



Stoffkreisläufe von RC-Beton

 Informationsbroschüre für die Herstellung von Transportbeton
unter Verwendung von Gesteinskörnungen nach Typ 2



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

HERAUSGEBER

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
Baden-Württemberg
Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart
Telefon: 0711/126-0
poststelle@um.bwl.de
www.um.baden-wuerttemberg.de

AUTOREN

ifeu: Florian Knappe, Stefanie Theis
Fa. Feess: Walter Feesß, Eberhard Fritz
Fa. Krieger: Hans-Jörg Weiß, Bernhard Dziadek, Ralf Lieber

GESTALTUNG

ID-Kommunikation
S1, 1, 68161 Mannheim
E-Mail: id-kommunikation@t-online.de

BILDNACHWEIS

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
GmbH Wilckensstr. 3, D - 69120 Heidelberg

Heidelberg, Dezember 2013



ifeu –
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



INHALTSVERZEICHNIS

1	Hintergrund / Problemlage	4
2	Herstellung einer ziegelreichen Gesteinskörnung nach Liefertyp 2	6
3	Herstellung des ressourcenschonenden Betons	14
4	Was gibt es für den Bauherren zu beachten?	21
5	Einschätzung und Ausblick	22

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1	Inputhalde aus gemischtem Bauschutt mit hohen Anteilen an Mauerwerksziegeln	8
Abb. 2	Inputhalde aus reinem Altbeton	9
Abb. 3	Stangensieb als Vorsieb, insbesondere für Fremdanlieferung von Bauschutt	9
Abb. 4	Prallmühle	10
Abb. 5	Produkthalde aus gebrochenem Altbeton	10
Abb. 6	Produkthalde aus gebrochenem ziegelreichen Bauschutt	10
Abb. 7	Produkthalde RC-Gesteinskörnung für Transportbetonwerke nach Liefertyp 2	11
Abb. 8	Druckfestigkeiten in N/mm ³ nach 7 und 28 Tagen	18

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1	Vorgaben an die Zusammensetzung der Gesteinskörnungen nach den Liefertypen 1 bis 2	6
Tab. 2	Ergebnisse aus der Eignungsprüfung der Gesteinskörnung nach Liefertyp 2	7
Tab. 3	Ergebnisse aus der Eignungsprüfung einer Gesteinskörnung nach Liefertyp 2 - umweltchemische Prüfung in Anlehnung an DIN 4226-100	12
Tab. 4	Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen gemäß den Regelungen der AKR-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton	15
Tab. 5	Zulässige Anteile an rezyklierter Gesteinskörnung > 2 mm in Vol. % in Betonen gemäß der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton	16
Tab. 6	Im Rahmen des Projektes entwickelte Betonrezepturen	19
Tab. 7	Ausgewählte Ergebnisse der Erstprüfung der Betone	20

Hintergrund / Problemlage

1

In Baden-Württemberg werden kontinuierlich große Mengen an Rohstoffen zu Baustoffen verarbeitet. Die Gewinnung von mineralischen Rohstoffen über Steinbrüche oder Gruben ist mit einem erheblichen Eingriff in den Natur- und Landschaftshaushalt verbunden. Gerade in den Ballungsräumen stößt die Erweiterung bestehender Abbauflächen oder deren Neuausweisung in der Regel auf erhebliche Widerstände. Dies resultiert aus einer Vielzahl konkurrierender Flächennutzungsansprüche sowie den Bedenken der Anwohner hinsichtlich eines nicht ausreichenden Immissionsschutzes und der befürchteten Belastungen durch zusätzliche Schwertransporte im Standortumfeld. Entsprechend sind die Rohstofflagervorkommen für Gesteine nur begrenzt verfügbar und dies insbesondere in den Ballungsräumen, auf die sich seit einiger Zeit die Baustoffnachfrage konzentriert.

Nach Angaben des Statistischen Landesamtes [1] fallen in Baden-Württemberg jährlich etwa 31 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchabfälle an, wobei 9,8 Mio. Tonnen davon aus Bauschutt und Straßenaufbruch bestehen. Gelingt es, aus diesen Materialien hochwertige Baustoffe herzustellen, stellen diese Abfallmassen eine sinnvolle Ergänzung zu Primärrohstoffen dar.

Mineralische Bauabfälle aus dem Rückbau von Gebäuden lassen sich so aufbereiten, dass sie als Zuschlag für die Herstellung von Transportbeton genutzt werden können und damit in Anteilen Kies oder gebrochenen Naturstein substituieren. Beton wird aus den Hauptbestandteilen Gestein, Sand, Wasser und Zement als Bindemittel hergestellt. Bei dem Baustoff R-Beton wird ein Teil der Gesteinskörnung in der Rezeptur durch solche ersetzt, die aus der

[1]: Stat. Landesamt, 2012

Aufbereitung mineralischer Bauabfälle gewonnen wurden. Die Betone unterliegen weiterhin den gleichen Anforderungen und Regelwerken wie die konventionell hergestellten Betone. Dies gilt auch für die Systeme der Qualitätssicherung und Güteüberwachung, die etwas umfangreicher angelegt sind, um die entsprechenden Standards sicherstellen.

Erste Erfolge zur Entwicklung dieses Baustoffes R-Beton und seiner Einführung in den Markt sind gerade in Baden-Württemberg zu verzeichnen. Über das Umweltministerium wurden erste Bauvorhaben mit R-Beton angestoßen und zur umfassenden Öffentlichkeitsarbeit genutzt. Besonders hervorzuheben sind die Bauprojekte der Stadtsiedlung Heilbronn und des Bau- und Wohnungsvereins in Stuttgart. Unterstützt wurden die Bauvorhaben insbesondere von den Betonwerken der Krieger-Gruppe, die diesen ressourcenschonenden Baustoff R-Beton in vielen Rezepturen entwickelt und in ihr Lieferprogramm aufgenommen haben. Auch die Fa. Feess und weitere Bauschuttrecyclingfirmen haben die Lieferung einer Gesteinskörnung für die Transportbetonindustrie in ihr Portfolio aufgenommen.

