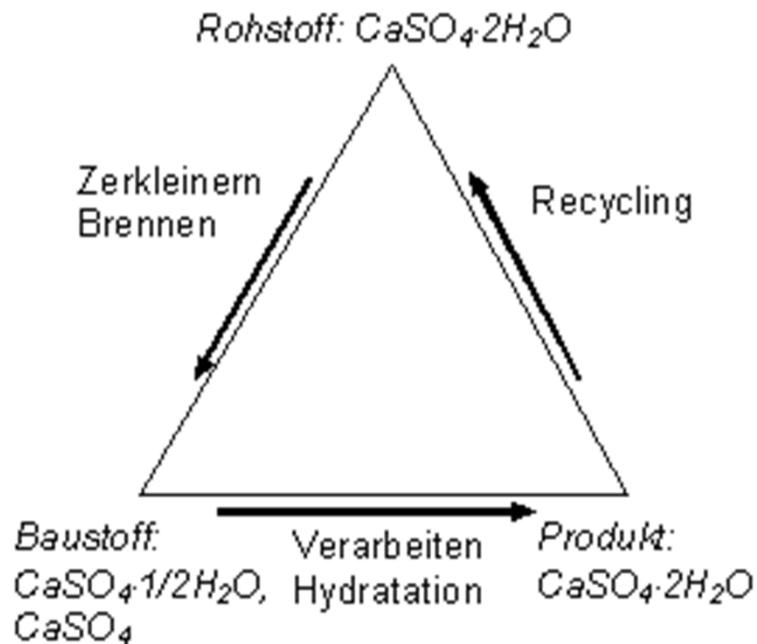


- 7 Gips: Kreislaufbaustoff oder Störstoff?
- 7.1 Merkmale des Primärmaterials, produzierte Mengen, Herstellungstechnologien und Sortiment
- 7.2 Arten und Mengen von Gipsabfällen
- 7.3 Verwertungstechnologien
 - 7.3.1 Sortenreine Gipsabfälle
 - 7.3.2 Gipshaltige Bauabfälle

Gipskreislauf



Ausgangsmaterial:
 Dihydrat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

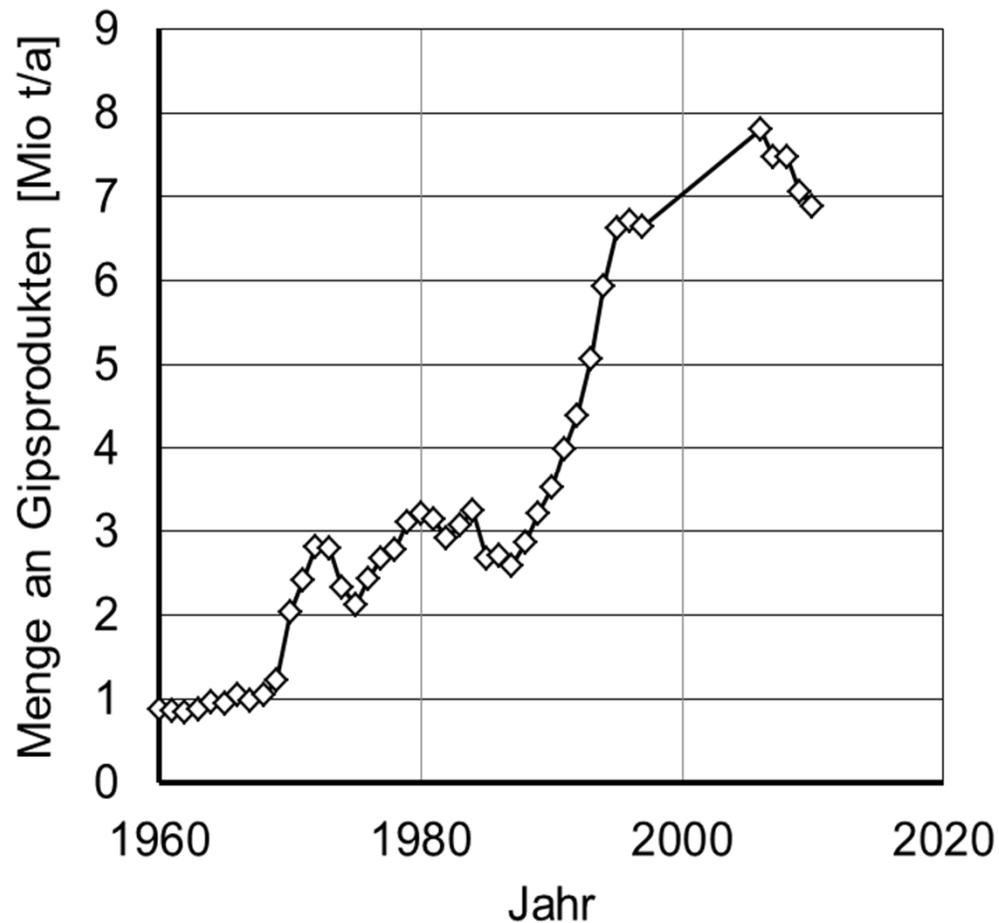
Erhärtungsfähige Produkte:
 Halbhydrat oder Anhydrit

Erhärtetes Produkt:
 Dihydrat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Der Gipskreislauf gilt für reine Stoffe. In technischen Produkten sind Zusätze, in Gipsabfällen Verunreinigungen enthalten.

Konsequenz: Gipskreislauf kann nicht ohne weiteres realisiert werden.

Zeitreihe der produzierten Gipsmenge



Vorteile von Baugipsen

- vergleichsweise geringer Energieaufwand für die Herstellung
- günstige Verarbeitungseigenschaften
- günstige bautechnische Eigenschaften

Rohstoffe für die Herstellung von Baugipsen und Gipsprodukten

Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen



<http://www.knauf.de/>

Gips aus natürlichen Vorkommen



<http://www.natureplus.org/>

[Gips, zurückgewonnen aus Bauschutt]



