

In the future, concrete production could increasingly rely on the use of recycled aggregates. Part I of this article deals with the optimization of the mix design and mixing process and refers to the mechanical properties of recycled-aggregate concrete.

Für die Betonherstellung könnten zukünftig zunehmend rezyklierte Gesteinskörnungen eingesetzt werden. In Teil I des Artikels geht es um die Optimierung von Mischungsentwurf und -ablauf sowie um mechanische Eigenschaften von Rezyklatbeton.

Opportunities and limitations of concrete recycling

Chancen und Grenzen des Betonrecyclings

TEXT: Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller

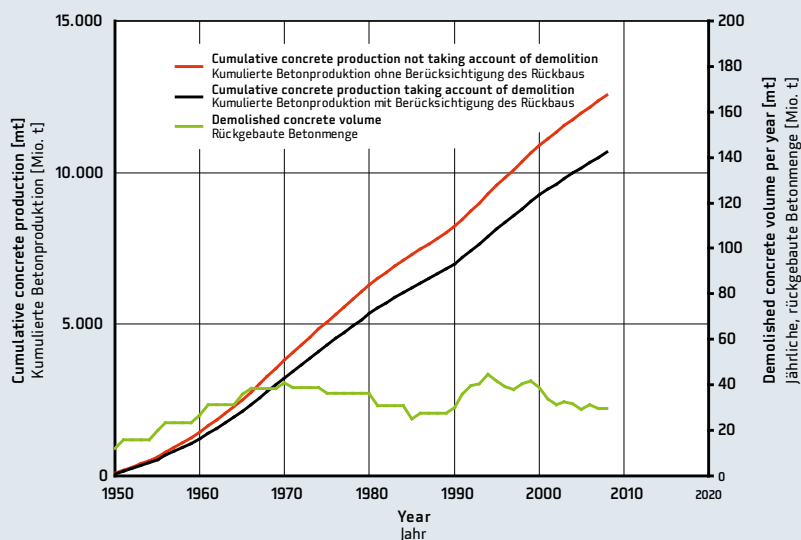
Concrete is the most commonly used construction material worldwide. When considering the cement quantities manufactured in Germany since 1950 for determining the produced concrete volumes and calculating the amount of concrete that has accumulated in existing buildings and structures, this exercise results in a notional volume of over 12 billion t (Fig. 1).

However, the actual amount of concrete built up since 1950 is smaller because the volumes removed by demolition need to be subtracted. If we assume that this concrete volume was equivalent to 18% of annual concrete production until 1995 and to 80% of the amount of construction waste generated per year from 1996, the amount of concrete contained in existing buildings and structures equals about 10 billion t.

Beton ist der am meisten verwendete Baustoff weltweit. Werden die ab 1950 in Deutschland erzeugten Zementmengen einer Ermittlung der produzierten Betonmengen zugrunde gelegt und daraus die Betonmenge berechnet, die sich im Bauwerksbestand kumuliert hat, ergibt sich eine fiktive Menge von über 12 Mrd. t (Abb. 1).

Das tatsächlich seit 1950 aufgebaute Betonlager ist um die durch Rückbau und Abbruch entnommene Menge geringer. Wird angenommen, dass diese Betonmenge bis 1995 18 % der jährlich produzierten Betonmenge und ab 1996 80 % des jährlich anfallenden Bauschutts entspricht, beträgt die Betonmenge, die im Bauwerksbestand kumuliert ist, rund 10 Mrd. t.

Das anthropogene Betonlager hat also einen erheblichen Umfang erreicht. Auch wenn es noch deutlich unter den vorhandenen Vorräten an Kies und Sand bleibt, die auf 220 Mrd. t geschätzt werden [2], wird es zukünftig zunehmend als Rohstoff Berücksichtigung finden.



1
Amount of concrete accumulated in existing buildings and structures (cement production data taken from [1], simplified calculation of the concrete volume excluding the use of cement in other products)

Im Bauwerksbestand kumulierte Betonmenge (Daten zur Zementproduktion aus [1] entnommen, vereinfachte Berechnung der Betonmenge ohne Berücksichtigung des Zementeinsatzes in anderen Produkten)

2

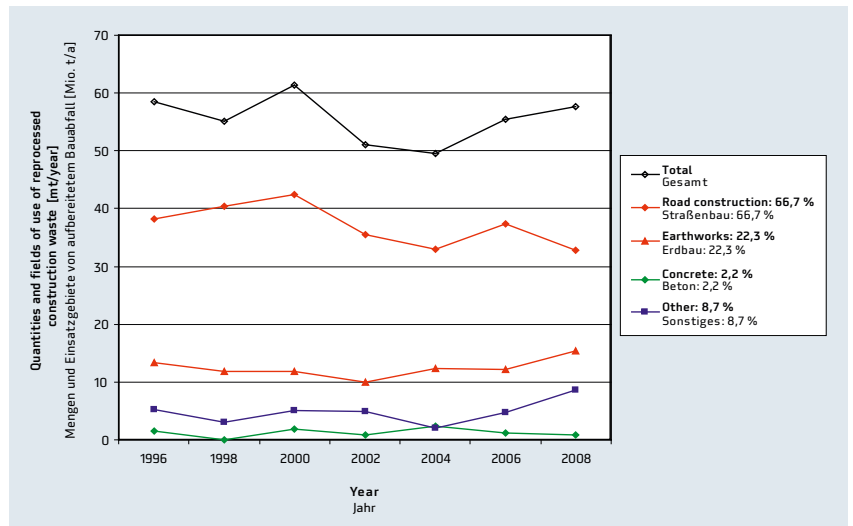
Recycled amounts of construction waste and fields of use of recycled building materials produced from this waste [3]

Verwertete Bauabfallmengen und Einsatzgebiete von daraus hergestellten Recycling-Baustoffen [3]

The man-made concrete stocks have thus reached a considerable level. In the future, an increasing share of this stock will be used as a raw material even though it continues to remain significantly below the existing stocks of sand and gravel, which are estimated at 220 t [2].

Establishing in practice

Each year, about 80 million t are taken out of the existing man-made building material stocks. After re-processing, the resulting recycled materials amount to between 50 and 60 million t, the major share of which is used in road construction and civil engineering (Fig. 2). In this area, recycled building materials made of asphalt or crushed concrete can be used. This sector thus benefits from an almost closed material cycle. In contrast, this stage has not been reached yet in building construction. For instance, an average of only 1.2 million t of crushed concrete is currently converted to recycled aggregates for use in concrete production. This figure corresponds to a share of 2.2% in the total volume of reprocessed construction waste.



Etablierung in der Baupraxis

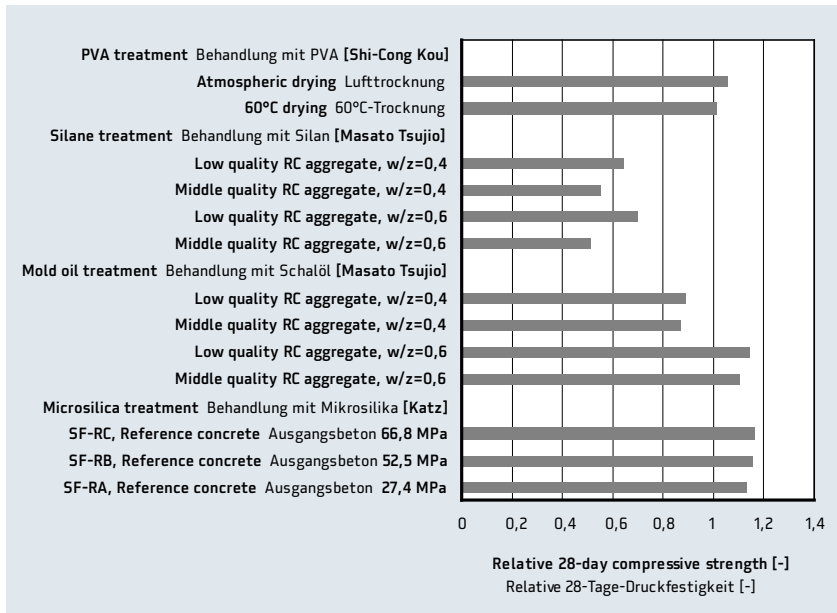
Gegenwärtig wird dem anthropogenen Baustofflager jährlich eine Materialmenge von rund 80 Mio. t entnommen. Nach der Aufbereitung werden die erzeugten Rezyklate, deren Menge sich zwischen 50 und 60 Mio. t bewegt, hauptsächlich im Straßen- und Tiefbau verwertet (Abb. 2). Eingesetzt werden können Recycling-Baustoffe, die aus Asphalt oder Betonaufbruch hergestellt wurden. Damit ist in diesem Sektor ein nahezu geschlossener Stoffkreislauf aufgebaut. Im Hochbau ist dieser Zustand dagegen noch nicht erreicht. So werden bisher im Mittel lediglich 1,2 Mio. t Betonbruch zu rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung aufbereitet. Das entspricht einem Anteil von 2,2 % an den insgesamt aufbereiteten Bauabfällen.



