



# Leitfaden zum Einsatz von R-Beton



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



**INHALTSVERZEICHNIS**

	Vorwort	5
<b>1</b>	Der Bausektor – ein (ge)wichtiger Player in Sachen Nachhaltigkeit	<b>6</b>
<b>2</b>	Was ist R-Beton?	<b>8</b>
<b>3</b>	Wie sieht RC-Gesteinskörnung aus?	<b>10</b>
<b>4</b>	Was ist beim R-Beton zu beachten?	<b>15</b>
<b>5</b>	Ausblick - die Innvotation geht weiter	<b>18</b>
	Zusammenfassung	<b>21</b>
	Literatur	<b>22</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

<b>Abb. 1</b>	Geschlossener Materialkreislauf dank R-Beton	<b>7</b>
<b>Abb. 2</b>	Stoffbilanz R-Beton	<b>8</b>

**TABELLENVERZEICHNIS**

<b>Tab. 1</b>	Beispiel für Betonrezepturen; R-Beton im Vergleich zu Standardrezepturen	<b>9</b>
<b>Tab. 2</b>	Mindestgehalte bzw. höchstens zulässige Beimengungen in RC-Lieferkörnungen nach DIN 4226-101	<b>11</b>
<b>Tab. 3</b>	Ergebnisse aus Eignungsprüfungen von RC-Gesteinskörnungen gemessen an den Anforderungen der DIN EN 12620	<b>11</b>
<b>Tab. 4</b>	Für die Prüfung der umwelttechnischen Eignung herangezogene Höchstwerte nach Tabelle 2 der DIN 4226-101 und typische "Belastung" einer Gesteinskörnung in Liefertyp 2	<b>13</b>
<b>Tab. 5</b>	Nach der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton zugelassene Betonsorten mit Angabe der maximal zugelassenen Anteile an RC-Gesteinskörnung	<b>15</b>
<b>Tab. 6</b>	Begrenzung der Zementgehalte nach den Vorgaben der AKR-Richtlinie	<b>16</b>
<b>Tab. 7</b>	Betonrezepturen außerhalb der Regelwerke; vollständige Substitution der GK > 2 mm	<b>19</b>



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

ich freue mich, Ihnen den Leitfaden zum Einsatz von R-Beton vorlegen zu können. Er wurde vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, kurz ifeu, unter Mitwirkung einer ganzen Reihe von Expertinnen und Experten erarbeitet.

R-Beton ist ein Beton, bei dem die Gesteinskörnung teilweise durch recycelten Bauschutt ersetzt wird. Hierdurch entsteht echte Kreislaufwirtschaft, aus altem Bauwerk wird neues Bauwerk. Der Leitfaden zeigt auf, dass R-Beton ohne Qualitätseinbußen vielfältig am Bauwerk einsetzbar ist und gleichzeitig Ressourcen schont.

Der Leitfaden kommt zur richtigen Zeit. Und das in zweierlei Hinsicht: Zum einen war durch die Nichtübernahme der deutschen Umweltanforderungen in die Europäische Norm ein Regelungsvakuum entstanden, das für den Einsatz von R-Beton in der Praxis ein formales Hemmnis darstellte. Durch die Veröffentlichung der neuen DIN 4226-101/102 ist die Verwendung von R-Beton nun wieder möglich. Zum anderen ist es höchste Zeit, mehr für den Einsatz von R-Beton zu tun. Hierzu ist dieser Leitfaden ein hilfreicher Wegbereiter.



Copyright: Umweltministerium/KD Busch

Ich würde es deshalb begrüßen, wenn die Hersteller von Beton den ressourcenschonenden Baustoff R-Beton in ihr Produktsortiment aufnehmen würden. An die Bauherren und Bauherinnen der öffentlichen Hand appelliere ich, eine Vorbildfunktion für die Privatwirtschaft wahrzunehmen und bei der Ausschreibung ihrer Projekte R-Beton zu berücksichtigen. Denn ohne Nachfrage kein Markt und ohne Angebot keine Nachfrage.

Letztendlich liefert dieser Leitfaden wertvolle Anregungen zum ressourcenschonenden Bauen, zur Abfallvermeidung und Abfallverwertung.

Franz Untersteller MdL  
Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg

# Der Bausektor - ein (ge)wichtiger Player in Sachen Nachhaltigkeit

## 1

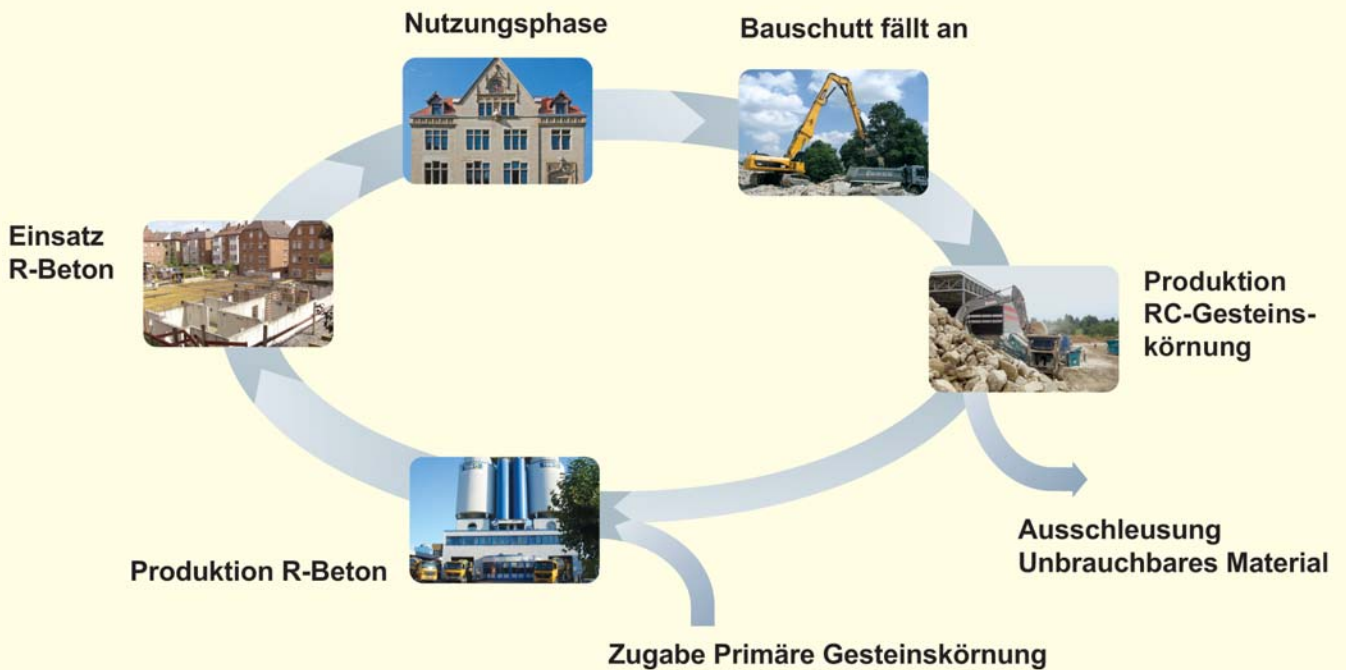
Der Bausektor zählt zu den ressourcenintensivsten Wirtschaftssektoren. Legt man EU-weite Durchschnittswerte zugrunde, entfallen auf die Bauwirtschaft rund 50 Prozent aller geförderten Rohstoffe. Dabei geht es um große Mengen mineralischer Rohstoffe wie Steine, Kies, Sand und Ton. Ihr Abbau ist mit erheblichen Eingriffen in den Natur- und Landschaftshaushalt verbunden. Jedes Jahr werden hierfür erhebliche Flächen beansprucht. Zugleich produziert der Bausektor mit großem Abstand das größte Abfallaufkommen. Nach der Abfallbilanz Baden-Württemberg für das Jahr 2014 überstieg der Anfall von Bauschutt, Straßenaufbruch und die Fraktion Boden und Steine mit 36,2 Mio. Tonnen bzw. 3.444 Kilogramm pro Einwohner und Jahr (kg/Ea) den Anfall an Abfällen aus Haushalten (Restmüll + Bioabfälle + Wertstoffe) mit 356 kg/Ea deutlich.