<http://www.baustoffrecycling-bayern.de/>

Gipsprodukte

Gipstrockenmörtel

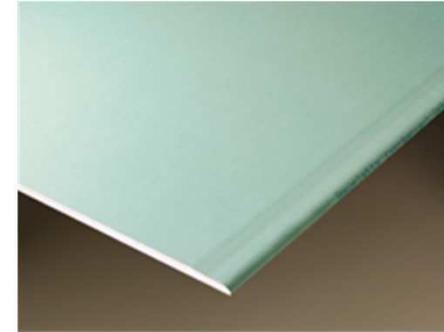


Spachtel und Kleber

Calciumsulfat-Fließestriche

Vorlesung D/Gips

Gips(karton)platten

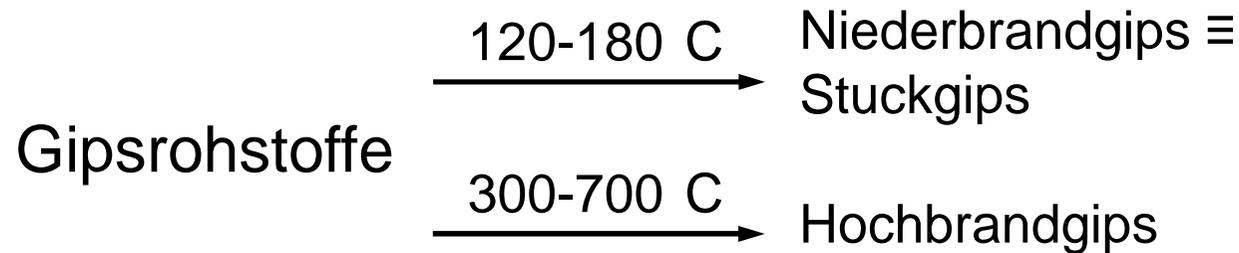


Gips-Wandbauplatten



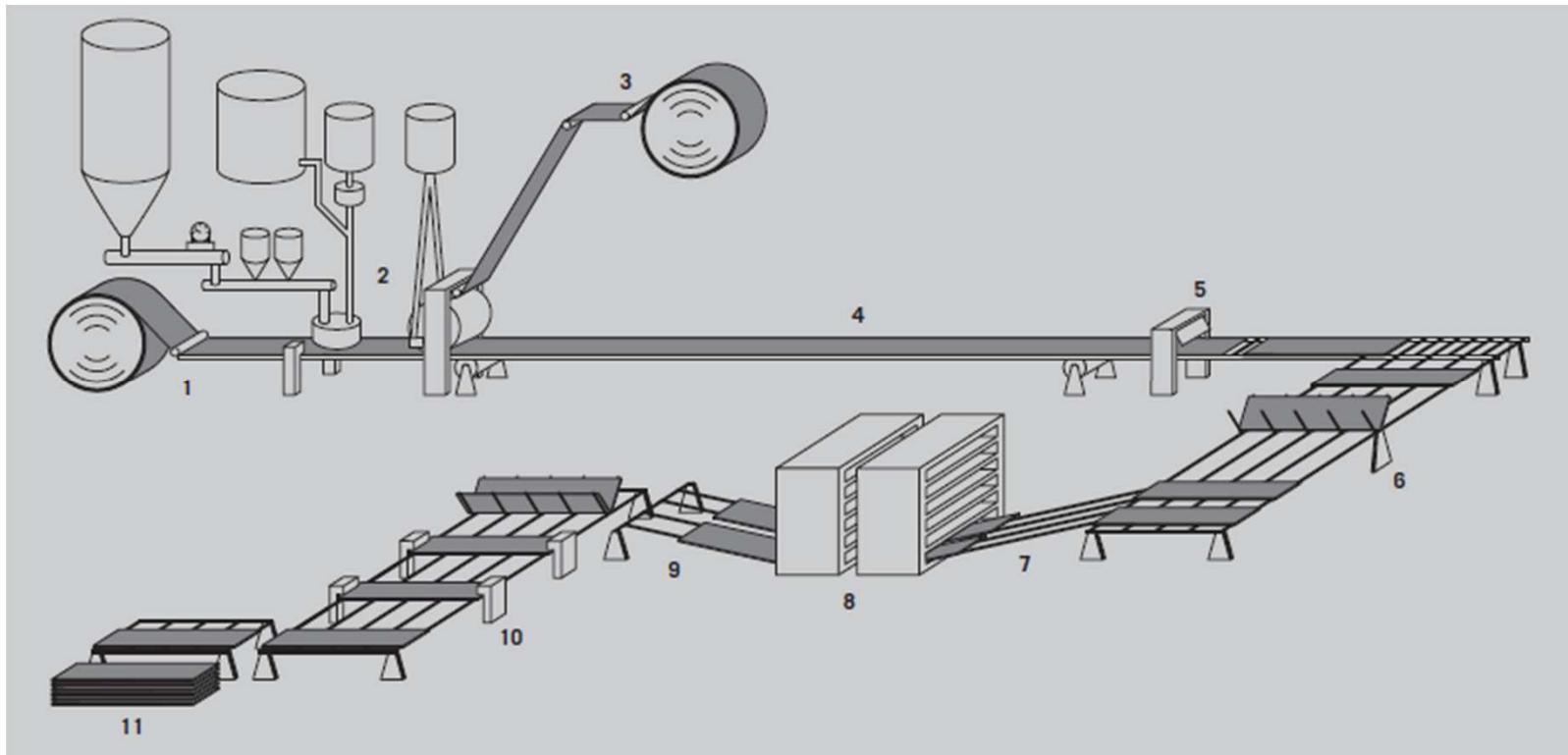
Gipsfaserplatten Trockenestriche

Herstellung von Gipsbindern



Weiterverarbeitung durch Vermischung, Zugabe von Stellmitteln und Füllstoffen

Herstellung von Gipsplatten



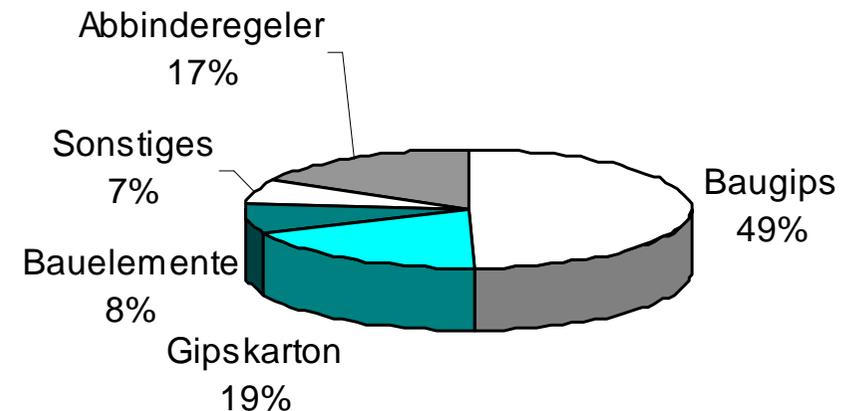
1 Zulauf des Kartons unten als Sichtseite der Platte
 2 Zulauf von Gipsbrei mit Verteilung durch die Formstation
 3 Kartonzulauf von oben
 4 Abbindestrecke

5 Schere als Schneidevorrichtung
 6-8 Wendetisch mit Eintrag in einen Mehretagentrockner
 9-11 Plattenausgang mit Besäumung der Querkanten und Plattenbündelung

Weiteres Einsatzgebiet von Gipsrohstoffen: Abbinderegler für Zement

Mengen der produzierten Gipsbaustoffe in Deutschland 1996

	Menge [Mio. t]
Gipstrockenmörtel Spachtel und Kleber	4,6
Gipskartonplatten	1,7
Wandbauplatten	0,6
Sonstiges	0,5
Abbinderegler	1,6
Summe	9,1



Eigenschaften von Bauprodukten aus Gips

	Rohdichte	Druckfestigkeit	E-Modul
	[g/cm ³]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
Baugipse	0,8-1,2	2,5-5	2.800-5.200
Gipskartonplatten*	1,0	5-10	≥ 2.000
Gipswandbauplatten	0,6-1,3		5.500-11.000
Anhydrit- oder Gipsestrich	1,8-2,1	16-45	15.000- 20.000

* Flächenmasse: 10-12 kg/m²

Zusammensetzung von Gipskartonplatten

	Gehalt [Ma.-%]
Gips	94,05
Karton	3,5
Stärke	0,24
Tenside	0,04
Silikon	0,21
Sonstiges	1,96

- 7 Gips: Kreislaufbaustoff oder Störstoff?
- 7.1 Merkmale des Primärmaterials, produzierte Mengen, Herstellungstechnologien und Sortiment
- 7.2 Arten und Mengen von Gipsabfällen**
- 7.3 Verwertungstechnologien
 - 7.3.1 Sortenreine Gipsabfälle
 - 7.3.2 Gipshaltige Bauabfälle

Arten von Gipsabfällen

EAK-Nummer für Abfälle mit hohem Gipsanteil:

17 08 02 Baustoffe auf Gipsbasis ohne Verunreinigungen durch gefährliche Stoffe

- Produktionsabfälle bei Gipskartonplatten
- Verschnittabfälle bei der Verarbeitung von Gipskarton- und Gipswandbauplatten

EAK-Nummer für Abfälle mit niedrigem Gipsanteil:

17 01 07 Gemische aus Beton, Mauerziegeln, Fliesen, Dachziegeln und Keramik ohne Verunreinigungen durch gefährliche Stoffe

17 09 04 gemischte Bau- und Abbruchabfälle ohne Verunreinigungen durch gefährliche Stoffe

- Abfälle aus dem Rückbau in Form von Putzen, Estrichen oder Gipskartonplatten als Bestandteil von Hochbauabfällen

Merkmale von Gipsabfällen

Verunreinigungen steigen an in der Reihenfolge

⇒ Produktionsabfälle der Plattenherstellung

⇒ Verschnittabfälle von Platten aus dem Ausbau

⇒ demontierte Platten aus Sanierungen und selektivem Rückbau

Holz, Metall und Dämmstoffe aus Leichtbaukonstruktionen, Folien, Papier etc.,

⇒ Abfälle aus dem Abbruch

bauschutttypische, mineralische Fremdstoffe wie z.B. Fliesen- und Putzanhaltungen, Mauerwerk, Beton
+
Holz, Metall und Dämmstoffe aus Leichtbaukonstruktionen, Folien, Papier etc.

Mengen von Gipsabfällen

Produktionsabfälle bei Gipskartonplatten	1- 2 % der Produktionsmenge 20.000 t/a in D*
Verschnittabfälle bei der Verarbeitung von Gipskarton- und Gipswandbauplatten	bei Gipskartonplatten: minimal 4 %**, maximal 16%**; 60.000 t/a in D*

Statistische Angaben zu Gipsabfällen mit der Schlüsselnummer 17 08 02 ab 2004 verfügbar

	2004	2006	2008	Mittel
Gipsabfälle [Mio. t]	0,28	0,363	0,53	0,4

Abfälle aus dem Rückbau in Form von Putzen, Estrichen oder Gipskartonplatten als Bestandteil von Hochbauabfällen

• Hamm, H., Hüller, H., Demmich, J. "Recycling von Gipsplatten" ZKG (2007), H. 5, S. 68-74.
** Luschnig, DA BUW Weimar

- 7 Gips: Kreislaufbaustoff oder Störstoff?
- 7.1 Merkmale des Primärmaterials, produzierte Mengen, Herstellungstechnologien und Sortiment
- 7.2 Arten und Mengen von Gipsabfällen
- 7.3 **Verwertungstechnologien**
- 7.3.1 **Sortenreine Gipsabfälle**
- 7.3.2 Gipshaltige Bauabfälle

Verwertungstechnologien für sortenreine Gipsabfälle

- ⇒ Produktionsabfälle der Plattenherstellung
 - ⇒ Verschnittabfälle von Platten aus dem Ausbau
 - ⇒ demontierte Platten aus Sanierungen und selektivem Rückbau

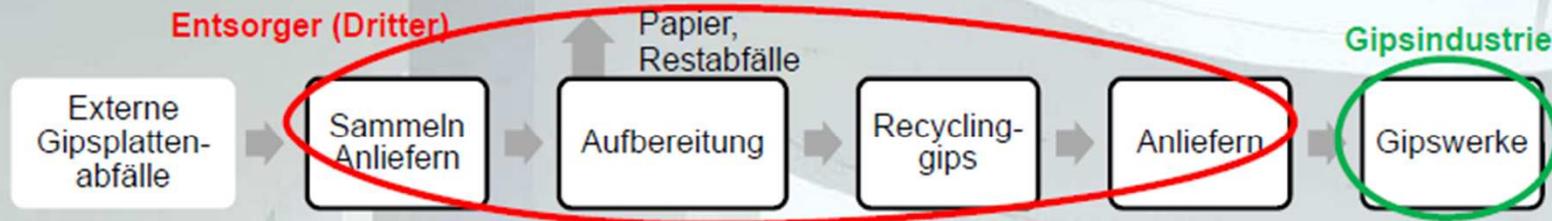
Nach Zerkleinerung und Abtrennung von Papier und Störstoffen
Verwertung als Rohstoff für die Gipsplattenherstellung

Konzept Gipsrecycling



– Rahmenbedingungen

1. Modell – einheitliche Regelungen für die gesamte deutsche Gipsindustrie



2. Festlegung einheitlicher Qualitätsanforderungen für Deutschland

- **Wesentliche technische Parameter:** Orientierung an europäischer REA-Gipsspezifikation mit Modifikationsmöglichkeiten.

