

Recyclingbeton – aktuelle Erfahrungen und neuste technische Erkenntnisse

Cathleen Hoffmann

EMPA, Abteilung Beton/Bauchemie, Dübendorf



Materials Science & Technology

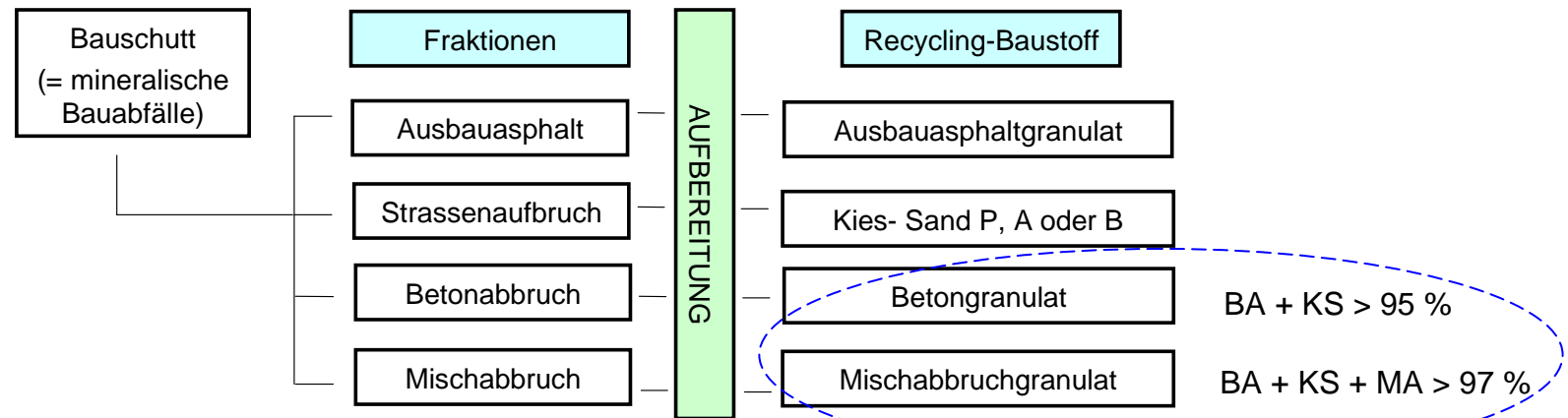
- Definition Recycling-Gesteinskörnung und Recyclingbeton
- Eigenschaften des Recycling-Granulats
- Eigenschaften des Recyclingbetons
- Einsatzmöglichkeiten
- Zusammenfassung

Definition Recycling-Gesteinskörnung

SN 670102b = EN 12620: 2002+A1:2008

- Gesteinskörnung (GK) aus aufbereitetem anorganischen Material, das zuvor als Baustoff eingesetzt war
- Definition der Bestandteile und Kategorie im Beton (Auszählung nach EN 933-11 [$>8\text{mm}$]) Betongranulat: $R_u < 75\%$, $R_c > 25\%$ Mischgranulat: $R_b > 5\%$

BAFU-Richtlinie UV-0631-D / KBOB-Merkblatt



- Material aus der Bodenwäsche = natürliche GK (BAFU)
= Recycling-Gesteinskörnung (KBOB)

Definition Recyclingbeton (RC)

SN EN 206-1, Nationaler Anhang:

Beton mit Gesteinskörnung ≥ 25 Masse-% aus
Betongranulat und /oder Mischabbruchgranulat
im Sinne der BUWAL-Richtlinie (heutige BAFU)
„Richtlinie für die Verwertung mineralischer
Bauabfälle“

Definition Recyclingbeton (RC)

SIA Merkblatt 2030 Recyclingbeton

Beton aus Betongranulat (RC-C)

$$R_c \geq 25 \text{ M.-%}; \text{ und } R_b \leq 5 \text{ M.-%}$$

Beton aus Mischgranulat (RC-M)

$$R_b \geq 5 \text{ M.-%} \text{ \& } (R_c + R_b) \geq 25 \text{ M.-%}$$

Gesteinskörnung > 4mm

Gesteinskörnung

natürliche Gesteinskörnung



Betongranulat



Material aus der Bodenwäsche



Mischgranulat



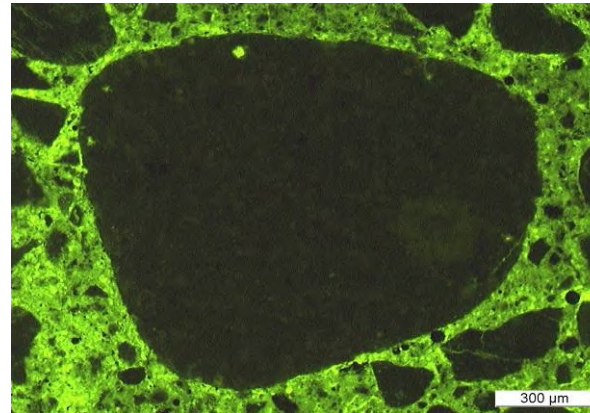
Eigenschaften der Recycling-Gesteinskörnung

Kornform und Porosität

natürliches Gesteinskorn

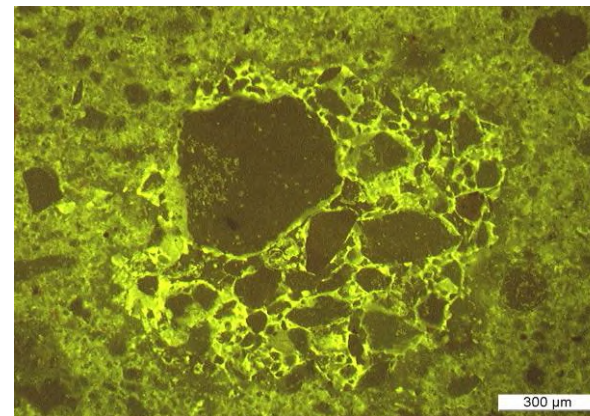


Dünnschliffmikroskopie
(fluoreszierendes Auflicht)



