

Überlegungen zur Steigerung des Einsatzes von RC-Gesteinskörnungen bei der Betonproduktion

Der Einsatz von RC-Gesteinskörnung bei der Betonproduktion hängt einerseits vom Aufkommen geeigneter mineralischer Bauabfälle und andererseits von den Herstell- und Verwendungsvorgaben eines Betons mit RC-Gesteinskörnung ab.

Durchschnittliches Aufkommen mineralischer Bauabfälle nach Abfallschlüsselnummern

Der Anfall mineralischer Bauabfälle wird vom Statistischen Bundesamt regelmäßig erfasst und veröffentlicht. Im langjährigen Durchschnitt fallen jährlich rund 207 Mio. t mineralische Bau- und Abbruchabfälle an. Davon sind 125 Mio. t Boden und Steine, von denen durchschnittlich rund 10 Mio. t Steine als RC-Gesteinskörnung nutzbar gemacht werden. Die weiteren rund 82 Mio. t bestehen aus überwiegend körnigem Material, das zum Teil als RC-Gesteinskörnung in Frage kommt. Bei der Anlieferung an eine Recyclinganlage werden die mineralischen Bauabfälle einer Abfallschlüsselnummer gemäß Abfallverzeichnisverordnung (AVV) zugeordnet.

AVV		Anfall Inland Mio. t	Nutzbar für Beton % (geschätzt)	Potenzial Mio. t (geschätzt)
170101	Beton Bei der Aufbereitung fallen rund 35 % Brechsande an, die heute nicht im Beton verwertet werden dürfen. Änderung ggf. ab 2022.	24,0	65	15,6
170102	Ziegel Verwertung im Ziegelkreislauf vorgesehen	5,0	-	-
170103	Fliesen und Keramik Theoretisch geeignet, praktisch lohnt die Aufbereitung nicht	1,0	-	-
170107	Gemische aus Beton, Fliesen, Keramik Reinheitsgrad schlechter als 170101, daher vor allem für RC-Gesteinskörnung Typ 2 geeignet	28,0	40	11,2
170504	Boden und Steine Der Anteil Steine wird meist separat gewonnen, eine konsequente Bodenaufbereitung erfolgt nicht	125,0	8	10,0
170506	Baggergut Durch Bauaufsicht für Betonproduktion ausgeschlossen	1,5	-	-
170508	Gleisschotter Durch Bauaufsicht für Betonproduktion ausgeschlossen	2,5	-	-
170302	Bitungemische (Straßenbau) Wiederverwendung in Asphaltindustrie	16,0	-	-
170802	Baustoffe auf Gipsbasis Separate Recyclingaktivitäten	0,6	-	-
170904	Mineralischer Anteil der Sonstigen gemischten Baustellenabfälle Für Beton unbrauchbar	3,7	-	-
Summe (Potenzial)				36,8

Substitution der Primärgesteinskörnung durch RC-Material je nach Verwendung des Betons

Der Einsatz von RC-Gesteinskörnung im Beton ist bauaufsichtlich geregelt. Die Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV-TB) legt die zulässigen Ausgangsmaterialien über Abfallschlüsselnummern fest. Zudem müssen die RC-Gesteinskörnungen auf Schadstoffe geprüft werden. Bei Überschreitung der Grenzwerte für festgelegte Umweltparameter dürfen die RC-Materialien nicht im Beton eingesetzt werden. Grundsätzlich ausgenommen sind u. a. Brandschutt, asbest- und PCB-haltige Stoffe und Materialien aus verschiedenen Industriebauwerken (u. a. Tankstellen, Gaswerke, Chemische Industrie). Für das in der Tabelle abgeschätzte Potenzial von rund 36 Mio. t wird davon ausgegangen, dass die bauaufsichtlichen Anforderungen eingehalten werden. Insbesondere das Thema asbesthaltiger Anteile aus Betonabbruch von Bauwerken, die vor 1993 hergestellt wurden, bleibt dabei unberücksichtigt.