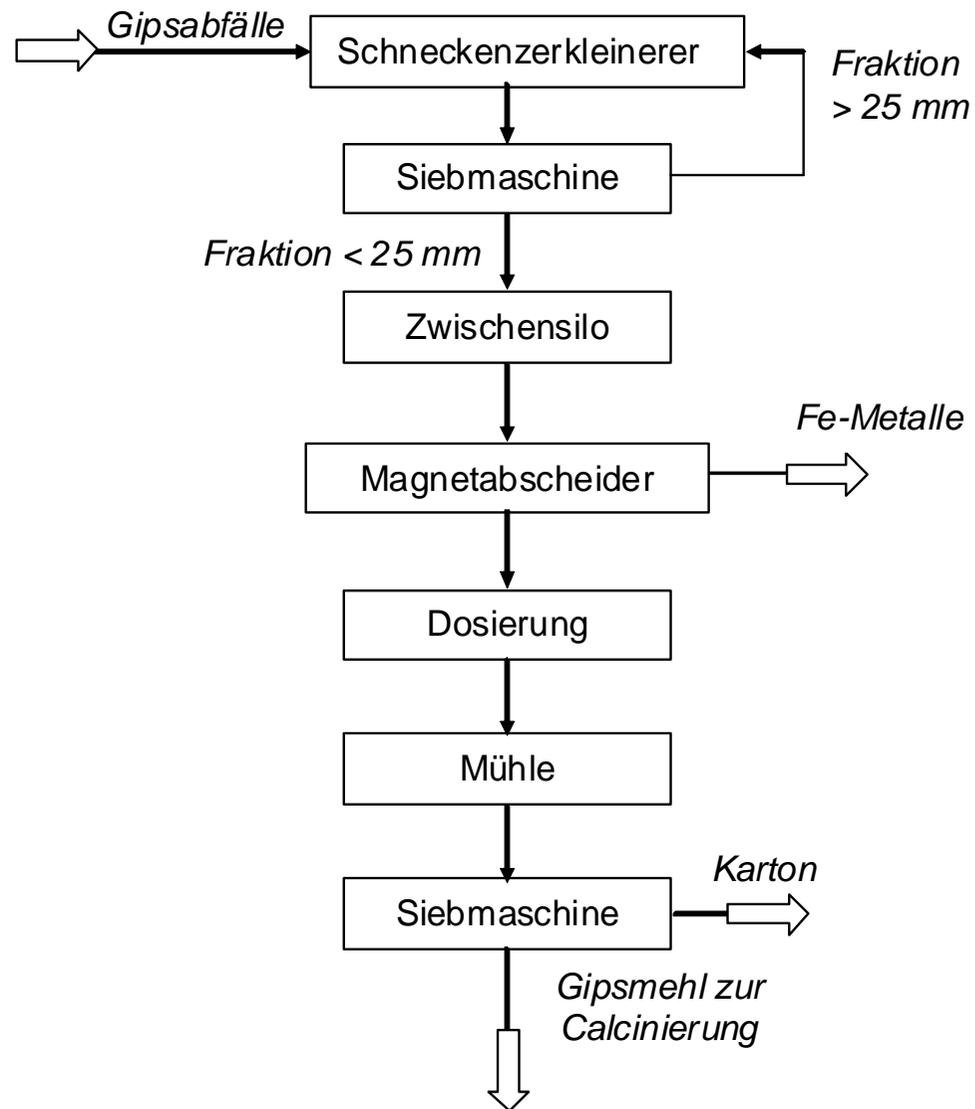
Qualitätsparameter REA-Gips	Bestimmt als	Einheit	Qualitätskriterien
Freie Feuchte	H ₂ O	MA.-%	≤ 5
Calciumsulfat-Dihydrat	CaSO ₄ x 2 H ₂ O	MA.-%	> 85
Magnesiumsalze, wasserlöslich	MgO	MA.-%	< 0,02
Natriumsalze, wasserlöslich	Na ₂ O	MA.-%	< 0,02
Kaliumsalze, wasserlöslich	Ca ₂ O	MA.-%	< 0,02
Chloride	Cl	MA.-%	< 0,01
pH	---	---	5 – 9
TOC	---	MA.-%	< 0,5

Kreislaufsystem für Gipsplatten



Quelle:

Verfahrensablauf



Anforderungen an den aufbereiteten Sekundärgips

- Keine Metalle
- Keine Verbundmaterialien, z.B. mit Styropor, Steinwolle oder Glaswolle
- Keramische Bestandteile wie Fliesen < 5 Masse-%
- Gehalte an wasserlöslichen Salzen und Chlorid siehe Folie 16

Organisches Material, das bei unter 150 °C ausbrennt, wird durch den Kalzinationsprozess entfernt.

Mörtel und Spachtelmassen auf Gipsbasis stören nicht.

Substitution von ca. 25 % von Naturgips durch Sekundärgips

Weitere Verwertungswege für (sortenreine) Gipskartonplattenreste

Gipsabfälle aus dem Rückbau: Verwertung in der Landwirtschaft ? Nur für sortenreine Qualitäten !

“Gypsum wallboard from construction waste is increasing being viewed for recovery in agriculture. Gypsum is used in agriculture as both a fertilizer and soil amendment and both calcium and sulfur are essential plant nutrients. Gypsum does not increase pH as does lime, and, in large applications, may even decrease pH.”

“Potatoes and peanuts both respond to calcium fertilization and research done in Wisconsin found that potato quality (especially for hollow hearts and calcium levels in the peels) increased with the application of gypsum from wallboard. However, there were no increases in yields.”

334. “Using Recycled Wallboard for Crop Production”, Richard P. Wolkowski, University of Wisconsin, May 2003, 8 pages. Publication A3782. Accessed on June 16, 2003 at <http://www1.uwex.edu/ces/pubs/pdf/A3782.pdf>.

Drywall bibliography prepared by John Reindl, Recycling Manager Dane County Department of Public Works 1919 Alliant Energy Center Way Madison, WI 53713-1400

Vorlesung D/Gips

**GYP
Monster**



Recycling Drywall - YouTube.mht

<http://www.gypmonster.com/>

- 7 Gips: Kreislaufbaustoff oder Störstoff?
- 7.1 Merkmale des Primärmaterials, produzierte Mengen, Herstellungstechnologien und Sortiment
- 7.2 Arten und Mengen von Gipsabfällen
- 7.3 Verwertungstechnologien
 - 7.3.1 Sortenreine Gipsabfälle
 - 7.3.2 Gipshaltige Bauabfälle

Verwertungsstrategien für gipshaltige Bauabfälle

⇒ Abfälle aus dem Abbruch mit (undefinierten) Gipsgehalten

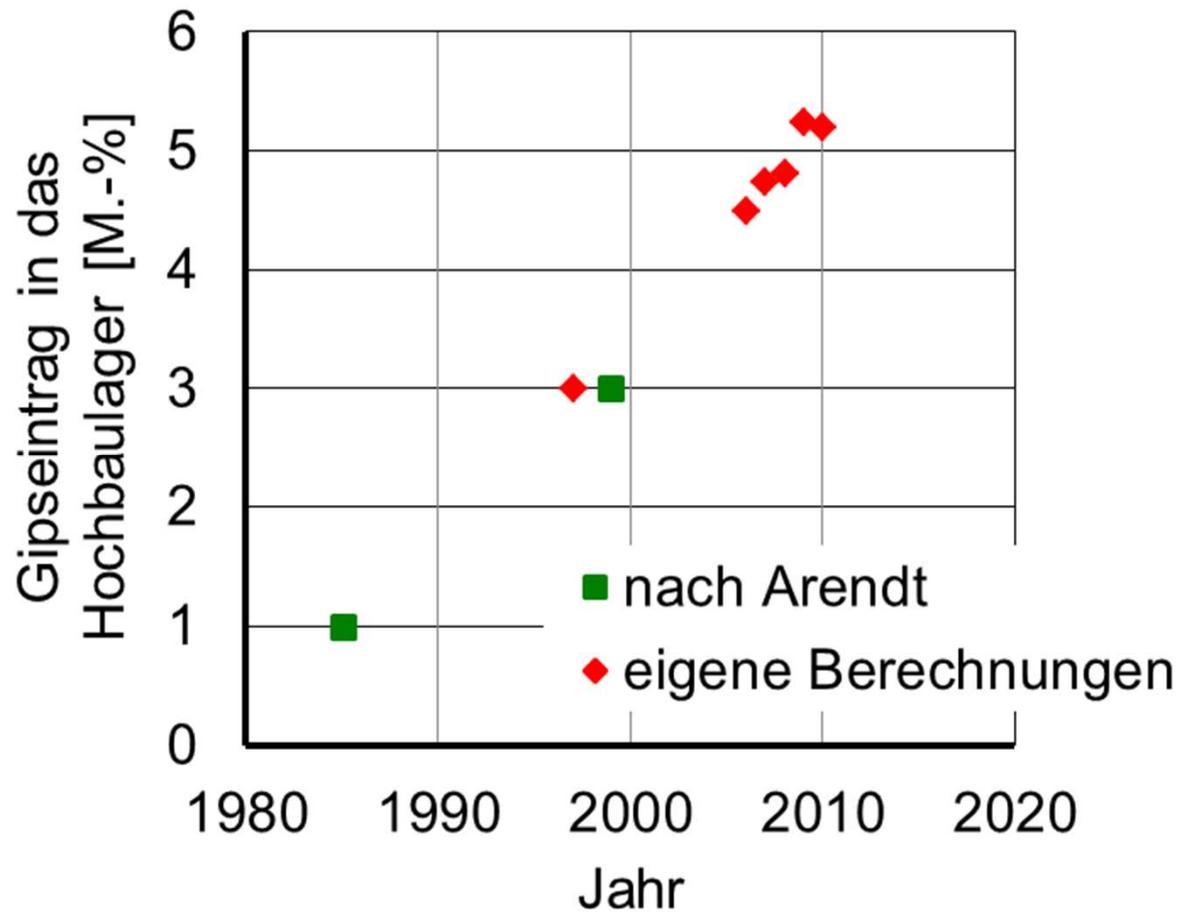
Bei Vermischung mit anderem mineralischem Bauschutt keine Verwertung – weder für den Bauschutt noch für den darin enthaltenen Gips

Exkurs: Abschätzung des Gipsgehaltes von Bauwerken bzw. Bauschutt nach verschiedenen Methoden

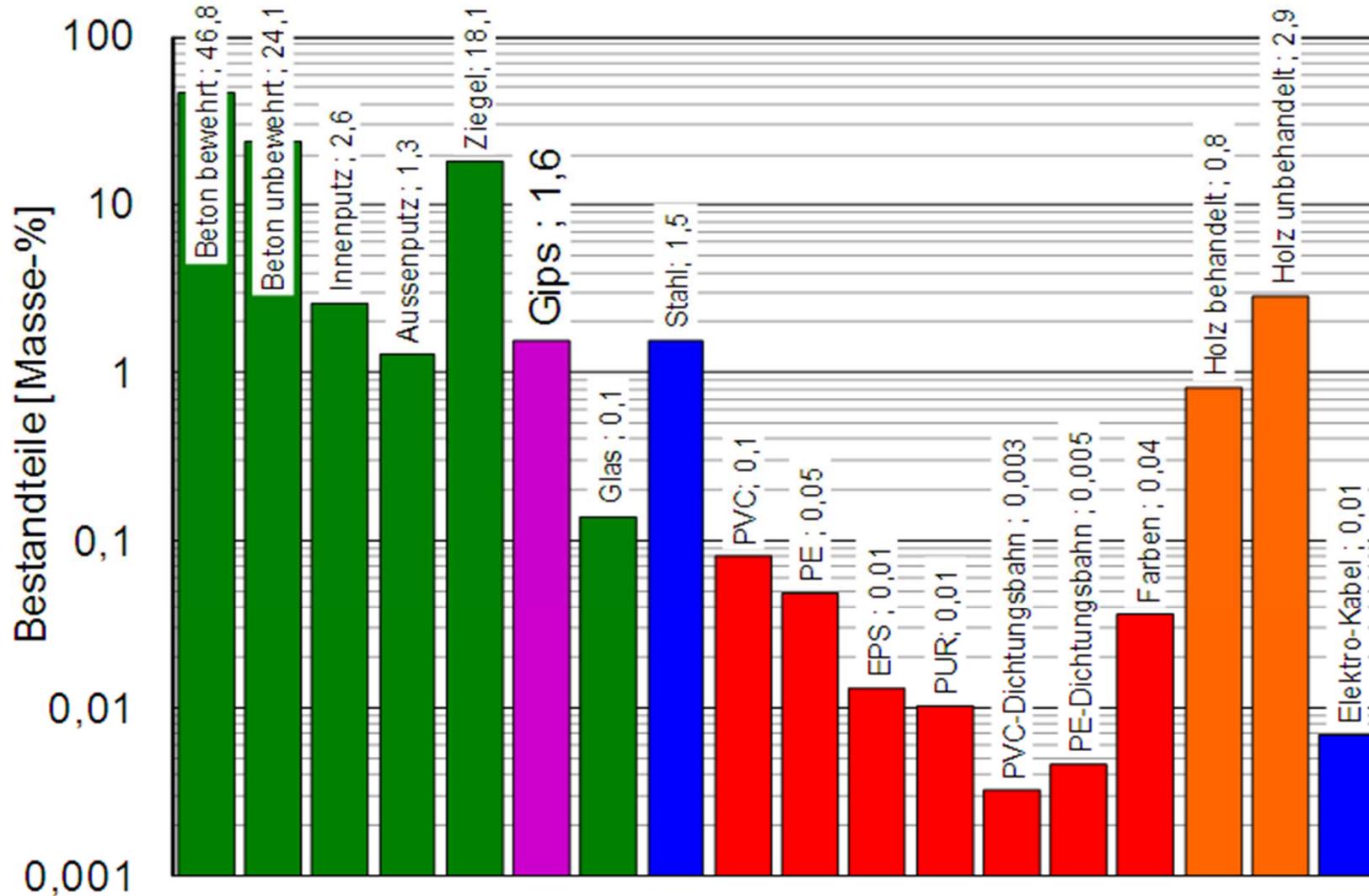
- Stoffstrombetrachtungen anhand produzierter Mengen
- Generierung von Durchschnittsgebäuden, deren Zusammensetzung auf Statistiken und Annahmen basieren, und/oder Berechnungen zur Baustoffzusammensetzung von Gebäuden, für die „Baustofflisten“ vorhandenen sind
- Recherchen von Ausschreibungsunterlagen
- Chemische Analysen von tatsächlich anfallendem Bauschutt und von Modellwänden

Stoffstrombetrachtungen

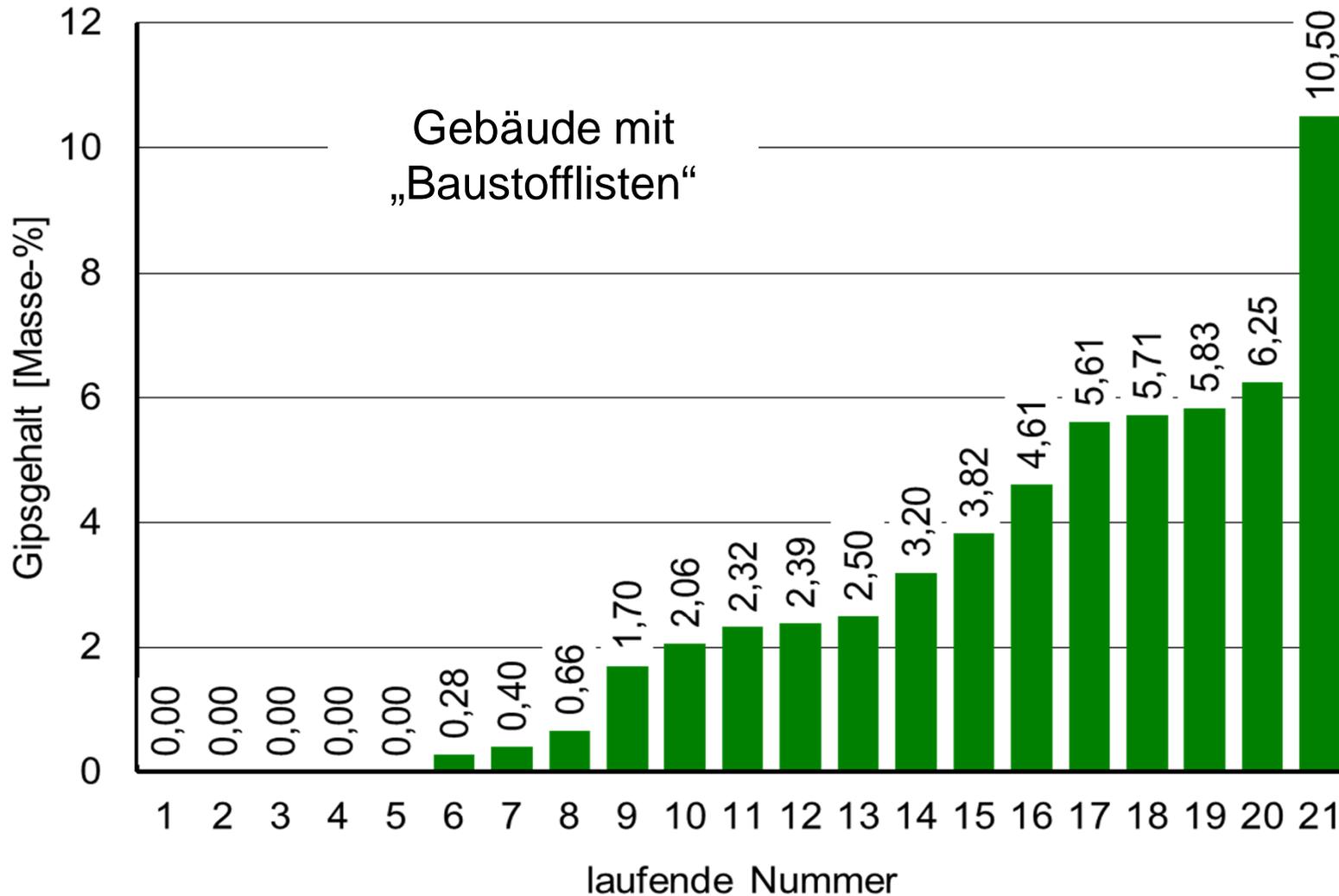
Abschätzung
 des prozentualen
 Gipseintrages als
 Verhältnis der
 produzierten
 Gipsbaustoffe zu
 den im Hochbau
 insgesamt einge-
 setzten mineralischen
 Baustoffen