Bisher wurde eine Gesteinskörnung eingesetzt, die ausschließlich aus der Aufbereitung von Altbeton gewonnen wurde. Die Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton ermöglicht jedoch für Betone nach DIN EN 206-1 und

DIN 145-2 auch den Einsatz einer Gesteinskörnung Typ 2 nach DIN EN 12620 [2]. Nach Typ 2 darf als Ausgangsmaterial in Anteilen auch Mauerwerksbruch verwendet werden. Dies ist ein wichtiger Schritt hin zu einer umfassenderen Verwertung der beim Rückbau von Bauwerken anfallenden Altmassen.

Im Rahmen eines vom Umweltministerium Baden-Württemberg beauftragten Forschungsprojektes galt es, Betonrezepturen zu entwickeln, die den nach den geltenden Regelungen maximal möglichen Anteil an Gesteinskörnungen aus Ziegelbruch ermöglichen, ohne Abstriche in den gewohnten Frisch- und Festbetoneigenschaften. Dies erfolgte im Betonzentrum des Projektpartners Fa. Krieger in Neckarrems [3].

Grundvoraussetzung hierfür ist die Bereitstellung einer hochwertigen Gesteinskörnung, die mit möglichst maximalen Anteilen an Ziegelsplitt die geforderten Eigenschaften erfüllt, dies auch über größere Produktmassenströme hinweg. Die Entwicklung eines Stoffstrommanagements unter Einsatz einer geeigneten Aufbereitungstechnik erfolgte durch die Fa. Feess am Standort Kirchheim/Teck.

[2]: DAfStb, 2010; [3]: Krieger, 2013

Herstellung einer ziegelreichen Gesteinskörnung nach Liefertyp 2

2

DIE BAUTECHNISCHEN ANFORDERUNGEN NACH DEM REGELWERK

Die Anforderungen an die Gesteinskörnung und ihre Zusammensetzung sind über die DIN EN 12620:2008-07, Abschnitt 5.8 [2] geregelt. Danach darf der Anteil an Mauerwerksklinker, nicht porosiertem Ziegel oder Kalksandstein

30 M% nicht übersteigen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass der Anteil an Gesteinskörnungen oder aufbereitetem Altbeton bei mindestens 70 M% liegen muss. Für andere mineralische Anteile, Altasphalt oder Fremdbestandteile sind höchstzulässige Gehalte festgelegt.

Tab. 1: VORGABEN AN DIE ZUSAMMENSETZUNG DER GESTEINSKÖRnungen NACH DEN LIEFERTYPEN 1 BIS 2 [2]

LIEFERTYP	TYP 1	TYP 2
<i>Bestandteile [in M%]</i>		
<i>Beton und Gesteinskörnungen (Rc + Ru)</i>	≥90	≥70
<i>Klinker, nicht porosierter Ziegel (Rb)</i>	≤10	≤30
<i>Kalksandstein (Rb)</i>		
<i>andere mineralische Bestandteile (X + Rg)</i>	≤1	≤2
<i>Asphalt (Ra)</i>	≤1	≤1
<i>Fremdbestandteile (FL) (cm³/kg)</i>	≤2	≤2

[2]: DAfStb, 2010

Im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgte eine Probenahme, Analyse und Bewertung der Gesteinskörnung Typ 2 in der Korngruppe 2/16 durch das Büro Dr. Haag aus Kornwestheim im Rahmen einer Erstprüfung [4]. Die Prüfung und Bewertung der Ergebnisse erfolgte in Verbindung mit DIN 1045-2 Anhang U - Anforderungen an die Verwendung von Gesteinskörnungen, und mit der DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 12620“ [2].

Die Zusammensetzung der untersuchten Gesteinsprobe entsprach den Anforderungen

für die Lieferkörnung Typ 2. Der Anteil an Beton und Gesteinskörnung erreichte 72,8 M% und der Anteil für Mauerziegel lag mit 26,9 M% unter dem Maximalwert von 30 M%. Die Fremdbestandteile waren für den nicht-schwimmenden Anteil nicht nachweisbar und für den schwimmenden Anteil beliefen sie sich auf 0,7 Vol%. Sie lagen damit ebenfalls deutlich unter den Vorgaben.

Die wichtigsten Prüfungen zur technischen Eignung zeigen folgende Ergebnisse:

Tab. 2: ERGEBNISSE AUS DER EIGNUNGSPRÜFUNG DER GESTEINSKÖRNUNG NACH LIEFERTYP 2 [4]

		ANFORDERUNG	PRÜFERGEBNIS
<i>Kornrohddichte</i>	<i>kg/m³</i>	<i>≥2000 +/- 150</i>	<i>2220</i>
<i>Wasseraufnahme nach 10 min</i>	<i>M%</i>	<i>≤15</i>	<i>5,0</i>
<i>Frost-Tau-Widerstand</i>	<i>M%</i>	<i>≤4</i>	<i>3,9</i>
<i>Gehalt an wasserlöslichen Chlorid-Ionen</i>	<i>M%</i>	<i>≤0,04</i>	<i>0,0017</i>
<i>Gehalt an säurelöslichen Chlorid-Ionen</i>	<i>M%</i>	<i>≤0,04</i>	<i>0,014</i>
<i>Säurelösliches Sulfat</i>	<i>M%</i>	<i>AS_{0,8}</i>	<i>0,29</i>
<i>Wasserlöslicher Sulfatgehalt</i>	<i>M%</i>	<i>SS_{0,2}</i>	<i>0,0214</i>
<i>Gehalt an Gesamtschwefel</i>	<i>M%</i>	<i>≤1</i>	<i>0,13</i>
<i>Gehalt an organischen Bestandteilen</i>	<i>M%</i>	<i><0,1</i>	<i>n.n.</i>

[2]: DAfStb, 2010; [4]: Haag, 2013

STRATEGIE ZUR HERSTELLUNG DER GESTEINSKÖRNUNG NACH LIEFERTYP 2

Die Herstellung dieser Gesteinskörnung erfolgt in einem Zusammenspiel aus der optimierten Rückgewinnung der Altmaterialien vor allem aus dem Rückbau von Gebäuden sowie einer auf das Produktionsziel ausgerichteten Aufbereitungsstrategie. Der Rückbau der Gebäude muss möglichst selektiv erfolgen, so dass der Anteil der mineralischen und nicht-mineralischen Fremdbestandteile und Störstoffe bereits im Anlageninput möglichst gering ist. Eine Abtrennung dieser Materialien in der eigentlichen Bauschuttaufbereitung ist mit hohem Aufwand und oft unzureichendem Erfolg verbunden.