Durch das zunehmende Bauen im Bestand und die weitere Verlagerung der Bautätigkeit in die Ballungsräume wird einerseits das Aufkommen an Bauschutt weiter ansteigen. Andererseits wird die Aufnahmekapazität des Straßen- und Wegebau für aus Bauschutt gewonnene Baustoffe weiter abnehmen. Denn im Straßenbau werden immer weniger Neutrassierungen notwendig werden. Stattdessen wird mehr in die Instandhaltung investiert, was weniger mineralisches Baumaterial erfordert. Vor diesem Hintergrund hat die Landesregierung in der Vergangenheit

mehrere Initiativen zur Stärkung des Ressourcenschutzes und der Ressourceneffizienz u. a. im Bausektor gestartet. Verlängerung der Lebenszeit von Gebäuden durch Umnutzung statt Rückbau, Verringerung des spezifischen Materialeinsatzes bei gleichem Nutzen und gleicher Funktion ist auch angesichts der im Baumaterial steckenden grauen Energie von großer Bedeutung. Darüber hinaus muss es ein zentrales Anliegen des Umwelt- und Ressourcenschutzes sein, die mineralischen Bauabfälle als sekundäre Rohstoffe zur Herstellung hochwertiger Baustoffe zu verstehen. Dabei gilt es, die Altmaterialien entsprechend ihrer jeweiligen wertgebenden Eigenschaften hochwertig zu nutzen, um die Potenziale der Materialien ausschöpfen zu können. Nur so werden für die Summe der mineralischen Bauabfälle hohe Verwertungsraten erreichbar.

R-Beton ist eine Möglichkeit, die anfallenden Abfallmassen zumindest in Anteilen wieder in den Hochbau zurückzuführen und somit Kreisläufe zu schließen. Das Land Baden-Württemberg hat sich in den vergangenen Jahren stark engagiert, den Baustoff R-Beton bekannt zu machen und die Unternehmen in der Entwicklung von Aufbereitungsstrategien und im Produktdesign zu unterstützen. Dank dieses Engagements hat sich gerade im Südwesten Deutschlands R-Beton schon in ersten Schritten in der Baupraxis durchsetzen können. Es gibt

Abb. 1: GESCHLOSSENER MATERIALKREISLAUF DANK R-BETON



mittlerweile Betonwerke, die R-Beton standardmäßig in ihr Produktportfolio aufgenommen haben und andere, die diesen Baustoff auf Anforderung herstellen. Der jüngste Schritt lag in der Entwicklung von Betonrezepturen, die auf eine RC-Gesteinskörnung zurückgreifen, die in Anteilen aus aufbereitetem Mauerwerk besteht. Die Ergebnisse wurden in drei Fachsymposien des Umweltministeriums 2015, 2016 und 2017 vorgestellt [8], [12], [14] und in einer Broschüre [8] veröffentlicht.

Nun galt es, diese Innovation auf dem Markt bekannt zu machen. Hierzu wurde vom Umweltministerium das Demonstrationsvorhaben zur Intensivierung der Verwertung von aufbereitetem Bauschutt als Betonzuschlagstoff ausgeschrieben und an das ifeu Heidelberg vergeben. Das Vorhaben integrierte konkrete Bauvorhaben, die wissenschaftlich, vor allem jedoch über eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit begleitet wurden. Es handelte sich um Wohngebäude in Weilheim a. d. Teck und Stuttgart, ein Bürogebäude in Mannheim sowie ein Funktionsgebäude in Winnenden. Weitere Bauvorhaben sind durch

das Projekt angestoßen und realisiert worden. Die durch das Forschungsprojekt begleiteten Bauvorhaben sind in Form von Steckbriefen unter [www.rc-beton.de](http://www.rc-beton.de) dokumentiert. R-Beton wird sich vor allem dort als Baustoffalternative etablieren, wo die Verwendung einer RC-Gesteinskörnung für die Betonwerke ökonomisch vorteilhaft ist. Dies ist dann der Fall, wenn die Bezugskosten inklusive Transport günstiger als für Kies oder gebrochenes Primärgestein sind. Dies gilt vor allem für Ballungsräume, da sich Kiesgruben und Steinbrüche aufgrund der konkurrierenden Flächennutzungsansprüche nur weiter entfernt etablieren können. Auch die Bautätigkeit konzentriert sich seit Jahren auf die Ballungsräume. Die Bautätigkeit erfolgt vor allem auf bereits erschlossenen Grundstücken und dies meist verbunden mit einem Rückbau des alten Gebäudebestandes. Die Baustoffnachfrage konzentriert sich daher auf die Räume, auf die sich auch das Aufkommen an Rückbaumaterial konzentriert. Transportentfernungen werden bei dessen Wiedereinsatz kürzer werden und dies gerade im Schwerlastverkehr, der mit hohen Umweltlasten verbunden ist.