3

Granulated concrete in various compositions taken from a rubble stockpile. Top: composite particles from aggregates bonded by cement paste. Bottom: mortar particle (left) and almost mortar-free gravel particle (right)

Aus einer Bauschutthalde entnommene Betongranulate unterschiedlichster Zusammensetzung. Obere Reihe: Kompositkörner aus durch Zementstein verkitteten Gesteinskörnungen. Untere Reihe: Korn aus Mörtel (links) und nahezu mörtelfreies Kieskorn (rechts)



4 Effects of various surface treatment methods on relative compressive strength, with untreated recycled-aggregate concretes used as a reference [15] [17] [18]

Auswirkungen verschiedener Oberflächenbehandlungsmethoden auf die relative Druckfestigkeit, Bezugsbasis Druckfestigkeit der Betone aus rezyklierten Gesteinskörnungen ohne Oberflächenbehandlung [15][17][18]

One of the prerequisites to establish the production of concrete from recycled aggregates in practice is the existence of rules and standards that define the requirements for these aggregates and their possible uses in concrete. These rules were prepared particularly on the basis of the findings of the joint research project on the “Material Cycle in Concrete Construction” and in conjunction with the introduction of European standards. In the meantime, they have reached a stage where it is possible, depending on the specific use of the concrete, to substitute a certain portion of natural aggregates by recycled materials in a defined composition without having to modify the design assumptions.

The construction of model buildings is another instrument that has been used in the past few years to promote the aspect of recycling in building construction. The initiatives launched in Ludwigshafen and Stuttgart in 2009 showed that recycled-aggregate concrete produced in accordance with relevant rules and standards is a full-fledged construction material that can also bring about environmental benefits [4] [5] [6].

In urban agglomerations where natural aggregates for concrete production need to be sourced from more distant regions, recycled aggregates provide a number of benefits because they are available either locally or from sources close to the site. We expect an increase in the use of recycled aggregates for concrete production especially in such agglomerations where there is also high demand for construction activity.

Eine Voraussetzung zur Etablierung der Betonherstellung aus rezyklierten Gesteinskörnungen in der Baupraxis ist das Vorliegen von Vorschriften zu den Anforderungen an diese Gesteinskörnungen und zu ihren Einsatzmöglichkeiten im Beton. Diese Vorschriften wurden aufbauend insbesondere auf den Ergebnissen des Verbundforschungsprojekts „Baustoffkreislauf im Massivbau“ und verknüpft mit der Einführung Europäischer Normen entwickelt. Inzwischen haben sie einen solchen Stand erreicht, dass die Substitution eines Teils der natürlichen Gesteinskörnungen durch Rezyklate mit definierter Zusammensetzung in Abhängigkeit von dem Einsatzgebiet des Betons möglich ist, ohne die Bemessungsgrundlagen zu verändern.

Ein weiteres Instrument, das Recycling im Hochbau voranzubringen, war und ist die Errichtung von Musterbauten. In den 2009 in Ludwigshafen und Stuttgart gestarteten Initiativen wurde nachgewiesen, dass RC-Beton, der entsprechend den Vorschriften hergestellt ist, ein vollwertiger Baustoff ist und ökologische Vorteile aufweisen kann [4] [5] [6].

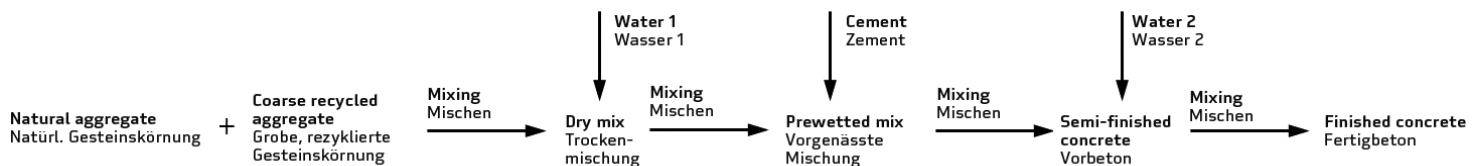
In urbanen Ballungsgebieten, in welchen natürliche Gesteinskörnungen für die Betonherstellung erst aus größeren Entfernungen antransportiert werden müssen, bestehen Vorteile für rezyklierte Gesteinskörnungen, weil diese vor Ort oder in geringer Distanz verfügbar sind. Es ist zu erwarten, dass in solchen Ballungsräumen, in denen zugleich eine hohe Nachfrage nach Bauleistungen besteht, der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung ansteigen wird.

2 Stand der Forschung zur Betonherstellung aus rezyklierten Gesteinskörnungen

2.1 Beeinflussung der Rezyklatqualität durch Vorbehandlungsmethoden

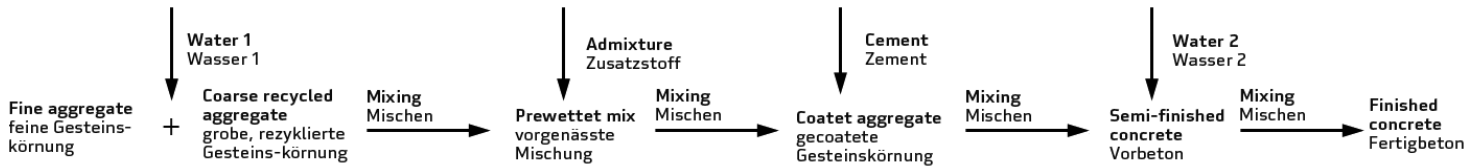
Betonrezyklate stellen Komposite dar – auch wenn durch einen sorgfältigen selektiven Rückbau erreicht wird, dass sie sortenrein vorliegen. Ihre Zusammensetzung kann sich von Korn zu Korn unterscheiden (Abb. 3).

Die Folge des Kompositcharakters von Betonrezyklaten sind Eigenschaftsschwankungen. Insbesondere die Porosität kann sich in einem Bereich bewegen, der sich theoretisch von der Porosität des Zementsteins bis zur Porosität der natürlichen Gesteinskörnungen erstreckt. Dadurch wird die Qualität der Rezyklate vermindert. Außerdem weist sie im Vergleich zu natürlichen Gesteinskörnungen größere Schwankungen auf. Die Reduzierung der Porosität ist deshalb Gegenstand von Untersuchungen mit unterschiedlichen Ansätzen.



5 Mixing process applying the two-stage mixing approach (TSM) according to Tam [30]

Mischungsablauf nach dem „Two-stage mixing approach TSM“ nach Tam [30]



6
Mixing process applying the triple mixing method according to Deyu Kong [33]

Mischungsablauf nach der „Triple mixing method“ nach Deyu Kong [33]

2 State of research regarding concrete production using recycled aggregates

2.1 Influence of pretreatment methods on the quality of recycled materials

Recycled aggregates for concrete are composites even though they are appropriately separated by careful, selective dismantling and demolition. Their composition may vary from particle to particle (Fig. 3).

The composite nature of recycled concrete aggregates results in variations in their characteristics. In particular, porosity parameters may theoretically range from the porosity of the cement paste to the porosity of natural aggregates, which compromises the quality of the recycled materials. Furthermore, the quality of these materials fluctuates more significantly compared to natural aggregates. Various research approaches thus aim to reduce the porosity of the materials.

