

# Ressourcen- und klimaschonendes Bauen: Übereinstimmende oder widersprüchliche Ziele

Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller  
IAB Weimar gGmbH

Marienthal  
21. Juni 2016

1. Ressourceneffizienz entlang der Wertschöpfungskette Bau
2. Bauwerke als Ressource: Gegenwärtiger Stand
3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz
  - Entwicklung von technischen Lösungen
  - Bewertung der Rezyklierbarkeit von Baustoffen, Bauelementen, Konstruktionen und Bauwerken
  - Vertiefung und Verbreiterung der Wissensbasis
4. Klimaschonendes Bauen versus ressourcenschonendes Bauen
5. Rückblick und Ausblick

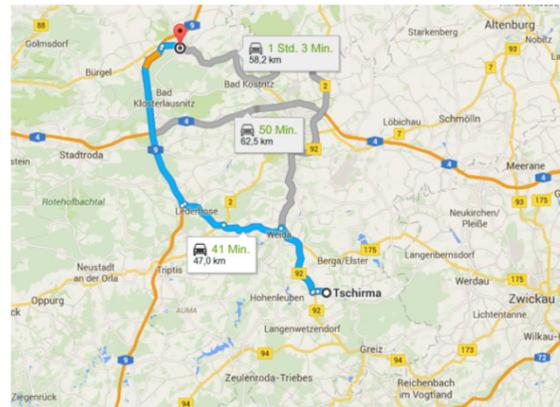
# Ressourceneffizienz entlang der Wertschöpfungskette Bau



# 1. Ressourceneffizienz entlang der Wertschöpfungskette Bau

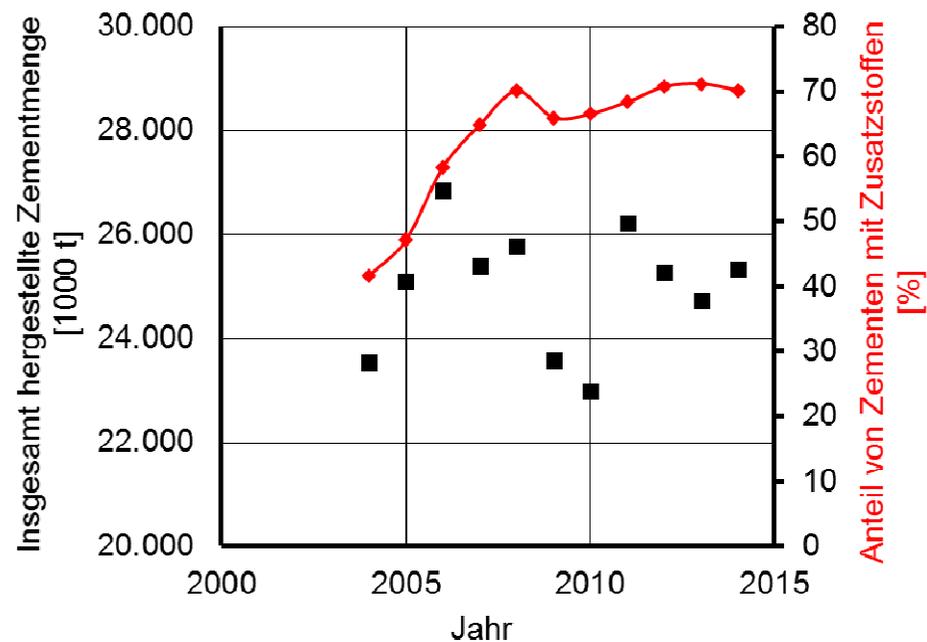
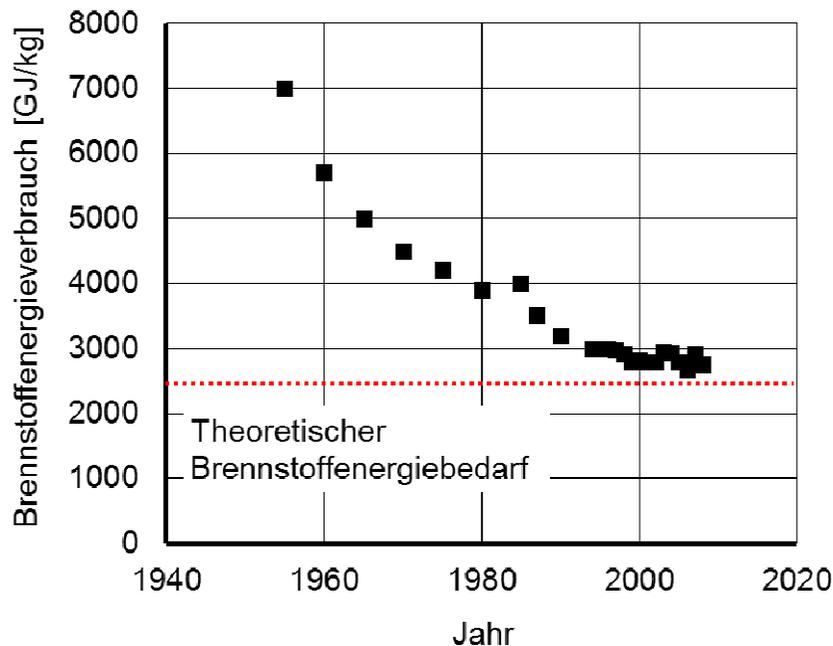
## Rohstoffabbau

- Entstehen von feindispersen Nebenprodukten physikalisch unvermeidbar
- Verwertung der Nebenprodukte mit erheblichem Aufwand verbunden
  - Entwicklung von Einsatzgebieten auf Basis von Untersuchungen
  - Ermittlung potentieller Abnehmer
  - Nachweis der Wirtschaftlichkeit
- Verwertung gelingt nur in Einzelfällen



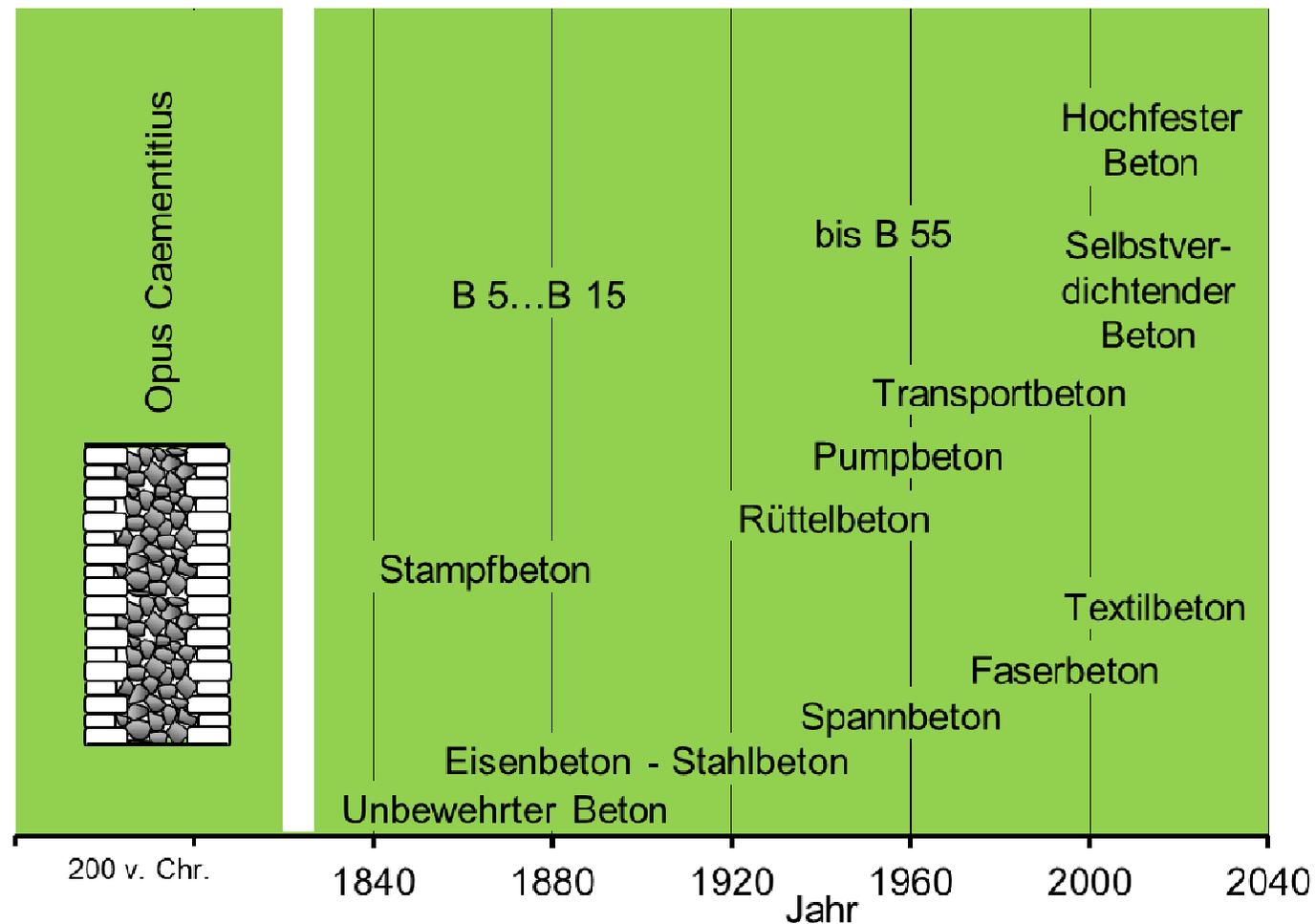
## Baustoffproduktion am Beispiel von Zement und Beton

- Optimierung der Brenn- und Mahltechnik seit Beginn der Zementherstellung
- Brennstoffenergieeinsatz für die Klinkerherstellung kaum weiter reduzierbar
- Anteil von Kompositzementen kaum steigerbar



# 1. Ressourceneffizienz entlang der Wertschöpfungskette Bau

- Steigerung der Leistungsfähigkeit von Beton ohne jedwede Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit



## Bauwerkerrichtung: Entwurf

- Berücksichtigung des Zusammenhangs Kubatur/Baustoffbedarf

	Hofreiten	Reihenhäuser
Grundstücksüberbauung	44 %	43%
Bruttogeschossflächen	1.650 m <sup>2</sup>	1.620 m <sup>2</sup>
A/V Verhältnis	0,75	0,37

- Recyclinggerechte Auswahl von Baustoffen, Verbindungselementen....

Trockenbauprodukte	Gipskartonplatten 	Wandbauplatten 	Trockenestriche 
Vor-Ort verarbeitete Produkte	Putze, Spachtel, Kleber 	Fließestriche 	



## Bauwerksentsorgung: Rückbau und Abbruch des Bauwerks

- Rückbaumethoden und -werkzeuge mit hoher Leistungsfähigkeit verfügbar
- Selektivität des Rückbaus materialseitig und wirtschaftlich determiniert
- Materialseitige Determinanten
  - Verformungsverhalten
  - Festigkeiten
- Wirtschaftliche Determinanten
  - Dauer des Rückbaus
  - Einsatz von Maschinen/Personal



## Bauwerke als Ressource: Gegenwärtiger Stand

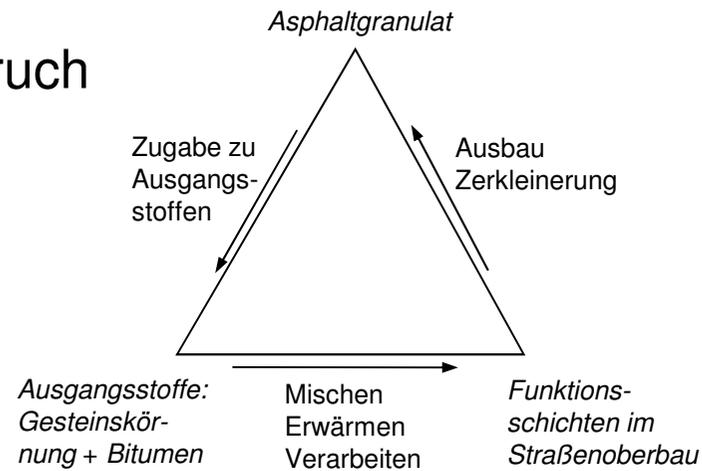
Untergliederung von Bauabfällen in material- und herkunftsbezogene Gruppen

- Asphaltaufbruch
  - Betonaufbruch
  - Mauerwerkbruch
  - Baustellenabfälle
  - Rückgebauter Gipskarton
- } Bauschutt

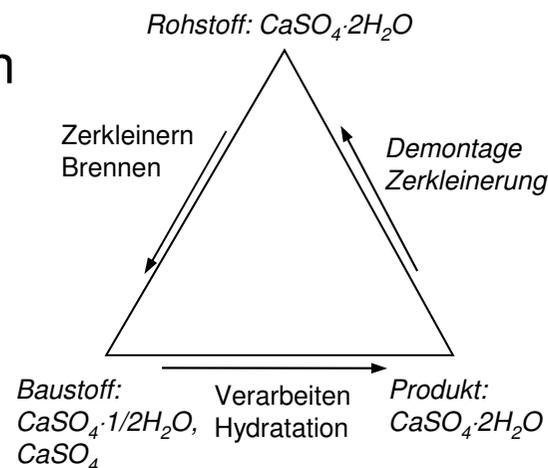


### Verfügbare Mengen und Verwertungstechnologien

Asphaltaufbruch  
15,4 Mio. t

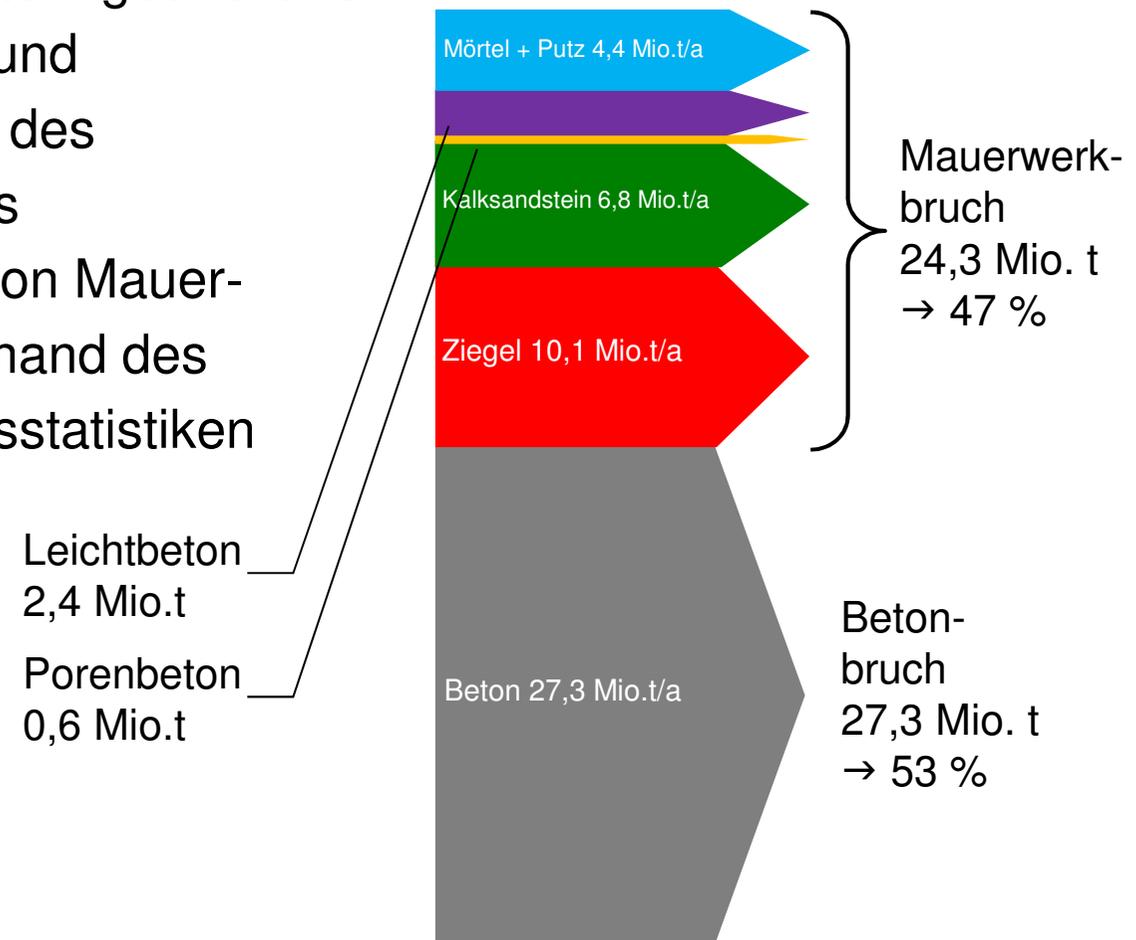


Gipskartonplatten  
< 0,6 Mio.t



Bauschutt aus Beton- und Mauerwerkbruch: 51,6 Mio.t

- Gesamtsumme nach Monitoringbericht 2012
- Aufschlüsselung in Beton und Mauerwerk nach Angaben des Statistischen Bundesamtes
- Weitere Aufschlüsselung von Mauerwerk in Wandbaustoffe anhand des Mittelwerts der Produktionsstatistiken 1950 -2012



### Betonbruch für Frostschutz- und Tragschichten im Straßenbau

- Potenzial für ungebundene Gesteinskörnungen: 3,7 Mio.t für Autobahnen und 10,8 Mio.t für Kreis- und Gemeindestraßen
- Recyclingfreundliche regionale Verteilung der Abnehmer

### Gegenwärtige Situation

- Vorschriften zu bautechnischen und umwelttechnischen Anforderungen liegen vor
- In place Verwertung bei der Instandsetzung von Autobahnen erfolgt
- Verwertung in Kreis- und Gemeindestraßen wenig sichtbar



Traut, E. Diplomarbeit, FH Münster 2010



## 2. Bauwerke als Ressource: Gegenwärtiger Stand

### Betonbruch für Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen

- Potenzial für rezyklierte Gesteinskörnungen hoch
- Recyclingfreundliche regionale Verteilung:  
1900 Transportbetonwerke versus 2172 Recyclinganlagen,  
davon 779 stationär

### Gegenwärtige Situation

- Vorschriften liegen vor
- Verwertung beginnt sehr zögerlich



### Mauerwerkbruch

- Potenzial für Verfüllungen, Wegebau

### Gegenwärtige Situation

- Keine Verwertungswege mit technischem Anspruch vorhanden
- Zustand wird der Forderung nach Ressourceneffizienz nicht gerecht



## Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

Asphaltaufbruch, Gipskartonplatten: Fortsetzung und Erweiterung der bisherigen Vorgehensweise

Betonbruch: Ausbau der Verwertung als rezyklierte Gesteinskörnung

- Entwicklung von Zerkleinerungsverfahren zur Erzeugung von feinkornarmen Körnungen
- Entwicklung von Verfahren zur Erzeugung von zementsteinarmen Körnungen

### Alternative

Vermischungsgebot bis zu einem bestimmten Anteil für niedrige und mittlere Betonfestigkeitsklassen anstelle Vermischungsverbot ?

Voraussetzung: Einhaltung der Güteparameter

#### Mauerwerkbruch: Entwicklung von neuen Produkten und Technologien

Rohstoffliche Verwertung



Verwertung in einem stoffumwandelnden Prozess. Gezielte Veränderungen der chemische bzw. mineralogischen Zusammensetzung zur Generierung neuer Produkteigenschaften.

### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

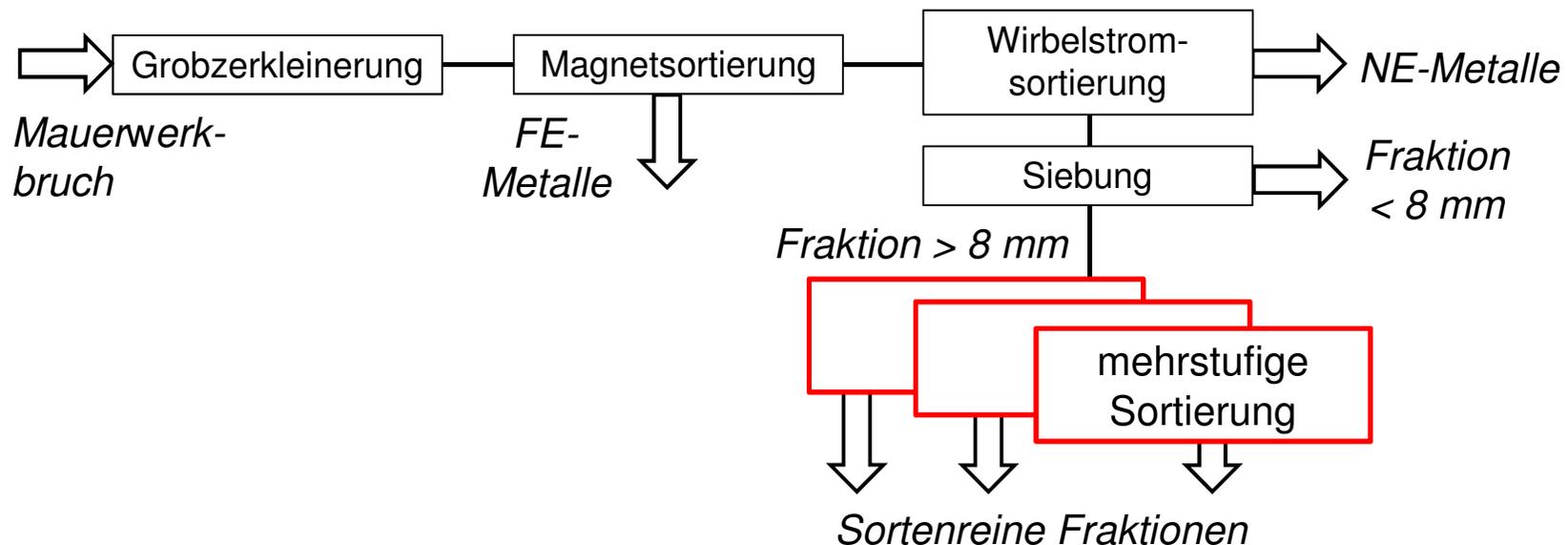
Stoffsubkreisläufe: Kohler/Kurkowski 1998; Eden et al. 2007

- Rohstoffkomponente für das ursprüngliche Produkt
- Anwendungen unter Nutzung spezifischer Eigenschaften



Voraussetzung:

- Sortenreine Rückgewinnung durch selektiven Rückbau und Sortierung

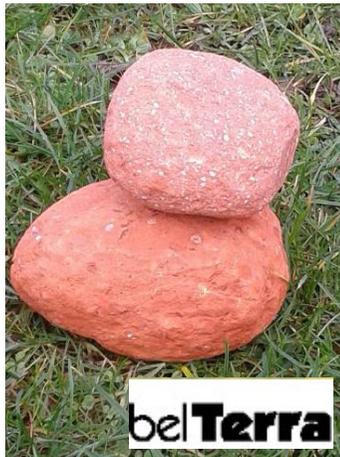


### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

#### Verwendung im ursprünglichen Produkt

- Definition von einzuhaltenden Qualitätsparametern
- Definition der Zugabemenge in Abhängigkeit von den verwendeten Primärrohstoffen und dem erzeugten Produkt

#### Identifizierung von anderen Anwendungen anhand der Eigenschaftsprofile



**Subkreislauf  
Ziegel**  
+



**Subkreislauf  
Kalksandstein**  
+



**Subkreislauf  
Porenbeton**  
+



**Subkreislauf  
Leichtbeton**  
+



**Subkreislauf  
Gipsbauplatter**  
+



**Subkreislauf  
Mineralwolle**  
+

Integrierende Stoffkreisläufe: Müller 2010

- Rohstoffkomponente für ein anderes Produkt
- Ermittlung geeigneter Produkte anhand der chemischen Zusammensetzung

Mindestvoraussetzungen:

- Keine sortenreine Rückgewinnung erforderlich
- Aushalten von nicht-mineralischen Störstoffen durch Vorsortierung
- Erfüllung von Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

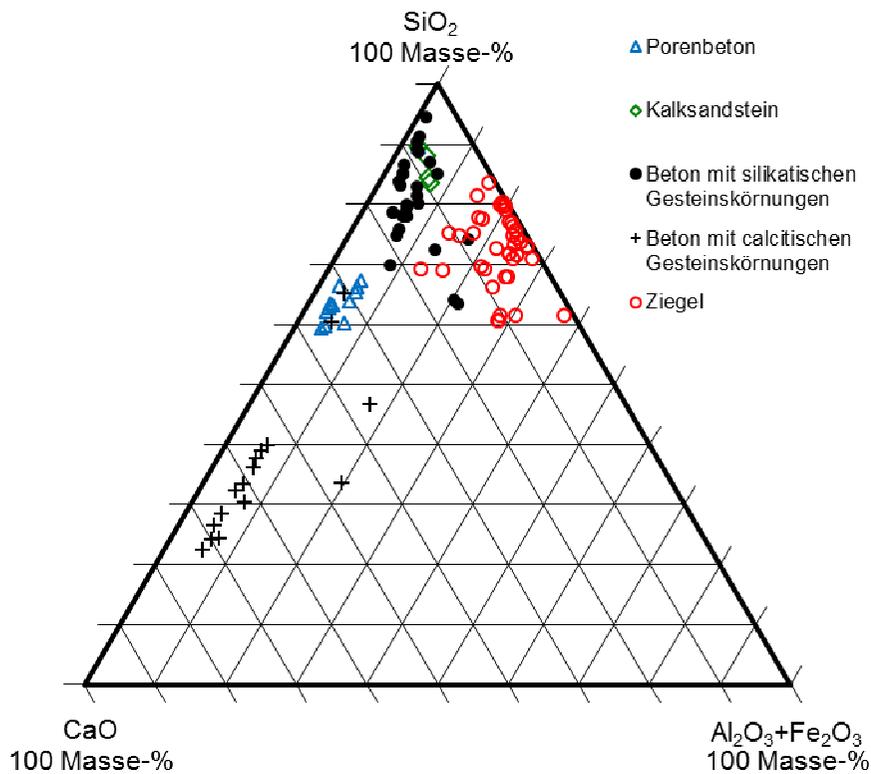


Ursprüngliche Werkstoffeigenschaften spielen keine Rolle

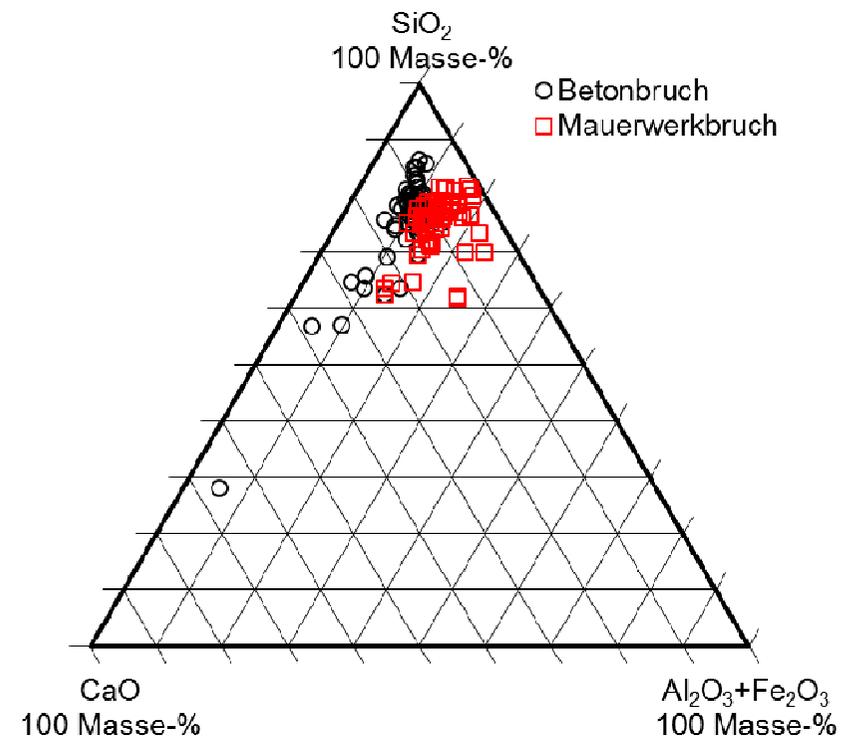
### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

Auswahl möglicher Produkte anhand der chemische Zusammensetzung von Mauerwerkbruch

Sortenreine Baustoffe im „Zement“-Dreistoffdiagramm

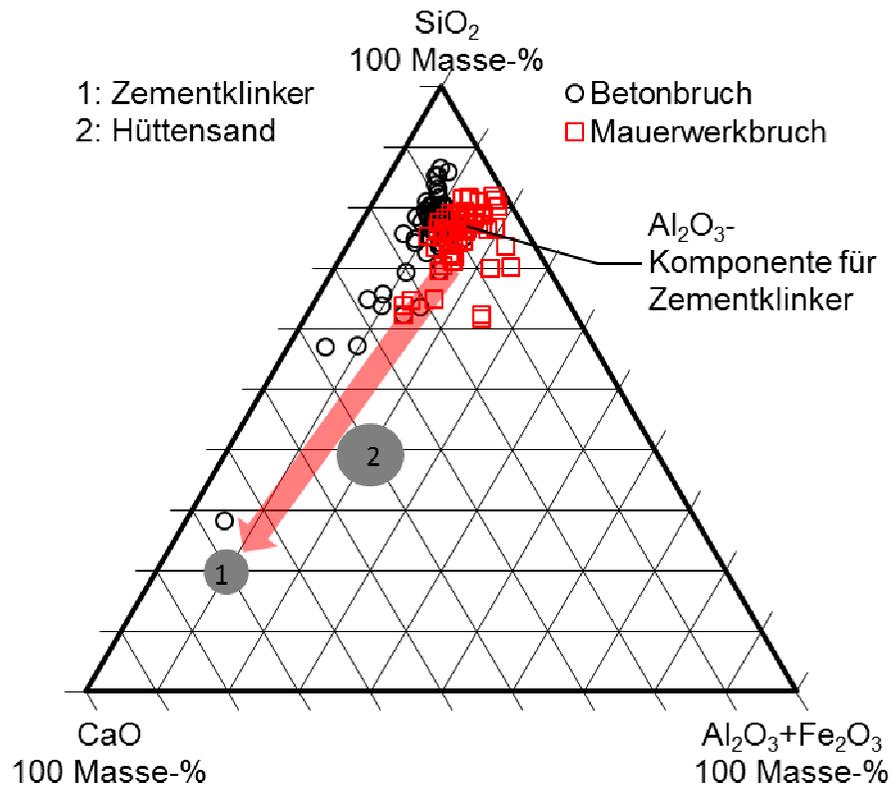


Beton- und Mauerwerkbruch im „Zement“-Dreistoffdiagramm

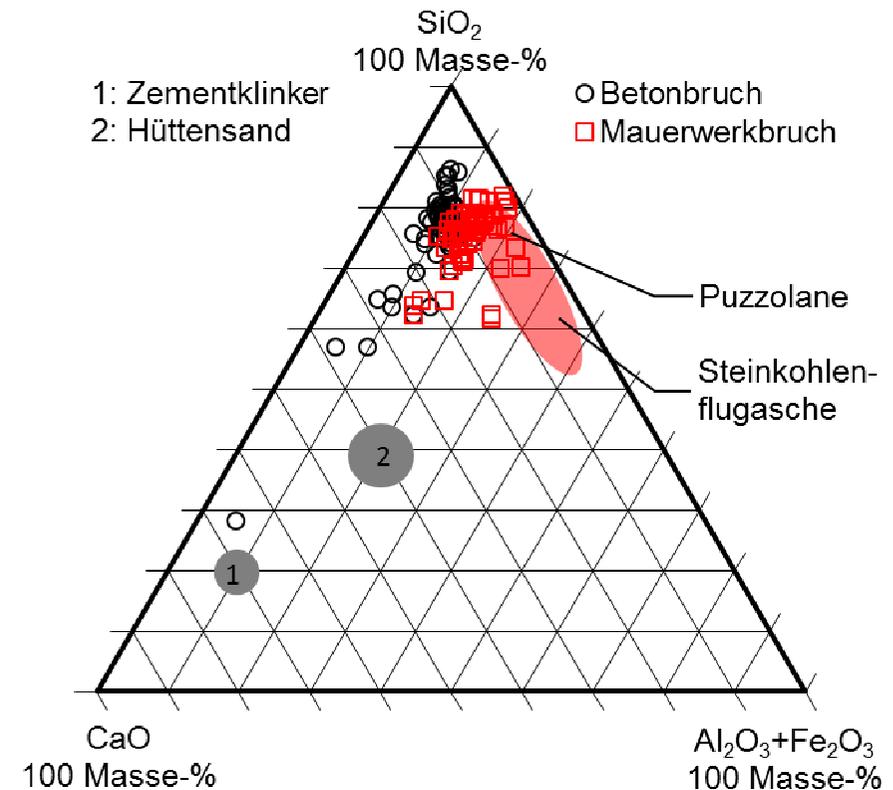


## Verwertung bei der Zementherstellung

### Rohmehlkomponente für die Herstellung von Zementklinker



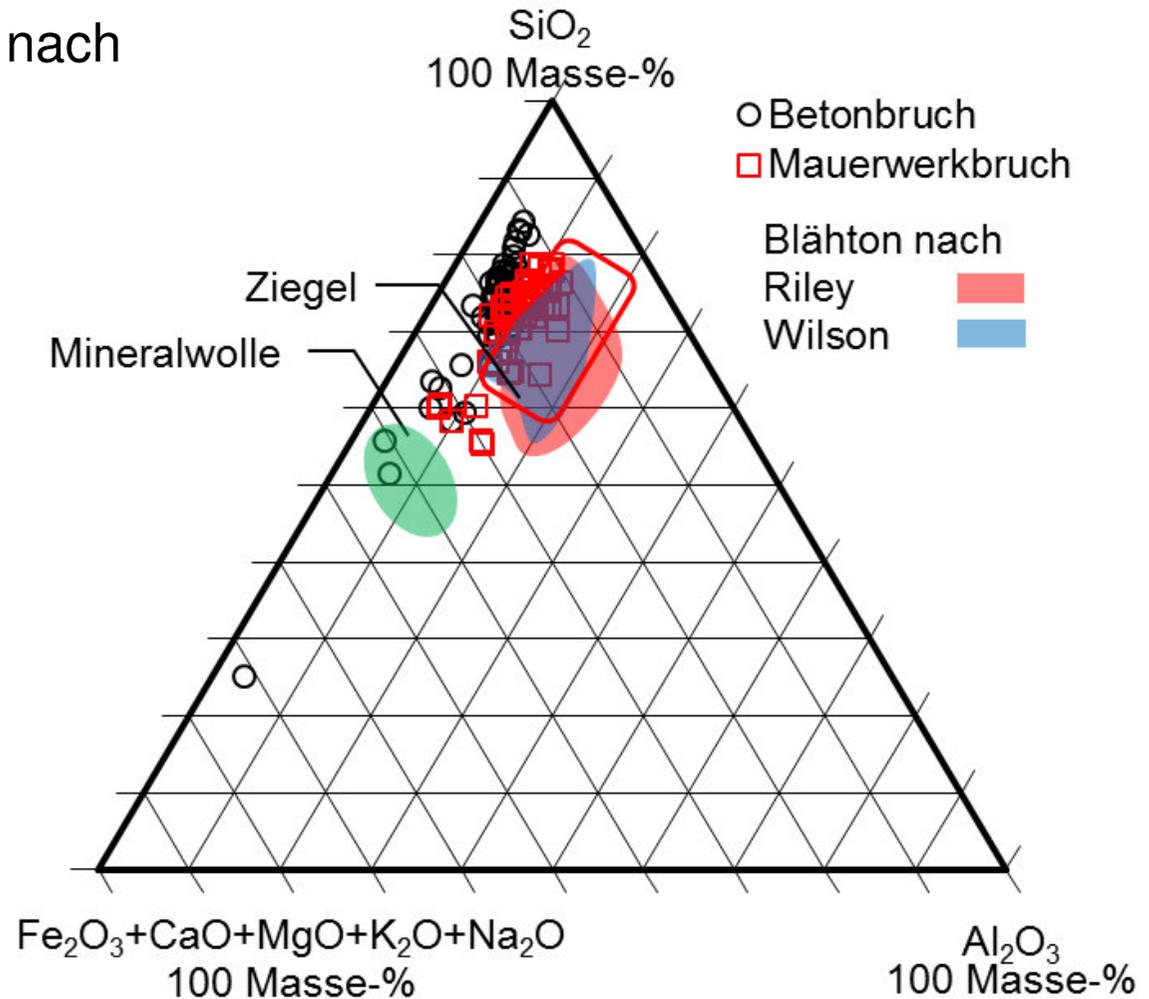
### Rohstoffkomponente für die Herstellung von synthetischen Puzzolanen



### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

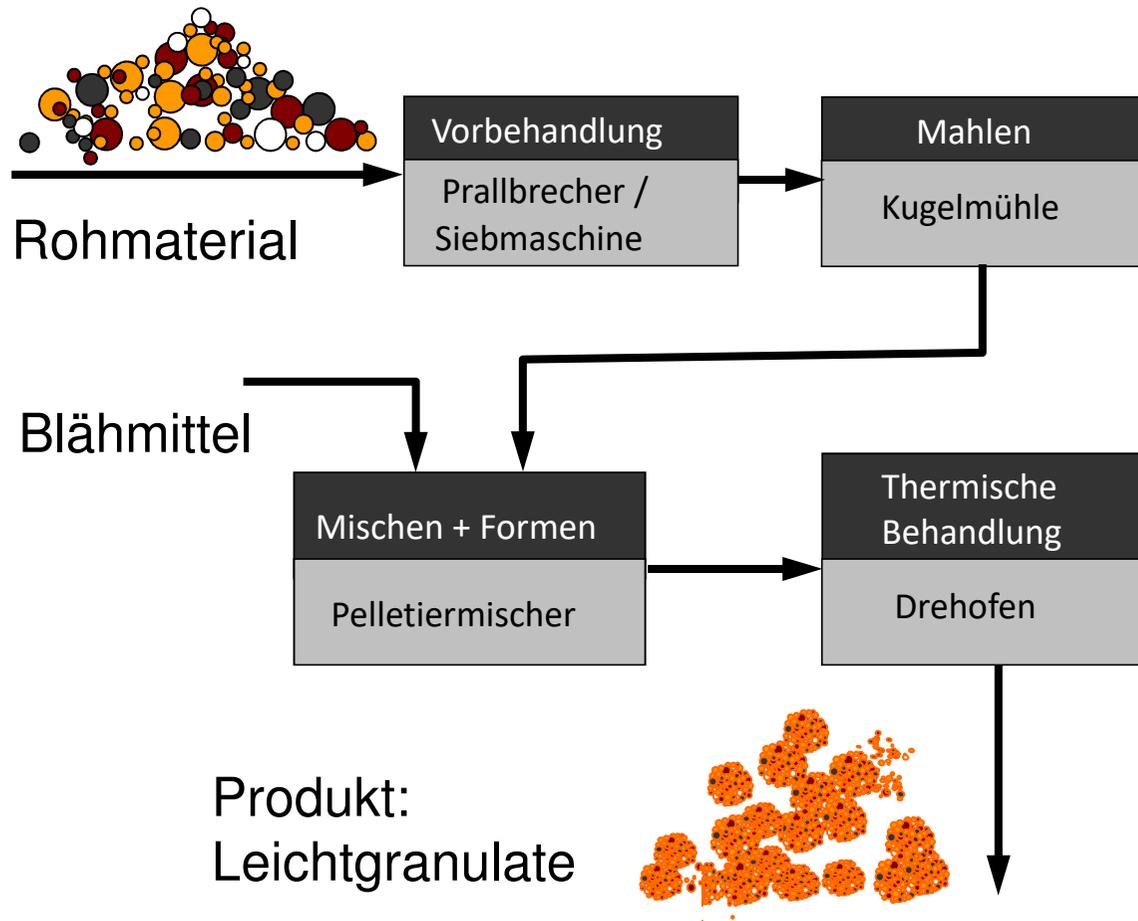
Rohstoff für die Herstellung von leichten Gesteinskörnungen nach dem „Blähton“-Verfahren

Blähton: Mineralisches Material durch Brennen von kalkarmem Ton bei einer Brenntemperatur von 1200°C hergestellt. Beim Brennen werden die Tongranulate um ein Mehrfaches ihrer ursprünglichen Größe aufgebläht. Es entsteht eine poröse Innenstruktur.



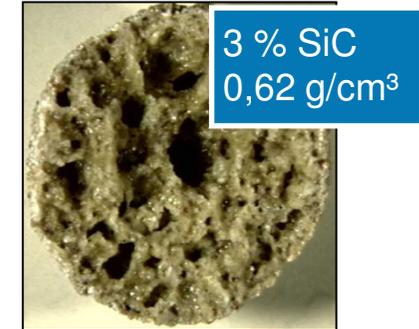
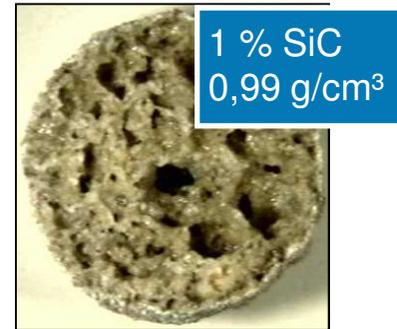
### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

#### Herstellungsprozess

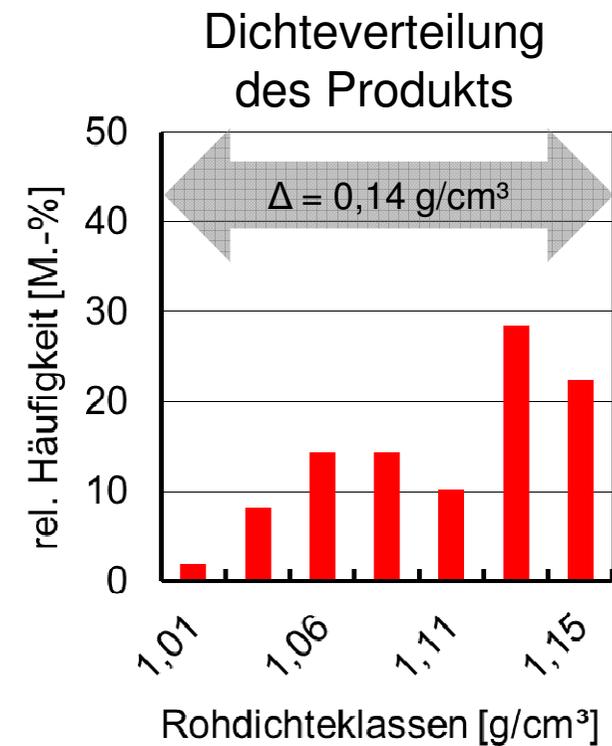
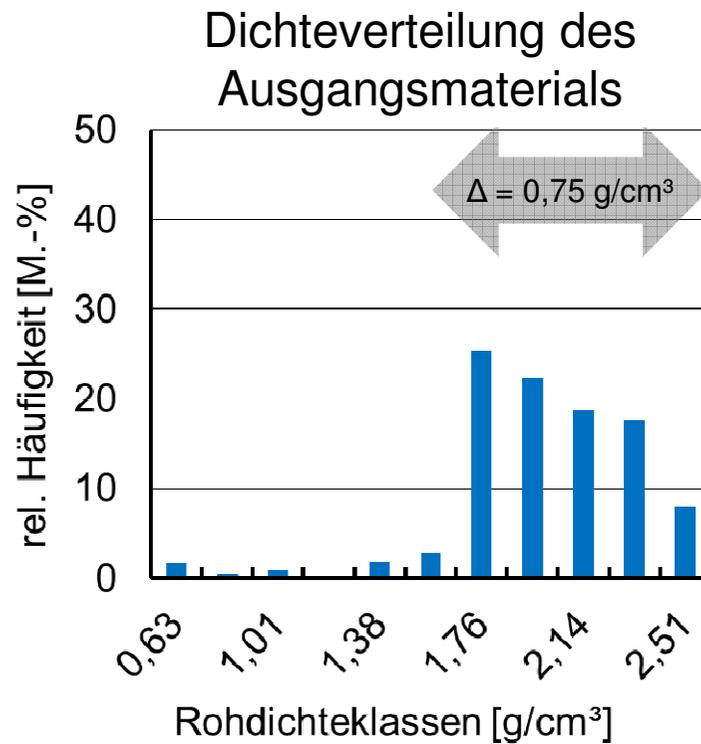


### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

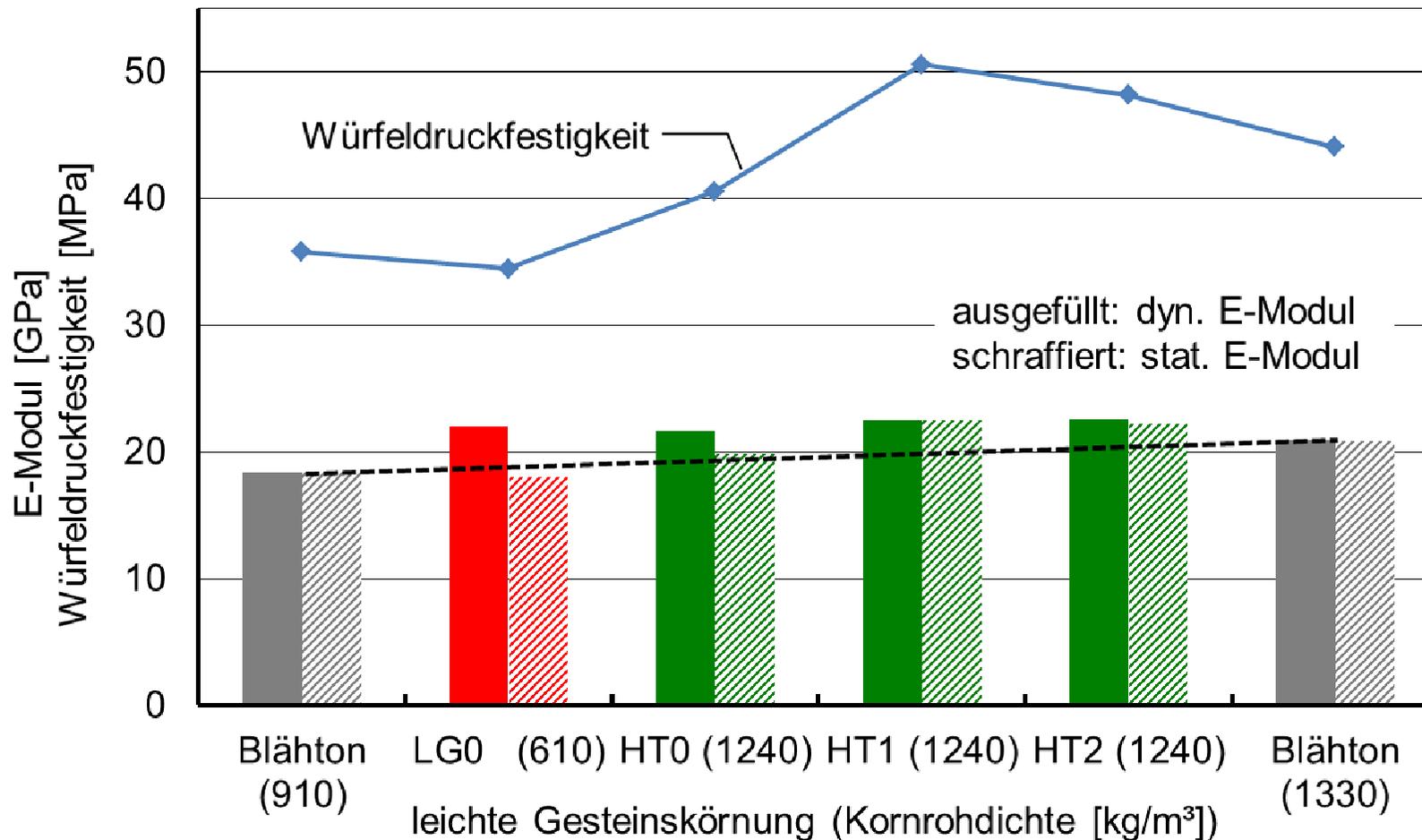
Erreichter Bläheeffekt



Erreichte Vergleichmäßigung



## Mechanische Eigenschaften von Leichtbetonen aus Leichtgranulaten im Vergleich zu Leichtbetonen aus Blättonen



### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Entwicklung von technischen Lösungen

#### Anwendungsgebiete

- Wärmedämmschüttungen oder -platten
- Leichte Gesteinskörnungen für Betonfertigteile und Betonsteine
- Pflanzgranulate



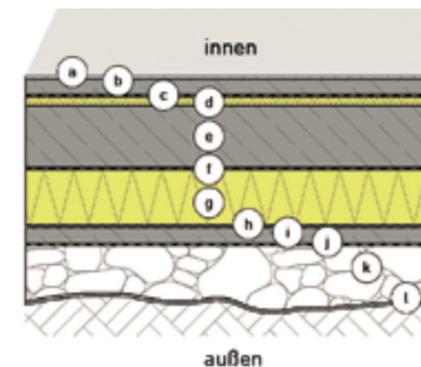
Weitere Potenziale der leichten Gesteinskörnungen aus Mauerwerkbruch

- Rohstoffunabhängiger Produktionsstandort
- Primärrohstoffverbrauch minimiert, Prozesswärmeverbrauch reduziert
- Sulfatreduktion und –rückgewinnung möglich

## Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Bewertung der Rezyklierbarkeit

Einbeziehung der Bewertung der Rezyklierbarkeit in die Entwicklung von Baustoffen, Bauelementen, Konstruktionen und Bauwerken

- Schritt 1: Bewertung anhand der umwelt-technischen Parameter
- Schritt 2: Bewertung anhand der Materialzusammensetzung

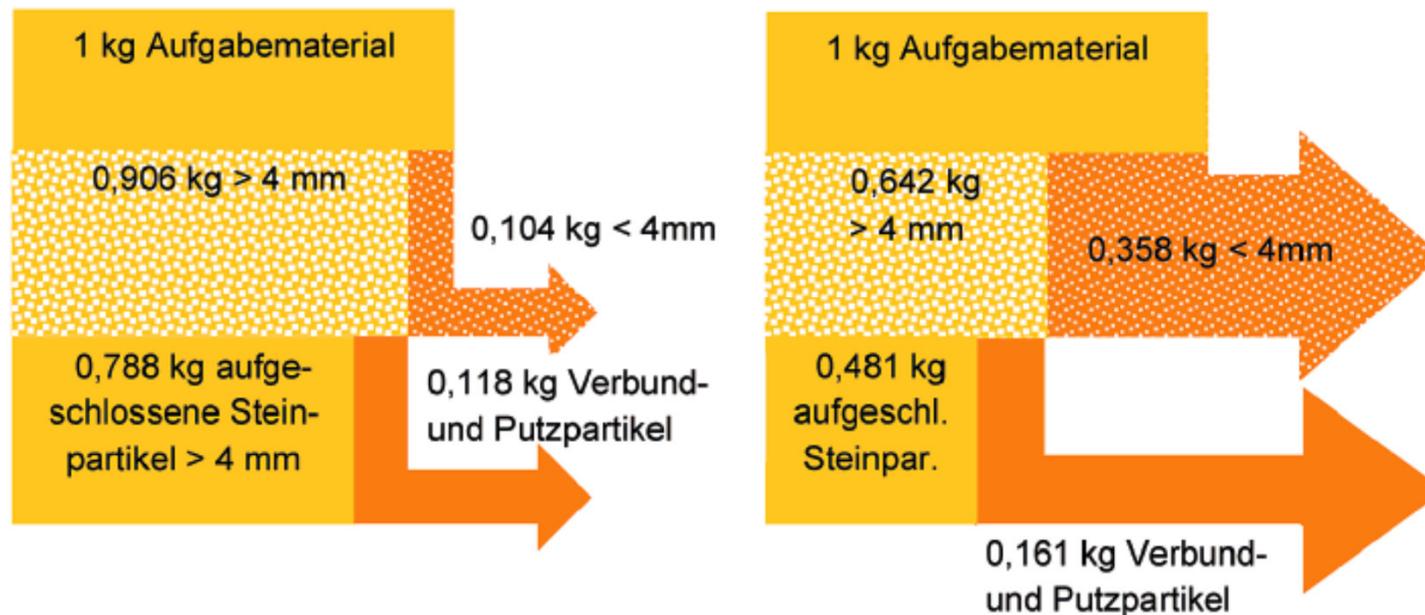


- a Fußbodenbelag, keramische Fliesen
- b Zementestrich
- c PE-Folie
- d Mineralwolle-Trittschalldämmplatte
- e Stahlbeton
- f PE-Folie 2-lagig
- g XPS-Schaum
- h Polymerbitumen 2Lg.
- i Magerbeton/Sauberkeitschicht
- j Baupapier
- k Rollierung (Dränschicht)
- l PP-Filtervlies
- l Erdreich

Beispiel für den Aufbau einer Fundamentplatte

### 3. Wege zu mehr Ressourceneffizienz: Bewertung der Rezyklierbarkeit

- Schritt 3: Bewertung anhand des Aufschlussverhaltens bei der Aufbereitung
  - Entwicklung eines „Standardzerkleinerungsversuchs“ für vergleichende Aussagen zum Aufschlussverhalten
  - Bewertungskriterien: Anteil an Sand < 4 mm, Anteil an Verbundpartikeln



## Vertiefung und Verbreiterung der Wissensbasis

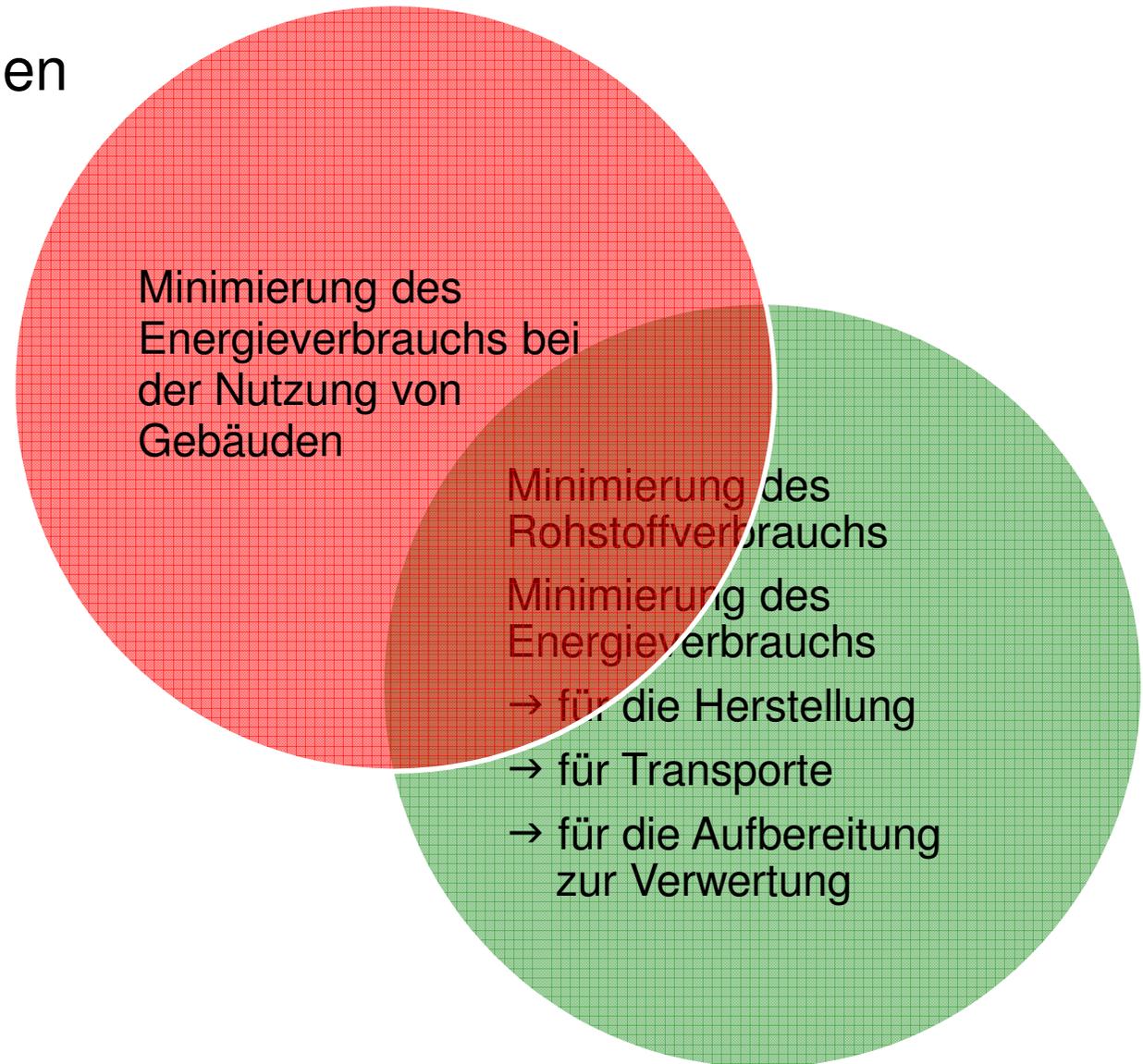
Einführung einer „Recyclingkunde“ in Lehre und Forschung für alle baubeteiligten Ingenieure

- Entwurf eines geeigneten Curriculums
- Verstärkte Grundlagenforschung zum Rohstoff „Bauabfall“
- Verstärkte angewandete Forschung zu Produkten und Verwertungstechniken

Einbeziehung der Bauwerksentsorgung in die Entwicklungen von Baustoffen, Bauelementen und Konstruktionen



# Klimaschonendes Bauen versus ressourcenschonendes Bauen



Minimierung des  
Energieverbrauchs bei  
der Nutzung von  
Gebäuden

Minimierung des  
Rohstoffverbrauchs

Minimierung des  
Energieverbrauchs

→ für die Herstellung

→ für Transporte

→ für die Aufbereitung  
zur Verwertung

### Werkzeuge für das klimaschonende Bauen

- Minimierung der Wärmeverluste der Gebäudehülle durch Gebäudekubatur, Wandstärken, Fensterflächen und –ausrichtung
- Maximierung der Wärmegewinne durch Gebäude- und Anlagentechnik
- Nutzung erneuerbarer Energien

#### Ergebnis

Aussage zum Gebäudeenergiebedarf  
während der Nutzung in kWh/a

#### Bezugsbasis

Kalenderjahr

### Werkzeuge für das ressourcenschonende Bauen

- Minimierung des Rohstoffverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette von der Baustoffherstellung bis zur Verwendung von rezyklierten und/oder nachwachsenden Baustoffen/Rohstoffen
- Minimierung des Energieverbrauchs entlang der Wertschöpfungskette

#### Ergebnis

Aussagen zum Materialverbrauch in t/a

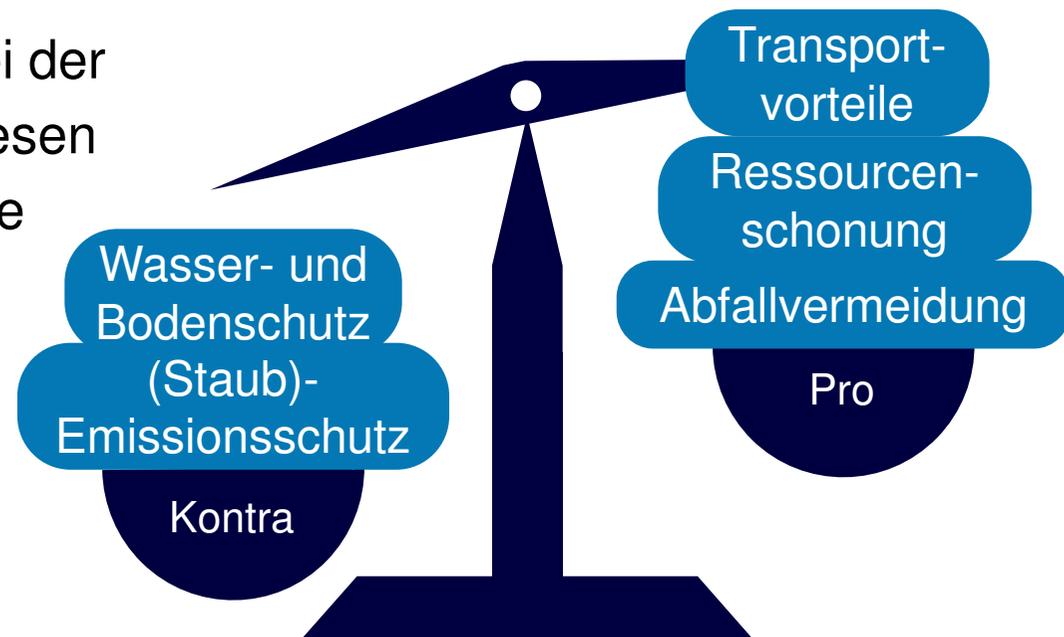
Aussagen zum Energieverbrauch in kWh/a

#### Bezugsbasis

Gesamtnutzungsdauer

### Klimaschonendes und ressourcenschonendes Bauen

- Physikalisch schwierig vergleichbar
- Auf völlig unterschiedlichem Entwicklungsniveau
- Behindern sich nicht
- 
- 
- Ausgeprägte Zielkonflikte bei der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen
- Fortschritte erfordern gezielte Förderung bei Forschung und Entwicklung ebenso wie bei der Umsetzung in die Praxis

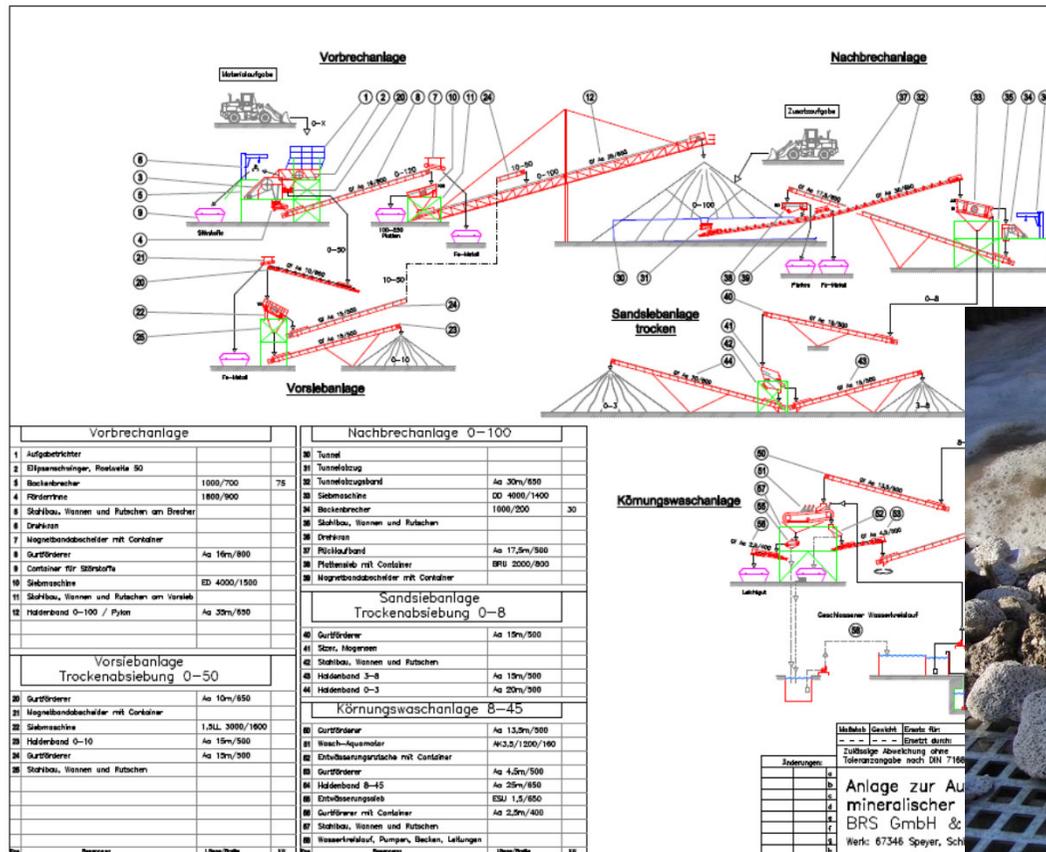




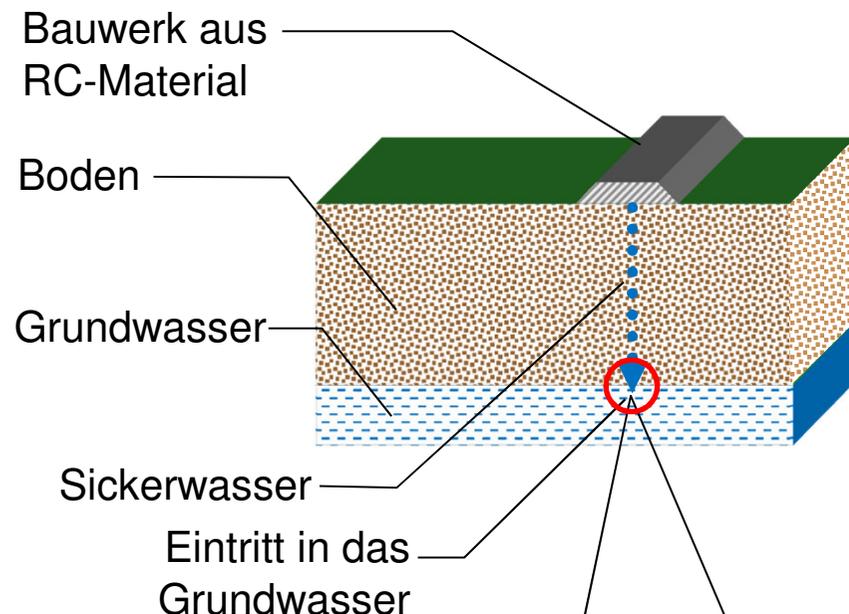
# 5. Rückblick und Ausblick



## Ab 1980: Entstehung von stationären Recyclinganlagen



Ab 2000: Baustoffrecycling wird auf den Schadstoffaspekt verkürzt



Konzentration beim Eintritt in das Grundwasser < Schwellenwert, festgelegt aus Sicht des Grundwasserschutzes

### Schadstofffreisetzung

- Gehalt an relevanten Bestandteilen
- Fixierung der Bestandteile: Unlöslich → leicht löslich
- Freisetzungskinetik
- Standort des Bauwerks: außerhalb von Wasserschutzgebieten → innerhalb von Wasserschutzgebieten
- Einbauweisen: wasserdurchlässig → wasserundurchlässig → eingebunden in bituminöse Matrix oder Zementsteinmatrix

### Schadstofftransport

- Reaktionen während der Bodenpassage: keine Reaktionen, Abbau, Retardation
- Stärke der Grundwasserdeckschicht
- Durchlässigkeit der Grundwasserdeckschicht

Ab 2010: Forderungen nach Ressourceneffizienz nehmen zu

### Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes)

Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen

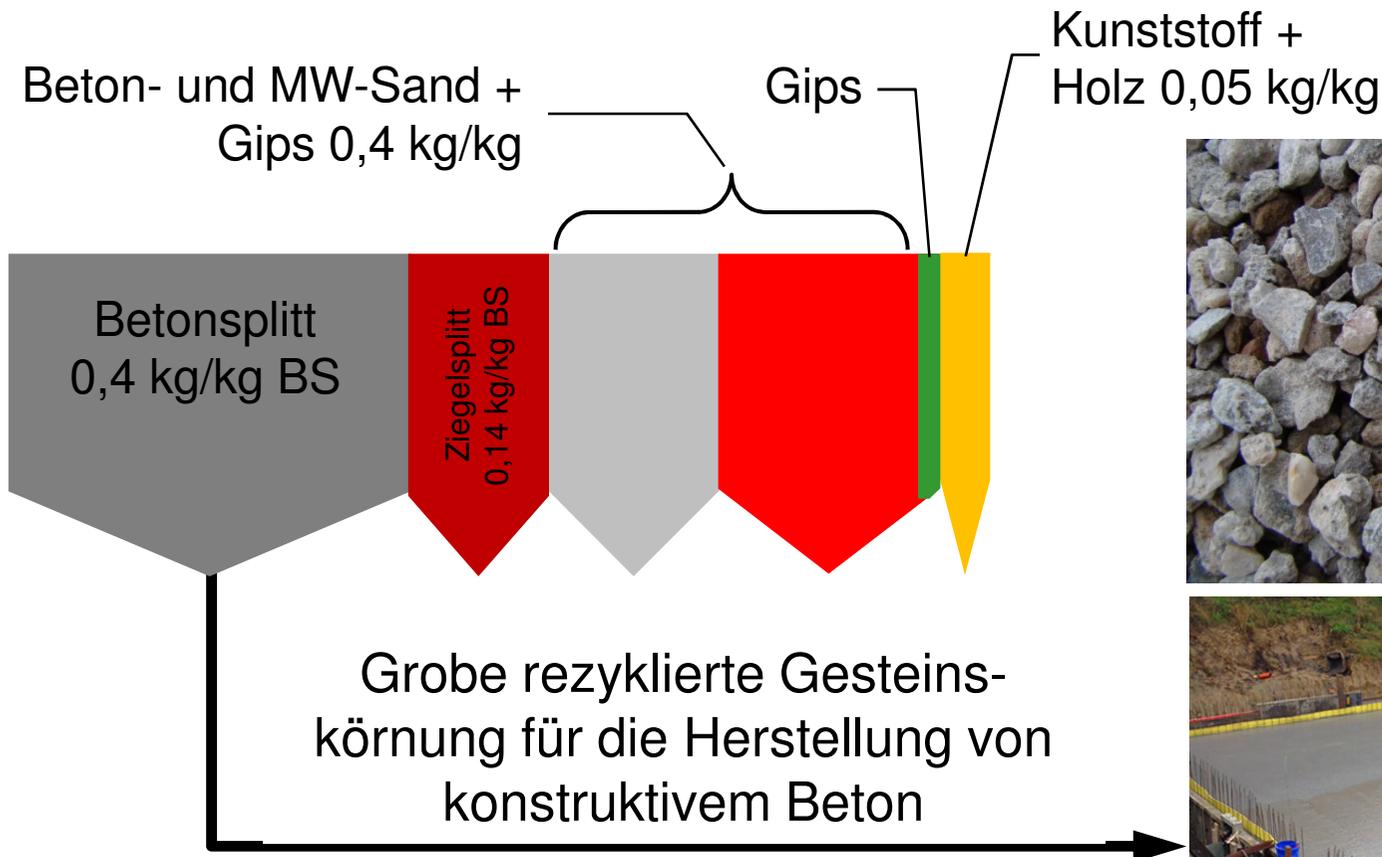
Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.2.2012

### Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) II: Fortschrittsbericht 2012 – 2015 und Fortschreibung 2016 – 2019

Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen

Steigerung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen – Recycling-Gesteinskörnungen als Betonzuschlagsstoff	Einsatzquote von Recycling-Gesteinskörnungen als Betonzuschlagsstoff am Gesamtaufkommen an mineralischen Recycling-Baustoffen	Signifikante Erhöhung bis 2030
Steigerung des hochwertigen Einsatzes von Recycling-Baustoffen – Ausschleusung von Gips aus Bau- und Abbruchabfällen und Etablierung des Recyclings	Rezyklatanteil in der Gipsplattenherstellung (Gipskarton)	Signifikante Erhöhung bis 2030

## Recyclingfabrik der Zukunft

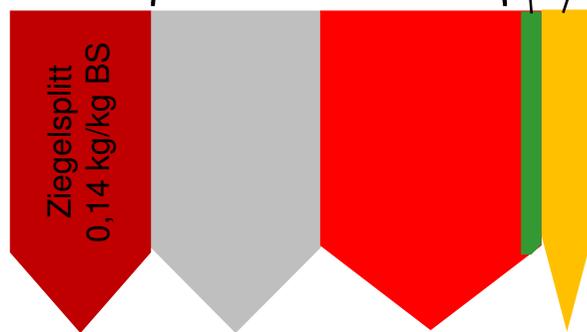


## 5. Rückblick und Ausblick

Beton- und  
MW-Sand +  
Gips

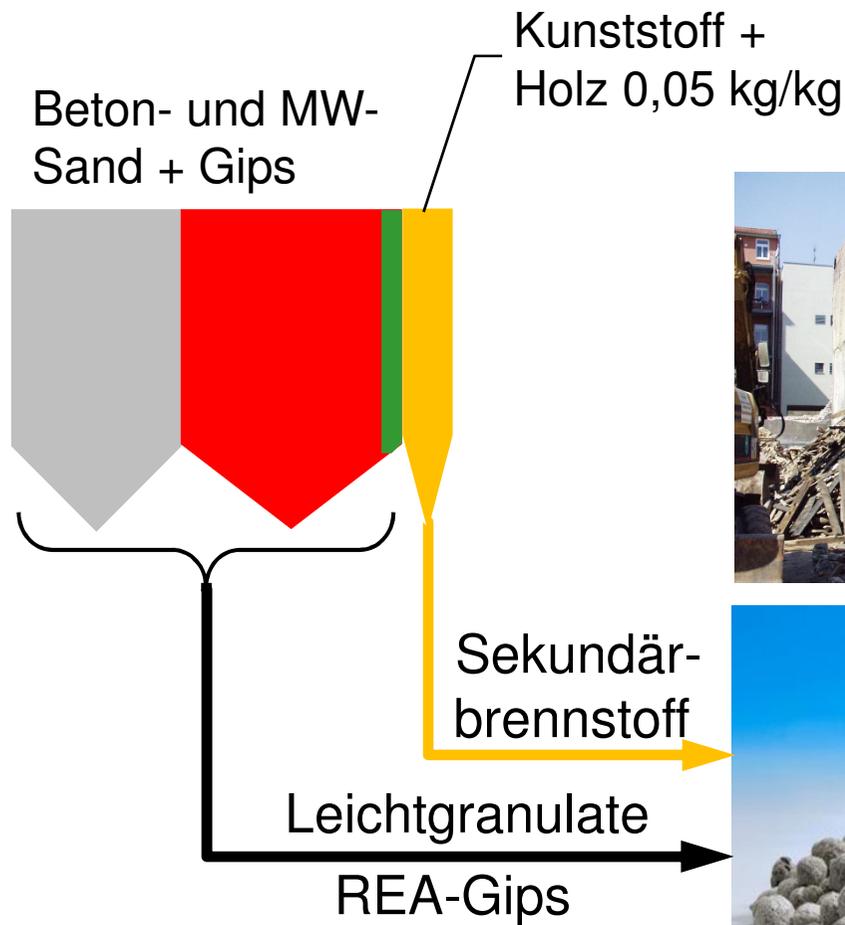
Gips

Kunststoff +  
Holz 0,05 kg/kg



Zierkies bei **Terra**





A black and white reproduction of a cave painting. The scene depicts several human figures in a natural setting. One figure stands on the left, another is seated, and a third is standing in the center. There are also some animal-like figures and abstract shapes. The background shows a rocky, uneven surface.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

E-Mail: [a.mueller@iab-weimar.de](mailto:a.mueller@iab-weimar.de)

A photograph showing a close-up of several concrete blocks stacked together. The blocks are light-colored and have a rough, textured surface. Some blocks are partially broken or chipped, showing the interior. The background is slightly blurred, focusing attention on the blocks.

[www.abw-recycling.de](http://www.abw-recycling.de)

Fachhochschule Weimar