# Was ist R-Beton?

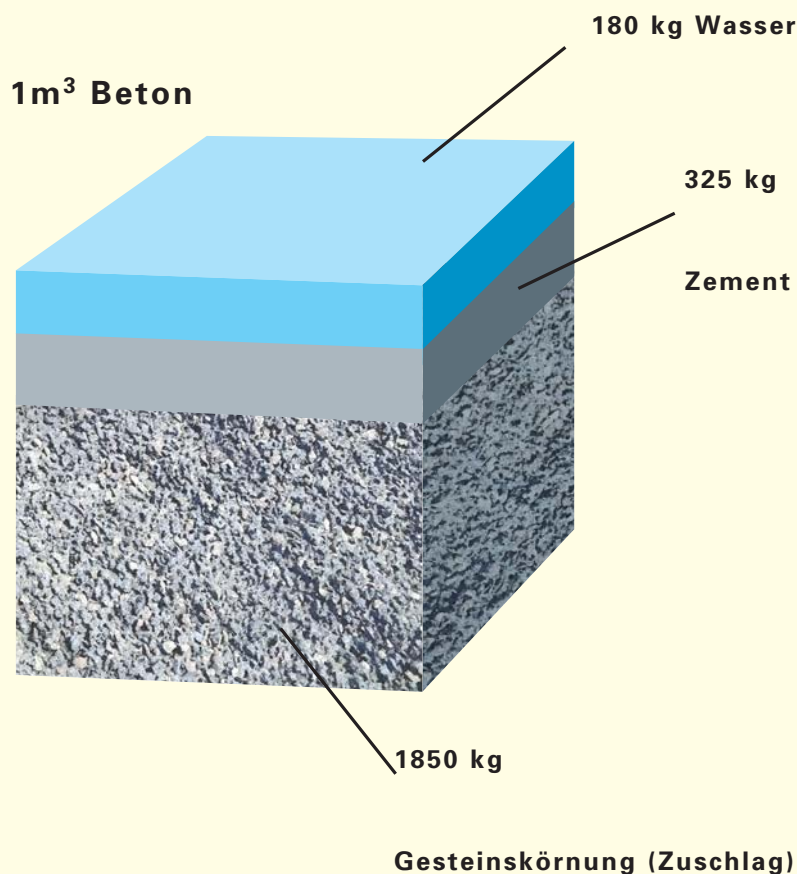
## 2

Die Rezepturbestandteile von Beton sind Gesteinskörnung (GK), Zement, Wasser, Zusatzmittel (z.B. Fließmittel) und Zusatzstoffe in je nach Betonsorte unterschiedlichen Anteilen. Bei dem Baustoff R-Beton handelt es sich um einen klassischen Beton, der in seiner Rezeptur in Anteilen auf eine Gesteinskörnung zurück-

greift, die schon ein Vorleben hatte und aus der Aufbereitung von insbesondere Bauschutt stammt. Bei einem R-Beton wird die Rezeptur im Wesentlichen nur an zwei Stellen verändert. Ein Teil der Gesteinskörnung ist RC-Gestein und es werden spezielle Fließmittel eingesetzt. Die Zementgehalte und hier insbesondere der Anteil Portlandzemente sollten sich nicht erhöhen, da deren Herstellung mit einer hohen Umweltlast (klimaschädliche Emissionen) verbunden ist. Typischerweise sieht eine Betonrezeptur wie in Abbildung 2 dargestellt aus: Ein Kubikmeter ausgehärteter Festbeton wiegt etwa 2.500 kg und enthält zwischen 1.800 kg und 2.000 kg Gesteinskörnung, bis zu 350 kg Zement und 150 kg bis 200 kg Wasser. Die 1.800 bis 2.000 kg Gesteinskörnung können bis zu 25 % bzw. 45 % durch RC-Gestein ersetzt werden (vgl. Tabelle 5).

Wie den nachfolgenden Rezepturen aus einem konkreten Bauvorhaben in Weilheim entnommen werden kann, sind diese Vorgaben in der Praxis umsetzbar. Der R-Beton mit dem Größtkorn 22 mm enthielt 566 kg RC-Gestein von insgesamt 1.734 kg Gesteinskörnung (= 33 %), der R-Beton mit dem Größtkorn 16 mm enthielt 547 kg RC-Gestein von insgesamt 1.686 kg (= 34 %).

Abb. 2: STOFFBILANZ R-BETON





**Tab. 1: BEISPIEL FÜR BETONREZEPTUREN; R-BETON  
IM VERGLEICH ZU STANDARDREZEPTUREN [5]**

	C20/25 XC3 F3 GK 22 mm		C20/25 XC3 F3 GK 16 mm	
	STANDBETON	RC-BETON	STANDBETON	RC-BETON
Zement	265 kg/m <sup>3</sup>	265 kg/m <sup>3</sup>	285 kg/m <sup>3</sup>	285 kg/m <sup>3</sup>
Flugasche	60 kg/m <sup>3</sup>	60 kg/m <sup>3</sup>	60 kg/m <sup>3</sup>	60 kg/m <sup>3</sup>
BV/FM	0,5 %/-	0,5 %/-	0,5 %/-	0,5 %/-
Stand 0/2	633 kg/m <sup>3</sup>	580 kg/m <sup>3</sup>	676 kg/m <sup>3</sup>	578 kg/m <sup>3</sup>
Kies 2/8	265 kg/m <sup>3</sup>	-	407 kg/m <sup>3</sup>	319 kg/m <sup>3</sup>
Splitt 8/16	476 kg/m <sup>3</sup>	-	736 kg/m <sup>3</sup>	242 kg/m <sup>3</sup>
Splitt 16/22	476 kg/m <sup>3</sup>	588 kg/m <sup>3</sup>	-	-
<b>RC-Splitt 2/16</b>	-	<b>566 kg/m<sup>3</sup></b>	-	<b>547 kg/m<sup>3</sup></b>
Wasser	180 kg/m <sup>3</sup>	176 kg/m <sup>3</sup>	189 kg/m <sup>3</sup>	186 kg/m <sup>3</sup>



stationäre Bauschutttaufbereitung

# Wie sieht RC-Gesteinskörnung aus?

## 3

Der Rückbau eines Gebäudes erfolgt im Zusammenspiel von dessen Entkernung und dem Abbruch des eigentlichen Baukörpers. Über die Entkernung werden dem Gebäude die Materialien aus dem Innenausbau entnommen. Die so anfallenden Bauabfälle werden nach Metallen, Holz, Kunststoffen, Gipsbaustoffen und anderen Materialien aufgetrennt und entsorgt, d.h. in der Regel stofflich oder energetisch verwertet. Im Idealfall sollte die Entkernung so umfassend erfolgen, dass nur der ursprüngliche Rohbau zum Abbruch verbleibt. Der danach anfallende Bauschutt ist weitgehend frei von Fremdstoffen und weist eine gute Ausgangsqualität für ein hochwertiges Recycling auf.

Der Bauschutt gelangt im nächsten Schritt zu einem Recyclingbetrieb. Getrennt nach Ausgangsmaterialien (bspw. Altbeton und Mauerwerksschutt) wird dieses Material mehrstufig gebrochen und in Korngrößen klassiert. In Abhängigkeit von den geforderten Eigenschaften und Kornabstufungen werden Gemische für den Erdbau, aber auch den Straßen- und Wegebau oder auch Gesteinskörnungen für Betonwerke hergestellt. Ein kleinerer Anteil der Massenströme muss als ungeeignet aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden. Klassisch erfolgt dies über ein allen Prozessen vorgeschaltetes Vorsieb, über das sich Putze und andere Feinstoffe aus dem Produktmassenstrom vorab separieren lassen.