- gerundet
- viele kubische Körner
- tiefe Porosität

Recycling-Gesteinskorn

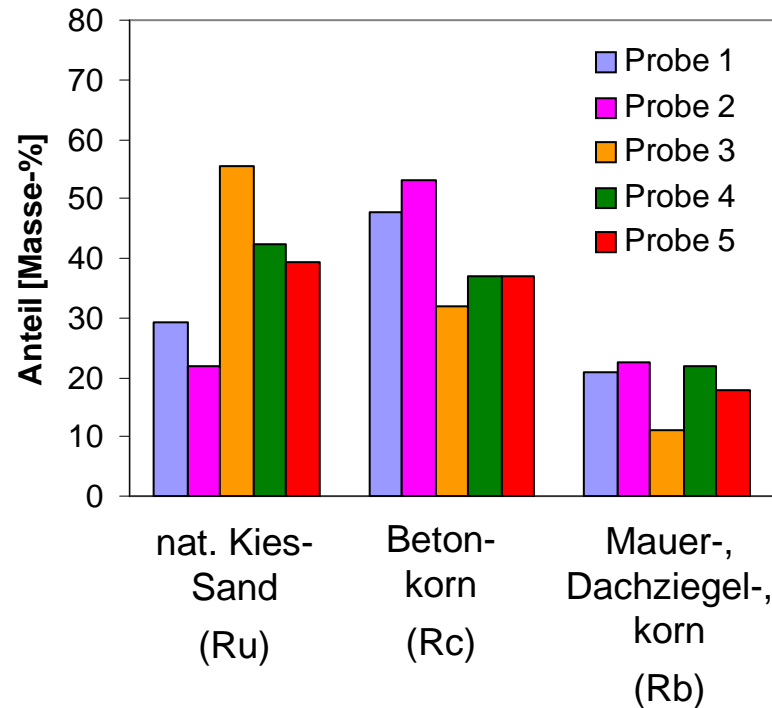


- gebrochen
- nicht kubische Körner
- hohe Porosität

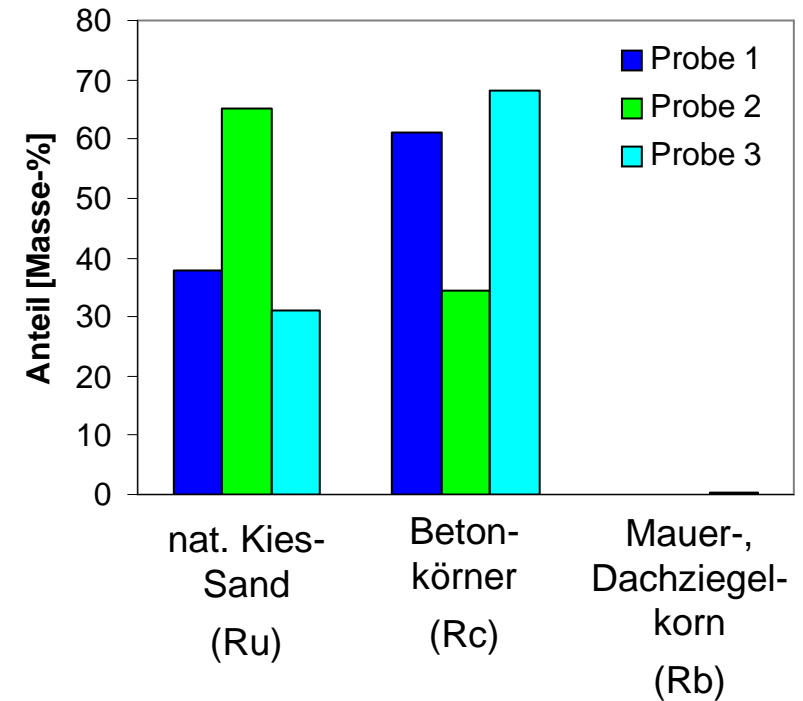
Eigenschaften der Recycling-Gesteinskörnung

Probeentnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Mischgranulat (M/100%)



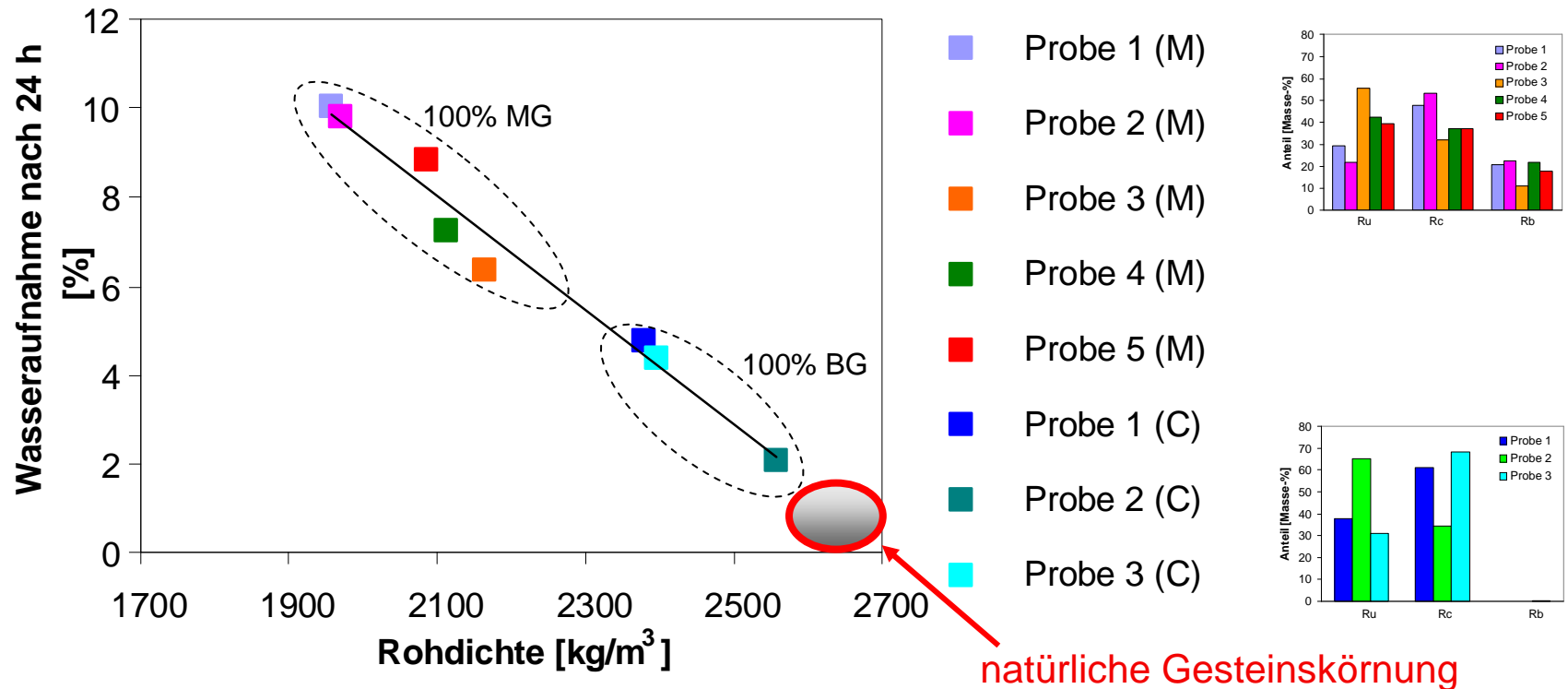
Betongranulat (C/100%)



