

Leuchtturmprojekt aus Recyclingbeton

RECYCLINGBAUSTOFFE Wissenschaftler begleiteten den Hochbau in Ludwigshafen und untersuchten kritisch den Einsatz von RC-Beton – mit erstaunlichen Ergebnissen

Die Skepsis ist groß. Nach wie vor herrscht in Deutschland eine Art Aversion gegen die Herstellung und Anwendung von Recycling-Beton (RC-Beton) im Hochbau. Um diese Zweifel zu zerstreuen, sind vor allem Aufklärung und Projektarbeit wichtig.

Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist das Forschungsprojekt „Einsatz von Recycling-Material aus mineralischen Baustoffen als Zuschlag (Gesteinskörnung) in der Betonherstellung am Beispiel einer Wohnbebauung an der Rheinallee in Ludwigshafen“, das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wird. Das Ziel besteht darin, rezyklierte Gesteinskörnungen sinnvoll sekundär zu nutzen, also die bautechnischen Eigenschaften der RC-Gesteinskörnungen optimal einzusetzen. Dabei geht es v. a. um die hochwertige Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen zur Herstellung von Konstruktionsbeton.

Seit dem Jahr 2004 existieren für diesen Einsatzbereich bereits die normativen Grundlagen. Und obwohl auch die praktische Umsetzung an einigen Demonstrationsvorhaben (zum Beispiel der Bau des Verwaltungsgebäudes der DBU in Osna-brück 1994/95 und der Bau der Waldspirale/des Hundertwasserhauses in Darmstadt 1998/2000) erfolgreich erprobt wurde, hat sich die Verwendung von RC-Beton im Hausbau am Markt noch nicht etabliert.

Die Forschungsergebnisse sollen dazu beitragen, fehlende Kenntnisse, fehlende Erfah-

rungen und fehlende Nachfragen zum RC-Beton abzubauen.

Vorschriften für die Verwendung

Die Verwendung von klassifizierten RC-Gesteinskörnungen ist gemäß der DAfStb-Richtlinie (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton) „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100“ bis zur Druckfestigkeitsklasse C 30/37 möglich. Für Bauteile aus Spannbeton und Leichtbeton sind RC-Betone nicht zugelassen. Der Ausschluss der Verwendung von Brechsanden < 2 Millimeter und die Begrenzung des Anteils der rezyklierten Gesteinskörnung (Tabelle 2) mit definierter Zusammensetzung, ausschließlich der Lieferkörnungen 1 und 2 (Tabelle 1), ermöglicht, RC-Beton nach den Regeln für Normalbeton zu bemessen. Je nachdem an welcher Stelle des Gebäudes der RC-Beton eingesetzt wird respektive welchen Beanspruchungen er unterliegt, beträgt die Substitution natürlicher Gesteinskörnungen maximal 45 Volumenprozent (Tabelle 2). Werden die Vorgaben der anteiligen Verwendung von RC-Gesteinskörnungen überschritten, wird für die Betonherstellung nach DIN 1045 eine Zulassung im Einzelfall erforderlich.

Gesteinsspezifische Besonderheiten

Im Rahmen der Erstprüfung (Eignungsprüfung) wurden die bautechnischen Eigenschaften und Inhaltsstoffe der eingesetzten RC-Gesteinskörnungen geprüft. Untersucht wurden

- stoffliche Zusammensetzung,
- Kornrohdichte,

Foto: Bilderbox.de



Von Angelika Mettke

Die diplomierte Bauingenieurin und promovierte Wissenschaftlerin Mettke leitet seit 2001 die Fachgruppe Bauliches Recycling am Lehrstuhl Altlasten der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.

**Tabelle 1: Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen
Klassifikationen der Liefertypen**

Liefertyp 1 Betonsplitt/Betonbrechsand; Liefertyp 2 Bauwerksplitt/Bauwerkbrechsand;
Liefertyp 3 Mauerwerksplitt/Mauerwerkbrechsand; Liefertyp 4 Mischsplitt/Mischbrechsand

Bestandteile	Zusammensetzung Massenanteil in %			
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Beton u. Gesteinskörnungen nach DIN 4226-1	≥ 90	≥ 70	≤ 20	≥ 80
Klinker, nicht porosierter Ziegel	≤ 10	≤ 30	≥ 80	
Kalksandstein			≤ 5	
Andere mineralische Bestandteile ^a	≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20
Asphalt	≤ 1	≤ 1	≤ 1	
Fremdbestandteile ^b	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 1

a Andere mineralische Bestandteile sind zum Beispiel: porosierter Ziegel, Leichtbeton, Porenbeton, haufwerksporiger Beton, Putz, Mörtel, poröse Schlacke, Bimsstein.
b Fremdbestandteile sind zum Beispiel: Glas, Keramik, NE-Metallschlacke, Stückgips, Gummi, Kunststoff, Metall, Holz, Pflanzenreste, Papier, sonstige Stoffe.