Die Gesteinskörnung, die an Betonwerke vermarktet wird, unterliegt den gleichen Regelungen und damit Anforderungen wie Kies oder gebrochener Naturstein und auch entsprechender Gütesicherung. Der deutsche Ausschuss für Stahlbeton gibt mit einer Richtlinie vor, bei welchen Betonen (Expositionsklassen) in welchen Anteilen RC-Gesteinskörnung eingesetzt werden darf. Es handelt sich um einen klassischen Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, bei dem die Anteile RC-Gesteinskörnung auf maximal 25 bis 45 Vol.-% begrenzt werden müssen. Diese Begrenzung bezieht sich auf die gesamte Gesteinskörnung (inkl. Sand), wobei die Körnung < 2 mm immer aus Primärmaterial bestehen muss.

Als Gesteinskörnung für die Herstellung von Beton nach DIN 1045-2:2008 sind zwei in der DIN 4226-101 genannte Liefertypen genormt. Danach darf für Liefertyp 1 der Anteil an Rb (Details siehe Tab. 2) 10 Massen-% nicht übersteigen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass der Anteil aufbereitetem Altbeton (Rc + Ru nach Tab. 2) an der rezyklierten Gesteinskörnung bei mindestens 90 % liegen muss. Für den ebenfalls zugelassenen Liefertyp 2 liegen die Verhältnisse hier bei 30 Massen-% und 70 Massen-%. Für andere mineralische Anteile, Altasphalt oder Fremdbestandteile sind maximal zulässige Gehalte festgelegt.

**Tab. 2: MINDESTGEHALTE BZW. MAXIMAL ZULÄSSIGE BEIMENGENGEN  
IN RC-LIEFERKÖRNUNGEN NACH DIN 4226-101**

BESTANDTEILE	ABKÜRZUNG	REZYCLIERTE GESTEINS- KÖRNUNG TYP 1	REZYCLIERTE GESTEINS- KÖRNUNG TYP 2
<i>Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton, ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein, hydraulisch gebundenes Gestein</i>	Rc + Ru	≥ 90 %	≥ 70 %
<i>Ziegel-Mauersteine (nicht-porosit), Klinker, Steinzeug, Kalksandstein-Mauersteine, verschiedene Mauer- und Dachziegel, Bimsbeton (Leichtbeton), nicht schwimmender Porenbeton</i>	Rb	≤ 10 %	≤ 30 %
<i>Bitumenhaltige Materialien, Asphalt</i>	Ra	≤ 1 %	≤ 1 %
<i>Glas</i>	X + Rg	≤ 1 %	≤ 2 %
<i>Sonstige Materialien: Bindige Materialien (d.h. Ton und Bodenmaterial), verschiedene sonstige Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle), nicht schwimmendes Holz, Kunststoff, Gummi, Gips</i>			
<i>Schwimmendes Material im Volumen</i>	FL	≤ 2 %	≤ 2 %

Diese Gesteinskörnungen unterliegen der DIN EN 12620 und damit dem gleichen Eignungsnachweis wie jede andere für die Herstellung von Beton vorgesehene Gesteinskörnung aus Kies oder gebrochenem Naturstein. In den technischen, physikalischen Anforderungen wird nicht unterschieden, ob die Gesteinskörnungen auf Basis primärer oder sekundärer Rohstoffquellen hergestellt werden.

Wie man aus der nachfolgenden Tabelle 3 entnehmen kann, erreichen in der Versuchspraxis

die Eigenschaften der RC-Gesteinskörnung die in der DIN EN 12620 geforderten Eigenschaften deutlich. Die Analysen wurden im Rahmen der verschiedenen Forschungs- und Demonstrationsprojekte an den Produkten der Fa. Feess aus Kirchheim unter Teck vorgenommen. Dies gilt sowohl für den Liefertyp 1 als auch für den Liefertyp 2 und insbesondere für zentrale Prüfparameter wie Kornrohddichte, Wasseraufnahme nach 10 Minuten und Frost-Tau-Widerstand. Die Gehalte an Chloriden und Sulfat sowie Schwefel sind sehr niedrig.

**Tab. 3: ERGEBNISSE AUS EIGNUNGSPRÜFUNGEN VON RC-GESTEINSKÖRNUNGEN  
GEMESSEN AN DEN ANFORDERUNGEN DER DIN EN 12620 [2]**

		GRENZWERT	TYP 1	TYP 2
<i>Kornrohddichte</i>	kg/m <sup>3</sup>	> 2000	2370	2300
<i>Wasseraufnahme nach 10 min</i>	%	<10 / <15	3,1	4,3
<i>Frost-Tau-Widerstand</i>	%	<4	3,7	2,9
<i>Wasserlösliche Chloride</i>	%	0,04	0,0004	0,0011
<i>Säurelösliche Chloride</i>	%	0,04	0,019	0,012
<i>Säurelösliches Sulfat</i>	%	0,8	0,3	0,2
<i>Wasserlösliches Sulfat</i>	%	0,02	0,0062	0,01
<i>Gesamtschwefel</i>	%	1	0,13	0,1
<i>Organische Bestandteile</i>	%	0,1	n.n.	n.n.

Aus Sicht der Bewirtschaftung mineralischer Bauabfälle ist R-Beton besonders interessant, wenn nicht nur aus Altbeton hergestellte Gesteinskörnungen eingesetzt werden, sondern in Anteilen auch Gesteinskörnungen aus aufbereitetem Mauerwerk (v.a. Ziegel, Kalksandstein). Hierfür Strategien in der Aufbereitung mineralischer Bauabfälle zu entwickeln und Gesteins-

körnungen in der geforderten Qualität herzustellen, war Gegenstand eines Forschungsprojektes, das im Jahre 2014 abgeschlossen wurde. [8]

Sowohl die Entwicklung der Aufbereitungsstrategie für diese Gesteinskörnung als auch die Entwicklung der Betonrezepturen waren erfolgreich.



*RC-Gesteinskörnung für Transportbetonwerke nach Liefertyp 2*

Seit August 2017 gibt es mit DIN 4226-101 und DIN 4226-102 ein neues Regelwerk zur Prüfung der umwelttechnischen Eignung der rezyklierten Gesteinskörnung [13]. Es setzt die DIN EN 12620:2008-07 um und legt die Prüfung und Bewertung rezyklierter Gesteinskörnungen in Bezug auf geregelte Substanzen fest. Sobald die DIN EN 12620:2008-07 um konkrete Festlegungen zu geregelten Substanzen erweitert worden ist, ist diese Norm entsprechend anzupassen oder gegebenenfalls zurückzuziehen. Der Leitfaden gibt Auszüge aus DIN 4226-101 bzw.

DIN 4226-102 wieder. Für die Anwendung gilt selbstverständlich der vollständige Normtext.

In Tabelle 2 der DIN 4226-101:2017-08 sind die Höchstwerte der Eluat- und Feststoffparameter genannt.

Wie man der Tabelle 4 entnehmen kann, liegen die realen „Belastungen“ deutlich unter den Höchstwerten. Dies gilt für die besonders relevanten organischen Belastungen, aber auch für Arsen, Blei und Cadmium.

**Tab. 4: FÜR DIE PRÜFUNG DER UMWELTTECHNISCHEN EIGNUNG HERANGEZOGENE HÖCHSTWERTE NACH TABELLE 2 DER DIN 4226-101 UND TYPISCHE „BELASTUNG“ EINER GESTEINSKÖRNUNG IN LIEFERTYP 2 [3]**

<b>Feststoff</b>		<b>GRENZWERT</b>	<b>ERGEBNISSE TYP 2</b>
Mineralölkohlenwasserstoffe (C <sub>10</sub> -C <sub>40</sub> )	mg/kg	1000 <sup>b</sup>	70
PAK nach EPA	mg/kg	25	0,3
EOX	mg/kg	10	<0,5
PCB	mg/kg	1	n. n.
<b>Eluat</b>			
pH-Wert		12,5 <sup>a</sup>	10,89
Elektrische Leitfähigkeit	µS/cm	3000 <sup>a</sup>	286
Chlorid	mg/l	150	2,05
Sulfat	mg/l	600	22,3
Arsen	µg/l	50	<1,0
Blei	µg/l	100	<1,0
Cadmium	µg/l	5	<0,1
Chrom gesamt	µg/l	100	3
Kupfer	µg/l	200	2
Nickel	µg/l	100	<1,0
Quecksilber	µg/l	2	<0,1
Zink	µg/l	400	86
Phenolindex	µg/l	100	<10

<sup>a</sup> kein Ausschlusskriterium

<sup>b</sup> Überschreitungen, die auf Asphaltanteile zurückzuführen sind, stellen kein Ausschlusskriterium dar.

Mit der DIN 4226-102:2017-08 werden die Anforderungen an das System der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) für Hersteller von rezyklierten Gesteinskörnungen in Bezug auf die Anforderungen in DIN 4226-101:2017-08 festgelegt. Dadurch wird sichergestellt, dass die hergestellten rezyklierten Gesteinskörnungen in ihren erklärten Eigenschaften mit dieser Norm übereinstimmen.

Dies bedeutet, dass ein Verfahren für eine dokumentierte Eingangskontrolle festgelegt sein muss. Aufgrund der Angaben im Anlieferungsschein, durch organoleptische Prüfung vor und nach dem Abkippen der angelieferten Materialien, ist festzustellen, ob die Zusammensetzung der angelieferten Materialien der Angaben des Anlieferers entspricht. Die zu dokumentierenden Angaben sind in dem Regelwerk festgelegt.



Produktthalde RC-Gesteinskörnung für Transportbetonwerke nach Liefertyp 2

Der Hersteller der rezyklierten Gesteinskörnungen muss die benötigten Mittel und geschultes Personal für die erforderlichen Überwachungen und Prüfungen verfügbar halten. Die analytischen Prüfungen müssen durch ein qualifiziertes Labor durchgeführt werden, dessen Qualifikation nach allgemein anerkannten Regeln (z.B. Anerkennung als Prüfstelle für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau – RAP Stra) nachzuweisen ist. Dies bedeutet nach Tabelle A.1 der DIN 4226-102, dass die Herkunft der Rohmaterialien für jede Lieferung durch eine Eingangskontrolle mit Inaugenscheinnahme und Lieferscheinprüfung durchzuführen ist. Die Prüfung auf die geregelten gefährlichen Substanzen hat alle 8 Produktionswochen zu erfolgen, mindestens jedoch alle angefangene 10.000 t, jedoch maximal 18-mal im Jahr. Bei diskontinuierlicher Produktion liegt die Mindestprüfhäufigkeit bei allen 5.000 t.

Die Anforderungen an die werkseigene Produktionskontrolle (WPK) sind damit deutlich höher, als für die Baustoffe für den Straßen- und Wegebau nach den Technischen Lieferbedingungen für Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (TL SoB StB) gefordert.

# Was ist beim R-Beton zu beachten?

In der Nutzungsphase des Gebäudes verhält sich der R-Beton nicht anders wie andere konventionell hergestellte Betone. Dies gilt nicht nur unter technischen Gesichtspunkten. Auch hinsichtlich einer möglichen Freisetzung von Schadstoffen z.B. in das Grundwasser ist R-Beton unproblematisch. Wie umfangreiche Untersuchungen der EMPA Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt der ETH Zürich [1] bereits im Jahre 2006 zeigten, liegen die Freisetzungsraten sehr niedrig und unterscheiden sich nicht von denen konventionell hergestellter Betone. Für den Stoffhaushalt des Betons bedeutender ist nicht die Wahl der Gesteinskörnungen, sondern die der Zemente.

Werden die Vorgaben des deutschen Ausschusses für Stahlbeton eingehalten, sind keine abweichenden Betoneigenschaften zu erwarten, so dass insbesondere die statische Bemessung und die Tragwerksplanung nicht geändert werden müssen. R-Betone dürfen bis zu einer Druckfestigkeit von C 30/37 eingesetzt werden, Hochleistungsbetone und Spannbetone sind nicht zugelassen.

Mit Fußnote <sup>1)</sup> in Tab. 5 wird auf die Problematik einer schädigenden Alkalireaktion im Beton (AKR), Bezug genommen. Für eine RC-Gesteinskörnung kann die Alkaliempfindlichkeit nicht beurteilt werden, da bei einem Bauschuttrecycler

**Tab. 5: NACH DER RICHTLINIE DES DEUTSCHEN AUSSCHUSSES FÜR STAHLBETON [4]  
ZUGELASSENE BETONSORTEN MIT ANGABE DER MAXIMAL ZUGELASSENEN ANTEILE  
AN RC-GESTEINSKÖRNUNG**

ANWENDUNGSBEREICH		GK TYP 1	GK TYP 2
ALKALIRICHTLINIE	DIN EN 206-1 UND DIN 1045-2	Vol.-%	Vol.-%
WO (TROCKEN)	Karbonatisierung XC1	≤45	≤35
	kein Korrosionsrisiko X0 Karbonatisierung XC1 bis XC4		
WF (FEUCHT)	Frost ohne Taumittelwirkung XF1 <sup>1)</sup> und XF3 <sup>1)</sup> und in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤35	≤25
	chemischer Angriff (XA1)	≤25	≤25

1) zusätzliche Anforderungen siehe Abschnitt 1, (3) und (4) in [4]

mineralische Bauabfälle aus unterschiedlicher Herkunft verarbeitet werden. Die praxisgerechtere Lösung liegt in der Begrenzung des Anwendungsbereichs und der Zementgehalte in den Betonrezepturen. Wie der AKR-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [6] entnommen werden kann, sind hinsichtlich

einer AKR-Problematik keine weiteren Maßnahmen notwendig, wenn der Beton in der Feuchtigkeitsklasse W0 (also trocken) eingesetzt, oder in der Klasse WF (feucht) der Zement Einsatz auf maximal 350 kg/m<sup>3</sup> Beton begrenzt wird. Die Feuchtigkeitsklassen W0 und WF sind typisch für den Hochbau.

**Tab. 6: BEGRENZUNG DER ZEMENTGEHALTE NACH DEN VORGABEN DER AKR-RICHTLINIE [6]**

		1	2	3	4	5	6
	Alkaliempfindlichkeitsklasse	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup>	Erforderliche Maßnahmen für die Feuchtigkeitsklasse				
			W0	WF	WA	WS	
1	E I-S	Ohne Festlegung	keine	keine	keine	Zemente nach Tab. 3-4	
2	E III-S <sup>1)</sup>	≤ 300	keine	keine	keine	s.o.	
3		300 < z ≤ 350	keine	keine	Performance-Prüfung <sup>2)</sup> oder NA-Zement	s.o. sowie Austausch der Gesteinskörnung oder Gutachten <sup>3)</sup>	
4		z > 350	keine	Performance-Prüfung <sup>2)</sup> 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 Gutachtens<sup>3)</sup>

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

Für die Keller muss nicht selten auf wasserundurchlässigen (WU) Beton zurückgegriffen werden. Wie aus der Tabelle 5 ersichtlich, kann RC-Gesteinskörnung in maximalen Anteilen je nach Gesteinskörnungstyp von 25 bis 35 Vol.-% in Betonen mit hohem Wassereindringwiderstand eingesetzt werden. RC-Gesteinskörnung wird jedoch in der WU-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton) nicht explizit benannt. Es

ist daher eher im Einzelfall von den Bauherren zu entscheiden, ob sie R-Beton auch in einer Weißen Wanne einsetzen. In der Praxis ist dies schon häufig erfolgt, in allen Fällen mit sehr guten Prüfungsergebnissen. Die Wassereindringtiefe lag in einem Fall mit 15 mm deutlich innerhalb der Vorgaben und etwas günstiger als der konventionell hergestellte Beton gleicher Sorte (C25/30 XC4 XF1 XA1 F3 GK 22 WU).



Abschließend lässt sich festhalten, dass R-Betone in nahezu allen Einsatzorten im klassischen Hochbau eingesetzt werden können. Dies deckt sich auch mit den langjährigen Erfahrungen aus der Schweiz, nach denen 90 % der typischen Betonachfrage im Hochbau als R-Beton geliefert werden kann.

Die auf diese Weise hergestellten R-Betone unterliegen den gleichen Regelwerken und Qualitätssicherungssystemen wie jeder konventionell hergestellte Beton. Deshalb bedarf es keiner gesonderten Anpassungen in der Planungsphase. Dies gilt insbesondere auch für die statische Bemessung und die Tragwerksplanung. Ausgeschrieben wird ein Beton nach Eigenschaft.

R-Betone unterliegen somit den gleichen Anforderungen wie jeder konventionelle Beton. 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. Nach bisheriger Erfahrung liefern die Betonwerke den R-Beton zum gleichen Preis wie den konventionellen Beton.

In der Praxis ist R-Beton daher nur über den Lieferschein zu erkennen. Nach der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton steht zur Kennzeichnung und Nennung auf dem Lieferschein folgendes:

*Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen muss im Lieferverzeichnis als solcher mit einer eigenen Nummer ausgewiesen werden und bedarf durch Angabe des verwendeten Typs der Gesteinskörnung nach dieser Richtlinie einer besonderen Kennzeichnung. Die Betonsorte*

*erhält im Lieferverzeichnis des Herstellers den Zusatz:*

*„Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN EN 12620; keine Verwendung von Spannbeton.“  
Auf Anfrage sind die verwendeten Anteile an rezyklierter Gesteinskörnung anzugeben.*

#### **BEMERKUNG:**

Beton wird gegenwärtig zu etwa 95 % in Transportbetonwerken hergestellt und von diesen vertrieben. Die restlichen Mengen werden auf den Baustellen vor Ort hergestellt. Der Beton und seine Eigenschaften sind identisch, unabhängig davon ob er als Transport-Beton oder Baustellenbeton hergestellt oder vertrieben wird. Sämtliche Aussagen des Leitfadens gelten für beide Betonarten gleichermaßen.



*Separatorschaufel*

# Ausblick - die Innovation geht weiter

## 5

Die derzeit geltenden Regelwerke für R-Beton basieren auf Erkenntnissen eines Verbundforschungsvorhabens in den 90er Jahren, in dem erstmals derartige Rezepturen entwickelt und erprobt wurden. Seitdem haben sich die Rahmenbedingungen (selektiver Rückbau der Gebäude; technische Ausstattung der Recycler; hochwertigere Fließmittel) jedoch deutlich weiterentwickelt. Auch die Praxiserfahrungen aus der Schweiz zeigen, dass höhere Anteile an RC-Gesteinskörnung bzw. höhere Anteile an „Mischabbruchgranulat“ in den Rezepturen möglich sein sollten. Im Rahmen eines größeren vom BMBF geförderten Forschungsprojektes [11] werden derzeit systematisch die technischen Möglichkeiten zur Steigerung des Einsatzes von rezyklierten Gesteinskörnungen (RC-GK) in Beton- wie auch Zementrezepturen erprobt, beides ohne die gewohnten Produkteigenschaften zu gefährden. Die ersten Zwischenergebnisse [14] sind sehr vielversprechend, das Projekt wird im Jahr 2018 abgeschlossen. Dass der Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen deutlich über das Regelwerk hinaus erhöht werden kann, zeigte sich bereits im Rahmen der Rezepturentwicklungen und Bauvorhaben, die durch das Umweltministerium Baden-Württemberg angestoßen wurden. Die hierbei gewonnen Erkenntnisse wurden an verschiedenen Stellen vorgestellt.

So konnte Herr Weiß [7] für die Fa. Krieger Beton schon im Jahre 2013 zeigen, dass sich

die geforderten Druckfestigkeiten auch dann erreichen lassen, wenn die gesamte Gesteinskörnung  $> 2$  mm aus rezykliertem Material besteht. Aufbauend auf ersten Erkenntnissen aus einem Forschungsprojekt für das Land Baden-Württemberg [8] wurden in einem weiteren Forschungsprojekt [3] weitere Rezepturen über die geltenden Regelwerke hinaus entwickelt. Die Untersuchungen wurden durch das Krieger Betontechnologiezentrum in Remseck durchgeführt und deren Ergebnisse im Rahmen von Fachsymposien zu R-Beton in Stuttgart vorgestellt. Die nachfolgend benannten Ergebnisse wurden den Vorträgen von Herrn Dziadek [9] vom Mai 2015 und Herrn Lieber [12] vom Januar 2016 entnommen. Im Rahmen dieser Untersuchungen durch das Krieger Betontechnologiezentrum in Remseck wurden folgende Ziele verfolgt:

### **1 SUBSTITUTION VON 60 % BIS 64 % DES GESAMTEN ZUSCHLAGES DURCH RC-MATERIAL**

Erhöhung des Anteiles der RC-Gesteinskörnung (Liefertyp 1) in den Rezepturen von den nach der Richtlinie des DAfStB zulässigen Anteilen von 25 % bis 45 % der Gesteinskörnung auf 60 % (bei Größtkorn 16 mm) oder 64 % (bei Größtkorn 22 mm) und damit auf einen Anteil, in dem für die gesamte Gesteinskörnung  $> 2$  mm eine RC-Gesteinskörnung verwendet wird – siehe Tabelle 7, Beton 1

## 2 BETONEIGENSCHAFTEN ÜBER DAS REGELWERK HINAUS

Darüber hinaus wurden hierbei Rezepturen entwickelt, die zusätzlich in den Druckfestigkeiten über C30/37 und mehr Expositionsklassen ausgesetzt wird (s.u.). Entwickelt wurden die Rezepturen Beton 2 und Beton 3 (Tabelle 7) in Druckfestigkeiten bis C 35/45 und für einen höheren chemischen Angriff (XA2) oder Angriff mittels Tausalz (XD2) ausgelegt.

## 3 SUBSTITUTION DER GESAMTEN GESTEINSKÖRNUNG UND DES SANDES DURCH RC-MATERIAL

Entgegen der Vorgaben der Richtlinie des DAfStB wurde der gesamte Sand und die gesamte Gesteinskörnung vollständig aus RC-Material verwendet.

Der für die erste Zielsetzung entwickelte Beton (Beton 1) wurde auch in der Praxis für die Errichtung eines Waagenhauses der Fa. Schief in Winnenden eingesetzt, produziert vom Frischbetonwerk Winnenden. Hierfür war eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) durch das RP Tübingen notwendig, die auf eine im Rahmen des Projektes erstellte Begutachtung [10] durch Hr. Prof. Breit von der MPA der TU Kaiserslautern fußte. Für den Beton wurde nach 28 Tagen im Mittel eine Druckfestigkeit von 41,3 N/mm<sup>2</sup> und damit der Zielwert von 40 N/mm<sup>2</sup> eingehalten.

Die Laborversuche für die zweite Zielsetzung (Betone 2 und 3), die für den Einsatz in einer Stützwand vorgesehen waren und ebenfalls durch die MPA der TU Kaiserslautern geprüft wurden, erreichten ebenfalls sehr gute Festbetoneigen-

**Tab. 7: BETONREZEPTUREN AUßERHALB DER REGELWERKE;  
VOLLSTÄNDIGE SUBSTITUTION DER GK > 2 MM [9]**

	<b>Beton 1</b>		<b>Beton 2</b>		<b>Beton 3</b>	
	C 25/30 XC4, XF1, XA1		C 30/37 XC4, XD2 (LP), XF4, XA1		C 35/45 XC4, XD2, XF4, XA2	
Sand	40,3 %	691 kg	38 %	646 kg	40,3 %	685 kg
RC GK 2/16 mm	59,7 %	1.024 kg	62 %	1.053 kg	59,7 %	1.015 kg
CEM II/B-M (V-LL) 42,5 N-AZ		290 kg				
CEM I 42,5 N-NA				370 kg		
CEM II/B-M (V-LL) 42,5 R-AZ						380 kg
Wasser		191 kg		174 kg		186 kg
Powerflow 5100		2,3 kg		3 kg		3,8 kg
Centrament Retard 371						0,8 kg
Powerment		70 kg				20 kg
Kalksteinmehl		20 kg				20 kg
Mikrohohlkugeln				3,5 kg		

schaften. Hier lagen die nach 28 Tagen erreichten Druckfestigkeiten im Mittel bei  $46,4 \text{ N/mm}^2$  (Beton 2; Zielwert  $47 \text{ N/mm}^2$ ) bzw. bei  $66,5 \text{ N/mm}^2$  (Beton 3; Zielwert  $55 \text{ N/mm}^2$ ). Ein weiteres wichtiges Kriterium ist der Frost-Tausalz-Widerstand des Betons. Die Betone 2 und 3 mussten für den Einsatz in der Stützmauer die Expositionsklasse XF 4 und XF 2 erfüllen, was sich nur direkt am Beton durch einen CDF-Test (Kapillares Saugen von Taumittellösungen und Frost-Tau-Wechsel-Versuch) prüfen ließ. Die Ergebnisse dieser Prüfung waren sehr erfreulich, die ermittelten Abwitterungswerte lagen sehr deutlich unter den Grenzwerten.



Produktthale aus gebrochenem Altbeton

Für die dritte Zielstellung – Erhöhung der RC-Anteils an der Gesteinskörnung auf 100 % durch Einsatz von RC-Sand – wurden nur Laborversuche [12] durchgeführt. Die Entwicklung der Rezepturen erfolgte ohne einen konkreten Bezug auf ein Bauvorhaben. Für die Versuche wurden folgende RC-Brechsande eingesetzt:

- RC-BS1: Brechsand, der bei der Herstellung der Gesteinskörnung des Liefertyps 1 (d.h. im wesentlichen Altbeton) anfiel; Abschlämbare Bestandteile: 3,6 %; Wasseraufnahme nach 30 Minuten: 30 %
- RC-BS1, gew.: Brechsand aus der Herstellung des Liefertyps 1, allerdings gewaschen; Abschlämbare Bestandteile: 1,8 %; Wasseraufnahme nach 30 Minuten: 27 %
- RC-BS2: Brechsand, der bei der Herstellung der Gesteinskörnung des Liefertyps 2 anfiel; Abschlämbare Bestandteile: 3,6 %; Wasseraufnahme nach 30 Minuten: 31 %

Diese drei Sandfraktionen wurden in Betonrezepturen verarbeitet, in denen der übrige Zuschlag  $> 2 \text{ mm}$  mit Muschelkalk als Primär-gestein oder mit RC-Gesteinskörnung Typ 1 abgedeckt. Die Rezepturen wurden mit  $320 \text{ kg/m}^3$  Zement und unterschiedlichen Fließmittelanteilen

angesetzt. Als Referenz diente eine konventionelle Betonrezeptur, d.h. mit Natursand und Muschelkalksplitt. Die Versuche ergaben unterschiedliche Frischbetoneigenschaften. Erwartungsgemäß zeigt der gewaschene RC-Brechsand Typ 1 den geringsten Wasseranspruch aller RC-Brechsande und damit die beste Konsistenzhaltung. Bei den anderen RC-Brechsanden ist ein erhöhtes Vorhaltemaß zu berücksichtigen, was einen erhöhten Fließmitteleinsatz ( $> 70 \%$ ) bedeutet. In den Festbetoneigenschaften unterscheiden sich die Betone dann jedoch nicht.

