

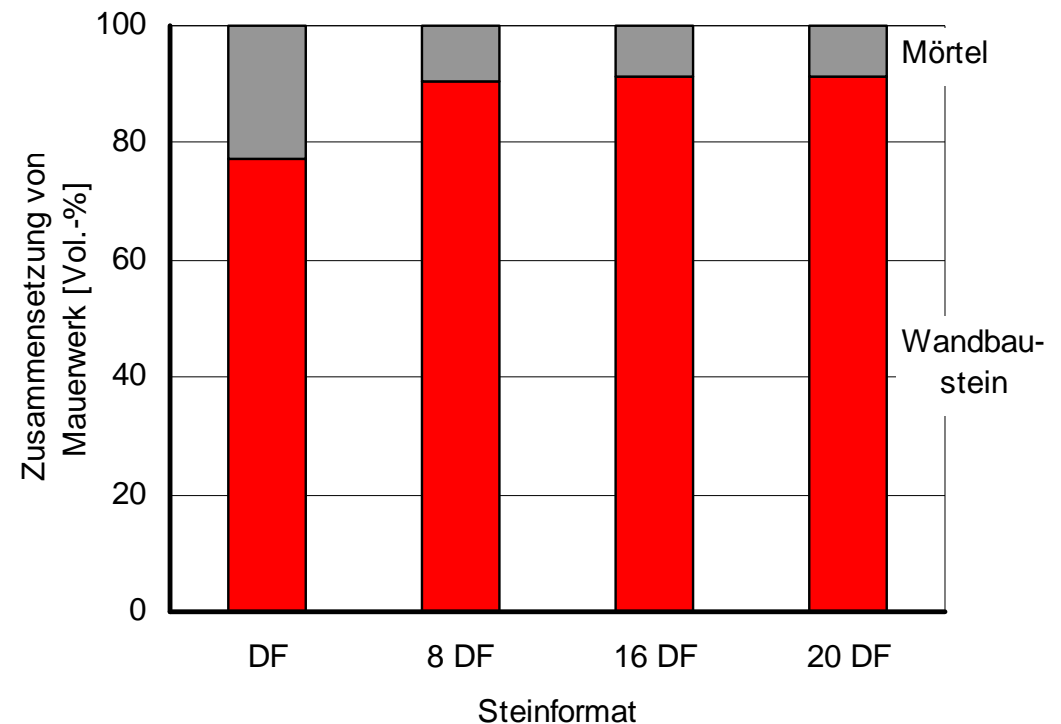
- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch**
- 5.1 Definitionen und Begriffe**
- 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung
- 5.3 Merkmale des Primärmaterials
- 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch
- 5.5 Verwertungstechnologien
  - 5.5.1 Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk
  - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Mauerwerk ist ein Baustoffverbund aus Mauersteinen (Wandbausteinen), die im Verband angeordnet sind, und Mauermörtel.

Wandbausteine können Ziegel, Kalksandstein, Porenbetonsteine, Betonsteine, Natursteine etc. sein.

Mörtelmenge hängt von Steinformat ab.



Mauerwerkbruch: Sammelbezeichnung für das Material, das bei Abbruch und Umbauarbeiten aus Mauerwerk anfällt

Recycling-Baustoffe aus Mauerwerkbruch mit definierter Materialzusammensetzung entsprechend der DIN 4226-100

- Mauerwerksplitt bzw. Mauerwerkbrechsand: Anteil von Klinker und nicht porosierten Ziegeln  $\geq 80$  M.-%
- Mischsplitt bzw. Mischbrechsand: Summe der Bestandteile Beton, natürliche Gesteinskörnungen, Klinker, nicht porosierte Ziegel und Kalksandstein  $\geq 80$  M.-%

- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch
  - 5.1 Definitionen und Begriffe
  - 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung**
  - 5.3 Merkmale des Primärmaterials
  - 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch
  - 5.5 Verwertungstechnologien
    - 5.5.1 Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk
    - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Zeitreihe zur Produktion von Wandbaustoffen: Jährliches Produktionsvolumen

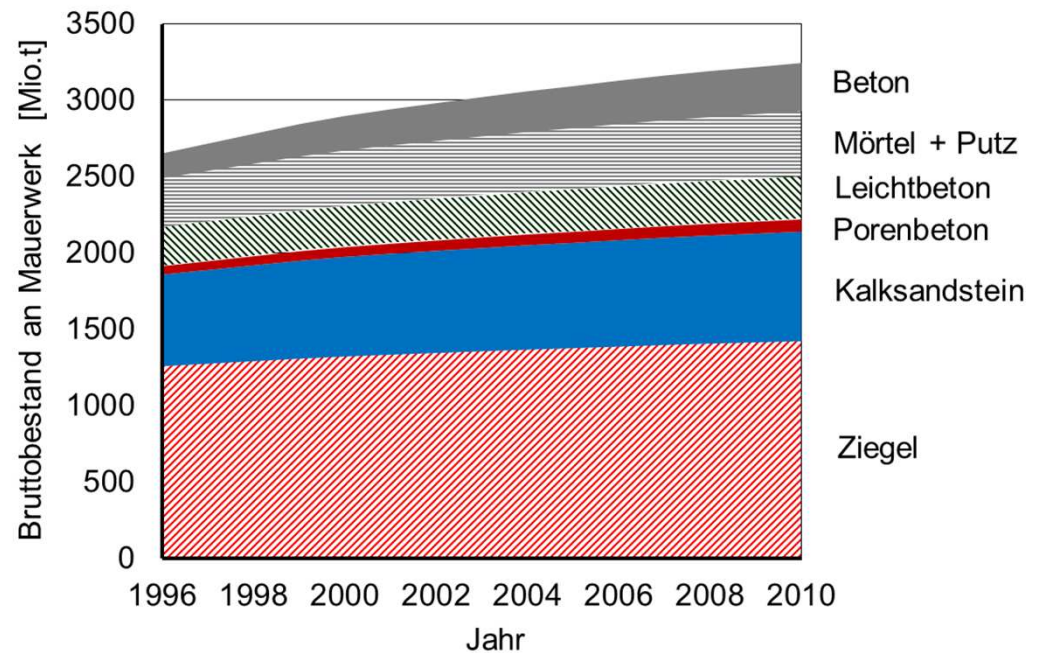
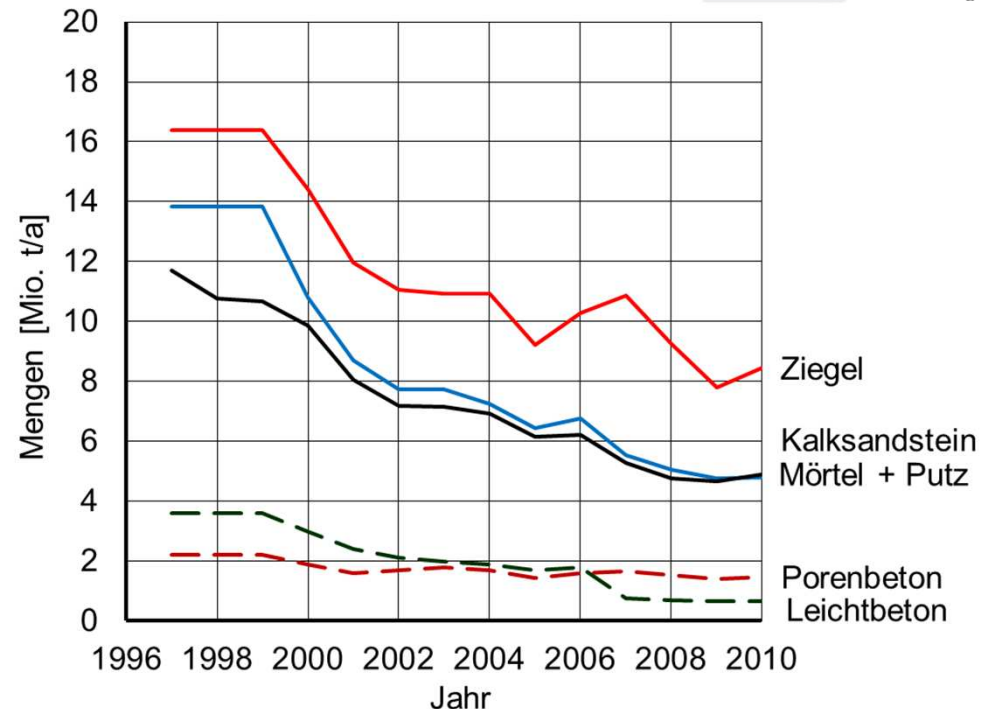
Quelle: Steine-Erden-Industrie											Bundesanstalt GEO			
[Mio.m <sup>3</sup> ]	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ziegel	12,6	12,6	12,6	11,1	9,2	8,5	8,4	8,4	7,1	7,9	8,35	7,12	5,99	6,49
Kalksandstein	8,6	8,6	8,6	6,7	5,4	4,8	4,8	4,5	4	4,2	3,44	3,14	2,95	2,97
Porenbeton	4,4	4,4	4,4	3,8	3,2	3,4	3,6	3,4	2,9	3,2	3,31	3,09	2,79	2,94
Leichtbeton	3,6	3,6	3,6	3	2,4	2,1	2	1,9	1,7	1,8	0,76	0,68	0,66	0,66
Summe	29,2	29,2	29,2	24,6	20,2	18,8	18,8	18,2	15,7	17,1	15,9	14,0	12,4	13,1
[Mio. t]	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ziegel	16,4	16,4	16,4	14,4	12,0	11,1	10,9	10,9	9,2	10,3	10,9	9,3	7,8	8,4
Kalksandstein	13,8	13,8	13,8	10,8	8,7	7,7	7,7	7,2	6,4	6,8	5,5	5,1	4,8	4,8
Porenbeton	2,2	2,2	2,2	1,9	1,6	1,7	1,8	1,7	1,5	1,6	1,6	1,6	1,4	1,5
Leichtbeton	3,6	3,6	3,6	3,0	2,4	2,1	2,0	1,9	1,7	1,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Mörtel + Putz	11,7	10,8	10,7	9,9	8,1	7,2	7,2	6,9	6,1	6,2	5,3	4,8	4,7	4,9
Summe	47,7	46,8	46,7	40,0	32,7	29,8	29,6	28,7	25,0	26,6	24,1	21,3	19,3	20,3
Rohdichten zur Umrechnung [t/m <sup>3</sup> ]			Ziegel	1,3	Kalksandstein	1,6	Porenbeton	0,5	Leichtbeton (inkl. Bims)	1				

## Jährlich Produzierte Mengen

### Bestand 1950 -1996

[Mio. t]	
Ziegel	1260,00
Kalksandstein	600,00
Porenbeton	55,00
Leichtbeton	251,00
Mörtel + Putz	325,00
Summe	2491,00

## Kumulierte Menge an Mauerwerk

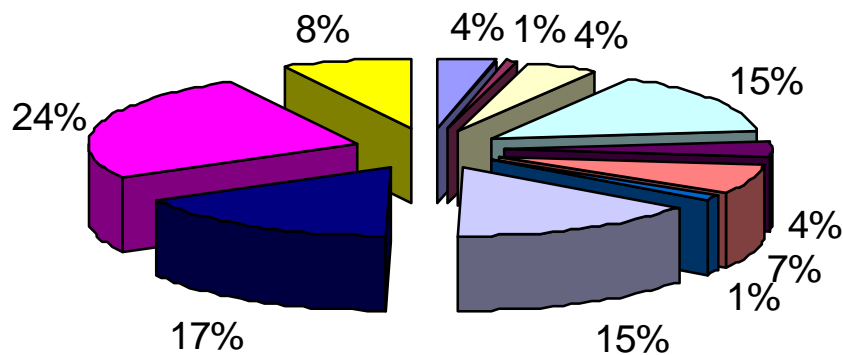


## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Aufkommen an Bauabfällen und Verwertungswege 1999

= Betonabbruch + Mauerwerkabbruch

	Aufkommen	Verwertung	
	[Mio. t/a]	[Mio. t/a]	[%]
Ausbauasphalt	15	15	100
Straßenaufbruch	28	27	96
Bauschutt	45	29	64
Baumischabfälle	12	4	33



- Landschaftsbau, Deponiebau, Rekultivierung
  - Lärmschutzwälle
  - Unterbau, Dammbau
  - Verfüllmaterial
  - Bodenverbesserung
  - Ungebundene Verkehrsflächen, Wegebau
  - hyd. gebundene Tragschicht
  - Frostschutzschicht
  - Schottertragschicht
  - Sonstiges
  - Zwischenlager
- } Einsatzgebiete für Mauerwerk-rezyklate

- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch
  - 5.1 Definitionen und Begriffe
  - 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung
  - 5.3 Merkmale des Primärmaterials**
  - 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch
  - 5.5 Verwertungstechnologien
    - 5.5.1 Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk
    - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen
    - 5.5.3 Rohstoffliche Verwertung von Gemischen



Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Primärmaterials  
“Wandbaustoffe”?

Gemeinsamkeiten

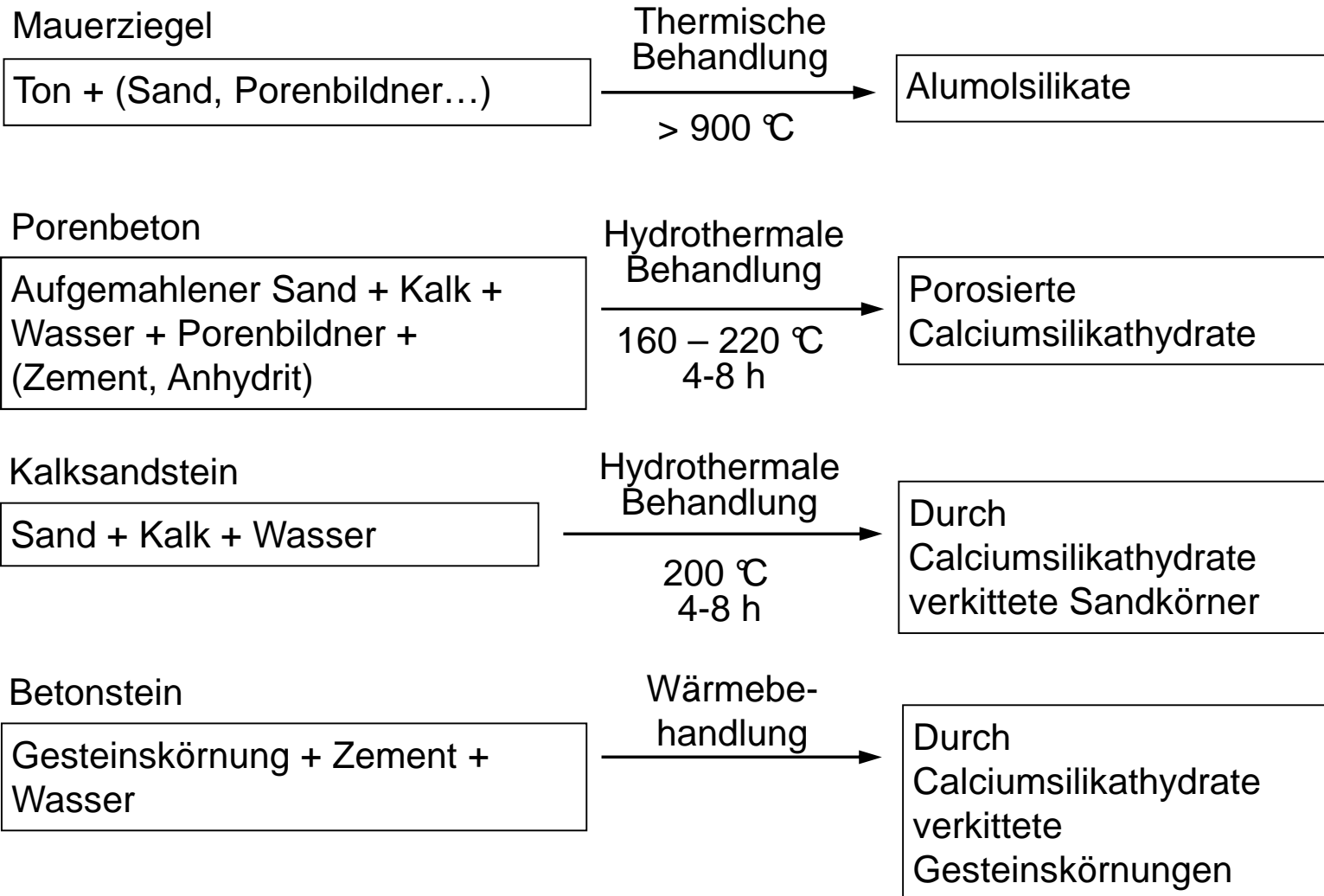
Stückgüter, In-pant-Herstellung, Mörtel als Verbindungselement...

Unterschiede

Rohstoffe, Herstellungsverfahren, chemische Zusammensetzung,  
festigkeitsgebende Bindungen, Porositäten...

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Wandbausteinarten: Mauerziegel und mineralisch gebundene Steine



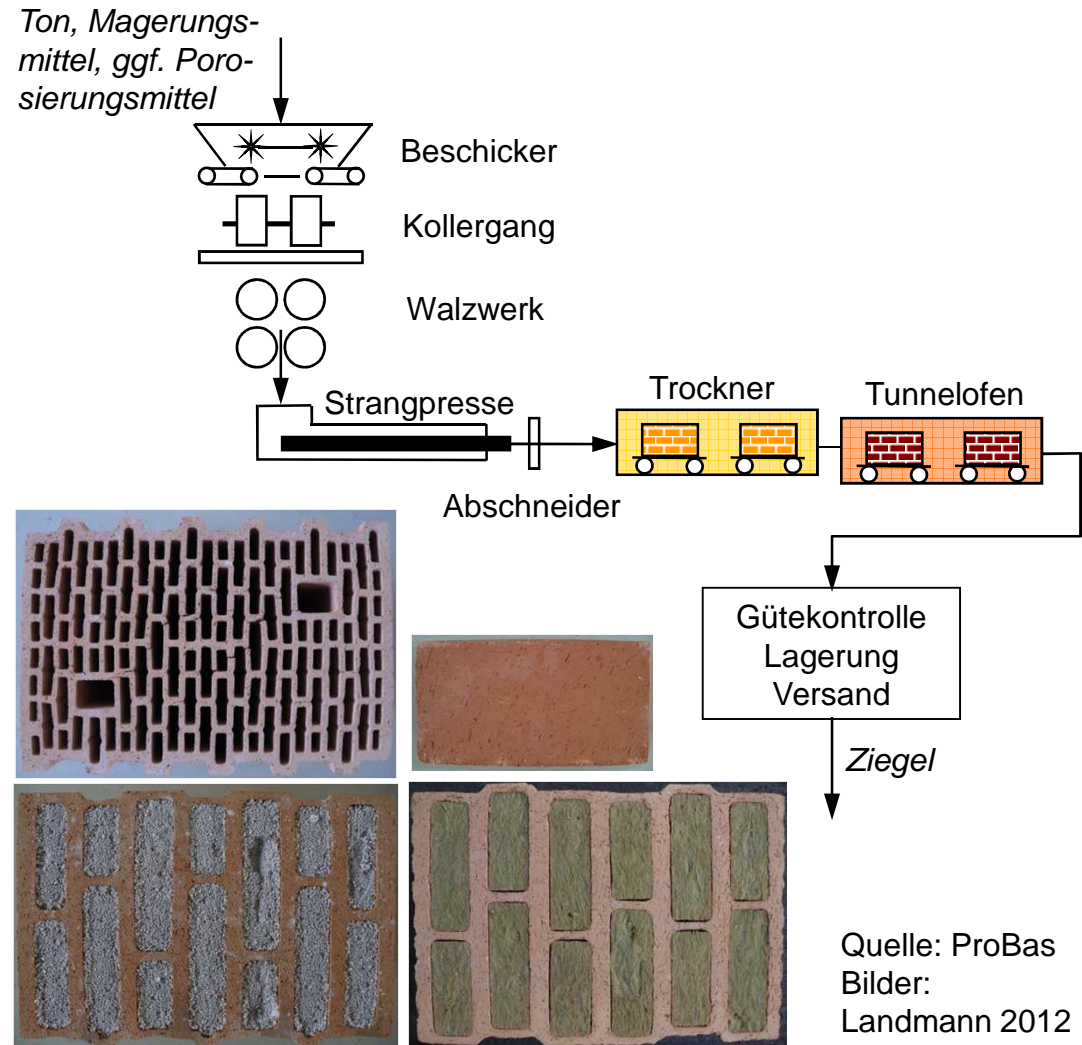
## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Mauerziegel

### Festigkeitsbildung durch Trocken- bzw. Schmelzsinterung

Rohstoffentnahme	1,357 t Ton (+ Sand + Porosierungsmittel) + 0,1 t H <sub>2</sub> O pro t MZ
Energiebedarf für den Prozess	2080 MJ/t
KEA	2709 MJ/t
Rohdichteklassen	0,6 bis 2,2 kg/dm <sup>3</sup>
Festigkeitsklassen	2 bis 60 N/mm <sup>2</sup>

Kumulierte Energieaufwand (KEA):  
 primärenergetisch bewertete  
 Aufwendungen für Herstellung, Nutzung  
 und Entsorgung eines Gegenstandes



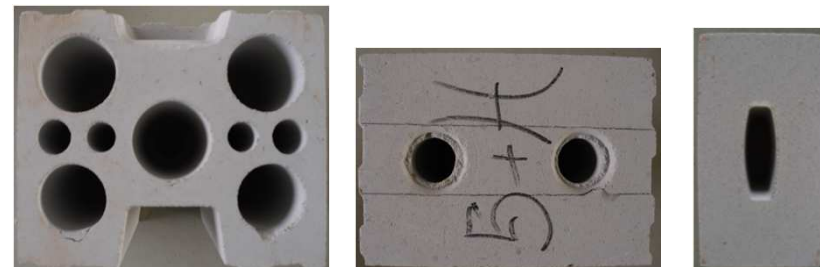
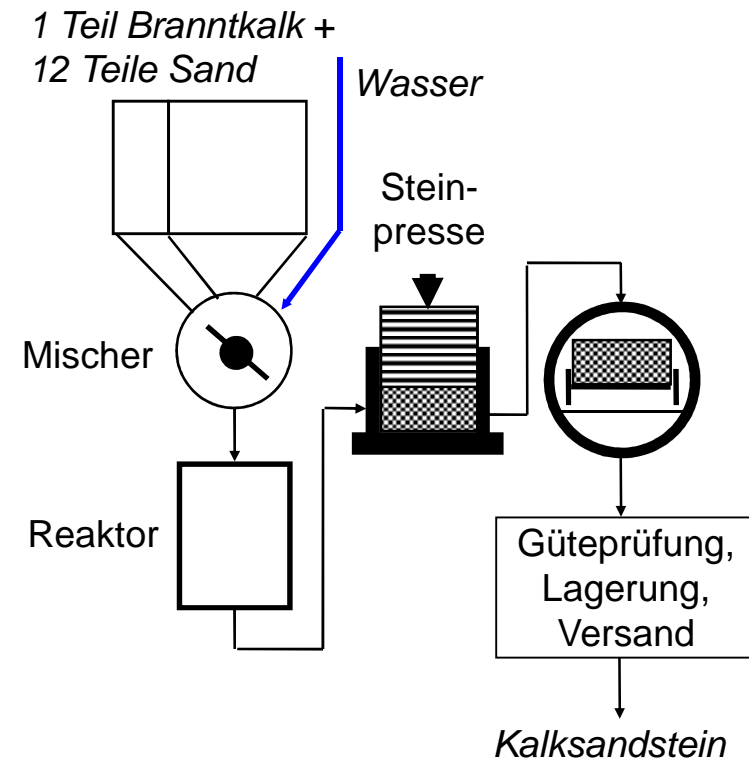
Quelle: ProBas  
 Bilder:  
 Landmann 2012

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Kalksandstein

Festigkeitsbildung infolge der Bildung von kristallinen Calciumsilikathydraten, die die Sandkörner verkitten

Rohstoff-entnahme	0,948 t Sand + 0,086 t Kalk + 0,033 t Kalksteinmehl + 0,225 t Wasser pro t KS
Energiebedarf für den Prozess	405 MJ/t
KEA	1204 MJ/t
Rohdichteklassen	0,6 bis 2,2 kg/dm <sup>3</sup>
Festigkeitsklassen	4 bis 60 N/mm <sup>2</sup>



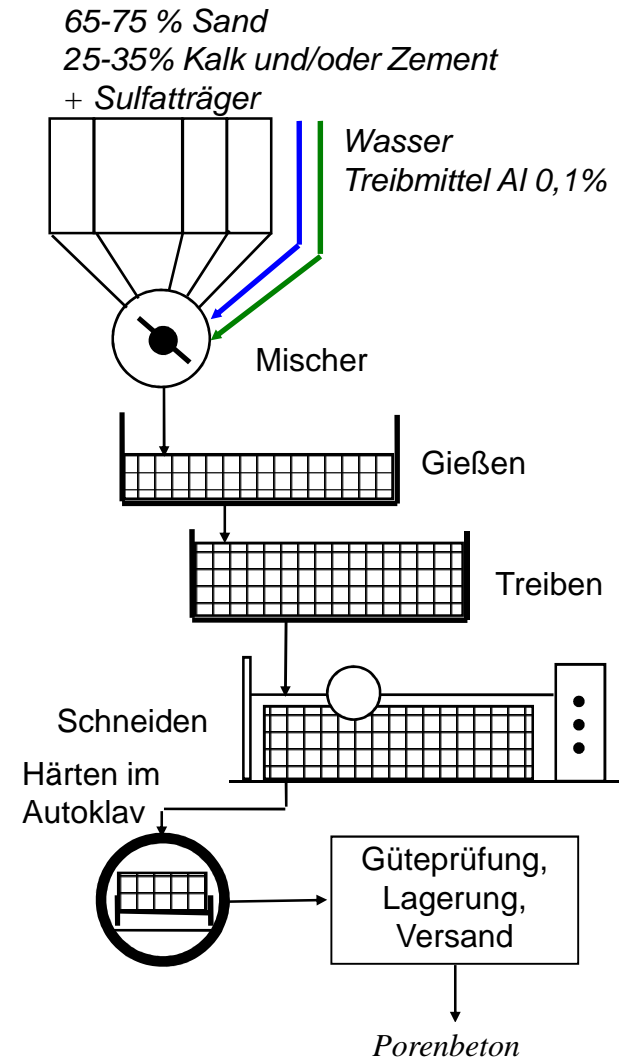
## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Porenbeton

Festigkeitsbildung infolge  
 Calciumsilikathydraten

Porosierung durch Reaktion von Aluminium  
 mit  $\text{Ca(OH)}_2$  unter Bildung von Wasserstoff

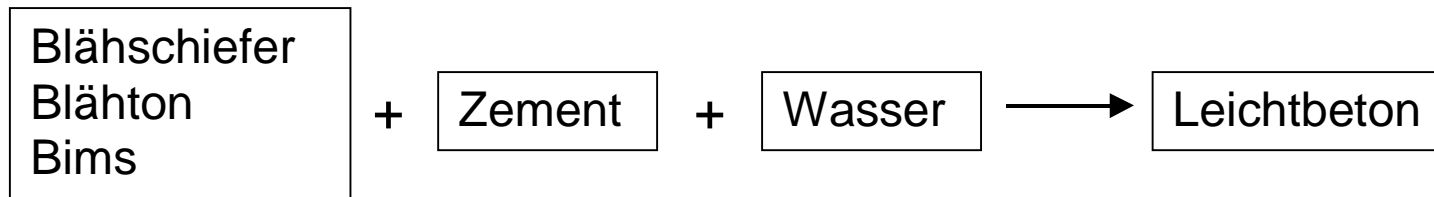
Rohstoffentnahme	ca. 0,70 t Sand + 0,15 t Kalk + 0,15 t Zement + 0,5 t Wasser + Treibmittel pro t PB
Energiebedarf für den Prozess	
KEA	
Rohdichte- klassen	0,35 bis 1 kg/dm <sup>3</sup>
Festigkeitsklassen	2 bis 8 N/mm <sup>2</sup>



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

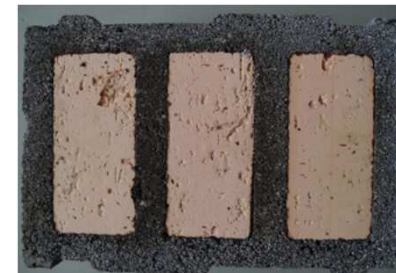
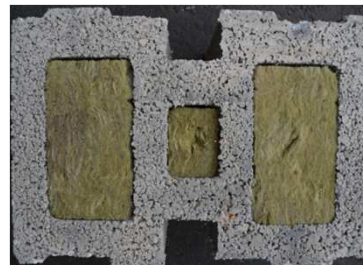
### Beton, Leichtbeton

Festigkeitsbildung durch Bildung von amorphen Calciumsilikathydraten (C-S-H-Phasen)



Rohdichteklassen  
0,5 bis 2,0 kg/dm<sup>3</sup>

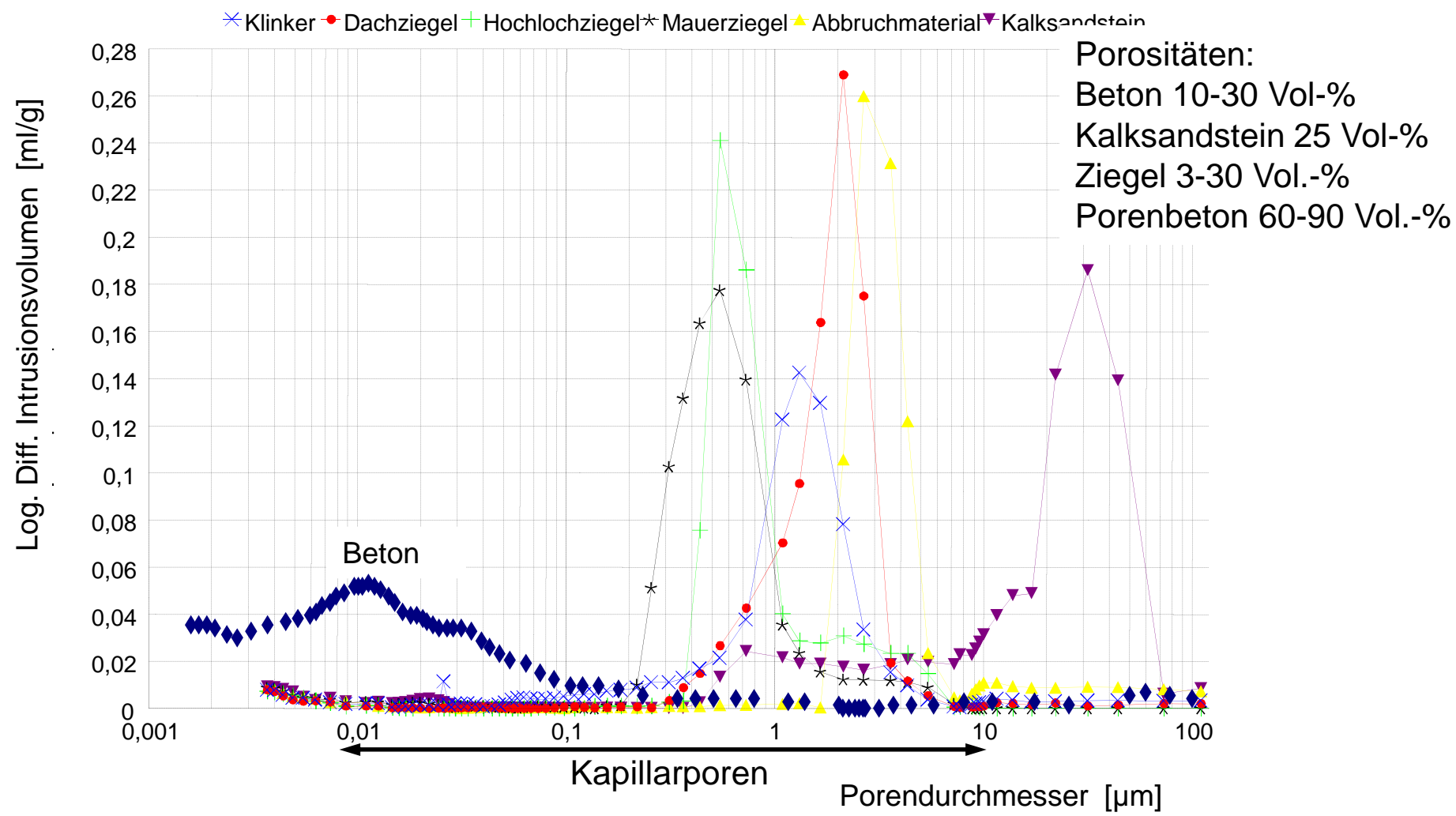
Festigkeitsklassen  
2 bis 12 N/mm<sup>2</sup>



## Chemische Zusammensetzung der Baustoffe

[M.-%]	Beton	KS	PB	Ziegel
Trockenverlust		0,2	1,4	-
Glühverlust bei 600 °C		-	5,6	-
Glühverlust bei 1000 °C	6,5	3,3	4,4	3,2
SiO <sub>2</sub>	70,1	86,5	57,3	66,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,8	2,1	3,5	15,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7	0,4	1,1	5,8
CaO	13,6	7,6	23,2	1,1
MgO	0,9	0	0,4	2,8
K <sub>2</sub> O	1,0	0,3	1,1	3,5
Na <sub>2</sub> O	0,5	0,09	0,34	0,9
SO <sub>3</sub>	0,07	0,1	2,3	0,6
Cl <sup>-</sup>	n.b.	n.b.	n.b.	0,017

## Porengrößenverteilungen





- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch
  - 5.1 Definitionen und Begriffe
  - 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung
  - 5.3 Merkmale des Primärmaterials
  - 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch**
  - 5.5 Verwertungstechnologien
    - 5.5.1 Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk
    - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen

Im Anlieferungszustand können drei Typen unterschieden werden

1. *Sortenreiner Ziegelbruch:* Dieses Material kann bei Dachumdeckungen anfallen oder durch Vorsortierung aus Mauerwerkbruch gewonnen werden. Produktionsinterne Ziegelabfälle fallen ebenfalls in diese Kategorie.

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

2. *Ziegelreicher Mauerwerkbruch*: Dieses Material entsteht beim Abbruch von reinem Ziegelmauerwerk, so dass nur Mörtel und Putz als Nebenbestandteile auftreten. Der Ziegelgehalt dieses Materials hängt vom jeweiligen Mörtel- und Putzeinsatz ab. Der maximale Ziegelgehalt des Materials dürfte bei 95 Masse-%, der durchschnittliche Gehalt bei 80 Masse-% liegen.



Ziegel

Komposit  
Ziegel+Mörtel



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

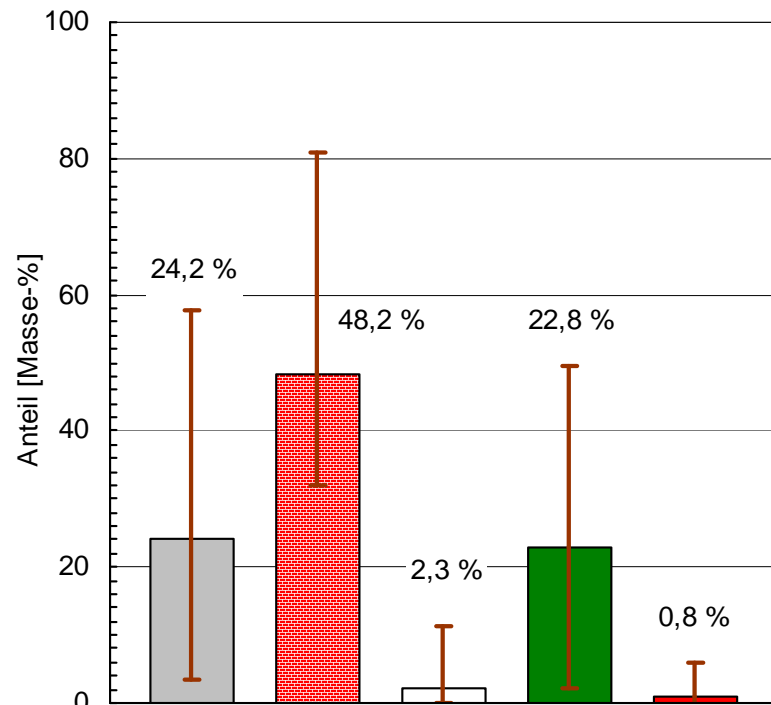
3. *Mauerwerkbruch*: In diesem Material sind neben Ziegel, Mörtel und Putz noch weitere Mauerwerkbaustoffe wie Beton- und Leichtbeton, Kalksandstein, Porenbeton usw. vorhanden. Eine Abschätzung des Ziegelgehalts kann nicht vorgenommen werden.








**Zusammensetzung**

Unterscheidung zwischen stofflicher, chemischer und mineralogischer Zusammensetzung

Stoffliche Zusammensetzung



-  Beton und Gesteinskörnungen nach DIN 4226-1
-  Klinker und nicht porosierte Ziegel + Kalksandstein
-  Asphalt
-  Andere mineralische Bestandteile wie por. Ziegel, Putz, Mörtel, Leichtbeton, haufwerksporiger Beton, poröse Schlacken, Bimsstein
-  Fremdbestandteile wie Glas, NE-Metallschlacken, Stückgips, Gummi, Kunststoff, Metall, Holz, Pflanzenreste, Papier, Sonstiges

## Chemische Zusammensetzung

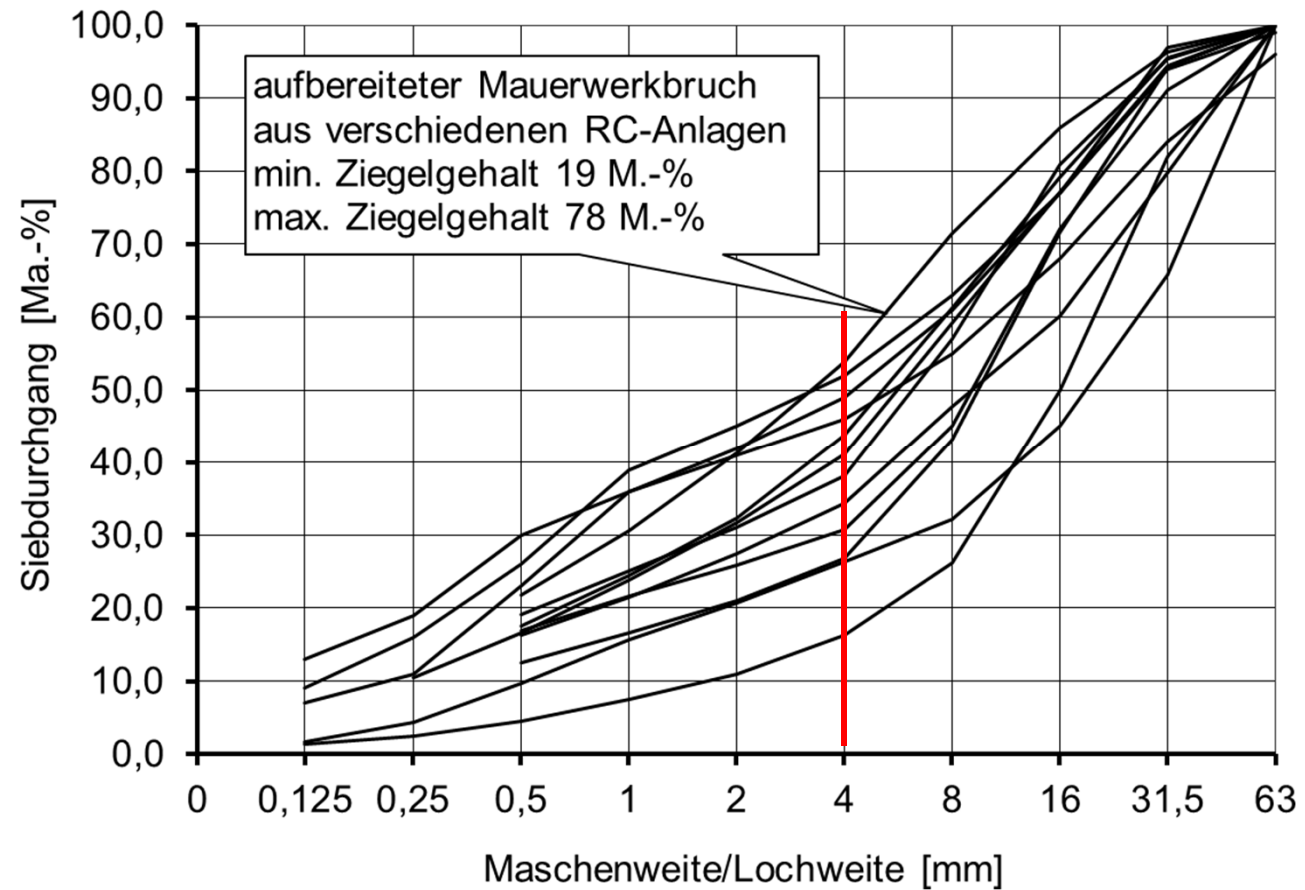
	Zusammensetzung [%]										
	TV	GV	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl
	Reine Ziegel, 22 Proben										
Mittelwert	0,15	0,87	66,80	15,51	6,49	2,63	1,99	3,06	0,75	0,49	0,01
MIN	0	0	55,1	10,58	4,08	0,4	0,5	1,53	0,22	0	0
MAX	0,3	2,6	79,33	19,3	15,3	7,8	4	4,42	2,02	3,4	0,055
Standardabw.	0,103	0,808	6,576	2,112	2,242	2,284	1,038	0,768	0,435	0,745	0,014
	Mauerwerkbruch, 33 Proben										
Mittelwert	0,39	5,11	67,99	9,54	3,55	7,98	1,33	2,15	0,71	0,84	0,04
MIN	0	2,5	52	7,2	2,5	3,7	0,8	1,36	0,45	0,1	0,003
MAX	1,1	12,3	74,5	14,7	5,7	15	1,98	3,47	0,89	3,3	0,154
Standardabw.	0,288	2,030	5,384	1,541	0,708	2,784	0,303	0,548	0,120	0,724	0,025

		Mauerwerk				Ziegel			
		GV	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO		GV	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	
	Mittelwert	5,11	9,54	7,98		Mittelwert	0,87	15,51	2,63
	Varianz	4,119261364	2,375511364	7,749325		Varianz	0,652864	4,460544	5,216656
	F'	6,309524439	1,877719496	1,485496648					
Ablesewert (32; 32; 0,95)	F	1,83	1,83	1,83					
	t'	11,14979556	13,11681869	8,535089146					
Ablesewert (FG; 0,95)	t	2,02	2	2,01	FG	41,8948441	58,5529272	61,6478551	
	Signifikanter Unterschied F-Test	ja	ja	nein					
	Signifikanter Unterschied t-Test	ja	ja	ja					

## Mineralogische Zusammensetzung

- Wasserfreie Minerale aus den Ziegelanteilen: Mullit, Hämatit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , amorphe Phasen
- Mineralphasen der Zuschläge von Betonsteinen und Mörteln: Quarz, Calcit, Feldspäte...
- Wasserhaltige Minerale:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaO-SiO}_2$ -Hydrate,  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Hydrate,  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SO}_3$ -Hydrate
- Minerale aus Verunreinigungen und Nebenbestandteilen: Sulfathydrate, Chloride, Tonminerale

## Korngrößenverteilung





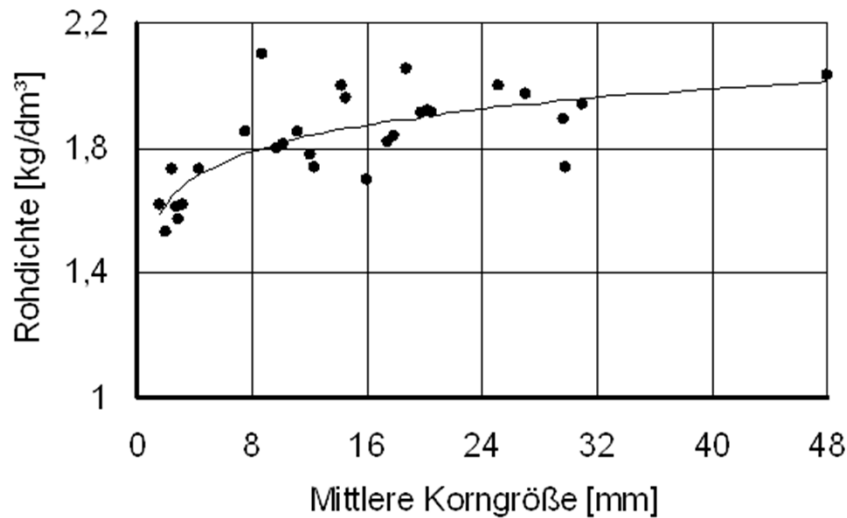
## Rohdichte, Wasseraufnahme

Kornrohdsichten zwischen Ziegelsplitt und Mauerwerksplitt nicht unterschiedlich. Mittelwerte  $< 2,0 \text{ g/cm}^3$

	Schüttdichte [ $\text{g/cm}^3$ ]	Kornrohdsichte [ $\text{g/cm}^3$ ]
	Ziegelsplitt, 31 (35) Proben	
Mittelwert	0,887	1,88
MIN	0,69	1,49
MAX	1,04	2,22
Standardabweichung	0,076	0,201
	Mauerwerksbruch, 33 (34) Proben	
Mittelwert	0,94	1,89
MIN	0,83	1,73
MAX	1,03	2,1
Standardabweichung	0,048	0,099

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

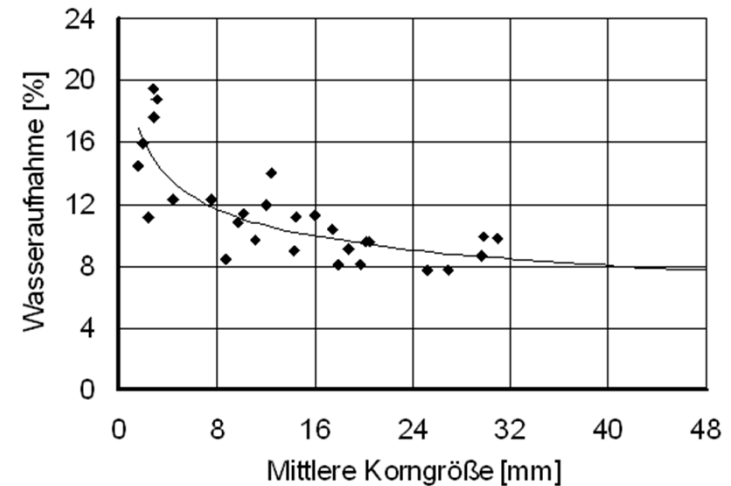
### Rohdichte



Rohdichte<sub>Sande</sub> < 1,8 kg/dm<sup>3</sup>  
 Anreicherung von wenig festen  
 Bestandteilen

Rohdichte<sub>RC-Splitte</sub> > 1,8 kg/dm<sup>3</sup>

### Wasseraufnahme



Wasseraufnahme<sub>Sande</sub> > 12 %

Wasseraufnahme<sub>RC-Splitte</sub>  
 ≈ 8...12 %

## Kornfestigkeit, Frostwiderstand, Raumbeständigkeit

Ausgangs- material	Korngruppe [mm]	Schüttdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Kornrohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Kornfestigkeit (Druckwert)[kN]	Abwitterung <sup>1)</sup> [M.-%]	
					Verfahren P	Verfahren N
Hz 12-0,9	4/8	0,926	1,910	30,0	2,3	2,2
	8/16	0,921	1,893	19,5	2,1	2,6
	16/32	0,957	1,872	16,7		
Hz 8-0,7	4/8	0,774	1,650	28,7	1,4	0,9
	8/16	0,752	1,600	18,2	0,7	2,4
	16/32	0,680	1,563	7,3		

<sup>1)</sup> Frostprüfung nach DIN 4226-3: Verfahren P - mäßige Durchfeuchtung, max. Abwitterung von 4 %  
Verfahren N – starke Durchfeuchtung, max. Abwitterung von 4 %

Untersuchung an Gemisch aus Ziegel- und Betonbruchstücken:

Abwitterung 7,4 %

aussortierte Ziegelbruchstücke 1,2 %

aussortierte Betonbruchstücke 11 %

- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch
  - 5.1 Definitionen und Begriffe
  - 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung
  - 5.3 Merkmale des Primärmaterials
  - 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch
  - 5.5 Verwertungstechnologien**
    - 5.5.1 Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk
    - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen

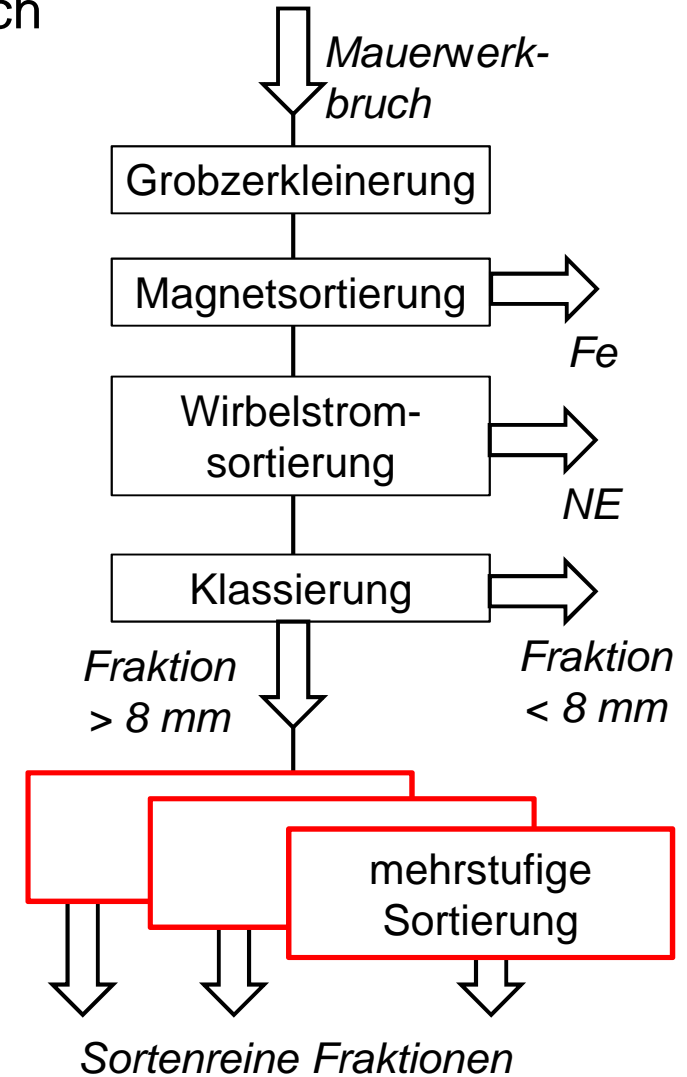
# Strategien für das Recycling von Mauerwerkbruch

Differenzierende Vorgehensweise bei der Verwertung: Stoffsubkreisläufe



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

= interner Subkreislauf  
 Verwertung als Rohstoff in den ursprünglichen Produkten  
 oder in sortenreiner Form in anderen Produkten



## Integrierende Vorgehensweise bei der Verwertung: Nutzung von Mauerwerkbruch als Rohstoff



### Voraussetzungen:

- Herstellungsprozess bzw. Produkt nach Stand der Technik muss verfügbar sein, in welchen der Sekundärrohstoff integriert werden kann oder
- Herstellungsprozess muss entwickelt werden

### Weitere Voraussetzungen:

- Erfüllung der Anforderungen an die chemische Zusammensetzung, vorgegeben durch den jeweiligen Herstellungsprozess bzw. das Produkt
- Aufhebung der ursprünglichen Werkstoffeigenschaften
- Aufhebung der Heterogenitäten durch den Herstellungsprozess

## Exkurs: Sortierverfahren

(Sortier)-Merkmale verschiedener Bestandteile von RC-Baustoffen

	Korngröße (Anreicherung im...)	Kornform	Farbe	Trockenrohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Natürliche Gesteinskörnung	Groben	kubisch	variabel	> 2500
Beton			grau	2200-2400
Klinker, nicht por. Ziegel	Mittleren	plattig, splittrig	rot	2000-2200
Kalksandstein	k.A.	kubisch	weiss bis grau	~ 2000
Porenbeton	Feinen	kubisch	weiss bis grau	300-900
Porosierte Ziegel		k.A.	variabel	< 1500-2000
Leichtbeton, haufwerksporiger Beton				
Mörtel, Putz				
Poröse Schlacke				
Bims				
Mineralische Dämmstoffe	k.A.	plattig	variabel	150
Extrudiertes Polystyrol	k.A.	plattig	weiss	30

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

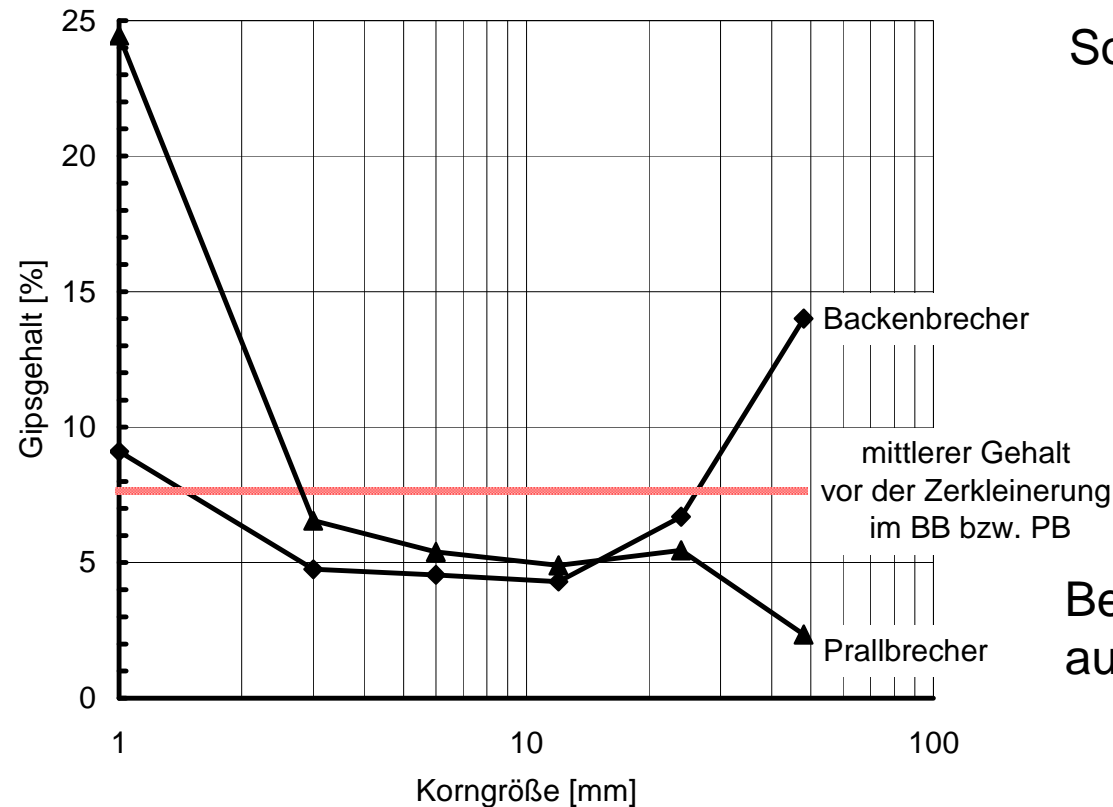
	Korngröße (Anreicherung im...)	Kornform	Farbe	Trockenrohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Asphalt	Groben	kubisch	schwarz	2500
Glas	Mittleren	plattig	transparent	> 2500
NE-Schlacke	k.A.	k.A.	variabel	> 2500
Gips	Feinen	kubisch	weiß bis grau	600-2100
Kunststoffe	Groben	plattig, splittrig	variabel	900-1400
Holz			grau bis braun	400-600
Pflanzenreste	k.A.	k.A.	variabel	k.A.
Papier/Pappe		flächig		500-1200
Boden/Abschlämmbares	Feinen	k.A.	variabel	2500
Eisen	Groben	variabel	variabel	7600 - 8700
NE-Metalle				2700 (Al) – 11340 (Pb)



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Sortierung durch Nutzung von Anreicherungseffekten im Feinkorn

Geeignet für teilweise Abtrennung von porosiertem Ziegel, Leichtbeton, haufwerksporigem Beton, Mörtel, Putz, poröser Schlacke, Bims, Boden/Abschlämbarem aus natürlichen Gesteinskörnungen, Beton, Ziegel mit hoher Dichte, Kalksandstein



Sortieraggregat: Siebmaschine

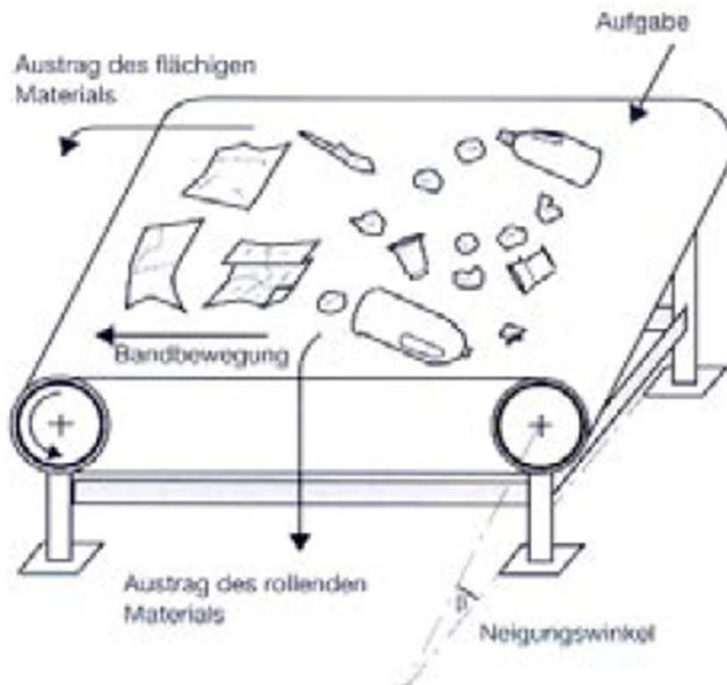
Beispiel: Anreicherung von Partikeln aus Gipsputzen in der Fraktion < 2 mm

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Sortierung durch Nutzung von Kornformeffekten, Unterscheidung zwischen plattigem und rundem Material

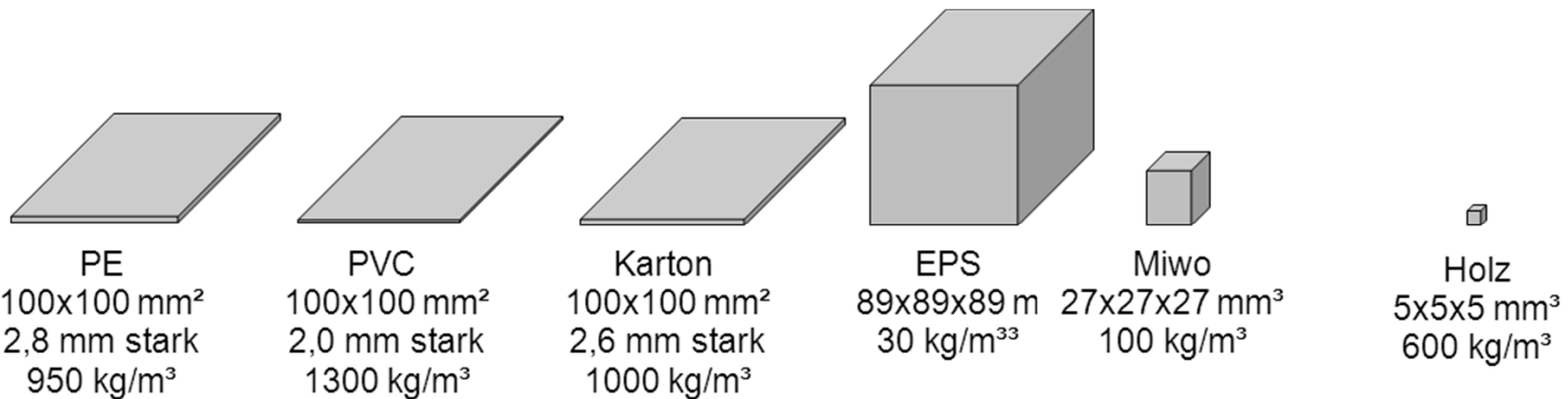
Geeignet für Abtrennung von mineralische Dämmstoffe, extrudiertes Polystyrol, Glas, Kunststoffe, Holz, Papier, Pappe aus natürlichen Gesteinskörnungen, Beton, Ziegel, Kalksandstein

Sortieraggregat: Schrägbandscheider



## Windsichtung

- Abtrennung von *nicht-mineralischen* Leichtstoffen
- Sortiermerkmal „Gleichfälligkeit“, abhängig von Partikelrohddichte, -größe und -form
- Beispiele für gleichfällige Leichtstoffpartikel



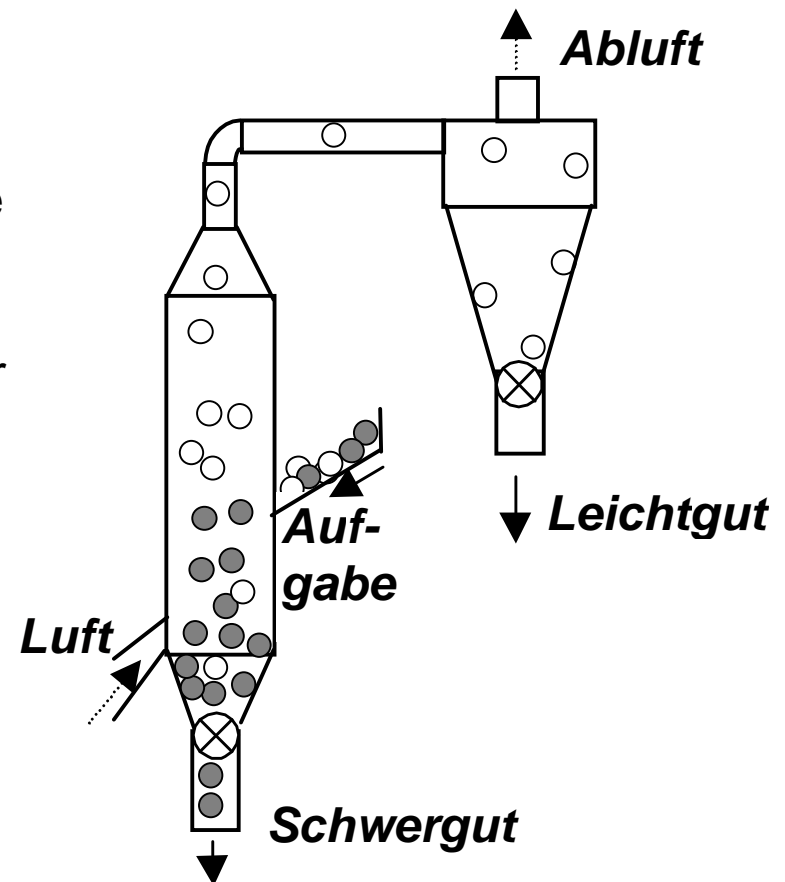
## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Sortierung durch Nutzung von Dichteunterschieden  
Trockene Verfahren: Aerosortierung oder Windsichtung

### Vertikalwindsichter

#### Wirkungsweise

Bei der Windsichtung wird die zu sichtende Fraktion seitlich in ein Sichterrohr aufgegeben. Die Trennung erfolgt durch den aufwärts gerichteten Luftstrom. Bei der Sichtung werden die angeströmten Leichtstoffe, wie z.B. Holz oder Plastikteile, und die abgesaugten Feinstbestandteile in einem Filter abgeschieden, der den Sichterrohren nachgeschaltet ist. Die Filter sind mit einer Vorkammer ausgerüstet, in denen die splittigen Holzteile abgeschieden werden.



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Der Feinstaub und die in der Vorkammer abgeschiedenen Holzstücke werden mit Hilfe von Zellenradschleusen ausgetragen.

### Vorteile

- wenige bewegte Teile
- gute Trennschärfe
- hohe Volumendurchsätze
- kein Wasserkreislauf
- auch bei Frost betreibbar

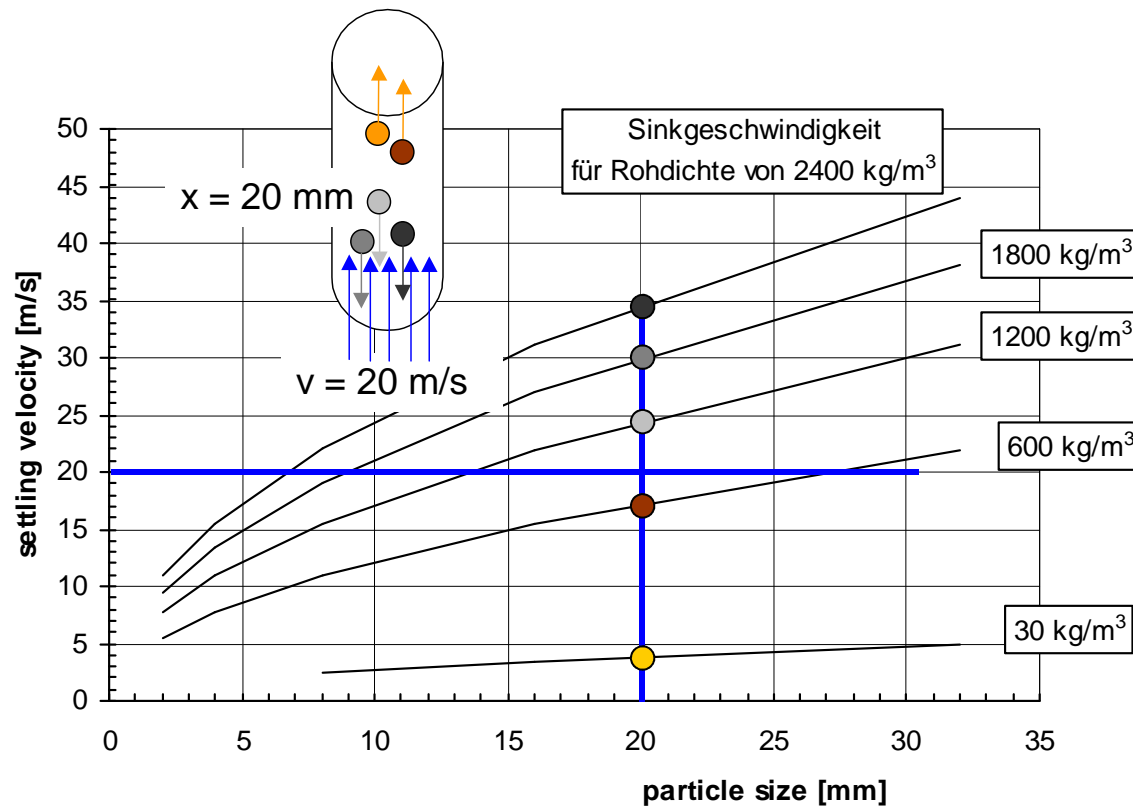
### Nachteile

- nur leichte Störstoffe abtrennbar
- Entstaubung großer Abluftmengen erforderlich
- hoher Energiebedarf
- hoher Platzbedarf
- Fraktionierung vor Sichtung erforderlich
- Fraktionen 0-4 mm bzw. 0-8 mm nicht behandelbar

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Richtwerte für die Auslegung von Vertikalsichtern

Sinkgeschwindigkeit  $c$  in Luft = f (Partikeldichte)  
 Partikelgröße = const



$$\text{Durchsatz } \dot{M} = A \cdot c \cdot \mu_{\max}$$

$A$  : Sichtraumquerschnitt [m<sup>2</sup>]

$c$  : Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Beladung  $\mu_{\max}$  :

≈ 0,35 - 0,5 kg Material/m<sup>3</sup> Sichtluft

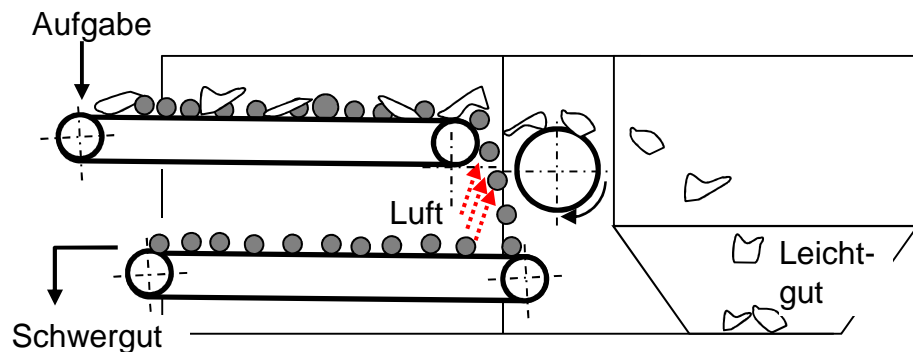
$$\text{Sichtluftvolumen } \dot{V} = \frac{\dot{M}}{\mu_{\max}}$$

$$\text{Steigrohrfläche } A_{\text{St}} = \frac{\dot{V}}{c}$$

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Mit Fördereinrichtungen kombinierte Windsichter

Materialtransport erfolgt auf einem breiten, horizontalen, an- oder absteigendem Förderband, um eine Vereinzelnung der Partikel zu erreichen. An der Abwurfkante wird das Material von einem gerichteten Luftstrom aus einer Schlitzdüse durchströmt. Das Leichtgut wird von dem Luftstrom mitgenommen und unterstützt von der rotierenden Trommel in den Expansionsraum transportiert. Das Schwergut fällt unbeeinflusst von dem Luftstrom auf das Abzugsband und wird abtransportiert.



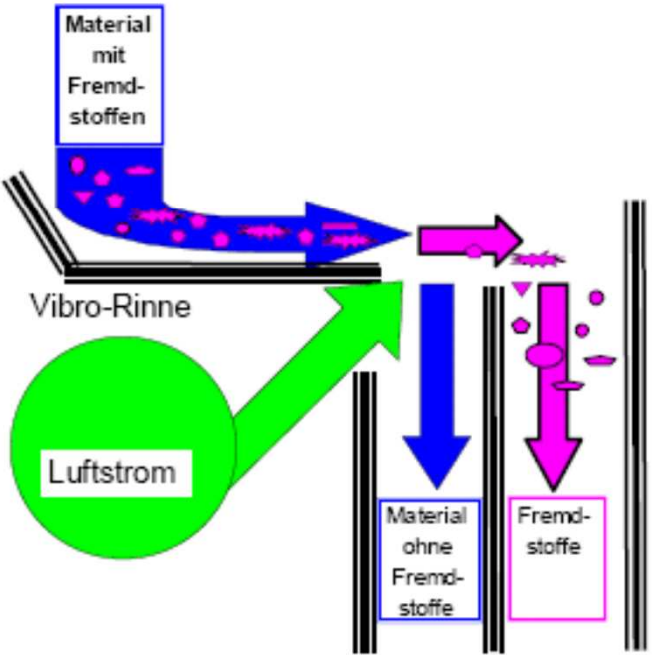
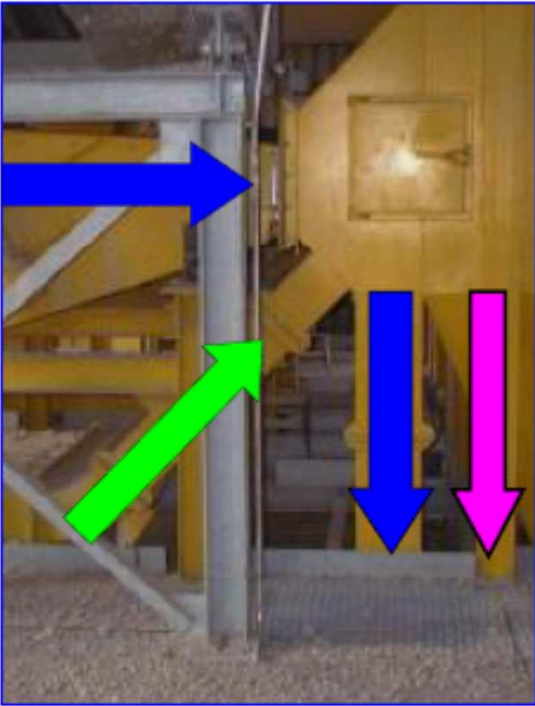
In dem Expansionsraum wird die Strömungsgeschwindigkeit durch eine Querschnittserweiterung herabgesetzt. Das Leichtgut kann sich absetzen. Um der Betriebspraxis entgegenzukommen kann der Expansionsraum durch eine Abdeckhaube und einen Container, der gewechselt werden kann, gebildet werden. Die Sichtluft wird im Kreislauf geführt, es entsteht keine Abluft.

## Ausführungsbeispiel

**RC-Beton**  
Betonelementtagung VBBK 19.01.2007

**Eberhard**  
Pioniere im Tiefbau

### Bauschutttaufbereitung Technik: Entfernung von Leichtstoffen



The diagram illustrates the air separation process for concrete waste. It shows a hopper labeled 'Material mit Fremd-stoffen' (Material with foreign substances) feeding into a 'Vibro-Rinne' (vibrating trough). A 'Luftstrom' (air stream) is introduced from the bottom, creating an upward flow. This causes the material to separate into two paths: 'Material ohne Fremd-stoffe' (Material without foreign substances) which falls straight down, and 'Fremd-stoffe' (foreign substances) which are carried upwards and then fall into a separate collection bin.

Seite 20

**Kies und Beton erster Güte.**



## Ausführungsbeispiel

**RC-Beton**  
Betonmaschinistentagung VBBK 19.01.2007

**Eberhard**  
Pioniere im Tiefbau

### Bauschutttaufbereitung Technik: Entfernung von Leichtstoffen



- Ausblasen von Leichtstoffen durch Luftstrom
- Leistung regelbar, abhängig von Verschmutzungsart und -menge
- Sichtung jeder Komponente einzeln, Anordnung nach dem Klassieren



Seite 19

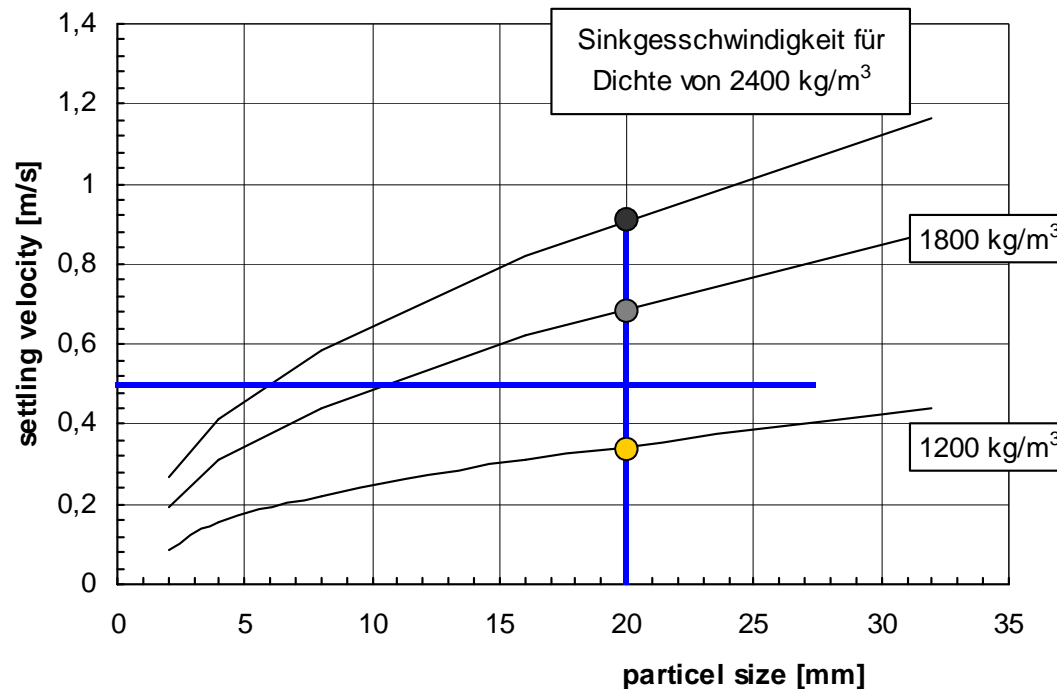
**Kies und Beton erster Güte**

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Sortierung durch Nutzung von Dichteunterschieden

Nasse Verfahren: Aufstromsortierer, Filmschichtseparator, Schwimm-Sink-Trennung, Hydrotrommel, nasse Setzsortierung

Für die Sortierung wird die Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit von der Partikeldichte genutzt.



Welche Partikeldichte ist wirksam?

Material ohne Poren  
 Wirksame Dichte = Reindichte = Rohdichte

Material mit geschlossenen Poren  
 Wirksame Dichte = Rohdichte

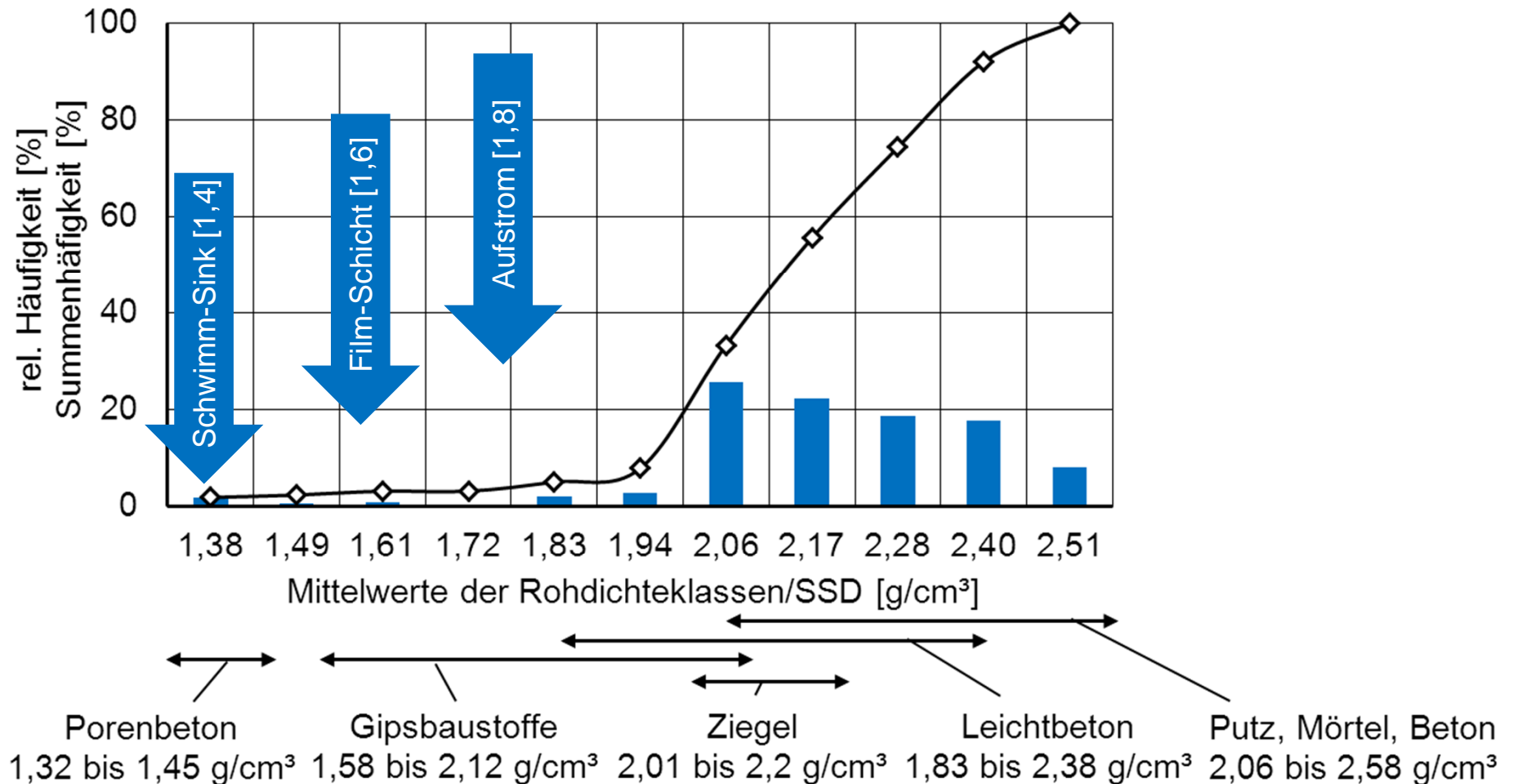
Material mit offenen Poren  
 Wirksame Dichte = Rohdichte OD + Porosität\*Wasserdichte

Welche Partikeldichte ist wirksam?

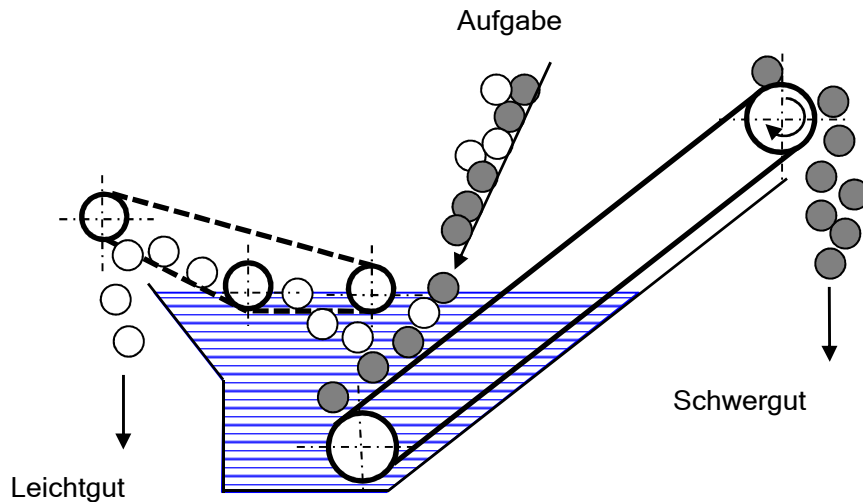
Trenndichten verschiedener Nassverfahren nach  
Literaturangaben

Trenndichte	[g/cm <sup>3</sup> ]
Schwimm-Sink-Sortierung	1,4
Filmschichtsortierung	1,6
Aufstromsortierung	1,8
Setztechnik	2,6

## Anwendung der Trenndichten auf die Rohdichteverteilung eines RC-Baustoffs



### Aufstromsortierer: Leichtstoffscheider

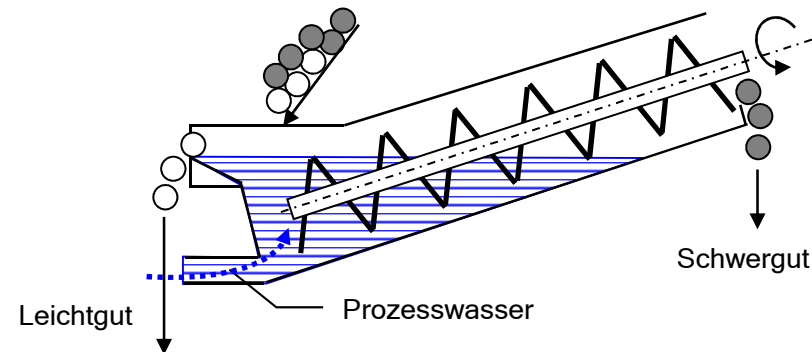


Das zu trennende Material wird in den mit Arbeitstrübe gefüllten Trog aufgegeben. Das Sinkgut am Trogboden wird über ein Förderband ausgetragen. Das Schwimmgut wird durch ein separates Mitnehmerband entnommen



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Schnecken-Aufstrom-Sortierer



### Wirkungsweise

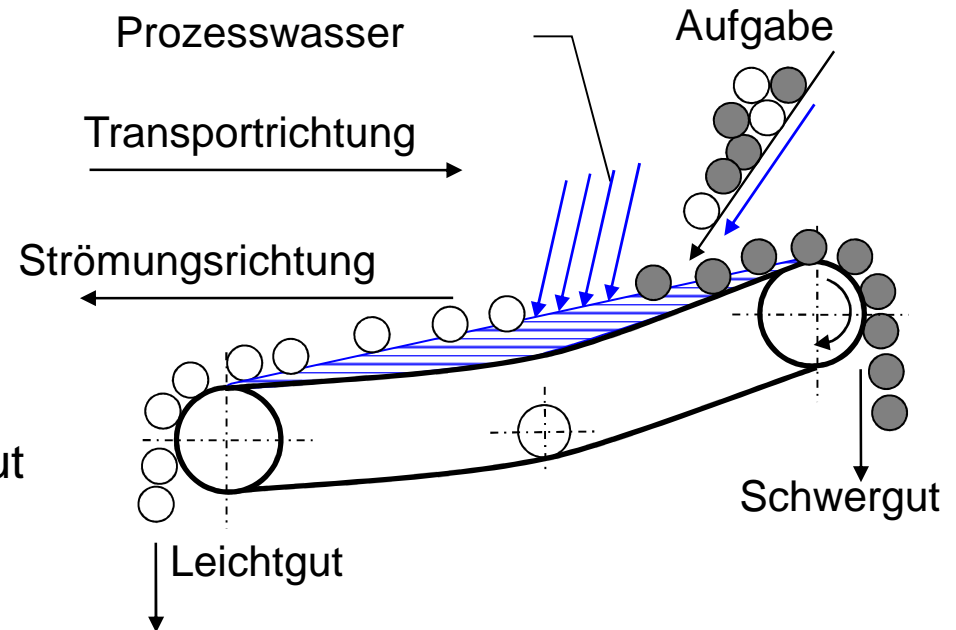
Der Sortierer besteht aus einem schräg aufsteigenden Wassertrog, in dem sich eine Schneckenwelle befindet, die mit Schwertern und Schneckenspiralen besetzt ist. Das zu reinigende Material wird am unteren Ende der Schneckenwelle in den Wassertrog aufgegeben und von der Schneckenwelle erfaßt, so daß eine intensive Materialdurchmischung und Auflockerung erreicht wird. Das im Gegenstrom durch Aufstrom- und Wasserbeschleunigungsdüsen einströmende Waschwasser trägt die Störstoffe über ein verstellbares Oberstromblech aus. Das gereinigte Material wird durch die Schneckenspirale aus dem Wasserbad gefördert und gleichzeitig entwässert.

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Filmschichtseparator/Hydrobandscheider/Aquamator

#### Wirkungsweise

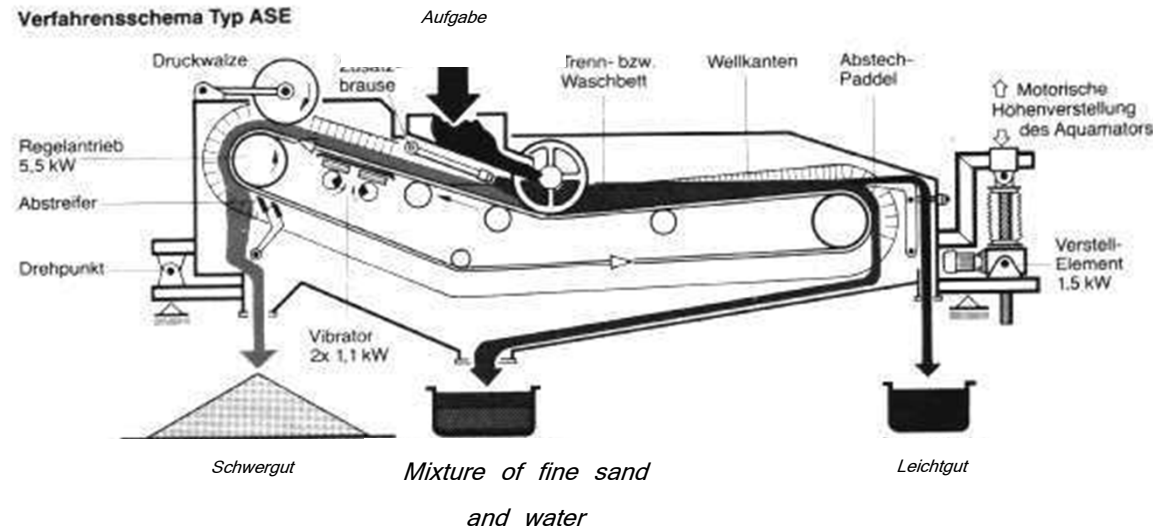
Der Aquamator besteht aus einem gemuldeten Förderband mit seitlicher Wellenkantenbegrenzung. Das bereits mit Wasser versetzte, zu reinigende Gut wird entgegen der Bandlaufrichtung aufgegeben.



Die Trennströmung wird durch Einstromdüsen erzeugt. Verunreinigungen werden durch die Trennströmung entfernt, das gereinigte Gut wird mit dem Band über eine höher liegende Antriebstrommel ausgetragen.

Die Waschflüssigkeit braucht nicht aus Reinwasser bestehen, sie kann Verunreinigungen enthalten. Benötigt werden je nach Verschmutzung etwa 1 bis 2 m<sup>3</sup> Wasser je t Aufgabegut. Der Einstromdruck muss etwa 3 bar betragen, die Antriebsleistung etwa 5 bis 5,5 kW.

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

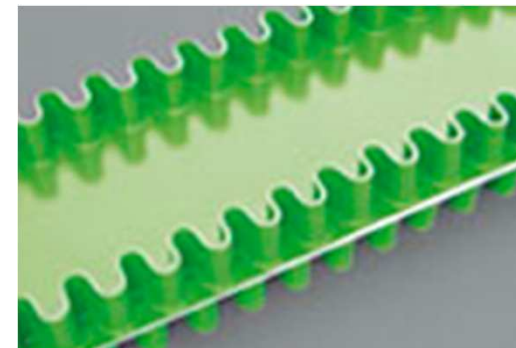


### Schwergutaustrag



Aquamator können sowohl zur Reinigung von Splittkörnungen als zur Reinigung von Sandkörnungen eingesetzt werden.

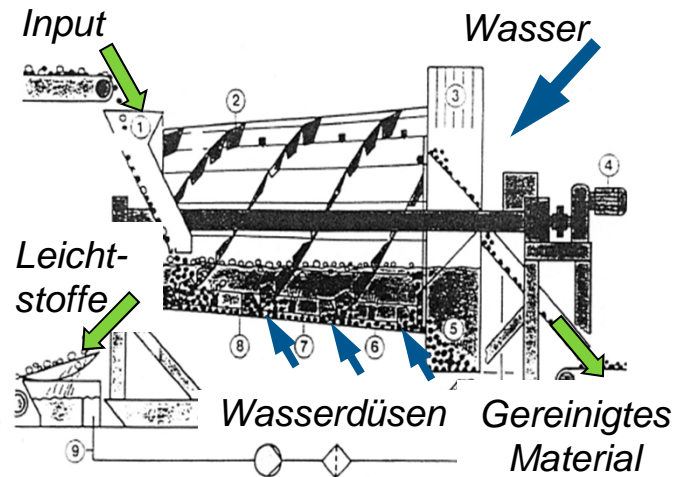
### Wellenkantenband





## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Waschtrommel

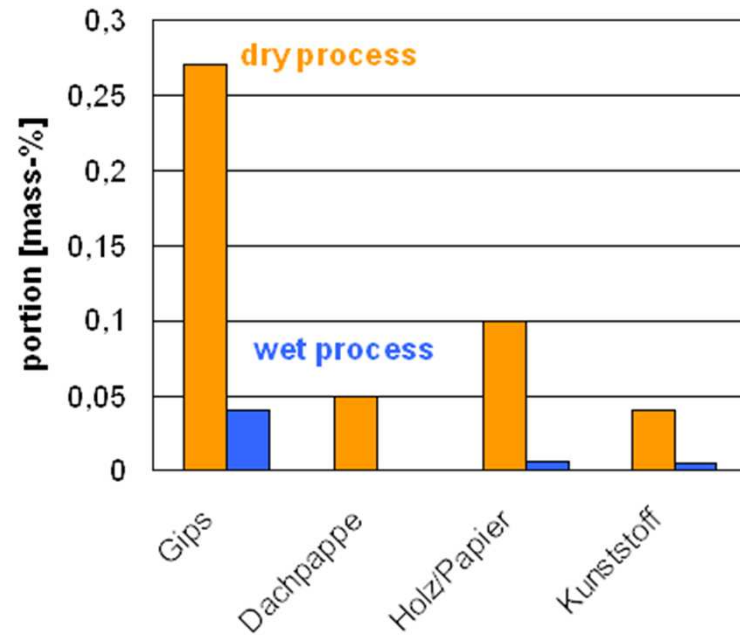


Dieses Aggregat besteht aus einer konischen Waschtrommel mit Einbauten und der anschließenden Austragskammer. An der Stirnseite der Austragskammer und am Trommelmantel befinden sich Düsen, die das Waschwasser zuführen. Das von Feingut befreite Aufgabegut wird an der der Austragskammer gegenüberliegenden Seite aufgegeben. Das Leichtgut schwimmt auf und wird mit dem Waschwasser ausgetragen. Das Schwergut wird über Entwässerungsroste in der Austragskammer ausgetragen.

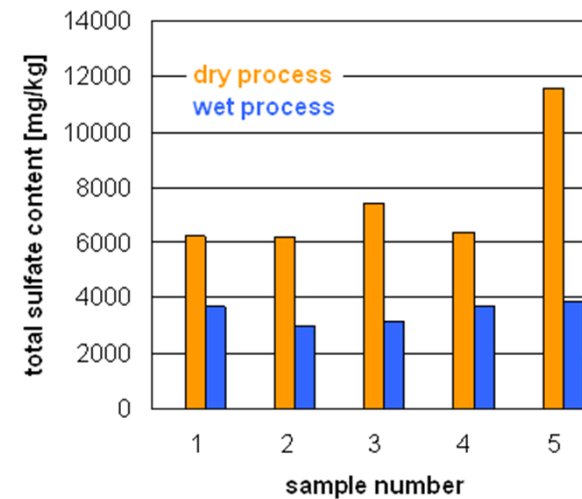
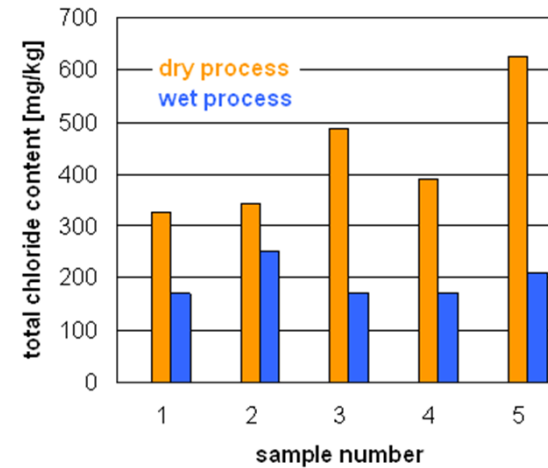
## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Qualitätsverbesserungen durch nasse Aufbereitung

Verringerung des Gehalts an Störstoffen



Verminderung des Gesamtgehalts an Sulfat und Chlorid

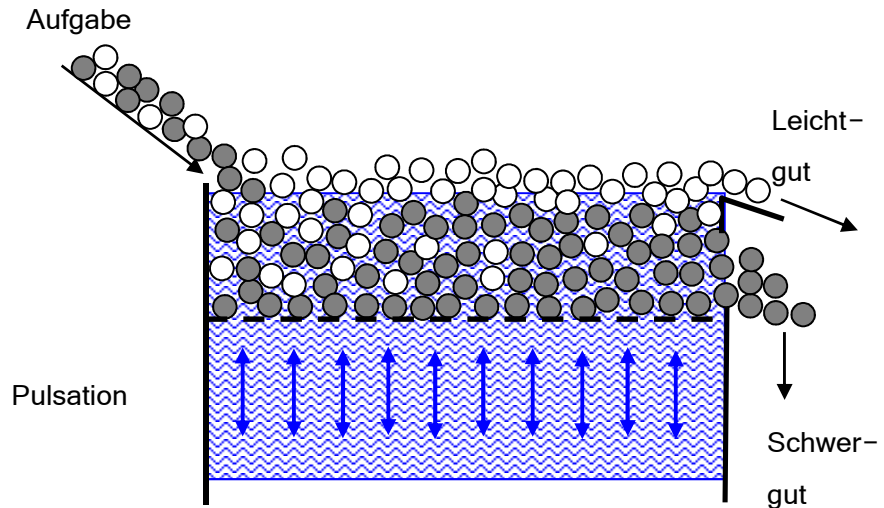


## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Setzmaschine

#### Wirkungsweise

In einer Körnerschicht, die durch einen aufwärts gerichteten Fluidstrom aufgelockert wird, ordnen sich die spezifisch leichteren über den spezifisch schwereren Körnern ein.



Es vollzieht sich eine Schichtung nach der Dichte, die von einer Klassierung überagert sein kann. Bei pulsierendem Aufstrom wird eine periodische Fluidisierung erreicht, in der die Sichtung effektiver erfolgt als im stationären Zustand. Als Fluid wird hauptsächlich Wasser verwendet, das aber durch Feinstoffe in seiner Dichte beeinflusst ist. Der Setzvorgang wird bestimmt durch:

- Unterschiedliche potentielle Energien der beiden Komponenten, d.h. Dichtedifferenzen der Komponenten und Dichte des Fluids
- Durchströmungswiderstand der Körnerschicht
- Maschinentechnische Parameter (Hubhöhe, Hubzahl, Schwingungsform...)

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Bauarten von Setzmaschinen

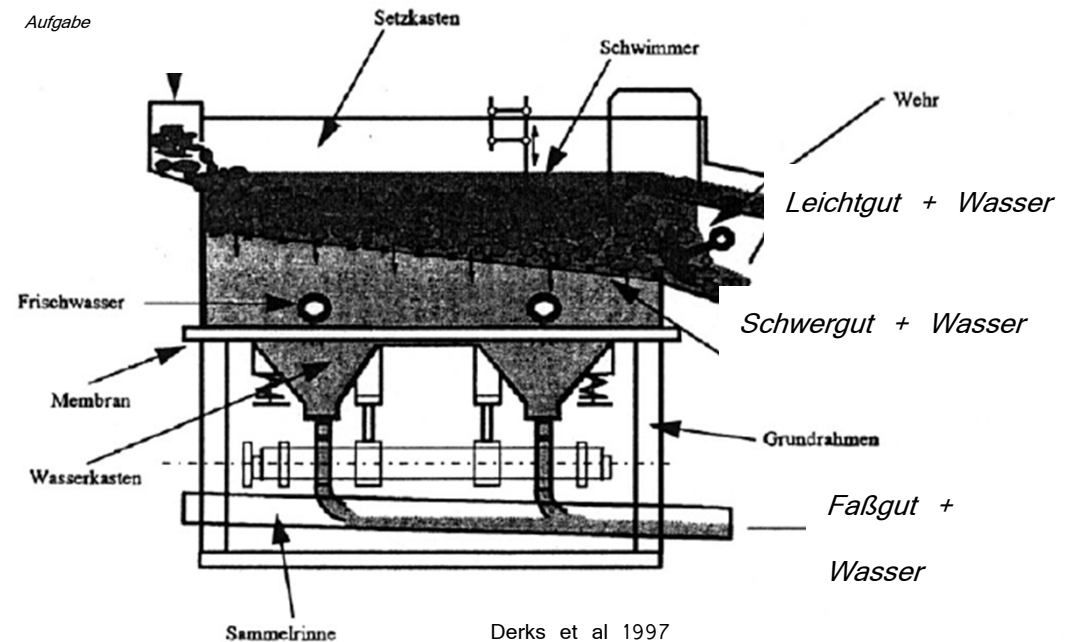
#### Stauchsetzmaschinen

Der Setzgutträger wird im stehenden Wasserbad auf und ab bewegt.

#### Membransetzmaschinen

Der Setzgutträger ist starr im oberen Teil des Setzfasses eingebaut. Die Bewegung des Wasserbads wird durch die Auf- und Abbewegung des unteren Teils des Fasses erzeugt.

Beide Bauteile sind durch eine Membran verbunden. Durchsätze bis 160 t/h werden realisiert. Die Anwendung erfolgt in der Kies- und Bauschutttaufbereitung, in der Bimsaufbereitung, beim Recycling von Kunststoffen und bei der Aufbereitung kontaminierter Böden.

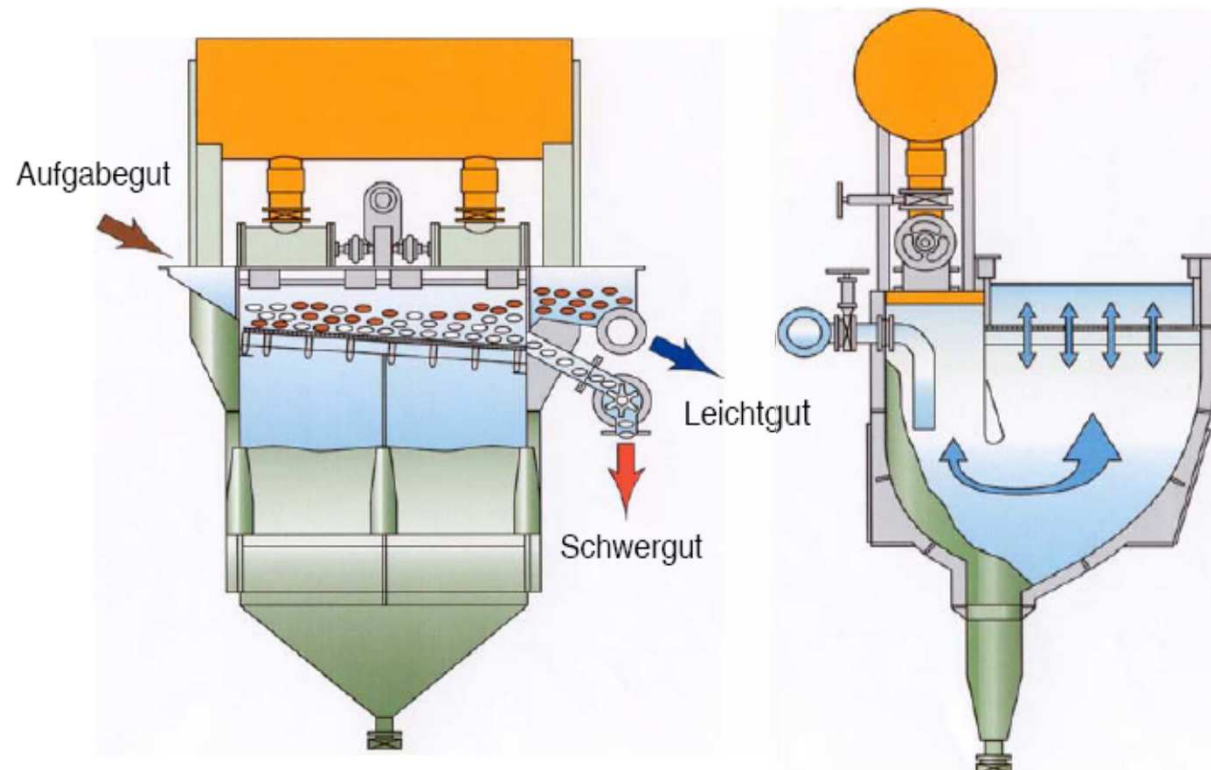


## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Seitenluftgepulste Setzmaschinen

In das U-förmig ausgebildete Setzfaß ist in den einen Schenkel der Setzgutträger starr eingebaut. Die Pulsation des Wasserbads wird durch die periodische Zufuhr von Druckluft auf die Wasseroberfläche des anderen Schenkels erzeugt.

Durchsätze bis zu 250 t/h werden realisiert, wobei diese Maschinen auch für Bauschutt im Einsatz sind.



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Membransetzmaschine zur Gipsabtrennung aus Betonsplitt

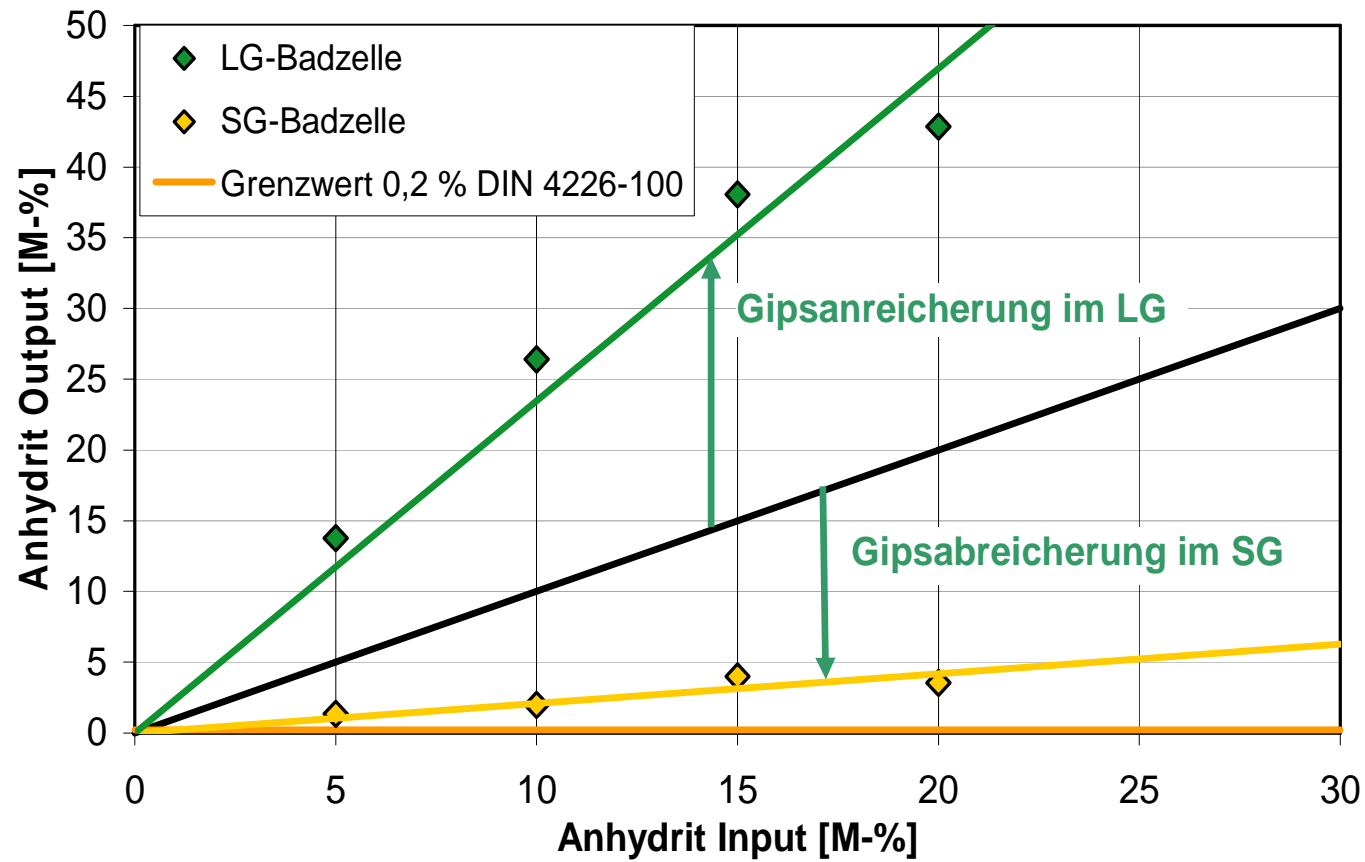


## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Blick in das Setzbett



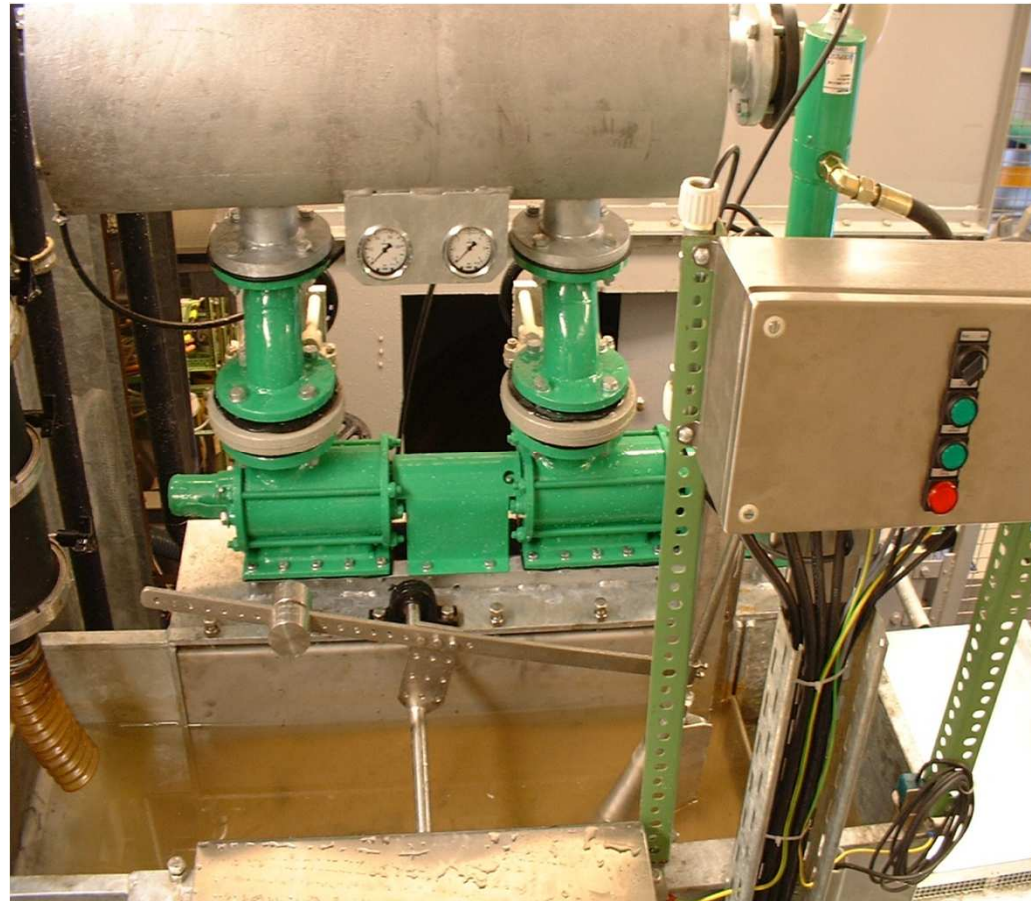
Ergebnisse der Gipsabtrennung aus Betonbrechsand



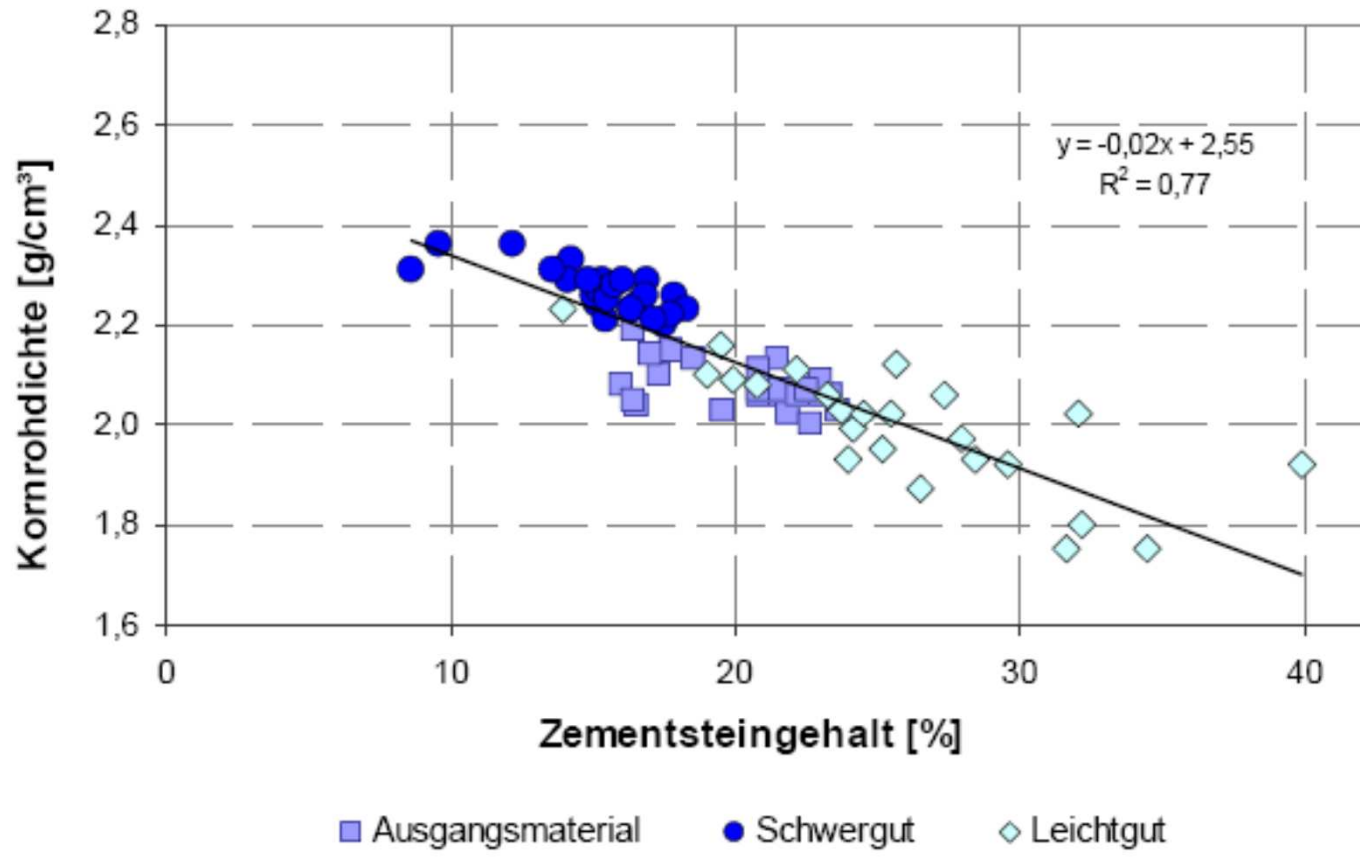


## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Seitenluftgepulste Setzmaschinen zur Zementsteinabtrennung aus  
Betonbrechsand



## Ergebnisse der Zementsteinabtrennung aus Betonbrechsand

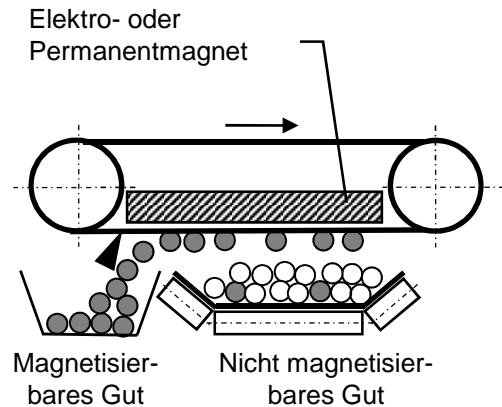


### Sortierung von Metallen

In der Bauschutttaufbereitung zählt die Magnetsortierung zu den Standardverfahren, mit denen Bewehrungsstahl, Kleiseisenteile usw. aussortiert werden. Als Sortiermerkmal wird die Magnetisierbarkeit von Eisen, Stahl oder auch Weißblech genutzt. Das benötigte magnetische Feld wird durch Elektro- oder Permanentmagneten erzeugt. Die Wirksamkeit der Trennung hängt von der Feldstärke des Magnetfeldes im Bereich des Materialstromes ab. Weitere Einflussgrößen sind die Fördergeschwindigkeit des Materials, die Schütthöhe des Materials auf dem Förderband und die Stückgrößen und Formen des auszusortierenden Materials. Von den beiden Bauarten - Überbandmagnet und Trommelmagnetscheider – wird der Überbandmagnet am häufigsten angewandt.

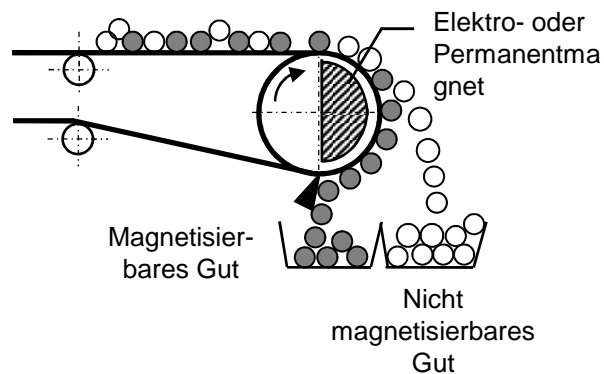
## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Schema eines Überbandmagnetscheiders



Ein mit einem Aushebemagneten versehenes Förderband, das i.d.R. senkrecht zur Förderrichtung angeordnet ist, hebt größere magnetisierbare Bestandteile aus dem Schüttgutstrom heraus.

### Schema eines Trommelmagnetscheiders

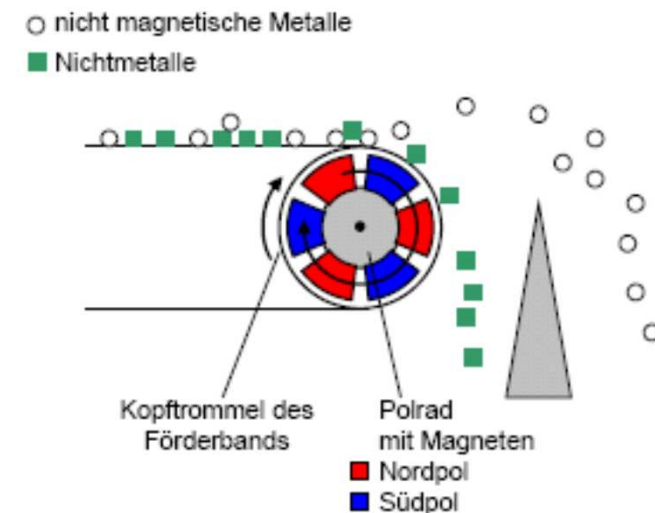


Ein Magnetsegment ist feststehend in einer Förderbandumlenktrummel angebracht. Die nicht magnetisierbaren Bestandteile des Materialstromes werden in einer Wurfparabel vom Band abgeworfen. Das magnetisierbare Gut bleibt haften, passiert einen Abstreifer und fällt in einen Behälter.

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Zur Abtrennung von nicht magnetisierbaren, aber elektrisch leitfähigen Materialien wie Edelstahl, Aluminium und Kupfer kommt die Wirbelstromsortierung zur Anwendung. Bei der Wirbelstromsortierung wirkt ein magnetisches Wechselfeld auf den Materialstrom. Dadurch wird in elektrisch leitfähigen Materialien ein Wirbelstrom induziert, der seinerseits ein Magnetfeld erzeugt. Letzteres ist dem verursachenden Feld entgegen gerichtet, so dass die leitfähigen Materialien abgestoßen werden. Die Trennergebnisse der Wirbelstromsortierung hängen von der elektrischen Leitfähigkeit und der Dichte des jeweiligen Metalls ab. Metalle mit hoher Leitfähigkeit und geringer Dichte wie Aluminium lassen sich leicht abtrennen. Dagegen sind Metalle mit geringer Leitfähigkeit und hoher Dichte wie Blei kaum separierbar.

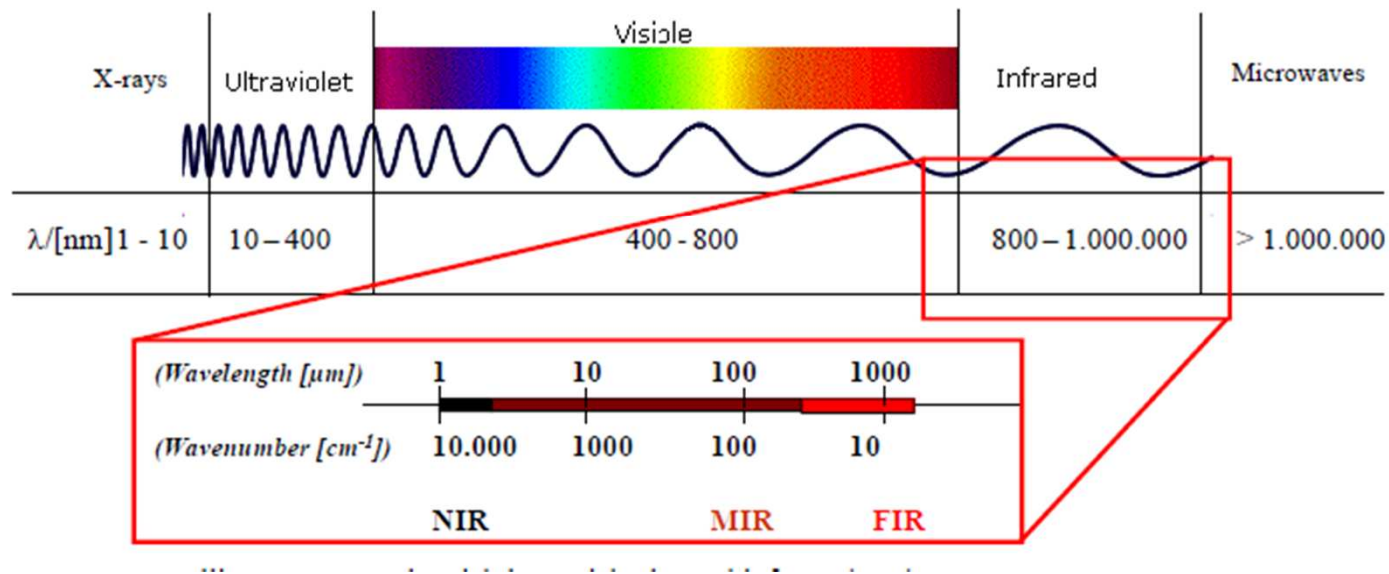
### Schema eines Wirbelstromscheidungers



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Sortierung durch Nutzung von bestimmter Wellenlängenbereiche im elektromagnetischem Spektrum

### Elektromagnetische Strahlung



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Sensorik	Trennkriterium	Anwendungsgebiete
Farbkameras	Farbe, Helligkeit	Farbsortierung von Altglas, von Kunststoffen, Sortierung von Messing und Kupfer aus NE-Metallgemischen, Sortierung von Platinen aus Elektronikschrott
	Transparenz	Opake Bestandteile (Keramik, Porzellan, Steine) aus Altglas
	Farbe, Glanz	Trennung von Illustrierten aus Altpapier
NIR-Spektrometer	Molekulare Zusammensetzung an der Oberfläche	Sortierung von Kunststoffen, Getränkekartons, Papier, Pappe, Kartonagen, Holz, Textilien aus Leichtverpackungen, Abfallgemischen oder Sperrmüll, Trennung von Kunststoffgemischen in PE, PP, PS, PA, PET, PVC

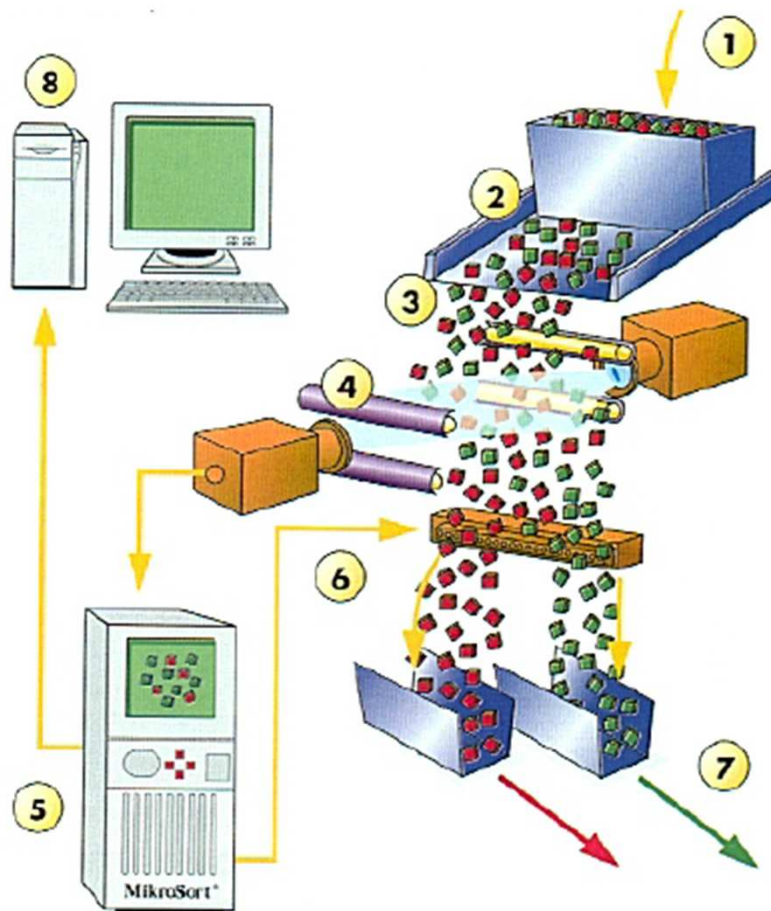
## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Sensorik	Trennkriterium	Anwendungsgebiete
Induktive Detektoren	elektrische Leitfähigkeit	Sortierung von Metallen aus diversen Abfallgemischen insbesondere aus Shredderrückständen, Sortierung von Edelstählen aus Metallgemischen
Röntgen-detektoren	Dichte	Abtrennung von Aluminium aus NE-Metallgemischen, Sortierung von Elektronikkleingeräten aus Leichtverpackungen, Sortierung von Inertstoffen aus Abfallgemischen und Altholz, von PVC und Gummi aus Shredderrückständen, Entfernung von organischen Verunreinigungen aus Bauabfällen

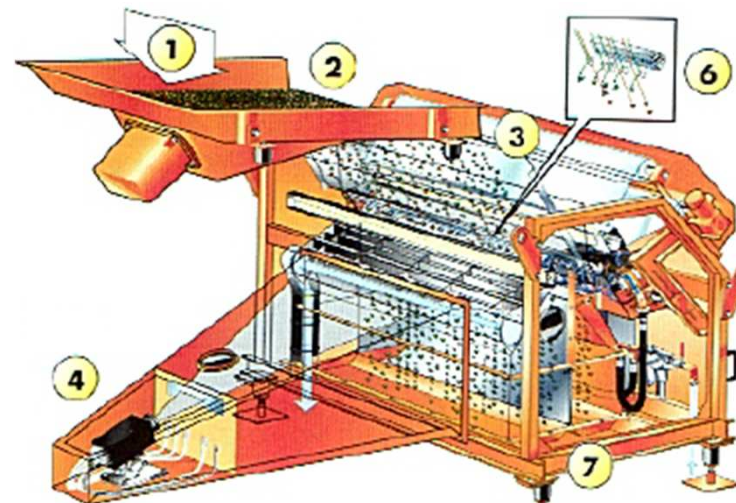


## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Optoelektronische Sortierung



- 1 Aufgabe
- 2 Vereinzelung auf Schwingförderer
- 3 Überführung in den freien Fall
- 4 Abtasten des Produktvorhanges
- 5 Bildauswertung
- 6 Trennung durch Druckluftimpulse
- 7 Abführung der Produktströme
- 8 Feldbus-Netzwerkanbindung



nach Mogensen

### Parameter der optoelektronische Sortierung

#### Sortiermerkmale

- Helligkeit/brightness
- Transparenz
- Echtfarben
- Korngröße
- Kornform

#### Leistungsparameter

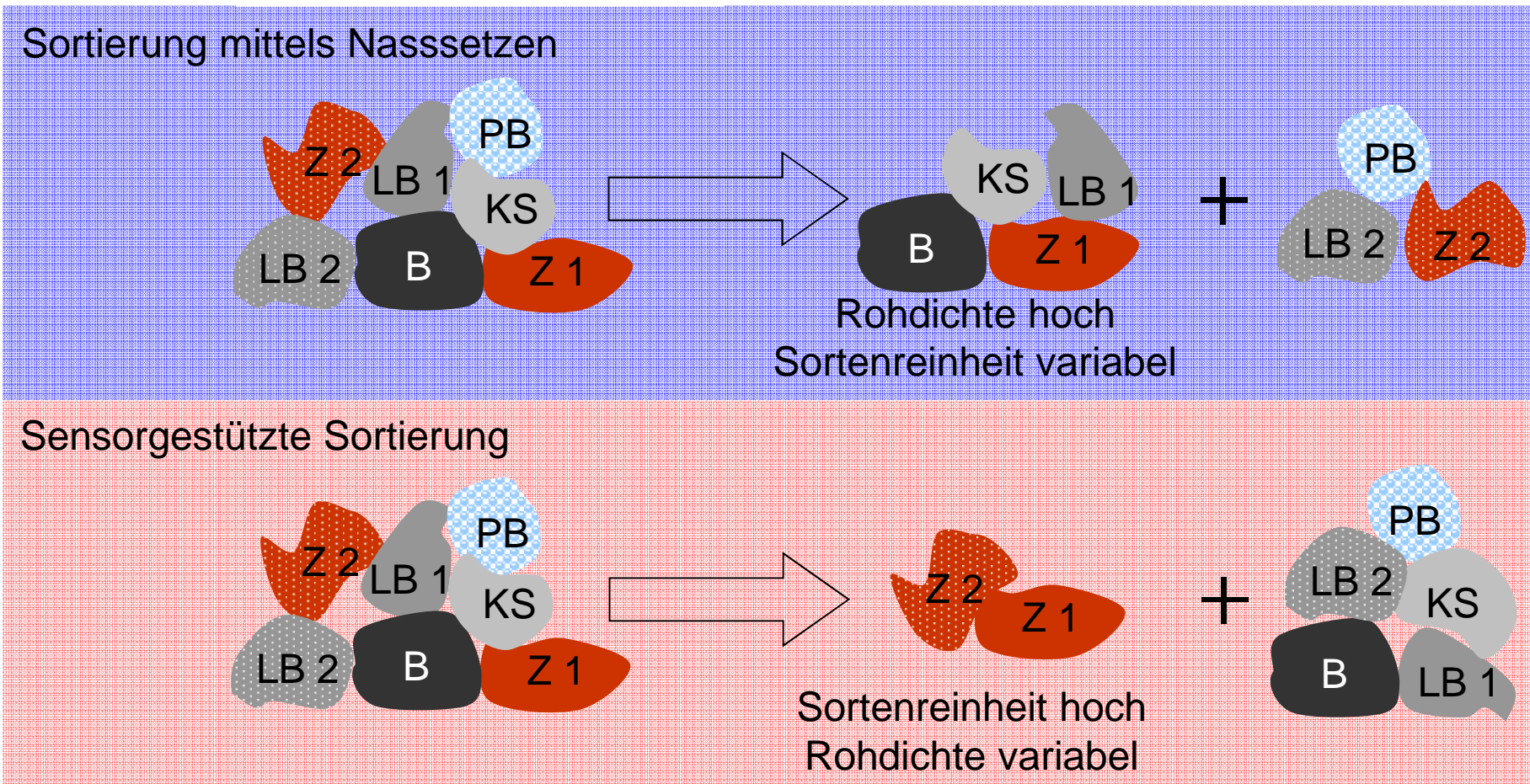
- Durchsatz von 2 bis 200 t/h
- Arbeitsbreiten 600 und 1200 mm
- Auflösung von bis zu 0,5 mm bei 1000 mm Arbeitsbreite
- Erkennung und Auswertung von mehr als 8000 Objekte/sec
- Ansteuerung von 256 Trennkanälen
- Aufgabekorngröße 3 bis 250 mm
- Schlechtanteil im Aufgabegut bis 40 %

Gegenüberstellung von Sortiertechniken

Ausgangsmaterial:  
Baustoffgemisch

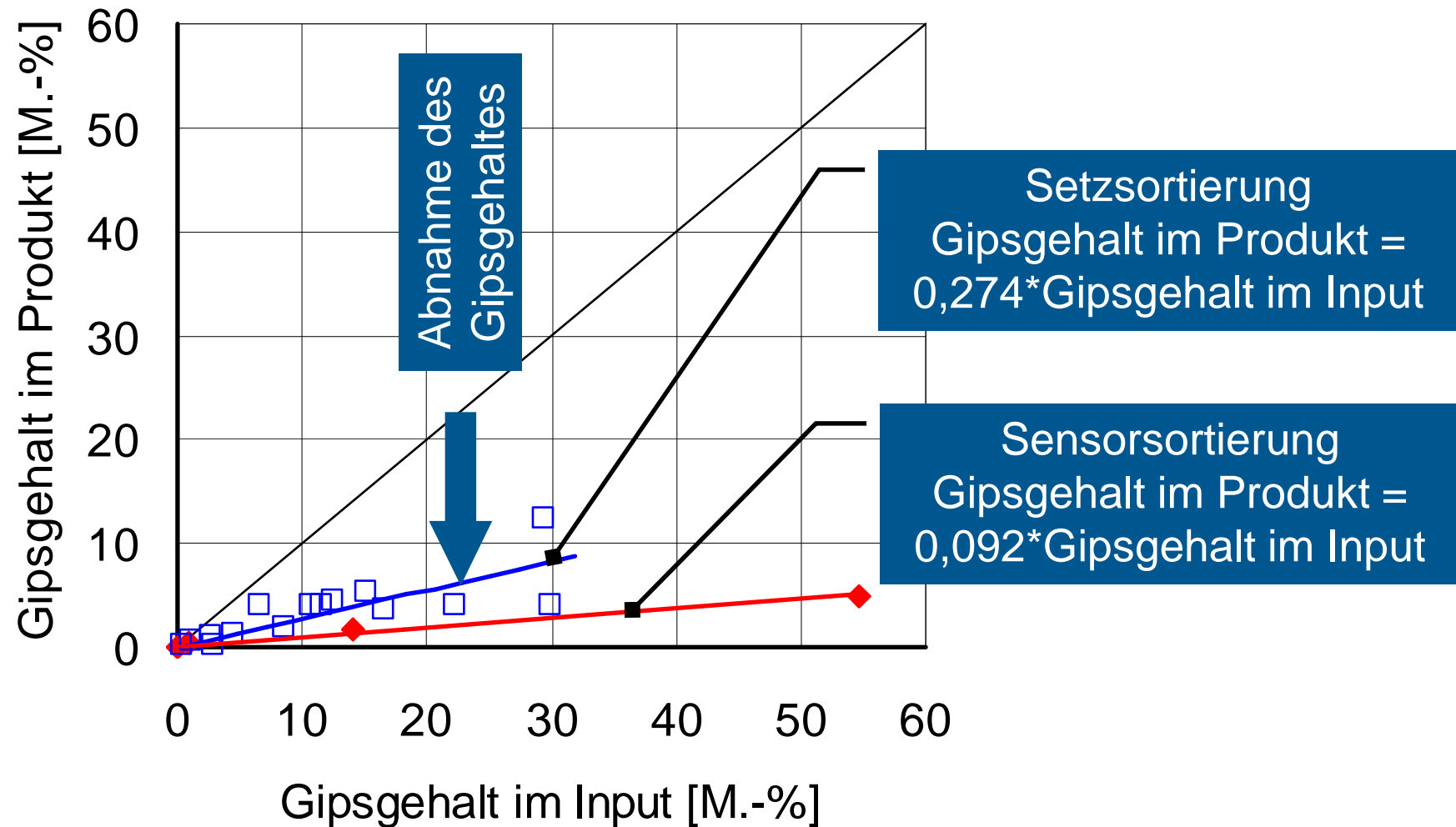
Produkt

Sortierrest





## Vergleich des Gehalts an Gipspartikeln im Produkt

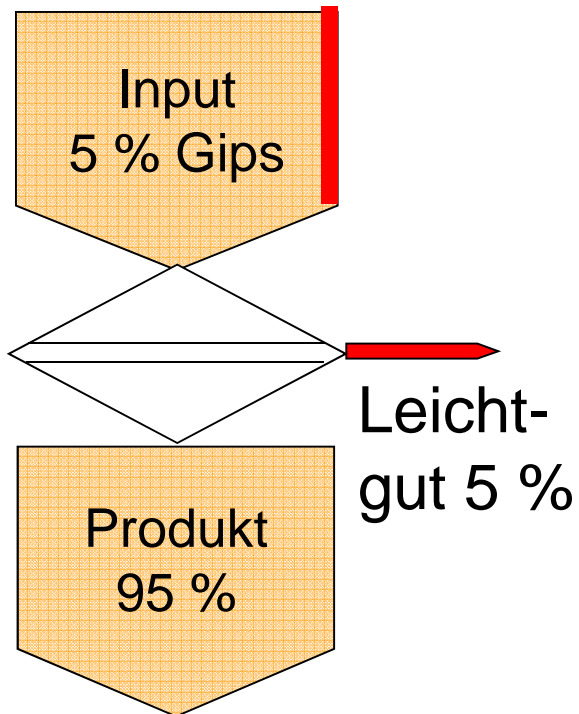


# Vergleich der Effektivität der Sortiertechniken bei einem Gehalt an Gipspartikel von 5 % im Aufgabematerial

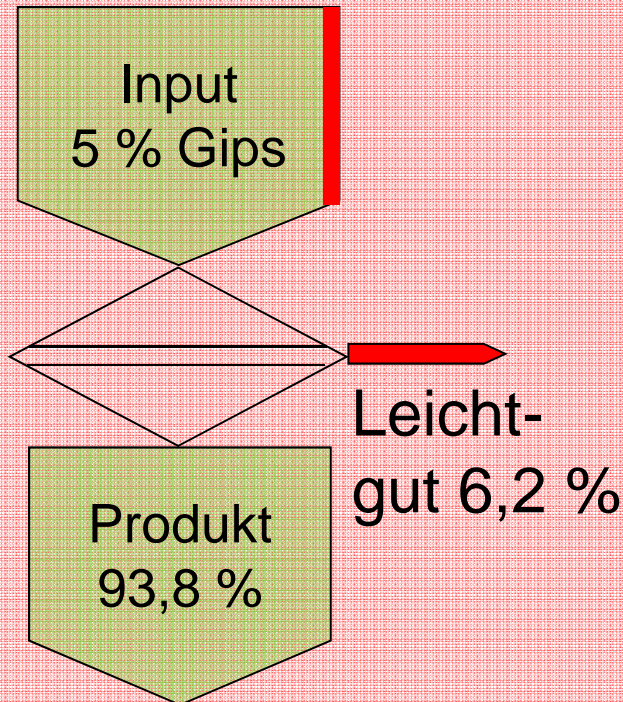
## Ideale Trennung

Leichtgut → 100 % Gips

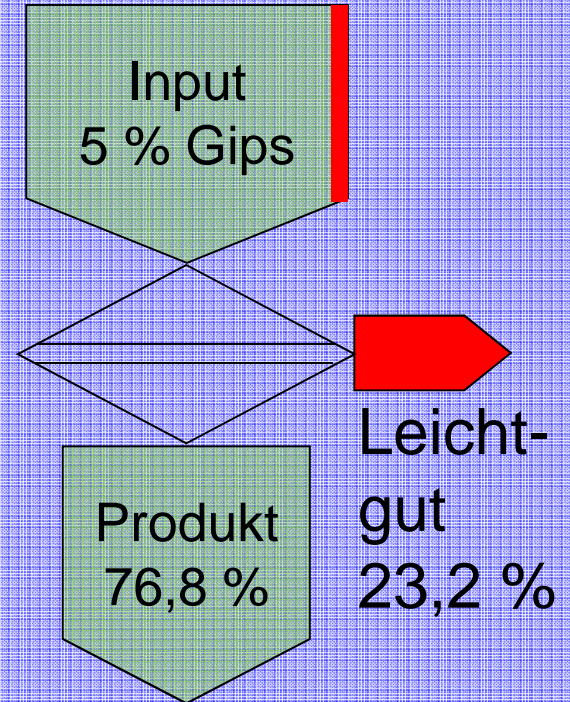
Produkt → 0 % Gips



## Trennung mittels Sensorsortierung



## Trennung mittels Setzsartierung



- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch
  - 5.1 Definitionen und Begriffe
  - 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung
  - 5.3 Merkmale des Primärmaterials
  - 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch
  - 5.5 Verwertungstechnologien
    - 5.5.1 **Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk**
    - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen

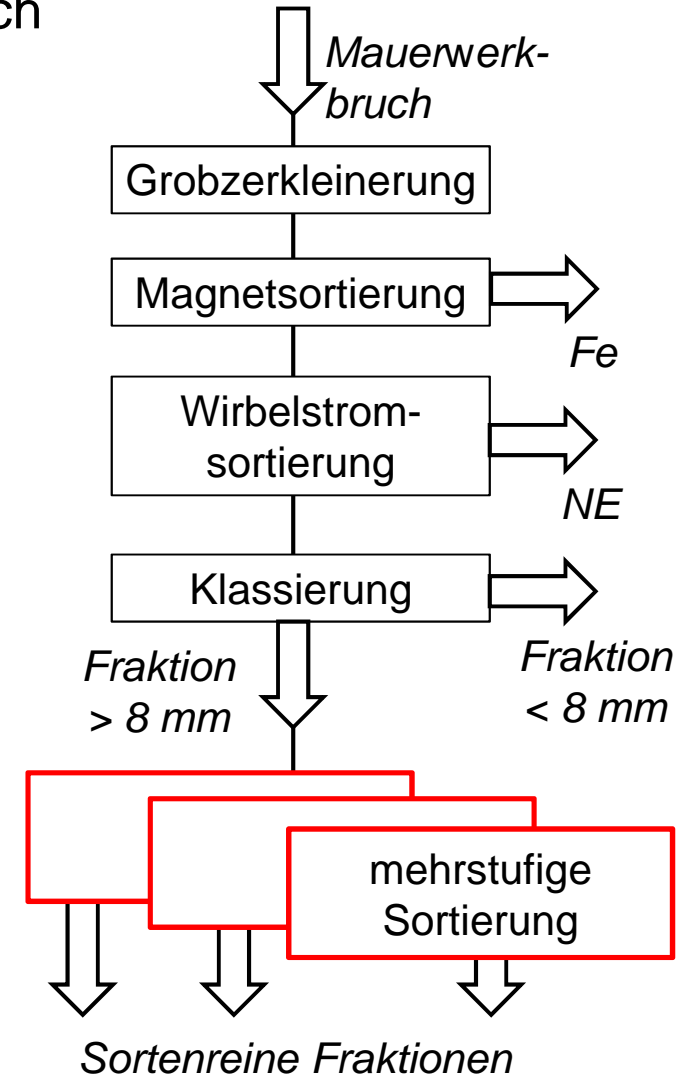
# Strategien für das Recycling von Mauerwerkbruch

Differenzierende Vorgehensweise bei der Verwertung: Stoffsubkreisläufe



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

= interner Subkreislauf  
 Verwertung als Rohstoff in den ursprünglichen Produkten  
 oder in sortenreiner Form in anderen Produkten



Rohstoffliches Recycling: Rückführung in den Herstellungsprozess des jeweiligen Wandbaustoffs

→ für Produktionsabfälle bereits Stand der Technik  
→ für Abfälle nach der Nutzung noch wenig geübte Praxis

→ Technisches Wissen als Grundlage für die Festlegung der Anforderungen und der Zugabemengen fehlt



## Verwertung von ziegelreichem Material

### Wiederverwendung

- Nach dem 2. Weltkrieg: Aussortierung unbeschädigter Ziegel aus Trümmerschutt
- Gewinnung von Ziegeln und Dachziegeln für den Denkmalschutz
- Gewinnung und Verarbeitung von (alten) Ziegeln als Fußbodenbelag



## Verwertung von ziegelreichen RC-Baustoffen im Sport- und Tennisplatzbau

- Tennenbeläge als Abschluss von wasserdurchlässigen, mehrschichtigen Tennenflächen
- Anforderungen an Farbe, Korngrößenverteilung, Widerstand gegen Verschleiß, Frostbeständigkeit, Durchlässigkeit und Verdichtbarkeit
- Bruchmaterial von Ziegelwerken oder aus Gemischen von Bruchmaterial und gebrauchten Dachziegeln
- Körnungen 0/1 mm, 0/2 mm und/oder 0/3 mm
- spezifische Bedarf an Ziegelsanden: 25 bis 30 t/Platz für den Neubau bzw. 1,5 t/Platz für die jährliche Aufbesserung

## Verwertung von ziegelreichen RC-Baustoffen in vegetations-technischen Anwendungen

Vegetationstechnische Anwendungen sind Anwendungen, bei welchen Baustoff und Konstruktion so beschaffen sein müssen, dass darauf ein Pflanzenwachstum möglich ist. Beispiele sind

- Dach- und Bauwerksbegrünungen
- Baumsubstrate insbesondere im Bereich von Stadtstraßen
- Schotterrasen in ein- oder zweischichtiger Bauweise für gelegentlich benutzte Parkflächen und Notfahrbereiche



Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung  
Landschaftsbau e.V., Bonn 2002

Empfehlungen für Bau und Pflege von Flächen aus  
Schotterrasen.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung  
Landschaftsbau e.V., Bonn 2000

Zusätzliche Anforderungen vegetationstechnischer Anwendungen:

Baustoffe müssen Wasser und Nährstoffe speichern und sie den Pflanzen über einen langen Zeitraum in ausreichender Menge zur Verfügung stellen

→ ausreichende offene Kornporosität

spezifische Kornmasse und Kornfestigkeit müssen bei Dach- und Fluranwendungen unterschiedlichen Anforderungen genügen

→ möglichst leichte Baustoffe für die Dachanwendung

→ ausreichend feste Baustoffe für die Fluranwendung

Traditionelle Baustoffe: Bims, Lava, Blähton, Blähschiefer, Schaumglas

## Beispiel Dachbegrünung

### Unterscheidung zwischen Extensivbegrünungen und Intensivbegrünung

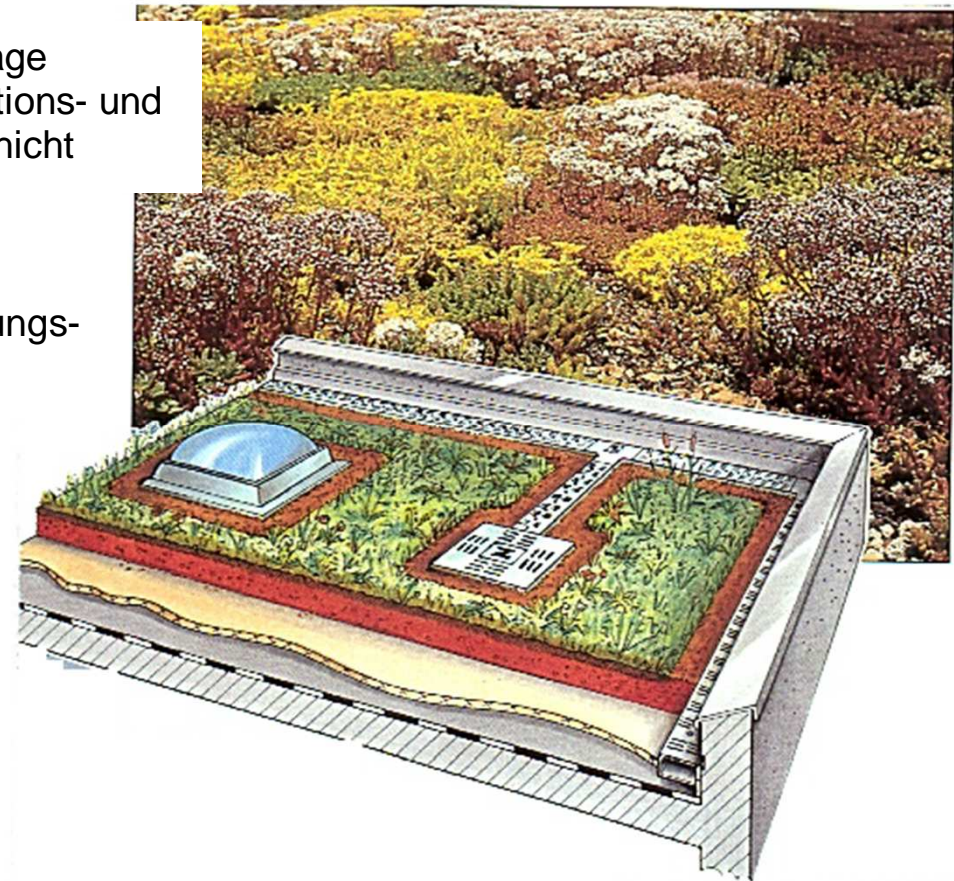
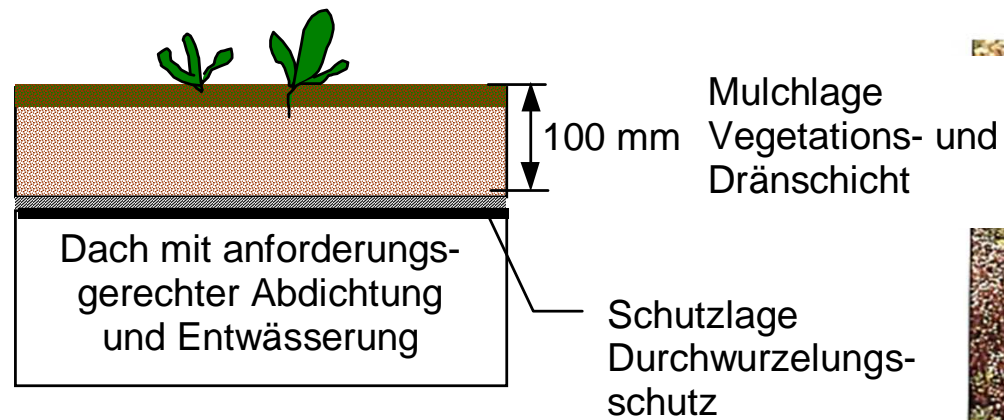
#### Extensivbegrünungen

- flächige Vegetationsbestände mit Sukkulenten, Kräutern und Gräsern
- ein- oder zweischichtig aufgebaut
- Wuchshöhen unter ca. 50 cm
- zusätzliche, auf das Dach aufgebrachte Lasten ca. 50 – 150 kg/m<sup>2</sup>

#### Intensivbegrünungen

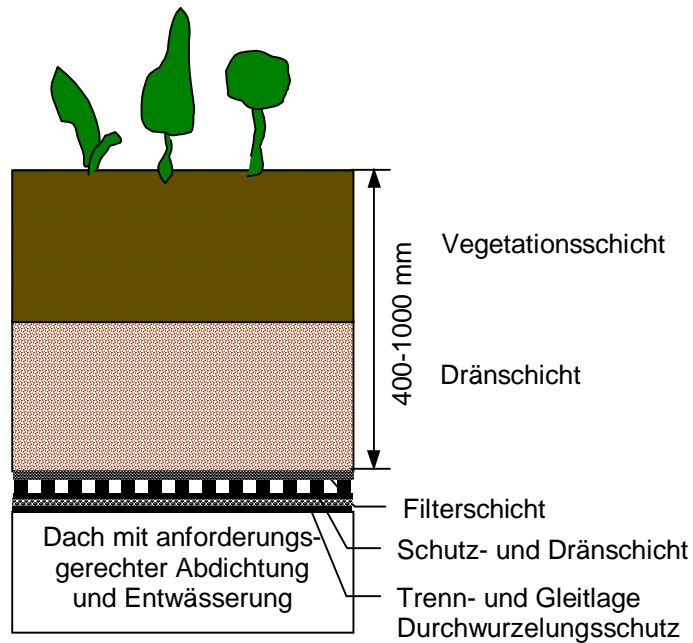
- Stauden und Gehölze, im Einzelfall auch Bäume
- mehrschichtiger Aufbau
- Lasten > 150 kg/m<sup>2</sup>

## Extensivbegrünung mit einer Schicht



Nach Bauen mit Zincolit.  
Firmenschrift der Deutschen Zincolit GmbH

## Intensivbegrünung mit mehreren Schichten



Nach Bauen mit Zincolit.  
 Firmenschrift der Deutschen Zincolit GmbH

## Baustoffe für die Dachbegrünung

### Mineralisches Schüttgut 4/16 mm

- für Dränschüttungen
- unter Plattenbelägen
- für Brandschutzstreifen
- als Füllmaterial für Dränelemente



### Reifkompost aus organischen Bestandteilen, Ton und Faserstoffen



Stichwort:  
Logistik-  
Vorteile

### Dachgärtnererde für die Extensivbegrünung



### Dachgärtnererde für die Intensivbegrünung





## Herstellung von Beton

- Reiner Ziegelsplitt, der einen genormten Leichtzuschlag nach DIN 4226-2 darstellt, oder Rezyklate als „schwere“ Leichtzuschläge
- Bei Substitution der Sandfraktion durch Natursand und der Verwendung von Fließmitteln können brauchbare Betone hergestellt werden.
- Im technischen Maßstab in Deutschland bisher kaum genutzt. Gründe: Heterogenität der Rezyklate und nicht völlig auszuschließende Anteile an betonschädigenden Inhaltsstoffen

Zitat ZI 7/2003, S.42 - 46

Zur Gebrauchstüchtigkeit solcher Betone, die wichtiges Baumaterial der Nachkriegszeit waren, liegen konträre Aussagen vor. So wird über Schadensfälle an Ziegelsplitt-Schüttbetonen bis hin zum Einsturz eines achtgeschossigen Gebäudes berichtet, die durch Fehler in der Verarbeitung verursacht wurden. Dagegen werden aber auch Gebäude aus der Nachkriegszeit vorgestellt, die heute noch ohne Einschränkung genutzt werden.

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

## Vorlesung D/Kapitel 4: Beton

Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung (1)

Materialgruppen entsprechend DIN EN 12620			Materialgruppen entsprechend DIN 4226-100		
Materialgruppen	Gehalt [Ma.-%]		Materialgruppen	Gehalt [Ma.-%]	
	Typ 1	Typ 2		Typ 1	Typ 2
Rc: Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton	Rc+Ru ≥ 90	Rc+Ru ≥ 70	Beton und natürliche Gesteinskörnungen	≥ 90	≥ 70
Ru: Ungebundene Gesteinskörner, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörner GK					
Rb: Mauer- und Dachziegel aus gebranntem Ton, Kalksandsteine, nicht schwimmender Gasbeton	≤ 10	≤ 30	Klinker, nicht por. Ziegel Kalksandstein	≤ 10	≤ 30
			porosierter Ziegel, Leichtbeton, haufwerksporiger Beton, Porenbeton, Putz, Mörtel, poröse Schlacke, Bimsstein	≤ 2	≤ 3

## Beispiele für Betonwarenherstellung aus Ziegel- oder Mauerwerksplitt in Österreich

2003: Speicherziegel aus Ziegelsplitt

2012: Ziegelsplittbeton „Ziegelit“, aber

2012: Flüssige Ziegeldecke „Schlözid®“, Füllmaterial für Mantelbaustoffe, speziell für die Herstellung tragender, bewehrter Massivdecken

Quellen siehe ZI 7/2003, S.42 - 46

Schornstein-Mantelstein mit Ziegelsplitt als Zuschlag [52]



Speicherziegel aus 70% Ziegelsplitt und 10% Blähton und 7% Kies, 13% Zement mit folgenden Merkmalen [53]

- hoher Schallschutz
- hohen speicherwirksamen Masse
- geringere Dämmeigenschaften
- geringer Primärenergieeinsatz
- leichte Bearbeitbarkeit für Installationen



Geschoßhohe Wände aus Ziegelsplittbeton [54]

- Ziegelsplitt-Leichtbeton der Festigkeitsklasse LB 225/SI
- Zuschlagstoff: korngestufter Ziegelsplitt, geringer Anteil von Natursand
- Bewehrung: BST550



Bausteine aus mineralischen Baurestmassen [55]

- Mischung entsprechender Fraktionen aus Beton- und Ziegelbruch
- Zwischenwandstein, Kellerwandstein, Fertigelementdecke
- Ö-Norm geprüft



Transportbeton mit hohem Anteil an rezyklierten mineralischen Baurestmassen

- Mischung entsprechender Fraktionen aus Beton- und Ziegelbruch
- für Deckenbeton oder Deckenaufbeton Ö-Norm geprüft
- verbesserte Dämmeigenschaften

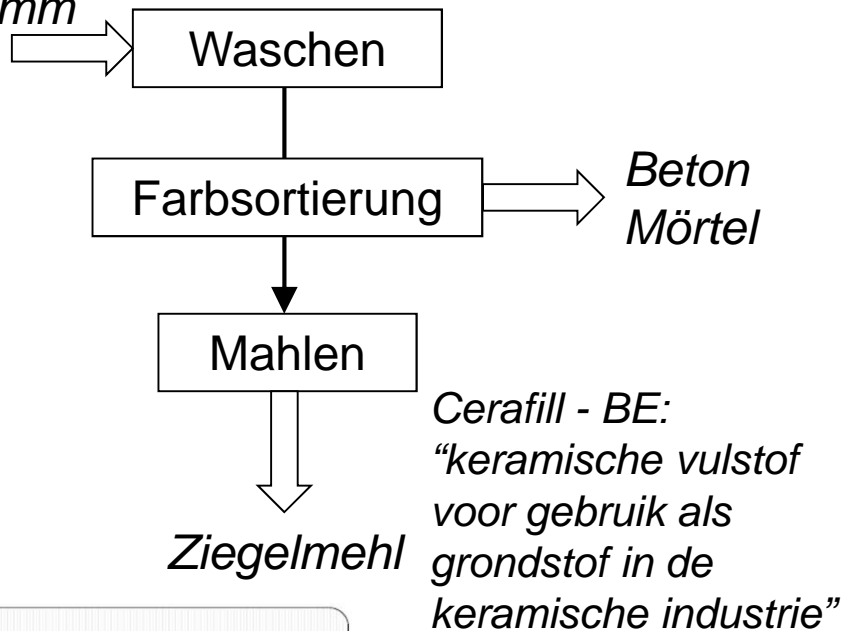


Baustoff für Massivbetonwände, mehrschalige Fertiggewölbe und Estriche ebenfalls erprobt.



## Verwertung als Rohstoffkomponente bei der Ziegelherstellung

*Bauschutt:*  
 40/100 mm



Anforderungen beim Wiedereinsatz für die Ziegelherstellung

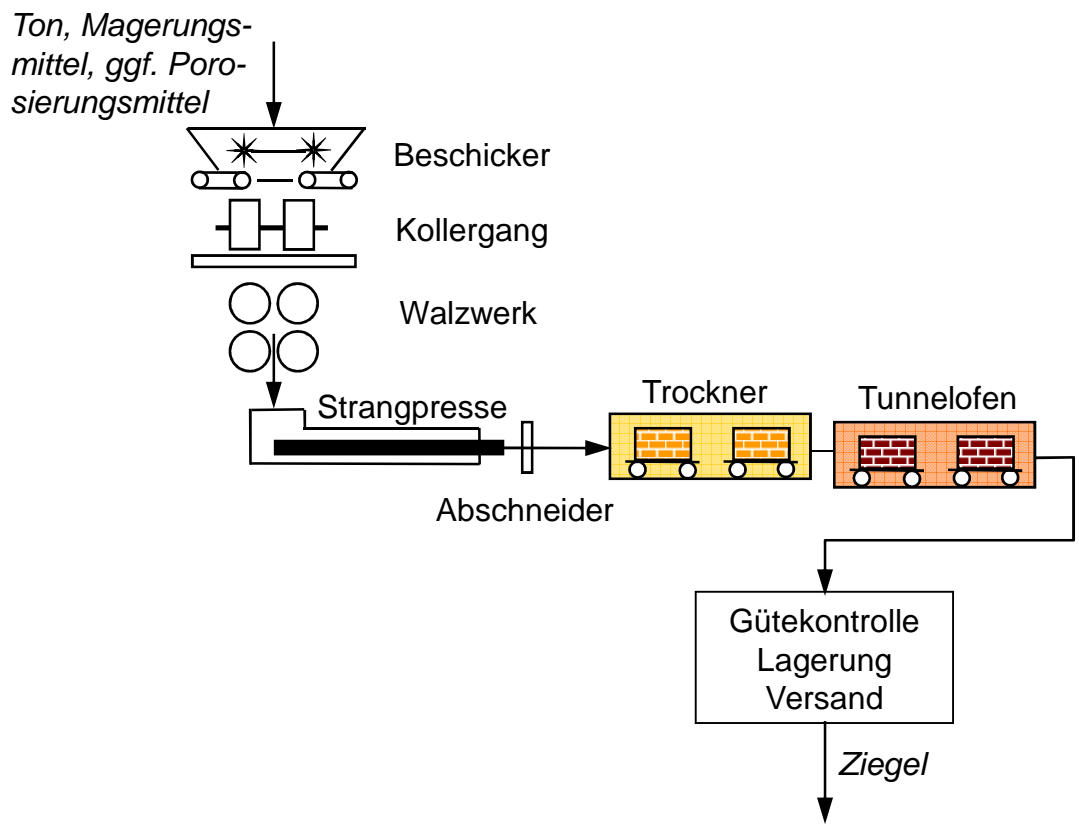
- Partikelgröße:
- 100 % < 150 µm
- 99 % < 125 µm
- Glühverlust < 3 %
- Feuchtegehalt < 10 %
- Gesamtschwefel < 0,5 %
- Calcitgehalt < 10 %

Vergleich Folie 22

# Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

**Ziegelmehl** →

Zugabemenge hängt von  
 Tonqualität und erzeugtem  
 Produkt ab  
 Versuche mit Zugabemengen  
 zwischen 20 und 60 Masse-%



 IFF-Baustoff-FORUM 01.03.2012 in Weimar
  Wienerberger Building Value

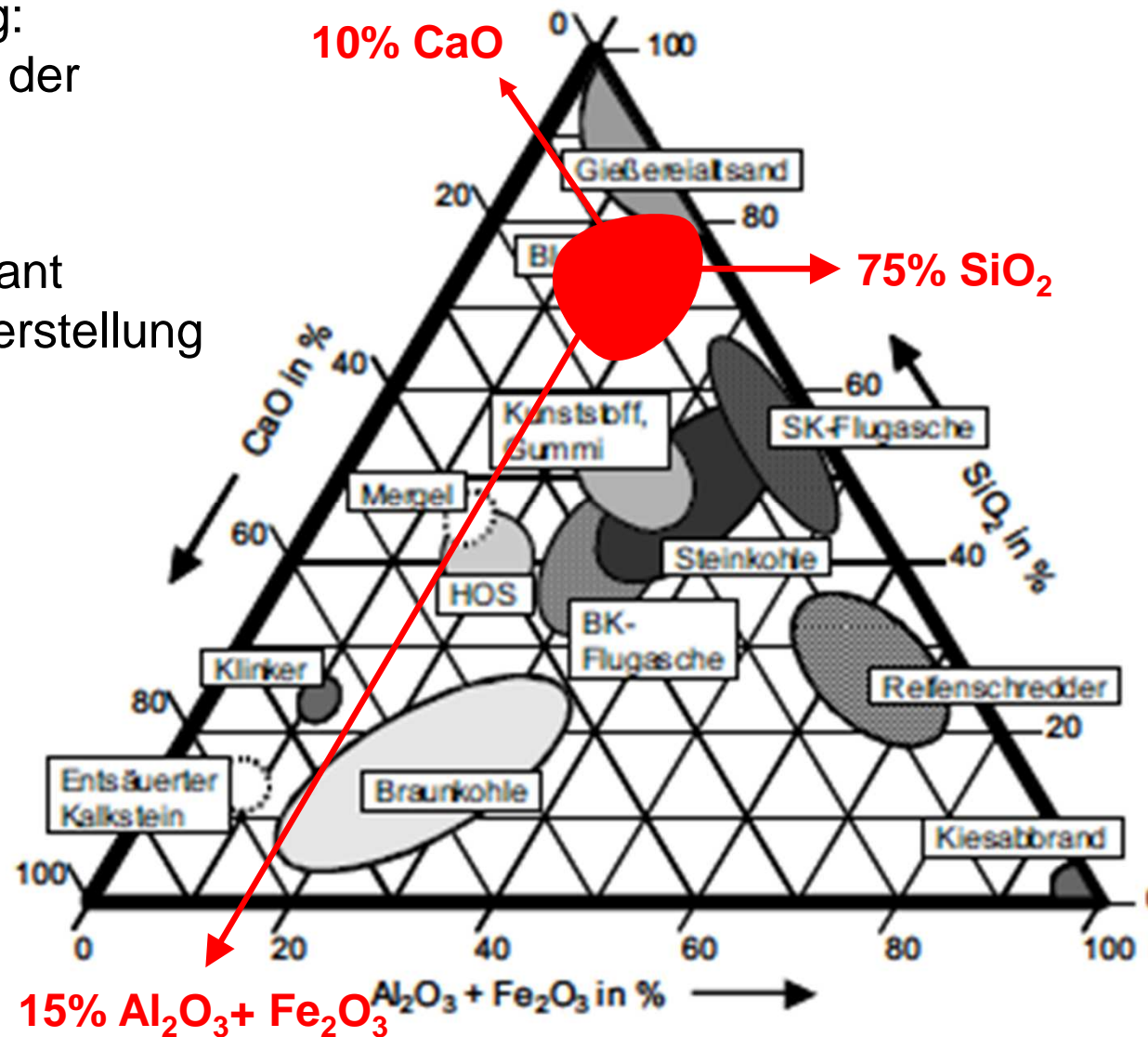


**Rohstoffreduktion in der Baustoffproduktion – Einsatz von Recyclingmaterial in der Ziegelindustrie**

Dipl.-Ing. Gerhard Koch  
 Wienerberger AG - Sustainability Manager

## Weiterer Verwertungsweg: Rohmehlkomponente bei der Zementherstellung

- ⇒ als  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ -Lieferant bei der Zementklinkerherstellung
- ⇒ Einsatz von Ziegelsplitt im einem Zementwerk bereits realisiert
- ⇒ jährlich benötigte Menge ca. 100.000 t



## Kalksandstein

Properties of chippings of calcium silica brick

- steady particle size distribution
- spherical shape
- chemical composition



- density 1,5...1,8 kg/dm<sup>3</sup>
- water absorption  
11...25 %

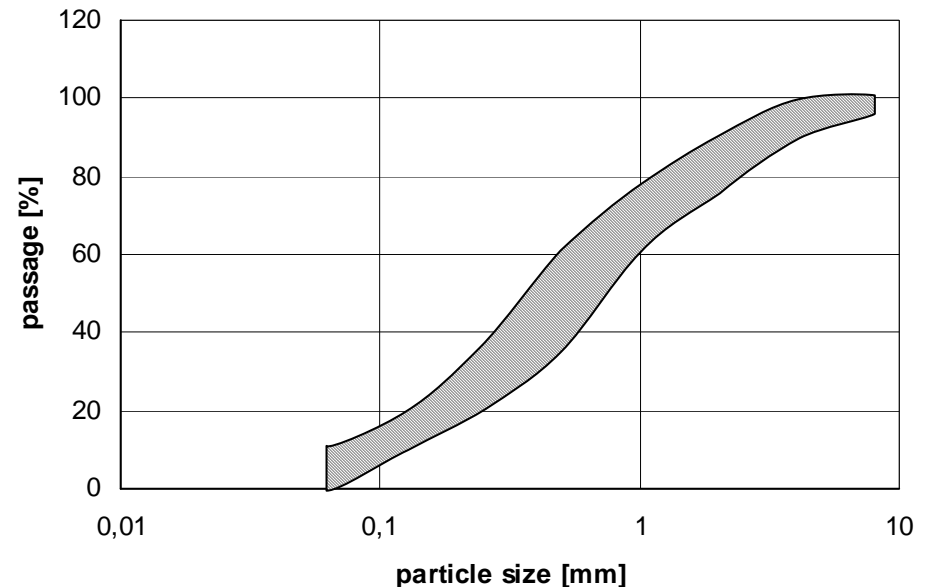
	[M.-%]
Trockenverlust	0,2
Glühverlust bei 600 °C	-
Glühverlust bei 1000 °C	3,3
SiO <sub>2</sub>	86,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41
CaO	7,6
MgO	0
K <sub>2</sub> O	0,3
Na <sub>2</sub> O	0,09
SO <sub>3</sub>	0,1
Cl <sup>-</sup>	n.b.

Fraktion	Schütt-dichte	Kornroh-dichte	Rein-dichte	Gesamt-porosität	Wasser-aufnahme
[mm]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[M-%]
0/ 2	1,10	1,50	2,6517	43,4	24,5
2/ 4	0,73	1,57		40,8	15,7
4/ 8	0,77	1,57		40,8	13,9
8/16	0,83	1,76		33,6	11,1

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Requirements for reuse as raw material

- reactivity of quartz high enough
- total organic material < 0.1 mass-%
- no humus-like components
- no bitumen
- Chloride < 0.015 mass-%
- Sulfate < 0.1 mass-%
- Sulfide < 0.1 mass-%
- PACs < 50 mg/kg
- particle size distribution:  
steady distribution 0/8 mm



### Results of research projects

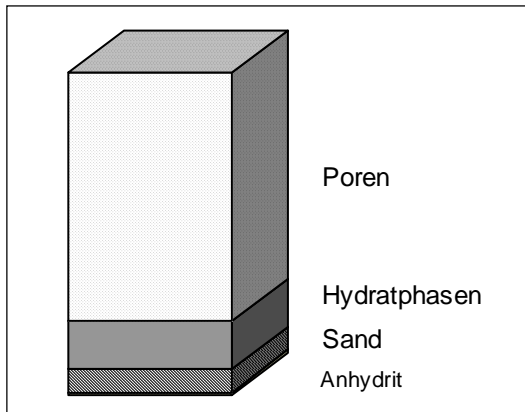
- raw material for calcium silica brick: clean material or material with small amounts of mortar
- in portions < 10 mass-% without effects
- addition of 23 mass-% results in a strength loss from 20,9 N/mm<sup>2</sup> to 13,8 N/mm<sup>2</sup>



## Porenbeton

Properties of chippings of aerated concrete

- particle size distribution with high portion of sand fraction
- high angularity
- chemical composition  
 $\text{SiO}_2 > \text{CaO} \gg \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$
- density 0,7...0,6 kg/dm<sup>3</sup>
- water absorption ~ 50 %



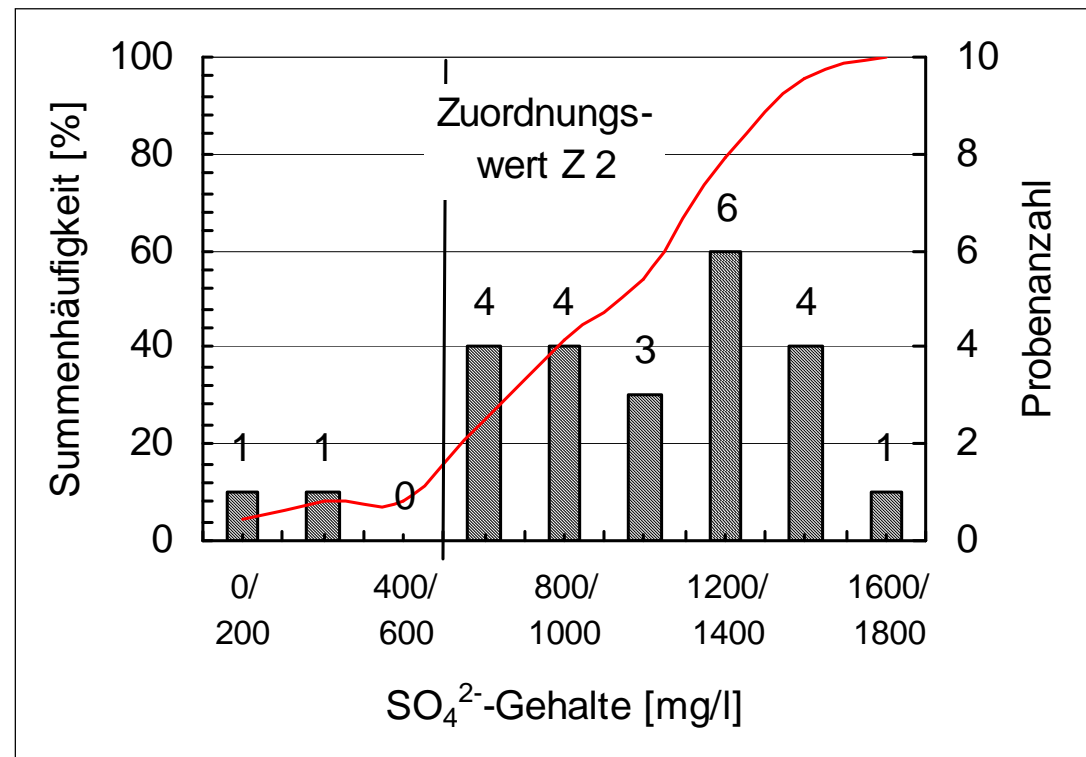
	[M.-%]
Trockenverlust	1,4
Glühverlust bei 600 °C	5,6
Glühverlust bei 1000 °C	4,4
SiO <sub>2</sub>	57,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1
CaO	23,2
MgO	0,4
K <sub>2</sub> O	1,1
Na <sub>2</sub> O	0,34
SO <sub>3</sub>	2,3
Cl <sup>-</sup>	n.b.

Fraktion	Schüttdichte	Kornroh-dichte	Rein-dichte	Gesamt-porosität	Wasser-aufnahme
[mm]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[M-%]
0/ 2	0,53	0,71	2,55	72,2	53
2/ 4	0,32	0,67		72,2	52,2
4/ 8	0,29	0,63		75,3	49,3
8/16	0,32	0,61		76,1	45,1

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Fields of application

- raw material for aerated concrete
  - clean materials in portions of about 15 mass-%
  - material with small amounts (< 10 %) of impurities like mortar in portions
- clean material as
  - cat litter
  - material for oil-absorption
  - lightweight bulk material



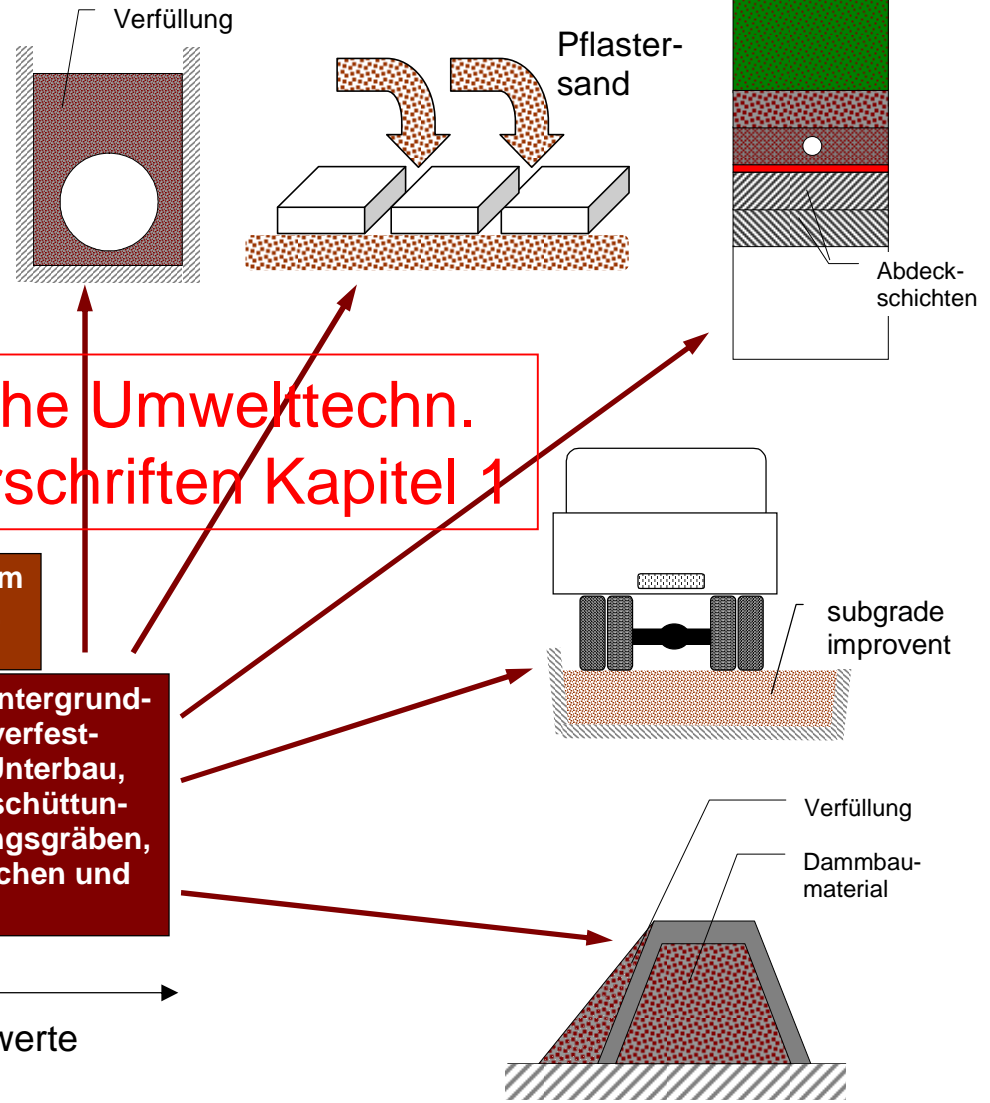
- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch
  - 5.1 Definitionen und Begriffe
  - 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung
  - 5.3 Merkmale des Primärmaterials
  - 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch
  - 5.5 Verwertungstechnologien
    - 5.5.1 Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk
    - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen

# Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

## RC-Gemische in ungebundenen Systemen



**Siehe Umwelttechn. Vorschriften Kapitel 1**

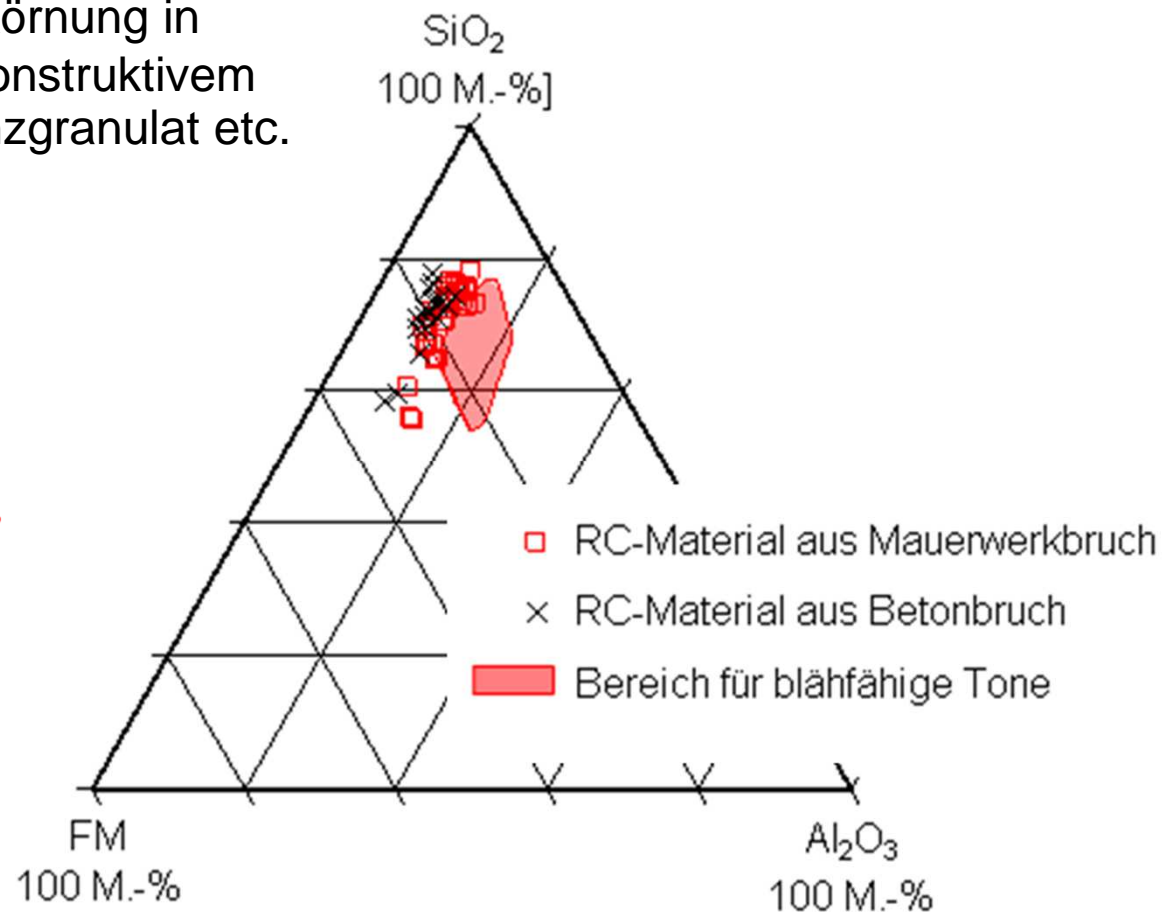


- 5 Wiederverwertung von Mauerwerkbruch
  - 5.1 Definitionen und Begriffe
  - 5.2 Verbrauch an Primärmaterial, Abfallentstehung
  - 5.3 Merkmale des Primärmaterials
  - 5.4 Eigenschaften von Mauerwerkbruch
  - 5.5 Verwertungstechnologien
    - 5.5.1 Sortenreine Bestandteile von Mauerwerk
    - 5.5.2 Verwertung von Gemischen in ungebundenen Systemen

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Advanced Recycling:  
 Herstellung von geblähten Leichtgranulaten aus  
 Mauerwerkbruch als Rohstoff

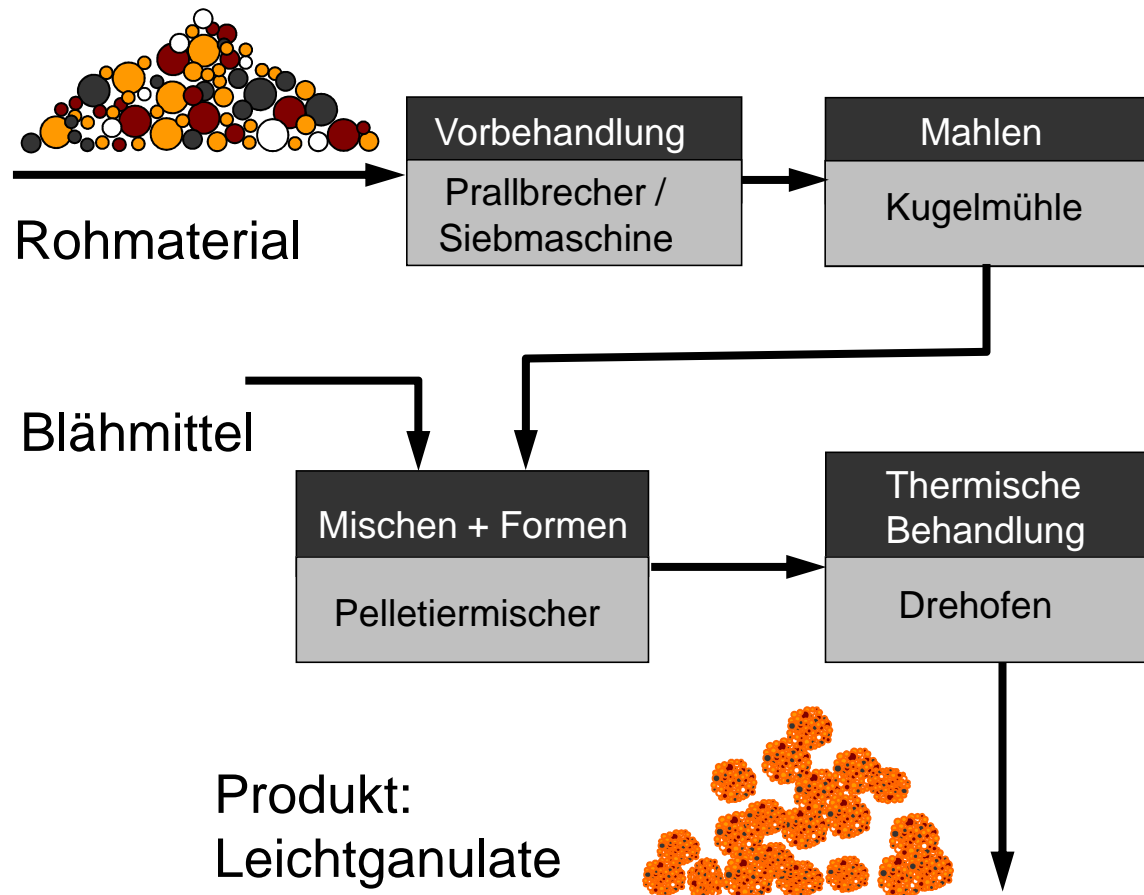
Einsetzbar als leichte Gesteinskörnung in  
 wärmedämmendem und/oder konstruktivem  
 Beton, in Schüttungen, als Pflanzgranulat etc.



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Verfahren zur Herstellung leichter Gesteinskörnungen aus Mauerwerkbruch

Herstellungsprozess



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

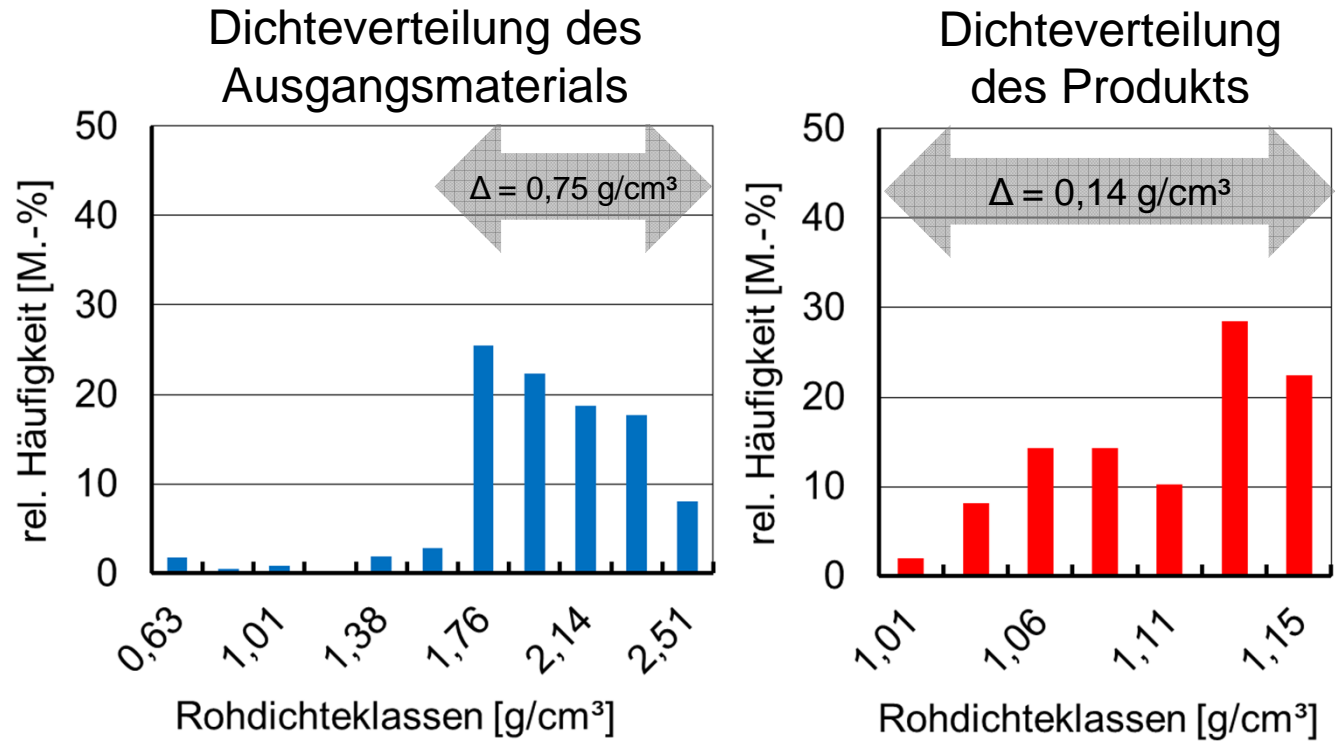
### Erreichte Vergleichmäßigung



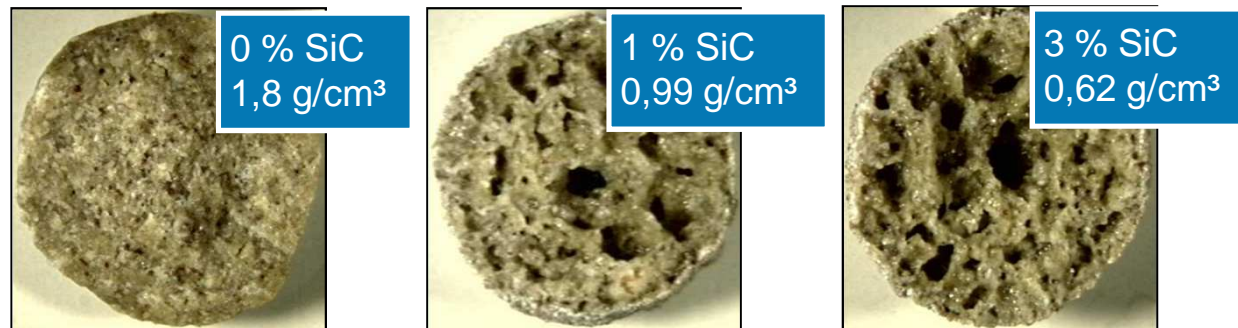


## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Erreichte  
Vergleich-  
mäßigung



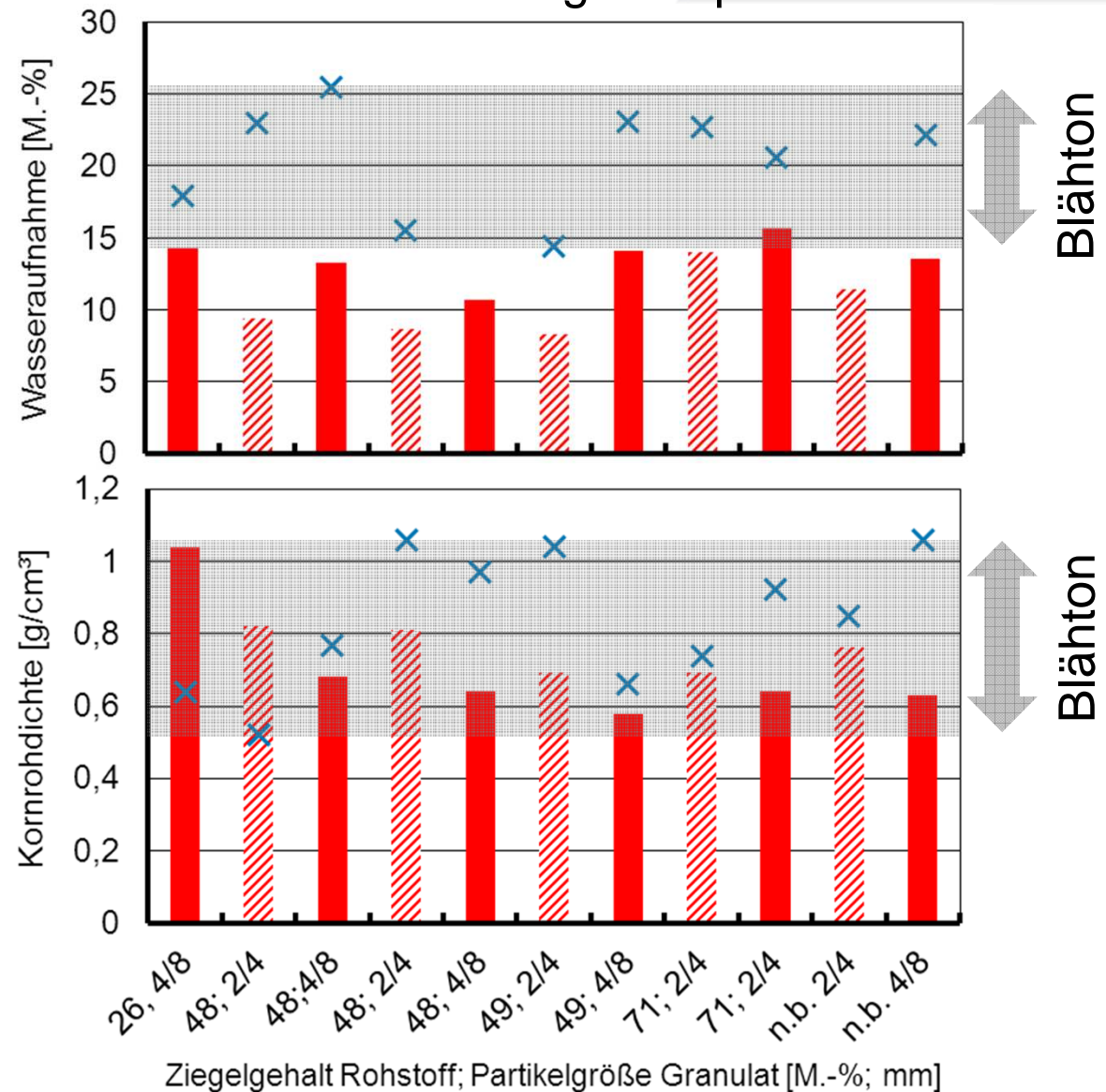
Erreichter Bläheffekt



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Eigenschaften der Leichtgranulate

### Kornrohddichten und Wasseraufnahmen der Leichtgranulate im Vergleich zu Blähton



## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Einsatz der Leichtgranulate in Betonen

Erste Anwendungstests in einem Betonwerk

- Herstellung von Leichtbetonblöcken
- volumetrische Substitution des Blähtons 4/8 mm durch Leichtgranulat



leichte Gesteinskörnung		Blähschiefer	Flugasche	Zement CEM I 42,5 R	Wasser	w / z
4/ 8 mm		0/4 mm				
	[dm <sup>3</sup> ] / [kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[ - ]
Blähton	260 / 85,7	84,0	30,5	72,5	41,4	0,57
Granulat 1	225 / 145	63,0	27,5	63,0	51,0	0,81
Granulat 3	244 / 132	82,0	28,0	68,0	25,0	0,37
Blähton	242 / 79,7	80,0	21,4	67,5	41,0	0,61

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

Einsatz der Leichtgranulate in  
 Betonen

Festbetoneigenschaften



	Druckfestigkeit		Festbeton- rohddichte	Frostbeständigkeit (CIF-Test, 56 FTW)		Wärmeleit- fähigkeit
	$b_{W150}$	$b_{W200}$		Abwitterung	rel. elast.E-Modul	
leichte Gesteinskörnung	[N/mm <sup>2</sup> ]		[kg/m <sup>3</sup> ]	[g/m <sup>2</sup> ]	[%]	[W/mK]
Blähton	2,75	2,62	805	n.b.	n.b.	n.b.
Granulat 1	9,24	8,80	1224	152	-2,4	0,34
Granulat 3	12,52	11,93	1120	169	-2,6	0,35
Blähton	6,49	6,18	871	285	-67,9	0,24

## Einsparpotentiale

Primärrohstoffverbrauch  
→ Abnahme von 100 %  
(Vergleichsmaterial Blähton)  
auf 5 % (Leichtgranulate  
aus Recyclingmaterial)

Energieverbrauch  
→ Abnahme von 100 %  
(Vergleichsmaterial Blähton)  
auf 83 % (Leichtgranulate  
aus Recyclingmaterial)

## Vorlesung D/Kapitel 5: Mauerwerk

### Wirtschaftlichkeit

### Standortbetrachtung für Berlin-Brandenburg

2 Standorte mit je 200.000 t/a

Produzierte Menge an  
Leichtgranulaten 333.000 m<sup>3</sup>/a

Leichtbeton 935.000 m<sup>3</sup>/a

Herstellungskosten <  
(Annahmegebühren + Verkaufserlöse)

Annahmegebühren	Verkaufserlöse
5,40 €/t bis 72,50 €/t	22 €/t bis 44 €/t
15,50 €/t	+ 31,90 €/t