Quelle: DIN 4226-100:2002-02

- Wasseraufnahmen,
- Kornform,
- Korngrößenverteilung,
- Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR),
- Umweltverträglichkeit.

Das Resultat zeigt, dass alle normativen Vorgaben bestens erfüllt werden.

Exemplarisch sollen die Ergebnisse der stofflichen Zusammensetzung und AKR-Untersuchungen skizziert werden. Die Herstellung der Liefertypen 1 und 2 beziehungsweise RC-Gesteinskörnungen in einer bestimmten Zusammensetzung und Körnungsgröße erfordert bestimmte Voraussetzungen, die an das Input und dessen Aufbereitung gestellt werden. Um qualitativ hochwertige Gesteinskörnungen produzieren zu können, müssen mehrere Voraussetzungen gegeben sein: ein selektiver Abbruch der verschiedenen verbauten Materialien (Betonabbruchmassen), deren Getrennhaltung auf der Baustelle, eine organisierte Anlieferung und Annahme sowie deren getrennte Lagerung und Aufgabe in die Brecheranlage. Denn trotz technischer Möglichkeiten ist eine Materialtrennung in Bauschuttzubereitungsanlagen von nicht sortenrein aufgegebenen mineralischen Materialien nur begrenzt leistbar.

Alle diese Voraussetzungen erfüllt die Bauschuttzuberei-

tungsanlage Scherer und Kohl. Die Betonabbruchmassen werden in der stationären Bauschutt-Recycling-Anlage im zweistufigen Brechvorgang zerkleinert und anschließend gewaschen. Dies wirkt sich besonders günstig auf die Kornform, Kornverteilung und auf die Eliminierung von Störstoffen aus. Durch den Wasch-

vorgang wird auch der anhaftende Staub an den Gesteinskörnungen entfernt. Unter diesen Voraussetzungen wird die Herstellung der „Königsklasse“ der RC-Gesteinskörnungen, Liefertyp 1, mit kubischer Kornform sichergestellt. Betonbauwerke müssen über die gesamte Lebensdauer dauerhaft und standsicher sein. Neben der Lastabtragung und etwaigen physikalischen und chemischen Beanspruchungen sind grundsätzlich Unverträglichkeiten zwischen den Betonausgangsstoffen auszuschließen. Um Treiberscheinungen von Beton durch das Auftreten von schädigender Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) zu ver-

hindern, muss nach AKR-Richtlinie jede rezyklierte Gesteinskörnung, die in Betonen nach DIN 1045 verwendet wird, auf alkaliempfindliche Bestandteile beurteilt werden.

Für eine kurzfristige Beurteilung wurde das Schnellprüfverfahren gemäß der AKR-Richtlinie angewendet. Damit wird geprüft, ob sich eine Einstufung in die Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S (unbedenklich hinsichtlich Alkaliempfindlichkeit durch Gesteinskörnungen) ergibt. Untersucht wurde die RC-Gesteinskörnung 8/16.

An Mörtelprismen, die nach definierten Stoffparametern hergestellt wurden (Punkt 5.2.3 AKR-Richtlinie), ist die Dehnung bis zum dreizehnten Tag entsprechend der Vorgaben gemessen worden. Die Prüfprismen waren in dieser Zeit spezifischen Lagerungsbedingungen ausgesetzt – unter anderem in entionisiertem Wasser bei 80°C. Das Ergebnis zeigt, dass der für den Mörtelschnelltest angegebene Grenzwert für die Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S von $\epsilon \leq 1,0$ mm/m (bei einer max. 10-prozentigen Abweichung der Einzelmesswerte vom gemessenen Mittelwert $\epsilon = 1,04$ mm/m) eingehalten wurde. Visuell wurden keine Veränderungen wie Rissbildung festgestellt. Anschlussprüfungen waren somit nicht erforderlich.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung der Gesteinskörnungen 2/8 und 8/16 belegen, dass alle vorgegebenen Höchstwerte der Inhaltsstoffe eingehalten beziehungsweise