Durchschnittsgebäude und Gebäude mit „Baustofflisten“



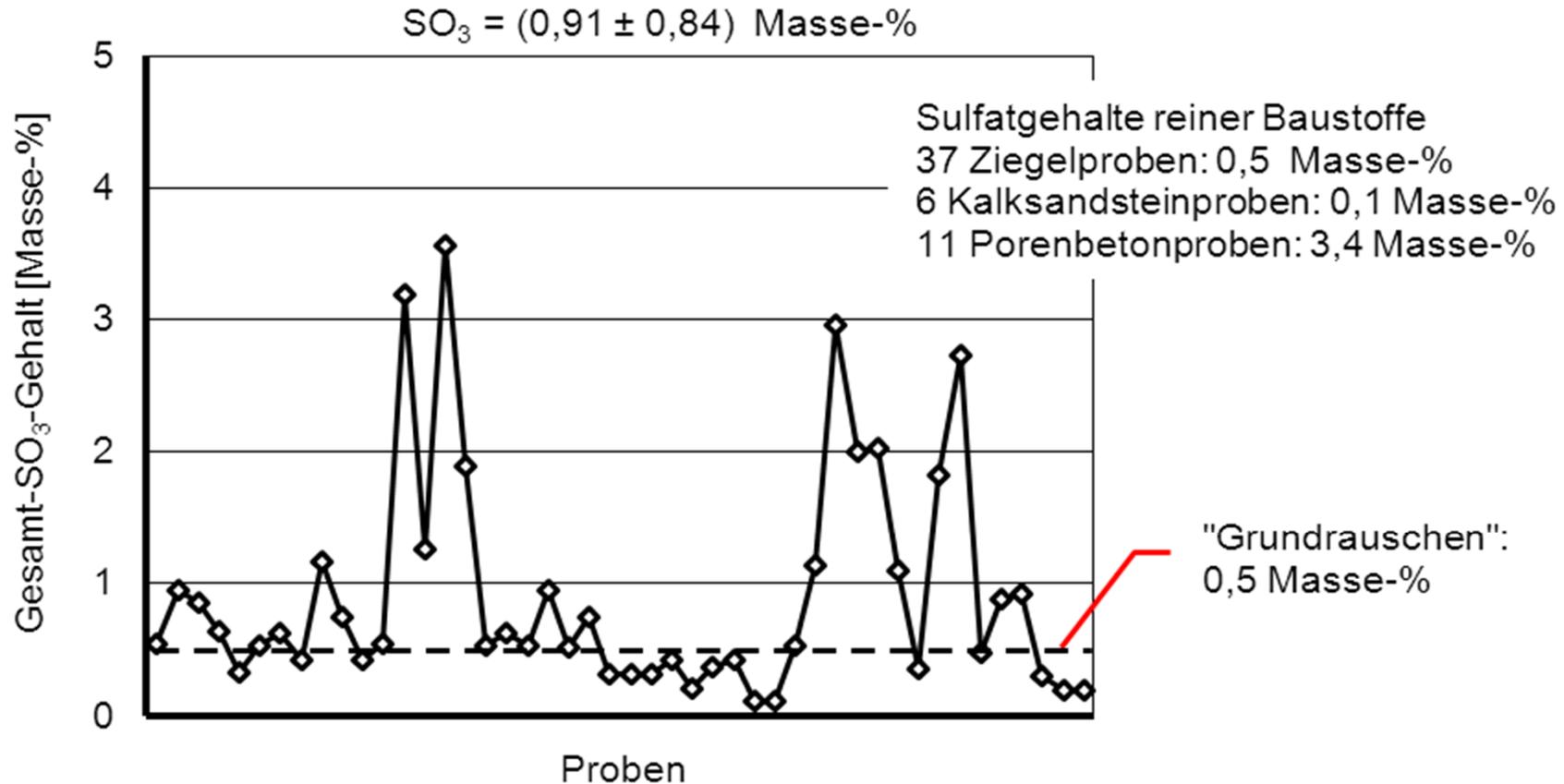
Durchschnittsgebäude und Gebäude mit „Baustofflisten“



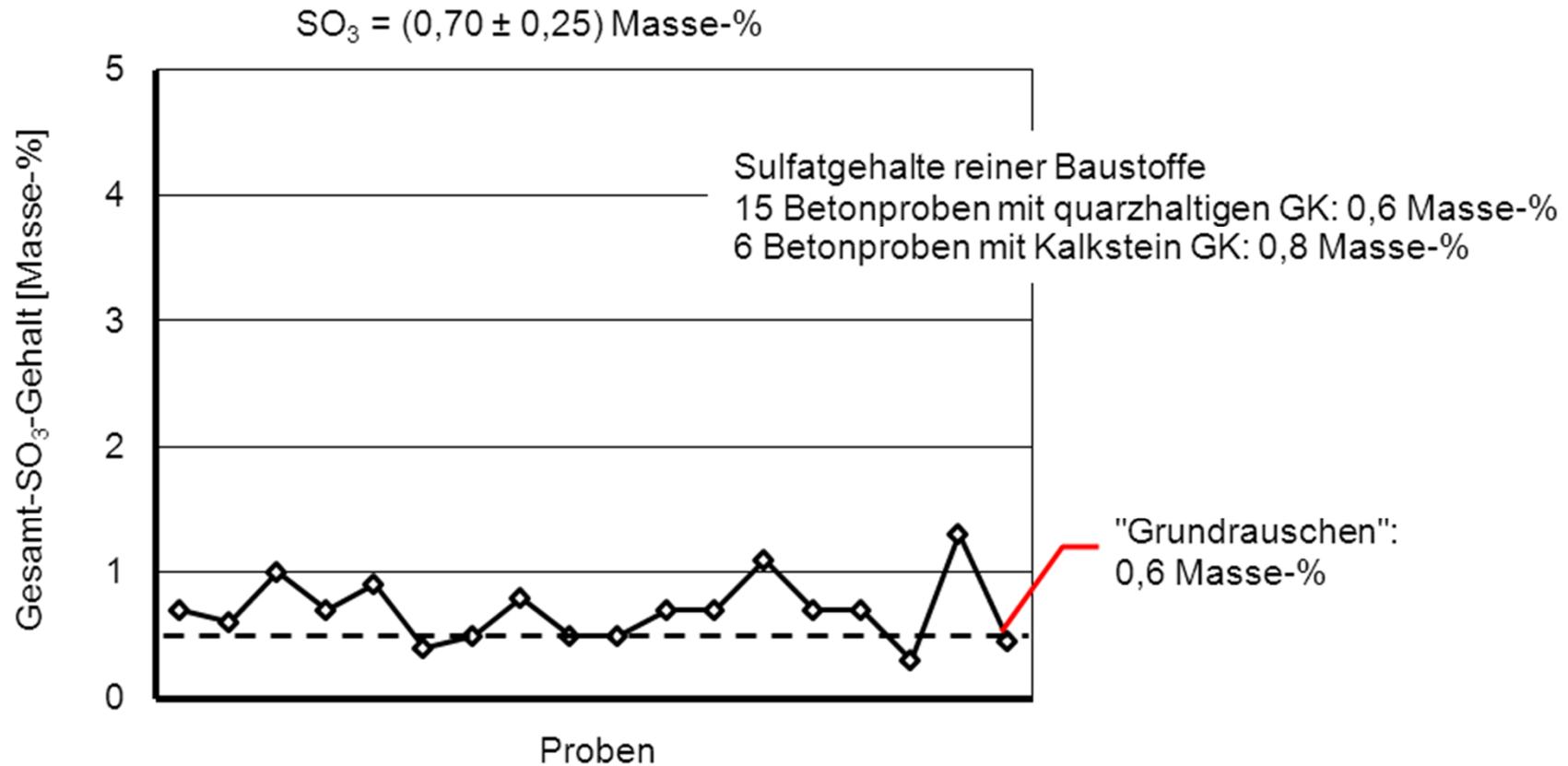
Freistaat Sachsen, 1995
 Hornfeck, Ch. 1996
 Weber-Blaschke, G.;
 Faulstich, M. 2005
 Keilhauer, J.; Stüken, R.
 2012
 Lipsmeier, K. 2004