Diese ersten Ergebnisse sind durchaus ermutigend und dies vor allem für den Einsatz von gewaschenem RC-Brechsand Typ 1. Selbst wenn dieser vollständig die Sandfraktion in der Rezeptur stellt. Nicht zuletzt, um den Bedarf an Fließmitteln zu beschränken, gilt es für die Praxis, das Optimum für einen ungewaschenen RC-Brechsandanteil in den Rezepturen zu ermitteln. Derartige Untersuchungen werden in einem aktuellen vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben von Heidelberger Zement / TU Kaiserslautern [11] „R-Beton; Ressourcenschonender Beton – Werkstoff für die nächste Generation“ durchgeführt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

Die derzeit in den Regelwerken gesetzten Beschränkungen zum Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen entsprechen nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik. In welchem Umfang und an welcher Stelle Änderungen im Regelwerk möglich sind, wird derzeit über ein umfassenderes und detailliertes Forschungsprojekt [11] analysiert und bewertet.

R-Beton trägt zur Ressourcenschonung bei, da mit ihm in erheblichen Anteilen Stoffkreisläufe geschlossen werden. Die Verwendung sekundärer Rohstoffe hilft, primäre Rohstoffvorkommen zu schonen.

## **KURZ DIE WICHTIGSTEN PUNKTE FÜR BAUHERR\*INNEN UND ARCHITEKT\*INNEN**

- 1.** Recyclingbeton kann in allen Bauteilen und Tragwerken eingesetzt werden, bei denen eine Beton-Druckfestigkeit bis einschließlich C30/37 gefordert wird. Die zulässigen Betonsorten können der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton entnommen werden.
- 2.** Mit dem Einsatz von Recyclingbeton tragen Sie zur Ressourcenschonung und zum nachhaltigen Bauen bei.
- 3.** Die Ausschreibung von Recyclingbeton schafft neue Nachfragen und Märkte. Das Standardleistungsbuch bietet entsprechende Einträge
- 4.** Der Betonhersteller darf bis zu 45 % der Gesteinskörnung durch Recyclingmaterial ersetzen, das den Normen DIN EN 12620, DIN 4226-101 und DIN 4226-102 genügt.
- 5.** Der Hersteller der Gesteinskörnung muss in der Lage sein, Gesteinskörnungen aus Recyclingmaterial nach den o.g. DIN herzustellen. Dies hat er durch ein entsprechendes Zertifikat nachzuweisen.
- 6.** Für Spannbeton und viele Verkehrsbauwerke ist R-Beton nicht zugelassen.

## LITERATUR

- [1] EMPA, Untersuchung der Grundwasserverträglichkeit von Magerbeton aus RC-Material, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Bericht Nr. 203600.1, Zürich 2006
- [2] DIN EN 12620:2008-07, Gesteinskörnung für Beton
- [3] ifeu-Institut Heidelberg, Fa. Feeß Erdbau, Fa. Krieger Betontechnologiezentrum, IAB Weimar, Institut Dr. Hart, Untersuchungs- und Demonstrationsvorhaben zur Intensivierung der Verwendung von aufbereitetem Bauschutt als Betonzuschlagsstoff, im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, August 2015
- [4] DAfStb-Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 (2010-09)
- [5] Hagen Aichele, Erfahrungen im Einsatz von ressourcenschonenden Beton, Einsatz in einem Mehrfamilienwohnhaus in Weilheim an der Teck, Vortrag auf dem Fachsymposium des Umweltministeriums Baden-Württemberg: Nachhaltigkeit und Ressourcenschutz in der Bauwirtschaft: Ressourcenschonender Beton schießt Stoffkreisläufe, Stuttgart März 2015
- [6] DAfStb-Richtlinie Vorbeugende Maßnahmen gegen schädliche Alkalireaktionen im Beton, Teil 3
- [7] Hans-Jörg Weiß, Beton aus rezyklierten Gesteinskörnungen mit 30 % Mauerwerkbruch – Projektergebnisse aus Baden-Württemberg, Vortrag auf der Tagung R13, September 2013, Weimar
- [8] ifeu-Institut Heidelberg, Fa. Feeß Erdbau, Fa. TBW Waiblingen, Schließen von Stoffkreisläufen – Herstellung von Transportbeton unter Verwendung von Gesteinskörnungen aus aufbereitetem Mauerwerksschutt, im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Februar 2014
- [9] Ralf Lieber, Bernhard Dziadek, Ein Blick in die Zukunft: Fortentwicklungen und Strategien, Ergebnisse aus Laborversuchen und einem Demonstrationsvorhaben, Vortrag auf dem Fachsymposium des Umweltministeriums Baden-Württemberg: Nachhaltigkeit und Ressourcenschutz in der Bauwirtschaft: Ressourcenschonender Beton schließt Stoffkreisläufe, Stuttgart März 2015
- [10] Prof. Dr. Wolfgang Breit, Gutachterliche Stellungnahme zur Erlangung einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE), Bauvorhaben Waagenhaus und Stützmauer der Fa. Schief Entsorgungstechnik GmbH & Co. KG Winnenden, Kaiserslautern Januar 2015
- [11] Heidelberger Zement AG, TU Kaiserslautern, RWTH Aachen, ifeu-Institut Heidelberg, VDZ gGmbH, Fa. Scherer & Kohl, R-Beton – Ressourcenschonender Beton – Werkstoff der nächsten Generation, derzeit laufendes vom BMBF gefördertes Forschungsprojekt
- [12] Ralf Lieber, Aus der Praxis: R-Beton jenseits der deutschen Regelwerke – Ergebnisse aus Laborversuchen und einem Demonstrationsvorhaben, Vortrag auf dem Fachsymposium des Umweltministeriums Baden-Württemberg: Optimierung der Ressourceneffizienz in der Bauwirtschaft: R-Beton hilft Stoffkreisläufe schließen, Stuttgart Januar 2016
- [13] DIN 4226-101:2017-08 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen  
DIN 4226-102:2017-08 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 - Teil 102: Typprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle
- [14] Prof. Dr. Wolfgang Breit, Julia Scheidt, Raymund Böing, Es geht viel mehr - erste Ergebnisse aus dem HighTechMatBau BMBF-Forschungsvorhaben zur Weiterentwicklung und Erweiterung der Anwendungsbereiche von R-Beton, Vortrag auf dem Fachsymposium: Neues Bauen - eine Chance zur Abfallvermeidung in der Bauwirtschaft, 08/09. Februar 2017 in Stuttgart

**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, Joachim Reinhardt,  
Dr. Achim Schorb, Stefanie Theis  
in Zusammenarbeit mit:  
Fa. Feess: Walter Feesß, Eberhard Fritz  
Fa. Krieger: Bernhard Dziadek, Ralf Lieber  
IAB Weimar: Mirko Landmann  
Institut Dr. Haag: Jörg Mändle

**GESTALTUNG**

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

**BILDNACHWEIS**

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

September 2017



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT