

1. Veranstaltung **18. März** (HM)
2. Veranstaltung **15. April** (TUM)
3. Veranstaltung **10. Juni** (TUM)
4. Veranstaltung
5. Veranstaltung

- bau einfach – **um**
- bau einfach – **zirkulär**
- bau einfach – **radikal**
- bau einfach – **stadt**
- bau einfach – **gemeinsam**

# einfach

**Die Veranstaltungsreihe 2026**  
 jeweils um 19 bis ca. 20.30 Uhr im  
 Audimax der HM oder Pavillon 333  
 mit Vorträgen, Diskussionen und  
 natürlichem Ingenieurverstand

bau einfach



veranstaltet vom

in Kooperation mit

**baob** berufsverband der  
 freien architekt:innen  
 und bauingenieur:innen



Veranstaltung 2/6  
**bau einfach – zirkulär**  
Vorträge  
mit Diskussion

zum Livestream  
<https://zoomlink>  
s. a. QR-Code

15. April 2026 um 19.00 -20.30 Uhr  
im Pavillon 333, der TUM + Pinakothek  
der Moderne, Türkenstraße 15  
**Prof. Andrea Kustermann**, Hochschule  
München, »Recycling von Beton«  
**Luise v. Zimmermann**, Baustoffbörse  
Concular, »Kreise statt Krise -  
Zirkuläres Bauen praktisch und digital«  
**Johannes Daiberl**, initiative zirkuläres  
bauen, »metso'metso - das Kreislauf-  
prinzip in der Metzgerstraße«  
**Lucia Niederer**, Förd. zirkuläres Bauen

# einfach

Prof. Dr. Ing. **Andrea Kustermann**

**Recycling von Beton**

# IMB

Institut für Material- und  
Bauforschung

## einfach bauen - zirkulär Recycling von Beton

14. April 2026/Andrea Kustermann

HM  IMB  
Institut für Material- und  
Bauforschung

HM 



# Übersicht

## Recycling und rückbaufähiges Bauen mit Beton und Holz

### Recycling von Beton

- Warum?
- Was erlaubt die Norm?
- Was ist möglich über die Norm hinaus?
- Praxisbeispiele R-Beton mit 100% rezyklierter Körnung
- Recyclingbeton – ein Beitrag zum Klimaschutz?
- Neues aus der Forschung
- Kreislauffähiges/Rückbaufähiges Bauen

Vorstellung Projektergebnisse *Rural Mining*

# Recyclingbeton: aktueller Stand der Normung und Forschung

Recyclingbeton

Verwendung rezyklierte Gesteinskörnung

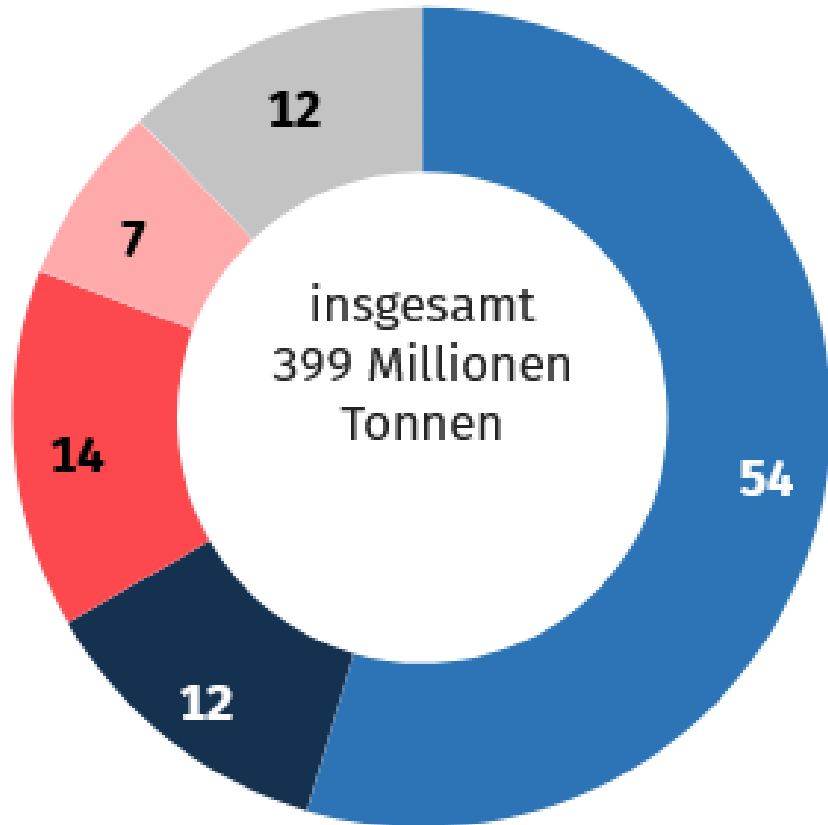
R-Beton

Ressourcenschonender Beton

zusätzlich Fokus Bindemittel:  
Niedriger CO<sub>2</sub> Fußabdruck

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

# Abfallaufkommen gesamt in Deutschland



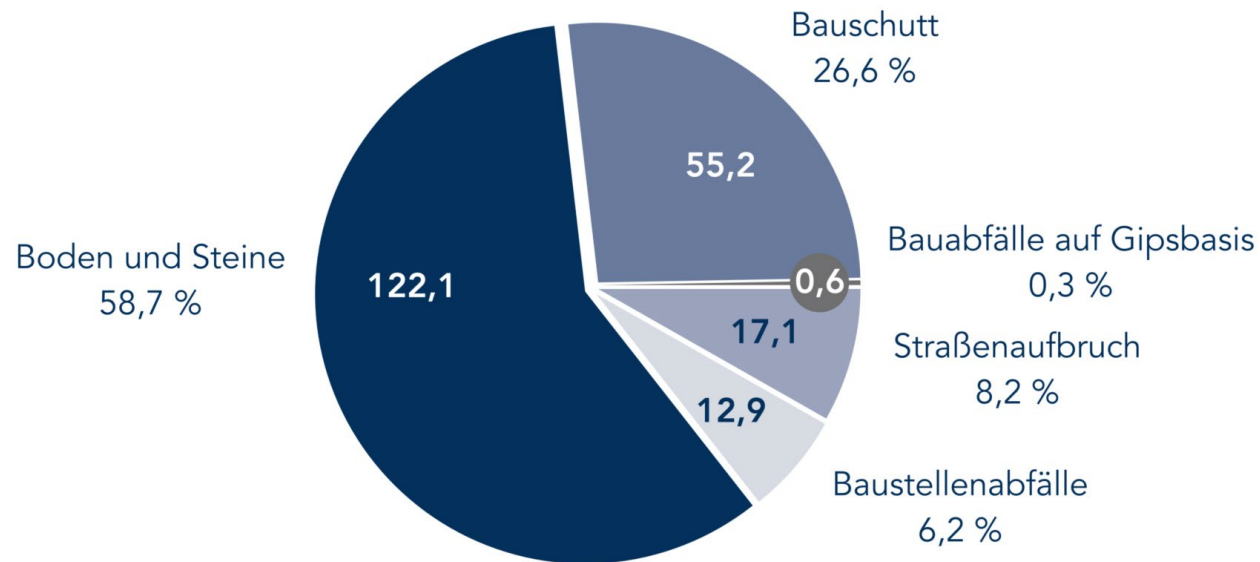
- Bau- und Abbruchabfälle
- Siedlungsabfälle
- Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen
- Abfälle aus der Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen
- Übrige Abfälle (insbesondere aus Produktion und Gewerbe)

Rundungsbedingte Abweichungen möglich.

# Mineralische Bauabfälle 2022 (in Mio. t)

## Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2022 (in Mio. t)

Anfall insgesamt: 207,9 Mio. t



Quelle: Kreislaufwirtschaft Bau, Monitoringbericht



## 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!

Wiederverwendung  
Reuse

Wiederverwertung  
Recycling

# 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 <sup>a</sup> %	< 2	< 3	< 5	< 20
Asphalt %	< 1	< 1	< 1	
Fremdbestandteile <sup>b</sup> %	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1

<sup>a</sup> Porosierte Ziegel, Leichtbeton, Ziegel, Putz, Mörtel, Schlacke.

<sup>b</sup> Glas, Keramik, Stückgips, Kunststoffe, Metalle, Holz, Papier, Pflanzenreste.



Quelle: Grübl, P.; Rühl, M., Beton mit recycelten 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 1042-2, seit August 2023  
bauaufsichtlich eingeführt seit März 2025

Gesteinskörnung (% Volumenanteil)

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

**b) feine rezyklierte Gesteinskörnung des Typs 1 ≤ 20% Volumenanteil bez. auf gesamte GK**  
**→ Typ 1 Recyclingsand ist erlaubt!**

rezyklierten Gesteinskörnung  
nung stammen, für die die  
anteil der feinen rezyklierten  
ößer sein, als der Anteil der  
ndlichkeitsklasse E 1-S nach

Quelle: DIN 1045-2: Anhang E 8/2023

# Recyclingbeton nach Norm

## Was geht jetzt sofort?

- RC-Beton kann für tragende Außenbauteile gemäß Norm (DIN 1045-2) verwendet werden (entsprechend der Expositionsclassen)
- Anteil rezyklierter GK begrenzt auf 25, 35 bzw. 45 Vol.-%
- RC-Sand Typ 1 in begrenztem Masse erlaubt
- Druckfestigkeit begrenzt auf C30/37 (<25 Vol% rez. GK bis C50/60)
- 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:

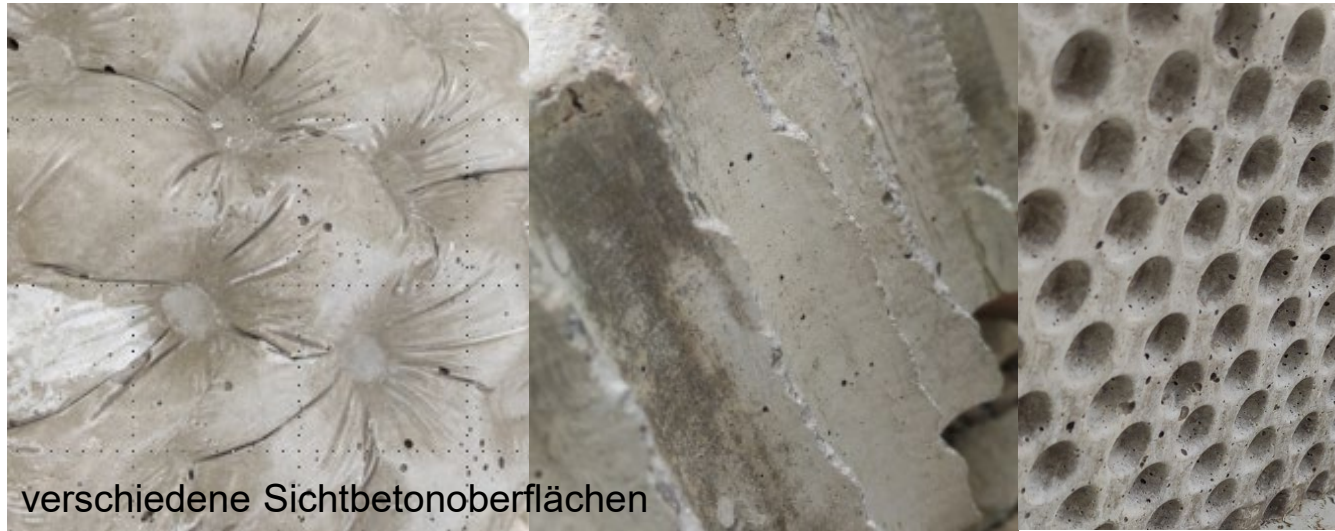
z.B. → projektbezogene Zustimmung im Einzelfall (ZiE)  
erteilt vom Bauministerium des Landes

Beispiele der Umsetzung:

# Pilotprojekt: 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 Typ 2
- C30/37 56 d



verschiedene Sichtbetonoberflächen

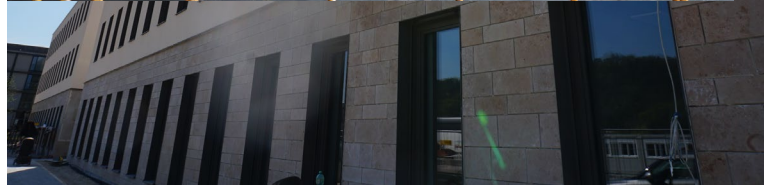
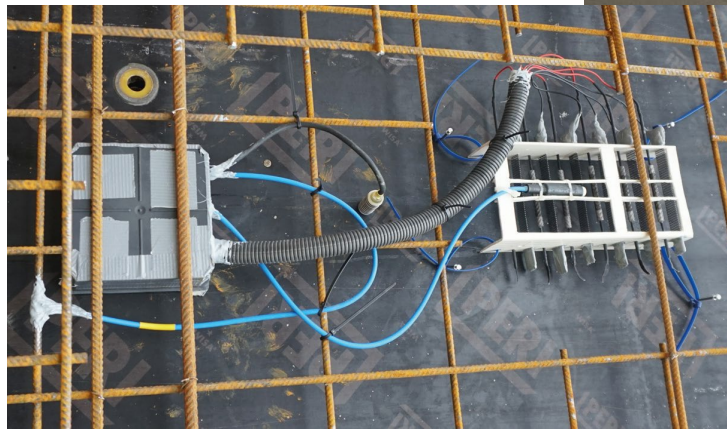
Prof. Arthur Wolfrum (Arch.), Prof. Andrea Kustermann/Prof. Christoph Dauberschmidt/Prof. Thorsten Stengel (Bauing)



## Praxisbeispiel – über die Norm hinaus

### Erwirkung von ZiE (LRA Eichstätt):

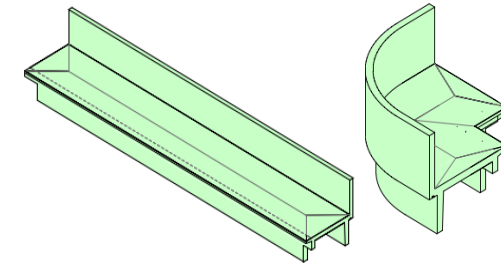
- Hoher Anteil Recyclingbeton nach Norm (70%)
- Innenwände (XC1) mit 100% rezykliertes GK
- **C30/37**
- **ZiE erteilt, Bau abgeschlossen**



## Praxisbeispiel – über die Norm hinaus

### Erwirkung von ZiE (Karlsruhe):

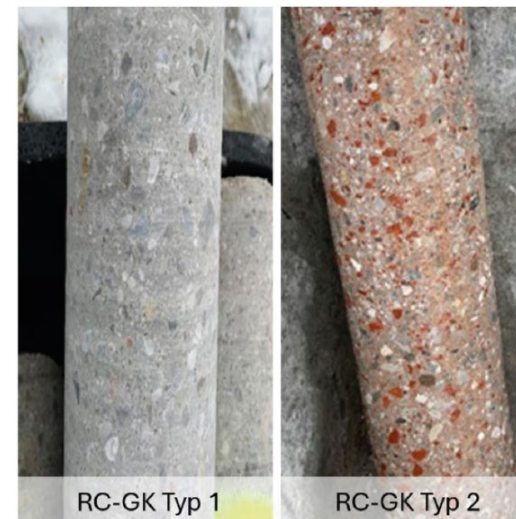
- FT-RC-Beton mit 100% rezyklierter GK
- Außenbauteil **XC4, XF3**
- **C40/50**, frostbeständig
- Vorversuche, Frisch- und Festbetonversuche abgeschlossen
- Dauerhaftigkeitsversuche abgeschlossen → FT-Werk produziert



Quelle: Schuler Ingenieurbüro für Bautechnik Karlsruhe

### Erwirkung von ZiE (München, Levellingsstr.):

- Bohrpfähle Typ1 bewehrt, Typ 2 unbewehrt
- **C25/30 (28 d) XC3**



# Praxisbeispiel – über die Norm hinaus

## Schulneubau München

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

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



## Praxisbeispiel – über die Norm hinaus

### Erwirkung von ZiE:

- Verwertung des Vorgängerbauwerks
- BK geprüft, gebrochen,
- Tests mit 100% RC-Beton nachgewiesen
- **C30/37 (56d), XC1, XF3 Typ 1 und**
- **C25/30 XF1, XC1 Typ 2**
  
- **Machbarkeit nachgewiesen**
- **Ausschreibung läuft**

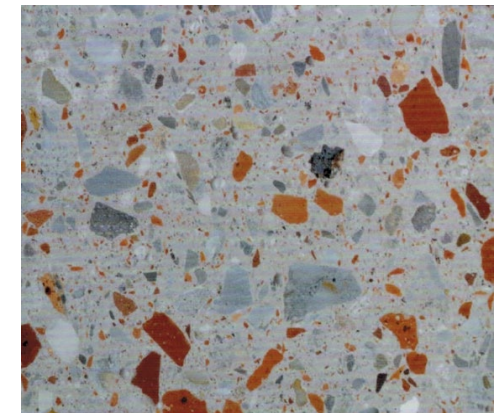
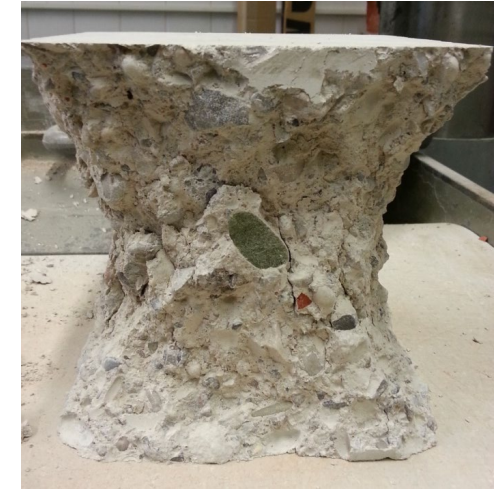


## Praxisbeispiele: Über die Norm hinaus (100% rezyklierte Körnung)

ZiE 1 bis 10

Erreichte Festbeton- und Dauerhaftigkeitseigenschaften

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



# Gute-Nacht-Lektüre- Aufsatz in „Beton- und Stahlbetonbau“

DOI: 10.1002/best.202400049

Peter Wild, Andrea Kustermann, Thorsten Stengel

AUFSATZ

AUFSATZ  
ARTICLE

## Beton mit 100 % rezyklierter Gesteinskörnung – Erfahrungsbericht zu acht Praxisprojekten

Im vorliegenden Beitrag wird über acht Anwendungsbeispiele aus der Praxis für Beton mit 100 % rezyklierter Gesteinskörnung berichtet. Die Anwendungen umfassen bewehrte/unbewehrte Bohrpfähle, Fundamente, tragende Innen-/Außenwände, Stützen und Deckenplatten sowie frei bewitterte Fertigteile. Einige Bauteile wurden als Sichtbeton ausgeführt. Das jeweilige Projekt wird zusammen mit den Ergebnissen der Betonentwicklung und Betonprüfung sowie den Erfahrungen aus der Erwirkung der Zustimmungen im Einzelfall zusammengefasst. Auf Basis der Erkenntnisse aus den verschiedenen

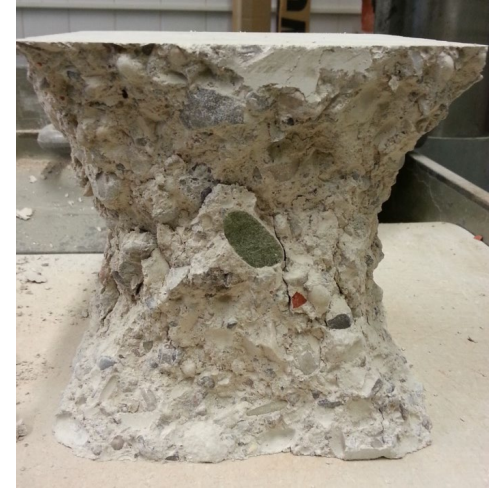
### Use of 100 % recycled aggregates in concrete – report on practical applications

This article reports on eight practical examples of applications for concrete with 100 % recycled aggregates. The applications include reinforced/unreinforced bored piles, foundations, load-bearing internal/external walls, columns and floor slabs as well as balcony elements. Some components were realised as architectural concrete components. The respective project is summarised together with the results of the concrete development and concrete testing as well as the

## Recyclingbeton Umsetzung und Probleme

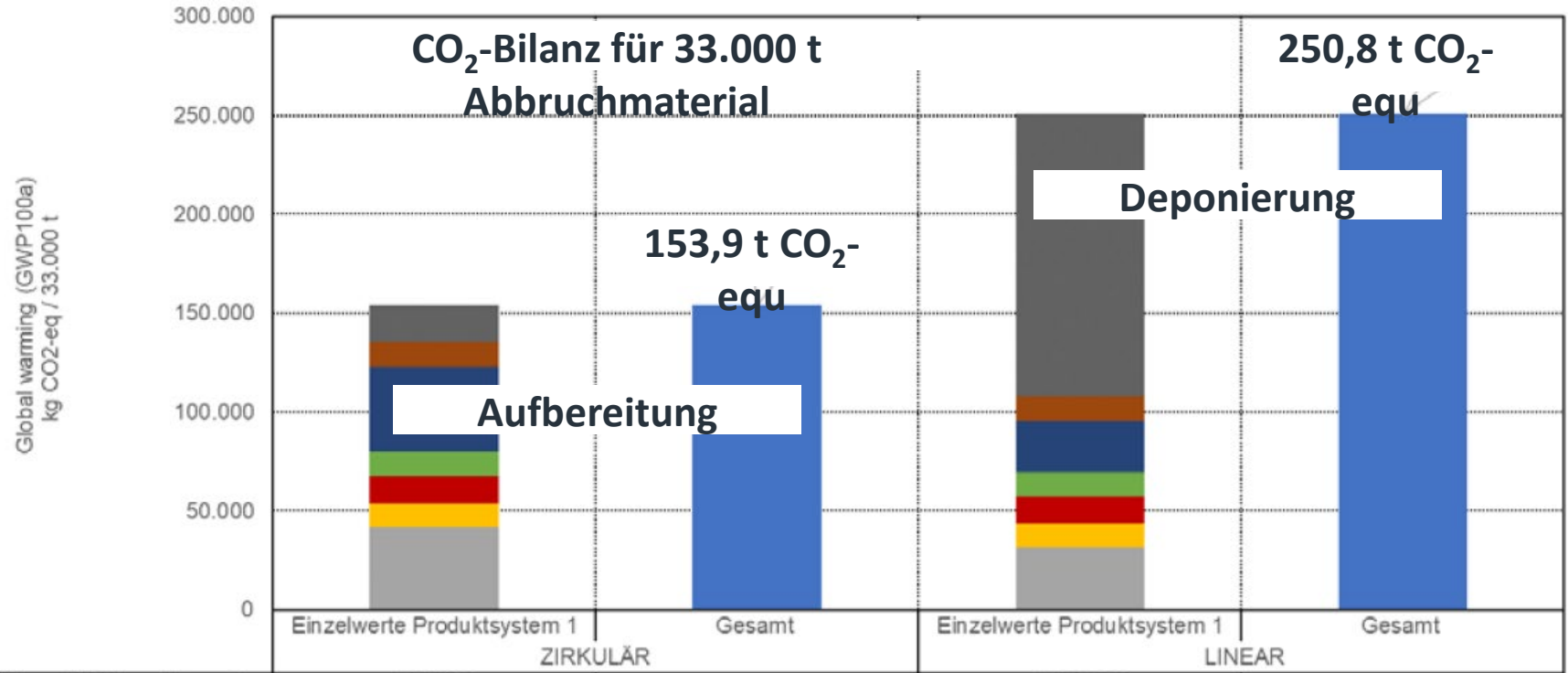
- Verfügbarkeit ?
- Akzeptanz ?
- Befestigungsmittel- Zulassungen nur für Normalbeton  
DAfStB Unterausschuss:  
Bemessung von Befestigungen bei höheren Austauschraten  
als 25 Vol.-% oder Typ 2 RC-GK erfordert besondere  
Betrachtungen (z. B. Zulassungsverfahren oder ZiE).
- Brandschutz – derzeit Diskussionen bei mehr als 25% RC-  
Material

➔ machbar: aber rechtzeitig angehen



# Recyclingbeton – ein Beitrag zum Klimaschutz?

Prozessketten Abbruch und Aufbereitung bzw. Abbruch und Deponierung



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

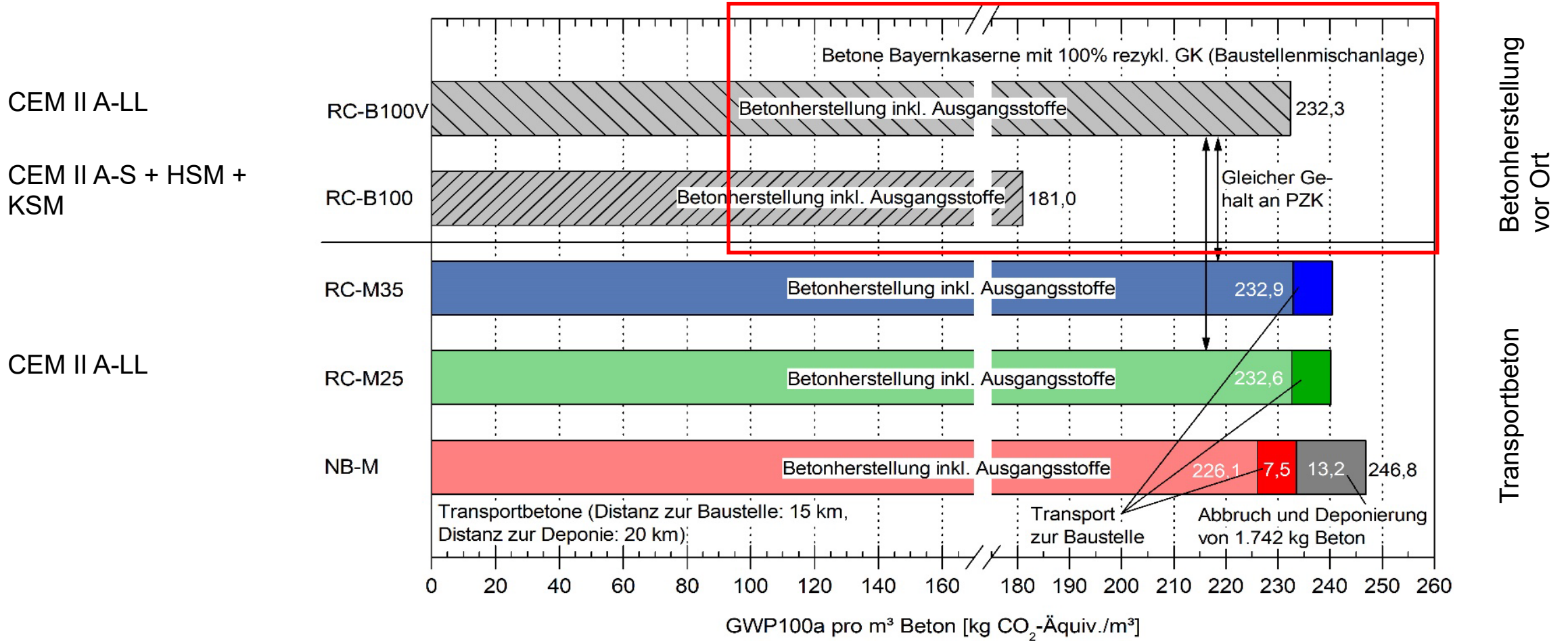
	ZIRKULÄR		LINEAR	
	Einzelwerte Produktsystem 1	Gesamt	Einzelwerte Produktsystem 1	Gesamt
■ LKW zur BMA bzw. Deponie	18360,0		142836,0	
■ Radlader	12471,0		12469,9	
■ Brecheranlage	43186,0		25966,4	
■ Verladebagger Brecheranlage	12436,0		12436,0	
■ Dumper zur Brecheranlage	13452,6		13452,6	
■ Verladebagger	11826,5		11826,5	
■ Abbruchbagger	42155,9		31846,6	
■ gesamt		153888		250834

# R-Beton rezyklierte Körnung und Bindemitteloptimierung

Bindemiteleinfluss auf CO<sub>2</sub> Fußabdruck



Rund 22 % Reduzierung CO<sub>2</sub>-equ durch Änderung des Bindemittels



# CO<sub>2</sub>-Bilanz von Recyclingbeton und Normalbeton

Gibt es Vorteile jenseits der Ressourcenschonung?

## Zirkuläres versus lineares System - Verallgemeinerung:

### Nomogramme zur Bestimmung des GWP (RC-Beton)

DOI: 10.1002/best.202400043

Thorsten Stengel, Andrea Kustermann

## Ökobilanzierung von Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung im Vergleich zu Normalbeton

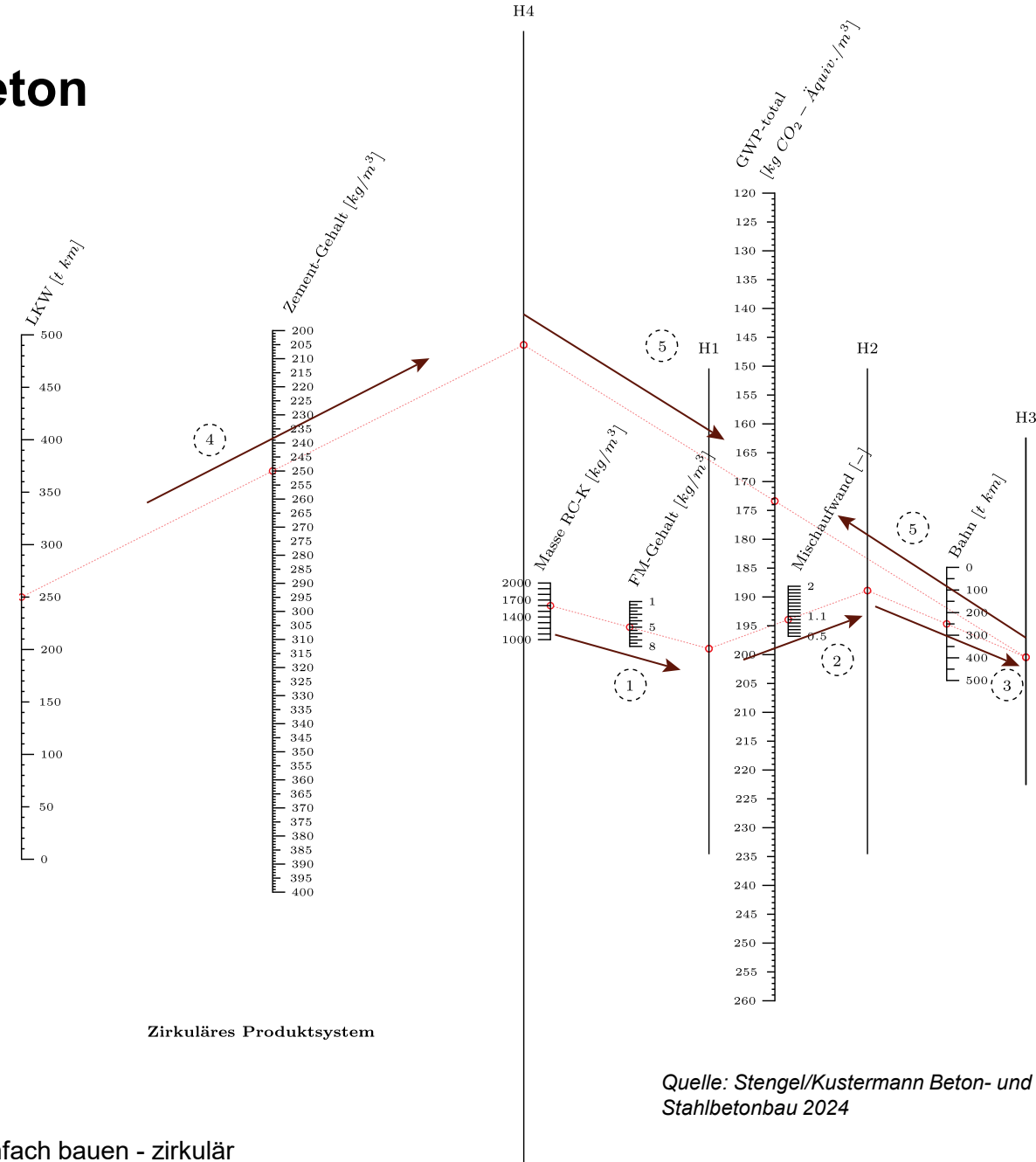
Der Bausektor verursacht einen großen Teil des Verbrauchs natürlicher Ressourcen und ist zugleich Quelle der größten Abfallströme. Daher muss es Ziel sein, die Kreislaufwirtschaft im Bausektor zu verbessern. In diesem Zusammenhang wurde am Institut für Material- und Bauforschung der Hochschule München die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnung über die technischen Baubestimmungen hinaus bis zu 100% für Konstruktionsbetone untersucht. Die ersten Anwendungen von Beton mit 100% rezyklierter Gesteinskörnung (100% R-Beton) wurden bereits abgeschlossen. Basierend auf den Erkenntnissen aus den Forschungs- und Bauprojekten wurden

### Life cycle assessment of concrete made of 100% recycled aggregate compared to normal concrete

The construction sector accounts for a significant proportion of the consumption of natural resources and is also the source of the largest waste streams. The aim must therefore be to improve the circular economy in the construction sector. In this context, the Institute for Materials and Building Research (IMB) at Munich University of Applied Sciences (HM) has investigated the use of recycled aggregates beyond the technical building regulations up to 100% including recycled sand for the production of structural concrete. The first appli-

AUFSATZ

PLEASE NOTE: This file is for archiv



Zirkuläres Produktsystem

Quelle: Stengel/Kustermann Beton- und Stahlbetonbau 2024

# Forschung am IMB Recyclingbeton, MICP und alternative Bindemittel, CO<sub>2</sub> Reduktion

## BICERCRETE:

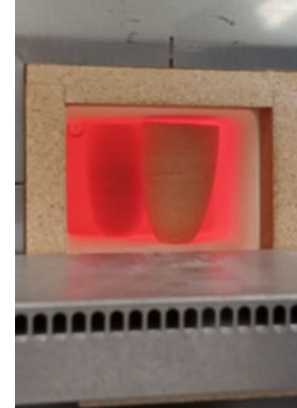
Biozementierung, R-Beton, alternative Bindemittel  
und alternative Bewehrung

## R3C2:

Recycling von Abwasser und minderwertigen  
mineralischen Bauabfällen mit Hilfe von  
Biozementierung zur Verwendung als  
Gesteinskörnung in ressourceneffizientem Beton



**Recyclingsand wird thermisch und  
mechanisch aufbereitet und als  
Zusatzstoff zugegeben**



**Biozementierung zur  
Optimierung der  
rezyklierten Körnung**



**Basaltfaserstabbewehrung**

1000µm

**Betone mit Typ 3 und Typ 4 Gesteinskörnung**

# Rückbaufähiges/Kreislauffähiges Bauen

## Projekt „Rural Mining“



Ausstellungshaus A

abgebaut in Offenburg (Straßburg)

aufgebaut in Fichtenau (Dinkelsbühl)



Ausstellungshaus B

abgebaut in Poing (München)

aufgebaut in Tittling (Passau)



Ausstellungshaus C

abgebaut in Heßdorf (Erlangen)

aufgebaut in Alzhausen (Landshut)

# Rückbaufähiges/Kreislauffähiges Bauen

## Rückbau Haus B



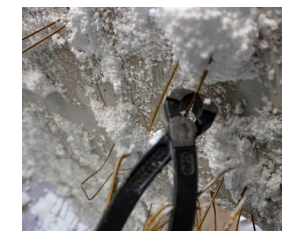
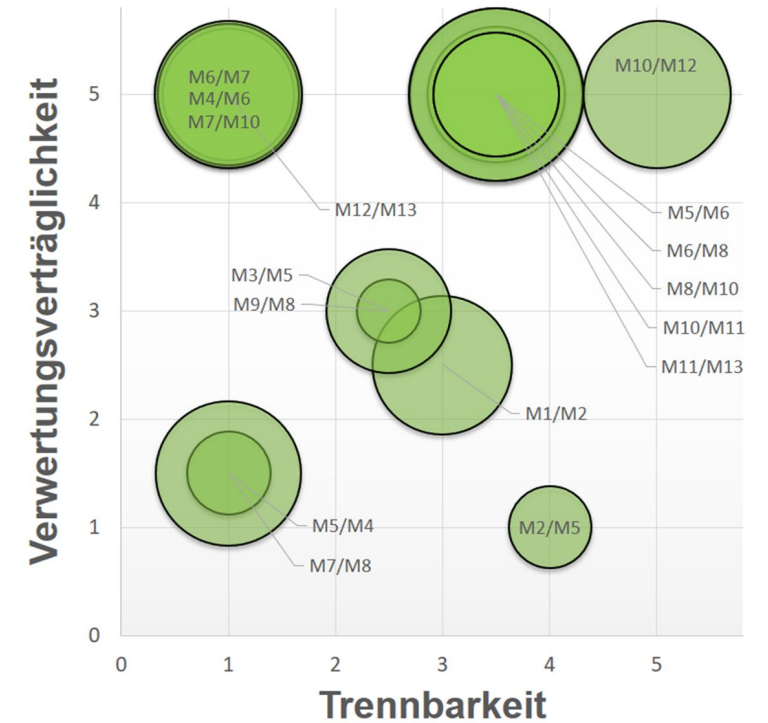
Aussaugen von Schüttung



Estrichabbruch

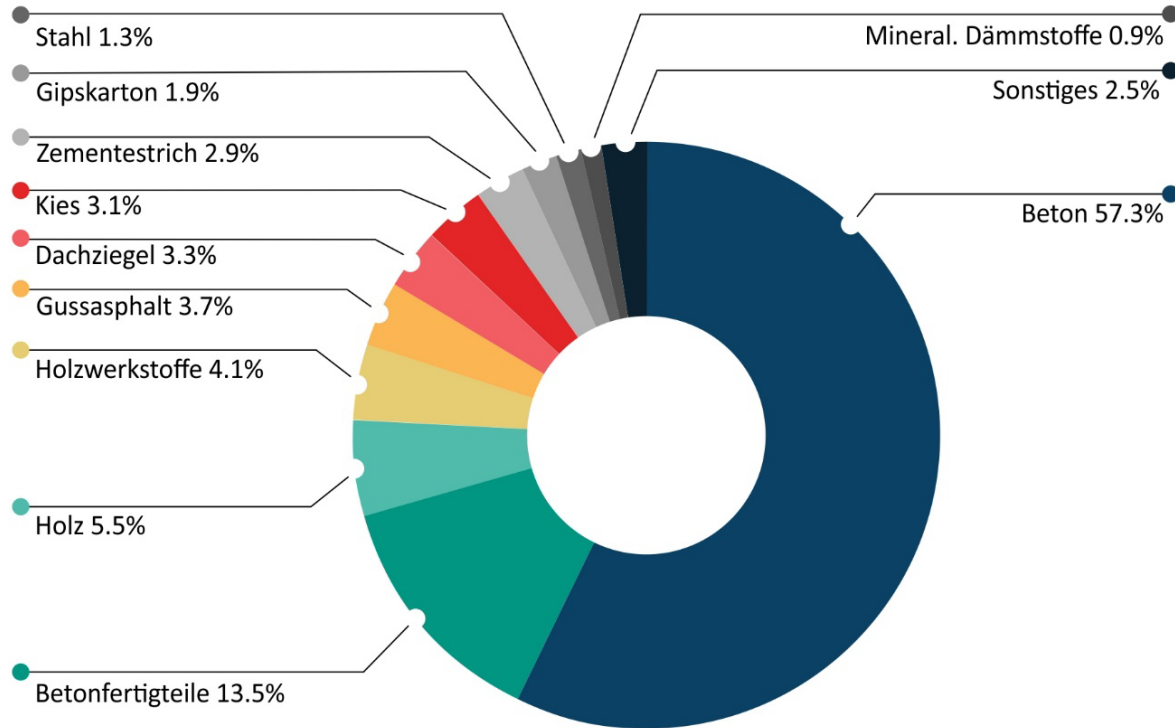
# Laboruntersuchungen:

## Vergleich zwischen einer hinterlüfteten Fassade mit Holzwolldämmplatten und WDVS mit EPS

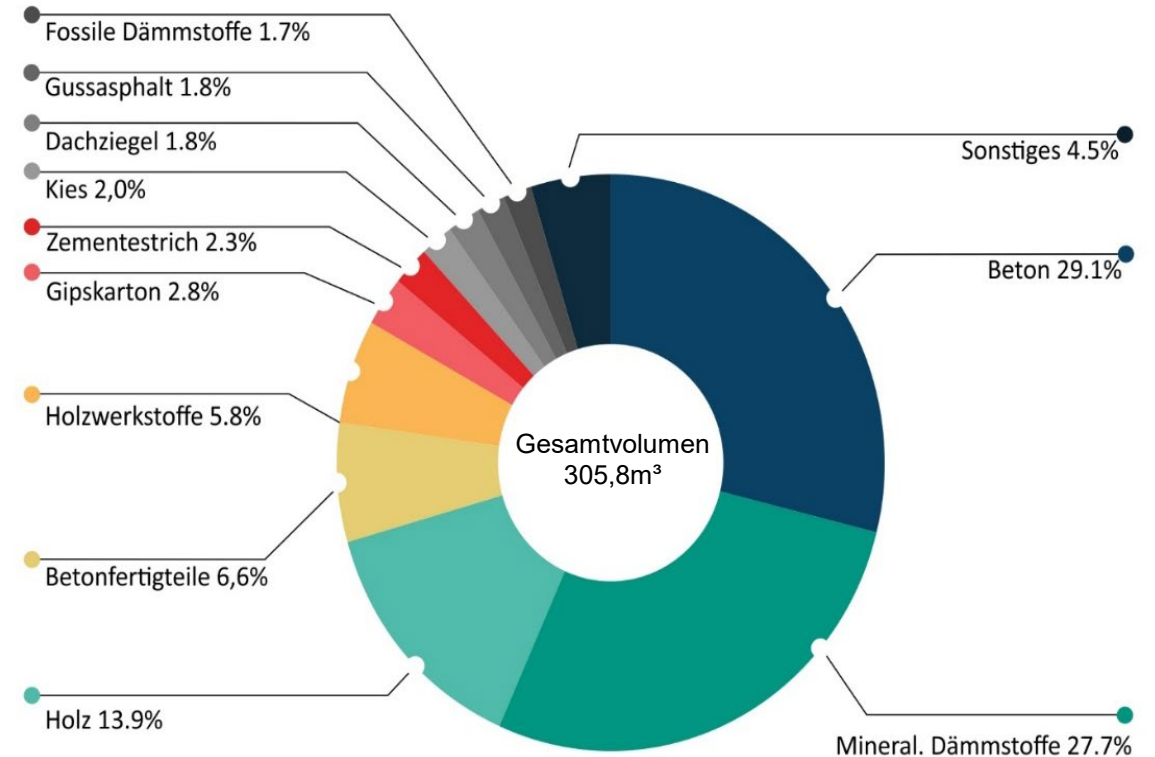


# Rückbaufähiges/Kreislauffähiges Bauen

## Bilanz der rückgebauten/abgebrochenen Materialien



Massenbilanz der verbauten Materialien im Haus B



Volumenbilanz der verbauten Materialien im Haus B

# Zusammenfassung

- **RC-Beton** nach Norm kann für viele Anwendungen ohne Aufwand eingesetzt werden.
- Rechtlich und technisch ist vieles möglich!
- Verfügbarkeiten erhöhen durch Nachfrage!
  
- **Verwendung von R(C)-Beton außerhalb der Norm frühzeitig planen, ggf. ZiE erwirken**
- Dauerhaftigkeits- und Verformungskennwerte prüfen und beachten
- Verwendung auch von 100% mit hohen Betongüten und auch anspruchsvolleren Expositionen möglich!
- **Forschung zu R-Beton geht voran!**
  
- **R-Beton** schont natürliche Ressourcen und evtl. Transportkilometer (unbedingt prüfen)
- **CO<sub>2</sub> Emissionen eingespart: weniger Transporte und sinnvolle Bindemittelwahl (R-Beton)**

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



1. Veranstaltung **18. März** (HM)
2. Veranstaltung **15. April** (TUM)
3. Veranstaltung **10. Juni** (TUM)
4. Veranstaltung **24. Juli** (Radl)
5. Veranstaltung
6. Veranstaltung

- bau einfach – um
- bau einfach – zirkulär
- bau einfach – **radikal**
- bau einfach – anschauen
- bau einfach – stadt
- bau einfach – gemeinsam

# ein·fach

**Die Veranstaltungsreihe 2026**  
 jeweils um 19 bis ca. 20.30 Uhr im  
 Audimax der HM oder Pavillon 333  
 kleiner Imbiss + Getränke bis 22:00  
**mit Vorträgen, Diskussionen und  
 natürlichem Ingenieurverstand**

**bau einfach**



veranstaltet vom

in Kooperation mit

**bob** berufsverband der  
 freien architekt:innen  
 und bauingenieur:innen