- Inhomogenes Ausgangsmaterials ⇒ Schwankungen in der Zusammensetzung des Granulats

Eigenschaften der Recycling-Gesteinskörnung

Inhomogenes Ausgangsmaterial → Schwankungen der Eigenschaften des Granulats



- direkter Zusammenhang zwischen Rohdichte und Wasseraufnahme

Zusammenfassung Recycling-Gesteinskörnung

Besonderheiten im Vergleich zu natürlicher Gesteinskörnung

- hoher Anteil an nicht kubischen Körnern mit gebrochener Oberfläche
 - höherer Hohlraumgehalt des Granulatgemischs ⇒ erhöhter Zementleimbedarf
 - grosse Varianz in der Zusammensetzung
 - höhere Porosität des Granulats ⇒ grössere Wasseraufnahme
- ⇒ Einfluss auf Frisch- und Festbetoneigenschaften und deren Schwankungsbreite

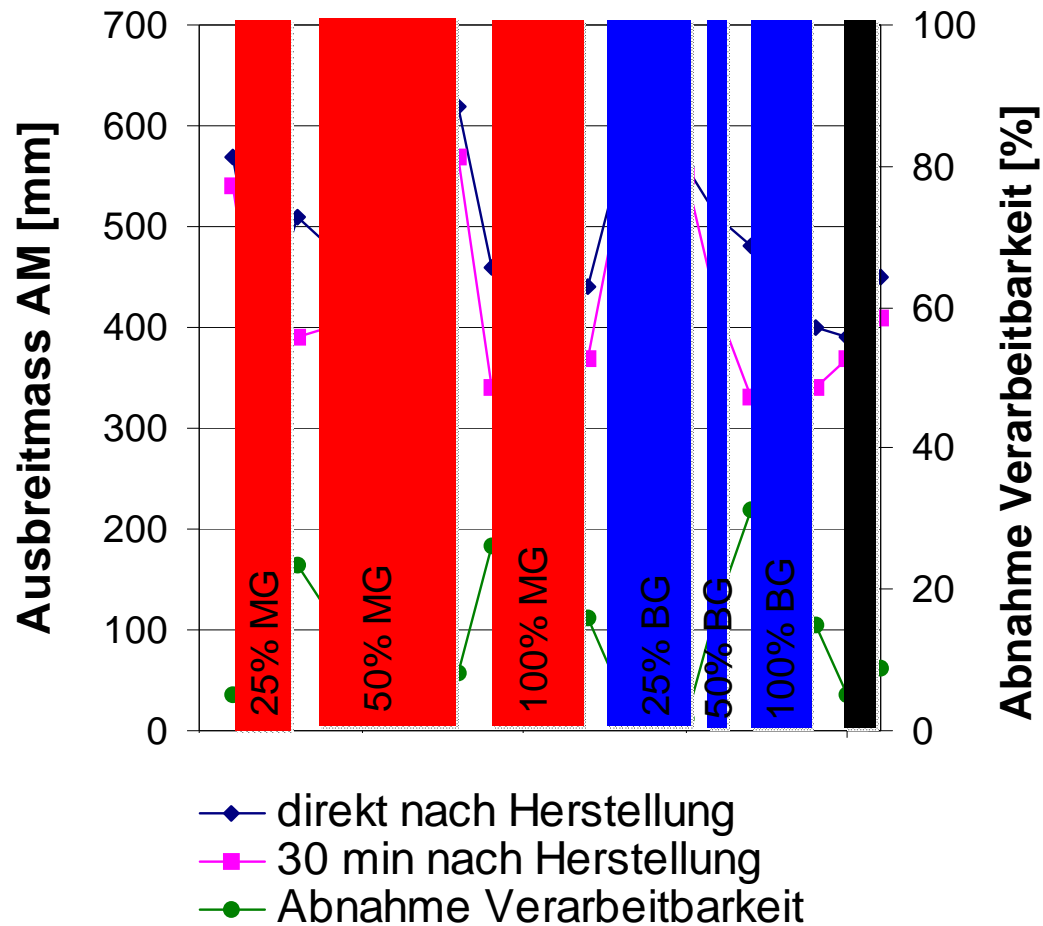
Zusammenfassung Recycling-Gesteinskörnung

Besonderheiten im Vergleich zu natürlicher Gesteinskörnung

- hoher Anteil an nicht kubischen Körnern mit gebrochener Oberfläche
 - höherer Hohlraumgehalt des Granulatgemischs ⇒ erhöhter Zementleimbedarf
 - grosse Varianz in der Zusammensetzung
 - höhere Porosität des Granulats ⇒ grössere Wasseraufnahme
- ⇒ Einfluss auf Frisch- und Festbetoneigenschaften und deren Schwankungsbreite