In aller Regel gelangen in die einzelnen Aufbereitungsanlagen Bauabfallmassen aus unterschiedlichsten Bauvorhaben. In diesen Fällen ist es wichtig, die Homogenität und Eignung der mineralischen Bauabfälle über eine entsprechende Preisgestaltung positiv zu beeinflussen und dieses Inputmaterial ggf. zunächst getrennt zu halten. Vor allem bei diesem Material ist eine erste Aufbereitung über ein Vorsieb notwendig.

Idealerweise werden auch bereits ab der Rückbaubaustelle die Massen bereits in homogene Stoffströme aufgeteilt. Dies bedeutet vor allem eine Auftrennung in Altbeton und gemischtem Mauerwerksbruch, der bei Abbruchmaßnahmen gewonnen wird, bei denen sich eine Getrennhaltung der Altbetone nicht lohnt. Mauerwerksabbruch enthält demnach in größerem Umfang auch Betonanteile. Der Mauerwerksabbruch sollte aber möglichst frei von bspw. Leichtbaustoffen sein.

Abb. 1: INPUTHALDE AUS GEMISCHTEM BAUSCHUTT MIT HOHEN ANTEILEN AN MAUERWERKSZIEGELN



Abb. 2: INPUTHALDE AUS REINEM ALTBETON

Um im Ansatz definierte reproduzierbare Mischungen nach Liefertyp 2 sicherzustellen, bedarf es einer getrennten Aufbereitung der beiden Stoffströme Altbeton und Mauerwerksbruch.

Im ersten Aufbereitungsschritt werden über das Vorsieb aus dem Mauerwerksmaterial Böden, Putze und andere Materialien abgetrennt, die

hinsichtlich der bauphysikalischen Eigenschaften problematisch sind und im Rahmen umwelttechnischer Aspekte zu höheren Belastungen führen. Dies kann entweder durch die Beschickung der Brecher mittels Siebschaufeln erfolgen oder durch stationäre Vorsiebe, die bspw. als Stangensieb ausgebildet sein können. Bezogen auf den Anteil Mauerwerksbruch im Input werden an dieser Stelle etwa 30 M% ausgeschleust.

Im zweiten Schritt erfolgt das Brechen der Materialien. Oft werden hierfür Prallmühlen eingesetzt. Dieser Aufbereitungsschritt dient nicht nur der Zerkleinerung der Abbruchmassen. Bei Altbeton soll über das Zerkleinern gerade der Zementstein aus der Körnung entfernt werden. Bei Mauerwerksabbruch muss der Wandputz abgetrennt werden. Über Prallmühlen wird zudem ein möglichst kubisches Korn erzeugt, das für die weitere Verarbeitung günstige Eigenschaften aufweist.

**Abb. 3:
STANGENSIEB ALS
VORSIEB,
INSBESONDERE FÜR
FREMDANLIEFERUNGEN
VON BAUSCHUTT**



Abb. 4: PRALLMÜHLE



Für den Einsatz im R-Beton muss die RC-Gesteinskörnung > 2 mm sein. Deshalb muss nach dieser Zerkleinerung zwingend eine Abtrennung der Feinfraktion bzw. des Brechsandes erfolgen.

Nach diesem Aufbereitungsschritt aus Brechen, Sieben und Klassieren der Ausgangsmaterialien Altbeton und Altbauwerk liegen demnach zwei Zwischenprodukte vor, die zu einer Gesteinskörnung nach Typ 2 zusammengeführt werden können.

Nur über eine derart getrennte Aufbereitung der beiden Teilströme ist es nach Einschätzung der Projektbeteiligten möglich, eine Gesteinskörnung herzustellen, die auch über große Massenströme eine tendenziell gleiche Zusammensetzung aufweist, um damit im Ansatz gleichbleibende Eigenschaften und zugleich den zulässigen Anteil Ziegelmauerwerk von 30 M% auch möglichst vollständig ausschöpfen zu können. Entsprechend hohe Bedeutung hat demnach der Mischvorgang aus diesen beiden Komponenten.

Die Herstellung einer Gesteinskörnungsmischung nach Liefertyp 2 setzt voraus, dass die Zusammensetzung der beiden Teilprodukte

