

# Stand von Forschung und Entwicklung in der Schweiz

Cathleen Hoffmann  
Holcim (Schweiz) AG, Würenlingen

# Cathleen Hoffmann, Dipl. Bauing. TU Dresden Holcim (Schweiz) AG, Würenlingen



## **Ausbildung**

- 1992 – 1997 Studium an der TU Dresden, Fakultät Bauwesen  
Vertiefungsrichtung Baubetrieb & Konstruktiver Ingenieurbau,  
Abschluss als Dipl. Bauing.
- 2 Jahre Baugymnasium (Abitur), Dresden
- 10 Jahre Allgemeinbildende Polytechnische Oberschule, Dresden

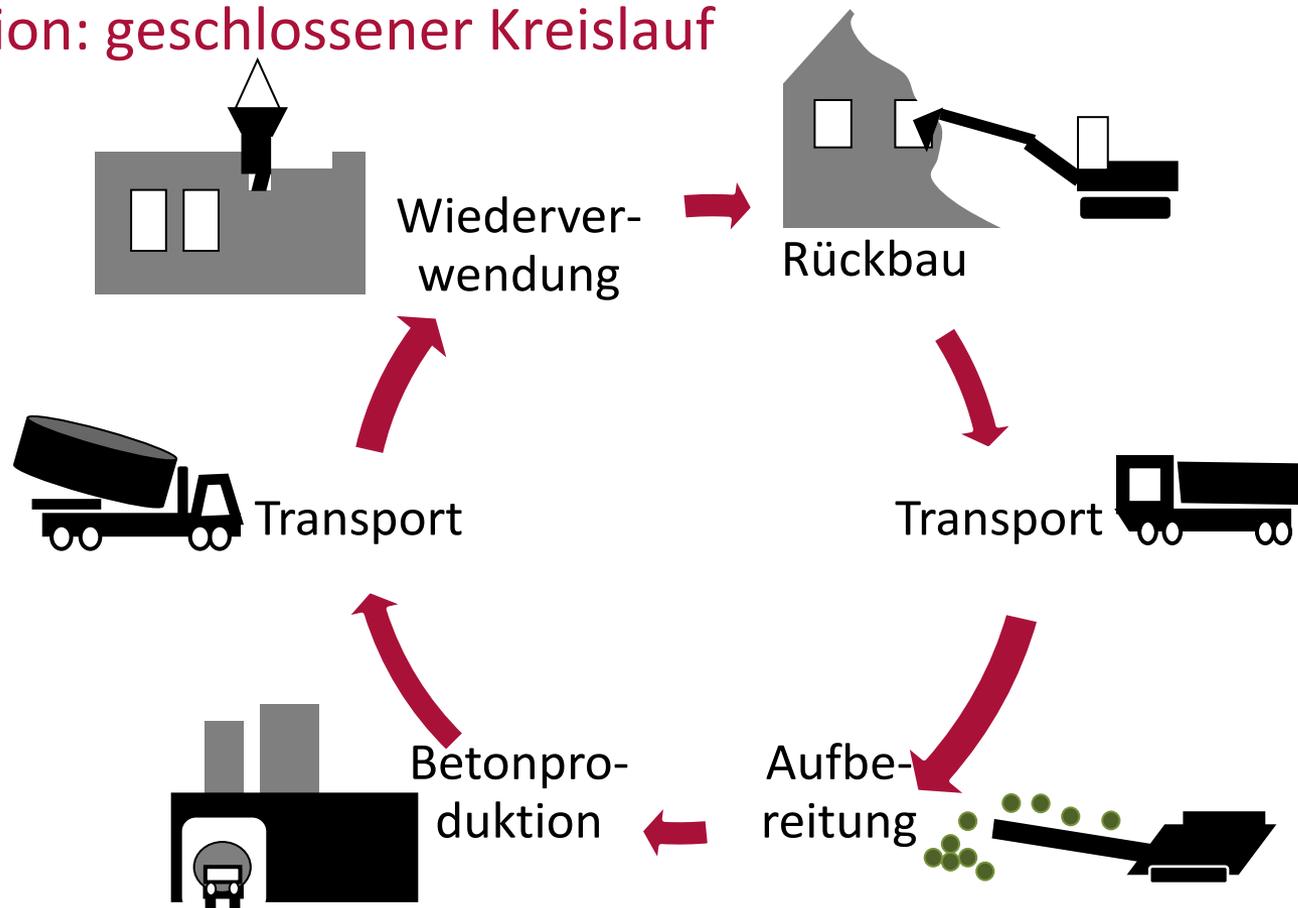
## **Berufslaufbahn**

- seit 2011 Produktioningenieurin Holcim (Schweiz) AG, Würenlingen
- 2001 Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Bereich Betontechnologie Empa,  
Dübendorf
- 2000 Praxisbezogene Fortbildung in «Management/Marketing for  
international Business and Trade», inlingua Dresden (Deutschland)  
und Cheltenham (England)
- 1996 – 2000 Projektingenieurin, Bereich Bauausführung, Züblin Sachsen GmbH,  
Dresden (Deutschland)

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Entwicklung von Recyclingbeton in der Schweiz
3. SIA-Merkblatt 2030 «Recyclingbeton»
4. Markt Recyclingbeton
5. Ausblick: Forschung und Entwicklung