Frischbetoneigenschaften

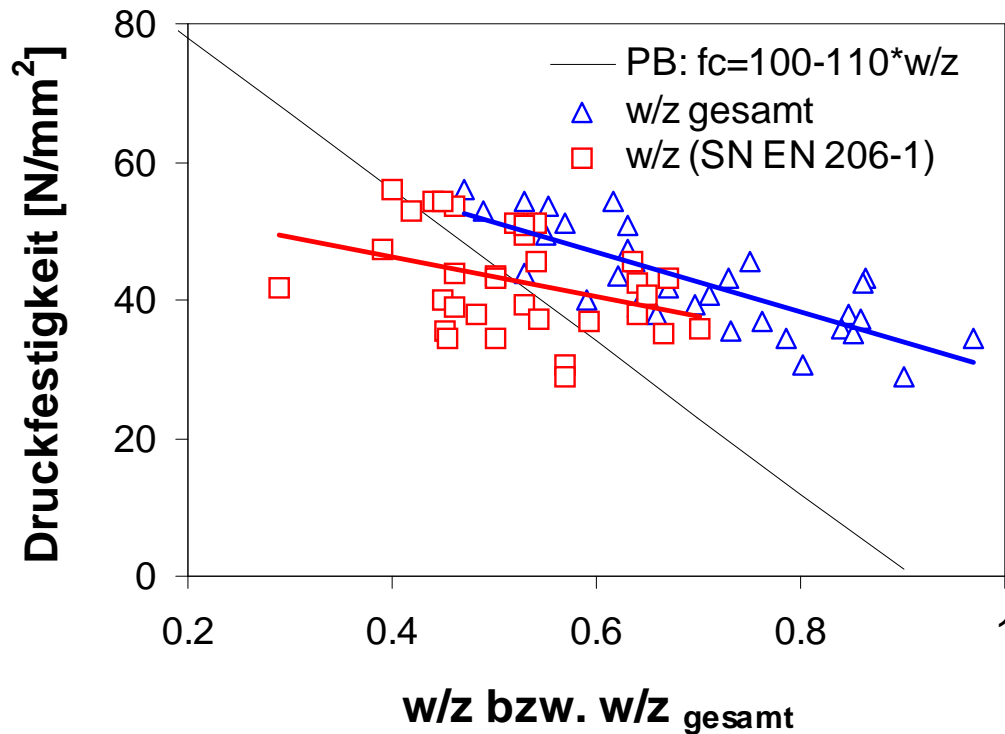
Abnahme der Verarbeitbarkeit (Ausbreitmass, 0 – 30 min)



- RC: Wasseraufnahme der Gesteinskörnung im Frischbeton
- ⇒ Wahrscheinlichkeit einer relativ starken Abnahme der Verarbeitbarkeit höher als bei PB (PB = Primärbeton = Beton mit natürlicher Gesteinskörnung)

Eigenschaften des Recycling-Betons (RCB)

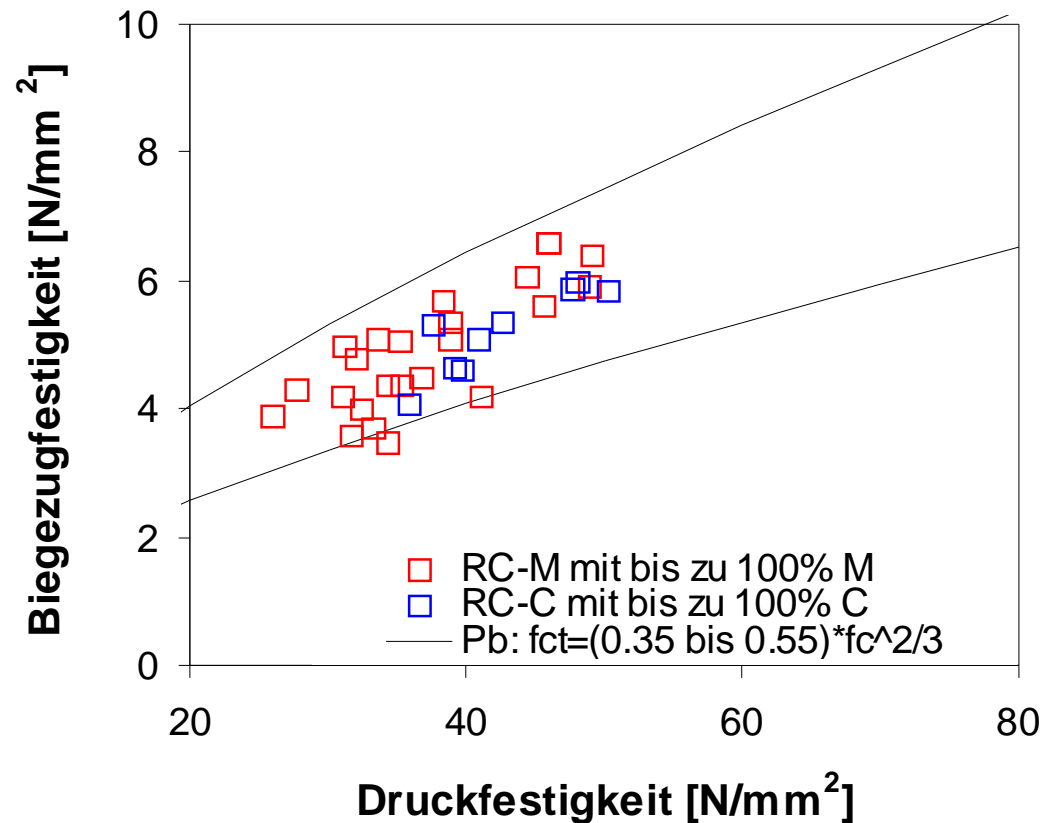
w/z - Druckfestigkeit



- PB = Primärbeton = Beton mit natürlicher Gesteinskörnung
- lineare Beziehung zwischen w/z und f_c
- unterschiedlicher Gradientenverlauf
 - Wasseraufnahme
 - mech. Eigenschaften der Gesteinskörnung
 - Zementsteinvolumen
 - ⇒ f_c = Referenzgrösse

Eigenschaften des Recyclingbetons (RC)