Abb. 5: PRODUKTHALDE AUS GEBROCHENEM ALTBETON

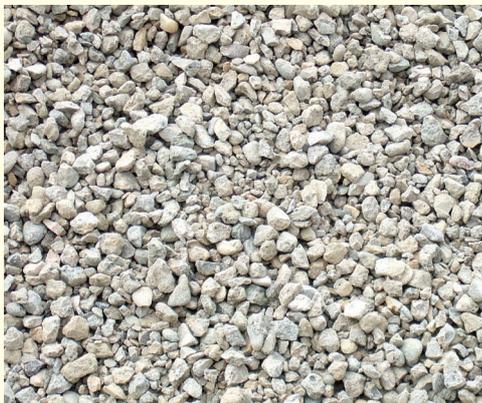


Abb. 6: PRODUKTHALDE AUS GEBROCHENEM ZIEGELREICHEN BAUSCHUTT



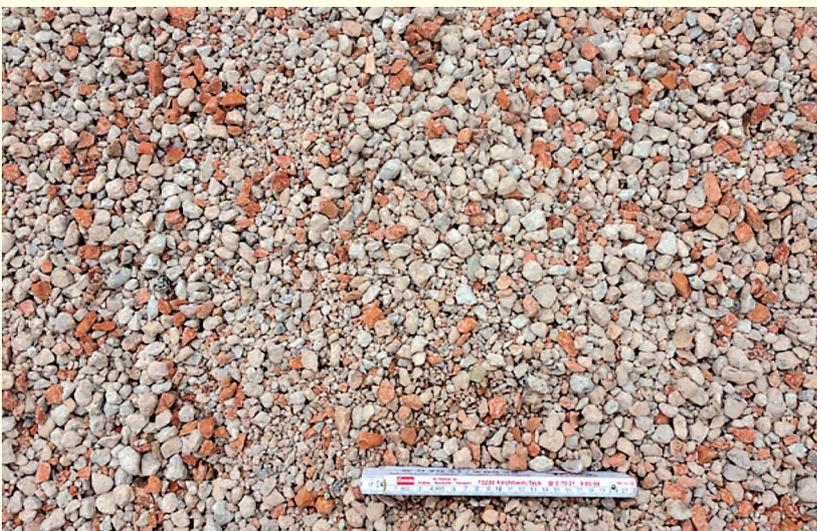
bekannt ist. Der Mischungsanteil des Teilproduktes „aufbereitetes Ziegelmauerwerk“ ergibt sich aus dem tatsächlichen Ziegelanteil. Dieser dürfte in der Regel bei etwa 50 M% liegen und muss aber entsprechend vorab analysiert werden. Für den Teilstrom Altbeton kann hierauf verzichtet werden, da aufbereitungsbedingt sich der Ziegelanteil in der Praxis gegen 0 M% bewegt. Beprobungen und Analysen der Haufwerke sind

sicherlich nur anfangs notwendig. In der Praxis werden sich Erfahrungswerte einspielen, die mit einem optischen Eindruck korrelieren.

Aus diesen Randbedingungen ergibt sich, dass die Mischung grundsätzlich am einfachsten und sichersten über die Dosiereinrichtungen in der Beschickung der Betonmischer, d.h. erst im Betonwerk erfolgt. Die Dosiereinrichtungen müssen in der Lage sein, aus den verschiedenen Komponenten einer Betonrezeptur eine genaue Mischung herzustellen. Die Silokapazitäten von Betonwerken sind jedoch oftmals sehr begrenzt und aufgrund räumlicher Gegebenheiten am Standort nicht erweiterbar. Für die RC-Gesteinskörnung lässt sich daher oft nur eine Silokammer vorhalten. Die Lagerungsmöglichkeiten sind dann günstiger, wenn Betonwerk und Hersteller der Gesteinskörnung räumlich eng verbunden sind. Ansonsten werden die Vertragsbeziehungen zwischen Bauschuttrecycler und Betonhersteller dadurch erleichtert, dass der Bauschuttrecycler ein fertiges, güteüberwachtes und zugelassenes Bauprodukt an das Betonwerk übergibt und nicht einzelne Komponenten.

Erfolgt die Herstellung der Gesteinskörnungsmischung beim Bauschuttaufbereiter, so muss dies, wie traditionell üblich, über einen Radlader erfolgen, da in der Regel keine Dosiereinrichtungen vorhanden sind. Radlader sind heute mit Wägeeinrichtungen ausgestattet, so dass auch hierüber genaue Mischungsverhältnisse hergestellt werden können. Geht man davon aus, dass der Ziegelanteil in den beiden Teilkomponenten bei 50 M% und 0 M% liegt, wäre ein Mischungsverhältnis von 1:1,6 notwendig, um im Produkt einen Anteil von 30 M% zu erreichen.

Abb. 7: PRODUKTHALDE RC-GESTEINSKÖRNUNG FÜR TRANSPORTBETONWERKE NACH LIEFERTYP 2



Der Wasseranspruch der Gesteinskörnung („Saugen“) ist eine für die Herstellung der Betonmischung wichtige Randbedingung. Das „Saugen“ sollte hier idealerweise nicht höher liegen als bei der primären Gesteinskörnung. Um dies im Ansatz sicherzustellen, sollte die Produktmischung bereits beim Hersteller, d.h. beim Bauschuttzubereiter, möglichst feucht gehalten werden.

ANFORDERUNGEN AN DIE UMWELTECHNISCHE EIGNUNG

Die bisherigen Regelungen für die Herstellung von Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100

wurden in die DIN EN 12620 überführt. Die DIN EN 12620 unterscheidet nicht zwischen Gesteinskörnungen aus primärem oder sekundärem Ausgangsmaterial, sondern beschreibt nur Anforderungen an die bautechnischen bzw. bauphysikalischen Eigenschaften. Da die DIN EN 12620 im Gegensatz zur DIN 4226-100 keine Vorgaben zu umwelttechnischen Anforderungen enthält, ist in Deutschland derzeit eine Regelungslücke entstanden. Entsprechende weitere Regelungen zu umwelttechnischen Anforderungen werden den einzelnen Mitgliedsländern überlassen. Diese Regelungen erfolgten in Deutschland bisher nicht.

Tab. 3: ERGEBNISSE AUS DER EIGNUNGSPRÜFUNG EINER GESTEINSKÖRNUNG NACH LIEFERTYP 2 – UMWELTCHEMISCHE PRÜFUNG IN ANLEHNUNG AN DIN 4226-100 [4]

Feststoff		HÖCHSTWERT	PRÜFERGEBNIS
Kohlenwasserstoffe (C ₁₀ -C ₄₀)	mg/kg	1000	<50
PAK nach EPA	mg/kg	75	0,153
EOX	mg/kg	10	<0,5
PCB	mg/kg	1	<0,005
Eluat			
pH-Wert (kein Ausschlusskriterium)		12,5	11,09
Elektrische Leitfähigkeit (kein Ausschlusskriterium)	µS/cm	3000	515
Chlorid	mg/l	150	1,36
Sulfat	mg/l	600	85,7
Arsen	µg/l	50	<1
Blei	µg/l	100	1
Cadmium	µg/l	5	<0,1
Chrom gesamt	µg/l	100	7
Kupfer	µg/l	200	3
Nickel	µg/l	100	2
Quecksilber	µg/l	2	<0,1
Zink	µg/l	400	5
Phenolindex	µg/l	100	<10

[4]: Haag, 2013

Nach derzeitigem Kenntnisstand kann angenommen werden, dass sich die Prüfung auf umwelttechnische Eignung auch weiterhin an den Vorgaben der DIN 4226-100 bzw. LAGA M20 Zuordnungswerte Z2 orientieren wird. Mit LAGA Z2 werden die Werte benannt, die maximal zugelassen werden, wenn der RC-Baustoff ungebunden in technischen Bauwerken eingesetzt wird. Legt man dies als Richtschnur für den Einsatz im gebundenen Bereich fest, sind negative Umweltfolgen aus dem Beton heraus auszuschließen. Wie die Analysewerte für eine Gesteinskörnung nach Liefertyp 2 zeigen, werden die Zuordnungswerte unterschritten, nicht selten sogar um Größenordnungen.

Die derzeitige Regelungslücke hat zur Folge, dass bei einzelnen Bauvorhaben bei der obersten Baubehörde eines Bundeslandes eine Zustimmung im Einzelfall eingeholt werden muss. Für die übliche Vermarktung des Produktes RC-Gesteinskörnung an Betonwerke, bedarf es für die Übergangszeit gemäß der Bauregelliste B, Teil 1 (aktuelle Ausgabe 2013 (2)) des DIBt (Nr. 1.1.3.1, in Verbindung mit Anlage 1.1/3) einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für die Umweltverträglichkeit, die beim DIBt beantragt werden muss. Eine derartige Zulassung wird in der Regel für 5 Jahre erteilt. Diese kann jedoch verlängert werden.

Herstellung des ressourcenschonenden Betons

3

ANFORDERUNGEN AUS DEN REGELWERKEN

Nach den Vorgaben des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [2] können rezyklierte Gesteinskörnungen der Typen 1 und 2 nach DIN EN 12620 als Bestandteil einer Betonrezeptur nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 bis zu einer Druckfestigkeitsklasse C 30/37 eingesetzt werden. Je nach Betonsorte sind die in der nachfolgenden Tabelle genannten Höchstanteile zu beachten, sofern die Bauteile aus Beton nach DIN 1045-1 bemessen werden.

Die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen ist für die Herstellung von Spannbeton und Leichtbeton nicht zugelassen. Rezyklierte Gesteinskörnungen dürfen nach Alkalirichtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton bis

zur festgelegten Druckfestigkeit für Bauteile in trockener Umgebung ohne Beschränkungen eingesetzt werden. Für Bauteile in feuchter Umgebung sind besondere Anforderungen zu berücksichtigen. Da rezyklierte Gesteinskörnungen keiner unbedenklichen Alkaliempfindlichkeitsklasse zugeordnet werden können, müssen entweder entsprechende Untersuchungen durchgeführt oder vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden.

Gemäß AKR-Richtlinie [5] gelten als vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton bei Einsatz gemäß Tabelle 3-3 folgende in Tab. 4 genannten Regelungen.

[2]: DAfStb, 2010; [5]: DAfStb, 2007

**Tab. 4: VORBEUGENDE MAßNAHMEN GEGEN SCHÄDIGENDE ALKALIREAKTIONEN GEMÄß DEN
REGELUNGEN DER AKR-RICHTLINIE DES DEUTSCHEN AUSSCHUSSES FÜR STAHLBETON [5]**

		1	2	3	4	5	6
	Alkaliempfindlichkeitsklasse	Zementgehalt kg/m ³	Erforderliche Maßnahmen für die Feuchtigkeitsklasse				
			WO	WF	WA	WS	
1	E I-S	Ohne Festlegung	keine	keine	keine	Zemente nach Tab. 3-4	
2	E III-S ¹	≤ 300	keine	keine	keine	s.o.	
3		300 < z ≤ 350	keine	keine	Performance-Prüfung ² oder NA-Zement	s.o. sowie Austausch der Gesteinskörnung oder Gutachten ³	
4		z > 350	keine	Performance-Prüfung ² oder NA-Zement	Performance-Prüfung oder Austausch der Gesteinskörnung	s.o.	

1) Gilt auch für nicht beurteilte Gesteinskörnungen

2) Die Performance-Prüfung wird in einem zukünftigen Teil 4 der Richtlinie beschrieben werden. Bis auf weiteres erfolgt die Festlegung von vorbeugenden Maßnahmen auf Grundlage eines Gutachtens³

3) Für die Erstellung von Gutachten sind besonders fachkundige Personen einzuschalten

Nach der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zum Einsatz rezyklierter Gesteinskörnung [2] sind in Abhängigkeit des Liefertyps der Gesteinskörnung und der Anwendungs-

bereiche der Alkalirichtlinie sowie der Expositionsklassen unterschiedliche Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen an der gesamten Gesteinskörnung zulässig (siehe Tab. 5).

[2]: DAfStb, 2010; [5]: DAfStb, 2007

Tab. 5: ZULÄSSIGE ANTEILE AN REZYKLIRTER GESTEINSKÖRNUNG > 2 MM IN VOL. % IN BETONEN GEMÄß DER RICHTLINIE DES DEUTSCHEN AUSSCHUSSES FÜR STAHLBETON [2]

Anwendungsbereich gemäß Alkalirichtlinie DIN EN 206-1 und DIN 1045-2		Kategorie d. Gesteinskörnung	
		GK TYP 1	GK TYP 2
WO (TROCKEN)	Karbonatisierung XC1	≤45	≤35
	kein Korrosionsrisiko X0 Karbonatisierung XC1 bis XC4		
WF (FEUCHT)	Frost ohne Taumittelwirkung XF1 und XF3 ^{a)} und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤35	≤25
	chemischer Widerstand XA1	≤25	≤25

a) zusätzliche Anforderungen siehe Abschnitt 1, (3) und (4)

Unter den oben genannten Randbedingungen entspricht der R-Beton der Norm und darf grundsätzlich gleichwertig zu konventionellem Beton in den oben genannten Anwendungsbereichen und Expositionsklassen eingesetzt werden. Dies regeln die aktuellen deutschen Beton-Normen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2. Diese Normen bilden die Regeln für die Planung dauerhafter Bauwerke.

R-Betone unterliegen somit den gleichen Anforderungen wie jeder konventionelle Transportbeton. Er unterscheidet sich weder in den Frisch- noch in den Festbetoneigenschaften von einem Beton, der ausschließlich auf primäre Gesteinskörnungen als Zuschlag zurückgreift. Dies unterstreichen auch alle Erfahrungen in der Praxis.

Trotzdem müssen die Erstprüfung der Rezepturen sowie die Prüfungen im Rahmen der Produktionskontrolle gemäß der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton für

Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen gegenüber konventionellen Betonen umfangreicher erfolgen. Das Prinzip der Betonfamilien darf auf Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen nicht angewendet werden.