Die Anteile primärer Gesteinskörnung, die im Beton durch geeignete RC-Gesteinskörnung ersetzt werden dürfen, werden in der Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) festgelegt. Unterschieden werden zwei Typen, wovon Typ 1 den (fast) reinen Betonbruch darstellt und Typ 2 eine gemischte Fraktion, d. h. eine RC-Gesteinskörnung, die neben Betonbruch auch Anteile von Ziegeln, Fliesen und (sonstiger) Keramik enthält. Die Substitutionsquoten liegen für RC-Gesteinskörnungen des Typs 1 höher als für die des Typs 2. Die Angaben der nachfolgenden Tabelle beziehen sich auf den Gesamtzuschlag (Sand plus Gesteinskörnung) im Beton. Durch RC-Material darf bisher nur die Gesteinskörnungsfraction größer als 2 mm ersetzt werden.

Anwendungsbereich Alkalirichtlinie	Expositionsklasse DIN EN 206/DIN 1045-2	Kategorie der Typ 1	Gesteinskörnung Typ 2
WO (trocken)	XC1	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
WF (feucht)	X0, XC1 bis XC4	≤ 45 Vol.-%	≤ 35 Vol.-%
	XF1 und XF3, Beton mit hohem Wassereindringwiderstand	≤ 35 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%
	XA1	≤ 25 Vol.-%	≤ 25 Vol.-%

Tabelle aus DAfStb-Richtlinie „Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620“

Die in der Tabelle aufgeführten unterschiedlichen Substitutionsquoten hängen davon ab, wie der RC-Beton gemäß Alkalirichtlinie verwendet und welchen Belastungen (Expositionsklassen) er ausgesetzt wird. Für die nachfolgenden Abschätzungen wird aus Gründen der Vereinfachung von einer durchschnittlichen Substitutionsquote von 35 Vol.-% ausgegangen.

Weiterhin ist zu beachten, dass RC-Beton nur für Beton mit begrenzten Festigkeiten erlaubt ist. Die höchste zulässige Betonfestigkeitsklasse ist derzeit C30/37. Für Betonfertigteile, bei denen meist höhere Festigkeitsklassen zum Einsatz kommen, ist RC-Beton daher häufig nicht verwendbar.

Überschlagsrechnung Betonproduktion

Der jährliche inländische Zementversand beträgt rund 27 Mio. t. Davon werden etwa 60 % (16 Mio. t) im Transportbetonbereich und etwa 29 % (8 Mio. t) in der Betonfertigteil- und der Betonwarenindustrie eingesetzt.

Bei durchschnittlich rund 300 kg Zementeinsatz werden daraus etwa 53 Mio. m³ Transportbeton hergestellt. Während im Bereich konstruktiver Betonfertigteile durchschnittlich rund 340 kg Zement je m³ eingesetzt werden, liegt der Zementgehalt bei der Betonwarenherstellung bei durchschnittlich rund 260 kg/m³ Beton. In 2019 wurden entsprechend rund 12 Mio. m³ konstruktive Betonfertigteile und rund 20 Mio. m³ Betonwaren hergestellt. Die Gesamtmenge des produzierten Betons (Transportbeton, Betonfertigteile, Betonwaren) lag 2019 bei ca. 85 Mio. m³.

Überschlagsrechnung Zuschlag in Beton

Zur überschlägigen Berechnung des Einsatzes von Zuschlägen für die Betonherstellung wird von einem durchschnittlichen Gehalt von 1.800 kg je m³ Beton ausgegangen. Davon sind rund 650 kg Sand und 1.150 kg körnige Zuschläge größer 2 mm. Der Gesamtbedarf an Zuschlägen für die Betonproduktion lag 2019 damit bei etwa 153 Mio. t, davon 55 Mio. t Sand und 98 Mio. t körnige Zuschläge größer 2 mm.

Überschlagsrechnung RC-Beton

Geht man von einer Substitutionsquote von durchschnittlich 35 Vol.-% des Gesamtzuschlags durch RC-Gesteinskörnungen aus, können 650 kg des Gesamtzuschlags in Höhe von 1.800 kg je m³ Beton durch RC-Gesteinskörnungen ersetzt werden. Substituiert werden darf bisher nur die grobe Gesteinskörnung größer 2 mm, nicht der Sand.

Aus dem Potenzial von rund 36 Mio. t RC-Gesteinskörnung können damit theoretisch knapp 56 Mio. t RC-Beton hergestellt werden. Da RC-Beton hinsichtlich seiner Verwendungsmöglichkeiten beschränkt ist, können allerdings nicht alle Betonsorten als RC-Beton hergestellt werden.

Geschätzt rund 75 % des Transportbetons wird für Verwendungszwecke genutzt, in denen auch RC-Beton eingesetzt werden kann. Das Potenzial des RC-Betons im Transportbetonbereich liegt damit derzeit bei knapp 40 Mio. m³, wofür etwa 26 Mio. t RC-Gesteinskörnung benötigt würden.

Im Betonfertigteilbereich werden im Regelfall Betone mit Festigkeiten über C30/37 verarbeitet, um Bauteile schnell aus der Schalung heben zu können. Der Anteil von Betonen mit geringeren Festigkeiten und Verwendungen, die für RC-Beton geeignet sind (z. B. Innenbauteile) wird insgesamt auf 15 % der 12 Mio. m³ Beton im Fertigteilbereich geschätzt. Für die Produktion der knapp 2 Mio. m³ Fertigteilbeton könnten derzeit daher etwa 1,2 Mio. t RC-Gesteinskörnung eingesetzt werden.

Betonwaren, z. B. Pflastersteine, werden nicht nach den Betonnormen DIN EN 206 und DIN 1045-2 sondern nach eigenen europäischen Produktnormen hergestellt. Die Zusammensetzung entspricht damit in der Regel nicht der üblichen Betonzusammensetzung. Zudem

werden Betonwaren, wie Pflastersteine, häufig zweilagig hergestellt, wobei an den Oberflächenbeton strengere Anforderungen als an den Unterbeton gestellt werden. Das Substitutionspotenzial in der Gruppe der Betonwaren ist aufgrund der Unterschiedlichkeit der Waren und der damit verbundenen unterschiedlichen Produktionsprozesse (einlagig, mehrlagig) nur schwer abzuschätzen. Geht man von einem Potenzial von 15 % für RC-Beton aus, wären im Bereich Betonwaren gegenwärtig rund 2 Mio. t RC-Gesteinskörnung einsetzbar.

In der Summe könnten damit heute rund 29 Mio. t des Potenzials von rund 36 Mio. t RC-Gesteinskörnung für RC-Beton eingesetzt werden. Das potenzielle Angebot an RC-Gesteinskörnung wäre damit um etwa 7 Mio. t größer als die Verwendungsmöglichkeiten im RC-Beton. Im Wesentlichen beschränkt sich der Einsatz von RC-Gesteinskörnung dabei auf den Transportbetonbereich.

Perspektiven ab 2022

Durch das Projekt R-Beton (Ressourcenschonender Beton) konnte die wissenschaftliche Basis bezüglich des Einsatzes von RC-Gesteinskörnungen im Beton verbessert werden. Die Erkenntnisse belegen, dass um bis zu 10 Vol.-% höhere RC-Gehalte in Betonen möglich sind. Die normative Umsetzung der Ergebnisse in der nationalen Betonnorm DIN 1045-2 ist bereits angelaufen. Neben höheren Anteilen an RC-Gesteinskörnung soll zukünftig auch die Möglichkeit zur Verwendung von RC-Sand im Beton geschaffen werden. Zudem ist vorgesehen, dass bis zu einer Substitutionsquote von 25 Vol.-% keine spezielle Kennzeichnung des Betons als „RC-Beton“ mehr erforderlich ist. Dadurch wird RC-Beton mit bis zu 25 Vol.-% RC-Gesteinskörnung praktisch zum „Normalbeton“, was der Akzeptanz zu Gute kommen dürfte. Der Gelbdruck der überarbeiteten Betonnorm DIN 1045-2 soll Ende dieses Jahres veröffentlicht werden, so dass die neuen Rahmenbedingungen ggf. bereits 2022 in Kraft treten können.

Legt man die zukünftige Betonnorm DIN 1045-2 zugrunde, erhöht sich die potenzielle Substitutionsquote im Bereich Transportbeton auf 45 Vol.-% bzw. auf rund 800 kg RC-Gesteinskörnung und RC-Sand je m³ Beton. Für die Produktion von knapp 40 Mio. m³ RC-Beton im Transportbetonbereich würden dann etwa 32 Mio. t RC-Gesteinskörnung und RC-Sand eingesetzt werden können. Entsprechend könnte rechnerisch auch im Betonfertigteilbereich der Einsatz von RC-Gesteinskörnung und RC-Sand auf knapp 2 Mio. t ansteigen. Mit bis zu 4 Mio. t RC-Gesteinskörnung und RC-Sand im Betonwarenbereich könnten dann theoretisch insgesamt rund 38 Mio. t RC-Gesteinskörnung und RC-Sand für die Betonproduktion genutzt werden.

Gleichzeitig erhöht sich durch die Neuregelungen auch das Potenzial der mineralischen Bauabfälle, die theoretisch für den Betoneinsatz geeignet sind. Der reine Betonabbruch (AVV 170101) wurde zunächst mit 65 % als nutzbar für Beton veranschlagt, da bei der Aufbereitung rund 35 % RC-Sand anfallen. Kann RC-Sand zukünftig im Beton genutzt werden, ist der reine Betonabbruch zu 100 % nutzbar. Durch die zukünftig möglichen höheren Substitutionsquoten gemischter mineralischer Bauabfälle erhöht sich auch der nutzbare Anteil der Abfallfraktion AVV 170107 „Gemische aus Beton, Fliesen, Keramik“. Für die Potenzialanalyse wird daher statt bisher 40 % zukünftig ein Anteil von 50 % veranschlagt. Auch das Potenzial der Abfallfraktion AVV 170504 „Boden und Steine“ wird zukünftig mit 10 % statt heute mit 8 % höher angesetzt. In der Summe erhöht sich das zukünftige Potenzial der für Beton nutzbaren mineralischen Bauabfälle so auf rund 51 Mio. t. Für die Betonproduktion könnten davon zukünftig theoretisch rund 38 Mio. t RC-Gesteinskörnung und RC-Sand genutzt werden. Das potenzielle

Angebot wäre damit um etwa 13 Mio. t größer als die Verwendungsmöglichkeiten im RC-Beton.

Statistik

Im Zusammenhang mit Ressourceneffizienz und Circular Economy wird zunehmend die Frage diskutiert, wie der Anteil von Sekundärstoffen bei der Produktion neuer Bauprodukte gesteigert werden kann, z. B. der Anteil von RC-Gesteinskörnung und RC-Sand bei der Betonproduktion.

Derzeit liegt der statistisch erfasste Anteil der RC-Gesteinskörnung, die im Beton eingesetzt wird, bei lediglich 0,5 Mio. t. pro Jahr. Die Erfassung durch das Statistische Bundesamt erfolgt dabei über Sekundärabfallschlüsselnummern, also Abfallschlüsselnummern für Materialien nach Aufbereitung. Für aufbereitete RC-Gesteinskörnungen sieht das Statistische Bundesamt die Sekundärabfallschlüsselnummer AVV 191209-03 „Erzeugnisse für die Betonherstellung“ vor. Die Recyclingunternehmen bedienen diese Sekundärabfallschlüsselnummer jedoch nur sehr eingeschränkt, da die aufbereiteten RC-Gesteinskörnungen bisher vorrangig für Baustoffgemische im Straßen-, Tief-, Erd- und Deponiebau sowie zur Verfüllung von Abgrabungen eingesetzt werden.

Um den Einsatz von RC-Material im Betonbau in größerem Umfang zu ermöglichen, wäre die konsequentere Nutzung der Sekundärabfallschlüsselnummer AVV 191209-03 durch die Recyclingunternehmen wichtig. Gleichzeitig wäre diese Sekundärabfallschlüsselnummer in der Betonindustrie bekannter zu machen, damit sie bei den Recyclingunternehmen konkret nachgefragt wird. Der bbs bietet sich gerne für die Moderation entsprechender Gespräche mit den Recycling-Verbänden (Bundesgütegemeinschaft Recycling-Baustoffe BGRB und Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe BRB) sowie den Zement- und Betonverbänden an. Ziel solcher Gespräche könnte u. a. die Erarbeitung einer Handlungsanleitung zur Verwendung der Sekundärabfallschlüsselnummer AVV 191209-03 sein. Das Statistische Bundesamt würde eine entsprechende Industrieinitiative begrüßen.

Zur Unterstützung der offiziellen Statistik und zur Abstimmung der aufkommens- und verwendungsbezogenen Daten wäre zudem hilfreich, wenn die Betonverbände – z. B. durch jährliche Abfragen bei den Betonunternehmen – eine interne Statistik zum Einsatz von RC-Gesteinskörnung und RC-Sand aufbauen würden. Entsprechende Daten der Betonindustrie könnten vorübergehend im Monitoring-Bericht der Initiative Kreislaufwirtschaft Bau, die vom bbs für die gesamte Wertschöpfungskette Bau koordiniert wird, kommuniziert werden, bis die Daten in die offizielle Umweltstatistik des Statistischen Bundesamtes einbezogen werden.

Ökologische Aspekte

Der Herstellungsaufwand für RC-Gesteinskörnung und RC-Sand wird gemäß DIN EN 15804 (Umweltproduktdeklaration) bereits in der Ökobilanz der Primärgesteinskörnung berücksichtigt. Die recycelten Materialien gehen daher mit einem ökologischen Fußabdruck von NULL in die ökobilanzielle Bewertung von RC-Beton ein und verbessern dessen Bilanz entsprechend. Neben zahlreichen weiteren Umweltindikatoren reduzieren sich durch den Einsatz der RC-Materialien der „CO₂-Fußabdruck“ (Indikator Global Warming Potential GWP – Bezug Klimaschutz) und der „ADP“ (Indikator für den abiotischen Ressourcenverbrauch – Bezug Ressour-

censchutz). Ökobilanziell sind demnach „nur“ zusätzliche Transporte durch den Recyclingprozess zu berücksichtigen. Allerdings spielen die Transportentfernungen bei Primär- wie Sekundärrohstoffen eine entscheidende ökobilanzielle Rolle in der Baustoff-Steine-Erden-Industrie.

Limitierende Faktoren

Bei den hier angestellten Überlegungen handelt es sich um reine Potenzialbetrachtungen. Die Ausschöpfung der Potenziale wird durch verschiedene Faktoren limitiert:

- 94 % der für RC-Beton geeigneten RC-Materialien werden heute in anderen Bereichen (Straßen-, Tief-, Erd-, Deponiebau sowie Verfüllung von Abgrabungen) verwertet. Für eine Nutzung im Beton müssten diese RC-Materialien zumindest partiell umgelenkt werden.
- Inwieweit eine Umlenkung möglich ist, hängt u. a. von der zukünftigen Nachfrage im Marktsegment Tiefbau ab. Sollte zukünftig weniger RC-Material für Infrastrukturmaßnahmen benötigt werden, stehen größere Anteile für RC-Beton zur Verfügung.
- Mit der neuen Mantelverordnung werden rechtssichere und bundesweit einheitliche Regelungen für die Verwertung von RC-Materialien im Tiefbau geschaffen. Dagegen ist der bisherige formale Aufwand für den Einsatz im RC-Beton vergleichsweise hoch.
- Die ökobilanziellen Vorteile sollten nicht überschätzt werden. Hier spielt im Wesentlichen der Einfluss von Transporten bzw. Transportentfernungen eine entscheidende Rolle.
- Für die Betonproduktion werden sowohl qualitativ als auch quantitativ gleichmäßig anfallende RC-Materialien benötigt. Im urbanen Raum sind diese Voraussetzungen eher gegeben als in ländlichen Gebieten.
- Der Transport von RC-Materialien ist aufwändig. Für eine nachhaltige Produktion von RC-Beton ist ein enges Netz an RC-Anlagen mit entsprechend kurzen Transportwegen erforderlich.
- RC-Materialien sind Abfälle, die dem Abfallregime unterliegen. Der Umgang mit ihnen führt im Betonwerk zu erhöhtem Aufwand, z. B. im Rahmen erforderlicher BImSch-Anlagengenehmigungen, des Transports, der Lagerung und des Prüf-, Überwachungs- und Dokumentationsaufwandes.

Vorläufige Schlussfolgerungen

- Theoretisch steht ausreichend Potenzial an RC-Gesteinskörnung und RC-Sand zur Verfügung, so dass jeder als RC-Beton verwendbare Beton auch entsprechend hergestellt werden könnte.
- Um die Akzeptanz zu fördern und den formalen Aufwand zu reduzieren, sollten die abfallrechtlichen Rahmenbedingungen verbessert werden. Insbesondere sollten geeignete RC-Materialien nach der Aufbereitung aus dem Abfallregime entlassen werden (Ende der Abfalleigenschaft).
- Für die Produktion von RC-Beton ist vorrangig reiner Betonbruch (AVV 170101) geeignet. Durch Gespräche mit Recycling-, Zement- und Betonverbänden könnte dazu beigetragen werden, die Sekundärabfallschlüsselnummer AVV 191209-03 konsequenter zu nutzen und so einen Markt für „Erzeugnisse für die Betonherstellung“ zu entwickeln.
- Unterstützend könnte gemeinsam mit dem Statistischen Bundesamt eine Handlungsanleitung für die Nutzung der Sekundärabfallschlüsselnummer erarbeitet werden.

- Der selektive Rückbau sollte forciert werden, da Gemische grundsätzlich aufwändiger aufbereitet werden müssen und die Substitutionsmöglichkeiten bei der Produktion neuer Baustoffe enger begrenzt sind.
- Die öffentliche Förderung von Recycling-Technologien sollte ausgeweitet werden, um Gemische zukünftig sortenreiner und perspektivisch kostengünstiger aufbereiten zu können.
- Es ist fraglich, ob Primärbaustoffsteuern eine ökologische Lenkungswirkung entfalten und den Einsatz von RC-Material bei der Produktion neuer Baustoffe befördern. Vielmehr ist eine Verteuerung wichtiger, auch politisch gewünschter, Bauprojekte (Wohnungsbau, Infrastruktur) zu erwarten.
- Es ist auch fraglich, ob bundesweite Recyclingquoten zu wirtschaftlichen und ökologischen Verbesserungen führen. Hier wären aufgrund des regional unterschiedlichen qualitativen und quantitativen Anfalls von RC-Material erhebliche Umsetzungsprobleme zu erwarten.
- Die öffentliche Hand sollte ihre Vorbildfunktion wahrnehmen und Sekundärstoffe gleichberechtigt in Ausschreibungen einbeziehen, wobei die regionale Situation berücksichtigt werden sollte.

Berlin im Juli 2021