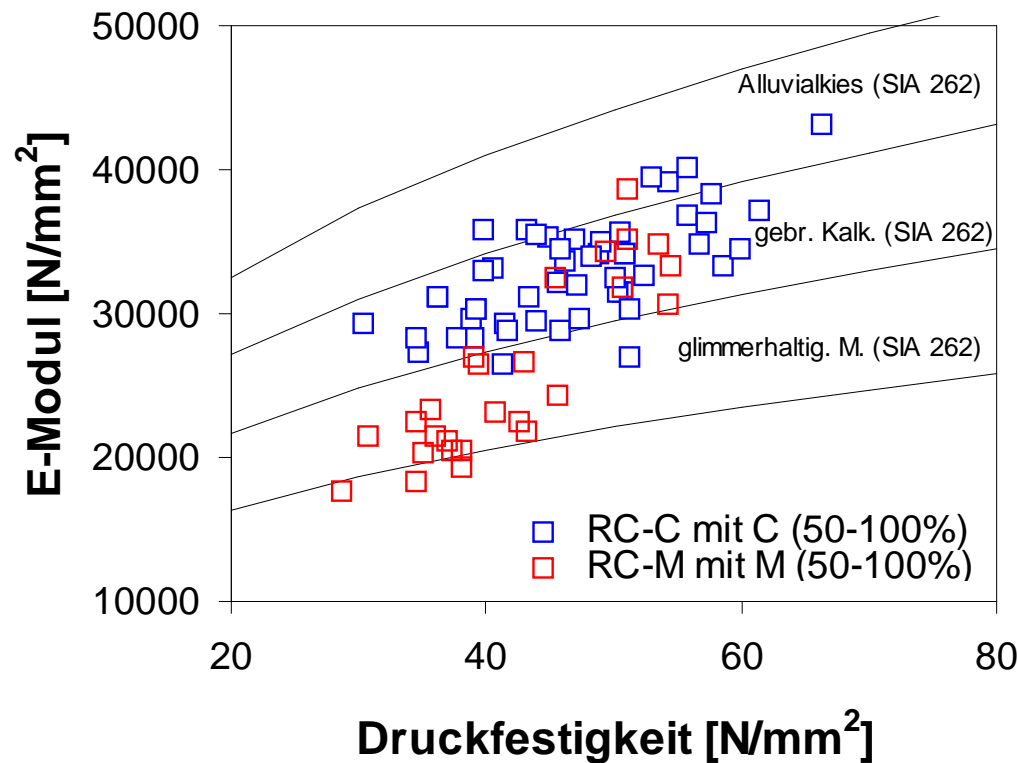
Druckfestigkeit – Biegezugfestigkeit



- lineare Beziehung zwischen f_c und f_{ct} (BZ)
- vergleichbares Verhalten von RC und PB

Eigenschaften des Recyclingbetons (RC)

Druckfestigkeit – E-Modul



E-Modul RC beeinflusst durch E-Modul Recycling-Gesteinskörnung

➤ RC-C mit Betongranulat (C):

$$E_{rcm} \approx 0.9 \cdot E_{cm} (\leq 50\% Rc)$$

$$E_{rcm} \approx 0.8 \cdot E_{cm} (> 50\% Rc)$$

➤ RC mit Mischgranulat (M):

$$E_{rcm} \approx E_{cm} \cdot (\rho_{rcm} / \rho_{cm}) (< 50\% M!)$$

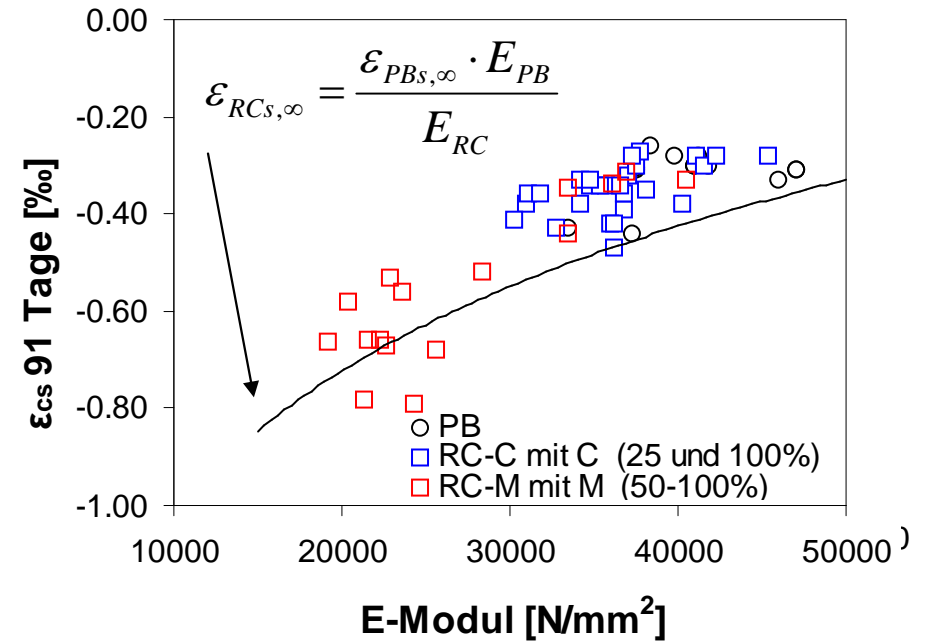
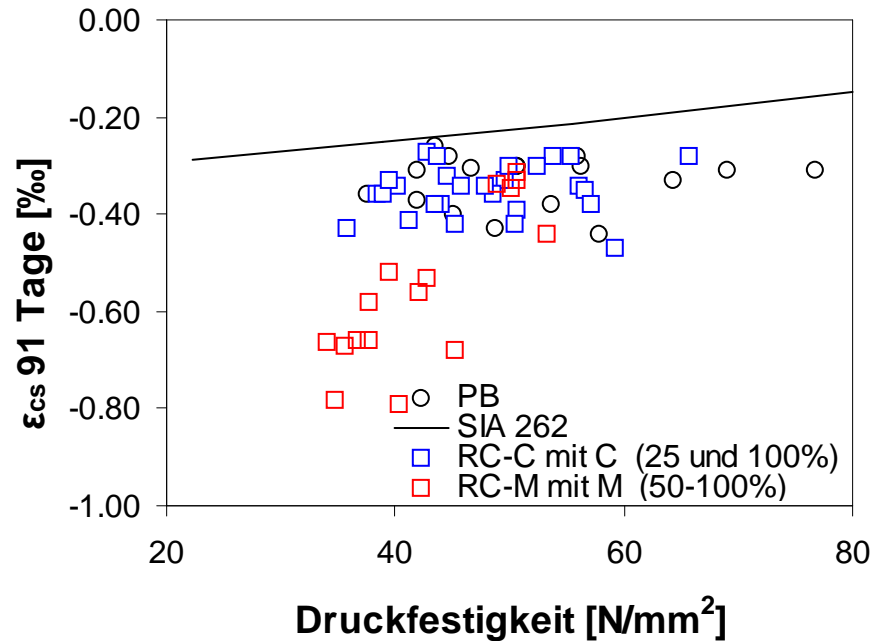
mit:

rcm = Mittelwert für RC

cm = Mittelwert für PB

Eigenschaften des Recyclingbetons (RC)

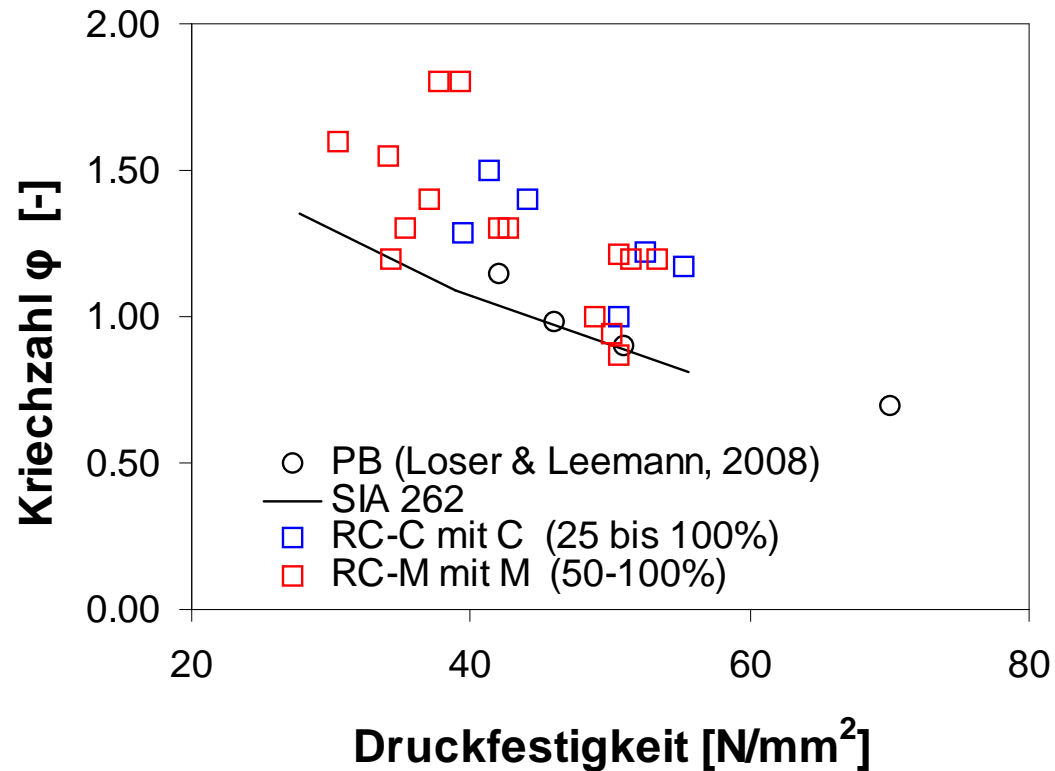
Schwinden



- Schwinden RC > Schwinden PB bei gleicher Druckfestigkeit
- Abschätzung Schwindmass über E-Modul {Merkblatt „Recyclingbeton“ (SIA-MB 2030)}

Eigenschaften des Recyclingbetons (RC)

Druckfestigkeit – Kriechzahl φ

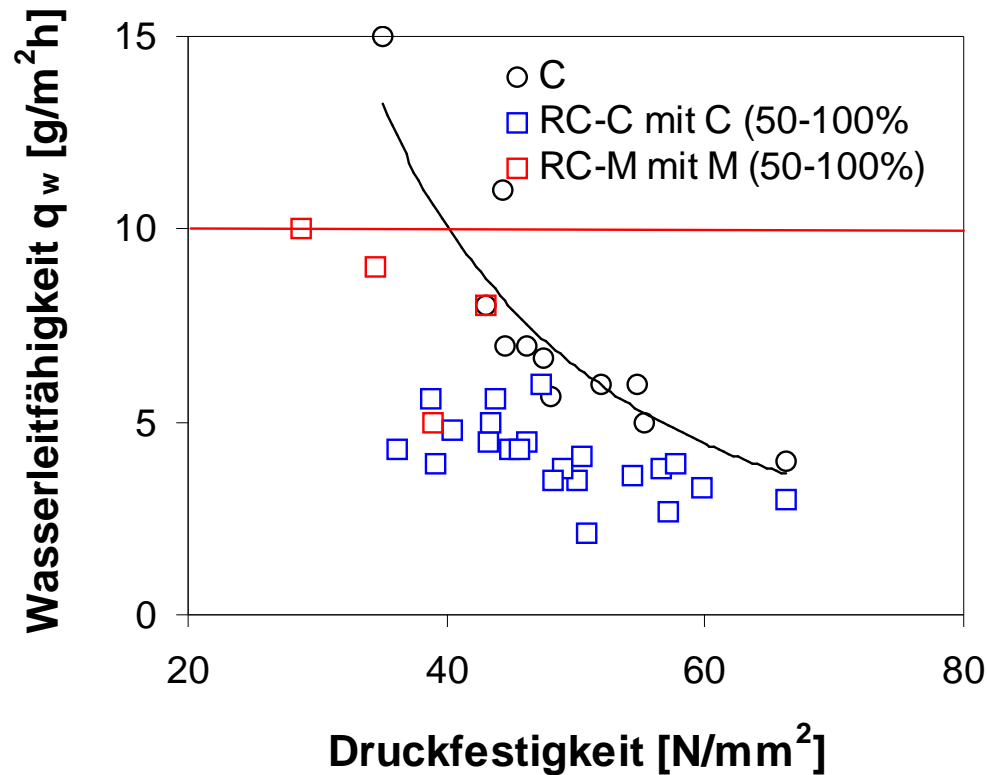


$$\varphi(t, t_0) = \frac{\varepsilon_{cc}(t, t_0)}{\varepsilon_{el}(t_0)}$$

- Kriechzahl $\varphi_{RC} > \varphi_{PB}$ bei vergleichbarer Druckfestigkeit
- ⇒ ungeeignet für Spannbeton

Eigenschaften des Recyclingbetons (RC)

Druckfestigkeit – Wasserleitfähigkeit (q_w)



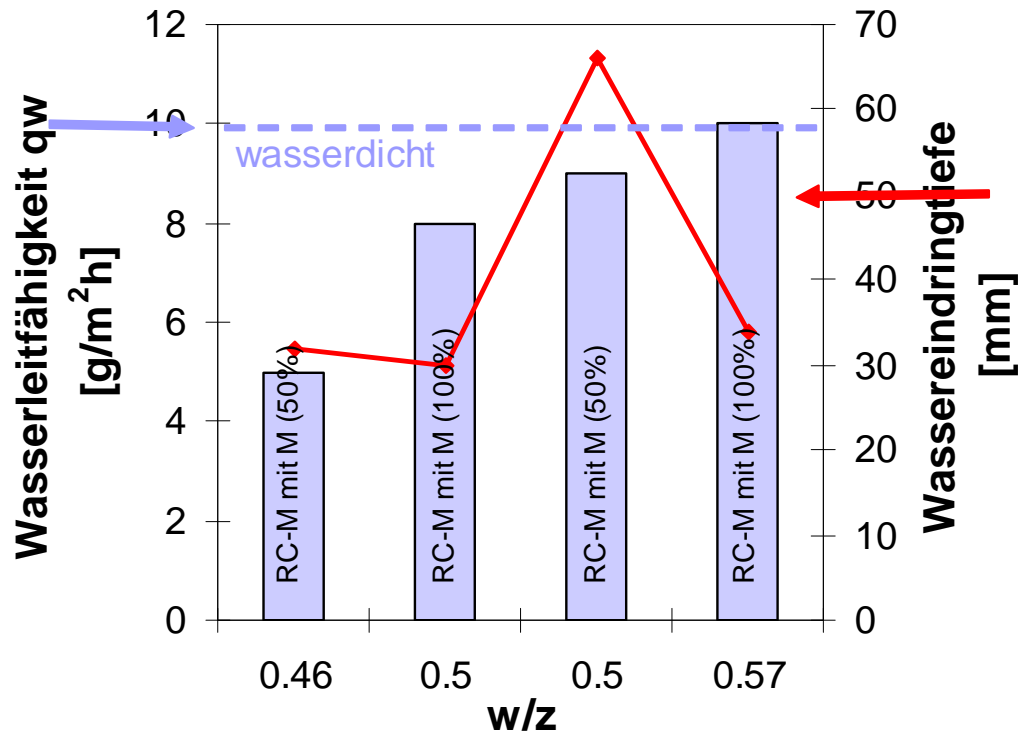
- Wasserleitfähigkeit des RC kleiner als beim PB
- Prüfmethode nach SIA 262/1 für RC anwendbar?
- Bestimmen der Wassereindringtiefe nach SN EN 12390-8
WD = Wasserfront < 50mm

Prüfung bei nicht drückendem Wasser

Prüfung bei drückendem Wasser

Eigenschaften des Recyclingbetons (RC)

Wasserleitfähigkeit (q_w) - Wassereindringtiefe unter Druck (SN EN 12390-8)



□ Wasserleitfähigkeit nach SIA 262/1

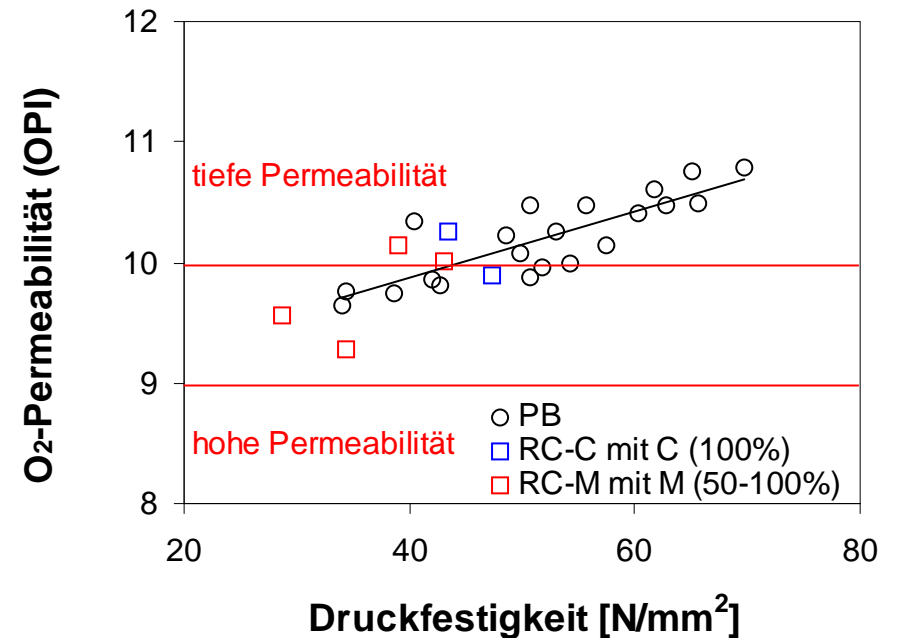
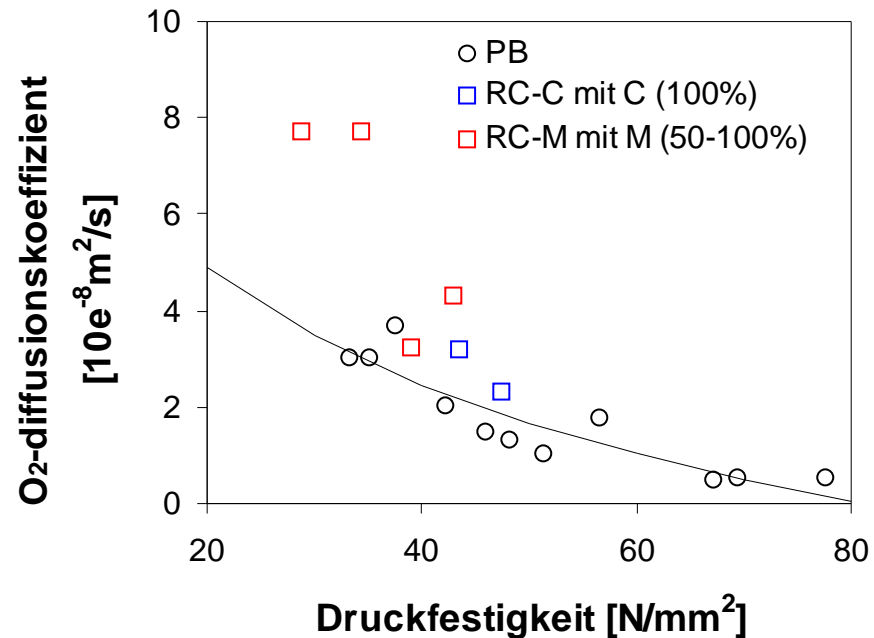
— Wassereindringtiefe nach SN EN



Versuchseinrichtung

Eigenschaften des Recyclingbetons (RC)