Im Rahmen der Produktionskontrolle des Betonherstellers sind zusätzlich zu DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 die folgenden Prüfungen durchzuführen:

- Sichtprüfung der stofflichen Zusammensetzung der rezyklierten Gesteinskörnung in jedem Lieferfahrzeug.
- In jeder Produktionswoche Ermittlung der Kornrohichte (ofentrocken) nach DIN EN 1097-6.
- In jeder Produktionswoche Ermittlung der Wasseraufnahmen nach 10 Minuten nach Anhang B dieser Richtlinie.
- Ermittlung des Wassergehalts der rezyklierten Gesteinskörnung bei Änderung der Feuchtebedingungen.

[2]: DAfStb, 2010

Im Rahmen des Festigkeitsnachweises für den Beton müssen der Luftgehalt am Frischbeton und die Frischbetonrohddichte bestimmt werden.

Für die Erstprüfung werden folgende zusätzliche Prüfungen als erforderlich angesehen:

- Die Veränderung der Konsistenz ist in Abhängigkeit von der Zeit festzustellen. Dazu wird die Konsistenz 10, 45 und 90 Minuten nach der Wasserzugabe bestimmt.
- Für eine nachträgliche Fließmitteldosierung zur Einstellung der vereinbarten Übergabekonsistenz muss eine Dosieranweisung vorliegen. Diese Dosieranweisung muss die zugebbare Fließmittelmenge in Abhängigkeit von der Erhöhung des Konsistenzmaßes, z.B. in Form einer Tabelle, enthalten. Die Dosieranweisung ist im Rahmen der erweiterten Erstprüfung zu ermitteln.
- Bei der Erstprüfung ist der Feuchtegehalt der Gesteinskörnung (Kernfeuchte und Oberflächenfeuchte) zu bestimmen und bei der Festlegung der Mischungsanteile zu berücksichtigen.

ENTWICKLUNG DER BETON-REZEPTUREN

Die Entwicklung der Rezepturen erfolgte bei Fa. Krieger in zwei Stufen. In Vorversuchen wurden erste Erfahrungen mit den Eigenschaften des ziegelreichen Materials erarbeitet mit dem Ziel, eine für die Anwendung in Betonen ideale Zusammensetzung der Gesteinskörnung zu entwickeln.

Im Rahmen dieser Vorversuche wurden die Gesteinskörnungen für den Einsatz in Betonrezepturen im Labor gemischt. Ausgangsgrößen waren Gesteinskörnungen 2/16 mm des Typs 1, d.h. aufbereiteter weitestgehend reiner Altbeton sowie Gesteinskörnungen in 2/8 mm und 8/16 mm, die aus aufbereiteten Mauerwerksziegeln hergestellt wurden. Auf dieser Basis lassen sich bei gleichbleibenden Materialeigenschaften über die gesamte Dauer der Versuche unterschiedlichste Mischungen herstellen. Die Gesteinskörnungen wurden unter anderem auf Parameter wie Kornrohddichte und Wasseraufnahmefähigkeit analysiert.

Es wurden verschiedene Sieblinien erstellt, um unterschiedliche Anteile an RC-Gesteinskörnungen mit unterschiedlichen Anteilen an Ziegelbruch in der Betonrezeptur miteinander vergleichen zu können. So wurden Versuchsreihen mit 0 M%, 15 M% und 30 M% Ziegel in der RC-Gesteinskörnung durchgeführt, wobei die Anteile an RC-Gesteinskörnungen am gesamten Zuschlag ebenfalls variiert wurden und zwar mit 25 M%, 45 M% und 100 M% RC-Gesteinskörnung.

Im Ergebnis ergeben sich zu einem Referenzbeton mit Muschelkalksplitt vergleichbare Frischbetoneigenschaften. Dies gilt insbesondere für die Verarbeitbarkeit. Aus den Versuchen wurde jedoch auch die große Bedeutung des Wasseranspruchs der Gesteinskörnungen deutlich. Insbesondere die Anteile an Ziegelschutt weisen eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit auf.

Um Abstriche in der Konsistenz und Verarbeitbarkeit infolge des Aufsaugens des Anmachwassers zu vermeiden, müssen besonders die Gesteinskörnungen mit höherem Ziegelanteil bei der Herstellung vorbewässert werden.

Aus den Ergebnissen dieser Vorversuche heraus wurde die endgültige Zusammensetzung der RC-Gesteinskörnung nach Typ 2 für das Projekt folgendermaßen festgelegt:

- 10 Ma% RC-Ziegel 2/8 mm
- 20 Ma% RC-Ziegel 8/16 mm
- 70 Ma% RC-Altbeton 2/16 mm

Da bei einer groben Gesteinskörnung die spezifische Oberfläche geringer ist, bietet es sich an, den Anteil an Ziegel-Gesteinskörnung, wenn möglich aus diesem Spektrum zu verwenden, mit positiven Auswirkungen auf den Wasseranspruch.

Abb. 8: DRUCKFESTIGKEITEN IN N/mm² NACH 7 UND 28 TAGEN [3]

	OHNE ZIEGEL	15 M % v. RC ZIEGEL	30 M % v. RC ZIEGEL
OHNE RC	33,2 / 42,0		
25 M % RC	34,2 / 40,0	34,9 / 40,2	35,9 / 43,7
45 M % RC	30,7 / 40,5	30,8 / 39,6	29,7 / 42,2
100 M % RC	30,4 / 35,6	28,1 / 34,8	27,0 / 34,1

[3]: Krieger, 2013

ERGEBNISSE DER EIGNUNGS- PRÜFUNG

Nach diesen Vorgaben erfolgte die Herstellung und Mischung der entsprechenden Gesteinskörnung bei der Fa. Feess aus dem laufenden Betrieb heraus (siehe Kapitel 2, Seite 7). Die Untersuchung ihrer Zusammensetzung und Eigenschaften zeigte ein gutes Ergebnis.

Die Rezeptur muss im Detail von jedem Betonwerk neu entwickelt werden, und ergibt sich aus den spezifischen Eigenschaften der eingesetzten Gesteinskörnungen und der anderen Rezepturbestandteile und hier insbesondere des Zementes und der verwendeten Fließmittel.