Tabelle 2: Zulässige Substitution natürlicher Gesteinskörnungen durch rezyklierte Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton

	Anwendungsbereich		Gesteinskörnungstyp 1 nach DIN 4226-100	Gesteinskörnungstyp 2 nach DIN 4226-100
	Alkali-richtlinie ¹⁾	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2		
	1	2	3	4
1	WO (trocken)	Carbonatisierung XC1	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
2		kein Korrosionsrisiko X0 Carbonatisierung XC1 bis XC4		
3	WF ¹⁾ (feucht)	Frost ohne Taumittleinwirkung XF1 ¹⁾ und XF3 ¹⁾ und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
4		chemischer Widerstand (XA1)	≤ 25 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%

1) zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4)

Quelle: DAStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100



weit unterschritten werden. Die geringfügig erhöhten Parameter der elektrischen Leitfähigkeit wie auch der pH-Wert der Gesteinskörnung 2/8 stellen kein Ausschlusskriterium nach DIN 4226-100 dar. Damit bestehen keine Bedenken, die untersuchten Gesteinskörnungen im Beton einzusetzen.

Entwickelte RC-Betonrezepturen

Im Vorfeld des Pilotprojektes wurden durch die Fa. TBS acht Betonrezepturen der Festigkeitsklassen C8/10 bis C35/45 entwickelt. Die Zementmenge variiert in Abhängigkeit der Festigkeitsklasse von 155 kg/m³ bis 360 kg/m³. Bei dem im Pilotvorhaben verarbeiteten Beton C30/37 sind 360 kg/m³ Zement eingesetzt. Verwendet wurden die Zemente CEM II/B-V 42,5R, CEM IV/B-V 32,5R und CEM II/B-V 52,5R.

Im Vergleich zum Normalbeton unterscheidet sich der RC-Beton in seiner Zusammensetzung nur hinsichtlich der anteiligen Substitution natürlicher Gesteinskörnungen durch RC-Gesteinskörnungen.

Frisch- und Festbetoneigenschaften

Eine wesentliche Eigenschaft von Frischbeton ist die Konsistenz als Maß für die Verarbeitbarkeit. Die Verarbeitbarkeit ergibt sich aus dem Fließvermögen, der Verform-

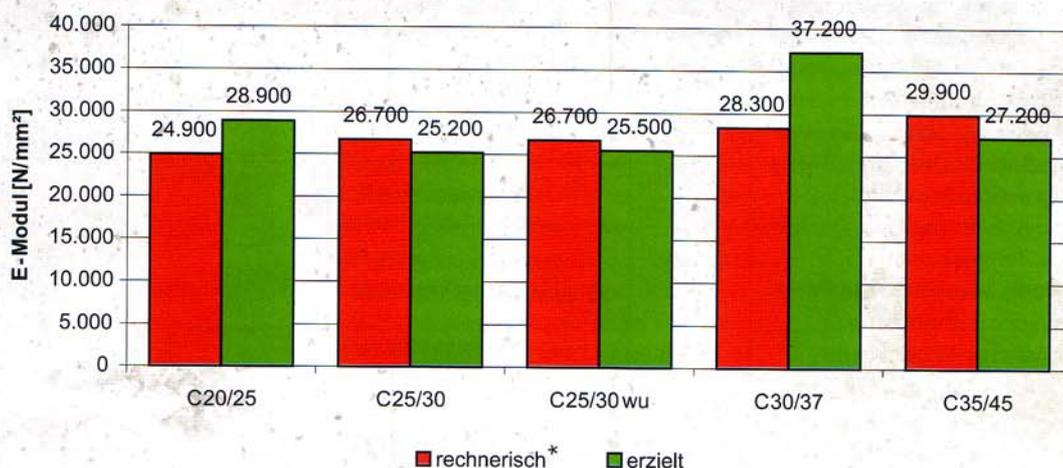
und Verdichtbarkeit. Die Ermittlung der Konsistenz wird vorzugsweise mittels Ausbreitmaß oder für steifere Mischungen (C1) durch das Verdichtungsmaß bestimmt. Die Zielkonsistenz für F3 (weich) – wie im Projekt gefordert – liegt zwischen 420 mm und 480 mm, für C1 (steif) ≤ 340 mm. Die ermittelten Werte aller entwickelten RC-Betone liegen im oberen Bereich der Zielkonsistenz. Die hervorragende Verarbeitbarkeit des eingesetzten C30/37 im Haus 3 ist nachweislich. Zusätzlich wurden die Parameter Temperatur (Luft/Beton), Frischbetonrohddichte und Entmischungsneigung geprüft – auch hier wurden alle Zielwerte erreicht. Der RC-Beton besitzt also eine ausgezeichnete Homogenität. Geschnittene Prüfkörper belegen dies. Die hervorragende Qualität des RC-Betons ergibt sich aus seiner Zusammensetzung, Konsistenz und dem Einbauvorgang.