6. Zusammenfassung

## Motivation: geschlossener Kreislauf



## Definitionen und Begriffe (1/2)



### **Betonabbruch**

Rückgebaute bewehrte/unbewehrte  
Betonkonstruktionen und -beläge



### **Mischabbruch**

Gemisch aus rückgebauten Massivbauteilen  
wie Beton, Backstein-, Kalkstein- und  
Natursteinmauerwerk

## Definitionen/Begriffe (2/2)



### **Betongranulat (C)**

Gemisch aus aufbereitetem Betonabbruch (rezyklierte Körner aus Beton, -produkten, Mörtel, Mauersteinen aus Beton, natürlichem Gestein)



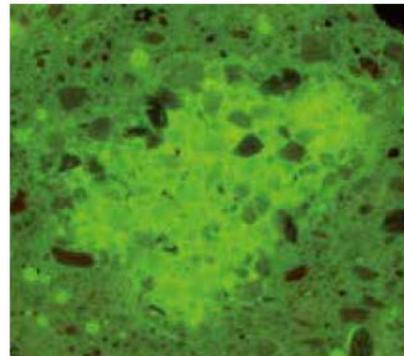
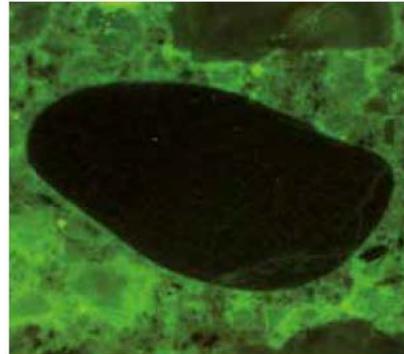
### **Mischgranulat (M)**

Gemisch aus aufbereitetem Mischabbruch (rezyklierte Körner aus Beton, -produkten, Mörtel, Mauersteinen aus Beton, Mauer- und Dachziegeln aus gebranntem Ton, Kalksandsteinen, natürlichem Gestein)

## Historie



## Eigenschaften der rezyklierten Gesteinskörnung



Natürliches Gesteinskorn (oben links) und rezykliertes Betongranulat Korn (unten links)

Eigenschaften der rezyklierten Gesteinskörnung im Vergleich zu natürlicher Gesteinskörnung:

- Geringere Rohdichte mit grösseren Schwankungen
- Höhere Wasseraufnahme
- Höhere Porosität

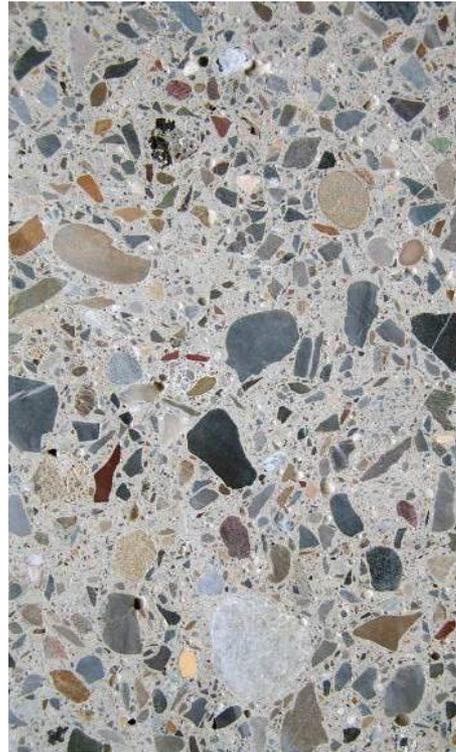
Stetig zu kontrollieren sind:

- Säurelöslicher Chloridgehalt
- Wasserlöslicher Sulfatgehalt.

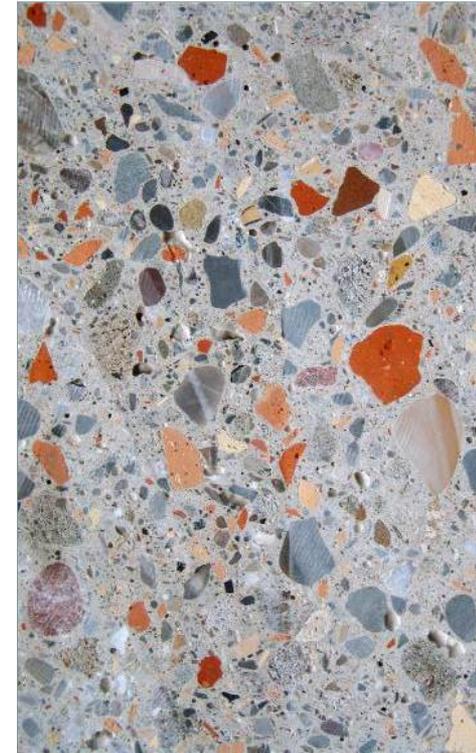
## Recyclingbetonarten (1/2)



Beton aus natürlicher  
Gesteinskörnung

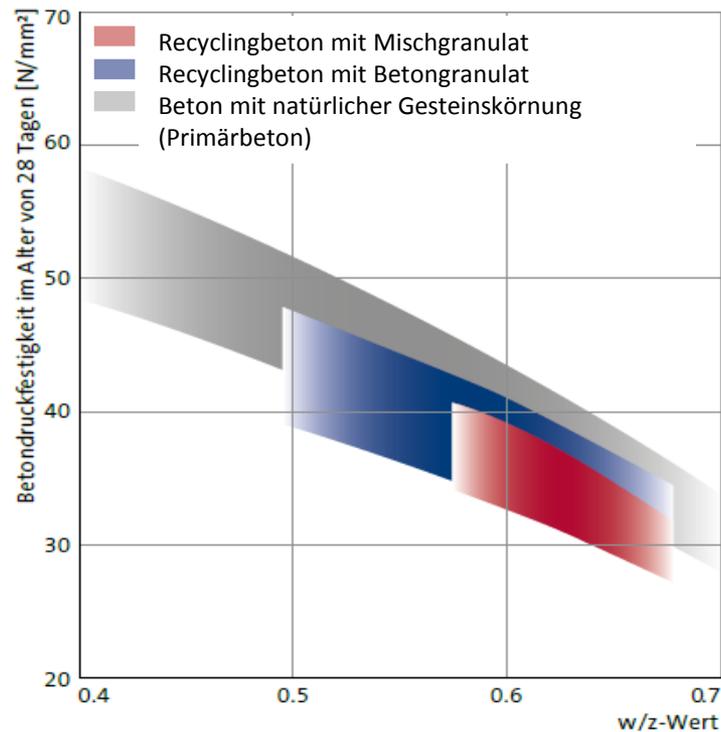


Recyclingbeton aus  
Betongranulat **(RC-C)**



Recyclingbeton aus  
Mischgranulat **(RC-M)**

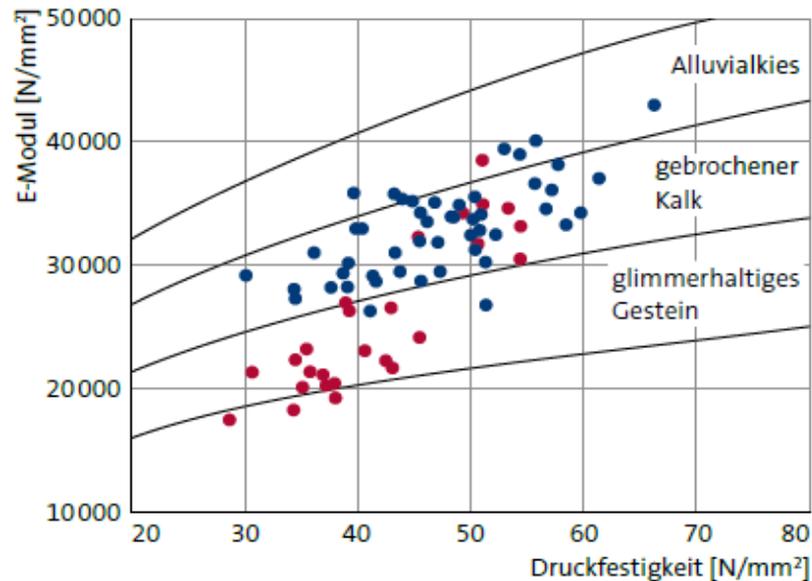
## Druckfestigkeit von Recyclingbeton



Druckfestigkeit (28 Tage) in Abhängigkeit vom w/z-Wert für Recyclingbetone und Primärbeton

- Im Vergleich zu Beton aus natürlicher Gesteinskörnung weist Recyclingbeton bei vergleichbarem w/z-Wert eine tiefere Druckfestigkeit auf infolge
  - geringerer Kornfestigkeit der rezyklierten Gesteinskörnung
  - grösseren Zementsteinvolumens.

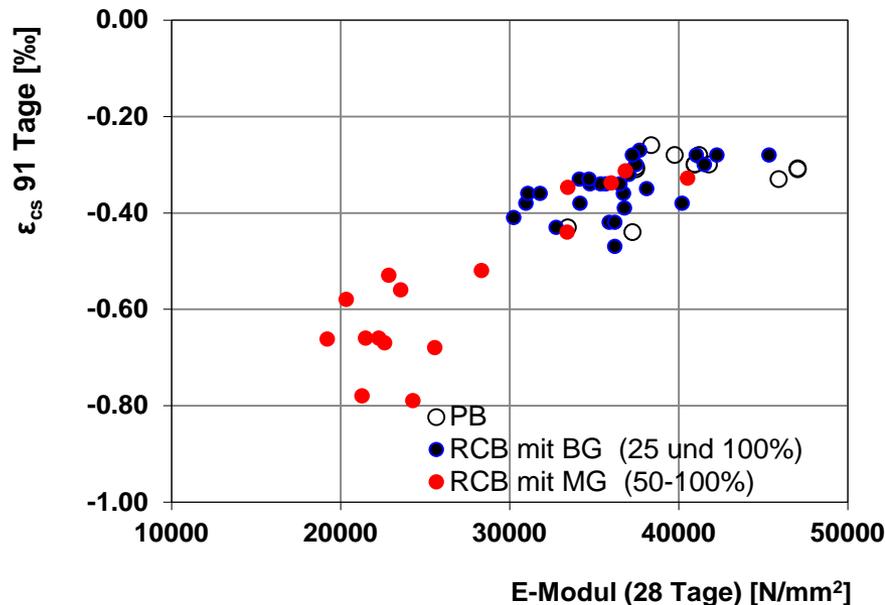
## Elastizitätsmodul (E-Modul) von Recyclingbeton



E-Modul in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit (28 Tage)  
für Recyclingbetone im Vergleich zu Primärbeton

- Der E-Modul  $E_{rcm}$  von Recyclingbeton ist geringer als derjenige von Beton aus natürlicher Gesteinskörnung aufgrund
  - geringerer Rohdichte der rezyklierten Gesteinskörnung
  - höheren Zementsteinvolumens.

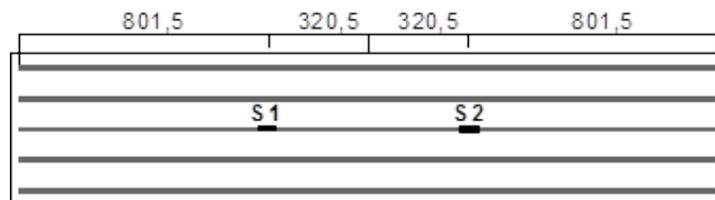
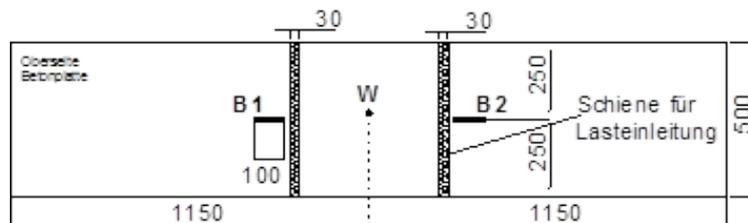
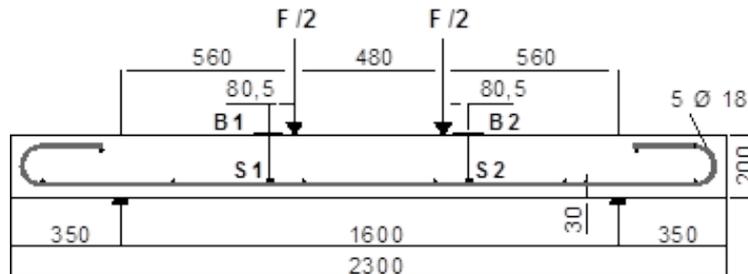
## Schwinden von Recyclingbeton



Schwindmass (91 Tage) in Abhängigkeit vom Elastizitätsmodul für Recyclingbetone im Vergleich zu Primärbeton

- Das Schwindmass von Recyclingbeton ist grösser als das von Beton aus natürlicher Gesteinskörnung aufgrund des
  - geringeren E-Moduls der rezyklierten Gesteinskörnung
  - höheren Zementsteinvolumens.
- Das Schwindmass kann für den Recyclingbeton zuverlässig über die Abhängigkeit vom Elastizitätsmodul beschrieben werden.

## Tragwerksverhalten von Recyclingbeton



Versuchsaufbau für die Bestimmung des Querkraftwiderstandes an Plattenstreifen

- Recyclingbeton zeigt im Vergleich zu Beton aus natürlicher Gesteinskörnung:
  - Vergleichbares Verbundverhalten
  - Leicht geringeres Querkraftverhalten
  - Grössere Druckstauchungen in der Betondruckzone.
  
- Durchstanzen von punktgestützten Platten aus Recyclingbeton wurde nicht untersucht.

## Grundwasserverträglichkeit von Recyclingbeton



Eluatuntersuchungen an Recyclingbetonproben

- Das Immobilisieren und Auswaschen möglicher Schadstoffe ist im Recyclingbeton durch die hydraulische Bindung (zementgebundenes System) behindert und vernachlässigbar.
- Recyclingbeton ist geeignet für Bauteile im Grundwasserbereich wie wasserdichte Wannen.

## SIA-Merkblatt 2030 «Recyclingbeton» (1/4)

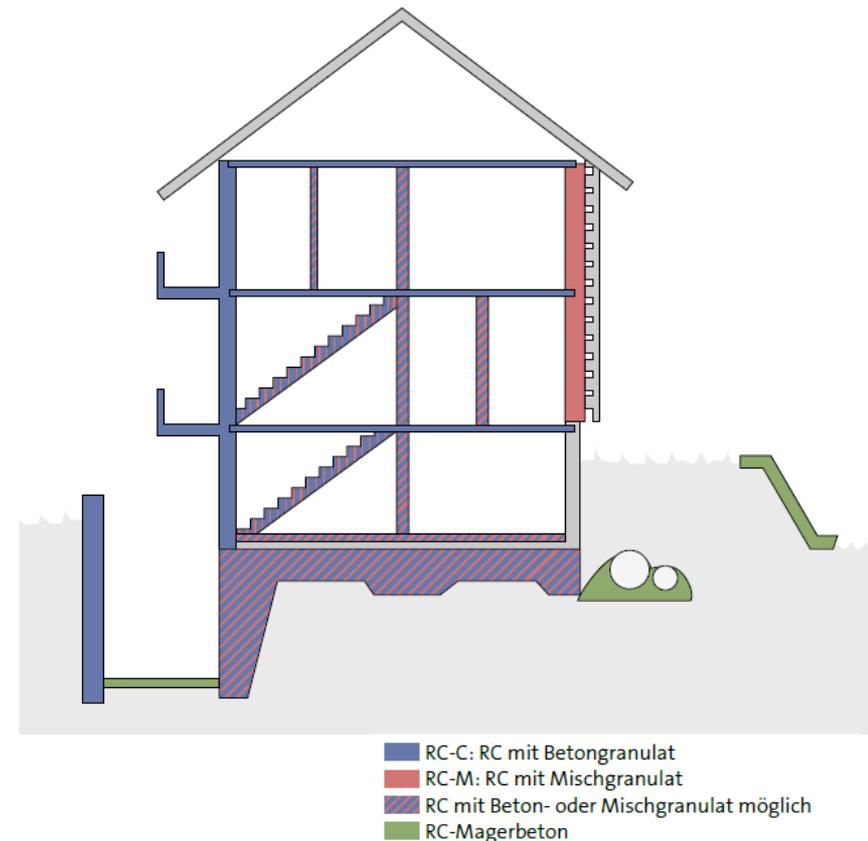
- Beton nach SN EN 206-1
- Recyclingbeton aus Betongranulat:
  - RC-C:**  $R_c \geq 25$  M.-% und  $R_b \leq 5$  M.-%
- Recyclingbeton aus Mischgranulat:
  - RC-M:**  $R_b \geq 5$  M.-% und  $(R_c + R_b) \geq 25$  M.-%
- höhere Gehalte an rezyklierten Körnern  $R_c + R_b$  (>25 M.-%) bei Minergie-eco (Hüll- und Füllbeton > 80 M.-%, Konstruktionsbeton > 40 M.-%)
- Gesteinskörnungen aus der Bodenwäsche:
- technisch: Primärmaterial
- ökologisch: Beurteilung gemäss eco-bau, MINERGIE-ECO etc.

## SIA-Merkblatt 2030 «Recyclingbeton» (2/4)

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

① Nur nach entsprechenden Voruntersuchungen

- Für Spannbeton und ermüdungsgefährdete Bauteile darf RC-C nur nach Voruntersuchungen und RC-M nicht verwendet werden.



## SIA-Merkblatt 2030 «Recyclingbeton» (3/4)

- Der **w/z- Wert** ist nach SN EN 206-1 anzugeben, d.h. die Wasseraufnahme der Gesteinskörnung ist zu berücksichtigen.
- Die **Druckfestigkeit** dient als primäre Bezeichnung des Recyclingbetons.
- Der **Elastizitätsmodul**  $E_{rcm}$ 
  - ist als zusätzlicher Kennwert in Prüfungen zu ermitteln und vom Betonhersteller anzugeben.
  - für RC-C: ist in Abhängigkeit vom Anteil an rezyklierte Gesteinskörnung abzumindern (wenn kein deklariertes Wert vorliegt).
  - für RC-M: ist Mindestwert von  $E_{rcm} \geq 19'000\text{N/mm}^2$  einzuhalten.

## SIA-Merkblatt 2030 «Recyclingbeton» (4/4)

- Die Werte für das **Schwinden** und **Kriechen** sind durch einen Umrechnungsfaktor bzw. Teilsicherheitsfaktor belegt.
- Für Recyclingbeton mit Mischgranulat (**RC-M**) sind folgende Bemessungswerte zu beachten:
  - Die **Querkraftbemessung** und der **Durchstanznachweis** erfolgen mit dem Ansatz  $D_{\max} = 0$  wie für Leichtbeton.
  - Für die maximalen **Stauchungen** sind definierte Werte formuliert.

## Recyclingbeton: Markt Schweiz



### **Gesteinskörnung<sup>1)</sup>:**

- Ausstoss: 52.1 Mio. Tonnen<sup>2)</sup>
- rezyklierte Gesteinskörnung:  
ca. 14 Mio. Tonnen

### **Beton<sup>1)</sup>:**

- Ausstoss: 17.3 Mio. m<sup>3</sup>
- Beton mit rezykl. Gesteinskörng. ca.  
2.4 Mio. m<sup>3</sup> (~ 13%)
  - Magerbeton (~ 65%)
  - Konstruktionsbeton (~ 35%)

-Anteil an Recyclingbeton differiert regional stark.

1) Angaben NEROS, Rubli et al., fskb  
2) exkl. Nettoimporte von ca. 8.7 Mio. Tonnen

## Ausblick: Forschung und Entwicklung



1. Tragwerksverhalten
  - Schubtragverhalten
  - Durchstanzverhalten
2. Verwendung feiner/feinster rezyklierter Gesteinskörnung als Zement- oder Betonzusatzstoff
3. Karbonatisierungswiderstand von Recyclingbeton
4. Verbesserung des Trennprozesses bei der Aufbereitung

## 1. Tragverhalten



Richti Areal (2012)

- Untersuchungen zum Schubtragverhalten und Durchstanzverhalten von Recyclingbeton aus Mischgranulat (RC-M)
- Ziel:
  - Abklären weiterer Einsatzgebiete (z.B. Decken)
- Untersuchungen ergaben:
  - Angabe eines definierten Bemessungswertes

## 2. Verwendung feiner/feinster rezyklierter Gesteinskörnung als Zement- bzw. Betonzusatzstoff



Mischgranulat, Fraktion 0-4mm

- Herstellen von Zement mit Mischgranulat
- Ziel:
  - Schliessen des Recyclingkreislaufs
  - Schonen des Deponievolumens
  - Reduzieren des Klinkerfaktors im Zement.

### 3. Karbonatisierungswiderstand von Recyclingbeton



Karbonatisierungstest bei Beton

- Untersuchen des Karbonatisierungswiderstands von Recyclingbeton, insbesondere bei den Betonsorten B und C (Expositionsklasse XC3 und XC4)
- Ziel:
  - Planungs- und Qualitätssicherung insbesondere bei Recyclingbeton mit hohem Anteil an rezyklierter Gesteinskörnung

## 4. Alternative Aufbereitung



Elektrodynamische Fragmentierung: Zerlegen des Betons in seine Einzelbestandteile (Gesteinskörnung und Zementstein)

- Verbesserung des Trennprozesses bei der sortenreinen Auftrennung von Altbeton mittels EDF (Elektrodynamische Fragmentierung)
- Ziel:
  - Untersuchen der Eigenschaften der «EDF»-Gesteinskörnung und damit hergestellter Recyclingbetone
  - Abklären potentieller Verwendungsmöglichkeiten der Filterrückstände ( $\leq 2 \text{ mm}$ ).

## Zusammenfassung

- Die Verwendung von Recyclingbeton hat in der Schweiz eine mehr als 20-jährige Tradition.
- Umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden in den Jahren 2000 bis 2010 durchgeführt.
- Es gibt normative Regelungen für die Planung und Ausführung von Bauteilen mit Recyclingbeton.
- Der derzeitige Marktanteil des Recyclingbetons beträgt ca. 13 % bezogen auf den gesamten Betonausstoss in der Schweiz.
- Es bestehen weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, um eine sichere und sinnvolle Verwendung von Recyclingbeton zu ermöglichen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.