

**Herzlich Willkommen!**

**Bestand als Quelle  
Beton und Altholz im Kreislauf**

**Teil 1: Beton**

**DI Klaus Höckner**

**Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg bvfs**



# Forschungsprojekt Circle Concrete CICO

## WISS2025. Smart Spezialisierung in Salzburg



Forschungspartner:

Projektdauer:

18.03.2021 bis 17.03.2024

### Förderer

- Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg bvfs

### Forschungspartner

- Universität Salzburg  
Fachbereich Chemie und Physik der Materialien
- Fachhochschule Salzburg  
Holztechnologie & Holzbau

### Unternehmenspartner

- Salzburg Wohnbau => Bauträger
- Deisl Beton, Hallein => Baustoffhersteller
- Steiner Bau, Radstadt => Verarbeiter





# WAS DAS PROJEKT BEWIRKEN SOLL

## Projektziel

Der bei einem verwertungsorientierten Rückbau von ausgedienten, alten Gebäuden wiedergewonnene Altbeton soll im Rohstoffkreislauf erhalten bleiben und im Neubau erneut für die Herstellung von Beton mit möglichst hoher Qualität als „Recyclingbeton“ zum Einsatz kommen.

## Ausgangssituation

- Der Massenbaustoff Beton gehört zu den größten Verbrauchern von natürlichen Rohstoffen, den weitaus größten Anteil im Beton nehmen die Gesteinskörnungen ein.
- Derzeit werden die Abbruchmaterialien beim Rückbau von Bauwerken einer untergeordneten Verwendung zugeführt bzw. deponiert. Rezyklierte Gesteinskörnungen werden nicht im Rohstoffkreislauf zur Wiederherstellung von Recyclingbeton verwendet.
- In Österreich gibt es kaum Erfahrungen mit Recyclingbeton, dementsprechend sind vorhandene Regelung in technischen Spezifikationen sehr restriktiv.

# Mineralische Bau- und Abbruchabfälle

(aus Abfallwirtschaftsplan 2017)

Abfall	Zusammensetzung	% 2017
Bauschutt	Ziegel, Beton, Keramik, Steine, Fliesen, Mörtel, Verputz	32
Straßenaufbruch	Asphaltaufbruch, Beton, Tragschichtmaterialien	7
Betonabbruch	Konstruktions- oder Fertigteile aus Beton, Betonfahrbahnen, Estrich	34
Gleisschotter	Spezielle Gesteinskörnungen	3
Bitumen, Asphalt	Asphaltaufbruch	19
Sonstige miner. Bauabfälle	Glasvlies, Keramik, Gips	2
Baustellenabfälle	Verschiedene Baumaterialien insbesondere aus Kunststoff, Holz, Metall, Dämmstoffen, Gipskarton sowie Verpackungen	3

A  
L  
T  
B  
A  
U  
T  
E  
N



Wohnanlage Schwarzach

N  
E  
U  
B  
A  
U  
T  
E  
N



Volksschule Anif



Seniorenwohnheim Golling



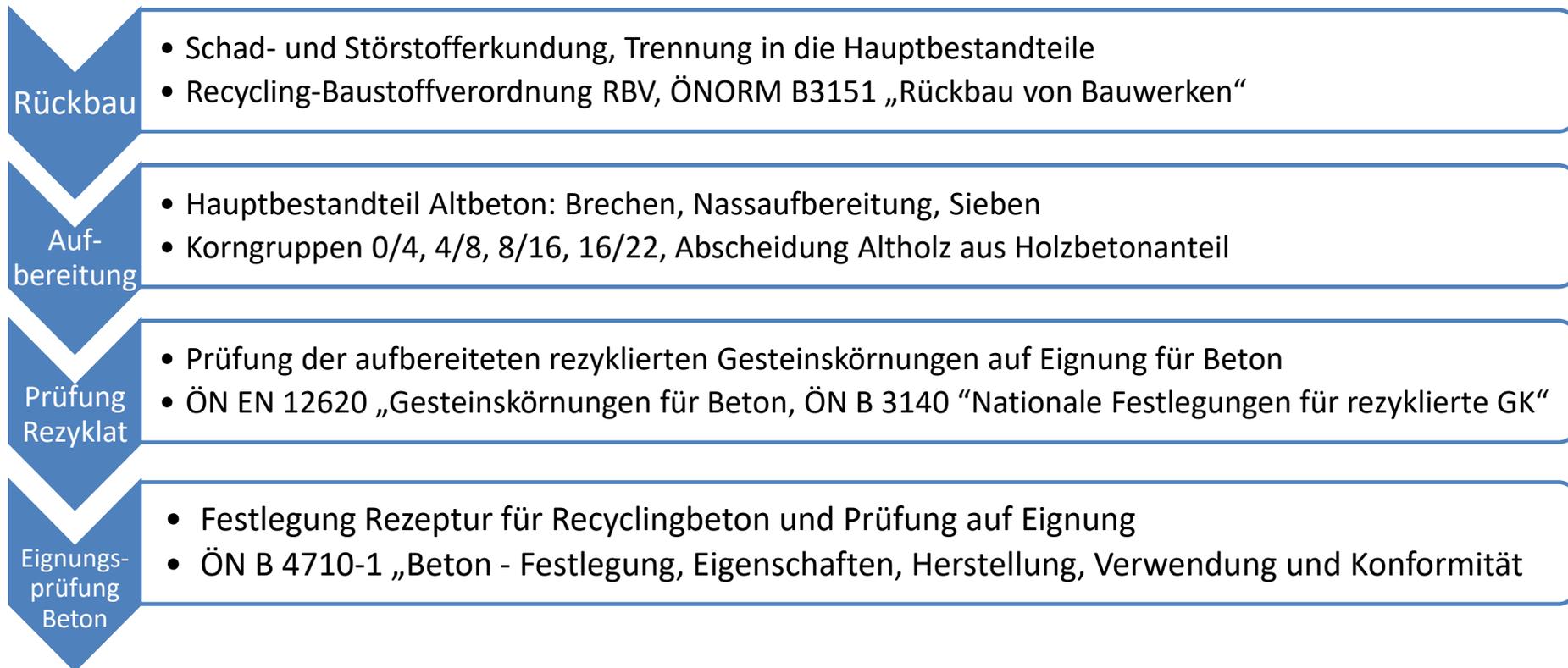
## OBJEKTE

Rückbau Altobjekt  
und Errichtung  
Neubau an gleicher  
Stelle



# Prozesskette

## ALTBAU



## NEUBAU



## 2. Prozessschritt AUFBEREITUNG

MATERIAL AUS DER  
AUFBEREITUNG



ALS AUSGANGSSTOFF  
FÜR DIE WEITERE  
VERWENDUNG





### 3. Prozessschritt

## PRÜFUNG REZYKLAT

- **Bautechnische Eigenschaften**
  - Korngrößenverteilung gem. ÖNORM EN 933-1
  - Kornformkennzahl gem. ÖNORM EN 933-4
  - Kornrohdichte und Wasseraufnahme gem. ÖNORM EN 1097-6
  - Säurelösliche Sulfate gem. ÖNORM EN 1744-1
  - Säurelösliche Chloride gem. ÖNORM EN 1744-5
  - Humusgehalt gem. ÖNORM EN 1744-1
  - Leichtgewichtige organische Verunreinigungen gem. ÖNORM EN 1744-1
  - Frost-Tauwiderstand (grobe Gesteinskörnungen) gem. ÖNORM EN 1367-1
  - Alkali-Kieselsäure-Reaktivität gem. ÖNORM B 3100
- **Zusätzliche bautechnische Eigenschaften für rezyklierte GK**
  - Wasserlösliche Sulfate gem. ÖNORM EN 1744-1
  - Raumbeständigkeit – Schwinden gem. ÖNORM EN 1367-4
  - Einfluss auf den Erstarrungsbeginn gem. ÖNORM EN 1744-6
  - Klassifizierung der Bestandteile gem. ÖNORM B 3140 und ÖNORM EN 933-11
  - Strahlexposition durch natürliche Radionuklide gem. ÖNORM S 5200
- **Umweltverträglichkeit**
  - Umweltverträglichkeit gem. Recyclingbaustoffverordnung



Ziel: Hohe Umweltqualität für Vertrauen in der Verwendung

Qualitätsklasse U-A:

Umweltverträglichkeit ist einem Primärbaustoff gleichzusetzen!

Qualitätsklasse U-B, U-E und H-B:

mit zulässigem Einbau kein Abfall sondern Baustoff!

**Tabelle 2: Parameter und Grenzwerte für Gesteinskörnungen, die ausschließlich zur Herstellung von Beton ab der Festigkeitsklasse C 12/15 oder für die Herstellung von Beton der Festigkeitsklasse C 8/10 ab der Expositionsklasse XC1 gemäß ÖNORM B 4710-1 verwendet werden**

Parameter	Einheit	Qualitätsklasse
		H-B
Eluat bei L/S 10		
pH-Wert	mg/kg TM	bis 12,5 <sup>2)</sup>
Chrom ges.	mg/kg TM	1,0 <sup>4)</sup>
Kupfer	mg/kg TM	2,0
Ammonium-N	mg/kg TM	8,0
Chlorid	mg/kg TM	1 000
Sulfat	mg/kg TM	6 000
TOC	mg/kg TM	200
Gesamtgehalt		
Blei	mg/kg TM	150/500 <sup>6) 7)</sup>
Chrom ges.	mg/kg TM	90/700 <sup>7)</sup>
Kupfer	mg/kg TM	90/500 <sup>7)</sup>
Nickel	mg/kg TM	60 <sup>8)</sup>
Quecksilber	mg/kg TM	0,70
Zink	mg/kg TM	450
KW-Index <sup>10)</sup>	mg/kg TM	200
∑16PAK (EPA)	mg/kg TM	20
Verunreinigung		
FL <sup>11)</sup>	cm <sup>3</sup> /kg	≤ 5
Rg+X <sup>12)</sup>	M-%	≤ 1

# UMWELT- VERTRÄGLICHKEIT



# KLASSIFIZIERUNG

**Tabelle 3 — Kategorien für die Bestandteile von rezyklierten Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 12620**

Materialbezeichnung	Beispiel	Bestandteil					
		$R_c$	$R_c + R_u$	$R_{b^a}$	$R_a$	$X + R_g$	$FL$
RB-A1	sortenreiner Betonbruch, zB im Fertigteilwerk, Betonstraßen	$R_{c90}$	$R_{cu95}$	$R_{bNR}$	$R_{a1-}$	$XR_{g1-}$	$FL_{0,2-}$
RB-A2	Betonbruch	$R_{c90}$	$R_{cuNR}$	$R_{bNR}$	$R_{a10-}$	$XR_{g1-}$	$FL_{2-}$
RG-A3 <sup>b</sup>	wieder aufbereitete, natürliche Gesteinskörnungen, zB gebrochener Gleisschotter	$R_{cNR}$	$R_{cu95}$	$R_{bNR}$	$R_{a5-}$	$XR_{g1-}$	$FL_{0,2-}$
RH-B	aufbereiteter Hochbau-Splitt (mindestens 50 % Betonanteile)	$R_{c50}$	$R_{cu70}$	$R_{b30-}$	$R_{a5-}$	$XR_{g1-}$	$FL_{2-}$
RMH-C	aufbereitete mineralische Hochbau-Restmasse	$R_{cNR}$	$R_{cuNR}$	$R_{bNR}$	$R_{a10-}$	$XR_{g1-}$	$FL_{2-}$



# PRÜFERGEBNISSE REZYKLAT

## ■ Sulfatgehalt

<b>Bezeichnung der Körnung</b>	<b>0/4</b>
Wasserlösliches Sulfat [M.-%]	0,2
Bewertung wasserlöslicher Sulfatgehalt nach ÖNORM EN 1744-1	SS <sub>0,2</sub>
Säurelösliches Sulfat [M.-%]	0,48
Bewertung säurelöslicher Sulfatgehalt nach ÖNORM EN 1744-1	AS <sub>0,8</sub>
Säurelösliche Chloride [M.-%]	0,00
Bewertung Chloridgehalt n. ÖNORM EN 1744-5	chloridfrei

## ■ Wasseraufnahme

<b>Bezeichnung der Körnung</b>	<b>0/4<sup>1)</sup></b>	<b>8/16</b>	<b>16/22</b>
Masse der ofengetrockneten Messprobe [g]	1212	2290	4980
Scheinbare Rohdichte [Mg/m <sup>3</sup> ]	2,78	2,75	2,73
Wasseraufnahme WA <sub>24</sub> [M.-%]	3,89	3,11	3,11
Kernfeuchte Wk [M.-%]	2,99 <sup>2)</sup>	2,63 <sup>2)</sup>	2,82 <sup>2)</sup>

## ■ Frostbeständigkeit

Klasse F<sub>9</sub>      9 % Abwitterung → auf XC beschränkt

## 4. Prozessschritt

# EIGNUNGSPRÜFUNG BETON

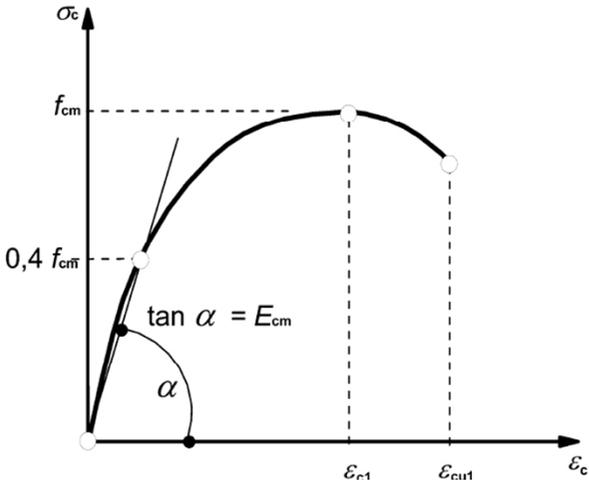
## Grenzwerte für den Austausch von natürlichen Gesteinskörnungen durch rezyklierte Gesteinskörnungen

Materialbezeichnung der rezyklierten Gesteinskörnung gemäß ÖNORM B 3140	Gesteinskörnung	Expositionsklassen (Expositionsklassen)																			
		X0 <sup>a</sup>	XC1	XC2	XC3	XC4	XF1	XF2 <sup>b</sup>	XF3 <sup>b</sup>	XF4 <sup>b</sup>	XD1	XD2	XD3 <sup>b</sup>	XW1	XW2	XA1 <sup>c</sup>	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
RB-A1	Grob	50	50	50	50	50	50	30	30	30	50	30	30	50	50	0	0	30	0	0	
	Fein <sup>d</sup>	25	25	25	25	25	25	15	15	15	25	15	15	25	25	0	0	0	0	0	
	Korngemisch <sup>d</sup>	38	38	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RB-A2	Grob	50	50	50	50	30	0	0	0	0	0	0	0	50	30	0	0	0	0	0	
	Fein <sup>d</sup>	25	25	25	25	15	0	0	0	0	0	0	0	25	15	0	0	0	0	0	
	Korngemisch <sup>d</sup>	38	38	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RG-A3	Grob	50	50	50	50	50	50	30	30	30	50	30	30	50	50	50	0	0	30	0	
	Fein <sup>d</sup>	25	25	25	25	25	25	15	15	15	25	15	15	25	25	25	0	0	15	0	
	Korngemisch <sup>d</sup>	38	38	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RH-B	Grob	50 <sup>e</sup>	35 <sup>e</sup>	35 <sup>e</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fein <sup>d</sup>	25 <sup>e</sup>	20 <sup>e</sup>	20 <sup>e</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Korngemisch <sup>d</sup>	38 <sup>e</sup>	25 <sup>e</sup>	25 <sup>e</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Maximal 38 % der Gesteinskörnungen können durch rezyklierte Gesteinskörnungen ersetzt werden!

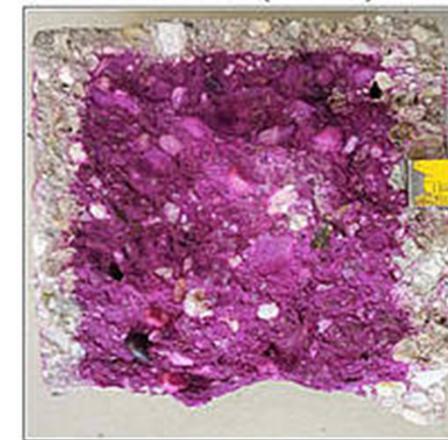
# Betonrezeptur

		Grenzwert	C25/30 XC2 F45 GK22 RB-A1
Zement CEM II/B-S 42,5 N	kg/m <sup>3</sup>	---	320
Zusatzstoff Leumix	kg/m <sup>3</sup>	---	35
Bindemittel (anrechenbarer Gehalt)	kg/m <sup>3</sup>	≥ 260	348
Zusatzmittel FM	kg/m <sup>3</sup>	---	1,85
Wassergehalt des Betons	kg/m <sup>3</sup>	---	211
Kernfeuchte	kg/m <sup>3</sup>	---	16
Wassergehalt (wirksam)	kg/m <sup>3</sup>	≤ 219 <sup>2)</sup>	195
Gesteinskörnung 0/4 (trocken)	kg/m <sup>3</sup>	---	765
Gesteinskörnung 8/16 (trocken)	kg/m <sup>3</sup>	---	125
Gesteinskörnung 16/22 (trocken)	kg/m <sup>3</sup>	---	213
Gesteinskörnung 0/22 rezykliert (trocken)	kg/m <sup>3</sup>	--- 38 % Austauschrate	676
Gesteinskörnung trocken gesamt	kg/m <sup>3</sup>	---	1779
W/B-Wert	---	≤ 0,63	0,61



## ZUSÄTZLICHE PRÜFUNGEN RECYCLINGBETON

- **Festbetonrohddichte**  
aufgrund Kapillarporosität der rezyklierten Gesteinskörnungen geringer
- **E-Modul**  
aufgrund Kapillarporosität der rezyklierten Gesteinskörnungen geringer,  
hat Einfluss auf statische Bemessung
- **Karbonatisierungswiderstand (EN 12390-12)**  
wesentlich für dauerhaften Korrosionsschutz  
der Stahlbewehrung,  
vergleichende Bewertung zum Normalbeton



# Prüfergebnisse Eignungsprüfung

		Grenzwert	C25/30 XC2 F45 GK22 RB-A2
Ausbreitmaß nach 10 Minuten	cm	$\leq 54$	51
Ausbreitmaß nach 90 Minuten	cm	$\geq 42$	37
Druckfestigkeit (7d)	N/mm <sup>2</sup>	---	28,1
Druckfestigkeit (28d)	N/mm <sup>2</sup>	$\geq 39$	48,2
Festbetonrohddichte (28d)	kg/m <sup>3</sup>	---	2280
Statischer E-Modul	N/mm <sup>2</sup>	---	30500
Wassereindringtiefe	mm	---	15
Karbonatisierungstiefe (7d)	mm	---	3,1
Karbonatisierungstiefe (28d)	mm	---	7,8
Karbonatisierungstiefe (70d)	mm	---	9,3

In ÖNORM EN 1992-1-1 angegebene Wert  $E_{cm}$  für C25/30 beträgt 31000 N/mm<sup>2</sup>.

# Vorläufige Erkenntnisse

- Recyclingbeton hat sich bestens bewährt,  
in 2 Objekten ca. 4000 t natürliche Gesteinskörnungen eingespart
- **Sulfatgehalt Rezyklat**  
Beachtung der Grenzwerte
- **Frostklasse Rezyklat**  
für höherwertige Betone (> XC): Frostklasse  $F_1$  bzw.  $F_2$  gefordert
  - » XW: Wassereindringtiefe 15 mm erfüllt Festbetonkriterium ( $XW_1 < 50$  mm,  $XW_2 < 25$  mm)
  - » XF: Prüfung gleichwertige Beständigkeit im Gange
- **Statischer E-Modul Recyclingbeton**  
 $E_{rcm} = 0,9 \times E_{CM}$  in der statischen Bemessung berücksichtigen  
C25/30: 27.900 statt 31.000 N/mm<sup>2</sup>
- **Verarbeitbarkeit**  
Vorbefeuchtung der rezyklierten Gesteinskörnungen
- **Karbonatisierung**  
vergleichbar mit Normalbeton

**Dankeschön  
für die  
Aufmerksamkeit!**