Die der Entwicklung der Betonrezeptur zugrunde liegende RC-Gesteinskörnung nach Liefertyp 2 wies einen Ziegelanteil (Rb) von 26 M% auf, bei einer Kornrohichte von 2.161 kg/m³ und einer Wasseraufnahme nach 10 Minuten von 6,1 M%. Damit wurden die Anforderungen der DAfStb-Richtlinie: Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen [2] mit > 2000 kg/m³ und < 15 M% erfüllt.

Es wurden folgende Betonrezepturen entwickelt, mit Verarbeitbarkeiten im Konsistenzbereich F 3 für die Betone C 12/15 und C 8/10 und F 3-F 4 für die Betone C 30/37 und C 25/30:

Tab. 6: IM RAHMEN DES PROJEKTES ENTWICKELTE BETONREZEPTUREN [3]

		C 30/37	C 25/30	C 20/25	C 12/15	C 8/10
		<i>XC4; XF1; XA1</i>	<i>XC4; XF1; XA1</i>	<i>XC3</i>	<i>X0</i>	<i>X0</i>
Zement	kg/m ³	360	290	260	190	180
Flugasche	kg/m ³		70	50	70	40
Kalksteinmehl	kg/m ³		20	20	30	30
Gesamtwasser	kg/m ³	172	188	180	180	176
w/z-Wert		0,48	0,59	0,64	0,84	0,9
Zusatzmittel		FM	BV/FM	BV/FM		
Zulässiger Anteil RC	Vol. M %	35 / 25 ¹	35 / 25 ¹	35	35	35

1) Max. 35M % bei XC4, max. 25M % bei XF1, XA1

Tab. 7: AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE DER ERSTPRÜFUNG DER BETONE

REZEPTUR	w/z-WERT	a10 FM	a45	a90	DRUCKFESTIGKEIT
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	(nach 7/28 Tagen) <i>N/mm²</i>
C 30/37	0,49	560	510	465	36 / 42
C 25/30 ^{a)}	0,61	565	530	490	23 / 35
C 25/30 ^{a)}	0,60	535	500	460	
C 25/30	0,60	535	500	465	
C 20/25	0,63	520	490	440	21 / 30
C 12/15	0,84	500	460	410	14 / 20
C 8/10	0,90	500	455	400	13 / 19

a) Vergleichsprüfung mit anderer RC-Gesteinskörnung

Zudem wurde für die Betone C30/37 noch die Frostbeständigkeit (DIN CEN/TS 12390-9) sowie die Frost-Tausalz-Beständigkeit (DIN CEN/TS 12390-9) geprüft. Die Prüfungen wurden an jeweils fünf Prüfkörpern durchgeführt. Die Prüfungen zur Frostbeständigkeit ergaben im Mittel eine Abwitterung von 0,076 kg/m³,

die der Frost-Tausalz-Beständigkeit ein Mittel von 1,303 kg/m³. Die Ergebnisse entsprachen damit den Anforderungen. Die abgewitterten Bestandteile kommen im Wesentlichen aus dem Muschelkalksplitt, welcher neben der RC-Gesteinskörnung verwendet wurde.

Was gibt es für den Bauherren zu beachten?

4

Nach der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton darf Beton nach den üblichen Beton-Normen DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 unter bestimmten Randbedingungen auch mit einer RC-Gesteinskörnung im Zuschlag hergestellt werden. Die Druckfestigkeitsklassen sind auf max. C 30/37 beschränkt und es dürfen keine Spann- und Leichtbetone hergestellt werden. Zudem sind diese R-Betone nur für einige Expositionsklassen zugelassen.

Die Erfahrungen in der Schweiz zeigen, dass etwa 90 M% der üblicherweise im Hochbau bei der Errichtung von Gebäuden eingesetzten Betone auch als R-Beton geliefert werden können.

Da diese Betone sowohl in den Frisch- als auch in den Festbetoneigenschaften den gleichen Regelwerken und damit Anforderungen unterliegen, sind in der Planung bzw. der Statik der Gebäude keine Anpassungen auf diesen Baustoff notwendig. In der Schweiz wird ausgehend von

der Stadt Zürich seit langer Zeit mit R-Beton gebaut. Nach derzeitigem Stand kann etwa 7 M% der Schweizer Betonnachfrage mit R-Beton gedeckt werden [6]. Hierunter befinden sich zahlreiche Gebäude mit architektonisch und statisch ambitionierten Lösungen.
(Quelle: www.rc-beton.ch)

Trotzdem sollte in der Planungsphase frühzeitig kommuniziert werden, dass bei dem geplanten Bauvorhaben möglichst R-Beton eingesetzt werden soll. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Gebäude in einer Region errichtet werden soll, in der dieser Baustoff noch nicht auf dem Markt angeboten wird. Betonhersteller benötigen wie bei jeder anderen Rezeptur, die erstmalig hergestellt werden soll, einen gewissen Vorlauf, um die möglichen Bezugsquellen der RC-Gesteinskörnung zu finden und entsprechende Betonrezepturen entwickeln zu können, die im Anschluss daran einer Eignungsprüfung zu unterziehen sind.

[6]: Hoffmann, 2013

Einschätzung und Ausblick

5

Die bisherigen Projekte und Erfahrungen in der Herstellung und dem Einsatz von ressourcenschonendem R-Beton beruhten immer auf dem Rückgriff auf eine RC-Gesteinskörnung nach Liefertyp 1. Altbetone aus dem Rückbau von Gebäuden wurden hierfür getrennt gehalten und aufbereitet. Es entsteht eine Gesteinskörnung, die zu nahezu 100 M% aus gebrochenem Altbeton oder Gesteinskörnung besteht. Idealerweise wird über die Aufbereitung der alte Zementstein entfernt und das ehemalige Zuschlagskorn wieder der Betonherstellung zugeführt.

Mit dem vorliegenden Projekt wurde für die Betonherstellung erstmals auf die Lieferkörnung nach Typ 2 zurückgegriffen. Damit ist es möglich, die Gesteinskörnung aus bis zu 30 M% Mauerwerksbruch, d.h. Mauerziegel und Klinker, herzustellen, ohne dass dies mit Abstrichen in den Eigenschaften des Produktes Beton verbunden wäre. Wie die Entwicklung der Betonrezepturen und deren Eignungsprüfung zeigte, erfüllen sowohl die

Frisch- als auch die Festbetoneigenschaften alle Anforderungen der entsprechenden Normen und Regelwerke der zugelassenen Betonsorten. Bemessungen und Auslegungen der Gebäude können gegenüber dem Einsatz von konventionellen Betonen beibehalten werden.

