

IMB

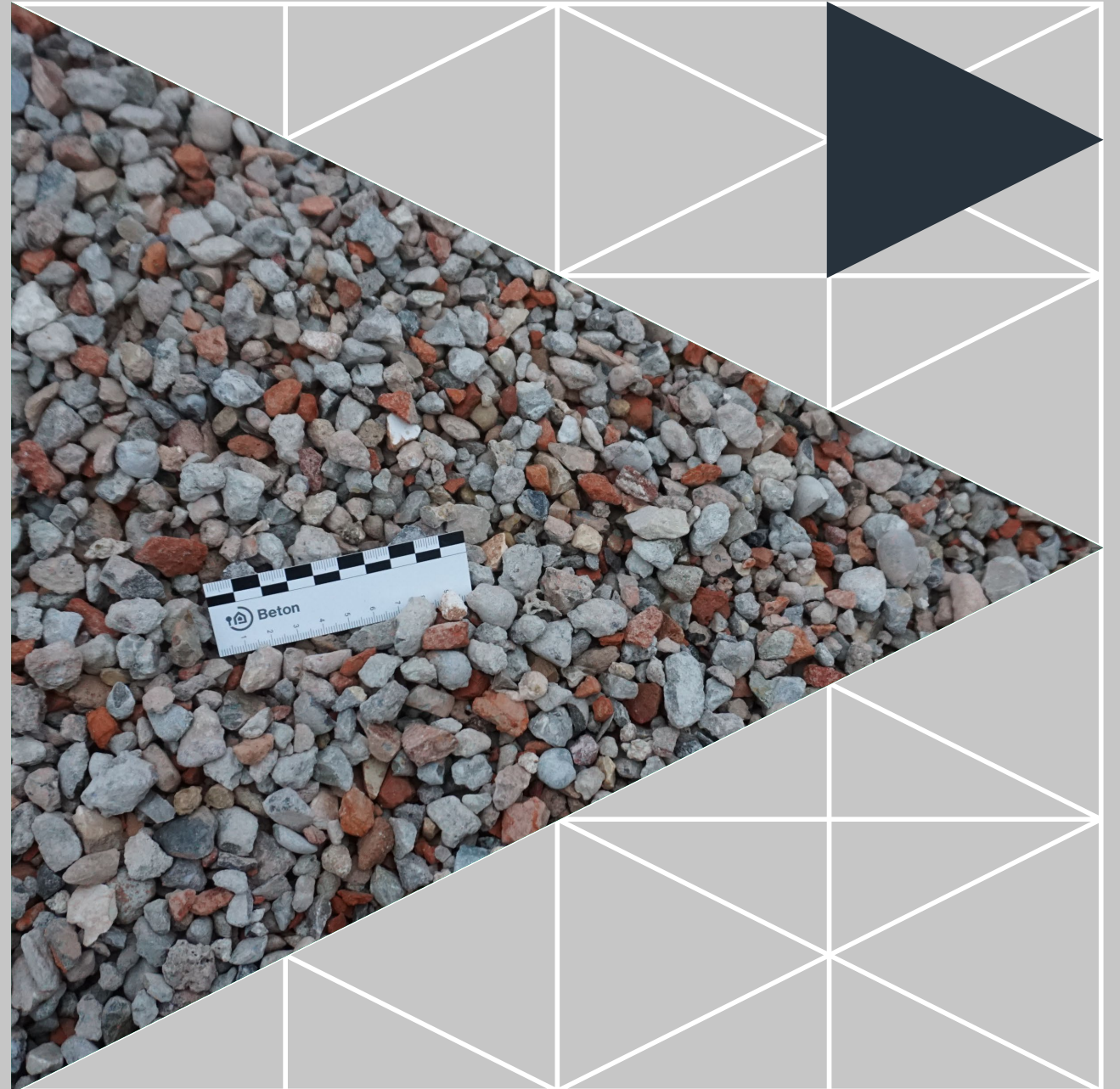
Institut für Material- und
Bauforschung

Was ist Recyclingbeton? Und hilft es dem Klima?

26.06.2025

Prof. Dr.-Ing. Andrea Kustermann
Prof. Dr.-Ing. Thorsten Stengel

HM



Recyclingbeton: Begriffe

Verwendung rezyklierter Gesteinskörnung

R-Beton

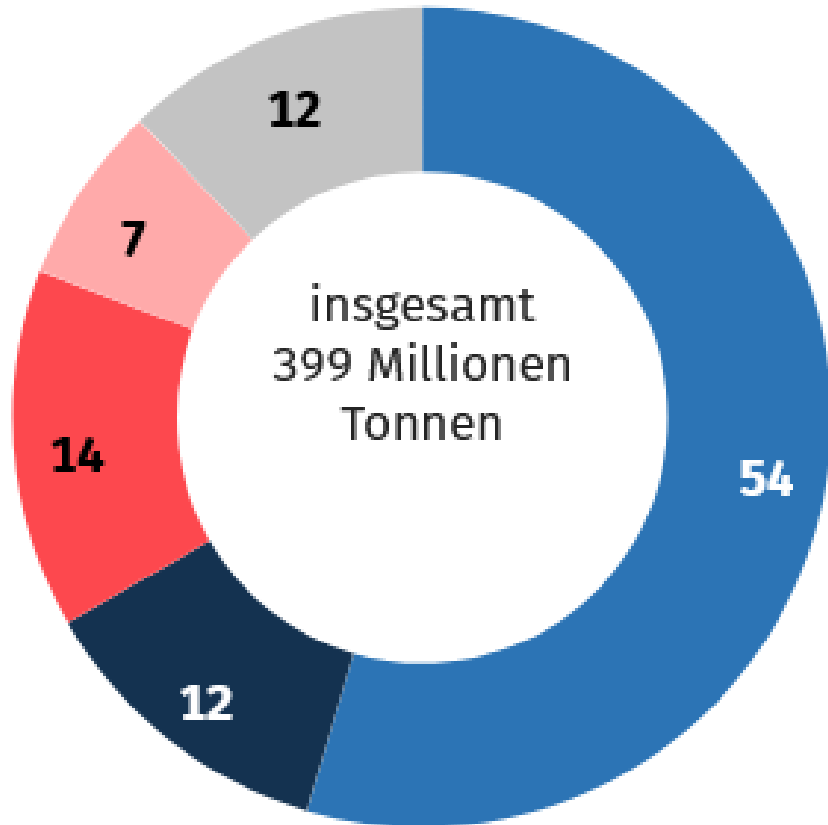
Recyclingbeton = RC-Beton

Ressourcenschonender Beton

zusätzlich Fokus Bindemittel:
Niedriger CO₂ Fußabdruck

- Nach Norm → was ist jetzt sofort möglich
- Außerhalb der Norm → Forschung, Pilotprojekte

Abfallaufkommen gesamt in Deutschland

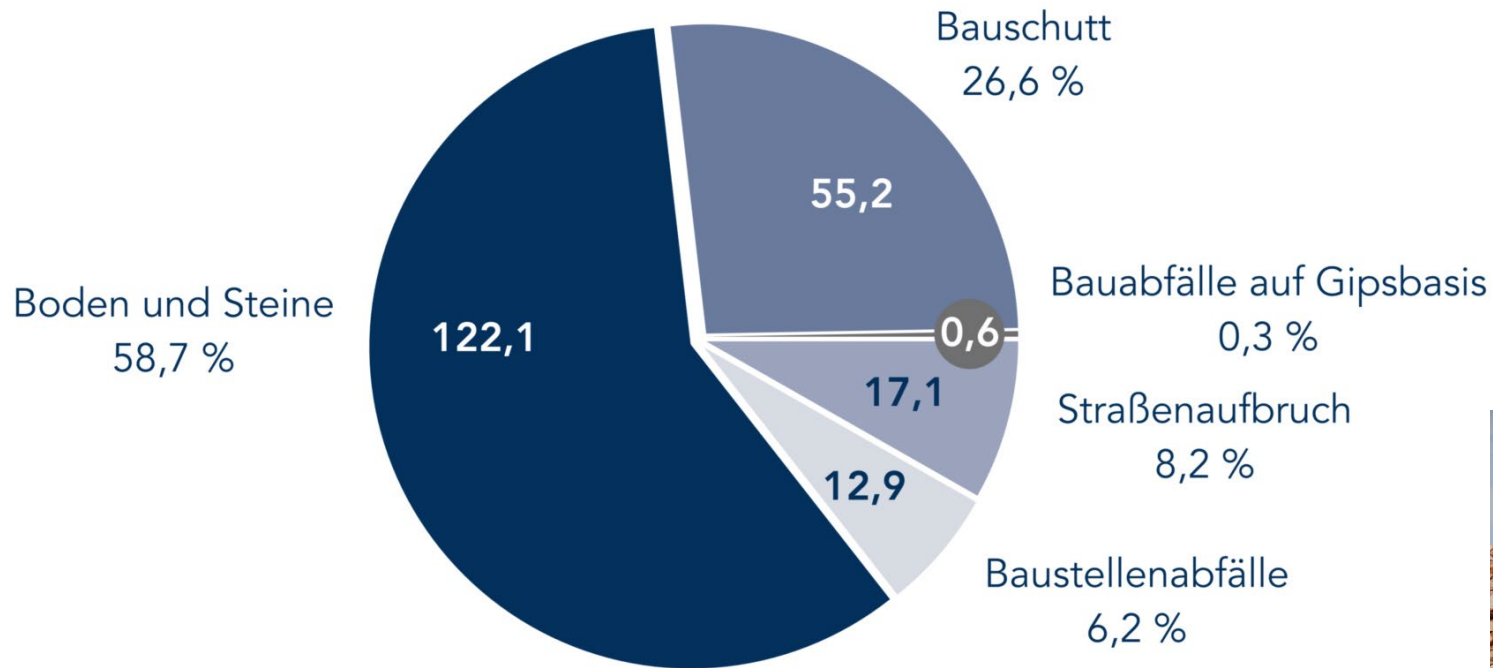


- Bau- und Abbruchabfälle
- Siedlungsabfälle
- Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen
- Abfälle aus der Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen
- Übrige Abfälle (insbesondere aus Produktion und Gewerbe)

Rundungsbedingte Abweichungen möglich.

Mineralische Bauabfälle 2022 (in Mio. t)

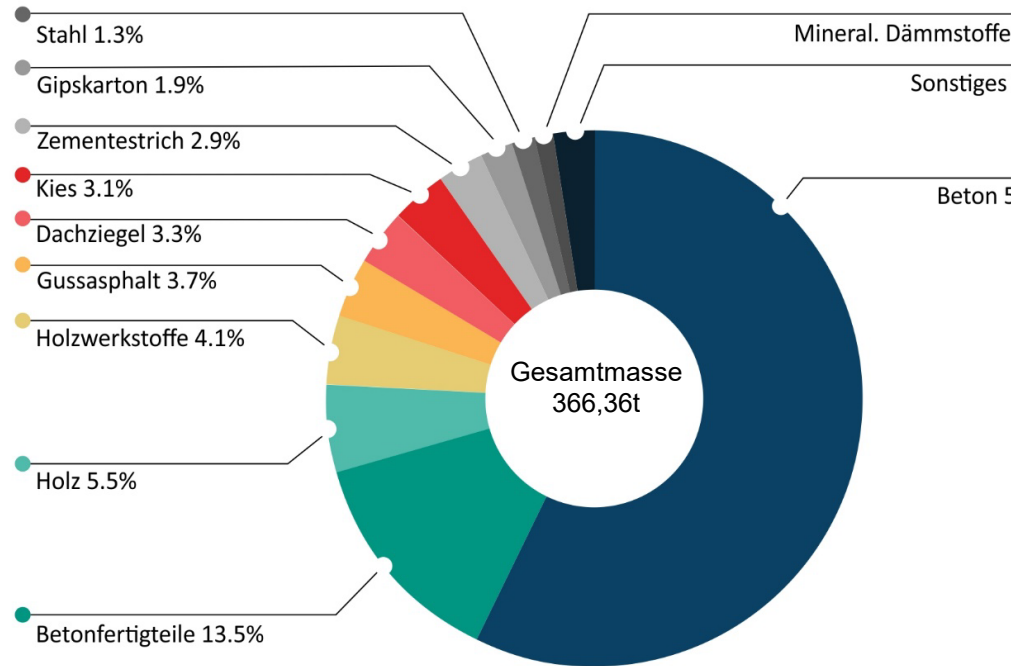
Anfall insgesamt: 207,9 Mio t



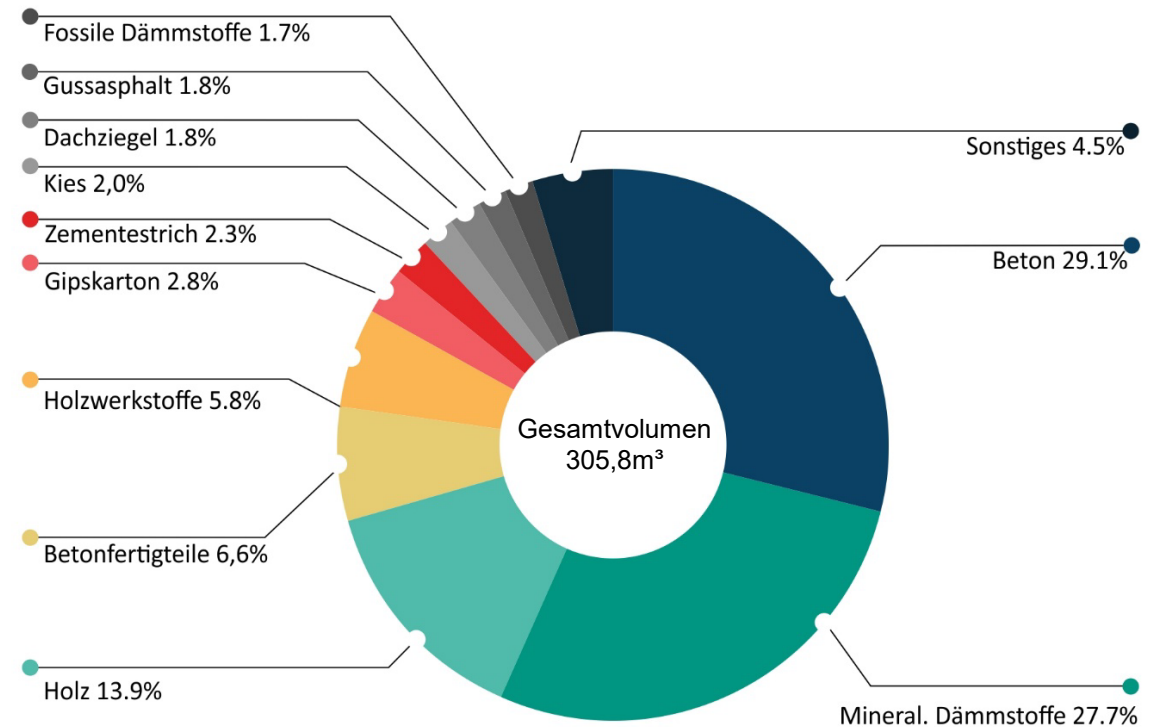
Quelle: Kreislaufwirtschaft Bau, Monitoringbericht



Bilanz der rückgebauten/abgebrochenen Materialien eines Holzfertighauses mit Betonkeller aus einem Forschungsprojekt (rural minina)



Massenbilanz der verbauten Materialien im Haus B



Volumenbilanz der verbauten Materialien im Haus B

Quelle: Lindner, S. (2023). Cradle to Cradle im Holzfertigbau. Analyse der Umsetzbarkeit des Cradle-to-Cradle-Prinzips bei Einfamilienhäusern in Holzfertigbauweise. Dissertationsschrift. Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 978-3-7388-0789-9.

Warum Recycling?

→ Kreislaufwirtschaftsgesetz

Abfallhierarchie (Grundsatznorm § 6 Abs. 1 KrWG):

1. Vermeidung
(z.B. Bodenaushub auf Baustelle lassen)
 2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
(z.B. Bodenreinigung)
 3. Recycling
(z.B. sortenreine Rezyklierung mineralischer Abfälle)
 4. Sonstige Verwertung und Verfüllung
(Bodenaushub in zugelassenen Gruben verfüllen oder als Deponiebaustoffe verwerten, energetische Verwertung)
 5. Beseitigung (auf Deponien)
- Neue GewAbfV konkretisiert Abfallhierarchie seit 1.8.2017!

Betonrecycling: vom Bauschutt zur wertvollen Ressource

Selektiver Rückbau / Rohstoffgewinnung

Entkernung



Foto: Ettengruber

maschineller Abbruch



Vortrag Bauzentrum: Recyclingbeton
26. Juni 2025 Prof. Dr.-Ing. Andrea Kustermann

Materialseparation

Herausforderung moderner Baustoffe, Verklebungen, hybride Baustoffe



*Quelle: Albrecht, Wolfgang; Schwitalla, Christoph (2015):
Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS. Stuttgart:
Fraunhofer-IRB-Verl.*

Betonrecycling: vom Bauschutt zur wertvollen Ressource

Selektiver Rückbau / Rohstoffgewinnung

Zerkleinerung Beton / Vorsortierung Stahl



Foto: Ettengruber

Selektierter Rohstoff Beton



Foto: Ettengruber

Betonrecycling: vom Bauschutt zur wertvollen Ressource

Aufbereitung vor Ort

Brechen (mobile Prallmühle), Sieben und Lagern



Foto: Kustermann



Foto: Ettengruber

Betonrecycling: vom Bauschutt zur wertvollen Ressource

Aufbereitung vor Ort

Rezyklierte Gesteinskörnung/Korngemisch



Foto: Julia Bergmeister



Foto: Ettengruber

Recyclingbeton nach Norm

Was geht jetzt sofort?

Grenzwerte der Gesteinskörnung (Einsatz als Betongesteinskörnung)

Bestandteile, Zusammensetzung				
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Beton %	> 90	> 70	< 20	> 80
Klinker, nichtporöse Ziegel %	< 10	< 30	> 80	
Kalksandstein %			< 5	
andere mineral. Bestandteile ^a %	< 2	< 3	< 5	< 20
Asphalt %	< 1	< 1	< 1	
Fremdbestandteile ^b %	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1

^a Porosierte Ziegel, Leichtbeton, Ziegel, Putz, Mörtel, Schlacke.

^b Glas, Keramik, Stückgips, Kunststoffe, Metalle, Holz, Papier, Pflanzenreste.



Quelle: Grübl, P.; Rühl, M., Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, Betonkalender – 2005 – Fertigteile – Tunnelbauwerke, Hrsg. Bergmeister und Wörner, Verlag Ernst u. Sohn, Berlin

Recyclingbeton nach Norm

Was geht jetzt sofort?

Grenzwerte der Gesteinskörnung (Einsatz als Betongesteinskörnung)

**DIN 1045-2, seit August 2023
bauaufsichtlich eingeführt seit März 25**

Tabelle E.5 — Zulässige Anteile grober rezyklierter Gesteinskörnungen, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (% Volumenanteil)

	1	2	3	4
	Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
	Alkalirichtlinie ^a	DIN EN 206 und DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
1	WO	Karbonatisierung XC1	≤ 45 ^b	≤ 35
2	WF	Kein Korrosionsrisiko X0		
3		Karbonatisierung XC1 bis XC4	≤ 45	≤ 35
4		Frostangriff ohne Taumittleinwirkung XF1 und XF3		
5		Beton mit hohem Wassereindringwiderstand nach 5.5.3		
6		Chemischer Angriff XA1 ^d	≤ 25	≤ 25
7	WA ^c	XD1 und XD2 XS1 und XS2 XF2 und XF4	≤ 30	≤ 20

^a Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (DAfStb-Alkali-Richtlinie) sowie zusätzliche Anforderungen siehe E.3.1.3.

^b Es dürfen feine rezyklierte Gesteinskörnungen des Typs 1 ≤ 20 % Volumenanteil der austauschbaren rezyklierten Gesteinskörnung eingesetzt werden, sofern sie aus einer Produktion der verwendeten groben rezyklierten Gesteinskörnung stammen, für die die Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung nach DIN EN 933-11 nachgewiesen wurde. Der Anteil der feinen rezyklierten Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der groben rezyklierten Gesteinskörnung darf dabei nicht größer sein, als der Anteil der gesamten feinen Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der gesamten groben Gesteinskörnung.

^c Die Feuchtigkeitsklasse WA darf nur für rezyklierte Gesteinskörnung mit nachgewiesener Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S nach DAfStb-Alkali-Richtlinie verwendet werden.

^d Die Regelung zum chemischen Angriff ist für XA1 durch die Betonklasse BK-N abgedeckt.

Recyclingbeton nach Norm

Was geht jetzt sofort?

Grenzwerte der Gesteinskörnung (Einsatz als Betongesteinskörnung)

DIN 1045-2, seit August 2023
bauaufsichtlich eingeführt seit März 25

Tabelle E.5 — Zulässige Anteile grober rezyklierter Gesteinskörnungen, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (% Volumenanteil)

	1	2	3	4
	Anwendungsbereich		Kategorie der Gesteinskörnung	
	Alkalirichtlinie ^a	DIN EN 206 und DIN 1045-2	Typ 1	Typ 2
1	WO	Karbonatisierung XC1	≤ 45 ^b	≤ 35
2	WF	Kein Korrosionsrisiko X0		
3		Karbonatisierung XC1 bis XC4	≤ 45	≤ 35
4		Frostangriff ohne Taumittleinwirkung XF1 und XF3		
5		Druckstabilität		
6		Druckstabilität		
7		Druckstabilität		
8		Druckstabilität		
9		Druckstabilität		
10		Druckstabilität		
11		Druckstabilität		
12		Druckstabilität		
13		Druckstabilität		
14		Druckstabilität		
15		Druckstabilität		
16		Druckstabilität		
17		Druckstabilität		
18		Druckstabilität		
19		Druckstabilität		
20		Druckstabilität		
21		Druckstabilität		
22		Druckstabilität		
23		Druckstabilität		
24		Druckstabilität		
25		Druckstabilität		
26		Druckstabilität		
27		Druckstabilität		
28		Druckstabilität		
29		Druckstabilität		
30		Druckstabilität		
31		Druckstabilität		
32		Druckstabilität		
33		Druckstabilität		
34		Druckstabilität		
35		Druckstabilität		
36		Druckstabilität		
37		Druckstabilität		
38		Druckstabilität		
39		Druckstabilität		
40		Druckstabilität		
41		Druckstabilität		
42		Druckstabilität		
43		Druckstabilität		
44		Druckstabilität		
45		Druckstabilität		
46		Druckstabilität		
47		Druckstabilität		
48		Druckstabilität		
49		Druckstabilität		
50		Druckstabilität		
51		Druckstabilität		
52		Druckstabilität		
53		Druckstabilität		
54		Druckstabilität		
55		Druckstabilität		
56		Druckstabilität		
57		Druckstabilität		
58		Druckstabilität		
59		Druckstabilität		
60		Druckstabilität		
61		Druckstabilität		
62		Druckstabilität		
63		Druckstabilität		
64		Druckstabilität		
65		Druckstabilität		
66		Druckstabilität		
67		Druckstabilität		
68		Druckstabilität		
69		Druckstabilität		
70		Druckstabilität		
71		Druckstabilität		
72		Druckstabilität		
73		Druckstabilität		
74		Druckstabilität		
75		Druckstabilität		
76		Druckstabilität		
77		Druckstabilität		
78		Druckstabilität		
79		Druckstabilität		
80		Druckstabilität		
81		Druckstabilität		
82		Druckstabilität		
83		Druckstabilität		
84		Druckstabilität		
85		Druckstabilität		
86		Druckstabilität		
87		Druckstabilität		
88		Druckstabilität		
89		Druckstabilität		
90		Druckstabilität		
91		Druckstabilität		
92		Druckstabilität		
93		Druckstabilität		
94		Druckstabilität		
95		Druckstabilität		
96		Druckstabilität		
97		Druckstabilität		
98		Druckstabilität		
99		Druckstabilität		
100		Druckstabilität		

Es dürfen feine Gesteinskörnung des Typs 1 ≤ 20% Volumenanteil rezyklierten Gesteinskörnung eingesetzt werden, sofern sie aus einer Produktion der verwendeten groben rezyklierten Gesteinskörnung stammen, für die die Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung nach DIN EN 933-11 nachgewiesen wurde. Der Anteil der feinen rezyklierten Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der groben rezyklierten Gesteinskörnung darf dabei nicht größer sein, als der Anteil der gesamten feinen Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der gesamten groben Gesteinskörnung.

- ^a Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (DAfStb-Alkali-Richtlinie) sowie zusätzliche Anforderungen siehe F.3.1.3.
- ^b Es dürfen feine rezyklierte Gesteinskörnungen des Typs 1 ≤ 20 % Volumenanteil der austauschbaren rezyklierten Gesteinskörnung eingesetzt werden, sofern sie aus einer Produktion der verwendeten groben rezyklierten Gesteinskörnung stammen, für die die Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung nach DIN EN 933-11 nachgewiesen wurde. Der Anteil der feinen rezyklierten Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der groben rezyklierten Gesteinskörnung darf dabei nicht größer sein, als der Anteil der gesamten feinen Gesteinskörnung bezogen auf den Anteil der gesamten groben Gesteinskörnung.
- ^c Die Feuchtigkeitsklasse WA darf nur für rezyklierte Gesteinskörnung mit nachgewiesener Alkaliempfindlichkeitsklasse E I-S nach DAfStb-Alkali-Richtlinie verwendet werden.
- ^d Die Regelung zum chemischen Angriff ist für XA1 durch die Betonklasse BK-N abgedeckt.

Recyclingbeton nach Norm

Was geht jetzt sofort?

- RC-Beton kann für tragende Außenbauteile gemäß Richtlinie/neue 1045-2 verwendet werden (entsprechend der Expositionsklassen)
- Anteil rezyklierter GK begrenzt auf 25, 35 bzw. 45 Vol.-%,
- Druckfestigkeit begrenzt auf C50/60 bzw. C30/37 (bei >25 Vol.-% rezykl. Gesteinskörnung)
- Nicht für Spannbeton und Leichtbeton

Recyclingbeton **über die Norm hinaus** Stand der Forschung

Anwendung aber technisch möglich (je nach Exposition und Anforderung)
bis 100% rezyklierte Körnung = außerhalb der Norm!

Ausnahmen von der Norm:

z.B. → projektbezogene Zustimmung im Einzelfall (ZiE)
erteilt vom Bauministerium des Landes

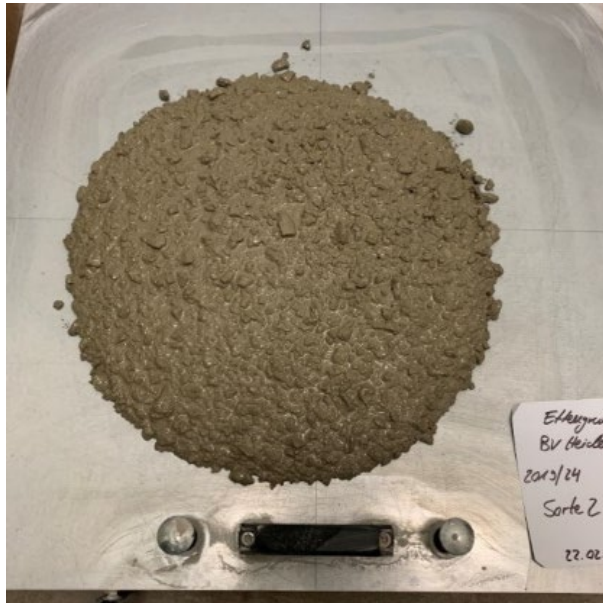
Beispiele der Umsetzung folgen:

Pilotprojekte: Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

Praxisbeispiel

Vorversuche: Frischbetonkonsistenz - Ausbreitmaß

10 min: 44 cm



45 min: 35 cm



90 min: 31 cm

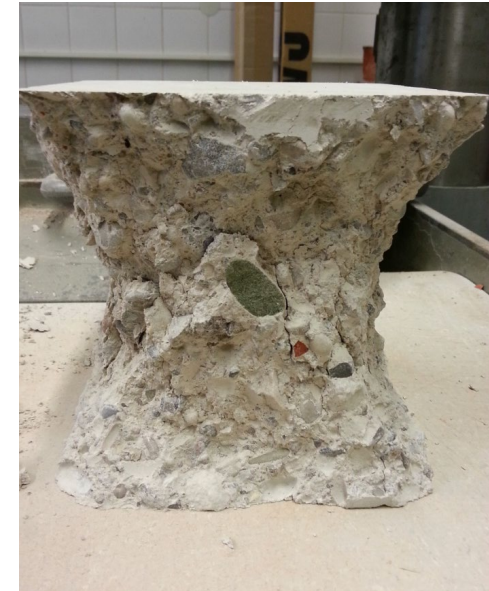
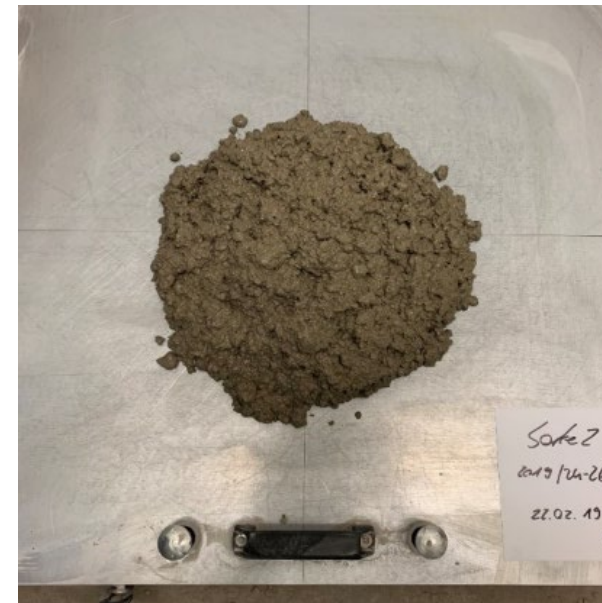


Foto: Michael Weiß, Max Sedlmayr

Erste Versuche- Druckfestigkeit erreichbar?

Pilotprojekte: Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

Praxisbeispiel

1. Umsetzung:
eingeschossiges
Gebäude-
temporär

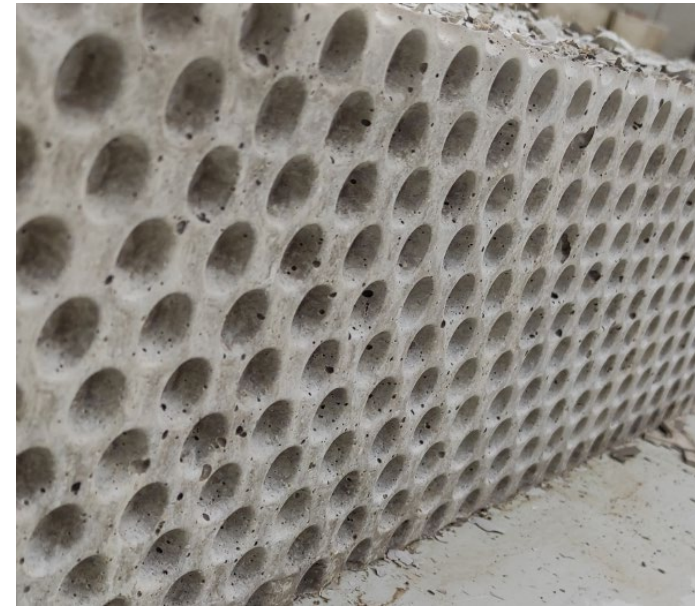


Foto: Michael Weiß

Pilotprojekte: Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

Praxisbeispiel: Bau eines Musterpavillons aus R-Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

- Studierendenprojekt: Architektur und Bauingenieurwesen SoSe 2021
- Zur Steigerung der Akzeptanz und Demonstration der Materialmöglichkeiten mit R-Beton als Sichtbeton
- 100% rezyklierte GK 0/16
- C30/37 56 d



Prof. Arthur Wolfrum (Arch.), Prof. Andrea Kustermann/Prof. Christoph Dauberschmidt/Prof. Thorsten Stengel (Bauing.)

Pilotprojekte: Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

Praxisbeispiel: Bau eines Musterpavillons aus R-Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

- Studierendenprojekt: Architektur und Bauingenieurwesen SoSe 2021
- Zur Steigerung der Akzeptanz und Demonstration der Materialmöglichkeiten mit R-Beton als Sichtbeton
- 100% rezyklierte GK (C30/37 56 d)
- C30/37 56 d



Prof. Arthur Wolfrum (Arch.), Prof. Andrea Kustermann/Prof. Christoph Dauberschmidt/Prof. Thorsten Stengel (Bauing.)

ZiE1 bis ZiE6 – über die Normen/Richtlinien hinaus

Erwirkung von ZiE5 (LRA Eichstätt):

- Hoher Anteil Recyclingbeton nach Norm (70%)
- Innenwände (XC1) mit 100% rezykliertes GK
- **C30/37**
- **ZiE erteilt, Bau abgeschlossen**



Ansicht Nord-Ost

Quelle: Landratsamt Eichstätt

ZiE1 bis ZiE6 – über die Normen/Richtlinien hinaus

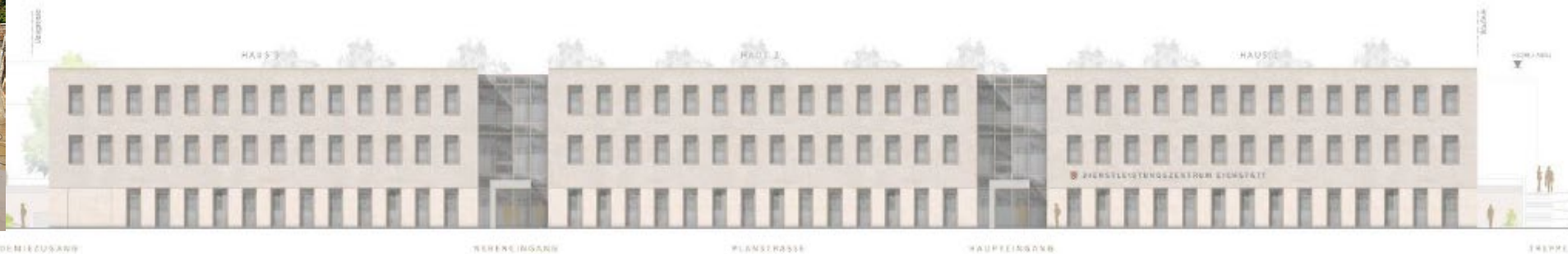
Erwirkung von ZiE5 (LRA Eichstätt):

- Hoher Anteil Recyclingbeton nach Norm (70%)
- Innenwände (XC1) mit 100% rezykliertes GK
- **C30/37**
- **ZiE erteilt, Bau abgeschlossen**



Quelle: Peter Wild

Foto: Märker Transportbeton



Ansicht Nord-Ost

Quelle: Landratsamt Eichstätt

ZiE1 bis ZiE6 – über die Normen/Richtlinien hinaus

Erwirkung von ZiE3 (Karlsruhe):

- FT-RC-Beton mit 100% rezyklierter GK
- Außenbauteil **XC4, XF3**
- **C40/50**, frostbeständig
- Vorversuche, Frisch- und Festbetonversuche abgeschlossen
- Dauerhaftigkeitsversuche abgeschlossen → FT-Werk startet

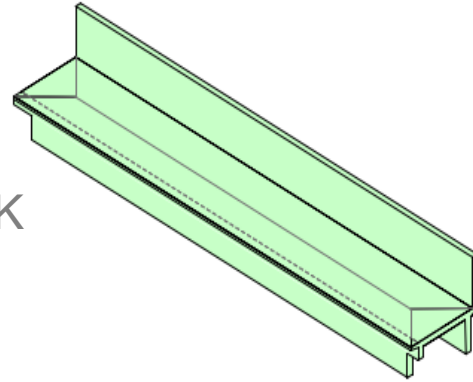


Foto: Andrea Kustermann

Erwirkung von ZiE4 (München, R-Beton Bayernkaserne):

- RC-Beton gepumpt (4 Stockwerke) mit 100% rezyklierter GK
- Fundamente/Stützen/Wände/Deckenplatten
- **C30/37 (28 d) / C35/45 (56 d)**
- Pumpversuch, Festbetonprüfungen erfolgreich abgeschlossen
- Betonagen Bohrspfähle, Innenwände, Fundamente und Decken abgeschlossen



Vortrag Bauzentrum: Recyclingbeton
26. Juni 2025 Prof. Dr.-Ing. Andrea Kustermann

Foto: Thorsten Stengel

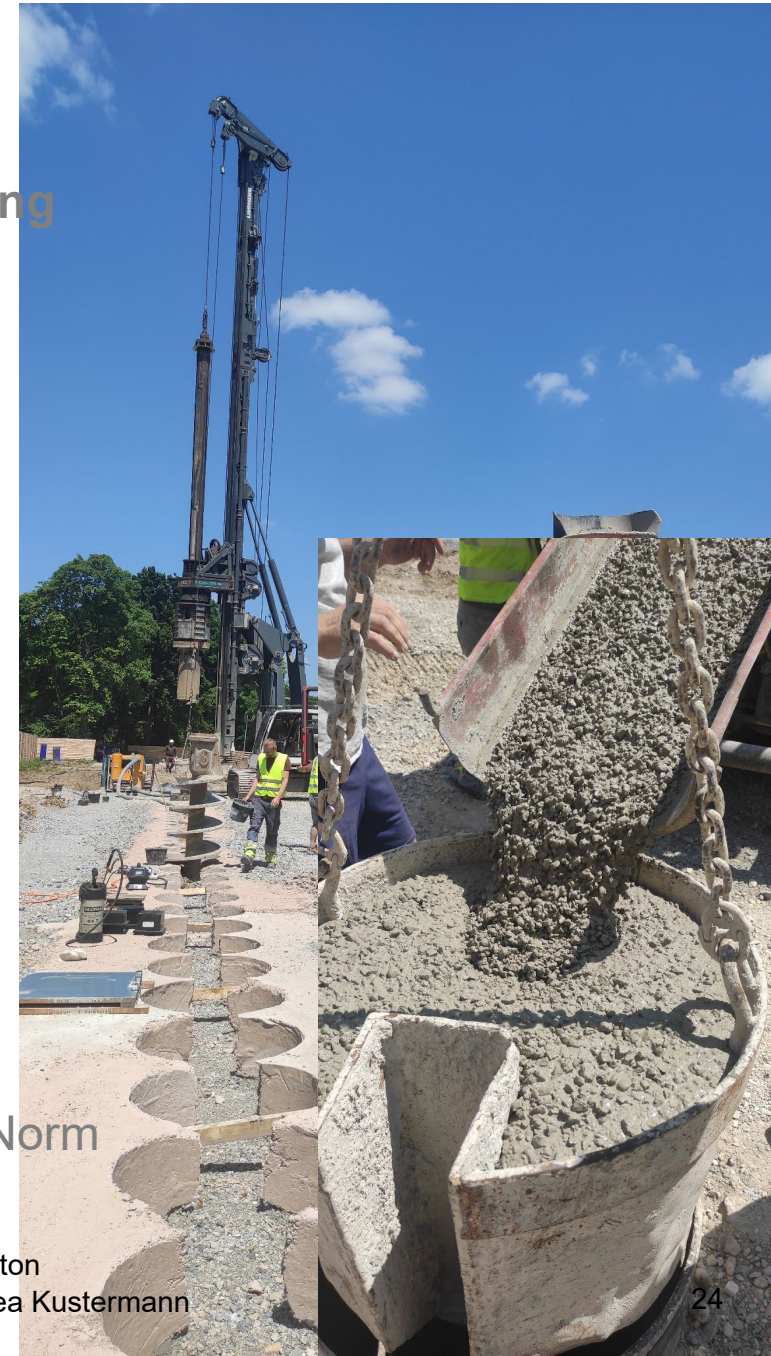
Pilotprojekte: Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

Praxisbeispiel: ZiE1 bis ZiE6 – über die Normen/Richtlinien hinaus (100%)

Erkenntnisse aus ZiE 1-6 (bisher) mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung

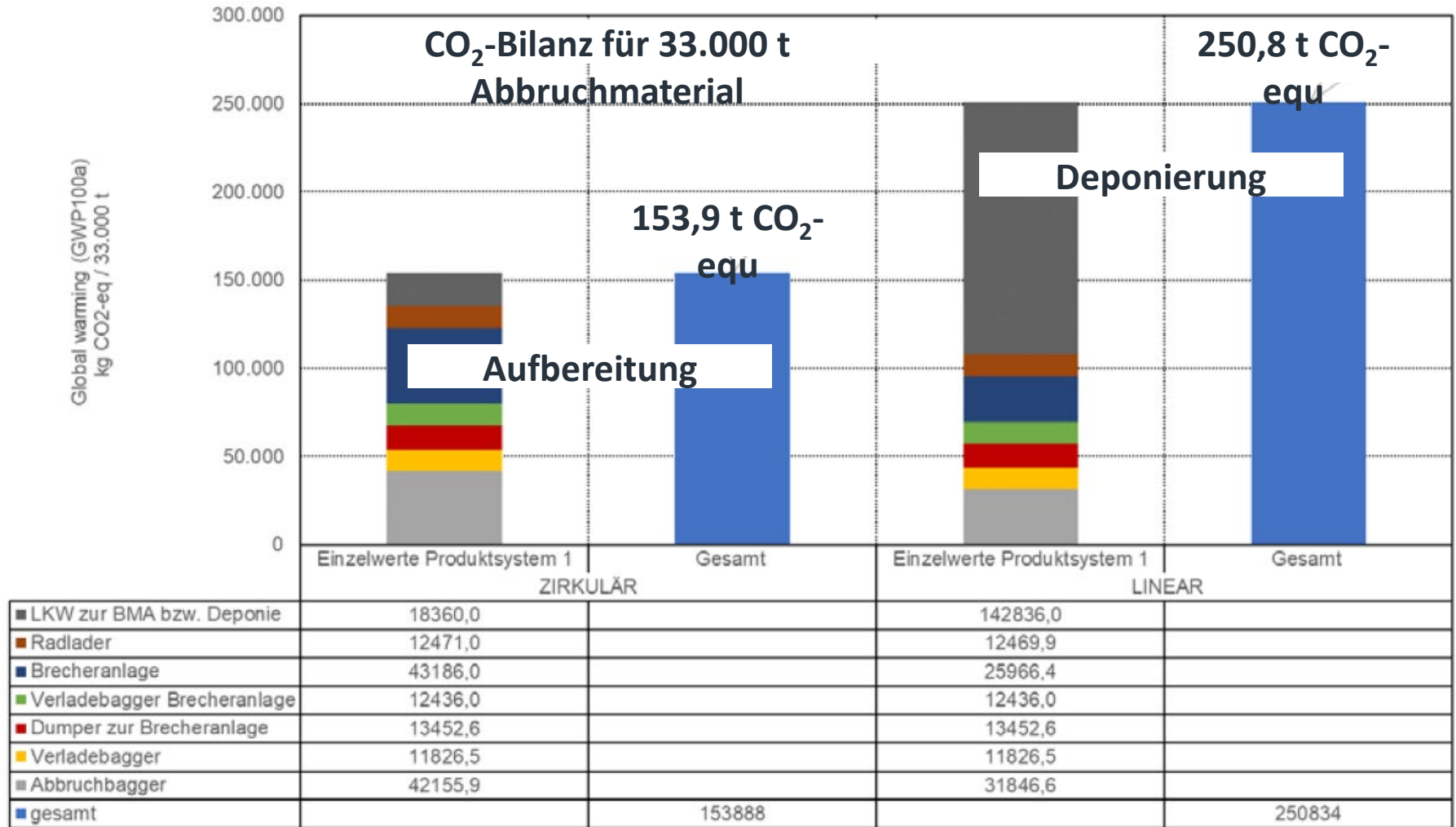
Erreichte Festbetoneigenschaften

	min	max
▪ Druckfestigkeitsklasse:	C20/25 (tw. 56 d sinnvoll)	C40/50
▪ Biegezugfestigkeit:	2,9 N/mm ²	4,2 N/mm ²
▪ Elastizitätsmodul:	22 000 N/mm ²	26 000 N/mm ²
▪ Frostbeständigkeit (CIF):		ja
▪ Carbo		XC4
▪ Schwinden, Kriechen	höher als Normalbeton, R-Beton nach Norm +25% und höher	



Recyclingbeton – ein Beitrag zum Klimaschutz?

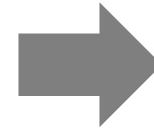
Prozessketten Abbruch und Aufbereitung bzw. Abbruch und Deponierung



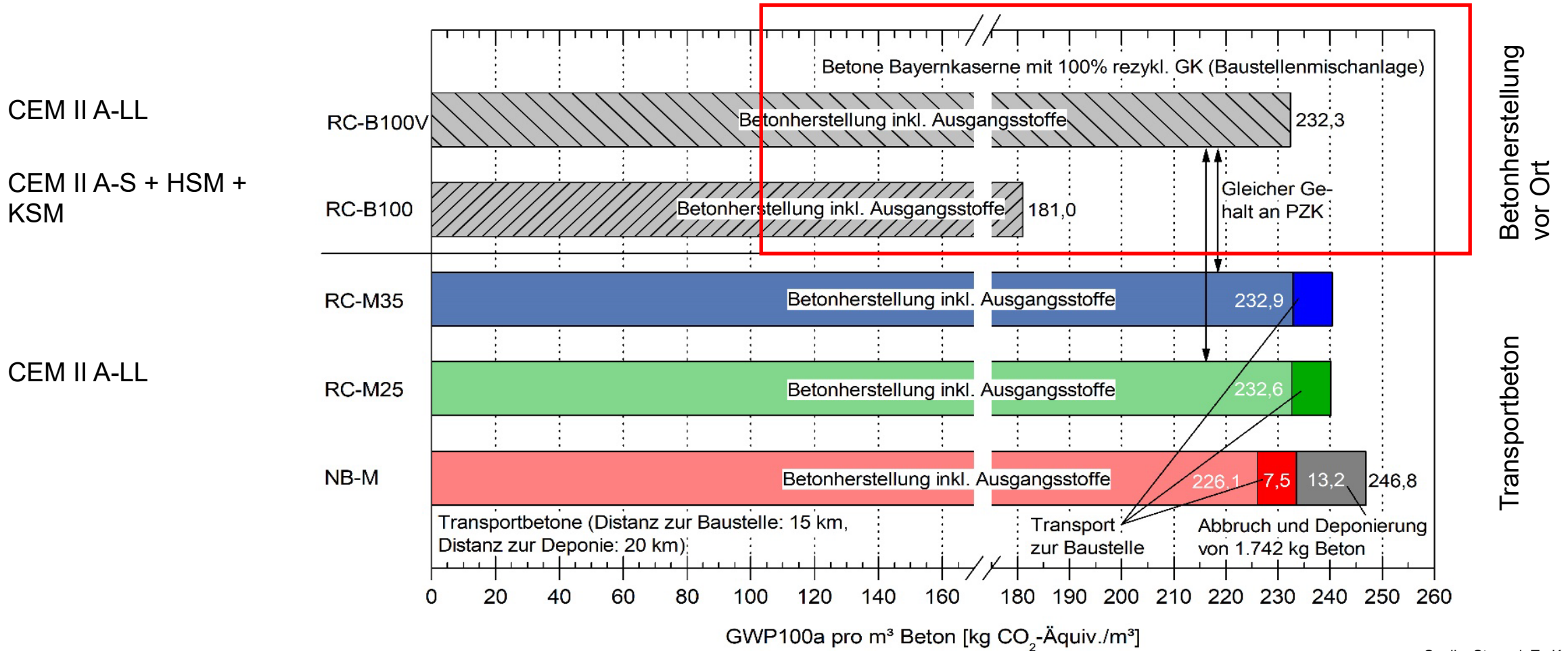
- Knapp 40% Reduzierung CO₂-equ durch Wegfall Transporte zur Deponie (Distanz: 20 km)!
- Ab einer Distanz zur Deponie von 2,6 km sind die CO₂-equ Emissionen bei der Aufbereitung vor Ort geringer!

R-Beton rezyklierte Körnung und Bindemitteloptimierung

Bindemiteleinfluss auf CO₂ Fußabdruck



Rund 22 % Reduzierung CO₂-equ durch Änderung des Bindemittels



- **RC-Beton kann für tragende Außenbauteile eingesetzt werden.**
- Anteil rezykl. GK begrenzt auf 25, 35 bzw. 45 Vol.-%, Druckfestigkeit begrenzt auf C50/60 bzw. C30/37 (bei >25 Vol.-% rezykl Gesteinskörnung)
- Aspekte für die Praxis/Herstellung: Verfügbarkeit, Ausstattung des Herstellwerks (Silos, Dosieranlage)
- **Verwendung von RC-Beton außerhalb der Norm frühzeitig planen, ggf. ZiE erwirken**
- Dauerhaftigkeitskennwerte prüfen und beachten; Verformungskennwerte beachten
- Verwendung auch von 100% mit hohen Betongüten möglich!
- Forschung zur Weiterentwicklung von RC100-Beton erfolgt

- **R-Beton schont natürliche Ressourcen und evtl. Transportkilometer (unbedingt prüfen)**
- **CO₂ Emissionen werden durch weniger Transporte und sinnvolle Bindemittelwahl eingespart (R-Beton)**

Danke fürs Zuhören!



Bei Rückfragen:

andrea.kustermann@hm.edu