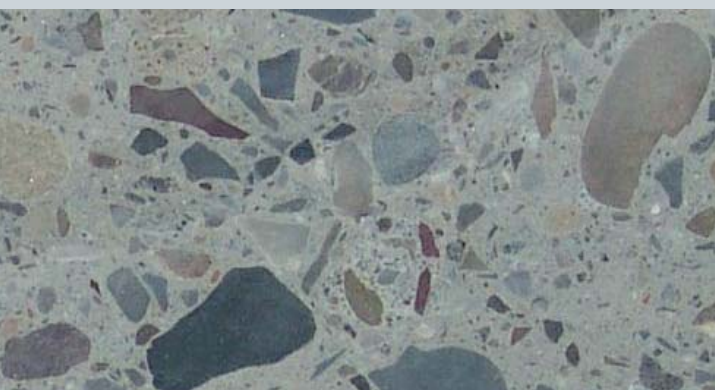
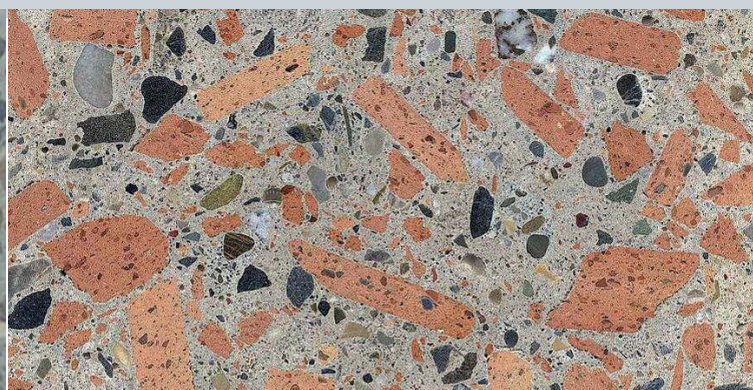


Aktualisiertes SIA-Merkblatt «Recyclingbeton»

Seit Jahren sind Bestrebungen im Gang, die Wiederverwertung von rückgebauten mineralischen Baustoffen zu fördern. Bereits 1994 erschien die Empfehlung SIA 162/4 «Recyclingbeton», die sich auf die Tragwerksnormen SIA 160ff. abstützte. Zur Präzisierung dieser Regelungen und für die Bemessung von Recyclingbeton unter Berücksichtigung der heutigen Erkenntnisse ist im Februar 2010 das SIA-Merkblatt MB 2030 «Recyclingbeton» veröffentlicht worden. Text: Cathleen Hoffmann und Konrad Moser // Fotos: zvg.



Recyclingbeton RC-C mit einer Druckfestigkeit von $f_{cm} = 45 \text{ N/mm}^2$



Recyclingbeton RC-M mit einer Druckfestigkeit von $f_{cm} = 25 \text{ N/mm}^2$

Das aktualisierte Merkblatt soll die sichere Anwendung von Recyclingbeton im Betonbau in Ergänzung der heutigen Tragwerksnorm SIA 262 ermöglichen. Es führt in knapper Form die Definitionen und die wesentlichen mechanischen Eigenschaften des Recyclingbetons sowie ergänzende Bemessungsgrundlagen auf. Des Weiteren gibt es Hinweise zu den Einsatzmöglichkeiten. Es richtet sich an Planer, Bauherren und Behörden sowie auch an Unternehmer für Rückbau, Aufbereitung und Betonherstellung und an die Bauunternehmer. Im Nachfolgenden werden die im Merkblatt enthaltenden Festlegungen vorgestellt.

Recycling-Gesteinskörnung

Das SIA-Merkblatt MB 2030 «Recyclingbeton» gilt für die Verwendung von Betongranulat C und Mischgranulat M zur Herstellung von Beton nach der Norm SN EN 206-1 [Beton - Teil 1]. Betongranulat wird durch die Aufbereitung von Betonabbruch gewonnen, der aus dem Rückbau von bewehrten oder unbewehrten Betonbauteilen stammt. Durch die Aufbereitung von Mischabbruch, der aus dem Rückbau von Betonbauteilen, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinmauerwerk ge-

wonnen wird, entsteht der Recyclingbaustoff Mischgranulat (teilweise auch als Mischabbruchgranulat bezeichnet).

Die Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung von Betongranulat und Mischgranulat sind in den Normen EN 12620:2002+A1:2008 [Gesteinskörnung Beton] und SN 670102b [Gesteinskörnung Beton] geregelt und im Merkblatt ergänzend definiert, vgl. Tabelle 1 und 2.

Das Betongranulat ist ein Korngemisch, welches im Wesentlichen

- mindestens 25 M.-% rezyklierte Körner R_c , bestehend aus Beton, Betonprodukten, hydraulisch gebundener Gesteinskörnung, Mörtel sowie Mauersteinen aus Beton, und
- höchstens 5 M.-% rezyklierte Körner R_b , bestehend aus Mauer- und Dachziegeln aus gebranntem Ton, Kalksandsteinen und nicht schwimmenden Porenbetonsteinen, enthält.

Das Mischgranulat ist ein Korngemisch, welches im Wesentlichen

- mindestens 5 M.-% R_b und
- mindestens 25 M.-% $R_b + R_c$ enthält.

Die Grenzwerte für Körner aus bitumenhaltigem Material (R_a) und die Nebenbestandteile (X , R_g , FL) sind gleich wie bei Beton aus na-

türlicher Gesteinskörnung. Gesteinskörnungen aus der Bodenwäsche entsprechen im technischen Sinne dieses Merkblattes den natürlichen Gesteinskörnungen, da sich die resultierenden Betoneigenschaften nicht wesentlich von denjenigen des Betons aus natürlichen Gesteinskörnungen unterscheiden. Für Recyclingbeton gemäss dem SIA-Merkblatt 2030 sind auch die feinen Gesteinskörnungen (Korngruppe 0/4) für die Herstellung von Konstruktionsbeton zu verwenden, ausgenommen bei speziellen Anforderungen, beispielsweise bezüglich Dauerhaftigkeit.

Eigenschaften

Grundsätzlich wird der Recyclingbeton als Beton nach den Normen SN EN 206-1 und SIA 262 [Betonbau] behandelt und verwendet, sofern das Merkblatt keine anders lautenden Angaben enthält. Die Anforderungen an den Wasserzementwert (w/z -Wert) gelten wie bei Beton aus natürlicher Gesteinskörnung gemäss SN EN 206-1. Das heisst, dass hier die wesentliche Wasseraufnahme wie für natürliche Gesteinskörnung nach der Norm SN EN 1097-6 [Prüfverfahren von Gesteinskörnungen] zu bestimmen und bei der Berechnung des w/z -Werts zu berücksichtigen sind.

Tabelle 1: Qualitätsanforderungen an Gesteinskörnungen für Beton nach der Norm SN EN 206-1

Bezeichnung des Betons	Bezeichnung der Gesteinskörnung	Gesteinskörnungen nach SN EN 12620 ¹⁾				Fremdstoffe ²⁾	
		Ru und natürliche Gesteinskörnung	R _c	R _b	R _a	X + R _g	FL
C../.. ³⁾	Natürliche Gesteinskörnung	≥ 75 M.-%	< 25 M.-%	≤ 5 M.-%	≤ 1 M.-%	≤ 0,3 M.-%	≤ 2 cm ³ /kg
C../.. ³⁾ RC-C	Betongranulat ⁴⁾		≥ 25 M.-%	≤ 5 M.-%	≤ 1 M.-%	≤ 0,3 M.-%	≤ 2 cm ³ /kg
C../.. ³⁾ RC-M	Mischgranulat ⁴⁾	< 95 M.-%		≥ 5 M.-%	≤ 1 M.-%	≤ 0,3 M.-%	≤ 2 cm ³ /kg

Anmerkungen:

- 1) Anteile gemäss der Auszählung der Körner ≥ 4 mm nach der Norm SN EN 933-11 [Prüfverfahren von Gesteinskörnungen].
Falls höhere Gehalte an R_c und R_u bzw. R_b gefordert werden, sind diese gemäss den Kategorien der Tabelle 20 der Norm SN EN 12620 zu definieren
- 2) Für besondere Anwendungen, die eine hochwertige Oberflächenbeschaffenheit fordern (z. B. Sichtbeton), gilt die Kategorie FL0.2-.
- 3) Beton gemäss SN EN 206-1, z. B. C25/30
- 4) Für die Gesteinskörnung der Recyclingbetone RC-C und RC-M ist einzuhalten: R_c + R_b ≥ 25 M.-%
M.-%: Massenprozent

sichtigen ist. Vor allem bei höherem Gehalt an Recycling-Gesteinskörnung können sich die Frisch- und Festbetoneigenschaften von denjenigen des Betons aus natürlicher Gesteinskörnung wesentlich unterscheiden. So weist der Recyclingbeton im Vergleich zu Beton mit natürlicher Gesteinskörnung gleicher Druckfestigkeit meist eine höhere Wasseraufnahme, ein höheres Schwindmass, eine höhere Kriechzahl und einen niedrigeren Elastizitätsmodul auf. Da jedoch die genaue Zusammensetzung eines Recyclingbetons vor dessen Herstellung nicht bekannt ist, der Planer aber Angaben zum Elastizitätsmodul, Schwinden und Kriechen benötigt, wurden im Merkblatt die in Tabelle 3 aufgeführten Regeln erstellt. Dabei basiert die Beurteilung der ausgewählten Recyclingbetoneigenschaften auf dem mittleren Elastizitätsmodul E_{rcm} und der mittleren Rohdichte ρ_{rcm}. Des Weiteren wurde im Merkblatt festgelegt, dass die Betonhersteller den Elastizitätsmodul für den Recyclingbeton RC-M bei jeder dritten und für RC-C bei jeder sechsten Druckfestigkeitsprüfung nach SIA 262/1 [Betonbau - Ergänzende Feststellungen] zu ermitteln und in der Produktdeklaration anzugeben haben.

Ausschreibung

Die Druckfestigkeit dient der primären Bezeichnung auch des Recyclingbetons. Die Bezeichnungen der Betonsorten folgen der heutigen Praxis für Betone nach Eigenschaften, mit den Zusätzen RC-C für Recyclingbeton mit Betongranulat und RC-M für Recyclingbeton mit Mischgranulat. Der zu gewährleistende mittlere Elastizitätsmodul E_{rcm} bzw. die mittlere Rohdichte ρ_{rcm} sind ebenfalls aufzuführen.

Tabelle 2: Gesteinskörnung für Beton: Bezeichnungen der Bestandteile

R _u	Ungebundene Gesteinskörner, Naturstein und hydraulisch gebundene Gesteinskörner
R _c	Körner aus Beton, Betonprodukten, Mörtel und Mauersteinen aus Beton
R _b	Körner aus Mauer- und Dachziegeln aus gebranntem Ton, Kalksandsteinen, Porenbetonsteinen (nicht schwimmend)
R _a	Körner aus bitumenhaltigem Material
R _g	Glaskörner
X	Körner aus sonstigen Materialien: Ton, Erde, Metalle, Holz, Kunststoff, Gummi, Gips, usw
FL	Körner aus schwimmendem Material
E _{rcm}	Mittelwert des Elastizitätsmoduls von Recyclingbeton
E _{cm}	Mittelwert des Elastizitätsmoduls von Beton aus natürlicher Gesteinskörnung
ρ _{rcm}	Mittelwert der Rohdichte von Recyclingbeton
ρ _{cm}	Mittelwert der Rohdichte von Beton aus natürlicher Gesteinskörnung
ε _{rcm,∞}	Endschwindmass von Recyclingbeton
ε _{cm,∞}	Endschwindmass von Beton aus natürlicher Gesteinskörnung
φ _r (t, t ₀)	Kriechzahl von Recyclingbeton
φ(t, t ₀)	Kriechzahl von Beton aus natürlicher Gesteinskörnung

Der Recyclingbeton RC-C als Beton nach Eigenschaften wird beispielsweise wie folgt bezeichnet: C25/30 RC-C, XC3(CH), D_{max} 32, Cl 0.20, C3, E_{rcm} ≥ 30 000 N/mm²

Die Bezeichnung des Recyclingbetons RC-M erfolgt analog als Beton nach Eigenschaften: C25/30 RC-M, XC2(CH), D_{max} 32, Cl 0.20, C2, E_{rcm} ≥ 25 000 N/mm² oder C20/25 RC-M, XC1(CH), D_{max} 16, Cl 0.20, C2, E_{rcm} ≥ 20 000 N/mm².

Die Gehalte an R_c und R_b sind zu deklarieren, beispielsweise im Sortenverzeichnis.

In der Praxis zeigt sich, dass Gesteinskörnungen, die ausschliesslich aus Betonabbruch gewonnen werden, einen Anteil an R_c von bis zu 70 M.-% enthalten können; aufbereitetes Mischgranulat kann einen Gehalt an R_b von bis zu 20 M.-% aufweisen. Die Beurteilung von Recyclingbeton auf der Basis ökologischer Kriterien ist unabhängig von den hier aufgeführten technischen Eigenschaften für Recyclingbeton.

Einsatzmöglichkeiten

Infolge der eher geringen Erfahrungen zu dauerhaftigkeitsrelevanten Aspekten wie Frost-Tausalz-Widerstand, Chloridwiderstand (hinsichtlich Bewehrungskorrosion), Gaspermeabilität (hinsichtlich Karbonatisierung des Betons) und Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) ist eine – eventuell restriktiv erscheinende – Beschränkung für die Verwendung von Recyclingbeton auf bestimmte Expositions- ▶



klassen sinnvoll. Bis weitere Erfahrungen vorliegen, sind folgende Expositionen für Recyclingbeton empfehlenswert:

Der RC-C wird üblicherweise als NPK A-, NPK B- und eventuell NPK C-Beton angeboten. Einsatzmöglichkeiten von Recyclingbeton RC-C im Hochbau als Konstruktionsbeton sind sowohl Innen- als auch Aussenwände und Decken. Bei aufgezwungenen oder behinderten Verformungen führt der geringere Elastizitätsmodul jedoch zu geringeren Spannungen im Bauteil, so dass ihr Effekt zum Teil kompensiert wird. Beim Einsatz von RC-C in Geschossdecken sind bei der Berechnung der Durchbiegungen die niedrigeren Elastizitätsmodule und die grösseren Kriechverformungen des Recyclingbetons zu berücksichtigen. Die Bemessung erfolgt bei Recyclingbeton wie bei Beton mit natürlicher Gesteinskörnung nach SIA 262. Ein RC-M mit einem Gehalt von 5 bis 25 M.-%en R_b kann für die Expositionsklassen XC1(CH), XC2(CH) und XC3(CH) verwendet werden. Ein RC-M mit einem Gehalt von mehr als 25 M.-%en R_b ist ohne entsprechende Voruntersuchungen nur für die Expositionsklasse XC1(CH, trocken) zu verwenden. Beim Einsatz von RC-M in Decken ist ausserdem zu beachten, dass die Querkraftbemessung und der Durchstanznachweis der SIA 262 mit $D_{max} = 0$ wie für Leichtbeton zu führen ist. Die Eigenschaften des RC-M (Elastizitätsmodul, Schwinden und Kriechen) unterscheiden sich tendenziell stärker als jene des RC-C von Beton mit natürlicher Gesteinskörnung. Deshalb ist ein Einsatz von RC-M in Bauteilen vorzuziehen, bei denen ein erhöhtes Schwinden und Kriechen unproblematisch ist. Für die Expositionsklassen XD(CH), XF(CH) und XA sowie generell für Spannbeton und ermüdungsgefährdete Bauteile darf RC-M nicht und RC-C nur nach den entsprechenden Voruntersuchungen verwendet werden.

Ausblick

Das Merkblatt soll die Anwendung des Recyclingbetons auf breiter Front fördern. Die obigen Einschränkungen gewährleisten, dass der Recyclingbeton dort sicher angewandt wird, wo er sich am besten eignet. Die Reserven an natürlichen Gesteinskörnungen werden geschont. Zudem können bei geeigneter Wahl des Recyclingunternehmers in der Nähe der Baustelle (Abbruch, Recycling, Betonherstellung und Lieferung) die Transportwege minimiert werden. ■

Tabelle 3: Abschätzungen der Eigenschaften von Recyclingbeton nach SIA-Merkblatt 2030

Elastizitätsmodul		ohne deklarierte Werte	bei deklarierter Rohdichte ($\varphi_{cm} = 2450 \text{ kg/m}^3$)
RC-C	$R_c \leq 50 \text{ M.-%}$	$E_{rcm} \approx E_{cm} \cdot 0.9$	$E_{rcm} \approx E_{cm} \cdot 0.9 \cdot \frac{\tilde{n}_{rcm}}{\tilde{n}_{cm}}$
	$R_c > 50 \text{ M.-%}$	$E_{rcm} \approx E_{cm} \cdot 0.8$	
RC-M	$R_c \leq 50 \text{ M.-%}$	$E_{rcm} \geq 19\,000 \text{ N/mm}^2$ $\rho_{cm} \geq 2000 \text{ kg/m}^3$	$E_{rcm} \approx E_{cm} \cdot 0.9 \cdot \frac{\tilde{n}_{rcm}}{\tilde{n}_{cm}}$
	$R_c > 50 \text{ M.-%}$		
Endschwindmass		$\epsilon_{rcm, \infty} = \epsilon_{cm, \infty} \cdot E_{cm} / E_{rcm}$	
Kriechzahl		$\varphi_r(t, t_0) = 1.25 \cdot \varphi(t, t_0)$	

Tabelle 4: Empfohlene Expositionsklassen für Recyclingbeton

Recyclingbeton		Expositionsklasse				
	Anteile	X0	XC1(CH) trocken	XC1(CH) nass XC2(CH) XC3(CH)	XC4(CH)	XD(CH), XF(CH), XA
RC-C	$R_b \geq 25 \text{ M.-%}$ $R_b < 5 \text{ M.-%}$	zulässig				①
RC-M	$5 \text{ M.-%} \leq R_b \leq 25 \text{ M.-%}$ und $R_c + R_b \geq 25 \text{ M.-%}$	zulässig			①	nicht zulässig
	$R_b > 25 \text{ M.-%}$	zulässig		①	①	

① Nach entsprechenden Voruntersuchungen zulässig
M.-%: Massenprozent

Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung bei fünf Proben Mischgranulat (oben). Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung bei drei Proben Betongranulat (unten).