One of these approaches is to develop reprocessing methods to create aggregates free from cement paste. Three categories of methods can be distinguished in this regard:

Ein Ansatz ist die Entwicklung von Aufbereitungsverfahren, mit denen zementsteinfreie Körnungen erzeugt werden können. Drei Gruppen lassen sich unterscheiden:

- » Verfahren, die auf Druck- und Zugbeanspruchungen an der Phasengrenze zwischen Zementstein und Gesteinskörnung abzielen,
- » Verfahren, die auf einer Abrasionsbeanspruchung aufbauen,
- » Verfahren, bei denen eine thermische und eine abrasive Beanspruchung kombiniert werden.

Elektrodynamische und Mikrowellen-Behandlung

Die Verfahren wurden in [9] im Überblick dargestellt. Die Erzeugung von Druck- und Zugbeanspruchungen an der Phasengrenzfläche als Methode, einen Aufschluss von Beton zu erreichen, wurde in jüngster Zeit erneut beschrieben [10]. Zum Einsatz kam das elektrodynamische Verfahren, bei dem sich der Beton in einem Wasserbad befindet und durch eine Unterwasserfunkenentladung beansprucht wird. Ein weiteres Verfahren wurde unter-

Wacker Neuson concrete solutions

Produkte, Beratung und Lösungen
für die industrielle Betonverarbeitung



Kompetenz



Beratung



Produkte



Service

Das Beste für Beton

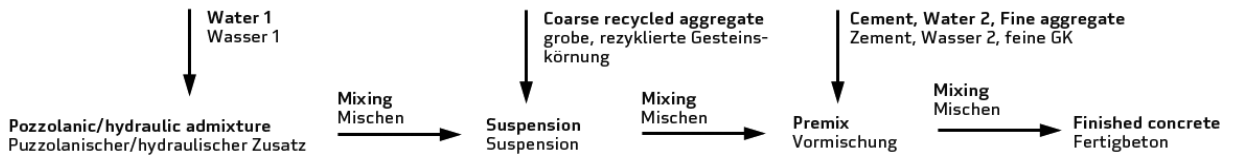
Telefon: +49 (0)89 35 09 56 80

www.wn-cs.com

concrete@wn-cs.com



**WACKER
NEUSON**
|concrete solutions|



7

Mixing process with integrated coating according to Jiusu Li [34]

Mischungsablauf mit integriertem Coating nach Jiusu Li [34]

- » methods aiming to create tensile and compressive stresses acting on the interface between cement paste and aggregate particles,
- » methods that rely on abrasive action,
- » methods that combine thermal and abrasive actions.

Electrodynamic process and microwaves

Reference [9] includes an overview of these methods. The method of generating tensile and compressive stresses in the interfacial area to separate the concrete constituents was described most recently in [10]. An electrodynamic process was applied in which the concrete was immersed in water and impacted by an underwater spark discharge. Another process investigated involved the use of microwaves to weaken the structure of the concrete. Compared to untreated concretes, an increase in the share of paste-free particles was found. For instance, the share of such particles in the 6.3–8mm range amounted to 26.0% without treatment whereas 33.2%

suchts, bei dem die Betonstruktur durch Mikrowellen geschwächt wird. Der erreichte Anteil an zementsteinfreien Körnern nahm gegenüber den unbehandelten Betonen zu. Beispielsweise betrug der Anteil zementsteinfreier Partikel in der Fraktion 6,3/8 mm 26,0 % ohne Behandlung, 33,2 % bei Mikrowellenbehandlung und 45,6 % bei Behandlung mit dem elektrodynamischen Verfahren.

Die Anwendung von Mikrowellen zur Erzeugung von zementsteinfreien Betonrezyklaten wird auch von Noguchi [11] beschrieben. Dafür wird ein dielektrisches Material auf die Oberfläche der natürlichen Gesteinskörnungen appliziert, die zu Beton verarbeitet werden sollen. Werden diese Betone einer Mikrowellenbehandlung ausgesetzt, resultiert daraus eine selektive Erwärmung an der Phasengrenzfläche zwischen natürlicher Gesteinskörnung und Zementstein, die eine Trennung an dieser Stelle bewirkt.

Die Kombination von thermischer und abrasiver Beanspruchung wurde von Sui [12] [13] ausführlich untersucht. Danach reichen Temperaturen von 250 bis 300 °C aus,

were reached during microwave treatment and 45.6% were achieved in the electrodynamic process.

Noguchi [11] also describes the use of microwaves to produce paste-free recycled aggregates for concrete. For this purpose, a dielectric material is applied to the surface of natural aggregates to be used in concrete. If these concretes are exposed to a microwave treatment, this influence results in selective heating of the phase boundary between natural aggregate and cement paste and in a subsequent separation occurring at this point.

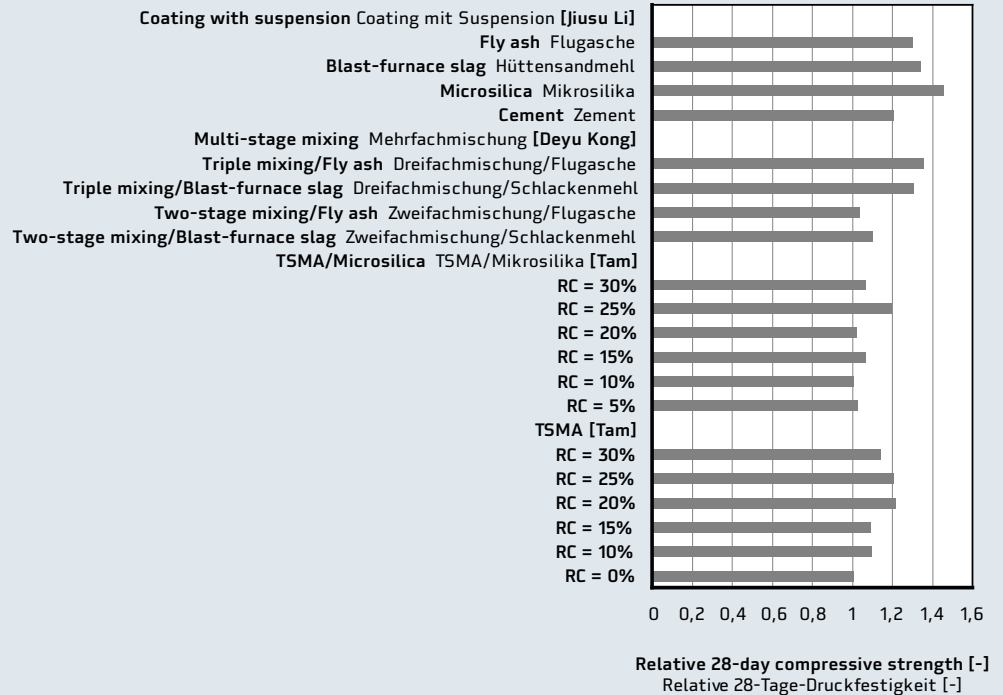
Sui [12] [13] comprehensively investigated the combination of thermal and abrasive actions. According to these findings, temperatures from 250 to 300 °C are sufficient to make the cement paste so brittle that it can be removed from the surface of the original aggregate during subsequent treatment in a drum mill. One of the parameters used to prove the achieved quality improvement is the paste ratio. Prior to the treatment, the paste ratio of the 2–4mm and 4–8mm sizes ranged from 18.5 to 22.3 m.-%. The treatment reduced this ratio to 6.9 to 9.7m.-%.

Noguchi [11] states that the production of paste-free recycled aggregates by combining thermal and abrasive actions is already being tested on an industrial scale. A plant with a throughput of four tonnes per day produces almost completely paste-free coarse and fine aggregates and a finely dispersed secondary product in which the paste is enriched.

Coating with microsilica

Tam [14] proposes the removal of the cement paste from coarse recycled aggregates by an acid treatment. 0.1 molar hydrochloric, sulfuric and phosphoric acids were used for this purpose. The improvements achieved were relatively minor; they were measured on the basis of changes in water absorption and compressive strength.

Another approach to improve the characteristics of recycled aggregates is the tailored sealing of the particle surfaces of recycled coarse aggregates. Katz [15] applied ultrasound cleaning to recycled coarse aggregates taken from three laboratory concretes with various compressive strengths and subsequently immersed them in a microsilica suspension with a 10% solids ratio. This treatment caused the material to form a deposit on the surface, which amounted to about 0.5 to 0.8% of the aggregate mass. Concretes produced from these coated aggregates showed an increase in compressive strength compared to the untreated specimens. This increase was found to be more significant after seven days than after 28 days. A concrete containing natural aggregates that were also treated using this method revealed a decrease in strength.



um den Zementstein so zu verspröden, dass er anschließend mit einer Behandlung in einer Trommelmühle von der Oberfläche der ursprünglichen Gesteinskörnungen entfernt werden kann. Die erreichte Qualitätsverbesserung wird unter anderem am Zementsteingehalt nachgewiesen. Vor der Behandlung lag der Zementsteingehalt der Fraktionen 2/4 mm und 4/8 mm zwischen 18,5 und 22,3 Masse-%. Nach der Behandlung verblieb ein Zementsteingehalt von 6,9 bis 9,7 Masse-%.

Die Erzeugung zementsteinfreier Rezyklate durch die Kombination von thermischer und abrasiver Beanspruchung wird nach Angaben von Noguchi [11] bereits im industriellen Maßstab erprobt. In einer Anlage mit einem Durchsatz von 4 t/d werden nahezu zementsteinfreie grobe und feine Körnungen sowie ein feindisperses Nebenprodukt erzeugt, in dem der Zementstein angereichert ist.

Imprägnierung mit Mikrosilika

Die Entfernung des Zementsteins von groben, rezyklierten Gesteinskörnungen durch eine Säurebehandlung wird von Tam [14] vorgeschlagen. Zur Anwendung kamen jeweils 0,1 molare Salzsäure, Schwefelsäure und Phosphorsäure. Die erreichten Verbesserungen, die anhand der Veränderungen der Wasseraufnahme und der Druckfestigkeit verfolgt wurden, waren eher gering.

Ein weiterer Ansatz zur Verbesserung der Eigenschaften von Rezyklaten ist die gezielte Abdichtung der Kornoberfläche von groben Rezyklaten. Von Katz [15] wurden rezyklierte grobe Gesteinskörnungen, die von drei Laborbetonen unterschiedlicher Druckfestigkeiten stammten, nach einer Ultraschallreinigung mit einer Suspension aus Mikrosilika mit einem Feststoffgehalt von 10 % getränkt. Dies bewirkte eine Ablagerung dieses Materials auf der Oberfläche, die etwa 0,5 bis 0,8 % der Zuschlagmasse betrug. An den aus den imprägnierten Gesteinskörnungen hergestellten Betonen konnte ein Druckfestigkeitsanstieg

8

Effects of various mixing processes on relative compressive strength, with recycled-aggregate concretes produced in a conventional mixing process used as a reference [30] [31] [32] [33] [34]

Auswirkungen verschiedener Mischungsabläufe auf die relative Druckfestigkeit, Bezugsbasis Druckfestigkeit der Betone aus rezyklierten Gesteinskörnungen nach konventionellem Mischungsablauf [30][31] [32][33][34]

Descarrega [16] also investigated the coating of recycled aggregates with microsilica. Phase analyses demonstrated a pozzolanic effect between the added microsilica and the calcium hydroxide, which led to an increase in particle strength.

Tsujino [17] evaluated the sealing of the surface by water-repellent additives. Two products commonly used in concrete technology were applied: a mold oil and a hydrophobic silane. The strength parameters of the concretes that contained silane-treated aggregates were considerably lower than those of the concretes containing untreated aggregates or aggregates to which the mold oil was applied.

Carbonation

Kou [18] investigated the impregnation of coarse recycled aggregates with polyvinyl alcohol (PVA) as a method to improve their quality. With regard to their strength, the coated aggregates showed minor improvements after 28 days and more significant increases after 90 days compared to the untreated aggregates. Marked improvements were found for other characteristics such as dry shrinkage and chloride ion penetration resistance.

The quality improvements by self-healing effects described in [19] to be achieved by the subsequent hydration of crushed concrete immersed in water are minor. Furthermore, the investigated crushed concrete was taken from a concrete testing laboratory, which is

im Vergleich zu den unbehandelten Proben festgestellt werden, der nach sieben Tagen deutlicher als nach 28 Tagen ausfiel. Ein Beton aus natürlichen Gesteinskörnungen, die ebenfalls mit dieser Methode behandelt wurden, zeigte eine Abnahme der Festigkeit.

Auch von Descarrega [16] wurde die Imprägnierung von Rezyklaten mit Mikrosilika untersucht. Ein pozzolanischer Effekt zwischen dem zugegebenen Mikrosilika und dem Calciumhydroxid, der zur Verbesserung der Kornfestigkeit führte, konnte durch phasenanalytische Untersuchungen nachgewiesen werden.

Die Abdichtung der Oberfläche durch wasserabweisende Zusatzmittel wurde von Tsujino untersucht [17]. Es wurden zwei in der Betontechnik eingeführte Produkte eingesetzt. Zum einen kam ein Schalöl, zum anderen ein wasserabweisendes Silan zum Einsatz. In Bezug auf die Festigkeiten wiesen die Betone mit den silanbehandelten Gesteinskörnungen deutlich geringere Werte auf als die Betone, die unbehandelte oder mit Schalöl behandelte Rezyklate enthielten.

Carbonatisierung

Von Kou [18] wurde das Imprägnieren von groben Rezyklaten mit Polyvinylalkohol (PVA) als Methode der Qualitätsverbesserung untersucht. Es zeigten sich geringe Verbesserungen der 28-Tage-Festigkeiten und deutlichere Zunahmen der 90-Tage-Festigkeiten gegenüber den nicht imprägnierten Körnungen. Bei anderen Eigenschaften wie der Trockenschwindung und dem Widerstand gegen



At bauma 2013, discover customized precast plant technology made by Vollert from a completely new perspective.



why it can be assumed that this concrete was of a relatively early age not representative of concrete taken from existing buildings.

Figure 4 shows the various surface treatment methods applied to recycled aggregates and their effects on compressive strength. These findings permit the conclusion that the microsilica treatment achieves the most significant effects. The effects of the other methods are either minor or even result in a decrease in compressive strength.

Seidemann [20] and Garbiec [21] describe the targeted carbonation of recycled aggregates for concrete as a method to seal their surface. Seidemann treated the recycled aggregates in a tubular reactor through which a mix of carbon dioxide and air was flowing. Applying mercury intrusion porosimetry, a decrease in porosity from 35.0 vol.-% to 25.2 vol.-% is achieved after twelve hours of treatment at a CO₂ content of the gas flow of 20 vol.-%. Garbiec exposed the recycled aggregates to biodeposition using a certain bacteria species, proving an absolute decrease in water absorption by 1 m.-%.

2.2 Influence of changes in the mix design on the quality of recycled-aggregate concrete

The method used to calculate the composition of recycled-aggregate concrete is usually identical to the approach applied to concrete with natural aggregates. The mix design can take account of additional water

das Eindringen von Chloridionen zeigten sich deutliche Verbesserungen.

Die in [19] beschriebenen Qualitätsverbesserungen mittels Selbstheilungseffekten, die durch eine Nachhydratation des im Wasser gelagerten Betonbruchs erreicht werden sollen, sind gering. Außerdem stammte der untersuchte Betonbruch von einem Betonprüflabor, sodass angenommen werden kann, dass es sich eher um einen jüngeren Beton handelte, der nicht repräsentativ ist für den aus Bauwerken stammenden Beton.

In Abbildung 4 sind die Auswirkungen der verschiedenen Methoden zur Oberflächenbehandlung von Rezyklaten auf die Druckfestigkeit dargestellt. Daraus kann das Fazit gezogen werden, dass durch die Mikrosilikabehandlung die höchsten Effekte erzielt werden. Die Effekte der anderen Methoden sind entweder nur gering oder es tritt sogar eine Abnahme der Druckfestigkeit auf.

Die gezielte Carbonatisierung von Betonrezyklaten als Methode der Oberflächenabdichtung wird von Seidemann [20] und Garbiec [21] beschrieben. Seidemann behandelt die Rezyklate in einem Rohrreaktor, der von einem CO₂-Luft-Gemisch durchströmt wird. Mittels Quecksilberdruckporosimetrie wird ein Rückgang der Porosität von 35,0 Vol.-% auf 25,2 Vol.-% nach zwölfstündiger Behandlung bei einem CO₂-Gehalt des zugeführten Gasstroms von 20 Vol.-% erreicht. Garbiec setzt die Rezyklate einer Biodeposition unter Verwendung einer bestimmten Bakterienart aus. Eine Abnahme der Wasseraufnahme um 1 Masse-% absolut wird nachgewiesen.

Become a part of it.
We welcome you in hall B1 at booth 204!

bauma 2013

April 15 – 21, Munich

made in Germany
Precast Success

For a first insight visit
www.precast-success.com



Vollert 

www.vollert.com

| | Water Wasser | Cement Zement | coarse aggregates grobe Gesteins- körnungen | fine aggregates feine Gesteins- körnungen | |
|---|------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|
| | [dm ³ /m ³] | [dm ³ /m ³] | natural natürlich [dm ³ /m ³] | recycled rezykliert [dm ³ /m ³] | natural natürlich [dm ³ /m ³] |
| Reference concrete Referenzbeton | 160.1 160,1 | 117.2 117,2 | 444.1 444,1 | 0 | 278.6 278,6 |
| Volume-based mix design: 42 vol.-% coarse recycled aggregates Volumenbezogener Mischungsentwurf: 42 Vol.-% grobe, rez. GK | 159.1 159,1 | 116.4 116,4 | 259.9 259,9 | 187.8 187,8 | 276.8 276,8 |
| mass-based mix design: 41 m.-% coarse recycled aggregates = 43 vol.-% coarse recycled aggregates Massebezogener Mischungsentwurf: 41 M.-% grobe, rez. GK = 43 Vol.-% grobe, rez. GK | 160.1 160,1 | 117.2 117,2 | 262.1 262,1 | 197.1 197,1 | 263.6 263,6 |
| mix design according to the EMR method: 42 vol.-% coarse recycled aggregates Mischungsentwurf nach der EMR-Methode: 42 Vol.-% grobe, rez. GK | 114.4 114,4 | 83.9 83,9 | 349.8 349,8 | 252.6 252,6 | 199.3 199,3 |

Tab. 1
Comparison of the composition of concretes according to [22], calculated according to various mix design methods

Gegenüberstellung der Zusammensetzung von Betonen nach [22], berechnet nach unterschiedlichen Ansätzen für den Mischungsentwurf

demand caused by the water absorption of recycled aggregates. In this case, a distinction needs to be made between the effective water/cement ratio, which results from the cement content and the amount of water available for cement hydration, and a “gross” water/cement ratio that includes the additional amount of water absorbed by the recycled aggregates.

In the literature [22] [23], further methods are described that go beyond the volume-based approach to determining the mix design:

- » Direct Weight Replacement Method (DWR): A certain mass of natural aggregates is replaced with recycled aggregates. The added amounts of cement and water remain unchanged.
- » Equivalent Mortar Replacement Method (EMR) according to Fathifazl [23]: The recycled aggregates are considered to be two-phase composites that comprise the adhering mortar and the original, coarse natural aggregates. The volume of the mortar adhering to the particles is taken into account when calculating the mix design.

The use of the EMR method requires the experimental measurement of the amount of mortar contained in the recycled aggregates. The following methods are mentioned:

- » After water saturation and heat treatment, the mortar is mechanically removed from the aggregates [24].
- » The mortar structure is loosened by treatment with an Na₂SO₄ solution and exposure to freeze/thaw cycles, and the mortar is removed mechanically [25].

A comparative analysis of the effects of the individual mix design approaches on the composition and characteristics of the concrete was carried out in [22]. With respect to the composition of the mix, the investigations (Table 1) reveal relatively minor differences between the mix designs calculated using the volume-based and mass-based methods. Applying the EMR method to the calculation of the mix design results in a significant difference when replacing 42 vol.-% of coarse natural aggregates with recycled aggregates.

2.2 Beeinflussung der Qualität von Rezyklatbeton durch Veränderung des Mischungsentwurfs

Üblicherweise unterscheidet sich die Methode, die Zusammensetzung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen zu berechnen, nicht von der, die für Betone mit natürlichen Gesteinskörnungen angewandt wird. Eine zusätzliche Wasserzugabe, berechnet aus der Wasseraufnahme der Rezyklate, kann in der Rezeptur berücksichtigt werden. In diesem Fall ist zu unterscheiden zwischen dem wirksamen oder effektiven Wasserzementwert, der sich aus dem Zementgehalt und der für die Zementhydratation zur Verfügung stehenden Wassermenge ergibt, und einem „Brutto-Wasserzementwert“, in den das zusätzlich zugegebene, durch die Rezyklate aufgenommene Wasser einfließt.

Neben der volumenbezogenen Vorgehensweise bei der Ermittlung der Mischungszusammensetzung werden in der Literatur folgende weitere Methoden beschrieben [22] [23]:

- » Direct Weight Replacement Method (DWR): Eine bestimmte Masse an natürlichen Gesteinskörnungen wird durch rezyklierte Gesteinskörnungen ersetzt. Die Zementmenge und die Wassermenge werden nicht verändert.
- » Equivalent Mortar Replacement Method (EMR) nach Fathifazl [23]: Die rezyklierten Gesteinskörnungen werden betrachtet als Zweiphasenkomposite, bestehend aus dem anhaftenden Mörtel und den ursprünglichen groben, natürlichen Gesteinskörnungen. In der Mischungsberechnung wird das Volumen des anhaftenden Mörtels berücksichtigt.
- » Die Anwendung der EMR-Methode setzt die experimentelle Bestimmung der Mörtelmenge der rezyklierten Gesteinskörnungen voraus. Folgende Methoden werden genannt:
 - » Die Körnungen werden nach Wassersättigung und Wärmebehandlung mechanisch vom Mörtel befreit [24].
 - » Das Gefüge des Mörtels wird durch Behandlung mit Na₂SO₄-Lösung und Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung gelockert und anschließend mechanisch entfernt [25].



SikaPaver®

Betonwaren für höchste Ansprüche

Bei der industriellen Fertigung von Betonwaren benötigt man heute starke Produkte für höchste Ansprüche. Mit der SikaPaver®-Technologie können qualitativ hochwertige Betonwaren wirtschaftlich hergestellt werden.

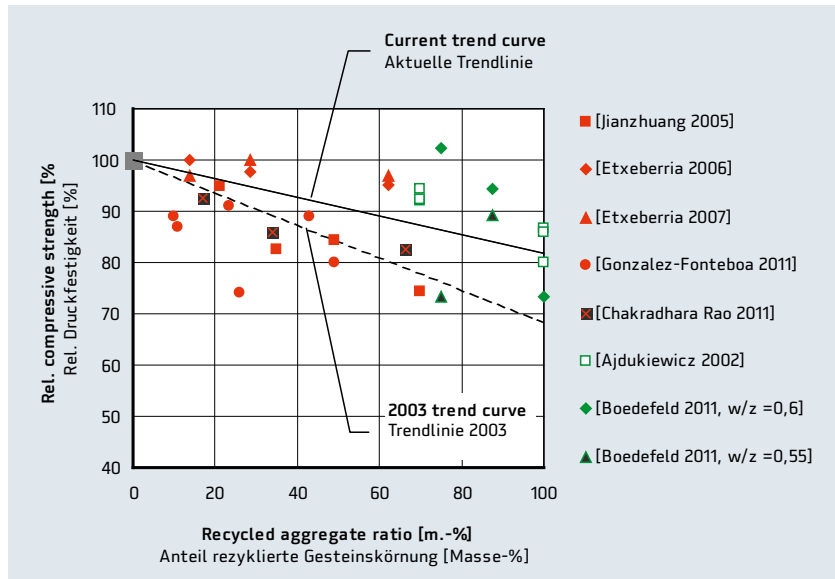
Mit unserem Know-how und unseren umfassenden Serviceleistungen unterstützen wir Sie bei der Optimierung und Produktion von Betonwaren für den Garten- und Landschaftsbau, Tiefbauprodukten oder Betondachsteinen.

Überzeugen Sie sich selbst – rufen Sie uns an: **0 152 21 58 02 04**

Die SikaPaver® Produktreihe:

- ▶ SikaPaver® C – Verdichtungshilfe für erdfeuchten Beton
- ▶ SikaPaver® HC – Hochleistungsplastifizierer für bessere Oberflächen und höhere Festigkeiten
- ▶ SikaPaver® AE – Ausblühverminderer für intensivere Farben





9

Dependence of relative compressive strength and elastic modulus on the ratio of recycled aggregates after 28 days [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44]

Abhängigkeit der relativen Druckfestigkeiten und E-Moduli jeweils nach 28 Tagen von dem Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen [38][39] [40][41][42][43][44]

EMR concretes

When evaluating the concrete characteristics determined by Knaack [22] for comparable mixes, a dramatic deterioration of workability in line with an increase in the share of recycled aggregates is found for EMR concretes even if plasticizers are added to counteract this trend. Only minor differences in strength were found for the mass or volume-based substitution methods. The strengths of EMR concretes are lower than those of the concretes produced according to the volume- and mass-based mix design method. The EMR concretes produced by Fathifazl [23] showed no changes in strength because their cement and water contents differed only insignificantly from those of the concretes with a conventional mix design. Improvements were identified for the elastic modulus.

In conclusion, the comparison of the various mix design methods shows that the EMR method does not result in compelling benefits. The assumption on which this method is based (i.e. that the old mortar causes the inferior performance of recycled-aggregate concrete) is too fuzzy. First, it is the old cement paste, rather than the mortar, that causes the changes. Second, it appears more appropriate to identify options for reprocessing crushed concrete in such a way that paste-free recycled aggregates are produced to prevent quality deterioration. In addition, it is doubtful whether the method used to determine the mortar content is indeed practicable. For the reasons mentioned above, the ratio of the old cement paste should preferentially be used to characterize recycled aggregates. This parameter can be determined by selective dissolution using hydrochloric acid. This method is based on the measurement of the cement content in accordance with DIN 52170-3: 02-1980 [26] and was modified by Weimann [27] to determine the paste ratio of recycled aggregates. It delivers reliable results for recycled aggregates that do not contain limestone particles or dust, as demonstrated by investigations of model mixes comprising pure cement paste and siliceous aggregates [28].

Poon [29] investigated the influence of subsequent water addition on concrete quality. When using kiln-

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Methoden des Mischungsentwurfs auf die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Betons wurden vergleichend untersucht [22]. In Bezug auf die Zusammensetzung geht aus den Untersuchungen hervor (Tab. 1), dass die Unterschiede der Betonrezepturen, die mit den volumenbeziehungsweise massebezogenen Ansätzen berechnet wurden, nicht sehr groß sind. Wird die Zusammensetzung mit der EMR-Methode berechnet, ergibt sich bei einem Austausch von 42 Vol.-% der groben, natürlichen Gesteinskörnung durch Rezyklate ein deutlicher Unterschied.

EMR-Betone

Werden die Betoneigenschaften gegenübergestellt, die von Knaack [22] an Betonen aus vergleichbaren Mischungen ermittelt wurden, so muss konstatiert werden, dass sich die Verarbeitbarkeit der EMR-Betone mit zunehmendem Anteil an Rezyklaten drastisch verschlechtert, auch wenn mit der Zugabe von Fließmitteln gegengesteuert wird. Die Festigkeitsunterschiede bei Masse- oder Volumenaustausch sind gering. Die Festigkeiten der EMR-Betone liegen unter den Festigkeiten der Betone, die mit Rezepturen nach dem Volumen- beziehungsweise Masseansatz hergestellt wurden. Die von Fathifazl [23] hergestellten EMR-Betone zeigen bei der Festigkeit keine Veränderungen, weil bei den Zement- und Wassergehalten nur geringe Unterschiede zu den Betonen bestehen, die nach der konventionellen Mischungsrechnung zusammengesetzt waren. Beim E-Modul zeichnen sich Verbesserungen ab.

Als Fazit ergibt sich aus der Gegenüberstellung der verschiedenen Methoden für den Mischungsentwurf, dass die EMR-Methode keine überzeugenden Vorteile bringt. Die dieser Methode zugrundeliegende Überlegung, dass der alte Mörtel die Ursache für die verminderte Leistungsfähigkeit von Betonen mit rezyklierten Gesteinskörnungen ist, ist zu unscharf. Zum einen ist der alte Zementstein und nicht der Mörtel die Ursache von Veränderungen. Zum anderen ist es zielführender, nach Möglichkeiten zu suchen, Betonbruch so aufzubereiten, dass zementsteinfreie rezyklierte Gesteinskörnungen entstehen, um so Qualitätsminderungen zu vermeiden. Außerdem muss die Praktikabilität der Methode zur Bestimmung des Mörtelgehalts angezweifelt werden. Die Bestimmung des Gehalts an altem Zementstein, der aus den oben genannten Gründen zur Charakterisierung von rezyklierten Gesteinskörnungen zu bevorzugen wäre, kann durch ein selektives Löseverfahren unter Verwendung von Salzsäure erfolgen. Es lehnt sich an die Bestimmung des Zementanteils nach DIN 52170-3: 02-1980 [26] an und wurde von Weimann [27] zur Ermittlung des Zementsteinanteils von rezyklierten Gesteinskörnungen modifiziert. Für Rezyklate, die keine Kalksteinkörnungen oder -mehle enthalten, liefert dieses Verfahren zuverlässige Werte, wie Untersuchungen an Modellgemischen aus reinem Zementstein und silikatischen Gesteinskörnungen zeigen [28].

Der Einfluss der zusätzlichen Wasserzugabe auf die Betonqualität wurde von Poon untersucht [29]. Bei der Verwendung von ofengetrockneten groben Rezykla-

dried coarse recycled aggregates, this water addition improves the initial consistency compared to using water-saturated recycled aggregates. The slump loss, i.e. the continuous stiffening of the mix after water addition, is higher compared to the use of waterlogged recycled aggregates because the dried recycled aggregates absorb water from the fresh concrete mix. Poon recommends the use of recycled aggregates with an equilibrium moisture content, which achieve higher compressive strengths compared to water-saturated recycled aggregates.

The consistency of recycled-aggregate concretes can be managed by adding plasticizers in very much the same way as to concrete with natural aggregates. This usually eliminates the need for any subsequent water addition.

2.3 Influence of changes in the mixing process and of the use of admixtures on the quality of recycled-aggregate concrete

Tam [30] [31] [32] investigated several mixing process variations. The most significant increases in strength were achieved when the modified process included pre-mixing of the aggregates and their subsequent pre-wetting using a certain portion of the water required according to the mix design. Cement was added in the next step. The remaining portion of the water was added only after another mixing step. The ratio of coarse recycled aggregates amounted to a maximum of 30 m.-%.

ten bewirkt diese Wasserzugabe eine Verbesserung der Anfangskonsistenz im Vergleich zur Verwendung von wassergesättigten Rezyklaten. Der „slump loss“ – also das kontinuierliche Ansteifen nach der Wasserzugabe – ist höher als bei der Verwendung wassergesättigter Rezyklate, weil die getrockneten Rezyklate der Frischbetonmischung Wasser entziehen. Von Poon wird die Verwendung von ausgleichsfeuchten rezyklierten Gesteinskörnungen empfohlen, mit denen im Vergleich zu den wassergesättigten Rezyklaten höhere Druckfestigkeiten erreicht werden.

Die Konsistenz von Rezyklatbetonen lässt sich analog zu Betonen mit natürlichen Gesteinskörnungen durch die Verwendung von Fließmitteln steuern. In der Regel erübrigt sich dadurch eine zusätzliche Wasserzugabe.

2.3 Beeinflussung der Qualität von Rezyklatbeton durch Veränderungen des Mischungsablaufs und durch den Einsatz von Zusatzstoffen

Von Tam [30] [31] [32] wurden verschiedene Varianten des Mischungsablaufs untersucht. Die deutlichsten Festigkeitszunahmen wurden erreicht, wenn der Ablauf so modifiziert wurde, dass die Gesteinskörnungen vorge-mischt und mit einem Teil des laut Rezeptur erforderlichen Wassers vorge-nässt wurden. Dann erfolgte die Zementzugabe. Erst nach einem nochmaligen Mischen wurde das restliche Wasser zugegeben. Der Anteil an grober, rezyklierter Gesteinskörnung betrug maximal 30 Masse-%.

INTELLIGENT SOLUTIONS FOR PRECASTERS



Shuttering robot



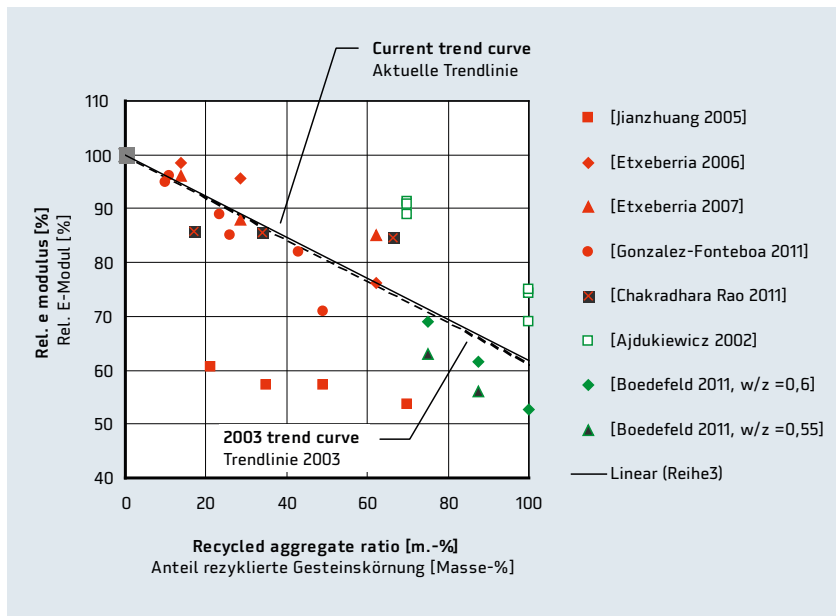
Concrete distributor

The reliable solution for the manufacture of precast concrete panels

EBAWE is your partner of choice not only for the entire project planning, development and supply of carousel plants with CAD/CAM control systems but also for single components such as shuttering robots, concrete distributors, compacting equipment and much more.

| | | |
|--|--|--|
|   | 15.04.-21.04.2013 Munich (Germany) www.bauma.de | Visit us in hall B1, stand no. 309! |
| | 24.04.-28.04.2013 Istanbul (Turkey) www.yapifuari.com | Visit us in hall 11A, stand no. 361! |





10
Dependence of compressive strength on concrete bulk density when using recycled aggregates [45]

Abhängigkeit der Druckfestigkeit von der Betonrohddichte bei Verwendung von Rezyklaten [45]

Further modifications were investigated, including the splitting of cement addition into the two stages of the mixing process or the addition of microsilica at the first stage. However, the resulting improvements were of a minor nature.

Deyu Kong [33] compared three different mixing processes:

- » a mixing process in which all components are pre-mixed in dry condition, followed by the addition of water
- » the mixing process according to Tam in which the prewetted aggregates are mixed with cement and, if required, a concrete admixture, followed by the addition of the remaining water at the end of the process
- » another mixing process in which the admixture is added prior to cement addition.

All of the coarse aggregates were replaced with recycled aggregates. Minor increases in the 28-day strengths were found in the two-stage mixing sequence compared to the single-stage process. Significant improvements were found when applying the triple mixing method.

Jiusu Li [34] investigated a mixing process that begins with a coating of the recycled aggregate in an admixture suspension (Fig. 7). In this process, all of the coarse aggregates were substituted by recycled aggregates.

Microsilica, coal fly ash and blast-furnace slag were used as admixtures. Concrete strength parameters improved significantly but decreased again when combining two admixtures in varying proportions.

Figure 8 shows a comparison of the effects of the individual mixing processes on concrete compressive strength after 28 days.

Improvements by admixtures

The most significant strength increases were found for the mixing processes in which the admixture was added first, followed by the addition of cement. Researchers are in agreement as to the reasons why this

Weitere Modifizierungen wie die Aufteilung der Zementzugabe auf die beiden Stadien der Mischungsherstellung oder die Zugabe von Mikrosilika im ersten Stadium wurden untersucht. Die erzielten Verbesserungen blieben aber gering.

Von Deyu Kong [33] wurden drei Mischungsabläufe verglichen:

- » der Mischungsablauf, bei dem alle Komponenten trocken vorgemischt werden und dann die Wasserzugabe erfolgt
- » der Mischungsablauf entsprechend Tam, bei dem die vorgewässerten Gesteinskörnungen mit Zement und gegebenenfalls einem Zusatzstoff gemischt werden und am Ende die Zugabe des restlichen Wassers erfolgt
- » ein weiterer Mischungsablauf, bei dem die Zusatzstoffzugabe vor der Zementzugabe erfolgt.

Die groben Gesteinskörnungen wurden vollständig durch Rezyklate ersetzt. Anhand der 28-Tage-Festigkeitswerte konnten geringe Verbesserungen des Zweifach- gegenüber dem Einfachmischvorgang nachgewiesen werden. Deutliche Verbesserungen traten beim Übergang zu dem in drei Teile untergliederten Mischvorgang auf.

Ein Mischungsablauf, bei dem ein Coating der rezyklierten Gesteinskörnung in einer Zusatzstoffsuspension am Anfang des Mischungsvorgangs steht (Abb. 7), wurde von Jiusu Li [34] untersucht. Dabei wurden die groben Gesteinskörnungen vollständig durch Rezyklate ersetzt.

Als Zusatzstoffe kamen Mikrosilika, Steinkohlenflugasche und Hüttensandmehl zum Einsatz. Die Festigkeitszuwächse waren beträchtlich, nahmen aber ab, wenn Mischungen aus jeweils zwei Zusatzstoffen verwendet wurden.

Eine Gegenüberstellung der Auswirkungen der verschiedenen Mischungsabläufe auf die Druckfestigkeit nach 28 Tagen ist in Abbildung 8 dargestellt.

Verbesserung durch Zusatzstoffe

Die Mischungsabläufe, bei denen zuerst der Zusatzstoff und danach der Zement zugegeben wurden, bewirkten die größten Festigkeitszuwächse. Als Begründung wird übereinstimmend angegeben, dass durch die Zusatzstoffe die Phasengrenzfläche zwischen dem Rezyklat und dem neuen Zementstein verbessert wird und dass durch den Zusatzstoff Risse im Rezyklat gefüllt werden. Ein punktueller Nachweis wird mittels elektronenmikroskopischer Untersuchungen geführt.

Bei der Zugabe von Zusatzstoffen konnten in der Regel Verbesserungen gegenüber dem Rezyklatbeton ohne Zusatzstoff nachgewiesen werden. Wenn die Zugabe zusätzlich zum Zement erfolgte, nahm die Festigkeit der Rezyklatbetone mit steigender Zugabemenge zu. Der Anstieg war aber nicht höher als bei dem Beton ohne rezyklierte Gesteinskörnungen. Erfolgte die Zugabe der Steinkohlenflugasche im Austausch gegen den Zement, trat eine Abnahme der Festigkeit auf, die bei den Rezyklatbetonen sogar höher zu sein scheint.

Bei der additiven Zugabe von Zusatzstoffen konnte bei etlichen Untersuchungen eine Zunahme der Dichtigkeit des Betons nachgewiesen werden, die auf eine Erhöhung der Packungsdichte zurückgeführt wird [35] [36] [37]. Keine der Untersuchungen war aber so angelegt,

happened: the admixtures enhanced the phase boundary between the recycled aggregate and the new cement paste whilst also filling cracks in the recycled aggregate. Electron microscopy is used to prove this behavior in specific instances.

The addition of admixtures usually resulted in improvements compared to the recycled-aggregate concrete without admixtures. When the admixtures were added in addition to the cement, the strengths of the recycled-aggregate concretes improved in line with the increase in the added amount. This increase, however, was not greater than found for concrete without recycled aggregates. The addition of coal fly ash as a cement substitute led to a decrease in strength, which appeared to be even greater for the recycled-aggregate concretes.

For the mixing-in of additional powder additives, several investigations found an increase in the density of the concrete, which is attributed to an increased packing density [35] [36] [37]. None of these tests, however, was designed to enable the identification of any particular characteristics of recycled aggregates associated with the use of reactive mineral materials as cement substitutes. The issue of whether the calcium hydroxide potentially present in the paste of the recycled aggregates is involved in pozzolanic reactions was raised but not consistently investigated.

dass mögliche Besonderheiten von Rezyklaten beim Einsatz von reaktiven Mineralstoffen im Austausch gegen Zement erkannt werden konnten. Die Fragestellung, ob das im Zementstein der Rezyklate eventuell vorhandene Ca(OH)_2 sich an pozzolanischen Reaktionen beteiligt, wurde formuliert. Ihr wurde aber nicht konsequent nachgegangen.

2.4 Mechanische Eigenschaften von Rezyklatbeton

Die Veränderungen der Druckfestigkeit, des E-Moduls und der Parameter, mit denen die Formänderungen von Betonen erfasst werden, ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Als Einflussgröße steht der Anteil der rezyklierten Gesteinskörnung an der insgesamt verwendeten Gesteinskörnung im Mittelpunkt. Oftmals werden nur die groben Gesteinskörnungen ausgetauscht.

Von Müller [7] wurde bereits 2003 versucht, die zahlreichen Ergebnisse zusammenzufassen und zu systematisieren. Dazu wurden die Messwerte für die Rezyklatbetone auf den jeweiligen Referenzbeton bezogen, um so den Einfluss der neuen Gesteinskörnung und des neuen Zementsteins zu eliminieren. Wird diese Auswertung mit den jetzt verfügbaren, neueren Daten wiederholt, ergibt sich das gleiche Bild. Die bezogenen Druckfestigkeiten und E-Moduli nehmen mit zunehmendem Rezyklatanteil ab, wobei die Abnahme des E-Moduls stärker als die Abnahme der Druckfestigkeit ist (Abb. 9). Die Begründung



BETOCARB®

Our Minerals Your Advantage

Innovative solutions for complex issues.

Omya is a global producer of calcium carbonate. With over 120 years experience in mineral sourcing and production Omya's knowledge of ultrafine calcium carbonate and its use in concrete applications are unparalleled. Omya's Applied Technology Services will help you to improve your performance. We understand your needs. Worldwide.



www.omya.com
info.construction@omya.com

2.4 Mechanical properties of recycled-aggregate concrete

Many investigations deal with the changes in compressive strength, elastic modulus and concrete deformation parameters. They mainly concentrate on the share of recycled aggregate in the total amount of aggregate used. In many cases, only the coarse aggregates are substituted.

As early as in 2003, Müller [7] made an attempt at summarizing and systematizing the large number of findings. For this purpose, the values measured for recycled-aggregate concretes were related to the relevant reference concrete to eliminate the influence of the new aggregate and new cement paste. We arrive at the same conclusion when repeating this analysis using the new data that has recently become available. Relative compressive strengths and elastic moduli decrease as the recycled aggregate ratio increases, with the elastic modulus decreasing more significantly than compressive strength (Fig. 9). This phenomenon occurs because the share of the old cement paste increases as more and more recycled aggregate is added. The influence of this paste varies for compressive strength and elastic modulus. When considering, for example, compressive strength (for which porosity is the most relevant influential parameter), the increased porosity resulting from the greater paste ratio is the main factor that decreases concrete strength. In contrast, the porosity and structure of the strength-enhancing calcium silicate hydrates in the cement paste are important factors with an effect on the elastic modulus, which results in a stronger influence in this regard.

Increasing variation of strength

Only a weak correlation was found between the relative compressive strength and the recycled aggregate ratio. This outcome is consistent with earlier analyses. A minor decrease in strength occurs when replacing coarse aggregates with recycled aggregates.

The trend curve for the relative elastic modulus is characterized by a significantly higher coefficient of regression. Nonetheless, some of the findings cited in the literature deviate considerably from the trend curve. Further clarification is needed in this regard. One of the likely causes is the quality of the concrete from which the recycled aggregate is produced.

The linear analysis that forms the basis for the estimated decreases in strength and elastic modulus is merely a rough approximation at least with respect to the dependence of strength on the recycled aggregate ratio. Compared to the use of fine and coarse recycled aggregates, the decrease in strength is less significant where only the coarse chippings are replaced with recycled aggregates (Fig. 10).

Furthermore, a significant increase in the variation of strength of natural-aggregate concrete is found compared to the concrete with recycled fine and coarse aggregates.

Read part II of the article in BFT International 05/2013 (May).

ist der mit zunehmendem Rezyklatanteil zunehmende Anteil an altem Zementstein, dessen Einflussstärke auf Druckfestigkeit und E-Modul unterschiedlich ist. Wird beispielsweise die Druckfestigkeit betrachtet, für welche die Porosität die wichtigste Einflussgröße ist, wirkt hauptsächlich die infolge des höheren Zementsteingehalts erhöhte Porosität festigkeitsmindernd. Dagegen stellen in Bezug auf den E-Modul die Porosität und die Struktur der festigkeitsbildenden Calciumsilikathydrate im Zementstein wichtige Einflussgrößen dar. Eine stärkere Beeinflussung ist die Folge.

Zunehmende Schwankungsbreite der Festigkeit

Übereinstimmend mit den früheren Auswertungen besteht zwischen der bezogenen Druckfestigkeit und dem Anteil der rezyklierten Gesteinskörnungen lediglich eine schwache Korrelation. Bei einem Ersatz der groben Gesteinskörnungen durch Rezyklate ist der Festigkeitsrückgang gering.

Die Trendlinie für den bezogenen E-Modul ist durch einen deutlich höheren Regressionskoeffizienten charakterisiert. Trotzdem gibt es erhebliche Abweichungen einiger Literaturdaten von der Trendlinie, die der Aufklärung bedürfen. Eine Ursache dürfte die Qualität des Betons sein, aus dem die Rezyklate hergestellt wurden.

Die den Abschätzungen zum Rückgang von Festigkeit beziehungsweise E-Modul zugrundeliegende lineare Auswertung ist zumindest für die Abhängigkeit der Festigkeit von dem Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen nur eine grobe Näherung. In dem Bereich, in dem nur die Splittkörnungen durch Rezyklate ersetzt werden, ist der Festigkeitsabfall geringer als in dem Bereich, in dem feine und grobe rezyklierte Gesteinskörnungen verwendet werden (Abb. 10).

Festzustellen ist auch eine deutliche Zunahme der Schwankungsbreite der Festigkeit vom Beton mit natürlichen Gesteinskörnungen zum Beton mit rezyklierten groben und feinen Gesteinskörnungen.

Lesen Sie Teil II des Artikels in BFT International 05/2013 (Mai).



Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller; IAB - Institute for Applied Construction Research, Weimar Born in 1946; studied construction engineering at HAB Weimar from 1964 to 1968; obtained doctorate in 1974; obtained

postdoctoral professorship and research qualification in the field of cement chemistry in 1988; 1995-2011 professor for the processing and recycling of building materials at Bauhaus University Weimar; since 2011, associate at IAB Weimar with a focus on the recycling of building materials.



Full list of References/Literature on www.bft-international.com.

Webcode BFT3N2FW

join us at
bauma
2013
Booth No. 221/320, Hall B1
April 15th to April 21st 2013

No worries.



We make it possible.

This motto has made us the technological leader in concrete block / concrete pipe machines and concrete mixing plants. If you are willing to accomplish something extraordinary, then our innovations could be the advantage you need to extend your lead over your competition.



HESS Maschinenfabrik GmbH & Co. KG
Freier-Grund-Straße 123
57299 Burbach-Wahlbach, Germany

Phone: +49 (0) 2736 4976-0
Telefax: +49 (0) 2736 4976-620
e-mail: info@hessgroup.com