Druckfestigkeit – Diffusion/Permeabilität



- RC höherer Sauerstoff-Diffusionskoeffizient als PB
- vergleichbare Permeabilität

Richtlinien / Empfehlungen

- SN EN 206-1: „**Beton**-Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“
- SIA 262 / SIA 262/1: „**Betonbau** / Betonbau – ergänzende Festlegungen“
- SN EN 12620: **Gesteinskörnungen** für Beton
 - Norm SN 670 102b-NA
- BAFU-Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (BAFU UV-0631-D)
- VSS (Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute)
 - SN EN 670 142 Recycling; Strassenaufbruch
 - SN EN 670 143 Recycling; Betonabbruch
 - SN EN 670 144 Recycling; Mischabbruch
- ARV (Aushub-, Rückbau- und Recycling-Verband Schweiz)
 - Gütesicherung für Recyclingbaustoffe als Kiesersatzmaterial

wird ersetzt durch:

SN 670 055

Grundnorm Recycling

Bedürfnis für ein „Arbeitspapier“



SIA-Merkblatt 2030 „Recyclingbeton“

SIA-Merkblatt 2030 „Recyclingbeton“ ¹⁾

- Definitionen
- Klassifikation der stofflichen Zusammensetzung der Recycling-Gesteinskörnung (basierend auf der SN EN 12620:2002+A1:2008)
- Bezeichnung der Betone (zusätzliche Deklaration des E-Moduls und der Rohdichte)
- Modifikationsfaktor für Betoneigenschaften nach SIA 262:
 - Kriechen
 - Schwinden
- Modifikation der Bemessung nach SIA 262 für:
 - Querkrafttragwiderstand ohne Querkraftbewehrung
 - Durchstanzwiderstand ohne Durchstanzbewehrung

¹⁾ Februar 2010 publiziert

Einsatzmöglichkeiten

- Recycling-Gesteinskörnung: 65% in Magerbeton, 35% in konstruktiven Betonbau
- Betonproduktion Schweiz allgemein: ca. 60% XC1 – XC3, ca. 35% XC4

SIA118/262:2004 Allgemeine Bedingungen für Betonbau, Tabelle 1: Übliche Betonsorten (weiche Betone, Einbringung mit Kran oder Pumpe) für den Hochbau (A bis C) und für den Tiefbau (D bis G)

Bezeichnung Anforderungen	Sorte A (Anna)	Sorte B (Berta)	Sorte C (Cäsar)	Sorte D (T1)	Sorte E (T2)	Sorte F (T3)	Sorte G (T4)
Übereinstimmung	Beton nach SN EN 206-1	Beton nach SN EN 206-1	Beton nach SN EN 206-1	Beton nach SN EN 206-1	Beton nach SN EN 206-1	Beton nach SN EN 206-1	Beton nach SN EN 206-1
Druckfestigkeitsklasse	C25/30	C25/30	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37
Expositionsklasse (Kombination der aufgeführten Klassen)	XC2(CH)	XC3(CH)	XC4(CH), XF1(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD1(CH), XF4(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF2(CH)	XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH)
Nennwert des Grösstkorns	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32	D _{max} 32
Klasse des Chloridgehalts	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10	Cl 0,10
Konsistenzklasse	C3	C3	C3	C3	C3	C3	C3
Anforderungen an den Frost-Tausalzwiderstand	nein	nein	nein	mittel	hoch	mittel	hoch

Einsatzmöglichkeiten

SIA118/262:2004 Allgemeine Bedingungen für Betonbau,
 Tabelle 2: Anforderungen an die Zusammensetzung und die Eigenschaften des
 Betons gemäss revidierter Tabelle NA.3 der SN EN 206-1:2000

Anforderungen	Sorte A	Sorte B	Sorte C	Sorte D (T1)	Sorte E (T2)	Sorte F (T3)	Sorte G (T4)
Maximaler w/z-Wert	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45
Mindestzementgehalt (kg/m ³)	280	280	300	300	300	320	320
Zulässige Zementarten gemäss der angegebenen Expositions-klasse	XC2(CH)	XC3(CH)	XF1(CH)	XF2(CH)	XF4(CH)	XF2(CH)	XF4(CH)
Prüfungen	nein	nein	WL	WL, FT	WL, FT	CW, FT	CW, FT
Petrographisch unge-eignete Gesteins-körnungen, M.% ⁸⁾	≤ 5 % (≤ 20 %)	≤ 15 % (≤ 20 %)	≤ 10 % (≤ 15 %)	≤ 5 % (≤ 10 %)	≤ 5 % (≤ 10 %)	≤ 5 % (≤ 10 %)	≤ 5 % (≤ 10 %)



Einsatzmöglichkeiten

SIA118/262:2004 Allgemeine Bedingungen für Betonbau,
Tabelle 4: Beispiele für die Zuordnung der Betonsorten zu Bauteilen

Exposition / Anwendung		Sorte A	Sorte B	Sorte C	Sorte D (T1)	Sorte E (T2)	Sorte F (T3)	Sorte G (T4)
Exposition	bewittert	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja
	chloridhaltiges Wasser	nein	nein	nein	ja	ja	ja (stark)	ja (stark)
	Frost	nein	nein	ja	ja	ja (stark)	ja	ja (stark)
Anwendung	Beispiele	Innenwände Decken Fundamente	Nassräume	Fassaden Stützen Stützmauern	Bauteile, die chloridhaltigem Sprühnebel und/oder Spritzwasser ausgesetzt sind	Wie D, zusätzlich hohe Wassersättigung (Kontaktwasser) beim Gefrieren möglich	Wie E, aber intensivere Belastung durch Chloride	Wie F, zusätzlich hohe Wassersättigung (Kontaktwasser) beim Gefrieren möglich

Zusammenfassung

- Recycling-Gesteinskörnung:
 - höhere Porosität und Wasseraufnahme
 - tieferes E-Modul
 - Zusammensetzung und Eigenschaften variieren
- Recycling-Beton - Primärbeton:
 - $w/z_{SN\ EN\ 206-1} \leftrightarrow w/z_{gesamt}$
 - tieferes E-Modul bei vergleichbarer Druckfestigkeit
 - höheres Schwinden und Kriechen
 - Dauerhaftigkeit bezüglich Exposition XC generell vergleichbar bei vergleichbarer Druckfestigkeit
- Recycling-Beton einsetzbar als Magerbeton und als Beton im Hochbau