obtained in the project are considered as a whole it can be stated that R-cements made with up to 30 mass % crushed sand could, at least, be used for internal component concretes but external components in building construction also appear to be possible. The investigations carried out on crushed sands with respect to their effects on soil and water have shown that the environmental analysis requirements for solids and eluates as specified in DIN 4226-101 can be fulfilled. ◀

ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz von Recyclingbrechsanden trägt dazu bei, Stoffkreisläufe der Steine und Erden verarbeitenden Baustoffindustrie weiter zu schließen. Die Potenziale, die sich aus der Aufbereitung mineralischer Bauabfälle bis hin zur Herstellung ressourcenschonender Betone ergeben, wurden im Verbundforschungsvorhaben „R-Beton“ ausgelotet. Mit Untersuchungen der VDZ gGmbH wurde gezeigt, dass die Herstellung und die Anwendung klinkereffizienter Zemente, die fein gemahlene Brechsand als Zementhauptbestandteil enthalten, einen alternativen Verwertungsweg darstellen können. Im Projekt kamen Brechsande aus Bahnschwellen, Gleisschotter, Beton-, Ziegel- und Mauerwerksbruch zur Anwendung. In Deutschland ist eine derartige Verwertung von Brechsanden an bauordnungsrechtliche Verwendbarkeitsnachweise geknüpft. Neben der Umweltverträglichkeit der Brechsande und der technischen Leistungsfähigkeit der brechsandhaltigen Zemente gemäß DIN EN 197-1 müssen insbesondere die mit diesen Zementen (so genannte R-Zemente) herzustellenden Betone zulassungsrelevante Dauerhaftigkeitskriterien einhalten und bauaufsichtliche Anforderungen erfüllen. Die Untersuchungen im Projekt haben gezeigt, dass beispielsweise Betone mit R-Zementen mit 10 bzw. 30 M.-% ziegelreichem Mauerwerksbruch im Vergleich zu Zementen mit Brechsanden anderer Herkunft alle Dauerhaftigkeitsprüfungen sicher bestehen können. Betrachtet man die im Projekt erzielten Ergebnisse insgesamt, ist festzustellen, dass R-Zemente mit bis zu 30 M.-% Brechsand mindestens in Innenbauteilbetonen eingesetzt werden könnten. Auch Außenbauteile des Hochbaus erscheinen möglich. Die Untersuchungen der Brechsande hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Boden und Gewässer haben gezeigt, dass die umweltanalytischen Anforderungen an Feststoffe und Eluate gemäß DIN 4226-101 erfüllt werden können. ◀

(English text supplied by the author)

Crushed sand as a main cement constituent – guidelines for future use in cement and concrete

Brechsand als Zementhauptbestandteil – Leitlinien künftiger Anwendung im Zement und Beton

1 Introduction

Climate protection and resource efficiency are two important topics on the environmental political agenda. They will undoubtedly also continue to influence building with cement and concrete. The use of recycled crushed sand in cement plants contributes to further closing of mineral material cycles. Its use as a main constituent offers a possible way of reducing the proportion of Portland cement clinker and therefore of lowering CO₂ emissions. However, this requires a continuous and uniform flow of material of appropriate quality from the recycling plant to the cement plant. Moreover, national technical approvals or project-related approvals would also be necessary in each individual case.

Based on the current regulations, the results from the BMBF research project (www.r-beton.de) "R-Beton" are presented below and recommendations are derived for the production of resource-conserving cements with ground recycled crushed sand as a main constituent. In the "R-Beton" project the cements containing crushed sand are designated "R-cements". The project was funded by the Federal Ministry of Education and Research.

2 Definitions and standard references

Mineral demolition wastes are composed of

- › building rubble
- › road demolition material
- › earth and rocks
- › plaster-based building waste
- › building site waste

(cf. "Monitoring 2016 – mineral demolition wastes" for construction recycling management). Recycled building materials are produced by active processing of mineral demolition wastes. The processing procedure consists essentially of comminution, sorting and classifying processes that produce recycled aggregates, including fine recycled aggregates – the so-called crushed sands.

The term "recycled crushed sand" is defined in DIN 4226-100 (aggregates for mortar and concrete, Part 100: recycled aggregates) as recycled aggregate ≤ 4 mm. Coarser recycled aggregate > 4 mm is defined as "recycled chippings".

Depending on the origin, construction time and application of the materials used and on the selection and processing of the demolition wastes the coarse and fine recycled aggregates can exhibit a correspondingly wide variability in their chemical, mineralogical and physical properties. Depending on the quality of the materials, DIN 4226-100 differentiates between the following delivery categories:

1 Einleitung

Klimaschutz und Ressourceneffizienz sind zwei wesentliche Themen der umweltpolitischen Agenda. Sie werden zweifelsohne auch das Bauen mit Zement und Beton weiterhin beeinflussen. Der Einsatz von Recyclingbrechsand im Zementwerk trägt dazu bei, mineralische Stoffkreisläufe weiter zu schließen. Seine Verwendung als Hauptbestandteil bietet eine Möglichkeit, den Anteil des Portlandzementklinkers zu reduzieren und somit CO₂-Emissionen zu senken. Allerdings muss hierzu ein kontinuierlicher, gleichmäßiger Stoffstrom von entsprechender Qualität zwischen Aufbereitern und Zementwerk gegeben sein. Zudem wäre eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Zustimmung im Einzelfall notwendig.

Ausgehend von aktuell geltenden Regelwerken werden im Folgenden Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben „R-Beton“ (www.r-beton.de) vorgestellt sowie Vorschläge zur Herstellung ressourcenschonender Zemente mit gemahltem Recyclingbrechsand als Hauptbestandteil abgeleitet. Im Projekt „R-Beton“ wurden die brechsandhaltigen Zemente als „R-Zemente“ bezeichnet. Das Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

2 Definitionen und normative Verweise

Mineralische Bauabfälle setzen sich aus

- › Bauschutt
- › Straßenaufbruch
- › Boden und Steinen
- › Bauabfällen auf Gipsbasis
- › Baustellenabfällen

zusammen (vgl. „Monitoring 2016 Mineralische Bauabfälle“ der Kreislaufwirtschaft Bau). Recycling-Baustoffe (RC-Baustoffe) werden durch aktives Aufbereiten mineralischer Bauabfälle hergestellt. Der Aufbereitungsprozess beinhaltet im Wesentlichen Zerkleinerungs-, Sortier- und Klassierverfahren. In diesem Prozess entstehen Recycling-Gesteinskörnungen, u.a. feine rezyklierte Gesteinskörnungen, die so genannten Brechsande.

Der Begriff „rezyklierter Brechsand“ ist in DIN 4226-100 (Gesteinskörnungen für Mörtel und Beton, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen) als rezyklierte Gesteinskörnung ≤ 4 mm definiert. Größere, rezyklierte Gesteinskörnung > 4 mm ist als „rezyklierter Splitt“ definiert.

Je nach Herkunft, Bauzeit und Verwendung der eingesetzten Materialien und je nach Selektierung und Aufbereitung der Bauabfälle können grobe und feine rezyklierte Gesteinskörnungen eine entsprechend große Variabilität an chemisch-

- › concrete chippings, concrete crushed sand (type 1)
- › building chippings, building crushed sand (type 2)
- › masonry chippings, masonry crushed sand (type 3)
- › mixed chippings, mixed crushed sand (type 4)

Within these delivery categories the material compositions vary with respect to their proportions of, for example, unbonded or hydraulically or ceramically bonded materials, e.g. natural rock, concrete or brick.

3 Possible applications and material cycles

3.1 Recycling routes for recycled aggregates

In the processing of mineral demolition wastes, "Monitoring 2016 – mineral demolition wastes" differentiates between the following important recycling routes depending on the way the recycled aggregates are re-used:

- › production of concrete and asphalt
- › road construction
- › soil engineering
- › other

The unrestricted use of fine recycled aggregates (< 4 mm) is currently not possible.

3.2 Backfilling with recycled aggregates

Earth and rock materials are usually unprocessed when they are recycled as backfilling or embankment material in road, landscape and landfill construction and for recultivating extraction areas (source: German Building Materials Association/Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V.), whereas recycled building materials basically have to be processed. After they have been processed the recycled aggregates that are used mainly in unbonded form exhibit defined particle size distributions matched to the specific area of use. These cover both the fine range (0 to 4 mm) and the coarse range (> 4 mm).

3.3 Concretes made with recycled aggregates

The recycled aggregates for use in concretes must be processed so that their use is permitted in accordance with the recycling guidelines issued by the DAfStb (German Committee for Structural Concrete) "Concrete complying with DIN EN 206-1 and DIN 1045-2 made with recycled aggregates complying with DIN EN 12602". In the current guidelines the scope of application for recycled aggregates is restricted to aggregates of the delivery types 1 (concrete chippings) and 2 (building chippings) of grain size > 2 mm. This means that concrete crushed sands and building crushed sands can only be processed in concrete if they have a grain size > 2 mm.

The use of finer recycled aggregates ≤ 2 mm is ruled out in the DAfStb guidelines and is therefore not permitted for the production of structural concrete. The reasons for this are the sometimes less favourable properties of crushed sand – when compared with coarser aggregates and natural sands – mainly due to the adhesions (e.g. hardened cement paste) to the natural aggregate.

3.4 Alternative recycling routes: crushed sand as cement main constituent

With respect to the question of alternative recycling routes it is basically possible to consider the re-use of crushed sands in the production of cement – e.g. as cement main constituent. For cements with several main constituents, for which

mineralogischen sowie physikalischen Eigenschaften aufweisen. In Abhängigkeit der Materialqualitäten werden in DIN 4226-100 folgende Liefertypen unterschieden:

- › Betonsplitt, Betonbrechsand (Typ 1)
- › Bauwerksplitt, Bauwerkbrechsand (Typ 2)
- › Mauerwerksplitt, Mauerwerkbrechsand (Typ 3)
- › Mischsplitt, Mischbrechsand (Typ 4)

Innerhalb dieser Liefertypen variieren die stofflichen Zusammensetzungen hinsichtlich ihrer Anteile, z.B. an ungebundenen bzw. hydraulisch oder keramisch gebundenen Stoffen wie Naturstein, Beton oder Ziegel.

3 Anwendungsmöglichkeiten und Stoffkreisläufe

3.1 Verwertungswege für RC-Gesteinskörnungen

In der Aufbereitung mineralischer Bauabfälle werden in Abhängigkeit von der Art der Wiederverwendung der rezyklierten Gesteinskörnungen (RC-Gesteinskörnungen) laut „Monitoring 2016 Mineralische Bauabfälle“ folgende wesentliche Verwertungswege unterschieden:

- › Beton- und Asphaltherstellung
- › Straßenbau
- › Erdbau
- › Sonstige

Die uneingeschränkte Verwendung von feinen rezyklierten Gesteinskörnungen (< 4 mm) ist derzeit nicht möglich.

3.2 Verfüllungen mit RC-Gesteinskörnungen

Während der Stoffstrom aus Boden und Steinen überwiegend unaufbereitet in seine Verwertung als Verfüll- oder Auffüllmaterial im Straßen-, Landschafts- und Deponiebau bzw. zur Rekultivierung von Abbauflächen gelangt (Quelle: Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.), sind RC-Baustoffe grundsätzlich aufzubereiten. Die zum Großteil ungebunden eingesetzten, rezyklierten Gesteinskörnungen weisen nach ihrer Aufbereitung definierte, auf das konkrete Einsatzgebiet abgestimmte Korngrößenverteilungen auf, die sowohl den Feinbereich (0 bis 4 mm) als auch den Grobbereich (> 4 mm) abdecken.

3.3 Betone mit RC-Gesteinskörnungen

Für die Anwendung im Beton sind die RC-Baustoffe so aufzubereiten, dass sie gemäß Recyclingrichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“ eingesetzt werden dürfen. In der aktuellen Richtlinie ist der Anwendungsbereich der rezyklierten Gesteinskörnungen begrenzt und auf Gesteinskörnungen der Liefertypen 1 (Betonsplitt) und 2 (Bauwerksplitt) mit der Körnung > 2 mm beschränkt. Insofern dürfen Betonbrechsande und Bauwerkbrechsande nur dann im Beton verarbeitet werden, wenn sie die Körnung > 2 mm aufweisen.

Die Verwendung feinerer rezyklierter Gesteinskörnungen ≤ 2 mm ist in der DAfStb-Richtlinie ausgeschlossen und daher zur Herstellung von Konstruktionsbeton nicht erlaubt. Grund hierfür sind die im Vergleich zu größeren Körnungen sowie zu natürlichen Sanden zum Teil ungünstigeren Eigenschaften von Brechsand, vorrangig aufgrund der Anhaftungen (z.B. Zementstein) am natürlichen Gesteinskorn.

“First class service for any fan.”



Service delivery field-proven & globally trusted for safety.

Turn-key aftermarket services for TLT-Turbo & third party fans.

As an OEM, TLT-Turbo's fan specialists and engineers provide turn-key services for fans and auxiliary equipment:

- ▶ Supply of original spare parts, repairs or complete assemblies (blades, hydraulics, main bearings or spare rotors).
- ▶ Upgrades, refurbishment and maintenance from commissioning, to manufacturing and installation.
- ▶ Training of on-site staff on fan operation and maintenance requirements.
- ▶ Swift response to troubleshooting for vibration diagnostics and balancing of fans on site, including inspections and assessments.
- ▶ Quality assurance on all work is ensured by referral to original drawings and specifications.
- ▶ Mobile 3D-scans and re-engineering for damaged third party fans and parts.
- ▶ Customer specific and value oriented wear protection and anti-caking solutions even under the severest environmental conditions.

TLT-Turbo GmbH | Gleiwitzstr. 7, 66482 Zweibruecken
Phone: +49 6332 808-0 | Email: service@tlt-turbo.com

www.tlt-turbo.com



there is still no long-term experience available, there are strict requirements with respect to furnishing proof of their suitability. First it is necessary to provide proof for the environmental compatibility of the crushed sands. In addition to the technical performance of the cements, the concretes to be produced with these cements have to meet the durability criteria that are relevant to approvals. Building inspectorate requirements, e.g. for the freeze-thaw resistance, the chloride penetration resistance or the carbonation resistance, must also be fulfilled.

The production and application of cement that contains crushed sand as main constituent is currently not possible in Germany without proof of usability in accordance with the building regulation law (national technical approval/project-related approval). The potential for using crushed sands as main or secondary cement constituents was examined in investigations by VDZ gGmbH. The findings from the "R-Beton" joint research project (Resource-conserving concrete – next-generation material) funded by the BMBF are summarized below.

4 Classification of crushed sands according to the origins of the demolition materials

Depending on the regional deposits and production sites, mineral building materials have already been produced, processed and used in Germany for hundreds of years. There are corresponding differences in the demolition wastes that are processed in modern times from demolition and selective reinstatement. Information about the demolition material from which crushed sand had been obtained is important for further use of the crushed sand. Initial information about the chemical and mineralogical composition of the crushed sand constituents can be deduced in advance from this knowledge.

In the "R-Beton" project, crushed sands were obtained from the demolition materials shown in Table 1. The demolition materials came from the Rhine-Main-Neckar area. The recycled aggregates were processed dry – i.e. without washing – in a recycling plant in Ludwigshafen. The maximum grain size of the crushed sands had an equivalent diameter of about 4 mm. The moisture content of the crushed sands varied between 4 and 14 mass %. Comparatively low moisture levels were measured in the crushed sands containing concrete and correspondingly higher levels in the crushed sands with brick and tile.

Crushed sands, that are to be used as a cement main constituent, can be ground separately or interground with other cement constituents. In laboratory trials the crushed sands (see Table 1) were first dried and then ground in ball mills operating discontinuously (batch mills). The grinding times needed to achieve a comparable fineness of about 4200 cm²/g Blaine varied over a wide range, depending on the nature and grindability of the material. Fig. 1 shows an example of the granulometric evaluation of crushed sands with a clay brick/tile content that had been ground in the laboratory.

It can be seen from Fig. 1 that after grinding to a comparable Blaine fineness the crushed sands that have a high content of roof tiles and are easy to grind have a wider particle size distribution with a lower slope (slope n) than the crushed sands from mixed demolition material with a low tile content

3.4 Alternativer Verwertungsweg: Brechsand als Zementhauptbestandteil

Im Hinblick auf die Frage alternativer Verwertungswege kann grundsätzlich die Verwendung von Brechsanden bei der Herstellung von Zement, z.B. als Zementhauptbestandteil, in Betracht gezogen werden. An Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen, für die es noch keine Langzeiterfahrungen gibt, werden hohe Anforderungen bzgl. der Nachweisführung ihrer Eignung gestellt. Zunächst sind Nachweise zur Umweltverträglichkeit der Brechsande zu erbringen. Neben der technischen Leistungsfähigkeit der Zemente müssen insbesondere die mit diesen Zementen herzustellenden Betone zulassungsrelevante Dauerhaftigkeitskriterien einhalten und bauaufsichtliche Anforderungen, z.B. an den Frostwiderstand, den Chlorideindringwiderstand oder den Carbonatisierungswiderstand erfüllen.

Die Herstellung und Anwendung eines Zements, der Brechsand als Hauptbestandteil beinhaltet, ist derzeit in Deutschland ohne einen bauordnungsrechtlichen Verwendbarkeitsnachweis (Zulassung/Zustimmung) nicht möglich. Mit Untersuchungen der VDZ gGmbH wurden die Potenziale der Verwendung von Brechsanden als Zementhaupt- oder Nebenbestandteil ausgelotet. Die in dem BMBF-geförderten Verbundforschungsvorhabens „R-Beton“ (Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation) gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden zusammengefasst.

4 Einordnung der Brechsande nach Herkunft der Abbruchmaterialien

In Abhängigkeit regionaler Lager- und Produktionsstätten werden in Deutschland bereits seit Jahrhunderten mineralische Baustoffe hergestellt, verarbeitet und eingebaut. Entsprechend differenziert sind die in der heutigen Zeit aufbereiteten Bauabfälle aus Abbruch und selektivem Rückbau einzuordnen. Für die Weiterverwendung eines Brechsands sind die Kenntnisse, aus welchem Abbruchmaterial ein Brechsand gewonnen wurde, wesentlich. Anhand dieser Kenntnisse lassen sich bereits vorab erste Aussagen zur chemisch-mineralogischen Zusammensetzung der Brechsandbestandteile ableiten.

Im Projekt „R-Beton“ wurden Brechsande aus unterschiedlichen Abbruchmaterialien (Tabelle 1) gewonnen. Die Abbruchmaterialien stammten aus dem Großraum Rhein-Main-Neckar. In einem Recyclingwerk in Ludwigshafen wurden die RC-Gesteinskörnungen trocken, d.h. ohne Waschverfahren, aufbereitet. Das Größtkorn der Brechsande lag bei einem äquivalenten Durchmesser von ca. 4 mm. Der Feuchtegehalt der Brechsande variierte zwischen 4 und 14 M.-%. An den betonhaltigen Brechsanden wurden vergleichsweise geringe, an den ziegelhaltigen Brechsanden entsprechend höhere Feuchtegehalte ermittelt.

Brechsande, die als Hauptbestandteil eines Zements eingesetzt werden sollen, können separat oder gemeinsam mit anderen Zementbestandteilen gemahlen werden. In Laborversuchen wurden die Brechsande (s. Tabelle 1) zunächst getrocknet und anschließend in diskontinuierlich arbeitenden Kugelmühlen (Batchmühlen) gemahlen. Die Mahldauer zum Erreichen einer vergleichbaren Mahlfineinheit von ca. 4200 cm²/g nach Blaine variierte je nach Beschaffenheit und Mahlbarkeit des Mahlguts in weiten Grenzen. Bild 1 zeigt

Aktion Deutschland Hilft
Das starke Bündnis bei Katastrophen



Wenn Menschen durch große Katastrophen in Not geraten, helfen wir. Gemeinsam, schnell und koordiniert.

Spendenkonto: DE62 3702 0500 0000 1020 30
Förderer werden unter: www.Aktion-Deutschland-Hilft.de

Aktion Deutschland Hilft
Bündnis deutscher Hilfsorganisationen



We keep your drive running!



So small damages don't turn into big ones:

- Online Condition Monitoring
- Offline Vibration Diagnosis
- Torque Measurement
- Trouble Shooting
- Gearbox Inspection / Endoscopy



www.maschinendiagnose.de

LISTENOW
VERLADESYSTEME FÜR SCHÜTTGÜTER

Replacement loading hoses
+49 7152 50900

We make sure that nothing gets lost!

For over **40 years**, our loading systems for bulk materials have been synonymous around the world with long-lasting and reliable technology.

- > Bulk loading systems for open and closed loading
- > Loading with no segregation e.g. with **FLOW-stop** technology
- > Dust-free loading
- > High quality loading hoses e.g. made in wear-resistant **PU-flex**
- > Positioning System **LIS-pos**
- > First-class service: Start-up and installation, Revision and repair services, System maintenance, modernisation and upgrading
- > more information at www.listenow.com



LISTENOW GmbH & Co • Dieselstrasse 21 • 71277 Rutesheim • Germany
+49 7152 50900 | listenow@listenow.com | www.listenow.com

QUESTIONS ABOUT CEMENT STORAGE?



LOOK NO FURTHER.

- Designed & Manufactured by Tank Connection
- Grade level synchronized jacking process
- Long life + Low maintenance
- Unmatched, factory applied powder coatings
- Heavy, modular silo design
- Zero leak design + Smoothwall construction
- ISO 9001 Certified QMS
- Employee owned + American made

Tank Connection | +1 620-423-3010 | sales@tankconnection.com | tankconnection.com



Table 1: Crushed sands from the "R-Beton" project
Tabelle 1: Brechsande aus dem Projekt „R-Beton“

Demolition material	Description of the constituents
Railway ballast	Natural crushed aggregates, not bonded
Railway sleepers	Reinforced concrete, hydraulically bonded
Crushed concrete	Mixture of, e.g. concrete components, concrete blocks, concrete screed, masonry, cement mortar; predominantly hydraulically bonded, but partially ceramically or sulfate bonded
Crushed masonry	Mixture with <u>high clay brick/tile content</u> of predominantly low-burnt clay products, such as masonry bricks; also roof tiles, clinker, sand-lime blocks, concrete block masonry, tiling, masonry and plastering mortars; predominantly ceramically bonded, but partially hydraulically or sulfate bonded
Crushed mixed masonry	Mixture with <u>low clay brick/tile content</u> , e.g. from clinker, sand-lime blocks, concrete block masonry, low- and high-burnt masonry bricks and roof tiles, tiling, masonry and plastering mortars; predominantly ceramically bonded, but partially hydraulically or sulfate bonded
Crushed roof tiles	Mixture of burnt tiles, ceramically bonded

that is hard to grind. A narrower particle size distribution with a higher slope n was determined after the mixed demolition material had been ground.

The granulometric and material compositions of the crushed sands and their grindability represent essential input parameters for large-scale grinding plant operation. In this respect the homogeneity of the crushed sands (from single-type or mixed demolition materials) as well as the nature of the crushed sand constituents (e.g. bricks and tiles, hardened cement paste matrix or natural aggregate) affect the grindability and therefore the grinding operation. Single-type crushed sands, such as are obtained from selective reinstatement with subsequent separate processing, are more suitable for mills and grinding operation because they have small, calculable fluctuations in their material composition and stable operating conditions can be achieved. On the other hand, crushed sands from demolition material of varying origin that has not been homogenized are subject to larger fluctuations and possibly have an unfavourable effect on the grinding operation.

5 Assessing environmentally relevant crushed sand properties

It is necessary to ensure a continuous and uniform flow of material of appropriate quality from the recycling plant to the cement plant if crushed sands are to be used as main cement constituents. The quality requirements are aimed particularly at the environmentally relevant or chemical/mineralogical composition of the crushed sands. The focus is initially on the effects on soil and water and then on the cement technology properties and those that are relevant to durability.

At present crushed sands are not defined as main constituents in DIN EN 197-1. This means that cements using ground

beispielhaft die granulometrische Auswertung laborseitig gemahlener, ziegelhaltiger Brechsande.

Aus Bild 1 geht hervor, dass die leicht mahlbaren, ziegelreichen Brechsande (Dachziegel) nach der Mahlung auf eine vergleichbare Feinheit nach Blaine eine breitere Korngrößenverteilung mit geringerer Steigung (Steigungsmaß n) aufweisen als die ziegelarmen Brechsande aus gemischtem, schwer mahlbarem Bruch. Am Mischbruch wurde nach der Mahlung eine engere Korngrößenverteilung mit höherem Steigungsmaß n ermittelt.

Für den großtechnischen Mahlanlagenbetrieb stellen die granulometrische und stoffliche Zusammensetzung der Brechsande sowie ihre Mahlbarkeit wesentliche Eingangsparameter dar. Insofern wirken sich die Homogenität der Brechsande (z.B. aus sortenreinem Abbruch oder gemischtem Abbruch) wie auch die Beschaffenheit der Brechsandbestandteile (z.B. Ziegel,

Zementsteinmatrix oder natürliche Gesteinskörnung) auf die Mahlbarkeit und somit auf den Mahlbetrieb aus. Sortenreine Brechsande, wie sie z.B. aus selektivem Rückbau mit anschließender separater Aufbereitung stammen, werden sich für Mühle und Mahlbetrieb besser eignen, da sie geringe, kalkulierbare Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung aufweisen und ein stabiler Betriebszustand erzielt werden kann. Dagegen können Brechsande aus nicht homogenisiertem Abbruch variabler Herkunft deutlich größeren Schwankungen unterliegen und den Mahlbetrieb ggf. ungünstig beeinflussen.

5 Beurteilung umweltrelevanter Brechsand-eigenschaften

Sollen Brechsande als Zementhauptbestandteil eingesetzt werden, ist ein kontinuierlicher, gleichmäßiger Stoffstrom von entsprechender Qualität zwischen Aufbereitern und Zementwerk zu gewährleisten. Die Qualitätsanforderungen richten

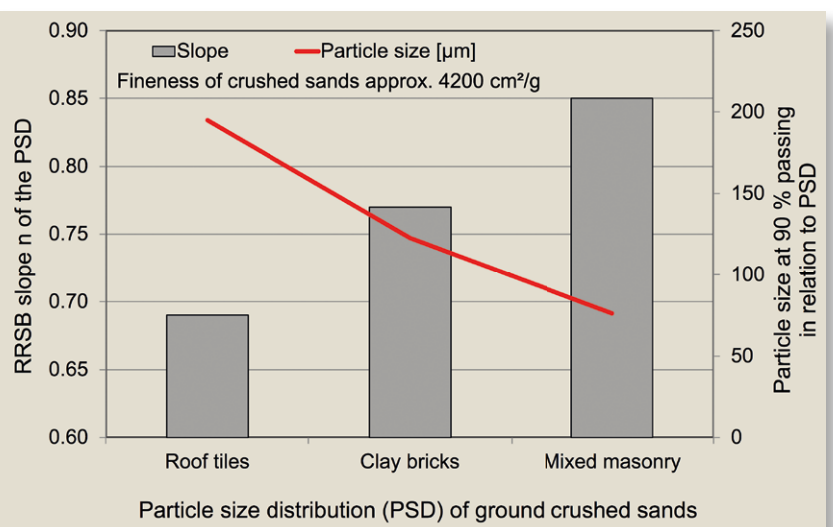


Figure 1: Parameters of the RRSB particle size distributions of ground crushed sands of varying composition that contain clay brick/tile material

Bild 1: Parameter der RRSB-Korngrößenverteilungen gemahlener, ziegelhaltiger Brechsande unterschiedlicher Zusammensetzung



(Semi-)Turnkey grinding plants | Mills | Rotary dryers | Separators |
Hot gas generators | Online Particle Size Analysers

CEMTEC

Cement & Mining Technology

Ennschafstraße 40 | 4470 Enns | Austria
T +43/7223/83620-0 | www.cemtec.at

More than 400 realized projects worldwide

Production of single equipment and turnkey projects

In-house laboratory and research centre

More than 30 years experience on the global market

Cement mill
(\varnothing 4,8x15 m)
on stock

Improve your plant performance

We conduct technical and energy reviews using our proven assessment methods based on state-of-the-art technology and research. For your specific needs we develop tailor-made solutions drawing on our broad experience and comprehensive expertise in cement manufacturing.

We can support you with:

- Independent expert assessment of the entire manufacturing process
- Comparison of your plant against the VDZ database and BAT values
- Identification of optimisation measures for your processes and product quality
- In-depth energy efficiency analyses and identification of saving potentials
- Recommendation of mechanical improvement measures for your plant
- Development of innovative solutions for emissions reduction

vdz.

Interested? Contact us!



Phone: +49-211-45 78-254

Email: ubt@vdz-online.de

Tannenstrasse 2

40476 Duesseldorf, Germany

<https://www.vdz-online.de/en>

crushed sand as main constituent require proof of usability in accordance with the building regulations law, i.e. a national technical approval/project-related approval.

5.1 The environmental analysis approach

An approach for carrying out and evaluating environmental analysis investigations on crushed sands was developed in the "R-Beton" project. This approach and the results of the crushed sand analyses should form the basis for future evaluation criteria in accordance with the building regulations law and describe the possible use of different crushed sands as main or secondary constituents in cement. The environmental analysis approach is summarized in Table 2.

Requirements from the notifications by the LAGA (Working Group of the Federal States on Waste) and the DIBt (German Institute for Building Technology) were first consulted for guidance. Since August 2017 the limit values of the eluate and solids parameters from Table 2 of DIN 4226-101 (Recycled aggregates for concrete in accordance with DIN EN 12620 - Part 101: Types and regulated dangerous substances) have also been taken into account.

Before they were used in the laboratory as cement constituents the crushed sands were analyzed in stages and evaluated with a view to the next stage that might be needed. Stages 1 and 2 were applied to all crushed sands but Stage 3 was not employed.

5.2 Results from Stage 1: Investigation of the solid content

The solid content of the crushed sands were assessed in accordance with the LAGA benchmark paper. The following parameters of the solids were determined:

- ▶ extractable organic halides, volatile halogenated hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons 16, polychlorinated biphenyls 6
- ▶ arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, lead, vanadium, zinc, mercury

The requirements for the solid content formulated in the LAGA benchmark paper were met. The requirements listed in DIN 4226-101 were also fulfilled.

5.3 Results from Stage 2: Investigation of the eluates

Before production of the corresponding eluates the crushed sand samples from railway sleepers, crushed concrete, railway ballast, masonry and roof tiles (grain size 0/4) were ground to a grain size < 125 µm. The mixed masonry demolition material was crushed to a grain size < 2 mm before production of the eluate. The DEV S4 procedure (DIN 38414-4, shaking test) was carried out. The following parameters of the eluates were determined:

sich insbesondere an die umweltrelevante bzw. chemisch-mineralogische Zusammensetzung der Brechsande. Im Vordergrund stehen dabei zunächst die Auswirkungen auf Boden und Gewässer sowie im Weiteren auf zementtechnische und dauerhaftigkeitsrelevante Eigenschaften.

Derzeit sind Brechsande in DIN EN 197-1 nicht als Hauptbestandteil definiert. Zemente unter Verwendung von gemahlenem Brechsand als Hauptbestandteil bedürfen daher eines bauordnungsrechtlichen Verwendbarkeitsnachweises, d.h. einer Zulassung/Zustimmung.

5.1 Das umweltanalytische Konzept

Im Projekt „R-Beton“ wurde ein Konzept zur Durchführung und Auswertung umweltanalytischer Untersuchungen an Brechsanden erarbeitet. Dieses Konzept sowie die Ergebnisse der Brechsandanalysen sollten die Basis für künftige, bauordnungsrechtliche Bewertungskriterien bilden und einen möglichen Einsatz unterschiedlicher Brechsande als Haupt- und Nebenbestandteil im Zement beschreiben. Das umweltanalytische Konzept ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Zur Orientierung wurden zunächst Anforderungen aus den Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) sowie des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) herangezogen. Seit August 2017 wurden darüber hinaus die Höchstwerte der Eluat- und Feststoffparameter aus Tabelle 2 der DIN 4226-101 berücksichtigt (Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen).

Vor ihrer labortechnischen Verwendung als Zementbestandteil wurden die Brechsande stufenweise analysiert und mit Blick auf die jeweils nächste, ggf. erforderliche Stufe bewertet. Stufe 1 und Stufe 2 wurden auf alle Brechsande angewendet. Stufe 3 wurde nicht in Ansatz gebracht.

5.2 Ergebnisse aus Stufe 1: Untersuchung der Feststoffwerte

Die Feststoffwerte der Brechsande wurden nach dem LAGA-Eckpunktepapier beurteilt. Folgende Parameter wurden am Feststoff bestimmt:

- ▶ EOX, LHKW, PAK16, PCB6
- ▶ Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Vanadium, Zink, Quecksilber

Die im LAGA-Eckpunktepapier formulierten Anforderungen an die Feststoffwerte wurden eingehalten. Darüber hinaus wurden die in DIN 4226-101 aufgeführten Anforderungen erfüllt.

Table 2: Environmental analysis approach from the "R-Beton" project.

Tabelle 2: Umweltanalytisches Konzept aus dem Projekt „R-Beton“

Stage	Description of the investigations, evaluation of the results
1	Investigations to determine the solid content, application of a DIBt test plan for recycled aggregates, evaluation of the analysis results in accordance with the LAGA benchmark paper and total content in accordance with DIN 4226-101:2017-08
2	Investigations of eluates by the DEV S4 method, application of a DIBt test plan for recycled aggregates, classification/allocation of the analysis results in accordance with LAGA M 20 and total content in accordance with DIN 4226-101:2017-08
3	Investigations in accordance with DAfStb guidelines "Determination of the release of inorganic substances by leaching from cement-bonded building materials", long-term standing test on concrete, application of a DIBt test plan

- arsenic, cadmium, chromium, copper, nickel, lead, vanadium, zinc, mercury
- chloride, sulfate, phenol index, pH, conductivity

The analysis results from the crushed sand eluates were compared with the eluate allocation values (recycled building materials / unprocessed building rubble) as specified in LAGA M 20 (LAGA notification 20) and then evaluated. The eluate parameters were classified as follows:

- The Z0 allocations as specified in LAGA M 20 were predominantly fulfilled and in only a few cases were slightly exceeded.
- For the chloride, chromium, sulfate and phenol index parameters the eluates that exceeded the Z 0 allocation no more than twice have fulfilled the Z 1.1 or Z 1.2 allocation as specified in LAGA M 20. The crushed roof tile eluate exceeded the Z 0 allocation as specified in LAGA M 20 three times and was also classified as Z 1.1 or Z 1.2 for the chloride, arsenic and copper parameters.
- The Z 2 allocations as specified in LAGA M 20 were fulfilled by all eluates.
- The requirements listed in DIN 4226-101 were fulfilled by all eluates. Exceeding the pH value and the conductivity does not represent an exclusion criterion in accordance with DIN 4226-101.

5.4 Outlook: current environmental analysis aspects of the building regulations

The waste properties and the associated waste-related legal obligations apply for items or materials that, for the purposes of the Recycling Law § 5 Section 1, have still not undergone a recycling procedure. If recycled crushed sands from the processing of mineral building waste are to be used industrially in building products then the Technical Construction Code model administrative regulation also applies with appropriate references to the requirements for structural plants with respect to the effects on soil and water (ABuG) and the LAGA notification 20. In this respect the environmental analysis aspects should initially be oriented towards the recycling routes for crushed sands. In the first step it is therefore basically necessary to differentiate

- whether the plan is to recycle the crushed sand as fine recycled aggregate < 4 mm or
- whether the intention is to recycle it as crushed sand meal for use as a main constituent in R-cements.

The proof of environmental compatibility must be provided in the second stage. The building regulations require correspondingly different environmental analysis investigations to be carried out on the unground or ground crushed sands (aggregate vs. ground product).

The proposal shown in Table 3 adopts findings for the "R-Beton" joint project and at the same time is guided by current developments in the standards and takes account of building regulation law recommendations.

- If a crushed sand is to be used as aggregate in concrete (cf. Table 3, column A) it remains in its granulometric state until processed and is not comminuted.
- If crushed sand is to be used as main constituent in cement (cf. Table 3, column B) then it is necessary to grind the crushed sand to cement fineness. The crushed

5.3 Ergebnisse aus Stufe 2: Untersuchungen der Eluate

Die Brechsandproben aus Bahnschwellen, Betonbruch, Gleis-schotter, Mauerwerk und Dachziegel (Körnung 0/4) wurden vor Herstellung entsprechender Eluate auf eine Korngröße < 125 µm gemahlen. Der Mauerwerksmischbruch wurde vor Herstellung des Eluats auf eine Körnung < 2 mm gebrochen. Es wurde das Deutsche Einheitsverfahren DEV S4 (DIN 38414-4, Schütteltest) durchgeführt. Folgende Parameter wurden am Eluat bestimmt:

- Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Vanadium, Zink, Quecksilber
- Chlorid, Sulfat, Phenolindex, pH-Wert, Leitfähigkeit

Die Analyseergebnisse der Brechsandeluate wurden den Zuordnungswerten Eluat (Recyclingbaustoffe/nicht aufbereiteter Bauschutt) nach LAGA-Mitteilung 20 (LAGA M 20) gegenübergestellt und bewertet. Die Eluatparameter wurden wie folgt eingestuft:

- Die Z0-Zuordnungen nach LAGA M 20 wurden überwiegend eingehalten und nur in wenigen Fällen geringfügig überschritten.
- Die Eluate mit bis zu maximal zwei Z0-Überschreitungen haben für die Parameter Chlorid, Chrom, Sulfat bzw. Phenolindex die Zuordnung Z 1.1 bzw. Z 1.2 nach LAGA M 20 erfüllt. Das Eluat Dachziegelbruch hat die Z0-Zuordnungen nach LAGA M 20 dreimal überschritten und wurde in den Parametern Chlorid, Arsen und Kupfer ebenfalls mit Z 1.1 bzw. mit Z 1.2 eingestuft.
- Die Z2-Zuordnungen nach LAGA M 20 wurden von allen Eluaten eingehalten.
- Die in DIN 4226-101 aufgeführten Anforderungen wurden von allen Eluaten erfüllt. Überschreitungen des pH-Werts und der Leitfähigkeit stellen gemäß DIN 4226-101 kein Ausschlusskriterium dar.

5.4 Ausblick: Aktuelle umweltanalytische Aspekte der Bauordnung

Für Gegenstände oder Stoffe, die im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes §5 Abs. 1 noch kein Verwertungsverfahren durchlaufen haben, gelten die so genannten Abfalleigenschaften und die damit einhergehenden abfallbezogenen Rechtspflichten. Sollen Recyclingbrechsande aus der Aufbereitung mineralischer Bauabfälle technisch anwendet und in Bauprodukten eingesetzt werden, gilt zudem die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen mit den entsprechenden Verweisen auf die Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer (ABuG) und die LAGA-Mitteilung 20. Insofern sind die umweltanalytischen Aspekte zunächst an den Verwertungswegen der Brechsande auszurichten. Im ersten Schritt ist daher grundsätzlich zu unterscheiden,

- ob die Verwertung des Brechsands als feine rezyklierte Gesteinskörnung < 4 mm vorgesehen ist,
- ob ein Verwertungsweg als Brechsandmehl für die Anwendung als Hauptbestandteil in R-Zementen angestrebt wird.

Im zweiten Schritt ist der Nachweis der Umweltverträglichkeit zu erbringen. Aus Sicht der Bauordnung sind an den ungemahlene bzw. gemahlene Brechsanden (Gesteinskörnung vs. Mahlprodukt) entsprechend unterschiedliche umweltanalytische Untersuchungen durchzuführen.

sand meal can be produced by separate grinding or by intergrinding with other cement constituents.

6 Production of test cements containing crushed sand

The test cements were produced mainly from dry-processed crushed sands. The cements containing crushed sand were produced in the laboratory by separate grinding of the crushed sands followed by mixing with Portland cement. In the large scale plant trials the R-cements were interground.

6.1 Laboratory cements

Before their use as main or secondary constituents the crushed sands were dried to constant weight, homogenized and then ground in batch mills (e.g. ball mills) to cement fineness. The mineral demolition waste from which crushed sands are obtained generally has an inhomogeneous composition and can sometimes have constituents that are very hard to grind so in special cases a multi-stage laboratory grinding process was chosen to avoid oversize particles in the ground material. At the end of the grinding process the

Der in Tabelle 3 dargestellte Vorschlag greift Erkenntnisse aus dem Verbundprojekt „R-Beton“ auf, er orientiert sich zugleich an aktuellen normativen Entwicklungen und berücksichtigt bauordnungsrechtliche Empfehlungen.

- 1) Soll ein Brechsand als Gesteinskörnung im Beton eingesetzt werden (vgl. Tabelle 3, Spalte A), bleibt er bis zur Verarbeitung in seinem granulometrischen Zustand und wird nicht zerkleinert.
- 2) Soll ein Brechsand als Hauptbestandteil im Zement eingesetzt werden (vgl. Tabelle 3, Spalte B), ist eine Mahlung des Brechsands auf Zementfeinheit erforderlich. Das Brechsandmehl kann in getrennter Mahlung oder in gemeinsamer Mahlung mit anderen Zementbestandteilen hergestellt werden.

6 Herstellung brechsandhaltiger Versuchszemente

Zur Herstellung der Versuchszemente kamen überwiegend Brechsande aus trockener Aufbereitung zur Anwendung. Die brechsandhaltigen Zemente wurden laborseitig durch

Table 3: Proposal for assessing environmentally relevant crushed sand properties and their effects on soil and water

Tabelle 3: Vorschlag zur Beurteilung umweltrelevanter Brechsandeigenschaften sowie der Auswirkungen auf Boden und Gewässer

State after processing	A) Crushed sand as aggregate	B) Crushed sand as ground product	
Use	<u>as unground crushed sand</u> , e.g. for backfilling in road construction, e.g. as aggregate in concrete	<u>as ground crushed sand / crushed sand meal</u> , e.g. as a main constituent in R-cement	
Subject of the investigations	- crushed sand - crushed sand as aggregate in concrete - reference concrete	- crushed sand - cement containing crushed sand (R-cement) as a binder in the concrete - reference cement (CEM I) in the concrete	
Extent and course of the investigations	1. Determination of the <u>solid content in the crushed sand</u> : parameter scope and evaluation in accordance with LAGA benchmark paper, see DIBt basic principles/ DIBt-communications ¹⁾	1. Determination of the <u>solid content in the crushed sand</u> : hydrocarbons, PAH, PCB and inorganics, parameter scope as in DIN 4226-101, evaluation in accordance with LAGA benchmark paper	
	2. Determination of the <u>eluate values from the crushed sand</u> : acc. to DEV S4 (DIN 38414-4, shaking test on crushed sand), parameter scope and evaluation acc. to allocations from LAGA Notification 20, see DIBt basic principles/ DIBt communications ¹⁾	2. <u>Elution test on hardened concrete</u> : production of the concretes and test specimens - with R-cement - with reference cement same clinker basis and similar strength class, investigation of the Dynamic surface leaching test (DSL) in accordance with DIN CEN/TS 16637-2 parameter scope acc. to DIN 4226-101, evaluation corresponding to DIBt model	
	3. <u>Elution test on hardened concrete</u> : production of the concretes and test specimens - with crushed sand as aggregate - with reference aggregate Investigation of the time-dependent leaching behaviour in the long-term standing test in accordance with DAfStb guidelines ²⁾ Stipulation of the parameter scope after evaluation of the crushed sand eluates by the DIBt, evaluation acc. to DIBt model		
Objective of the investigations	Proof of environmental compatibility: national technical approval for crushed sand (similar to national technical approval for fly ash) DIBt test plan required	Proof of environmental compatibility: Project-related approval (e.g. in relation to <u>one</u> R-cement from <u>one</u> cement plant) as agreed on federal state level	
			National technical approval, DIBt test plan required

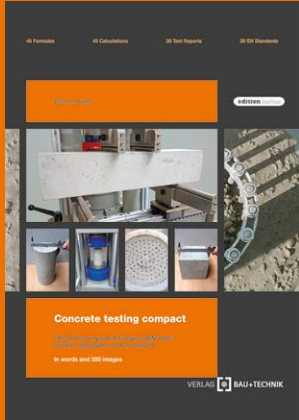
¹⁾ DIBt basic principles for evaluating the effects of building products on soil and water, DIBt notification for the model Administrative Regulation – Technical Building Regulations (Issued 2017/1) Appendix 10: Requirements for building works with respect to the effects on soil and water (ABuG): 2017-07

²⁾ DAfStb Guidelines for determining the release of inorganic substances through leaching from cement-bonded building materials, Part 1

CONCRETE TESTING COMPACT

Verlag Bau+Technik GmbH
Steinhof 39
40699 Erkrath, Germany

Order:
vertrieb@verlagbt.de
[www.verlagbt.de / bookshop](http://www.verlagbt.de/bookshop)

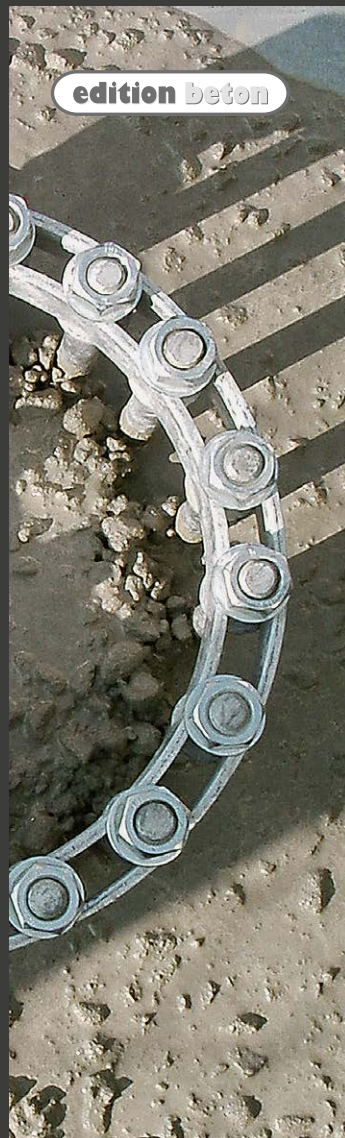


The 30 most important European (EN) tests: cement, aggregate, mortar, concrete

The book contains instructions on how to carry out the 30 most important standardized and non-standardized building material tests. They are subdivided into **cement tests, aggregates tests, fresh concrete tests, hardened concrete tests and on-site evaluations**. The book is aimed at students, vocational school students, apprentices in industry and trade as well as building material testers who need reliable information on frequently used but also less frequently used test methods. The test procedures are presented and explained **in the form of a proven checklist** - subdivided into the goals of the test, the required equipment and aids, the material to be provided, the work steps, the frequent sources of error, the accident hazards and the minimum information in the test report. **Everything is explained with numerous colour illustrations**. The execution of all prescribed work steps ensures that the chronological test sequences are adhered to and that the results are reproducible. Some tests are presented in simplified form in order to make the sometimes very complex procedures comprehensible and transparent. Observing the information on potential sources of error makes it possible to exclude errors from the outset. **For each test procedure, a completed form of a test report** with all the necessary information is reproduced in the book, which is intended as an example for the reader and can be adapted by him to his requirements if necessary.

In words and 350 images
193 S., 21 x 29,7 cm, € 59,80
ISBN 978-3-7640-0625-9

edition beton



TESTING

New Star Mixer
For the production of
High-quality cement mortar
Made in Germany



Mortar mixer, 5 litres capacity
with manual control
EN 196, ASTM C305

Features:

- Manual supply of cement, water and sand
 - Clear safety cover, which is removable for cleaning purposes
 - High safety standards due to CE compliance
 - Emergency Stop button stops automatically when the bowl is lowered during the mixing process
 - Reduced weight of the bowl to protect laboratory staff according to work safety regulations
 - Easy lowering mechanism
 - Optimized handling
 - Lightweight design made of aluminium
 - Stainless steel stirrer and stainless steel mixing bowl
 - Two mixing speeds: 140 ± 5 U/min, 285 ± 10 U/min
-
- Dim. (w x d x h): 235 x 396 x 568 mm
 - Weight: approx. 22 kg
 - 85-264 V/ 47-63 Hz

VERLAG  BAU+TECHNIK

TESTING Bluhm & Feuerherdt GmbH
Motzener Straße 26 b • 12277 Berlin / Germany
Phone: +49 30 710 96 45-0
info@testing.de • www.testing.de

crushed sand meal had finenesses of 3950 to 4250 cm²/g Blaine.

R-cements with crushed sand contents of 5 mass % (secondary constituent), 8 mass %, 10 mass %, 15 mass % and 30 mass % (main constituent) were produced in the laboratory trials. CEM I 52,5 R and CEM I 42,5 R Portland cements were used as the clinker components – in each case with appropriate proportions of 95 down to 70 mass %. The laboratory production and composition of the cements containing crushed sand as a main constituent can be seen from Fig. 2.

6.2 Plant cements

In the large scale plant trials in a cement plant the R-cements were produced by intergrinding clinker, sulfate agent and crushed sand in a closed-circuit grinding plant with ball mill and separator. Mixed crushed masonry was used in the plant trials.

In the plant cements (RZ 1) and (RZ 2) the crushed sand was used in proportions of 8 mass % for RZ 1 and 15 mass % for RZ 2. Finenesses of 5400 cm²/g to 5600 cm²/g Blaine were achieved. The principle of producing plant cements containing crushed sand can be seen from the diagram in Fig. 3.

7 Cement properties

Cements using ground crushed sand as a main constituent have to provide technical proof as specified in DIN EN 196-1 and DIN EN 197-1 and fulfil corresponding minimum requirements.

7.1 Properties of R-cements as specified in DIN EN 196-3

The water demand for standard stiffness and the setting behaviour as specified in DIN EN 196-3 were checked on the laboratory cements containing up to 10 mass % crushed sand and on the plant cements.

The R-cements based on CEM I 42,5 R had a water demand of 26 to 27 mass %. A CEM II/A-LL reference cement containing 10 mass % limestone, also produced on the basis of CEM I 42,5 R, had a water demand of 26 mass %. When the CEM I 42,5 R was replaced by CEM I 52,5 R the water demand of the R-cements rose to 30 to 32 mass %.

The reference cement had an initial setting time of 160 minutes and a final setting time of 195 minutes. With the R-cements containing CEM I 42,5 R as the clinker component the initial setting times lay between 175 and 240 minutes and the final setting times between 210 and 285 minutes. When the CEM I 52,5 R was used as the clinker component in the R-cement the setting times shortened to about 140 minutes (initial set) and about 180 minutes (final set).

getrenntes Mahlen der Brechsande und anschließendes Mischen mit Portlandzement hergestellt. In großtechnischen Betriebsversuchen wurden die R-Zemente gemeinsam gemahlen.

6.1 Laborzemente

Vor ihrer Verwendung als Haupt- bzw. Nebenbestandteil wurden die Brechsande bis zum Erreichen der Massekonstanz getrocknet, homogenisiert und schließlich in Chargenmühlen (z.B. Kugelmühle) auf Zementfeinheit gemahlen. Da mineralische Bauabfälle, aus denen Brechsande gewonnen werden, i.d.R. inhomogene Zusammensetzungen haben und z.T. sehr schwer mahlbare Bestandteile aufweisen können, wurde in besonderen Fällen – um so genanntes Spritzkorn im Mahlgut zu vermeiden – ein mehrstufiges Labormahlverfahren gewählt. Die Brechsandmehle wiesen am Ende des Mahlverfahrens Feinheiten von 3950 bis 4250 cm²/g nach Blaine auf.

In den Laborversuchen wurden R-Zemente mit Brechsandanteilen von 5 M.-% (Nebenbestandteil), 8 M.-%, 10 M.-%, 15 M.-% bzw. 30 M.-% (Hauptbestandteil) hergestellt. Als Klinkerkomponenten wurden Portlandzemente CEM I 52,5 R und CEM I 42,5 R jeweils mit entsprechenden Anteilen von 95 bis 70 M.-% verwendet. Die labortechnische Herstellung und Zusammensetzung der Zemente mit Brechsand als Hauptbestandteil gehen aus Bild 2 hervor.

6.2 Werkzemente

In großtechnischen Betriebsversuchen in einem Zementwerk wurden R-Zemente durch gemeinsames Mahlen von Klinker, Sulfatträger und Brechsand in einer Umlaufmahlanlage mit Kugelmühle und Siebhergestellt. In den Betriebsversuchen wurde Mauerwerksmischbruch eingesetzt.

In den Werkzementen (RZ 1 und RZ 2) wurden Anteile von 8 M.-% Brechsand für RZ 1 bzw. 15 M.-% Brechsand für RZ 2 eingestellt. Es wurden Mahlfeinheiten von 5400 cm²/g bis 5600 cm²/g nach Blaine erzielt. Das Prinzip der Herstellung der brechsandhaltigen Werkzemente geht aus der Darstellung in Bild 3 hervor.

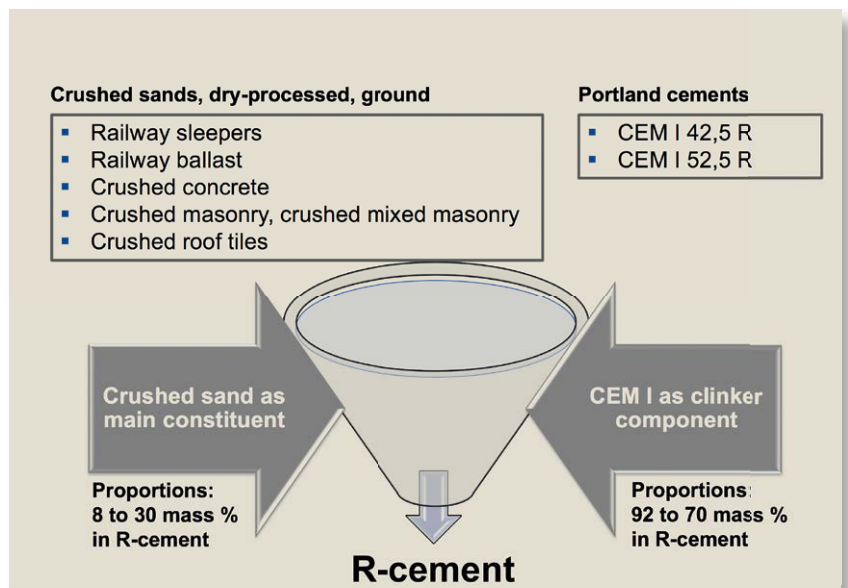


Figure 2: Diagram representing the production of R-cements by mixing the meal-fine starting materials in the laboratory; example of the use of dry-processed crushed sands as a main constituent

Bild 2: Grafische Darstellung zur Herstellung der R-Zemente durch Mischen der mehlfinein Ausgangsstoffe im Labor, Beispiel für die Verwendung trocken aufbereiteter Brechsande als Hauptbestandteil

„Im Forum von
bauingenieur24 tausche ich
mich mit Berufskollegen aus“

Sabine Ebner
Bauingenieurin



Gearbox-Service

- » Overhaul of all types and every size
- » On-site inspection and diagnosis
- » Special constructions

D-46395 Bocholt · Phone: +49 (0) 2871/7033 – www.brauer-getriebe.de

BRAUER

Maschinentechnik AG
40 Jahre · Getriebeservice · seit 1979

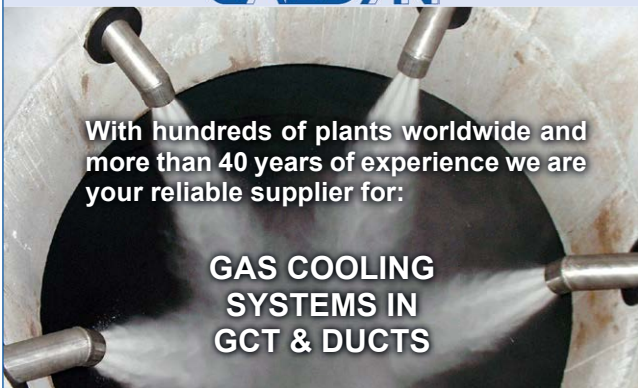


CALDYN

With hundreds of plants worldwide and
more than 40 years of experience we are
your reliable supplier for:

**GAS COOLING
SYSTEMS IN
GCT & DUCTS**

**DeNOx-SYSTEMS
for SCR & SNCR**



Tel. +49 7243 5403-0
Fax +49 7243 5403-99

CALDYN Apparatebau GmbH
Grashofstraße 12, D-76275 Ettlingen

info@CALDYN.de
www.caldyn.de

Köppern



Grind down your maintenance costs



Köppern roller presses have been proven successful
throughout the world in plants for the cost saving
high pressure grinding of cement clinker, blast furnace
slag, limestone and other cement raw materials.

Our patented Hexadur® tires feature an extremely
wear-resistant surface that provides enhanced roller
protection and maintenance-free operation.

Köppern – Quality made in Germany.

- » State of the art technology
- » Process technology know-how
- » High plant availability
- » Low operating cost

For further information please contact
sales@koeppern.de

www.koeppern.de

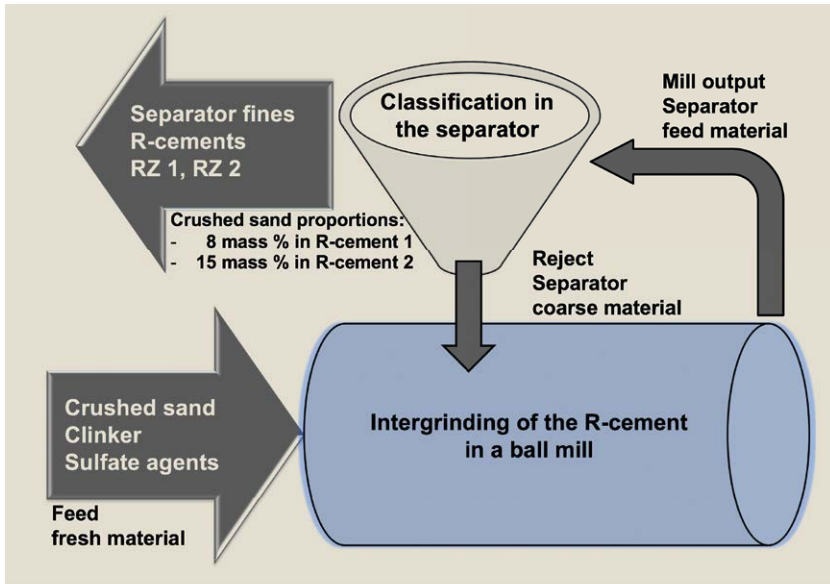


Figure 3: Diagram representing the production of R-cements RZ 1 and RZ 2 by intergrinding the crushed sand from crushed mixed masonry, the clinker and the sulfate agent in a full-scale operational grinding plant

Bild 3: Grafische Darstellung zur Herstellung der R-Zemente RZ 1 und RZ 2 durch gemeinsames Mahlen des Brechsands aus Mauerwerksmischbruch, des Klinkers und der Sulfatträger auf einer großtechnischen Betriebsmahlanlage

7 Zementeigenschaften

Zemente unter Verwendung von gemahltem Brechsand als Hauptbestandteil müssen die technischen Nachweise nach DIN EN 196-1 und DIN EN 197-1 erbringen und entsprechende Mindestanforderungen erfüllen.

7.1 Eigenschaften der R-Zemente nach DIN EN 196-3

An den Laborzementen mit bis zu 10 M.-% Brechsand sowie an den Werkzementen wurden der Wasseranspruch für die Normsteife sowie das Erstarrungsverhalten nach DIN EN 196-3 überprüft.

Die R-Zemente auf Basis des CEM I 42,5 R wiesen einen Wasseranspruch von 26 bis 27 M.-% auf. Ein Referenzzement CEM II/A-LL mit 10 M.-% Kalkstein, ebenfalls auf Basis des CEM I 42,5 R hergestellt, hatte einen Wasseranspruch von 26 M.-%. Wurde der CEM I 42,5 R durch CEM I 52,5 R ersetzt, erhöhte sich der Wasseranspruch der R-Zemente auf 30 bis 32 M.-%.

7.2 Compressive strengths of the R-cements as specified in DIN EN 196-1

The compressive strengths of the R-cements at 2 and 28 days (DIN EN 196-1) were checked and evaluated. In particular, the intention was to investigate the influence of the type of crushed sand and the crushed sand content on the standard strengths of the laboratory cements. All the cements from the laboratory and plant trials that were investigated in the "R-Beton" project corresponded to the 32,5 R to 52,5 R strength classes – depending on their material and granulometric compositions.

The following sections show examples of some of the results of the compressive strength testing at 28 days (standard strengths).

7.2.1 Influence of the crushed sand content

As can be seen from Fig. 4, almost all the R-cements containing 10 mass % crushed sand in combination with CEM I 42,5 R cement reached values > 52.5 MPa at 28 days and could therefore be assigned to the 52,5 N compressive strength class as defined in DIN EN 197-1. The cement containing 10 mass % crushed sand from crushed masonry lay in the range of the 42,5 R cement class. No significant influence of the type of crushed sand was determined.

The standard strengths were reduced when – with identical clinker component – a crushed sand content of 30 mass % was used in the R-cement (see Fig. 4). At 28 days the results of the tests lay between about 38 and 50 MPa. It emerged that, depending on the starting material, there were marked differences in the decrease in standard strength as a result of raising the crushed sand content from 10 mass % to 30 mass %. Strength differ-

Der Erstarrungsbeginn des Referenzzements lag bei 160 Minuten, das Erstarrungsende bei 195 Minuten. Bei den R-Zementen mit CEM I 42,5 R als Klinkerkomponente lagen die Werte des Erstarrungsbeginns zwischen 175 und 240 Minuten, die Werte des Erstarrungsendes zwischen 210 und 285 Minuten. Bei Verwendung des CEM I 52,5 R als Klinkerkomponente im R-Zement verkürzten sich die Erstarrungszeiten auf ca. 140 Minuten (Erstarrungsbeginn) bzw. ca. 180 Minuten (Erstarrungsende).

7.2 Druckfestigkeit der R-Zemente nach DIN EN 196-1

An den R-Zementen wurde vorrangig die Druckfestigkeit im Alter von 2 bzw. 28 Tagen (DIN EN 196-1) geprüft und ausgewertet. Insbesondere sollte dabei der Einfluss des Brechsandtyps und des Brechsandgehaltes auf die Normfestigkeiten der Laborzemente untersucht werden. Alle im

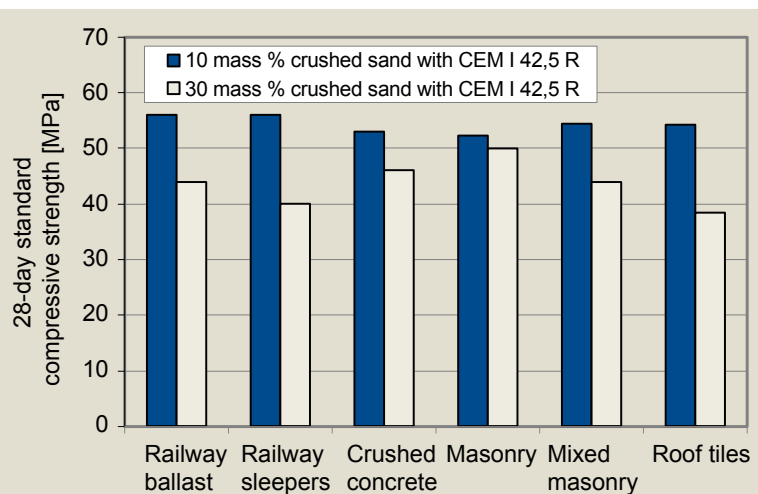


Figure 4: Compressive strengths of the R-cements made with 10 mass % or 30 mass % crushed sand at 28 days, CEM I 42,5 R as the clinker component in the R-cement

Bild 4: Druckfestigkeit der R-Zemente mit 10 bzw. 30 M.-% Brechsand im Prüfmalter von 28 Tagen, CEM I 42,5 R als Klinkerkomponente im R-Zement

CEMENT

▶ PROCESSING ▶ PERFORMANCE ▶ APPLICATION

INTERNATIONAL

A "must" for everyone involved with cement

TECHNICAL CEMENT KNOWLEDGE ON SUBSCRIPTION

Name/Company

Address

Postcode/City/Country

Telephone/Fax/eMail

Date, Signature

YES, I WOULD LIKE TO TEST
THE TECHNICAL JOURNAL
CEMENT INTERNATIONAL

Send me a sample copy for free.

YES, I WOULD LIKE TO
SUBSCRIBE TO THE
TECHNICAL JOURNAL
CEMENT INTERNATIONAL

I will receive 6 issues at the special
annual subscription price of
328,00 € inland / 338,00 € abroad

▶ Practice-related
experience

▶ International

▶ Target group oriented

In comprehensive technical articles,
CEMENT INTERNATIONAL reports on
the properties, practical application
and all aspects of the manufacture of
cements and binders.



Guarantee confirmation: This order may be cancelled within 10 days in writing to the
vertriebsunion meynen GmbH & Co. KG, Große Hub 10, 65344 Eltville, Germany. Send-
ing the cancellation within this period will ensure compliance with the stated time limit

WWW.CEMENTINTERNATIONAL.COM

VERLAG  BAU+TECHNIK

ences of up to 16 MPa were determined (e.g. when using crushed sands from railway ballast or roof tiles). On the other hand, the 28-day-compressive strength fell from 52.5 MPa to only 50.0 MPa when crushed sand from crushed masonry was used.

The R-cements investigated here with 30 mass % crushed sand reached the requirements of strength class 32,5 R and in some cases up to strength class 42,5 R as specified in DIN EN 197-1.

7.2.2 Influence of the clinker component

Fig. 5 shows the standard strengths of the R-cements containing 30 mass % crushed sand in combination with CEM I 42,5 R or CEM I 52,5 R cement.