Etwa 90 M% der typischerweise im Hausbau eingesetzten Betonsorten lassen sich als R-Beton herstellen. Trotzdem wird sich in absehbarer Zeit über R-Beton nur ein (kleinerer) Teil der Betonnachfrage bedienen lassen. In vielen Regionen stehen derzeit keine ausreichenden Mengen an mineralischen Bauabfällen als Ausgangsmaterial zur Verfügung.

Für den Ressourcenschutz ist mit der Verwendung der Gesteinskörnung nach Liefertyp 2 ein wichtiger Erfolg verbunden. Etwa 30 bis 50 M% des Hochbauschutts besteht aus Ziegelmauerwerk, mit von Region zu Region deutlichen Unterschieden. Trotz aller bestehenden Richtlinien und Regelwerke gelingt es bislang kaum, dieses Material als Ausgangsmaterial für die

Straßenbaustoffe Frostschutzschicht (FSS) und Schottertragschicht (STS) zu verwenden. Selbst für untergeordnete Einsatzbereiche stoßen offensichtliche Anteile an Ziegelmauerwerk („rote Anteile“) im Produkt Gesteinskörnung auf Vorbehalte und fehlende Akzeptanz seitens der Bauherren, was aus technischer Sicht nicht gerechtfertigt ist. Gelingt es, dieses Material in Anteilen als Zuschlag in Betonrezepturen einzusetzen, würde ein erheblicher Anteil am Massenstrom mineralischer Bauabfall erstmalig hochwertig als Bauprodukt in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Dies ist eine zentrale Voraussetzung für die massenäquivalente Schonung primärer Rohstoffe.

Wie aufgezeigt werden konnte, ist die Produktion dieser Gesteinskörnung mit Umstellungen im Produktionsprozess und im Stoffstrommanagement eines Bauschuttrecyclers verbunden. Steht dieser Mehraufwand in Verbindung mit einer erstmaligen Vermarktung der Mauerwerksanteile in hochwertigen Produkten, so dürfte sich dieser auch ökonomisch rechnen. Dies gilt umso mehr, wenn stattdessen Ablagerungskosten anfallen würden.

Trotzdem gibt es gerade aus Sicht eines Bauschuttrecyclers weiteren Optimierungsbedarf. So ist für die Herstellung dieser Gesteinskörnung zwingend ein Vorsieb notwendig. Da nur Körnungen >2mm als Zuschlag für die Betonindustrie vermarktet werden dürfen, fällt neben dem Vorsiebmaterial auch Brechsand an, die zusammen einen erheblichen Massenanteil ausmachen können. Für dieses Material müssen Verwertungswege erst noch erschlossen werden. So wäre bspw. zu prüfen,

inwieweit der Brechsand nicht in Richtung Putze oder Mörtel vermarktet werden könnte, diesbezüglich wären entsprechende Rezepturen und Absatzwege zu entwickeln.

Der mit dem Projekt erreichte Stand kann nur einen Zwischenschritt darstellen. Wie schon entsprechende Experimente bei Fa. Krieger im Rahmen der Rezepturentwicklung ergeben haben, lassen sich für viele Betonrezepturen auch deutlich höhere Anteile an Ziegelschutt in der RC-Gesteinskörnung einsetzen, ohne dass dies mit Einbußen in den Frisch- und Festbetoneigenschaften verbunden wäre. Dies gilt auch für höhere Anteile an RC-Gesteinskörnung am Zuschlag als bislang durch die Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zugelassen ist.

Grundsätzlich werden sich die Aufbereitung des Hochbauschutts und auch die Verwertungswege für das produzierte Material in naher Zukunft deutlich ändern. Im Hochbau werden zunehmend Baustoffe eingesetzt, die aus Materialverbunden bestehen, die sich über eine Aufbereitung nicht lösen lassen. Es steht daher zu befürchten, dass zukünftig ein steigender Anteil an Bauschuttmassen als Gemisch aus mineralischem und organischem Material über Deponien oder gar thermisch entsorgt werden muss. Auch mineralische Leichtbausteine mit geringer Kornrohichte eignen sich nicht als Ausgangsmaterial für hochwertige Baustoffe. Neben dem wichtigen Aspekt der energetischen Optimierung der Gebäude dürfen Konstruktionsweise und Baustoffauswahl jedoch nicht zu Lasten der Kreislaufwirtschaft gehen und Ziele der Ressourcenschonung gefährdet werden.

Das sich momentan aus einer Regelungslücke ergebende Problem der Zulassung der Baustoffe, dürfte nur vorübergehend sein. Das Problem fehlender Regelungen für die umwelttechnische Prüfung der Gesteinskörnungen ist formaler Natur. Die Ergebnisse aus dem Projekt zeigen, dass die „umweltchemischen Belastungen“ der Gesteinskörnungen teilweise um Größenordnungen unter den bisherigen Regelwerten liegen. Die Ergebnisse aus Forschungs- und Impulsprojekten zum Thema R-Beton sind unter www.rc-beton.de dokumentiert.

LITERATUR

- [1] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Statistik Aktuell: Abfallwirtschaft in Baden-Württemberg. Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch eine nachhaltige Abfallwirtschaft, Ausgabe 2012, Stuttgart
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, Ausgabe 2010-9
- [3] Krieger Beton-Technologiezentrum GmbH, Ressourceneffizienz; Schließen von Stoffkreisläufen - Herstellung von Transportbeton unter Verwendung von Gesteinskörnungen aus aufbereitetem Mauerwerksschutt, Remseck September 2013
- [4] Institut Dr. Haag, Prüfbericht N2. 282566B-F1, Kornwestheim November 2013
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb-Richtlinie: Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie), Ausgabe 2007-2
- [6] Cathleen Hoffmann, Ressourceneffizienz im Betonrecycling - Rahmen und Möglichkeiten in der Schweiz, Vortrag auf der Tagung R13 des ABW e.V., 20. September 2013



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT