

# Qualitätsverbesserungen von Rezyklaten durch neue Technologien

**Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller**

**Fachtagung Recycling R´10  
Weimar, 22./23.09.2010**



## Stand des Recyclings von Bauabfällen

- ⇒ Aufkommenszahlen von Bauabfällen
- ⇒ Verwertungs- und Substitutionsquoten
- ⇒ Aufbereitungstechnologien und Einsatzgebiete von RC-Produkten

## Konventionelle Aufbereitungstechniken für Qualitätsverbesserungen

- ⇒ Mehrstufige Zerkleinerung
- ⇒ Feinkornarme Zerkleinerung
- ⇒ Sortierung nach der Kornform
- ⇒ Modifizierte Setzsortierung

## „Advanced technologies“

- ⇒ Aufschlussverfahren für Betonrezklate
- ⇒ Automatische Sortierung
- ⇒ Rohstoffliche Verwertung von Mauerwerkbruch

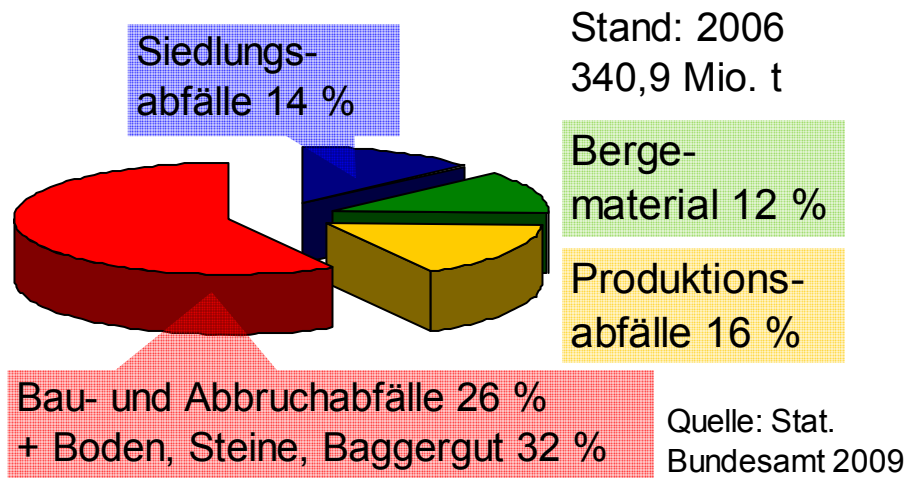
## Visionen für die Recyclingfabrik von morgen



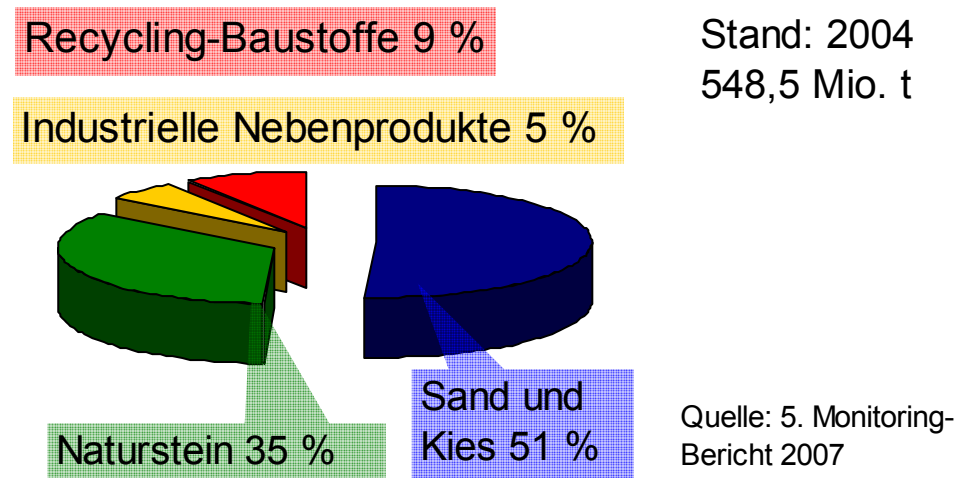
## Aufkommenszahlen von Bauabfällen

[Mio. t]	1996	1998	2000	2002	2004	2006
Bauschutt (aus dem Hochbau)	58,1	58,5	54,5	52,1	50,8	57,1
Straßenaufbruch	17,6	14,6	22,3	16,6	19,7	14,3
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle (ab 2004 inkl. Gipsabfälle)	7,5	4,0	11,8	4,3	2,2	11,3
<b>Gesamt</b>	<b>83,2</b>	<b>77,1</b>	<b>88,6</b>	<b>73,0</b>	<b>72,4</b>	<b>82,7</b>

### Vergleich mit Abfallentstehung

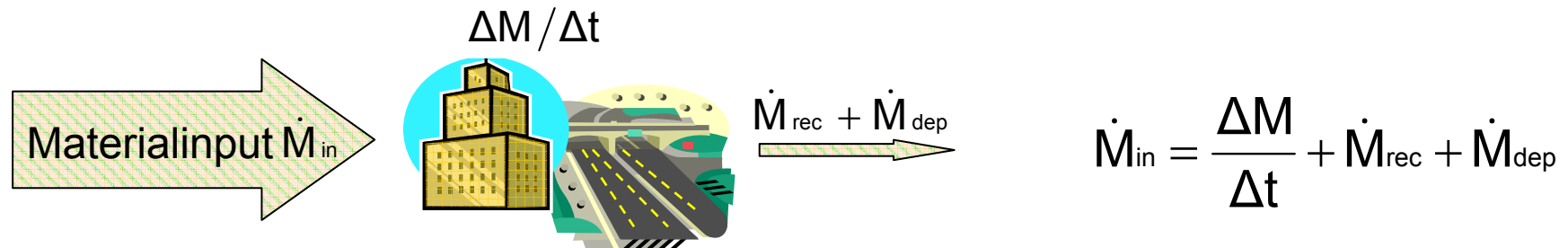


### Vergleich mit Rohstoffverbrauch



# Verwertungs- und Substitutionsquoten

Definitionen anhand der Stoffbilanz für den Bausektor



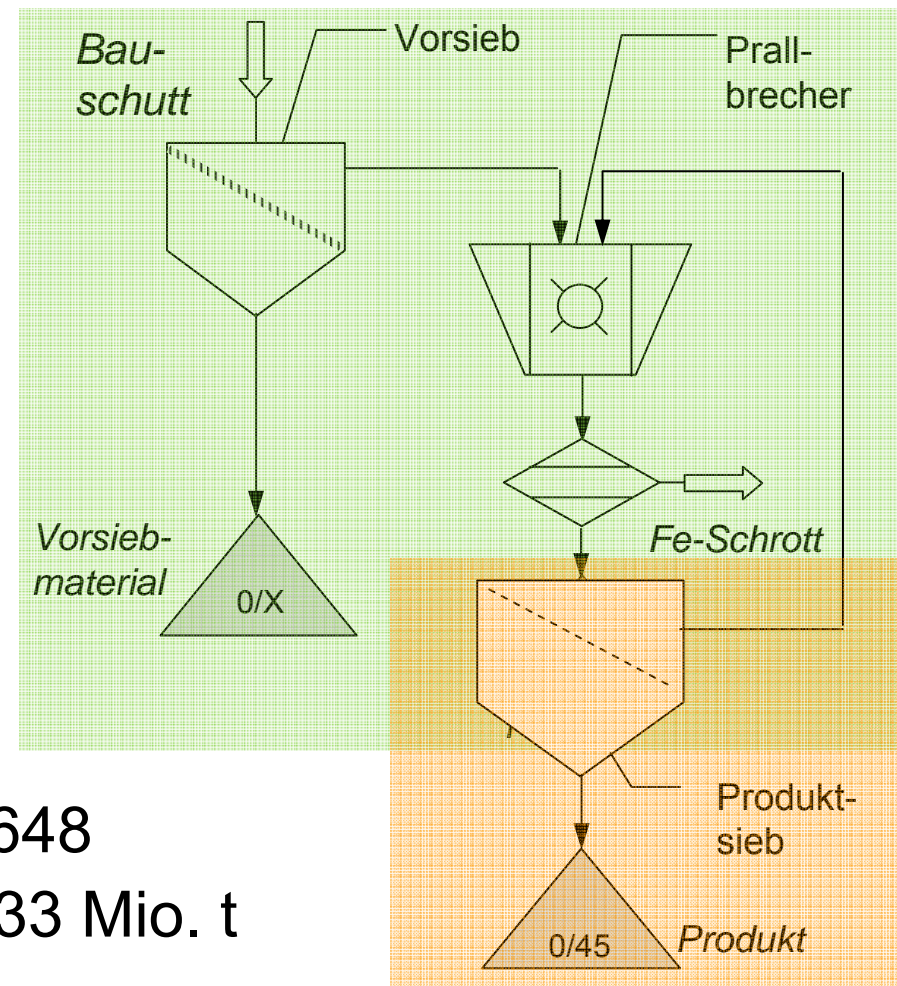
	Recyclingquote = $\frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{rec} + \dot{M}_{dep}} \cdot 100 [\%]$	Substitutionsquote = $\frac{\dot{M}_{rec}}{\dot{M}_{in}} \cdot 100 [\%]$
Bauabfälle (D)	68,6 %	9 %
<b>Vergleichswerte</b>		
Länderspezifisch <sup>1</sup>	10 (E)...98 (B) %	2 (E)...35 (B) %
Materialspezifisch	Asphalt: 82 % <sup>2</sup>	Asphalt: 23 % <sup>2</sup>
	Beton: 68,6 %	Beton: 1,5 % <sup>3</sup>

Quellen:1- 13. F.I.R.-Interforum, Salzburg 2005; 2-Asphaltproduktion in Deutschland, Stand März 2008, dav; 3-Zahlen und Daten, 2008-2009, BDZ

## Aufbereitung in mobilen Anlagen

“Robuste” Produkte für

- Hinterfüllungen, Überschüttungen
- Baugrubenverfüllungen
- Vegetationsschichten
- Lärmschutzwälle, Dämme
- Unterbau
- Untergrundverbesserung



Anzahl der mobilen Anlagen: 1648

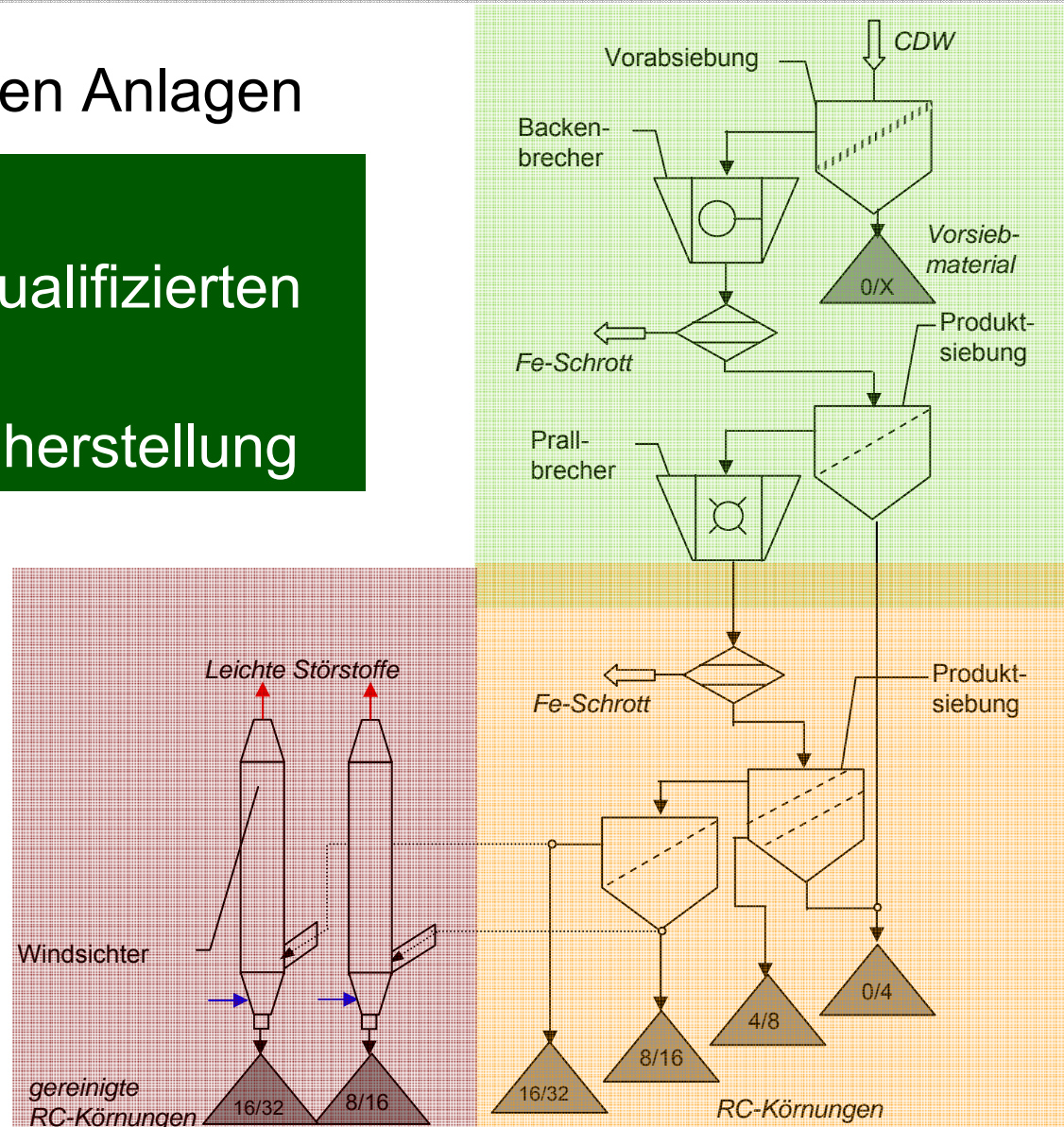
Aufbereitete Bauschuttmenge: 33 Mio. t

## Aufbereitung in stationären Anlagen

### Produkte

- RC-Baustoffe für den qualifizierten Straßenbau
- Rezyklate für die Betonherstellung

Anzahl der stationären Anlagen: 642  
 Aufbereitete Bau-  
 schuttmenge: 27 Mio. t





## Stand des Recyclings von Bauabfällen

- ⇒ Aufkommenszahlen von Bauabfällen
- ⇒ Verwertungs- und Substitutionsquoten
- ⇒ Aufbereitungstechnologien und Einsatzgebiete von RC-Produkten

## Konventionelle Aufbereitungstechniken für Qualitätsverbesserungen

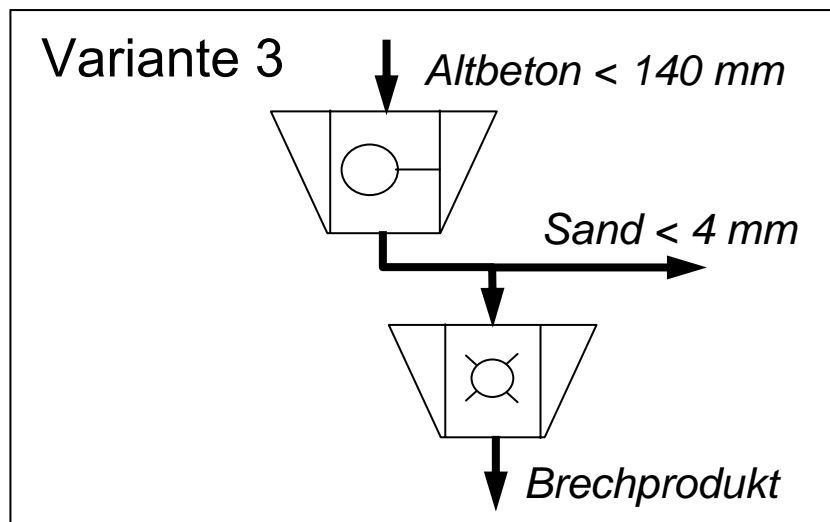
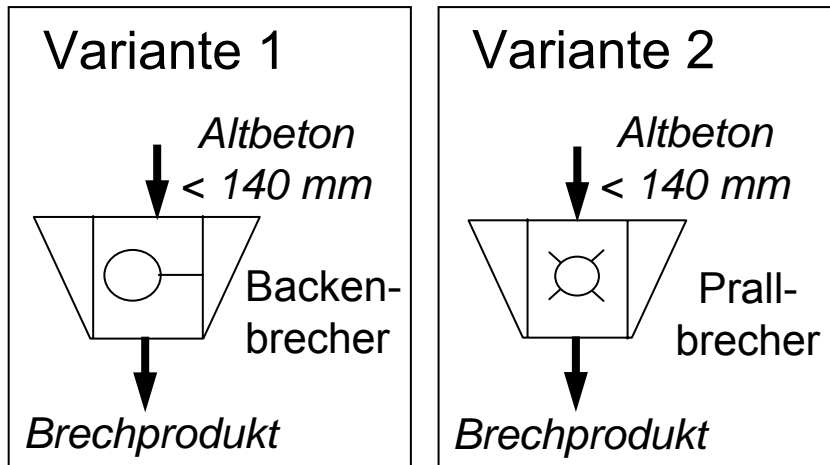
- ⇒ Mehrstufige Zerkleinerung
- ⇒ Feinkornarme Zerkleinerung
- ⇒ Sortierung nach der Kornform
- ⇒ Modifizierte Setzsortierung

## „Advanced technologies“

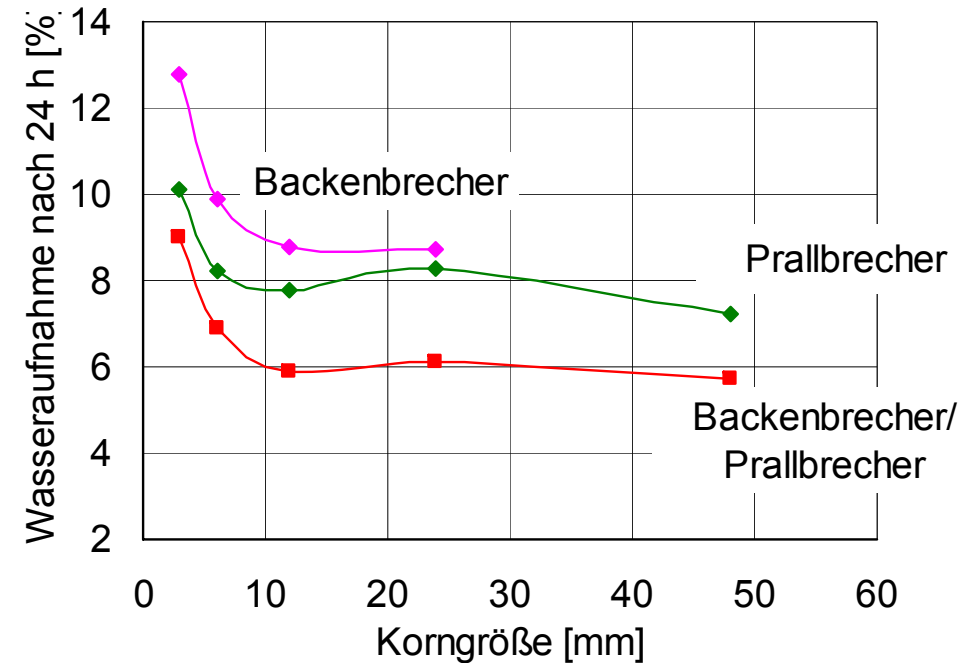
- ⇒ Aufschlussverfahren für Betonrezklate
- ⇒ Automatische Sortierung
- ⇒ Rohstoffliche Verwertung von Mauerwerkbruch

## Visionen für die Recyclingfabrik von morgen

## Mehrstufige Zerkleinerung



## Auswirkungen auf die Wasseraufnahme



Quelle: J. Hutterer, Diplomarbeit, Bauhaus-Universität, Weimar 1999.



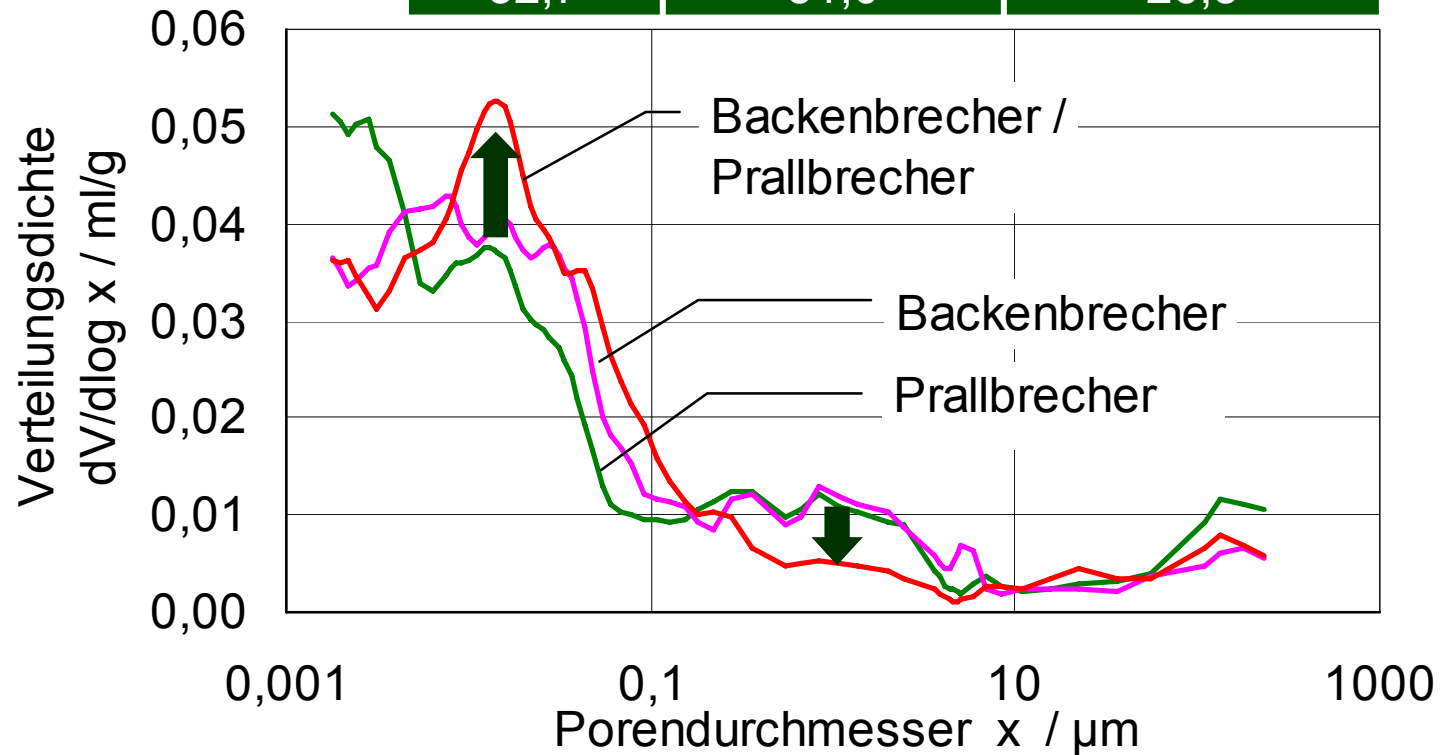


Aufbereitungstechniken für Qualitätsverbesserungen

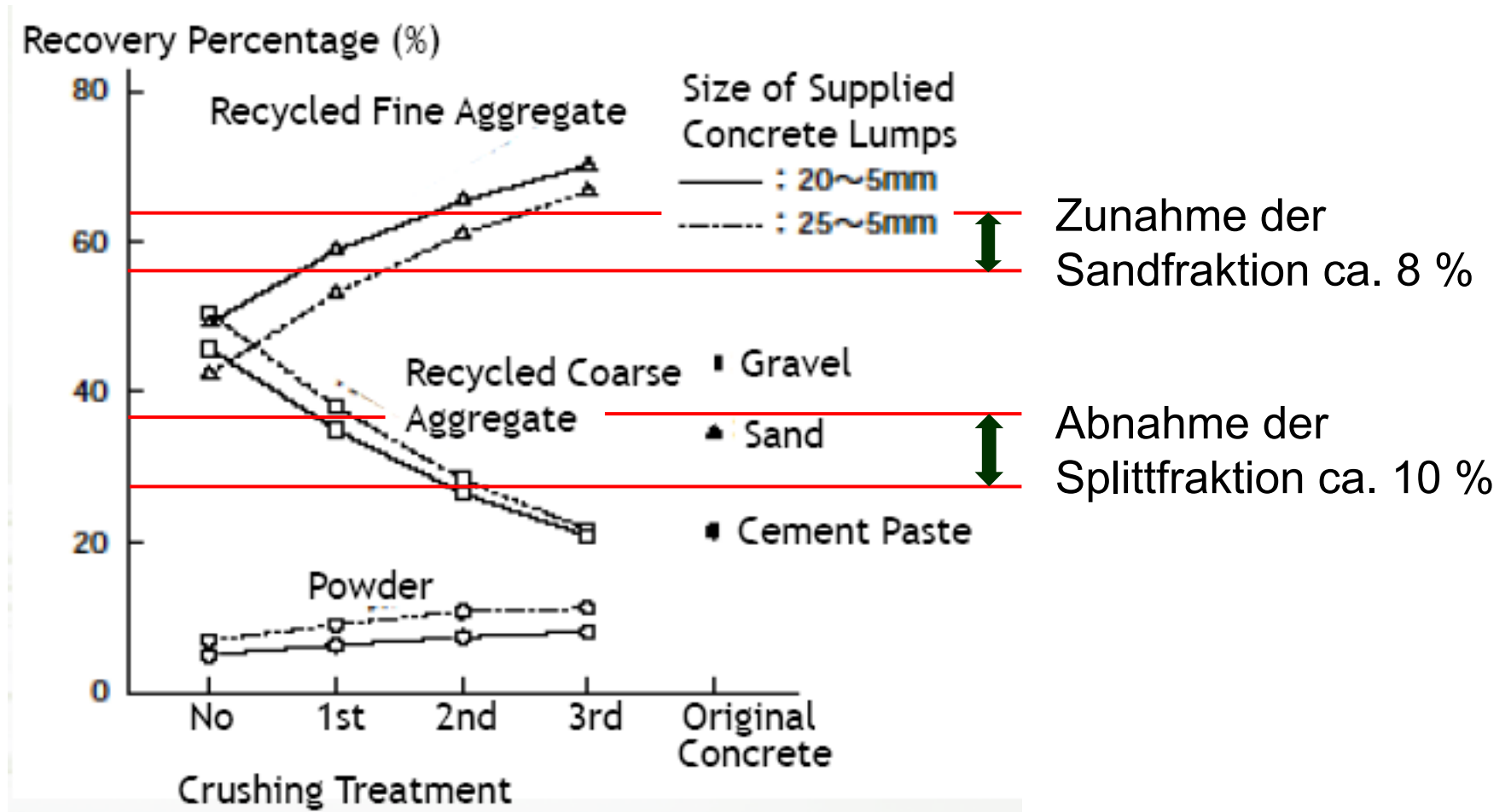
Auswirkungen auf die Porosität und die Kornfestigkeit

Auswirkungen auf die Porengrößenverteilung

Backenbrecher	Prallbrecher	Zweistufige Zerkleinerung
Porositätsabnahme gegenüber Aufgabematerial [Vol.-%]		
4,5	5,7	10,1
Kornfestigkeit [Absplitterungen in M.-%]		
32,7	31,0	26,5



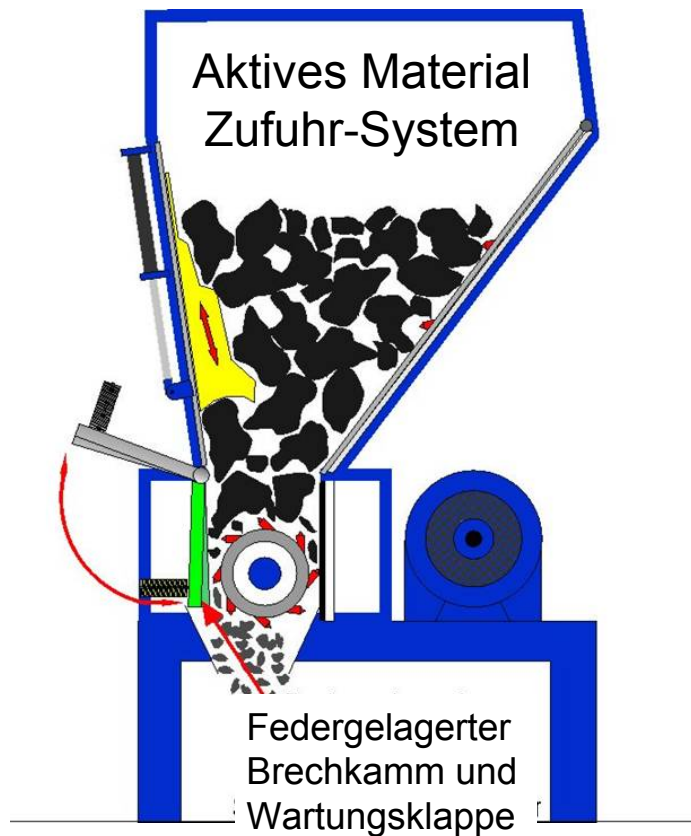
## Auswirkungen auf das Ausbringen an Sand und Splitt



## Feinkornarme Zerkleinerung

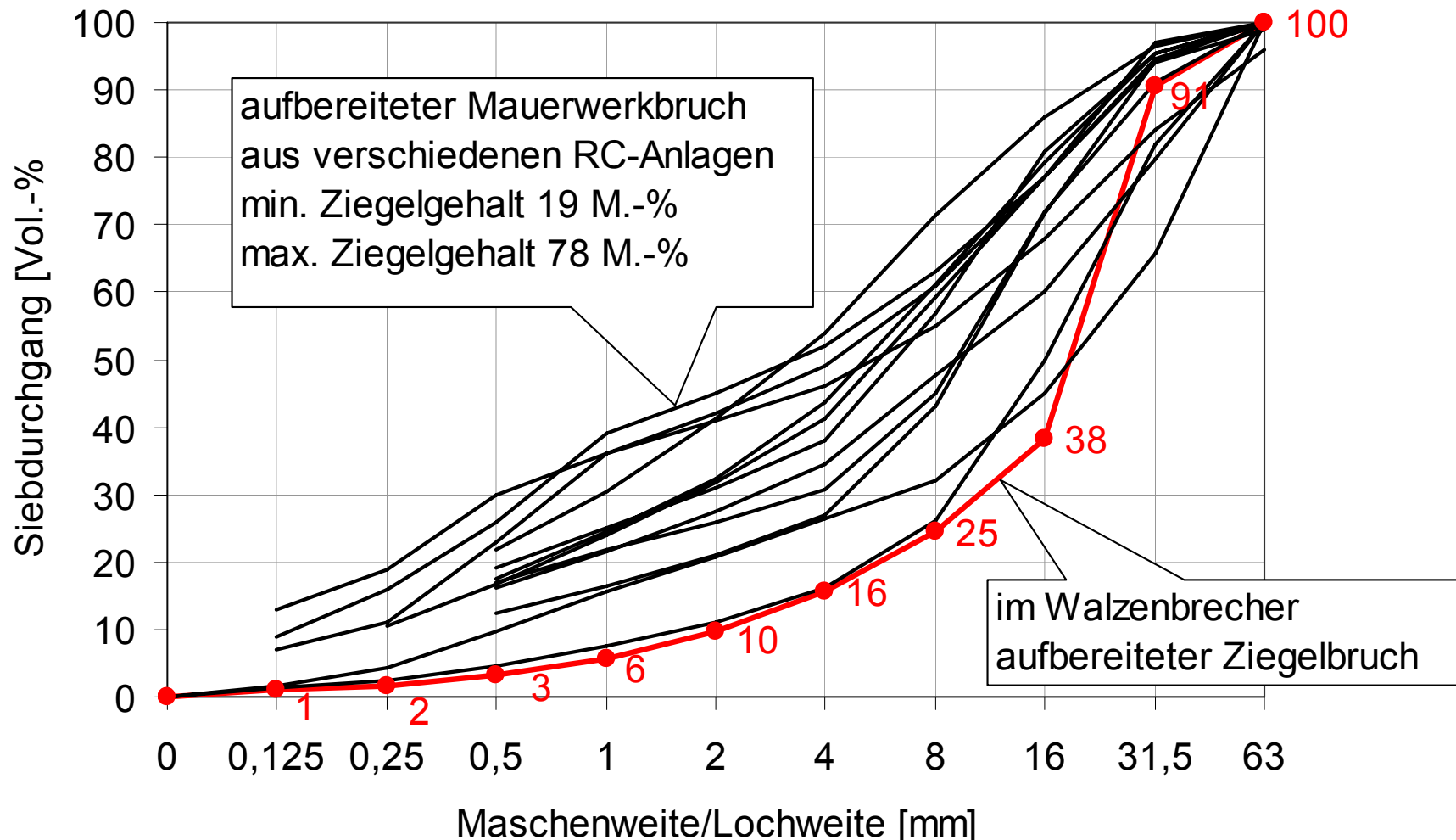
Fräsbrecher /  
Stachelwalzenbrecher

Geeignet u.a. für Ziegel, Leicht-  
beton, Kalksandstein, Porenbeton....



## Auswirkungen auf die Produktfeinheit

### Sieblinienvergleich von Körnungen aus unterschiedlichen Brechern



## Sortiersiebung zur Trennung von kubischen und prismatischen Partikeln

Mineralische Bestandteile: Kubische Kornform dominiert.  
Störstoffe (Metalle, Kunststoffe, Holz): Prismatische Kornform dominiert.





## Patente zur Sortiersiebung

DE 19526841C1

Anordnung zum Trennen nach der Form

Veröffentlichungstag: 02.10.1996

BSR Naturstein-Aufbereitungs GmbH Stolberg

Schmitz, Axel

Anordnung zum Trennen von einem aus zwei unterschiedlichen Fraktionen bestehenden Feststoffgemisch nach der Form. Erste Fraktion länglich, zweite Fraktion kubisch, z.B. Feststoffgemische aus der Aufbereitung von Beton-Eisenbahnschwellen, bestehend aus annähernd kubischen Betonpartikeln und länglichen Fremdkörpern wie Dübel bzw. Dübelbruchstücke.

Erfindungsgemäß erreicht durch *Begrenzung des Freiraums zwischen Sieb und Siebboden*.

EP 2156903

Verfahren und Vorrichtung zum Sortieren von Partikeln

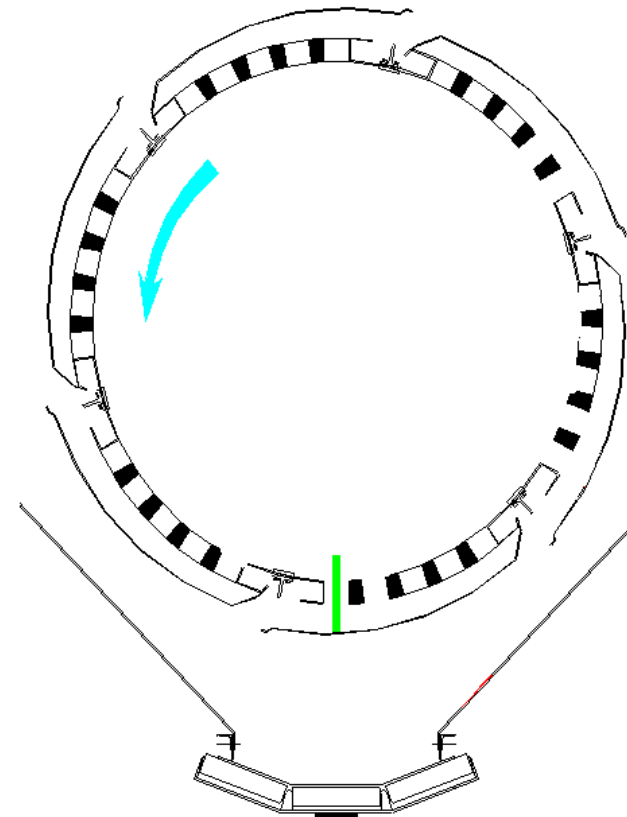
Veröffentlichungstag: 08.04.2010

Technische Universität Bergakademie Freiberg

Unland, Georg; Folgner, Thomas; Steuer, Martin

Sortierung nach der Kornform durch serielle Klassierung nach mindestens zwei geometrischen Merkmalen der Partikelmakrogestalt, z.B. nach den Parametern Nadeligkeit, Kubizität oder Plattigkeit.

## 3D-Sortiertrommel für die Sortierung von Gewerbeabfällen



Quelle: Jarno Busschers  
Busschers Staalwerken B.V., NL

## 3D-Sortiertrommel für die Sortierung von Gewerbeabfällen



Quelle: Jarno Busschers  
Busschers Staalwerken B.V., NL



Sortierergebnisse einer Altholzaufbereitung bei einem Sieblochdurchmesser von 290 mm

Inputmaterial: Altholz



Sortierergebnisse einer Altholzaufbereitung bei einem Sieblochdurchmesser von 290 mm

Inputmaterial Produkt



Sortierergebnisse einer Altholzaufbereitung bei einem Sieblochdurchmesser von 290 mm

Inputmaterial

Produkt

Abgetrennte Fraktion

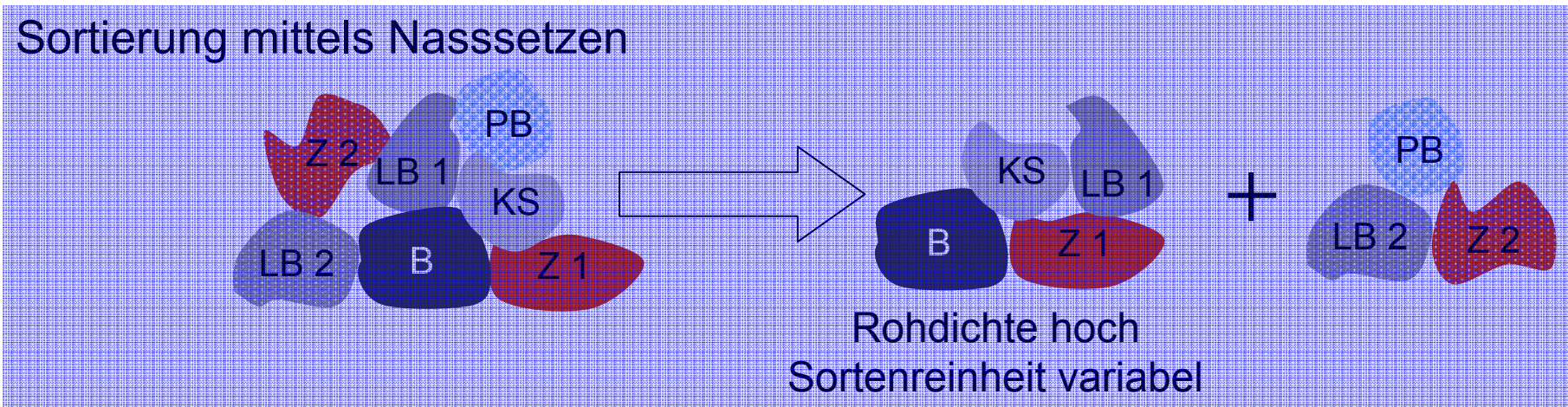


# Modifizierte Setzsartierung

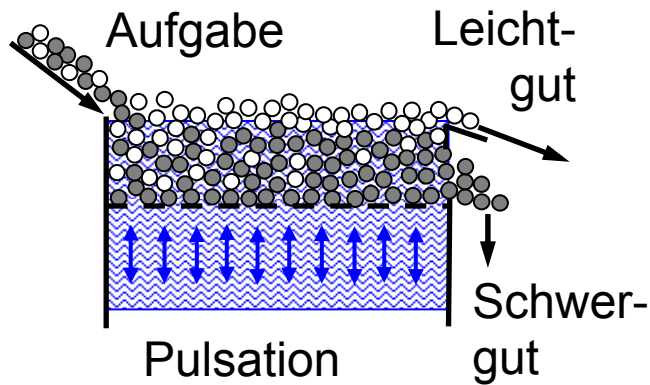
Ausgangsmaterial:  
Baustoffgemisch

Produkt

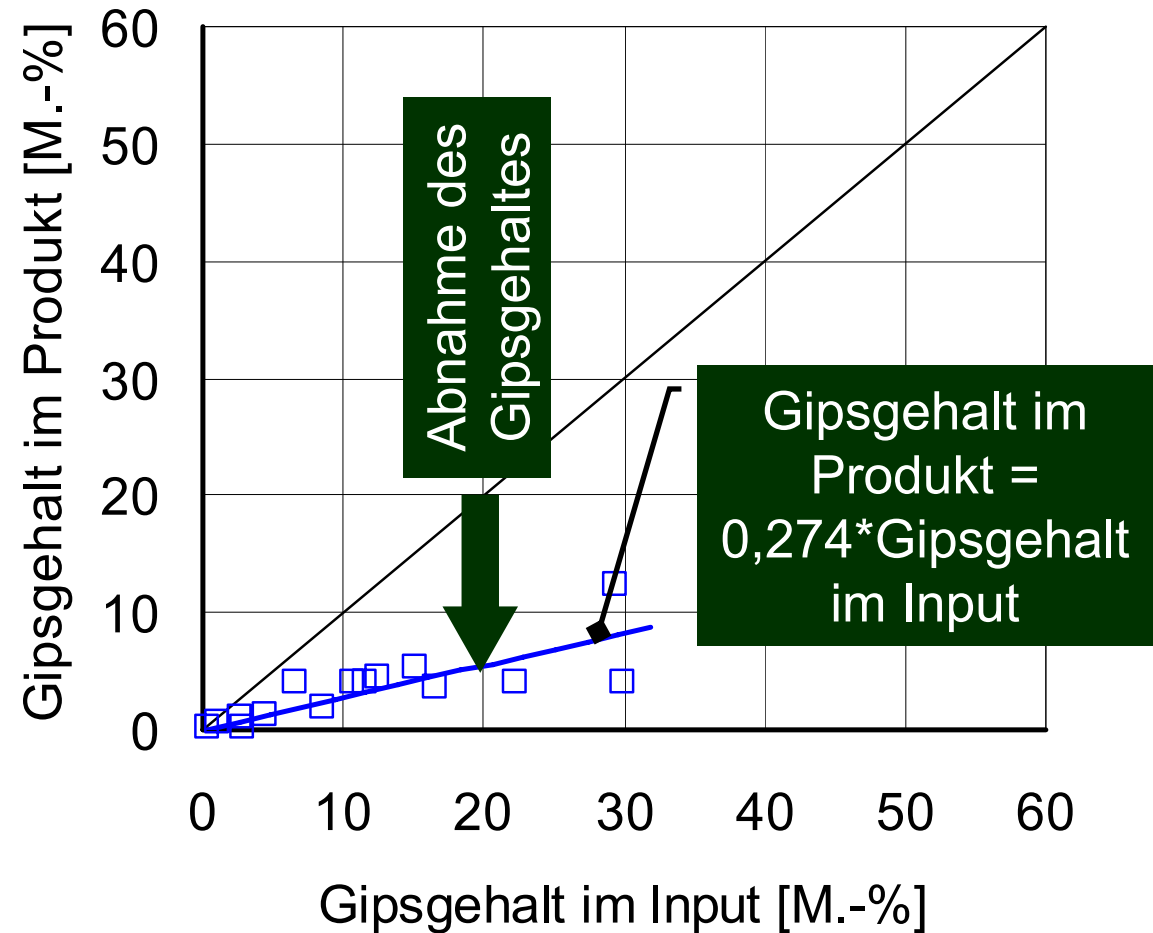
Sortierrest



### Prinzip des Setzvorgangs



### Erreichte Trennung von Gips- und Betonpartikel





## Stand des Recyclings von Bauabfällen

- ⇒ Aufkommenszahlen von Bauabfällen
- ⇒ Verwertungs- und Substitutionsquoten
- ⇒ Aufbereitungstechnologien und Einsatzgebiete von RC-Produkten

## Konventionelle Aufbereitungstechniken für Qualitätsverbesserungen

- ⇒ Mehrstufige Zerkleinerung
- ⇒ Feinkornarme Zerkleinerung
- ⇒ Sortierung nach der Kornform
- ⇒ Modifizierte Setzsortierung

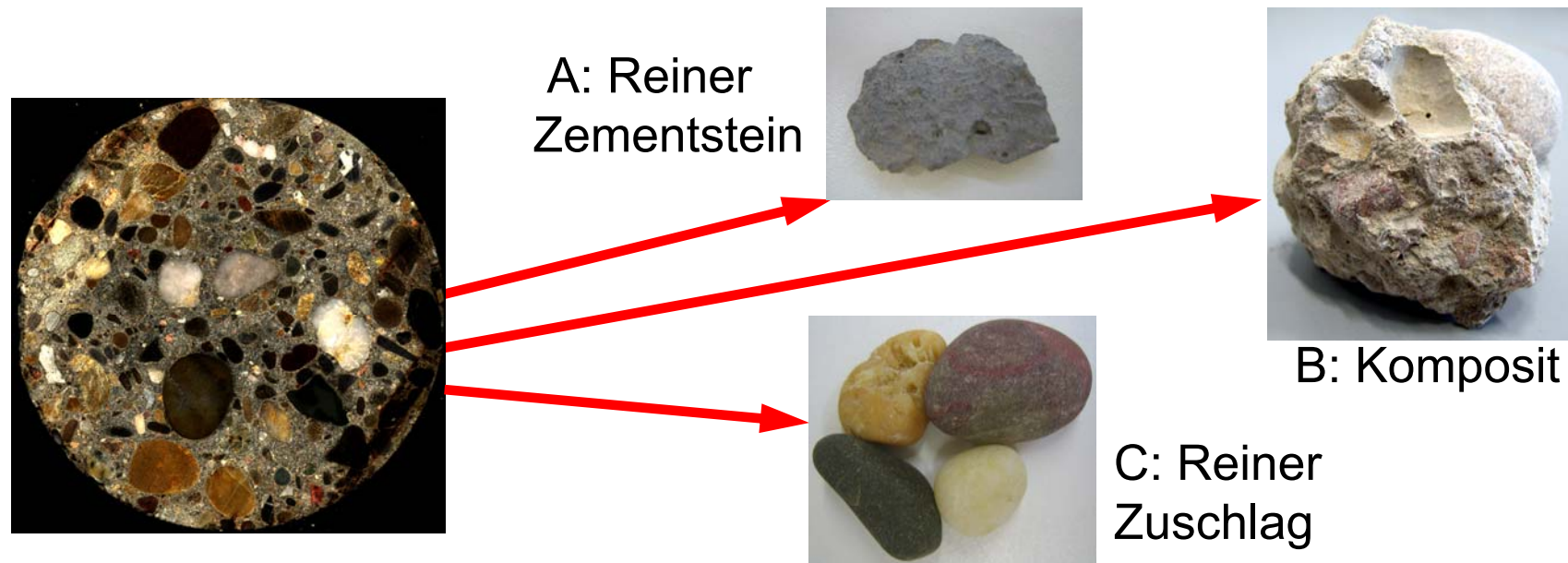
## „Advanced technologies“

- ⇒ Aufschlussverfahren für Betonrezklate
- ⇒ Automatische Sortierung
- ⇒ Rohstoffliche Verwertung von Mauerwerkbruch

## Visionen für die Recyclingfabrik von morgen

## Aufschlussverfahren für Betonrezyklate

Merkmal von Betonrezyklaten: Von 1,9 bis 2,7 g/cm<sup>3</sup> schwankende Rohdichten infolge unterschiedlicher Zementsteingehalte



Auswirkungen des Zementsteineintrags in den Beton:

- Minderung der Qualität von Betonen aus Rezyklaten
- Induzierung von Qualitätsschwankungen

## Qualitätsminderung durch Zementsteineintrag

Fall 1: Zementsteingehalt der Rezyklate 5 Masse-%

→ Menge an eingebrachtem Alzementstein 36 kg/m<sup>3</sup> Beton

Δ Druckfestigkeit → 0  
Δ dyn. E-Modul → 0

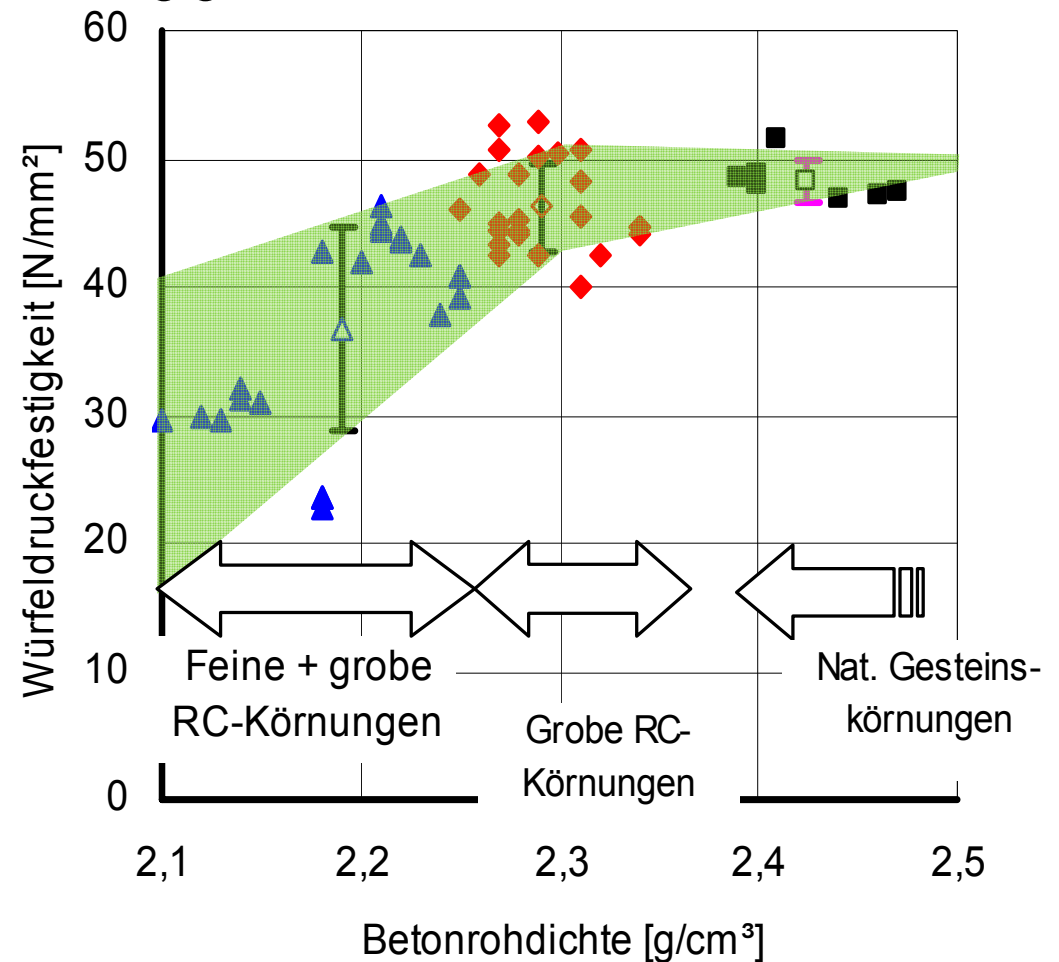
Fall 2: Zementsteingehalt der Rezyklate 25 Masse-%

→ Menge an eingebrachtem Alzementstein 178 kg/m<sup>3</sup> Beton

Δ Druckfestigkeit ~ - 20 %  
Δ dyn. E-Modul ~ - 35 %

Beton aus 45 Vol.- % feiner, rezyklierter + 55 Vol.-% grober, natürlicher Gesteinskörnungen;  
Δ Druckfestigkeit und Δ E-Modul berechnet nach Angaben von K. Weimann, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar 2008.

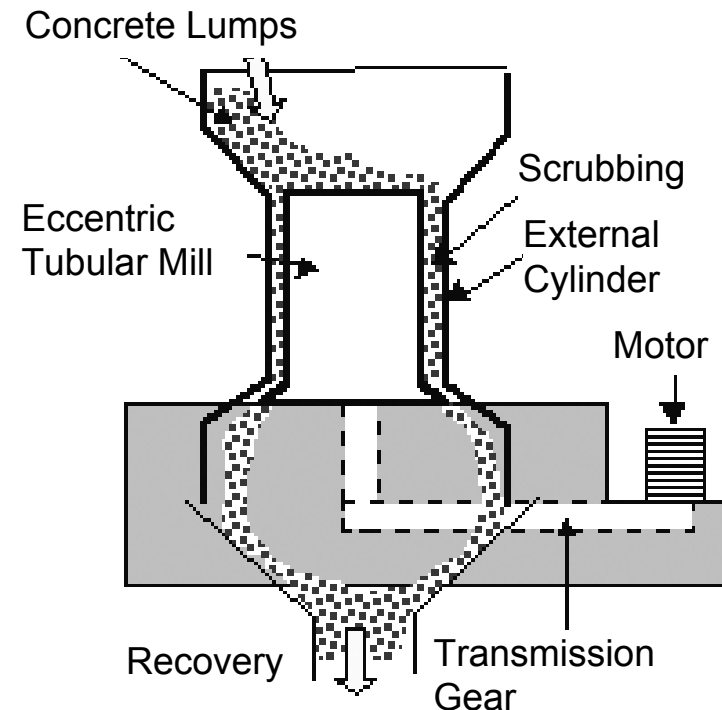
## Qualitätsschwankungen in Abhängigkeit von der RC-Substitution



Quelle: Frank Roos, Dissertation, Technische Universität München, 2002.



# Trockene Abrasionsbeanspruchung zur Erzeugung zementsteinfreier, rezyklierter Zuschläge

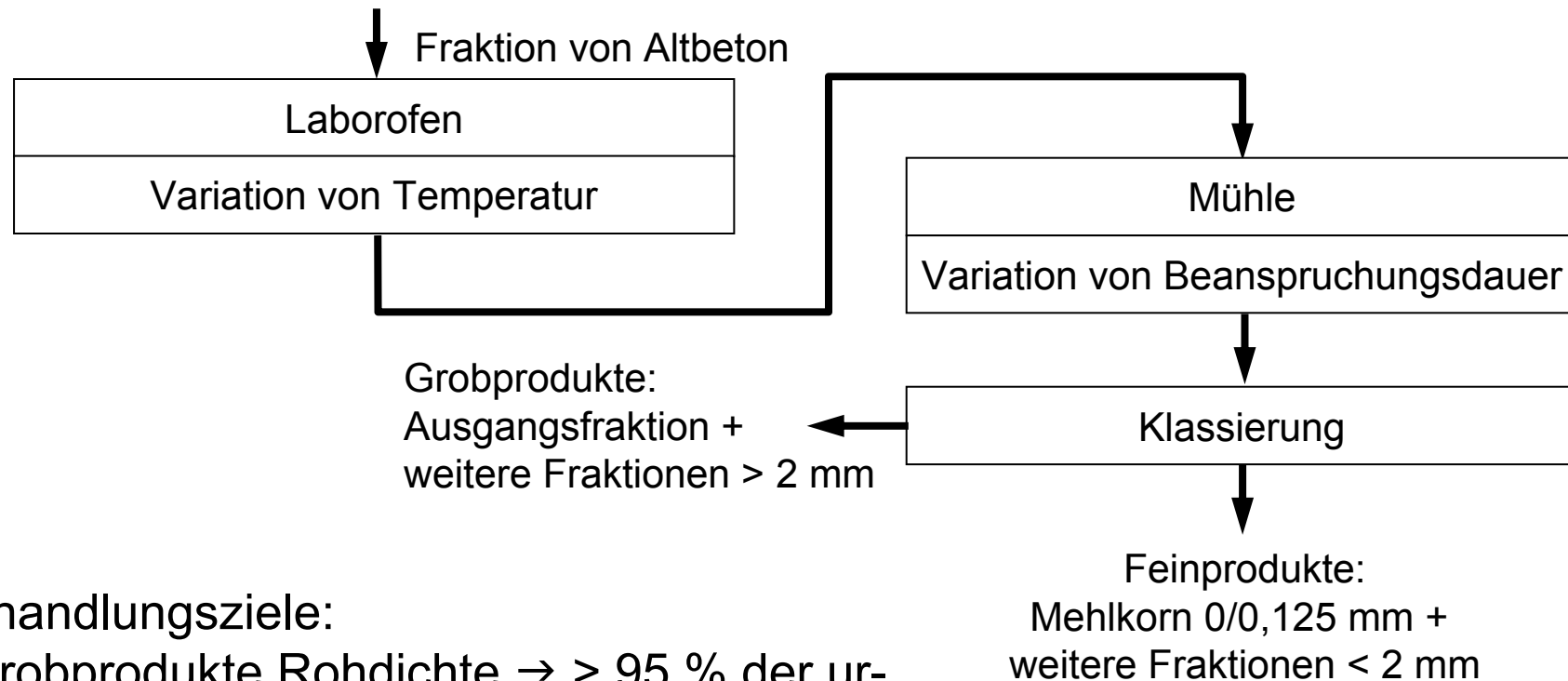


	Trockenroh-Dichte	Wasseraufnahme
JIS Class „High“	$\geq 2,5 \text{ g/cm}^3$	$\leq 3 \text{ M.-%}$
Cyclite	$2,58 \text{ g/cm}^3$	$\leq 1,8 \text{ M.-%}$

Quellen: Takafumi Noguchi, The University of Tokyo, 2006; [http://www.takenaka.co.jp/takenaka\\_e/](http://www.takenaka.co.jp/takenaka_e/)

## Thermisch-mechanische Behandlung von Altbeton

Laboruntersuchungen zu den Auswirkungen von Behandlungstemperatur und Dauer der nachfolgenden Abrasionsbeanspruchung

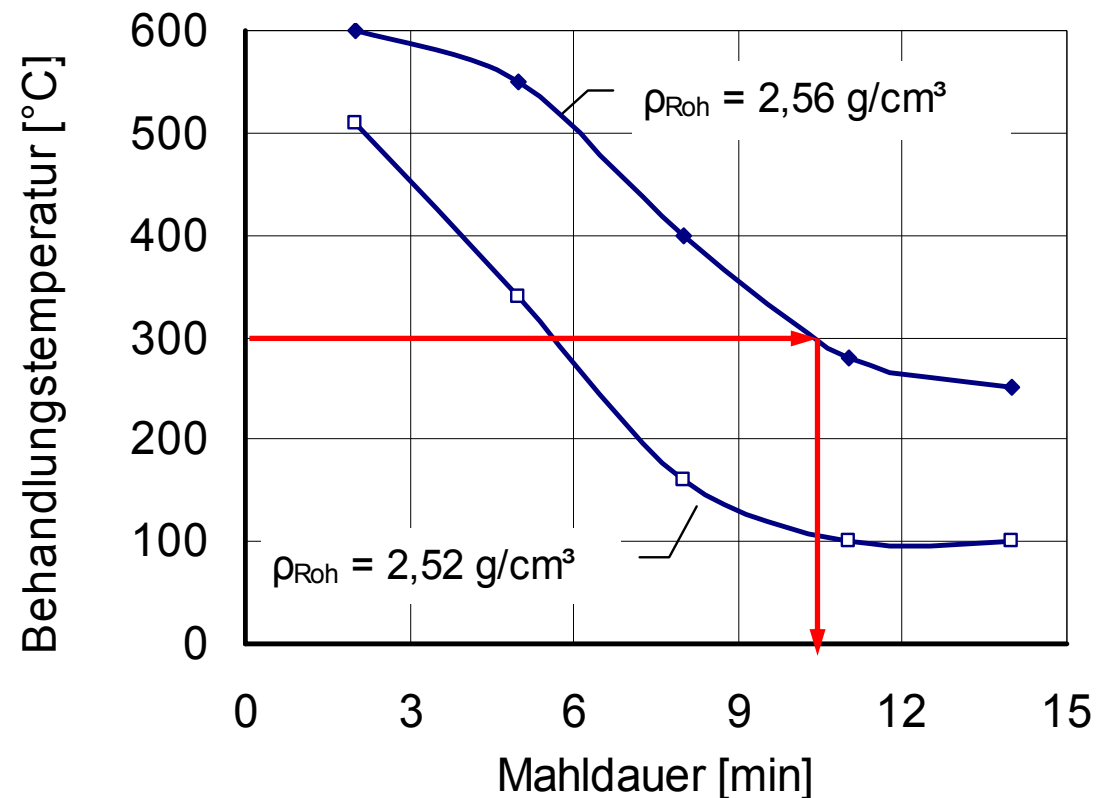


Behandlungsziele:

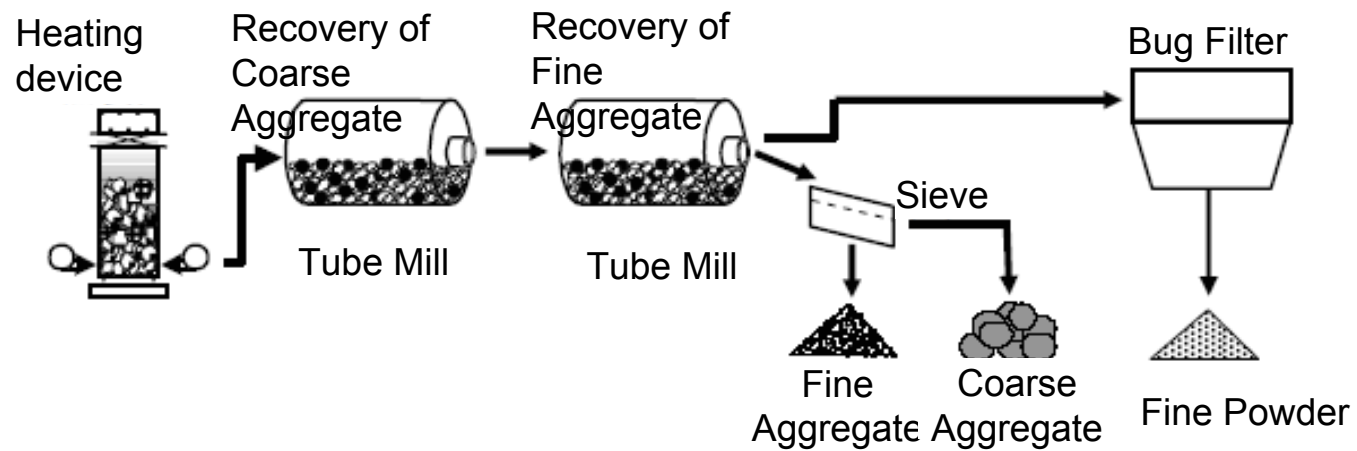
- Grobprodukte Rohdichte  $\rightarrow > 95$  % der ursprünglichen Gesteinskörnung
- Feinprodukte Zementsteingehalt  $\rightarrow$  Max

## Ergebnisse zu den Behandlungsbedingungen

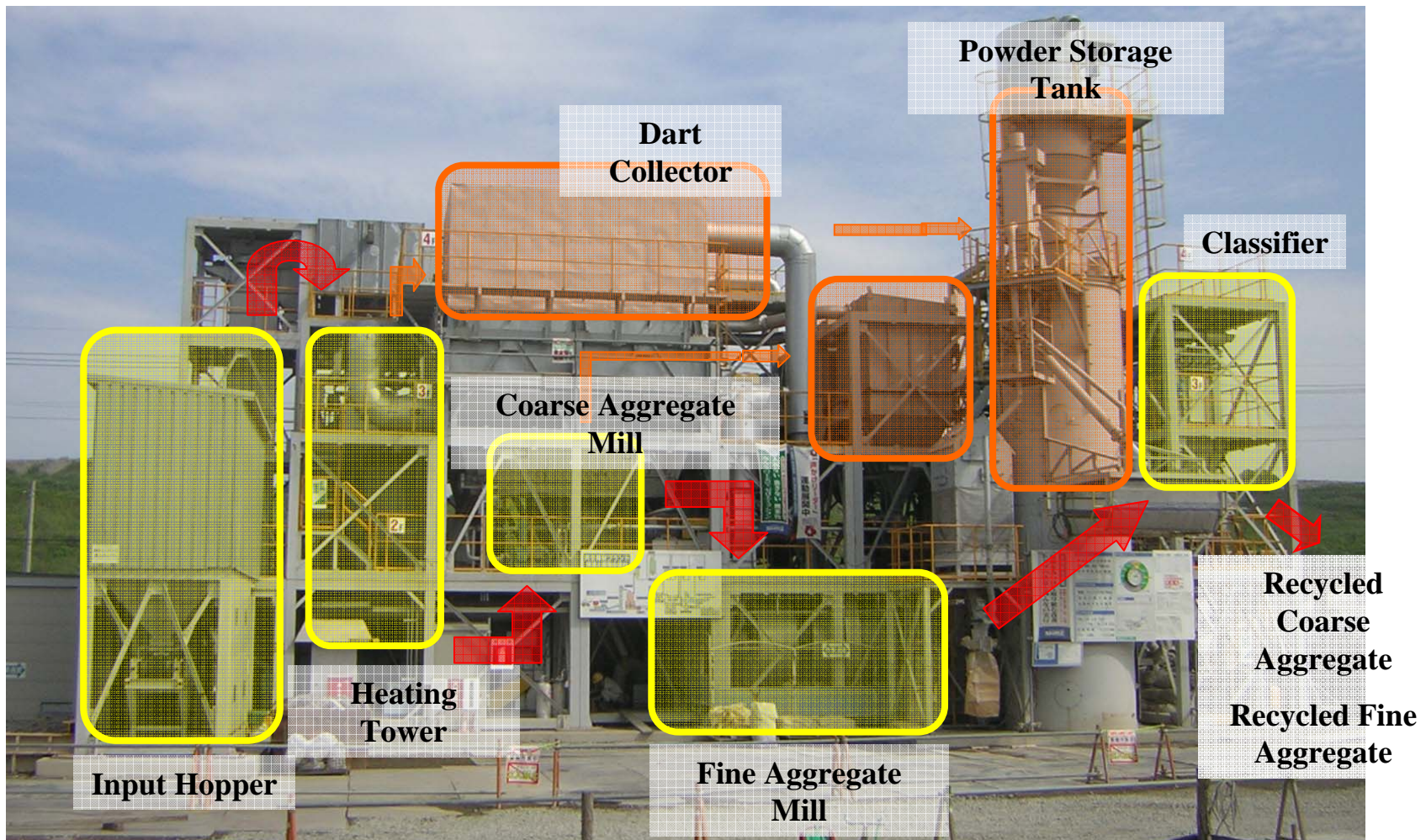
Behandlungstemperatur und Mahldauer zur Erzielung einer bestimmten Rohdichte der Grobprodukte



## Technologisches Schema für die thermisch-mechanische Behandlung



# Technische Anlage zur thermisch-mechanischen Behandlung von Altbeton seit Juni 2009 in Betrieb, Durchsatz 4 t/Tag

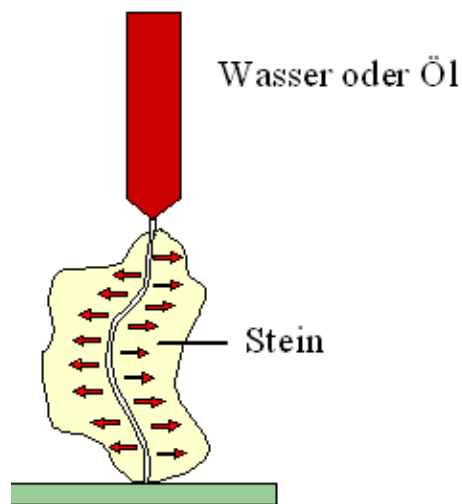


Quelle: Takafumi Noguchi, Progress of Recycling in the Built Environment, Sao Paulo 2009.

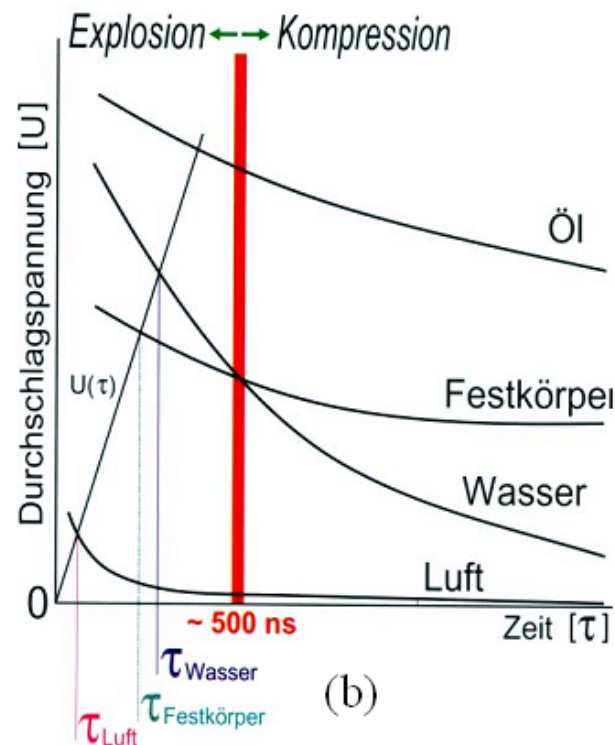
# „Hochspannungs“-Aufschlussverfahren

Erzeugung von Beanspruchungen an der Phasengrenze zwischen Zementstein und Zuschlag

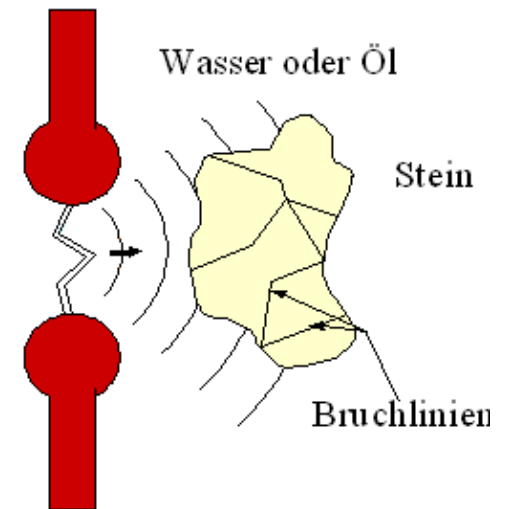
Zerstörung durch direkten Durchschlag: Elektrodynamischer Effekt



Spannungsanstieg



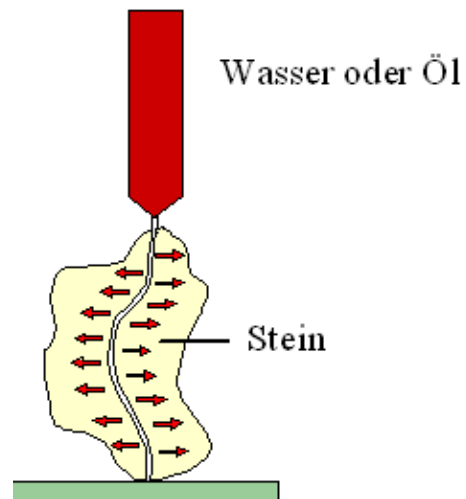
Zerstörung durch Druckwelle: Elektrohydraulischer Effekt



## „Hochspannungs“-Aufschlussverfahren

Erzeugung von Beanspruchungen an der Phasengrenze zwischen Zementstein und Zuschlag

Zerstörung durch direkten Durchschlag:  
Elektrodynamischer Effekt



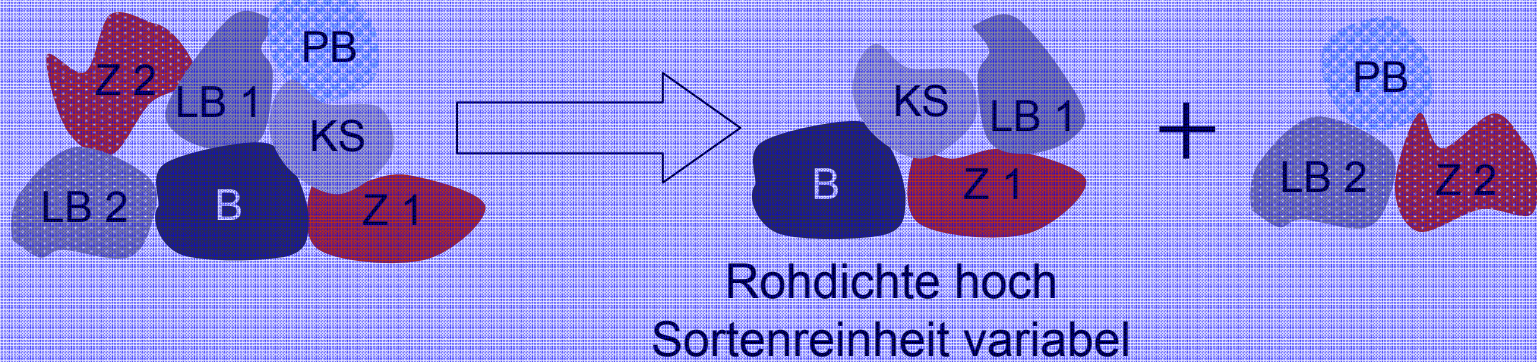
# Sortierverfahren nach Baustoffarten

Ausgangsmaterial:  
Baustoffgemisch

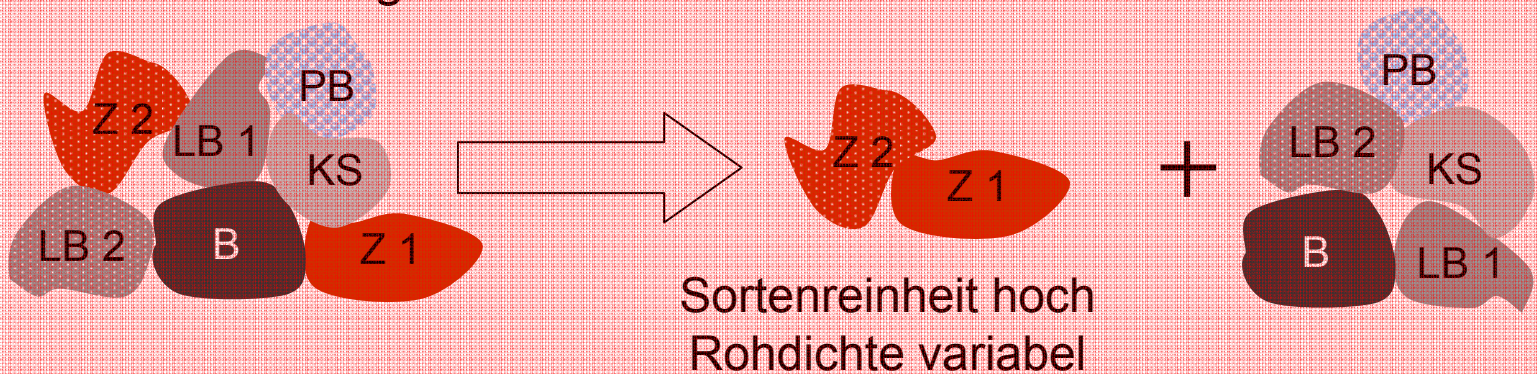
Produkt

Sortierrest

## Sortierung mittels Nasssetzen

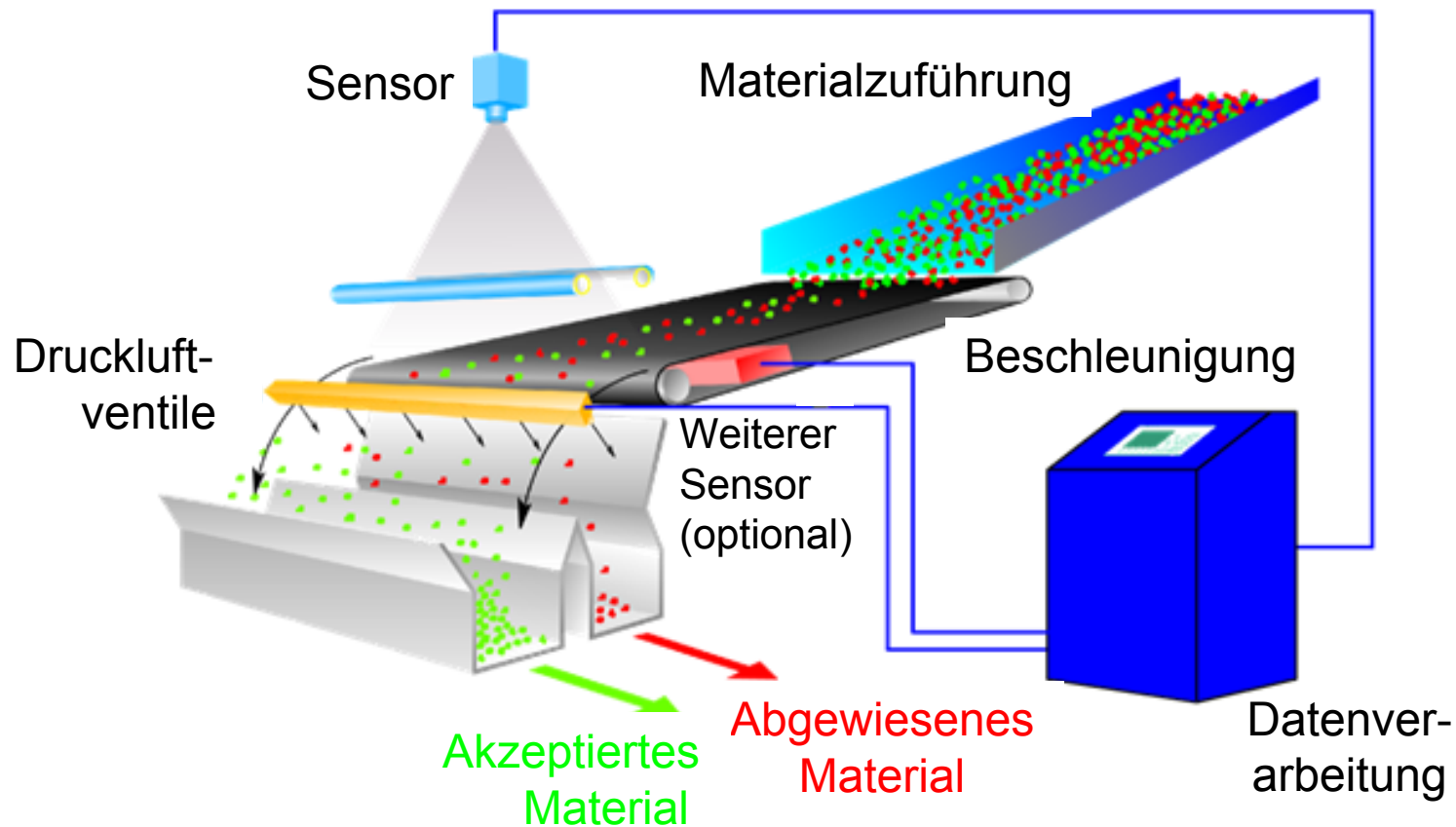


## Sensorgestützte Sortierung

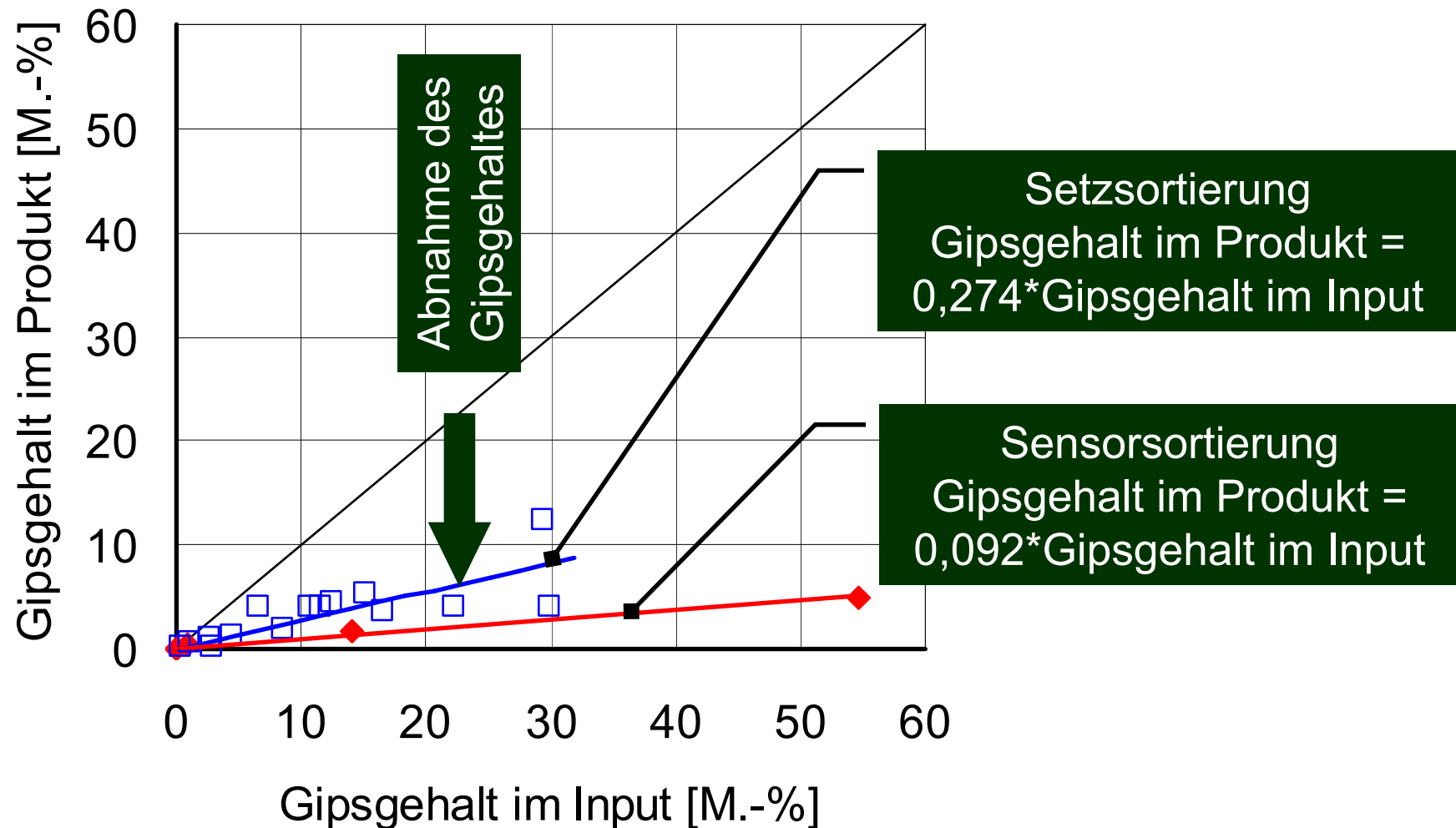




## Sensorgestützte Sortierung



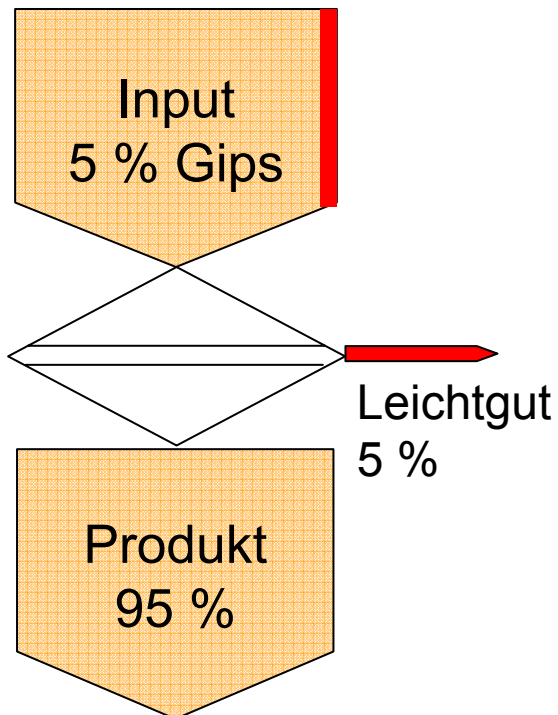
## Vergleich des Gehalts an Gipspartikeln im Produkt



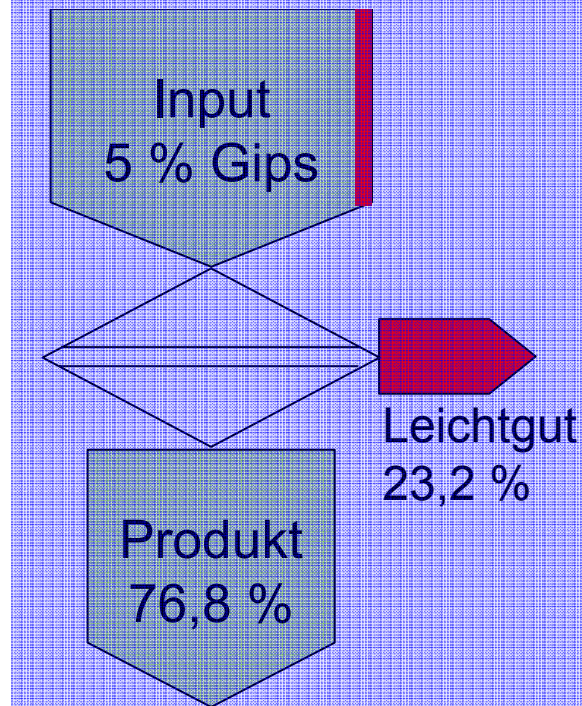
## Vergleich der Effektivität der Sortiertechniken bei einem Gehalt an Gipspartikeln von 5 % im Aufgabematerial

### Ideale Trennung

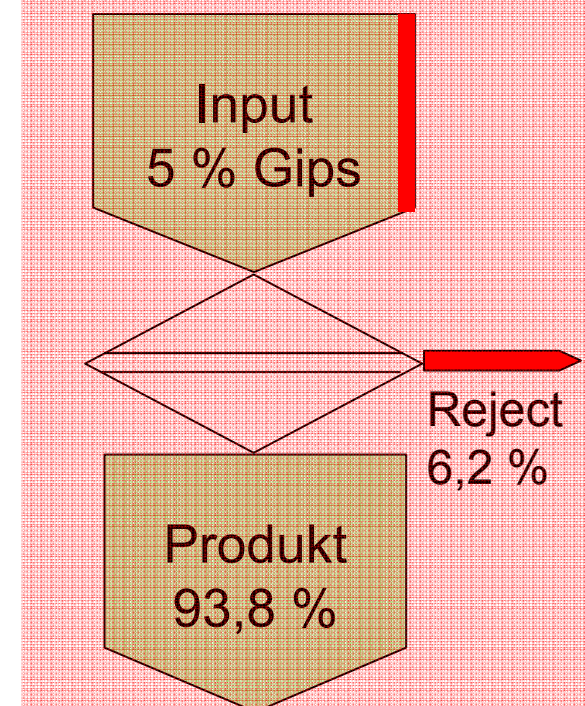
Leichtgut → 100 % Gips  
 Produkt → 0 % Gips



### Trennung mittels Setzsartierung



### Trennung mittels Sensorsortierung



# Rohstoffliches Recycling

Variante 1: Rückführung in das ursprüngliche Produkt

Stoffsubkreisläufe



-  Subkreislauf Ziegel +
-  Subkreislauf Kalksandstein +
-  Subkreislauf Porenbeton +
-  Subkreislauf Leichtbeton +
-  Subkreislauf Gipsbauplatten +
-  Subkreislauf Mineralwolle +
- Störstoffe, Fremdstoffe

= interner Subkreislauf Mauerwerk/  
Verwertungsebene 1: Primärbaustoffindustrie

Voraussetzungen und Randbedingungen:

- Sortenreine Rückgewinnung
- Fremdbestandteile minimieren
- Zusatzmengen im Interesse der Produktqualität begrenzt
- Degradation über mehrere Rückführzyklen unvermeidlich

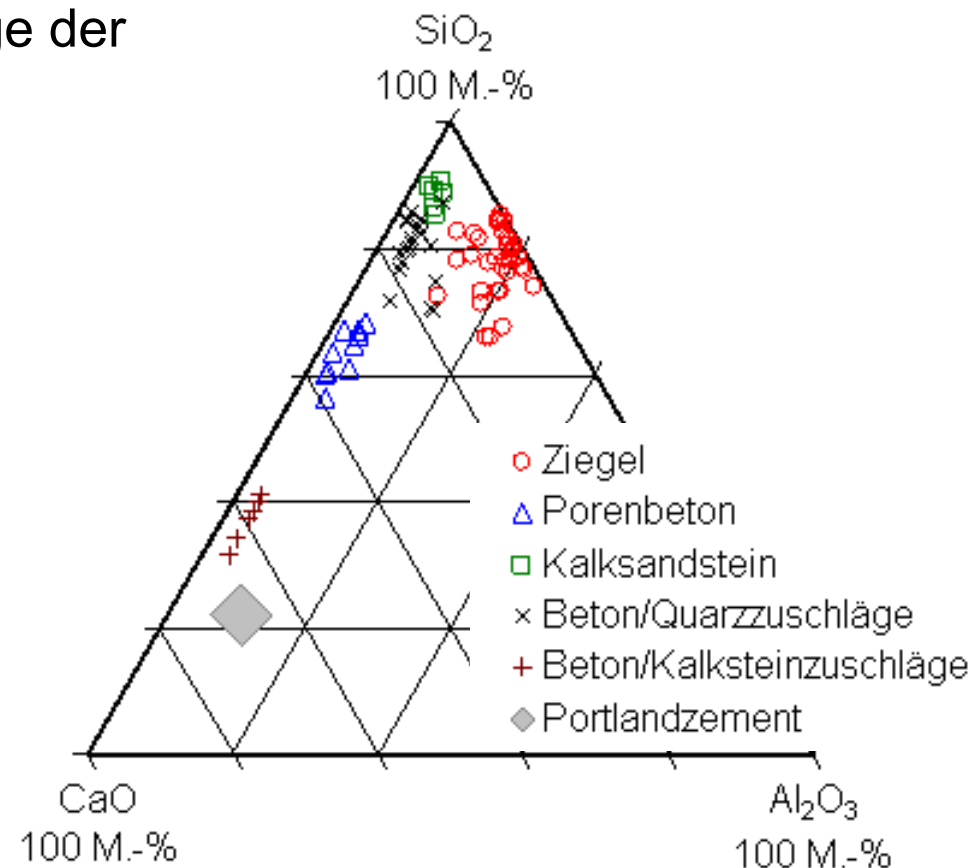
Variante 2: Verwendung als Rohstoff für ein anderes (Bau-) Produkt

Mindestvoraussetzung:

Erfüllung bestimmter Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

Beurteilung anhand der Lage der Baustoffe in relevanten Dreistoffsystemen

Betrachtung sortenreiner Baustoffe



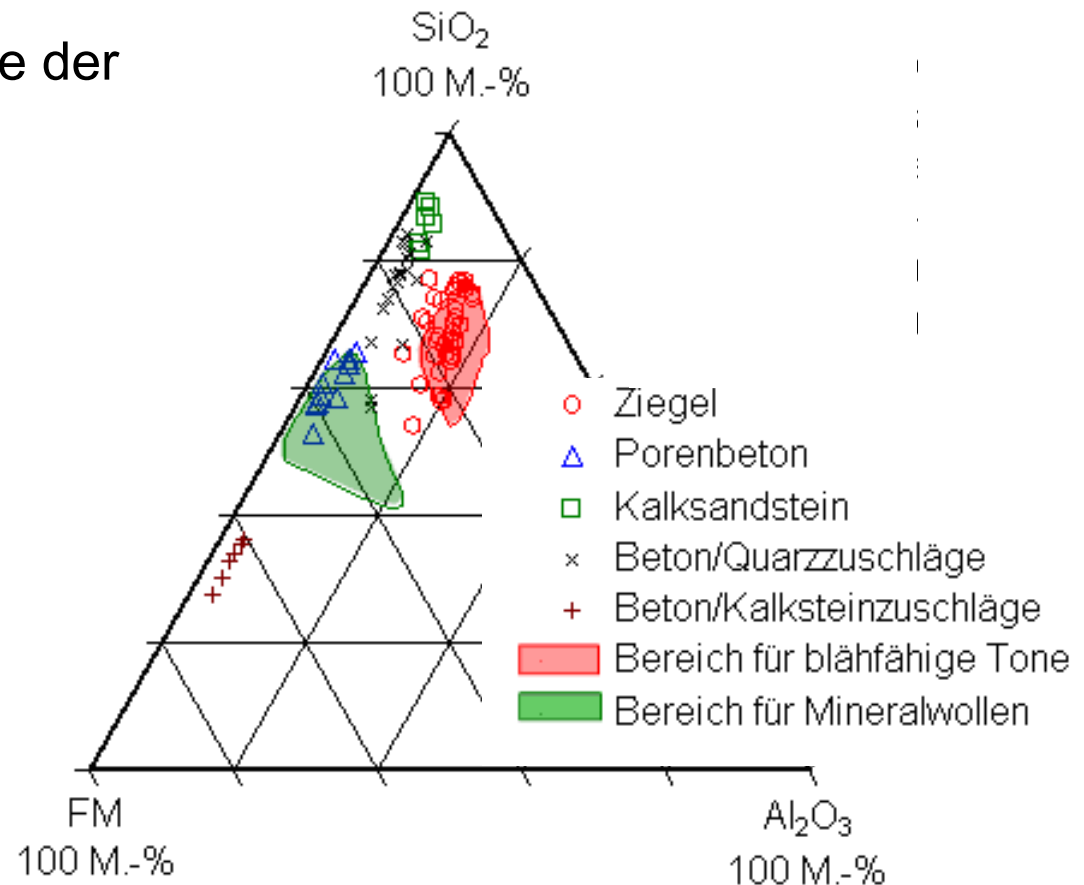
Variante 2: Verwendung als Rohstoff für ein anderes (Bau-) Produkt

Mindestvoraussetzung:

Erfüllung bestimmter Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

Beurteilung anhand der Lage der Baustoffe in relevanten Dreistoffsystemen

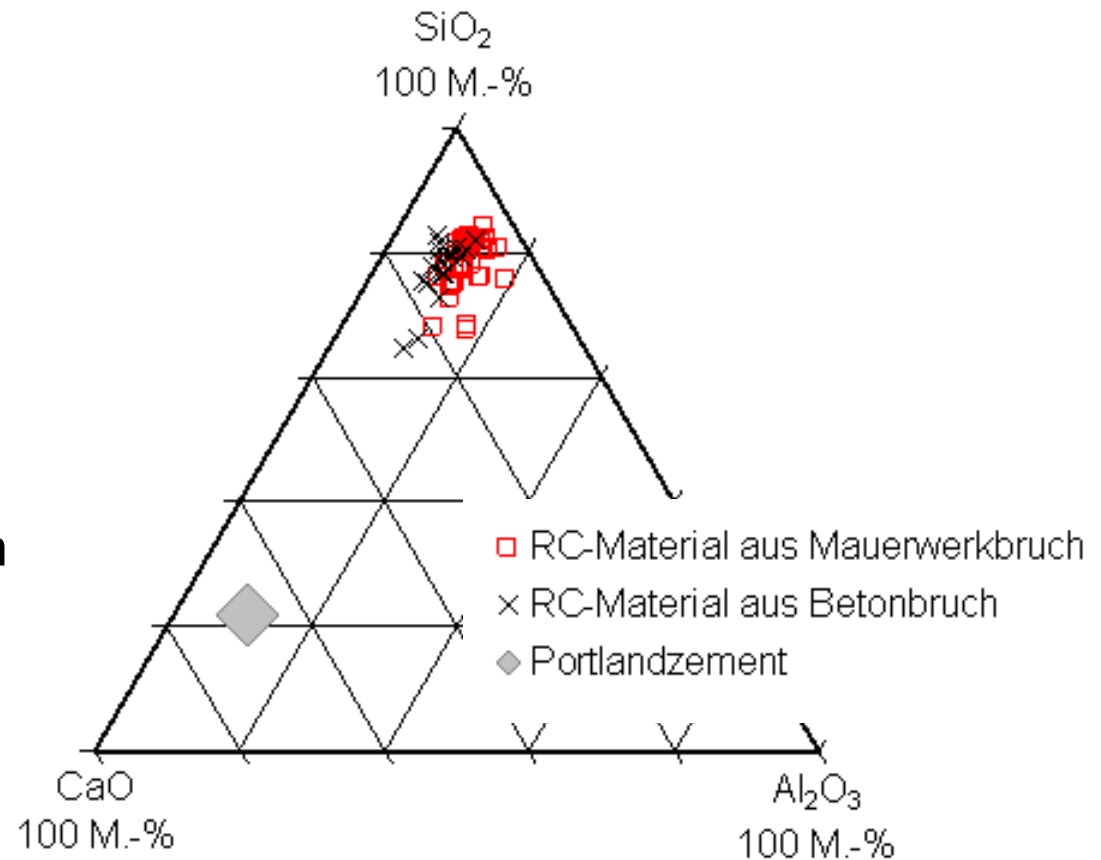
Betrachtung sortenreiner Baustoffe



## Beurteilung anhand der Lage der Baustoffe in relevanten Dreistoffsystemen

Betrachtung von Bauabfällen

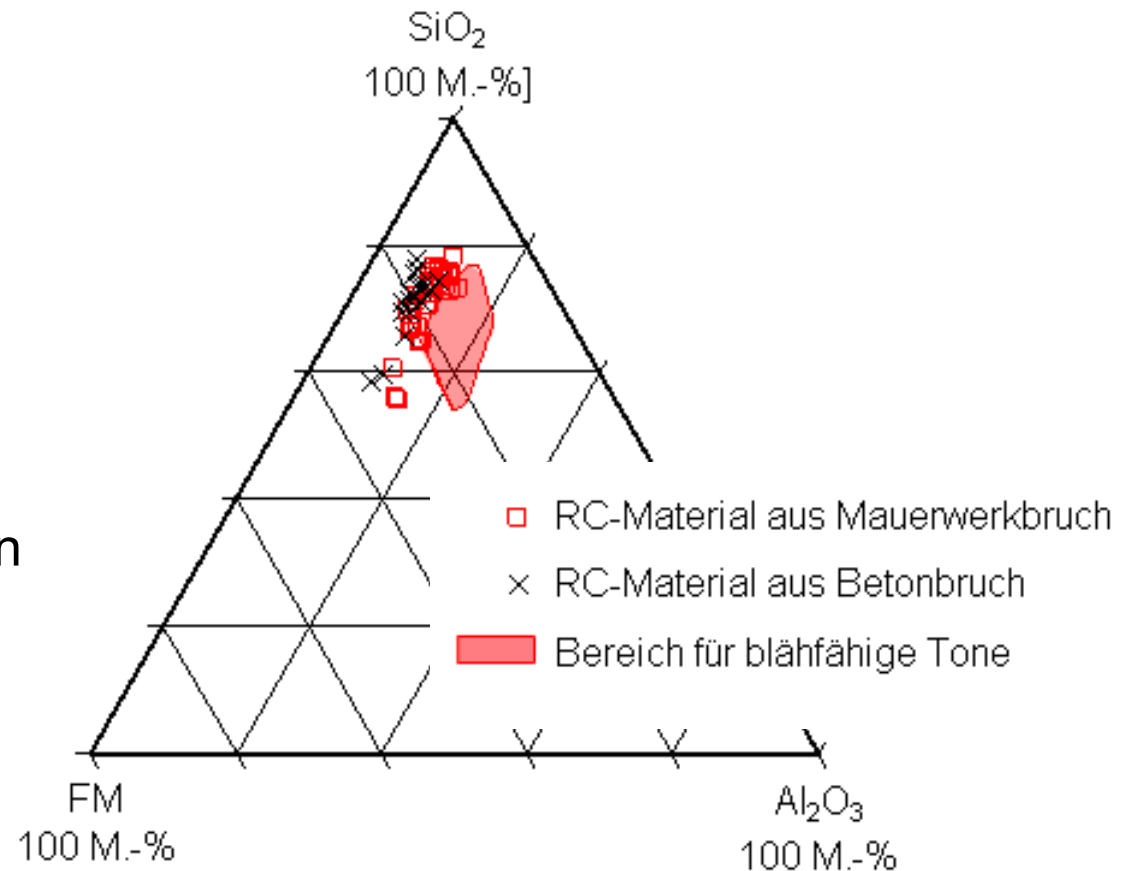
Effekt der „Autohomogenisierung“



# Beurteilung anhand der Lage der Baustoffe in relevanten Dreistoffsystemen

Betrachtung von Bauabfällen

Effekt der „Autohomogenisierung“







## Stand des Recyclings von Bauabfällen

- ⇒ Aufkommenszahlen von Bauabfällen
- ⇒ Verwertungs- und Substitutionsquote
- ⇒ Aufbereitungstechnologien und Einsatzgebiete von RC-Produkten

## Konventionelle Aufbereitungstechniken für Qualitätsverbesserungen

- ⇒ Mehrstufige Zerkleinerung
- ⇒ Feinkornarme Zerkleinerung
- ⇒ Sortierung nach der Kornform
- ⇒ Modifizierte Setzsortierung


## „Advanced technologies“

- ⇒ Aufschlussverfahren für Betonrezklate
- ⇒ Automatische Sortierung
- ⇒ Rohstoffliche Verwertung von Mauerwerkbruch

## Visionen für die Recyclingfabrik von morgen



# Ibausil 2003

 Bauhaus-Universität Weimar  
Professur für Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung

Ausblick

Hypothesen und Visionen

- Baustoffentwicklungen

MDF ... 1981

SCC... 1988

UHPC... 1994

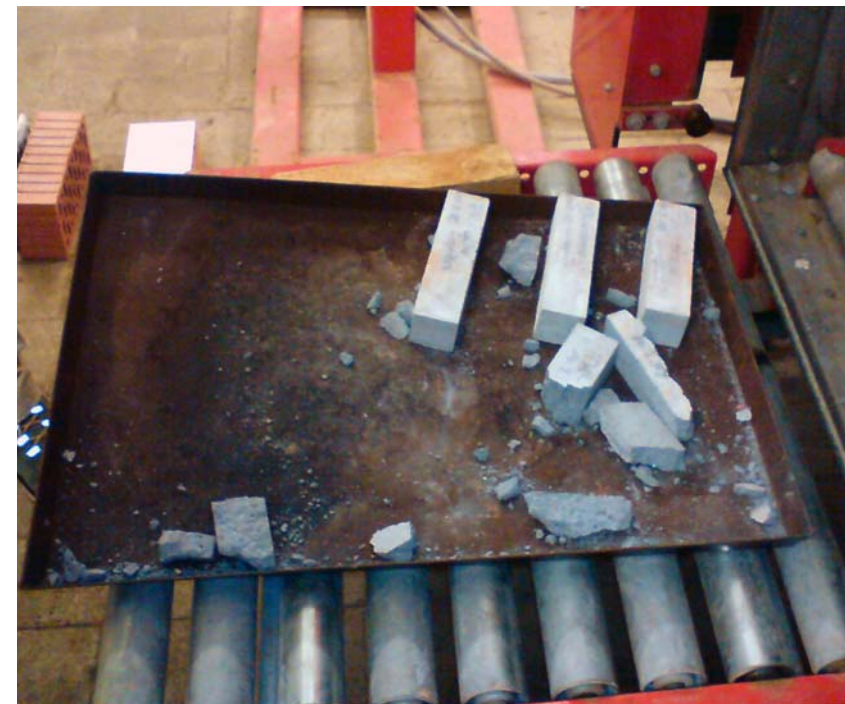
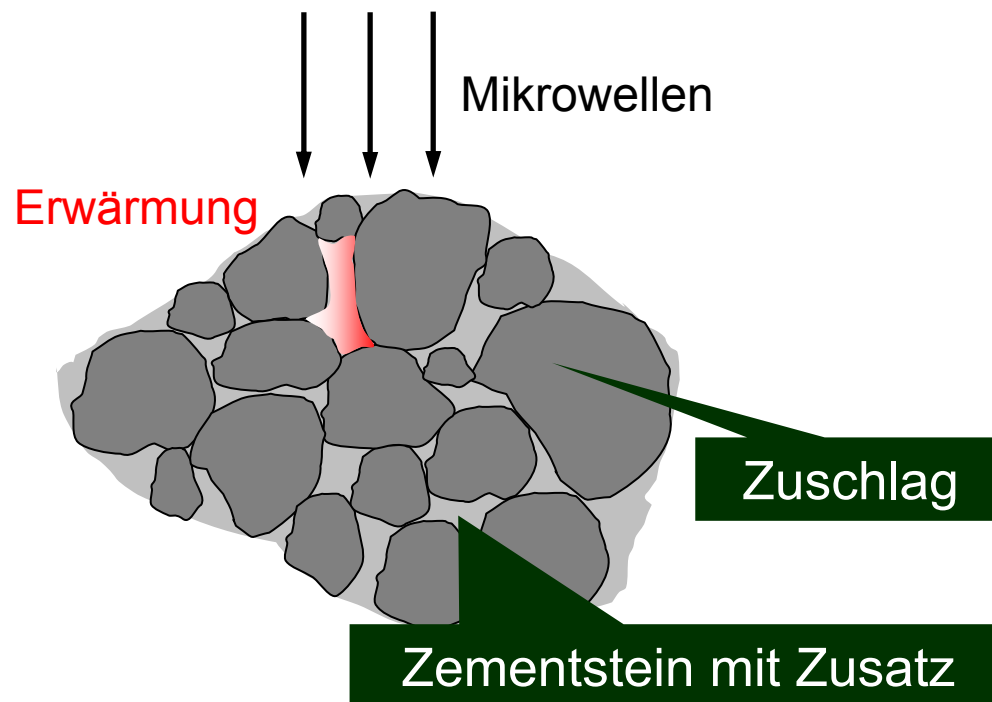
SDC... ????

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Self Demolishing Concrete

## Zerkleinerung von Beton durch Grenzflächenversagen

Zementmörtelprismen mit und ohne Zusatz direkt nach der Mikrowellenbehandlung





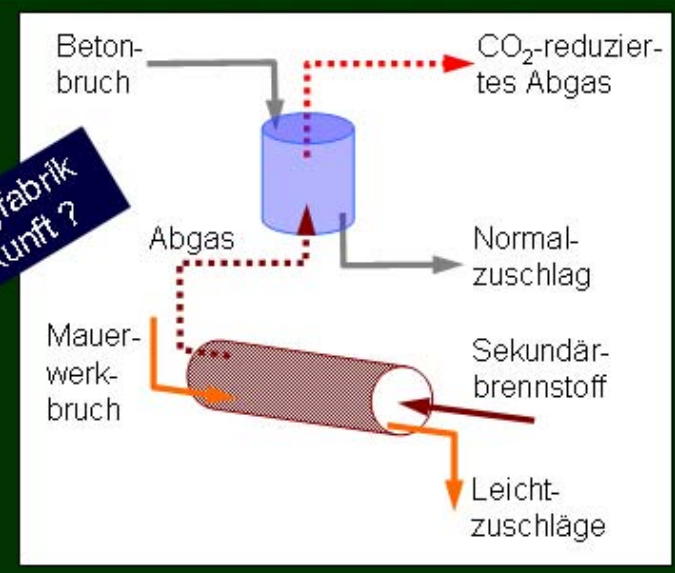
# Recyclingfabrik von morgen

## Hanau 2006



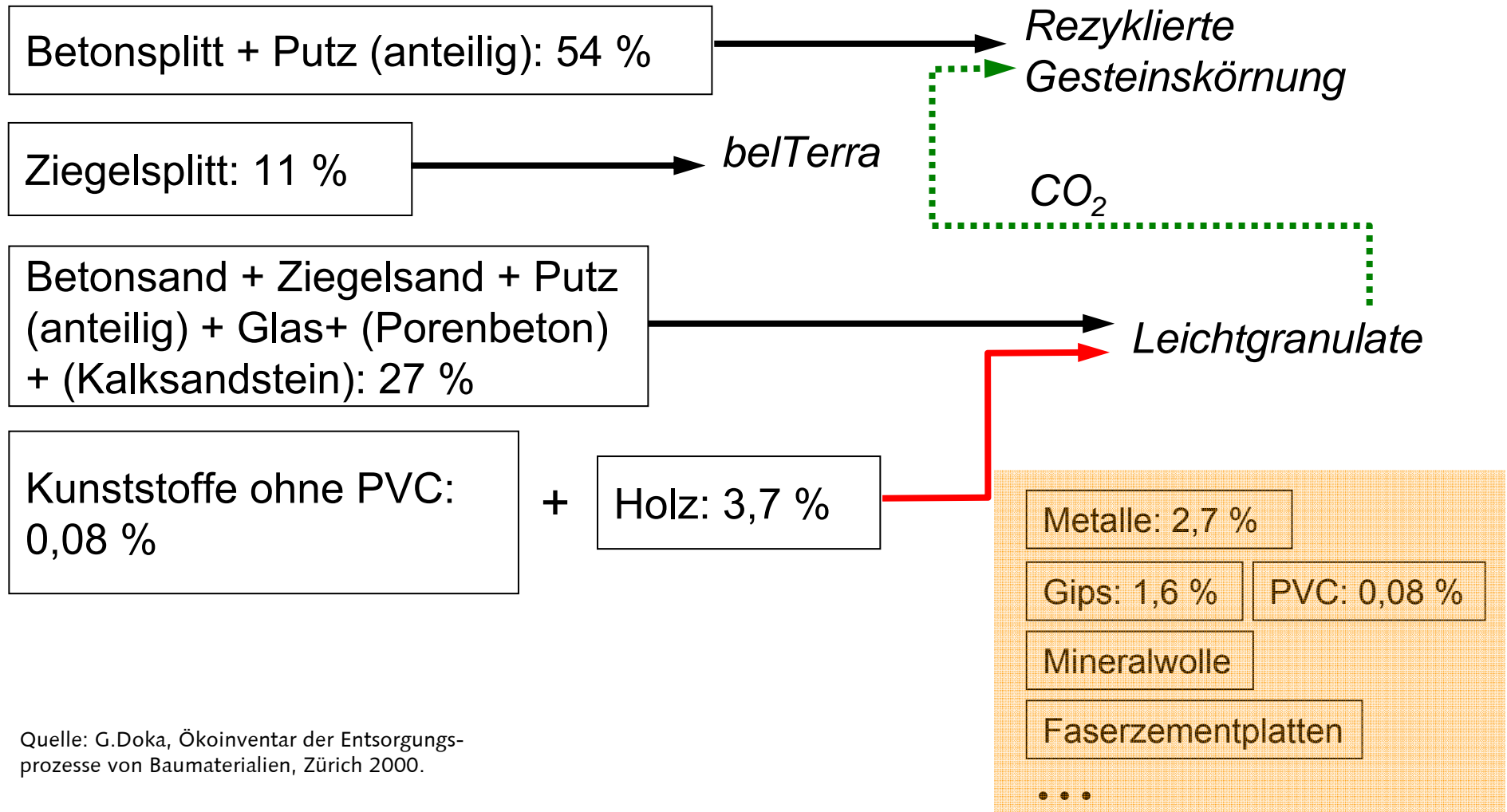
Professur Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung

Recyclingfabrik der Zukunft ?





## Möglichkeiten der Produktherstellung



Quelle: G.Doka, Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien, Zürich 2000.



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Homepage: [www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/](http://www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/)