The change of clinker component from CEM I 42,5 to CEM I 52,5 – in each case in a proportion of 70 mass % in the R-cement – had differing effects depending on the origin of the crushed sand used in the R-cement. The standard strength of the R-cement made with crushed roof tiles, for example, was increased significantly from a relatively low strength level of about 39 MPa (with CEM I 42,5 R) to about 53 MPa (with 52,5 R). On the other hand the standard strength of the R-cement containing crushed masonry was only slightly affected when the strength class of the CEM I cement was raised.

The R-cements containing 30 mass % crushed sand in combination with CEM I 52,5 R reached the requirements of the 42,5 R strength class and in some cases of the 52,5 R strength class as specified in DIN EN 197-1, both for the initial strength and the standard strength.

7.2.3 Influence of the crushed masonry containing clay brick material

The influence of the crushed sand properties is particularly apparent in the comparison of R-cements made from clay brick material with crushed sand contents of 8 mass %, 15 mass % or 30 mass %. The separately ground crushed sands made from crushed masonry or crushed mixed masonry were – like the majority of laboratory cements – combined with CEM I 42,5 R cement.

It can be seen from Fig. 6 that the compressive strength of the cements increased when the crushed sand content was reduced from 30 mass % to 15 mass % or 8 mass %. At 28 days it was found that using low crushed sand content (8 mass %) led to comparable compressive strengths.

When the crushed sand content of 8 mass % was increased almost four times (to 30 mass %) the strengths of the mixed masonry containing cements (low clay brick content) dropped significantly due to the dilution effect. The dilution effect was less significant when using the crushed masonry with a high clay brick content. This demonstrated the influence of the crushed sand reactivity on the cement properties. Conclusions about the reactivity of the crushed sands can be drawn from the chemical analysis of the crushed sands (especially of the reactive silica). The use of crushed masonry with a high clay brick content with about 26 mass %

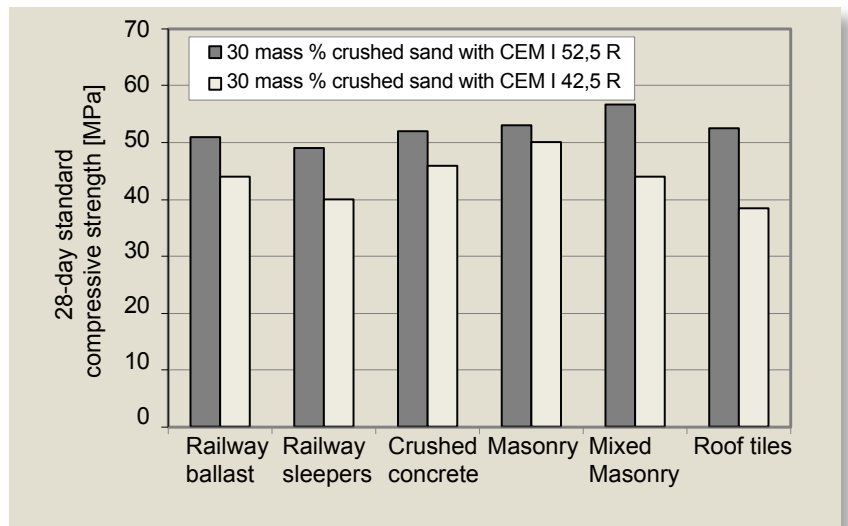


Figure 5: Compressive strengths of the R-cements made with 30 mass % crushed sand at 28 days, CEM I 42,5 R and CEM I 52,5 R as the clinker components in the R-cement

Bild 5: Druckfestigkeit der R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand im Prüfalalter von 28 Tagen, CEM I 42,5 R und CEM I 52,5 R als Klinkerkomponente im R-Zement

Projekt „R-Beton“ untersuchten Zemente aus den Labor- und Betriebsversuchen entsprachen je nach stofflicher bzw. granulometrischer Zusammensetzung den Festigkeitsklassen 32,5 R bis 52,5 R.

Die folgenden Abschnitte zeigen beispielhaft einige Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung im Alter von 28 Tagen (Normfestigkeiten).

7.2.1 Einfluss des Brechsandgehalts

Wie aus Bild 4 hervorgeht, haben fast alle R-Zemente mit 10 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R Werte > 52,5 MPa im Prüfalalter von 28 Tagen erreicht und könnten somit nach DIN EN 197-1 der Druckfestigkeitsklasse 52,5 R zugeordnet werden. Der Zement mit 10 M.-% Brechsand aus Mauerwerksbruch lag im Bereich der Festigkeitsklasse 42,5 R. Ein signifikanter Einfluss des Brechsandtyps wurde nicht ermittelt.

Wurde im R-Zement bei identischer Klinkerkomponente ein Brechsandgehalt von 30 M.-% eingestellt (s. Bild 4), verringerten sich die Normfestigkeiten. Im Prüfalalter von 28 Tagen lagen die Ergebnisse der Prüfungen zwischen rd. 38 und 50 MPa. Infolge der Erhöhung des Brechsandgehalts von 10 M.-% auf 30 M.-% stellte sich heraus, dass die Abnahme der Normfestigkeit in Abhängigkeit des Ausgangsmaterials unterschiedlich stark ausgeprägt war. Es wurden Festigkeitsdifferenzen von bis zu 16 MPa (z.B. bei Verwendung der Brechsande aus Gleisschotter oder Dachziegel) ermittelt. Dagegen verringerte sich die 28-Tage-Druckfestigkeit von 52,5 MPa auf nur 50,0 MPa, wenn Brechsand aus Mauerwerksbruch zur Anwendung kam.

Die hier untersuchten R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand erreichten die Anforderungen der Festigkeitsklasse 32,5 R, zum Teil bis zur Festigkeitsklasse 42,5 R der DIN EN 197-1.

7.2.2 Einfluss der Klinkerkomponente

Bild 5 zeigt die Normfestigkeit der R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 42,5 R bzw. mit CEM I 52,5 R.



CEMENTTECH 2020

21st China International Cement Industry Exhibition

March 25-27, 2020




ANHUI, CHINA



Partial List of Previous Exhibition delegations:



Organizer

-  China Building Materials Federation
-  China Cement Association
-  CCPIT Building Materials Sub Council

Contact details:

Joanna Long
 Tel: 8610-88083329
 Fax: 8610-88084171
 Joannalong@ccpitbm.org

reactive silica led to higher strengths at every test age than the use of mixed crushed material with a low clay brick/tile content with about 16 mass % reactive silica.

The crushed sand made with crushed masonry with high clay brick content, containing at least 25 mass % reactive silicon dioxide, reached the essential criterion for the properties for natural calcined pozzolana required in DIN EN 197-1, Section 5.2.3.1 and 5.2.3.3. The technical preconditions for producing an R-cement as Portland-pozzolana cement (CEM II/A-Q, CEM II/B-Q) as specified in DIN EN 197-1 were fulfilled.

8 Concrete properties relevant to durability

8.1 Test methods and assessment criteria

Proof of the performance of new cements should be orientated as closely as possible towards the procedures in the building regulations law. The test methods and concrete compositions used were therefore those that are relevant in national technical approvals issued by the DIBt (German Institute for Building Technology). The methods used have also been adopted in the European Assessment Document EAD 150001-00-0301 and in the CEN TR 16563 Procedural Principles, Appendix B.

In each case the durability potential of the concrete was tested in threshold compositions relevant to approvals. This includes the investigations regarding the freeze-thaw resistance, the resistance to freeze-thaw with de-icing salt, the chloride migration resistance and the carbonation resistance. The test methods and assessment criteria are summarized in Table 4.

The following sections show examples of the results of the durability-relevant investigations with concretes made using R-cements.

The detailed investigative report can be downloaded at <https://www.tib.eu/de: Joint project: R-Beton, resource-conserving concrete – next-generation material; sub-project 5: recycled aggregate – application in cement, EPD for cement and concrete production, evaluation of the alkali reactivity.>

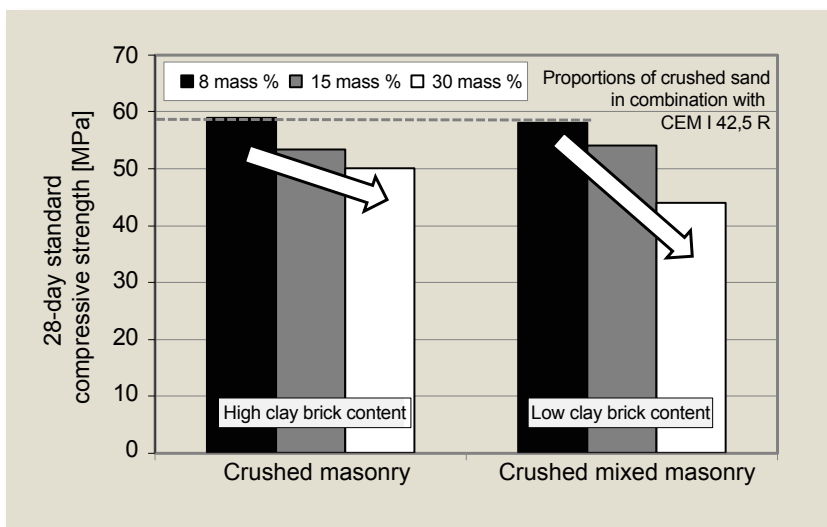


Figure 6: Compressive strength of the R-cements containing 8 mass %, 15 mass % or 30 mass % crushed sand from crushed masonry or crushed mixed masonry at 28 days, CEM I 42,5 R as the clinker component in the R-cement

Bild 6: Druckfestigkeit der R-Zemente mit 8 M.-%, 15 M.-% bzw. 30 M.-% Brechsand aus Mauerwerks- bzw. Mauerwerksmischbruch im Prüfalalter von 28 Tagen, CEM I 42,5 R als Klinkerkomponente im R-Zement

Der Wechsel der Klinkerkomponente von CEM I 42,5 R auf CEM I 52,5 R – jeweils mit einem Anteil von 70 M.-% im R-Zement – hatte unterschiedliche Auswirkungen in Abhängigkeit von der Herkunft des im R-Zement verwendeten Brechsands. So konnte die Normfestigkeit des R-Zements mit Dachziegelbruch von einem vergleichsweise geringem Festigkeitsniveau bei etwa 39 MPa (mit CEM I 42,5 R) auf etwa 53 MPa (mit 52,5 R) deutlich angehoben werden. Dagegen wurde die Normfestigkeit des R-Zements mit Mauerwerksbruch nur wenig beeinflusst, wenn die Festigkeitsklasse des CEM I erhöht wurde.

Die R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 52,5 R erreichten die Anforderungen an die Festigkeitsklassen 42,5 R, zum Teil bis zur Festigkeitsklasse 52,5 R nach DIN EN 197-1, sowohl in der Anfangsfestigkeit als auch in der Normfestigkeit.

7.2.3 Einfluss des ziegelhaltigen Mauerwerksbruchs

Der Einfluss der Brechsandeigenschaften zeigt sich insbesondere im Vergleich ziegelhaltiger R-Zemente mit Brechsandgehalten von 8 M.-%, 15 M.-% bzw. 30 M.-%. Die separat gemahlene Brechsande aus Mauerwerksbruch bzw. aus Mauerwerksmischbruch wurden – wie der Großteil der Laborzemente – mit CEM I 42,5 R kombiniert.

Aus Bild 6 geht hervor, dass die Druckfestigkeit der Zemente gesteigert werden konnte, wenn der Brechsandgehalt von 30 M.-% auf 15 M.-% bzw. auf 8 M.-% reduziert wurde. Im Prüfalalter von 28 Tagen zeigte sich, dass die Einstellung eines geringen Brechsandgehalts (8 M.-%) zu vergleichbaren Druckfestigkeiten führte.

Wurde der Brechsandgehalt von 8 M.-% auf das fast Vierfache (30 M.-%) erhöht, nahmen die Festigkeiten bei Verwendung von ziegelarmem Mauerwerksmischbruch infolge des Verdünnungseffekts deutlich ab. Bei Verwendung des ziegelreichen Mauerwerksbruchs war der Verdünnungseffekt weniger signifikant. Hier zeigt sich der Einfluss der Brechsandreaktivität auf die Zementeigenschaften. Die chemische Analyse der Brechsande (insbesondere der reaktionsfähigen Kieselsäure) lässt Rückschlüsse auf die Reaktivität der Brechsande zu. Die Verwendung von ziegelreichem Mauerwerksbruch mit rd. 26 M.-% reaktionsfähiger Kieselsäure führte in jedem Prüfalalter zu höheren Druckfestigkeiten als die Verwendung von ziegelarmem Mischbruch mit rd. 16 M.-% reaktionsfähiger Kieselsäure.

Damit erreichte der Brechsand aus ziegelreichem Mauerwerksbruch mit einem Massenanteil von mindestens 25 M.-% an reaktionsfähigem Siliziumdioxid das wesentliche Kriterium der in DIN EN 197-1, Abschnitt 5.2.3.1 bzw. 5.2.3.3 geforderten Eigenschaften für natürliche getemperte Puzzolane. Die technischen Voraussetzungen für die Herstellung eines R-Zements als Portlandpuzzolanzement (CEM II/A-Q, CEM II/B-Q) nach DIN EN 197-1 wurden erfüllt.

Table 4: Procedure in accordance with building regulations law for carrying out durability-relevant approval tests
 Tabelle 4: Bauordnungsrechtliche Verfahren zur Durchführung von dauerhaftigkeitsrelevanten Zulassungsprüfungen

Concrete property	Test method	EAD Procedure No.	w/c ratio	Cement content	Assessment criterion
Freeze-thaw resistance (scaling)	Cube test FT _{cube}	150001-00-0301, serial no. 17	0.60	300 kg/m ³	Acc. to DIBt: scaling < 10 M.-% after 100 freeze-thaw cycles
Freeze-thaw resistance (relative dynamic modulus of elasticity, RDEM)	CIF test FT _{CF}	150001-00-0301 serial no. 17	0.50	320 kg/m ³	Acc. to BAW code of practice: RDM > 75 % after 28 freeze-thaw cycles
Resistance to freeze-thaw with de-icing salt	CDF test FTS _{CDF}	15001-00-0301, serial no. 18	Air-entrained concrete		Acc. to BAW code of practice: scaling < 1.5 kg/m ² after 28 freeze-thaw cycles
			0.50	320 kg/m ³	
Chloride penetration resistance	Accelerated migration test D _{mig}	150001-00-0301, serial no. 16	0.50	320 kg/m ³	Acc. to DIBt: chloride migration coefficient D _{mig} ≤ 25·10 ⁻¹² m ² /s
Carbonation resistance	Depth of carbonation C _{dcr}	150001-00-0301, serial no. 15	Fine concrete		Acc. to DIBt evaluation background in relation to compressive strength
			0.50	450 g	

8.2 Results of the investigations

The overview in Table 5 is based on the test methods and assessment criteria from Table 4. This shows which durability tests in the "R-Beton" project were passed and with which R-cements the assessment criteria were fulfilled.

8.2.1 Testing the freeze-thaw resistance and the damage to the internal microstructure

The tests to determine the freeze-thaw resistance were carried out using the cube test. The concrete investigations used up to 100 freeze-thaw cycles, with one cycle per day. The limit for scaling of 10 mass % after 100 freeze-thaw cycles specified in the DIBt approval tests was safely met when using R-cements containing up to 30 mass % crushed sand.

The concretes were evaluated using the relative dynamic modulus of elasticity to investigate the damage to the internal microstructure (CIF test). The tests were carried out over 56 freeze-thaw cycles. The concretes using the R-cements from crushed masonry all met the assessment criterion for the CIF test in accordance with the code of practice "Freeze-thaw testing of concrete" issued by the BAW (Federal Waterways Engineering and Research Institute) and achieved a relative dynamic modulus of elasticity > 75 % after 28 freeze-thaw cycles. When other R-cements were used the criterion was not met in seven of 13 concrete tests.

8.2.2 Testing the resistance to freeze-thaw with de-icing salt

The CDF method for determining the resistance to freeze-thaw with de-icing salt was applied to concrete with synthetic air voids. The concretes were produced with an air content in the fresh concrete of about 4.5 to 6.0 vol. %. The tests were carried out over 28 freeze-thaw cycles. From the example of the laboratory cements made with 10 mass % crushed sand in combination with CEM I 42,5 R cement it can be seen that the criterion given in the BAW code of practice "Freeze-thaw testing of concrete" of a maximum scaling of 1.50 kg/m² after 28 freeze-thaw cycles was met. It was found that the concretes reached a maximum scaling of 0.63 kg/m².

8 Dauerhaftigkeitsrelevante Betoneigenschaften

8.1 Prüfverfahren und Beurteilungskriterien

Der Nachweis der Leistungsfähigkeit neuer Zemente sollte sich möglichst unmittelbar an den bauordnungsrechtlichen Verfahren orientieren. Daher wurden die Prüfverfahren und Betonzusammensetzungen verwendet, die in bauaufsichtlichen Anwendungszulassungen durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) relevant sind. Die eingesetzten Verfahren haben auch Eingang gefunden in das Europäische Bewertungsdokument EAD 150001-00-0301 sowie in die Verfahrensgrundsätze CEN TR 16563 Anhang B.

Das Dauerhaftigkeitspotenzial im Beton wurde jeweils in zulassungsrelevanten Grenzzusammensetzungen geprüft. Dazu zählen die Untersuchungen des Frostwiderstandes, des Frost-Tausalz-Widerstands, des Chloridmigrationswiderstands und des Carbonatisierungswiderstands. Tabelle 4 fasst die Verfahren und Beurteilungskriterien zusammen.

Die folgenden Abschnitte zeigen beispielhaft die Ergebnisse der dauerhaftigkeitsrelevanten Untersuchungen an Betonen unter Verwendung von R-Zementen.

Der ausführliche Untersuchungsbericht ist unter <https://www.tib.eu/de> abrufbar: Verbundvorhaben: R-Beton, Ressourcenschonender Beton Werkstoff der nächsten Generation; Teilvorhaben 5: RC-Gesteinskörnung; Anwendung im Zement, Ökobilanzierung der Zement- und Betonherstellung, Bewertung der Alkaliempfindlichkeit.

8.2 Untersuchungsergebnisse

Die Übersicht in Tabelle 5 orientiert sich an den Verfahren und Beurteilungskriterien aus Tabelle 4. Es geht daraus hervor, welche Dauerhaftigkeitsprüfungen im Projekt „R-Beton“ bestanden wurden und mit welchen R-Zementen die Beurteilungskriterien eingehalten werden konnten.

8.2.1 Prüfung des Frostwiderstandes und der inneren Gefügeschädigung

Die Prüfungen zur Bestimmung des Frostwiderstandes wurden nach dem Würfelverfahren durchgeführt. Die Untersuchung der Betone erfolgte bis zu 100 Frost-Tau-Wechseln

Table 5: Summary of the results of the durability tests on concretes using R-cements containing up to 30 mass % crushed sand of varying origin

Tabelle 5: Ergebnisübersicht der Dauerhaftigkeitsprüfungen an Betonen unter Verwendung von R-Zementen mit bis zu 30 M.-% Brechsand unterschiedlicher Herkunft

Crushed sand	Crushed sand content in the R-cement [mass %]	Clinker component CEM I	Cube test	CIF test	CDF test	Chloride migration	Carbonation
Railway sleepers	10	42,5 R	x	0	x	x	x
	30	42,5 R	x	n.t.	n.t.	0	n.t.
	30	52,5 R	n.t.	x	n.t.	0	n.t.
Crushed concrete	10	42,5 R	x	0	x	x	x
	30	42,5 R	x	n.t.	n.t.	0	n.t.
	30	52,5 R	n.t.	x	n.t.	0	n.t.
Crushed masonry	10	42,5 R	x	x	x	x	x
	30	42,5 R	x	x	n.t.	x	n.t.
	30	52,5 R	n.t.	x	n.t.	x	n.t.
Crushed roof tiles	10	42,5 R	n.t.	0	x	n.t.	x
	30	42,5 R	x	x	n.t.	x	n.t.
	30	52,5 R	n.t.	0	n.t.	x	n.t.
Railway ballast	10	42,5 R	x	0	x	x	x
	30	42,5 R	x	n.t.	n.t.	0	n.t.
	30	52,5 R	n.t.	0	n.t.	0	n.t.
Crushed mixed masonry	10	42,5 R	n.t.	n.t.	x	n.t.	x
	30	42,5 R	x	x	n.t.	0	n.t.
	30	52,5 R	n.t.	x	n.t.	x	n.t.
	8 ¹⁾		x	x	n.t.	x	x
	15 ¹⁾		x	0	x	x	x

¹⁾ Plant cement from intergrinding; X: test passed; 0: test not passed, n.t.: not tested

8.3 Testing the chloride migration resistance

The resistance of concretes to penetrating chlorides was investigated with the aid of the migration test. The test specimens were stored in water up to the test age of 35 or 98 days. When the proportion of crushed sand in the R-cements used in the concrete was set at 10 mass % the migration coefficients at 35 days reached values below the DIBt approval criterion ($D_{\text{mig}} \leq 25 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$). The concretes made with the plant cements also fulfilled this criterion. The requirements for chloride penetration resistance for applications in hydraulic engineering ($\leq 10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ for XS1-2, XD1-2 and $\leq 5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ for XS3, XD3) were not met.

The R-cements containing higher levels of crushed sand were produced using CEM I 52,5 R and CEM I 42,5 R cements and investigated in concrete. It can be seen from Fig. 7 that the cements with 30 mass % crushed sand containing clay brick/tile material (masonry, mixed masonry, roof tiles) also met the DIBt approval criteria at the test age of 35 days. The pozzolanic potential of the R-cements containing clay brick/tile material (with a corresponding proportion of reactive silica > 25 mass % in the crushed sand) was particularly apparent from the fact that the migration coefficients of the concretes fell significantly by the test age of 98 days.

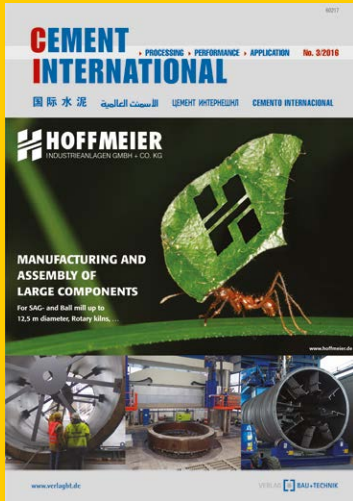
mit einem Wechsel pro Tag. Bei Anwendung der R-Zemente mit bis zu 30 M.-% Brechsand wurde der in den Zulassungsprüfungen des DIBt verwendete Grenzwert für Abwitterungen von 10 M.-% nach 100 Frost-Tau-Wechseln sicher eingehalten.

Zur Untersuchung der inneren Gefügeschädigung (CIF-Test) wurden die Betone anhand des relativen dynamischen E-Moduls bewertet. Die Prüfungen wurden über 56 Frost-Tau-Wechsel durchgeführt. Die Betone unter Verwendung der R-Zemente mit Mauerwerksbruch haben das Beurteilungskriterium für den CIF-Test nach dem Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) durchweg eingehalten und nach 28 Frost-Tau-Wechseln einen relativen dynamischen E-Modul von > 75 % erzielt. Bei Verwendung anderer R-Zemente wurde das Kriterium in sieben von 13 Betonprüfungen nicht erfüllt.

8.2.2 Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes

Das CDF-Verfahren zur Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstands kam an Betonen mit künstlichen Luftporen zur Anwendung. Die Betone wurden mit einem Luftgehalt im Frischbeton von ca. 4,5 bis 6,0 Vol.-% hergestellt. Die Prüfungen wurden über 28 Frost-Tau-Wechsel durchgeführt. Dem Beispiel der Laborzemente mit 10 M.-% Brechsand

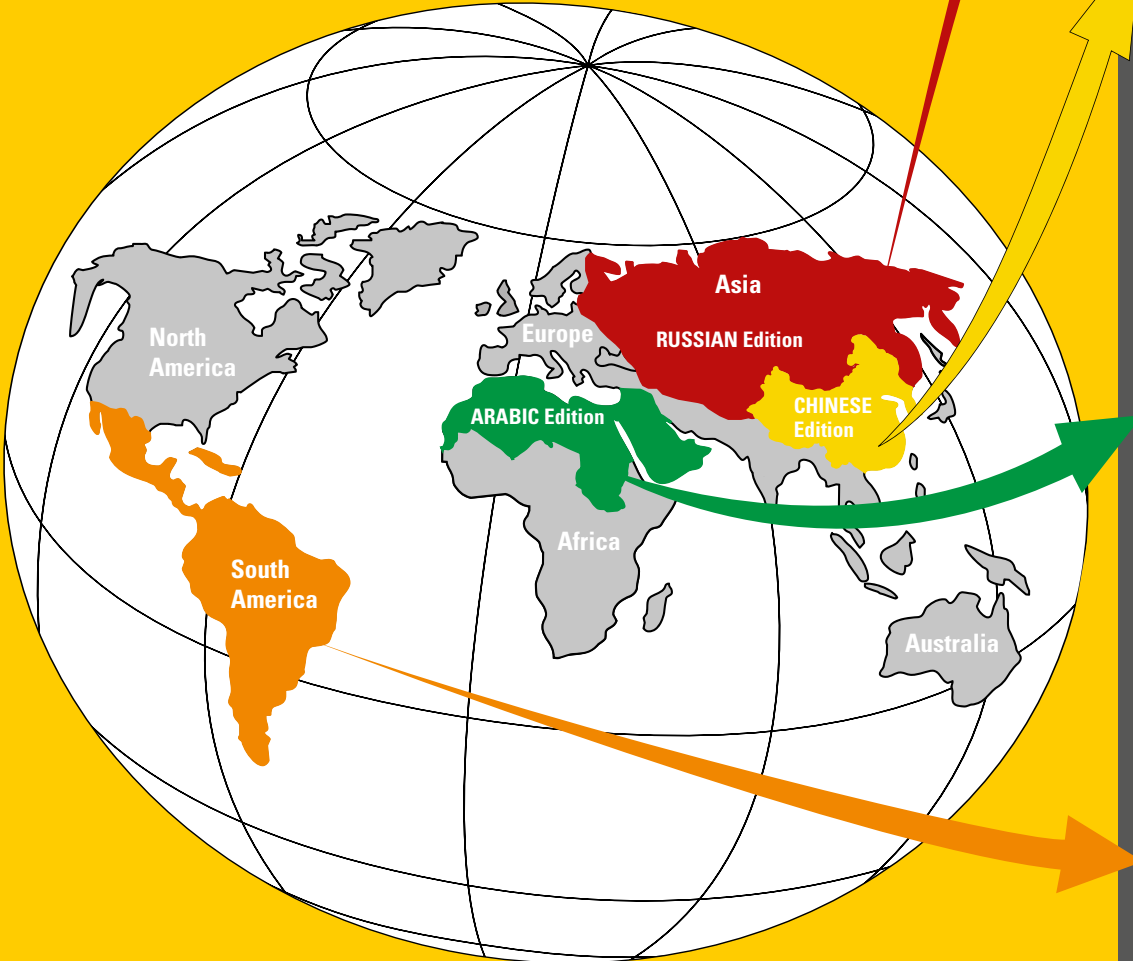
CEMENT INTERNATIONAL



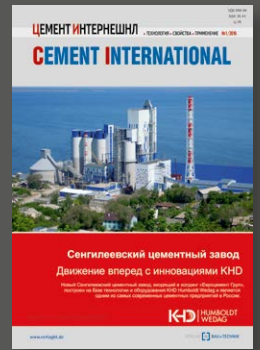
CEMENT INTERNATIONAL
Circulation: 3000 print copies and
1577 digital copies

at home in all world cement markets

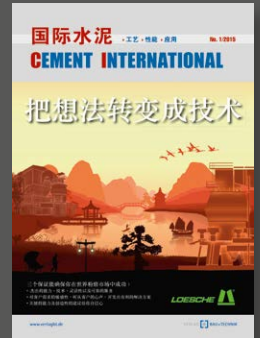
CEMENT INTERNATIONAL is one of the leading technical journals worldwide for the cement-, lime- and mortar industries. As the official organ of the German Cement Works Association (Verein Deutscher Zementwerke gGmbH (VDZ)) and the Hungarian Cement Association (Verband der Ungarischen Zementindustrie), CEMENT INTERNATIONAL sets the highest standards. With 3000 printed copies and 1577 digital recipients per issue distributed worldwide, you will reach all the relevant target groups. In addition, we deliver our know-how in the corresponding language of the country concerned to the up-and-coming emergent regions of the Middle East, China, Latin America and the former CIS States. In this way, the circulation of CEMENT INTERNATIONAL guarantees fullest coverage of all the areas concerned.



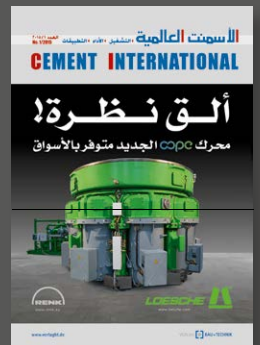
www.verlagbt.de



RUSSIAN Edition
Circulation: 1000 copies



CHINESE Edition
Circulation: 5000 copies



ARABIC Edition
Circulation: 1000 copies



LATIN AMERICA Edition
Circulation: 1000 copies

For further information contact:

Günther Jung
Advertising Manager

Tel.: +49 (0) 211 / 92499-35
Fax: +49 (0) 211 / 92499-55
e-mail: jung@verlagbt.de

CEMENT INTERNATIONAL
Steinhof 39, 40699 Erkrath,
Germany, www.verlagbt.de

VERLAG  **BAU+TECHNIK**

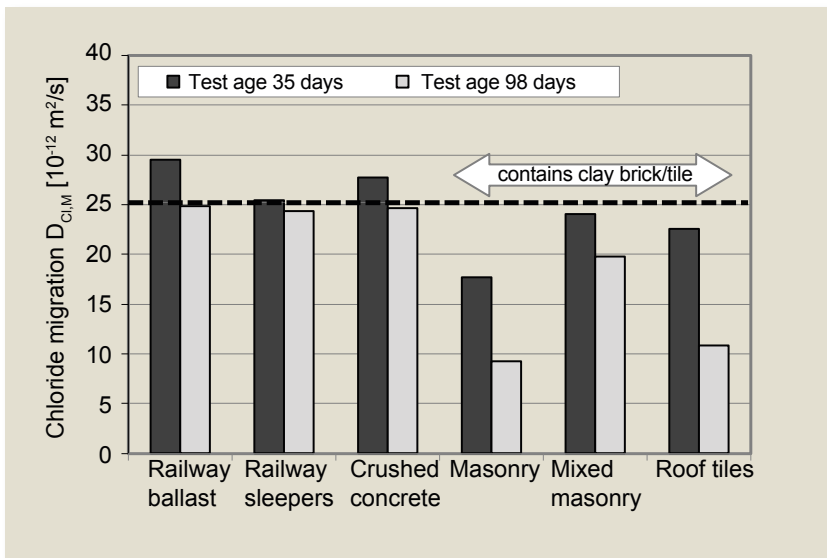


Figure 7: Chloride migration coefficients of the concretes using R-cements with 30 mass % crushed sand in combination with CEM I 52,5 R in concretes with w/c = 0.50 and c = 320 kg/m³, test age 35 and 98 days

Bild 7: Chloridmigrationskoeffizienten der Betone unter Verwendung der R-Zemente mit 30 M.-% Brechsand in Kombination mit CEM I 52,5 R in Betonen mit w/z = 0,50 und z = 320 kg/m³, Prüfalalter 35 und 98 Tage

8.4 Testing the carbonation behaviour

Fine concretes were produced with a water/cement ratio of w/c = 0.50 using R-cements containing 10 mass % crushed sand and then placed in preliminary storage under water for 7 days or 28 days to assess the resistance to carbonation. To classify the result the depths of carbonation were evaluated in relation to the compressive strengths of the fine concretes and compared with the DIBt evaluation background. The results at 169 days (preliminary storage for 28 days) lay within the permissible value range for the carbonation resistance of fine concrete.

9 Conclusion

The production of clinker-efficient cements with recycled crushed sand as a main constituent can contribute to further closing of the material cycles, to lowering of CO₂ emissions and to conserving resources. The precondition for this would be a continuous and uniform flow of material of appropriate quality from the recycling plant to the cement plant.

Crushed sands are not at present defined as main constituents in DIN EN 197-1. Cements using ground crushed sand as a main constituent require a national technical approval/project-related approval. Technical proof of their properties as defined in DIN EN 196-1 and DIN EN 197-1 must be provided as well as durability tests in concrete. The R-cements investigated in the "R-Beton" project with up to 30 mass % crushed sand corresponded to the 32,5 R to 52,5 R strength classes – depending on their material and granulometric compositions.

Approval-relevant evaluation criteria for the durability of concretes, such as carbonation resistance, chloride penetration resistance or resistance to freeze-thaw with de-icing salt, were met when using R-cements containing up to 10 mass % crushed sand. The evaluation criteria for freeze-thaw resistance of concretes in the cube test were also fulfilled when using R-cements containing up to 30 mass % crushed sand. The R-cements with 10 or 30 mass % crushed

in Kombination mit CEM I 42,5 R ist zu entnehmen, dass das im BAW-Merkblatt „Frostprüfung von Beton“ angegebene Kriterium von maximal 1,50 kg/m² nach 28 Frost-Tau-Wechseln eingehalten wurde. Es zeigte sich, dass die Betone Abwitterungen von maximal 0,63 kg/m² erzielten.

8.3 Prüfung des Chloridmigrationswiderstandes

Der Widerstand der Betone gegenüber eindringenden Chloriden wurde mithilfe des Migrationstests untersucht. Die Prüfkörper wurden bis zum Prüfalalter von 35 bzw. 98 Tagen wassergelagert. Wurde der Brechsandanteil der im Beton verwendeten R-Zemente auf 10 M.-% eingestellt, erreichten die Migrationskoeffizienten im Prüfalalter von 35 Tagen Werte unterhalb des Zulassungskriteriums des DIBt ($D_{\text{mig}} \leq 25 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$). Auch die Betone mit den Werkzeugementen haben dieses Kriterium erfüllt. 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.

Die R-Zemente mit höherem Brechsandgehalt wurden unter Verwendung des CEM I 52,5 R sowie des CEM I 42,5 R hergestellt und im Beton untersucht. Aus Bild 7 geht hervor, dass die Zemente mit 30 M.-% ziegelhaltigem Brechsand (Mauerwerk, Mischbruch, Dachziegel) im Prüfalalter von 35 Tagen das Zulassungskriterium des DIBt ebenfalls erfüllten. Das puzzolanische Potenzial der ziegelhaltigen R-Zemente (mit entsprechendem Anteil reaktionsfähiger Kieselsäure > 25 M.-% im Brechsand) zeigte sich insbesondere darin, dass der Migrationskoeffizient der Betone bis zum Prüfalalter von 98 Tagen deutlich abnahm.

8.4 Prüfung des Carbonatisierungsverhaltens

Zur Beurteilung des Carbonatisierungswiderstandes wurden unter Verwendung von R-Zementen mit 10 M.-% Brechsand Feinbetonprismen mit einem Wasserzementwert von w/z = 0,50 hergestellt und anschließend 7 Tage bzw. 28 Tage unter Wasser vorgelagert. Zur Einordnung der Ergebnisse wurden die Carbonatisierungstiefen in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit der Feinbetone ausgewertet und mit dem DIBt-Bewertungshintergrund verglichen. Die Ergebnisse im Alter von 169 Tagen (Vorlagerung 28 Tage) lagen innerhalb des zulässigen Wertebereiches für den Carbonatisierungswiderstand von Feinbeton.

9 Schlussbetrachtung

Die Herstellung klinkereffizienter Zemente mit Recyclingbrechsand als Hauptbestandteil kann dazu beitragen, Stoffkreisläufe weiter zu schließen, CO₂-Emissionen zu senken und Ressourcen zu schonen. Voraussetzung dafür wäre ein kontinuierlicher, gleichmäßiger Stoffstrom von entsprechender Qualität zwischen Aufbereitern und Zementwerk.

Brechsande sind derzeit in DIN EN 197-1 nicht als Hauptbestandteil definiert. Zemente unter Verwendung von gemahlenem Brechsand als Hauptbestandteil bedürfen einer Zulassung/Zustimmung. Ihre technischen Nachweise zu

masonry passed all the durability tests safely – in contrast to cements containing crushed sands of different origin.

When the results achieved in the project are considered as a whole it can be stated that these cements containing up to 30 mass % crushed sand could, at the least, be used as internal component concretes but external components for building construction also appear to be possible. The precondition for their use would be the requisite proof in accordance with building regulations law. This also includes environmental analysis requirements, such as evaluation of the effects on soil and water. If recycled crushed sands from the processing of mineral demolition wastes are to be applied industrially and used in construction products (e.g. cements) then the Technical Construction Code model administrative regulation applies with appropriate references to the ABuG, the LAGA notification 20 and DIN 4226-101. ◀

Eigenschaften nach DIN EN 196-1 bzw. DIN EN 197-1 müssen ebenso erbracht werden wie Dauerhaftigkeitsprüfungen im Beton. Die im Projekt „R-Beton“ untersuchten R-Zemente mit bis zu 30 M.-% Brechsand entsprachen je nach stofflicher bzw. granulometrischer Zusammensetzung den Festigkeitsklassen 32,5 R bis 52,5 R.

Zulassungsrelevante Bewertungskriterien der Dauerhaftigkeit von Betonen, z.B. für den Carbonatisierungswiderstand, für den Chlorideindringwiderstand oder für den Frost-Tausalzwiderstand, wurden unter Verwendung von R-Zementen mit bis zu 10 M.-% Brechsand eingehalten. Die Bewertungskriterien für den Frostwiderstand von Betonen im Würfelverfahren wurden unter Verwendung von R-Zementen auch mit bis zu 30 M.-% Brechsand erfüllt. Die R-Zemente mit 10 bzw. 30 M.-% Mauerwerksbruch haben im Vergleich zu Zementen mit Brechsanden anderer Herkunft alle Dauerhaftigkeitsprüfungen sicher bestanden.

Betrachtet man die im Projekt erzielten Ergebnisse insgesamt, ist festzustellen, dass diese Zemente mit bis zu 30 M.-% Brechsand mindestens in Innenbauteilbetonen eingesetzt werden könnten. Auch Außenbauteile des Hochbaus erscheinen möglich. Voraussetzung ihrer Anwendung wären die notwendigen bauordnungsrechtlichen Nachweise. Hierzu zählen auch umweltanalytische Anforderungen, wie z.B. die Bewertung der Auswirkungen auf Boden und Gewässer. Sofern Recyclingbrechsande aus der Aufbereitung mineralischer Bauabfälle technisch angewendet und in Bauprodukten (z.B. Zementen) eingesetzt werden sollen, gilt die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen mit den entsprechenden Verweisen auf die ABuG, die LAGA-Mitteilung 20 und die DIN 4226-101. ◀

Maximise the availability of your rotary equipment



We carry out state-of-the-art maintenance on your core equipment to ensure continuous production operation. Applying advanced assessment and measurement methods, our experts precisely determine the current condition of your rotary equipment and recommend corrective measures to help you increase the availability and service life of your machinery.

We can support you with:

- Inspections and measurements of rotary kilns and ball mills (geometry, ovality, shell deformation, thermal profile etc.)
- Corrective measures for rotary equipment and its mechanics (kiln alignment, adjustment of gearing on kilns and mills etc.)
- Commissioning and assembly supervision
- Development of customised checklists and training

vdz.

Interested? Contact us!



Phone: +49-211-45 78-254
maintenance@vdz-online.de
Tannenstrasse 2
40476 Duesseldorf, Germany

<https://www.vdz-online.de/en>