Die Prüfungen zur Betondruckfestigkeit zeigen, dass alle Rezepturen mit hoher Sicherheit die jeweilige Festigkeitsklasse erreichen. Ab der Festigkeitsklasse C20/25 liegen die ermittelten Festigkeiten mindestens eine Betonfestigkeitsklasse höher. Die Rezeptur C12/15 (C1) liegt dabei deutlich über den Anforderungen. Folglich kann hier der Zementanteil deutlich verringert werden. Alle Rezepturen weisen eine schnelle Festigkeitsentwicklung auf, was einem schnellen Baufortschritt zu Gute kommt.

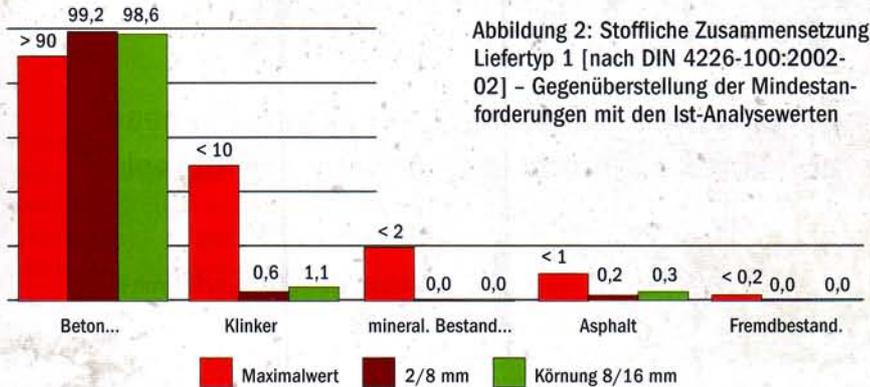
Auch die Parameter Biegezugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Wasserundurchlässigkeit und das Schwindverhalten am Festbeton wurden untersucht. Auch hier sind alle Vorgaben/Zielwerte erreicht worden. Die ermittelten Werte der Elastizitätsmoduli liegen im Toleranzbereich von Normalbeton (Abbildung 1). Die Biegezugfestigkeitswerte liegen minimal unter den aus der Druckfestigkeit abgeleiteten Werten für Normalbeton nach DIN 1045-2. Zwar wird im Pilotvorhaben Haus 3 die Wasserundurchlässigkeit (WU) des Betons nicht verlangt, aber für verallgemeinerungsfähige Aussagen über den Charakter des RC-Betons ist dies ein praxisrelevantes Kriterium, da WU-Konstruktionen den Durchtritt von Wasser verhindern. Untersucht wurden die RC-Betonrezepturen C20/25 wu und C30/37. Die maximal gemessenen Wassereindringtiefen bei C20/25 wu betragen 25 und 27 mm und weisen einen gleichmäßigen Verlauf auf. Lediglich an einem Prüfkörper wurden an einer Spitze 40 mm gemessen. Dieses Ergebnis wird bei Betrachtung aller Prüfkörper als Ausreißer gewertet.

Die Messergebnisse belegen, dass die untersuchten RC-Betone C25/30 wu und C30/37 einen hohen Wasserwiderstand aufweisen. Dieses Ergebnis überrascht nicht, denn die gestellten Anforderungen an die Herstellung von WU-Bauwerken werden

Abbildung 1: Ergebnisse der Untersuchungen zum Elastizitätsmodul



* aus f_{ck} für Normalbeton nach DIN 1045-1:2008-08, Tab. 9



Quelle: BTU Cottbus

schon allein durch die Sicherstellung der Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30, dem Mindestzementgehalt von 280 kg/m³ sowie durch den w/z-Wert $\leq 0,60$ erreicht.

Zusammenfassend lässt sich anhand der Untersuchungsergebnisse feststellen, dass die Anforderungen der untersuchten RC-Betone erfüllt wurden: Prüfungen der Konsistenz (Frischbeton), Rohdichte (Frisch-/ Festbeton), Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Wasserdurchlässigkeit und Schwinden. Die untersuchten RC-Betone erfüllen alle Anforderungen der DIN EN 206:2001-07, DIN 1045-2:2008-08 und der DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 4226-100“, Ausg. Dez. 2004. Ein weiteres erfreuliches Ergebnis: Während der Baumaßnahme wurde festgestellt, dass mit dem verbauten RC-Beton C30/37 Sichtbetonqualitäten erreicht werden.

Fazit des Projekts

Die untersuchten im zweistufigen Vorgang gebrochenen, gewaschenen RC-Gesteinskörnungen weisen hervorragende, definierte bautechnische Eigenschaften auf und sind umweltverträglich. Die Qualität der RC-Gesteinskörnungen (Output) der Lieferkörungstypen 1 und 2 wird wesentlich durch die Sortenreinheit des angelieferten Betonschutts (Input) bestimmt.

Sichergestellt wird dies durch drei Aspekte: einen selektiven Rückbau der Rohbaukonstruktion nach vorheriger ordnungsgemäßer Entkernung, der Getrennthaltung der verschiedenen Baustoffmaterialien sowie der qualitativen Überwachung der RC-Anlage und der RC-Gesteinskörnung (Eigen- und Fremdüberwachung).

Die Qualität der untersuchten RC-Betone ist mit Normalbetonen vergleichbar. Her-

vorzuheben ist die ausgezeichnete Verarbeitbarkeit des Frischbetons. Die Erreichbarkeit einer Sichtbetonqualität ist beeindruckend.

Die Herstellungskosten von RC-Betonen gegenüber Normalbeton sind vergleichbar. Im „Leuchtturmprojekt“ konnten die Kosten um 5 Prozent im Vergleich zum Normalbeton verringert werden aufgrund der kurzen Transportwege der Gesteinskörnungen zum Betonwerk und des Betons zur Baustelle (Frachtkostenreduzierung).

Die Chancen für den RC-Beton stehen gut, denn die Untersuchungen ergaben, dass nichts gegen eine Anwendung von RC-Beton im Hochbau spricht. Zunehmend werden Betonbauten der 1950er, -60er und -70er Baujahre von Rückbau-/Abbruchmaßnahmen erfasst werden. Dadurch wird sich schon in naher Zukunft der Anteil an Betonbruch im Bauschutt deutlich erhöhen.

Die Projektbeteiligten haben mit der Baumaßnahme dazu beigetragen, Transparenz zu schaffen und die Akzeptanz für die Anwendung von RC-Beton zu erhöhen. Bleibt nur noch zu wünschen, dass viele Bauherren nunmehr inspiriert sind, unvoreingenommen mit RC-Beton zu bauen. Die öffentliche Hand könnte Vorreiter sein, indem sich neutral ausgeschriebene Baustoffe in Leistungsbeschreibungen wiederfinden. □ *Angelika Mettke*

Auf einen Blick: Das Pilot-/Bauprojekt „Haus 3“

- Bauherr: GAG Ludwigshafen am Rhein, AG für Wohnungs-, Gewerbe- und Städtebau
- Planer: seepe und hund, freie Architekten Ludwigshafen; Jourdan & Müller, Projektgruppe Architektur und Städtebau, Frankfurt/M.; Bollinger & Grohmann, Frankfurt/M.
- Bauausführung: weisenburger bau GmbH, Rastatt
- Bauzeit: 22.09.2009 - Ende Dezember 2009
- Betonmenge: ~ 500 m³ RC-Beton (Transportbeton)
- Geforderte Betoneigenschaften: Druckfestigkeitsklasse C30/37
Expositionsklasse XC 1 (Umgebung trocken)
Feuchtigkeitsklasse WO (trocken)
Konsistenzklasse F3 (Konsistenzbereich weich)
- Einbauort im Gebäude: alle aufgehenden Bauwerksteile ab OK Kellerdecke (Wände, Geschossdecken, Stützen)
- Projektpartner/Beteiligung der Industrie: Scherer & Kohl GmbH & Co. KG, Ludwigshafen, produziert und liefert die RC-Gesteinskörnung in den Körnungslinien 2/8 mm und 8/16 mm, TBS Transportbeton GmbH, Mannheim, produziert und liefert den RC-Beton C30/37
- Begleitforschung: Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (Projektleitung), Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Altlasten, Fachgruppe Bauliches Recycling



Quelle: BTU Cottbus