Chemische Analysen von tatsächlich anfallendem Bauschutt und von Modellwänden

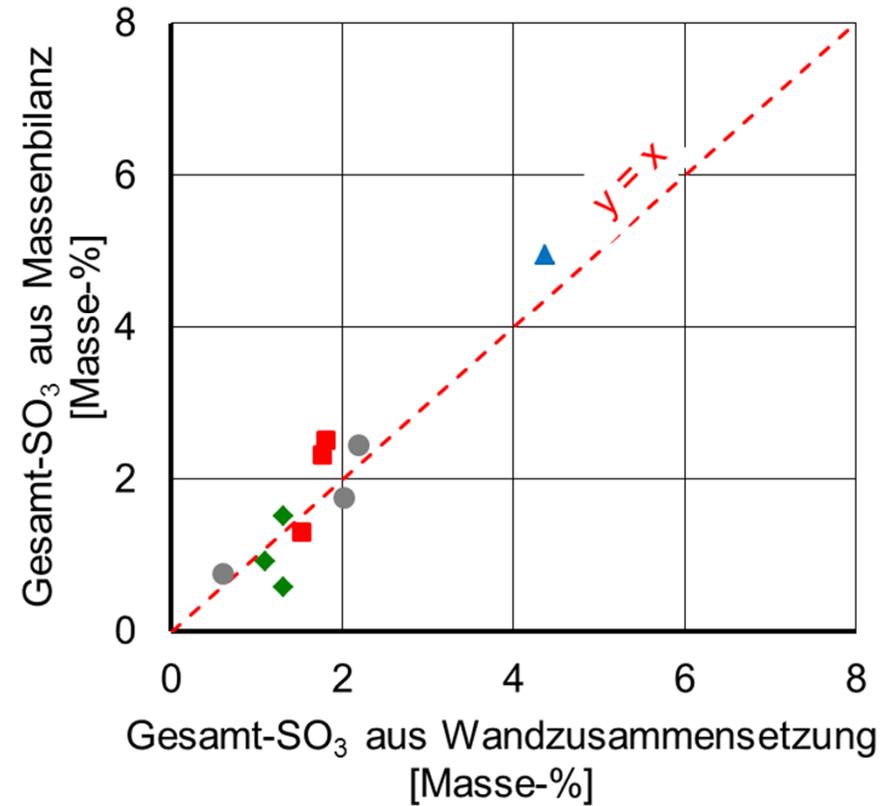
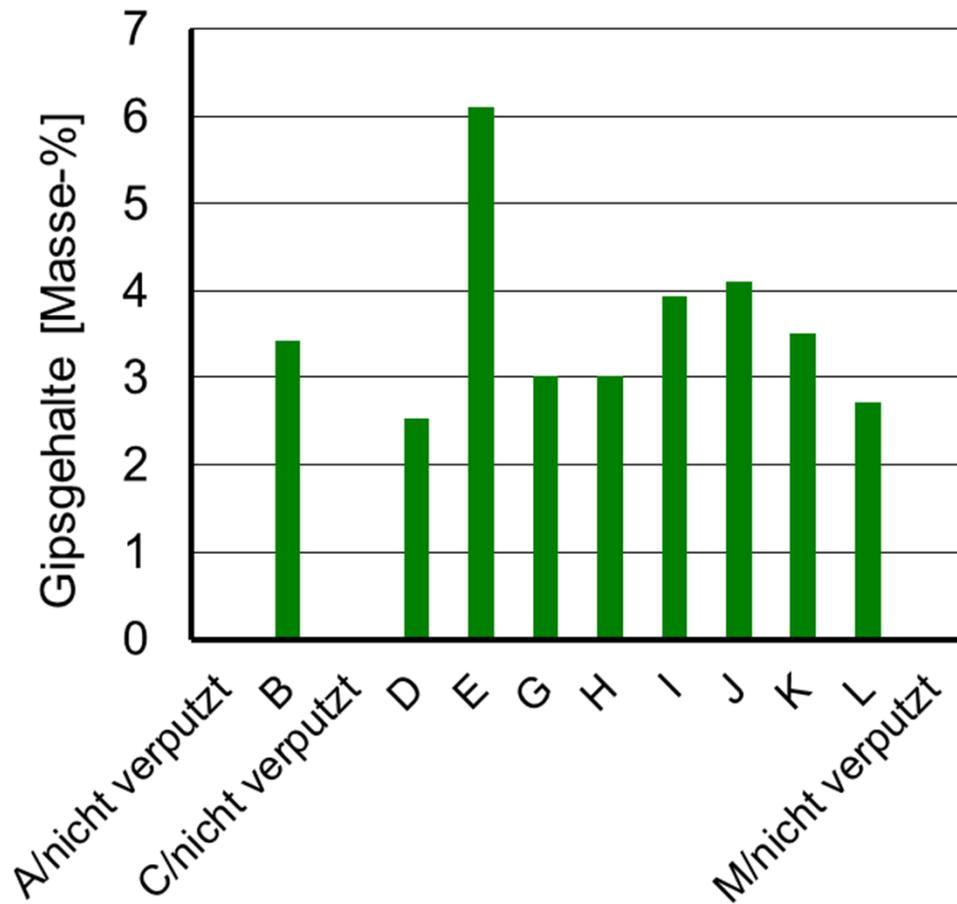
Rezyklate, aufbereitet aus Mauerwerkbruch



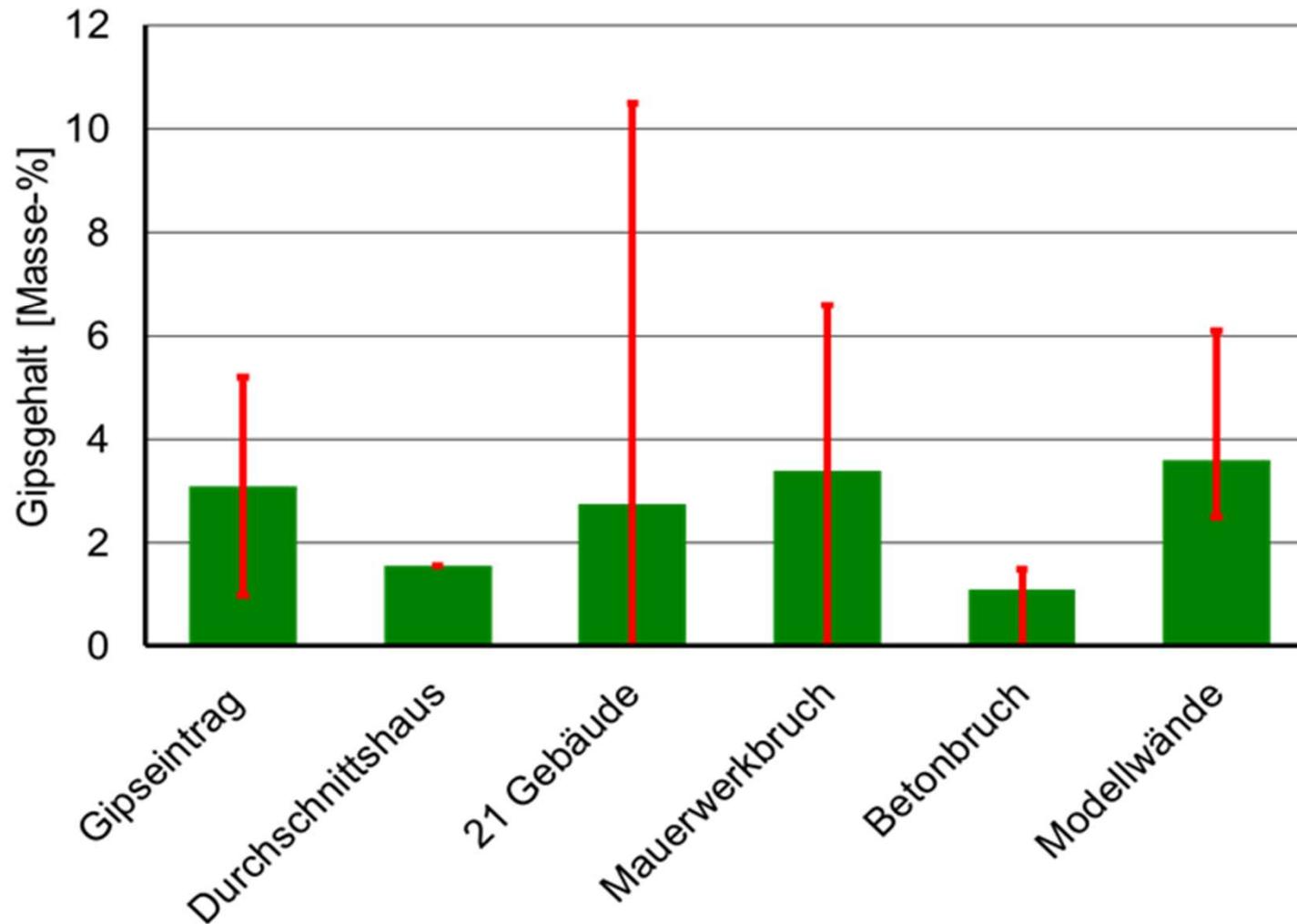
Rezyklate, aufbereitet aus Betonbruch



Modellwände



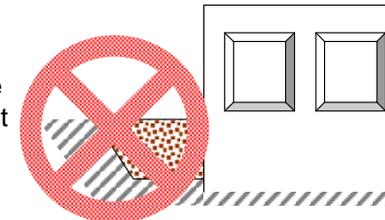
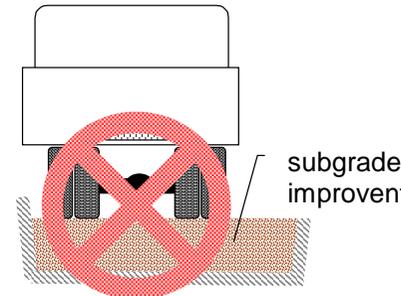
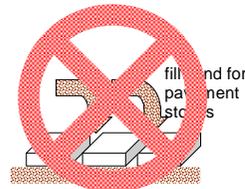
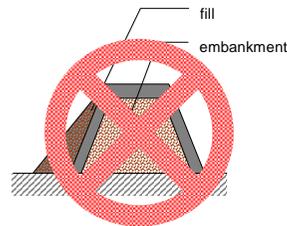
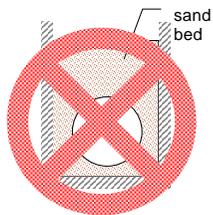
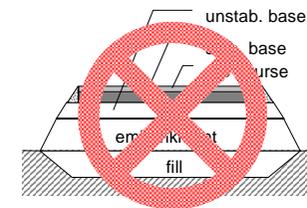
Zusammenfassung der nach verschiedenen Methoden abgeschätzten Gipsgehalte



Verwertungsstrategien für gipshaltige Bauabfälle

Verwendung in ungebundenen Anwendungen nicht möglich, weil

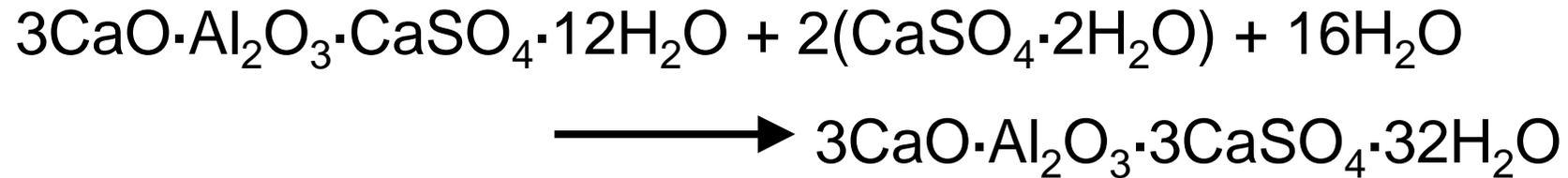
- Sulfationen aus dem Gips ins Grundwasser gelangen können oder
- Reaktionen mit Kalk und Aluminiumoxid zu Treibreaktionen führen können



Verwendung in gebundenen Anwendungen, d.h. im Beton nicht möglich, weil

- Gips zur Störung des Abbindevorgangs des Zements führen kann
- Gips zur Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit durch Treibreaktionen führen kann

Reaktionen von Sulfat in Tragschichten: Ettringitbildung



↓
 aus
 RC-Beton

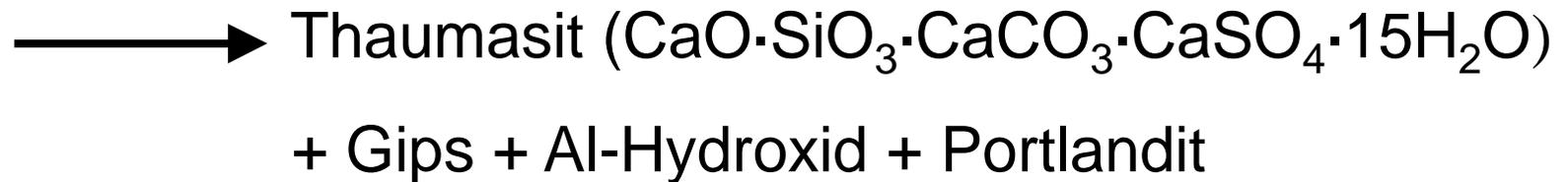
↓
 aus
 RC-Beton
 oder Boden

↓
 aus
 Bauschutt
 oder Boden



Reaktionen von Sulfat in Tragschichten: Thaumasitbildung

Ettringit + C-S-H + Calcit + Wasser



C-S-H + Gips + Calcit + Wasser → Thaumasit + Portlandit

↓
aus
RC-Beton

↓
aus
Bauschutt
oder Boden

↓
aus RC-
Beton oder
Boden

Verlust der
Gefügefestigkeit

Auswirkungen der Ettringitbildung



Fazit: Entwicklungsbedarf in Bezug auf die Verwertung von gipshaltigem Bauschutt

Mögliche Varianten

- Deponierung
- Verdünnung
- Abtrennung durch Demontage vor dem Abbruch oder
- Abtrennung durch Aussortierung aus dem Bauschutt

Deponierung

„Bei der Deponierung von Gipskartonplatten (bzw. allgemein von gipshaltigen Abfällen) gemeinsam mit biologisch abbaubarem Müll (z.B. Karton) kommt es unter anaeroben Bedingungen (ohne Sauerstoffzufuhr) zum Abbau von Sulfat durch sulfatreduzierende Bakterien. Dabei wird das im Gips gebundene Sulfat zu Schwefelwasserstoff abgebaut. Dieses Gas ist toxisch und sehr geruchsintensiv. Die Toxizität und damit die Gefährdung der Gesundheit ist aufgrund der Verdünnung in der Atmosphäre zu vernachlässigbaren, die Geruchsbelästigung (Gestank nach faulen Eiern) kann aber in unmittelbarer Nähe von Deponien massiv werden. Auf Mülldeponien, wo Gips in nicht erheblichen Mengen abgelagert worden ist, wurde eine Konzentration von 1 – 100 ppm gemessen, bei der Ablagerung von Hausmüll gemeinsam mit industriellen Gipsabfällen wurden Konzentrationen von 8.000 – 10.000 ppm gemessen. Daher ist bei der gemeinsamen Ablagerung von biologisch abbaubaren Abfällen und Gips eine verstärkte Bildung von Schwefelwasserstoff zu erwarten.“

Verdünnung

Nicht zulässig

Abtrennung durch Demontage vor dem Abbruch

Für Gipskartonplatten gangbarer Weg
Gipsestriche und Gipsputze:
Entfernen mit handgeführten Werkzeugen

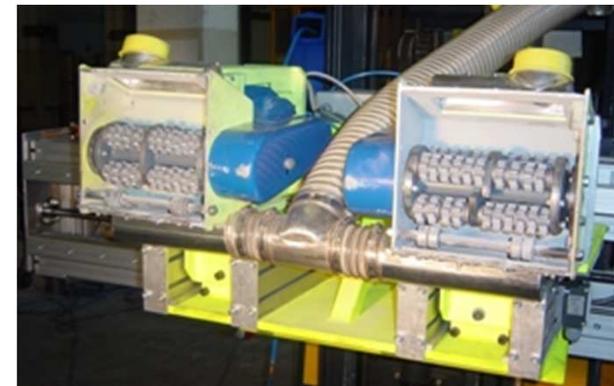
Gipsestriche:

Verbundestrich	-
schwimmender Estrich	+
Trockenestrich	+

Gipsputze	-
-----------	---

Mögliche Alternative: Abfräsen
mit „Wandshaver“, entwickelt für
die Oberflächendekontamination
beim Rückbau von KKW

Quelle: Zeiher, Dissertation, Institut für Technologie
und Management im Baubetrieb,
Universität Karlsruhe (TH), 2009.



Abtrennung durch Aussortierung aus dem Bauschutt

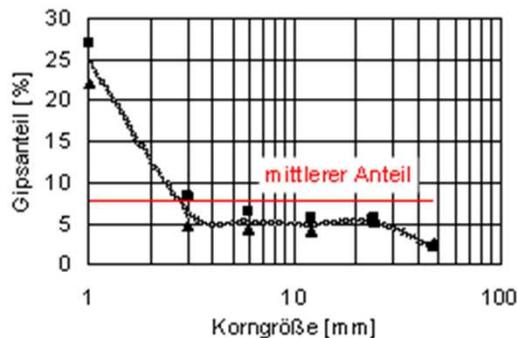
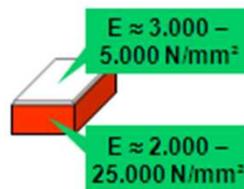
Voraussetzung: Materialverbund muss durch Zerkleinerung aufgehoben werden, siehe Betonvorlesung

Exkurs: Aufschluss von Materialverbunden

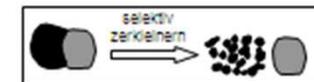
Bestätigung durch Zerkleinerungsversuche an (festen) Ziegeln mit Gipsputzen:

Gipsanteil in den Fraktionen des Brechproduktes aus dem Prallbrecher

Ziegel mit 20 mm Gipsputz



Aufschluß bei selektiver Zerkleinerung



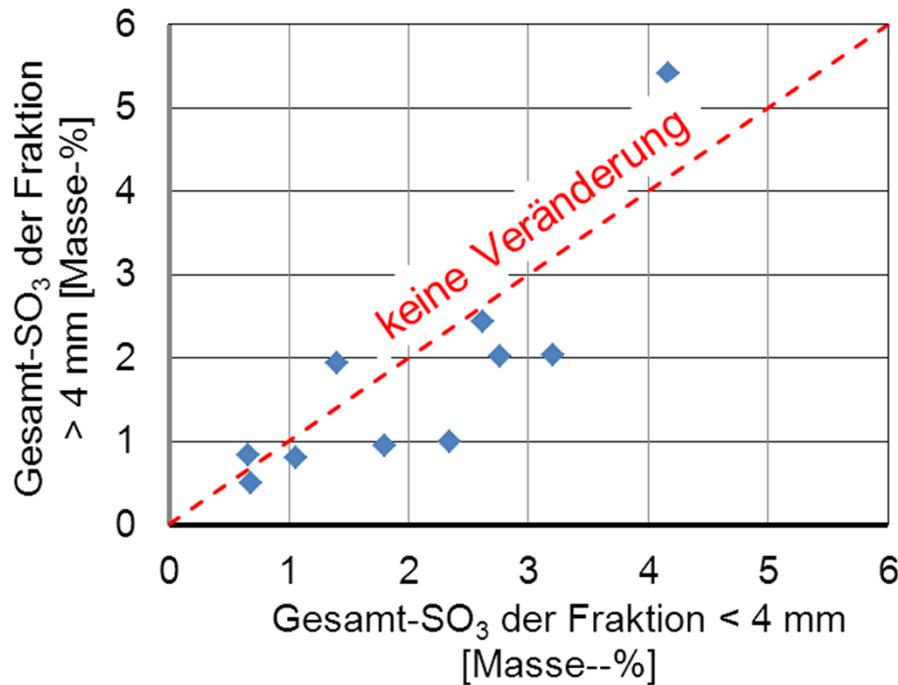
$$\text{Aufschlussgrad} \sim 1 - \frac{\text{Zerkleinerungswiderstand Komponente 1}}{\text{Zerkleinerungswiderstand Komponente 2}}$$

Zerkleinerungswiderstand
 Komponente 1 \ll Komponente 2

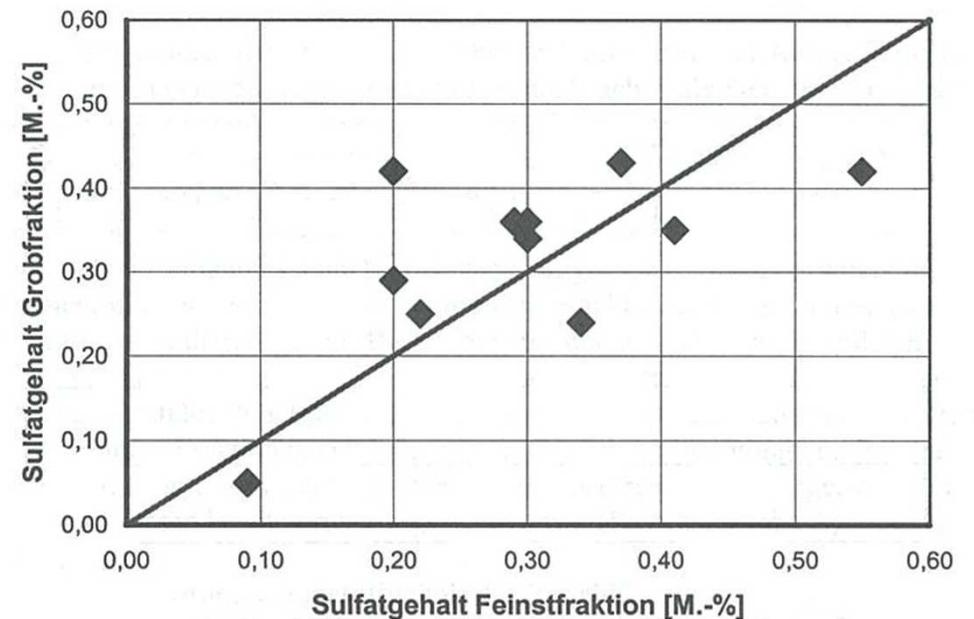
Hoher Aufschlussgrad bei Materialien mit großen Unterschieden im E-Modul und in der Festigkeit.

Ergebnisse zur Anreicherung von Gips in der Sandfraktion

Modellwände



Praxisbetone



Geeignete Sortierverfahren

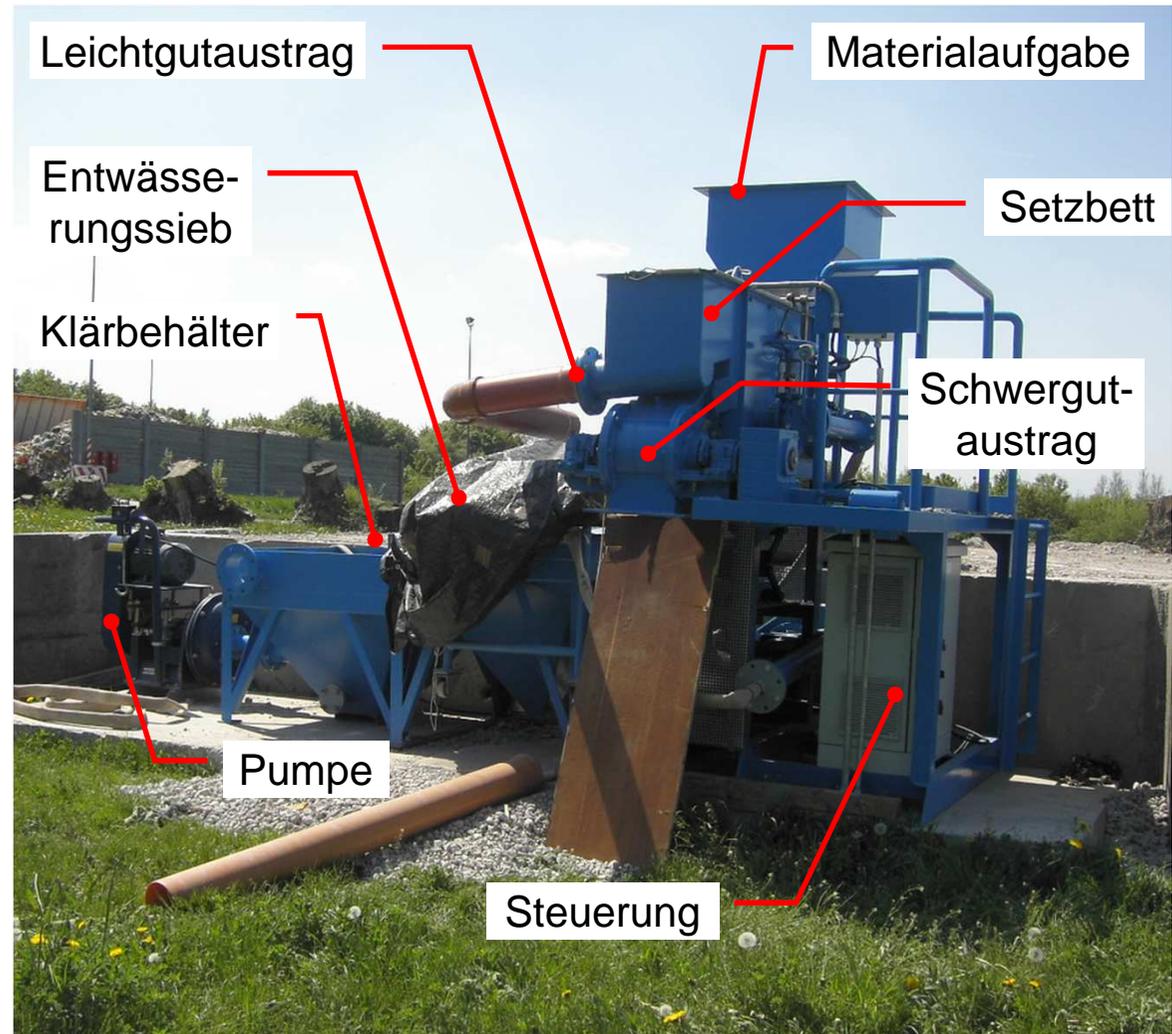
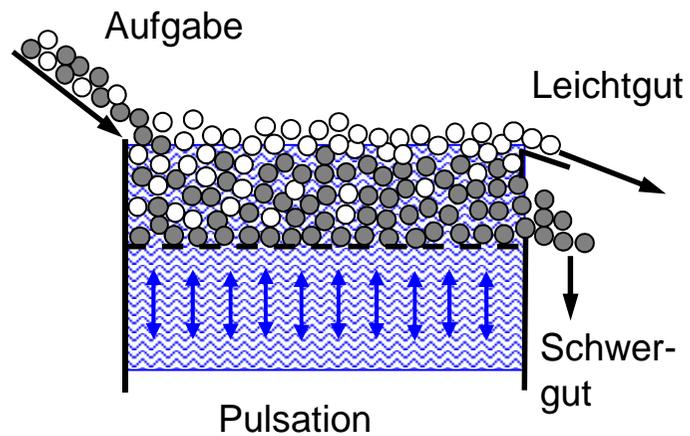
- Nasse Sortierverfahren wie Setzsortierung
- Sensorgestützte Verfahren

Exkurs: Sortierverfahren

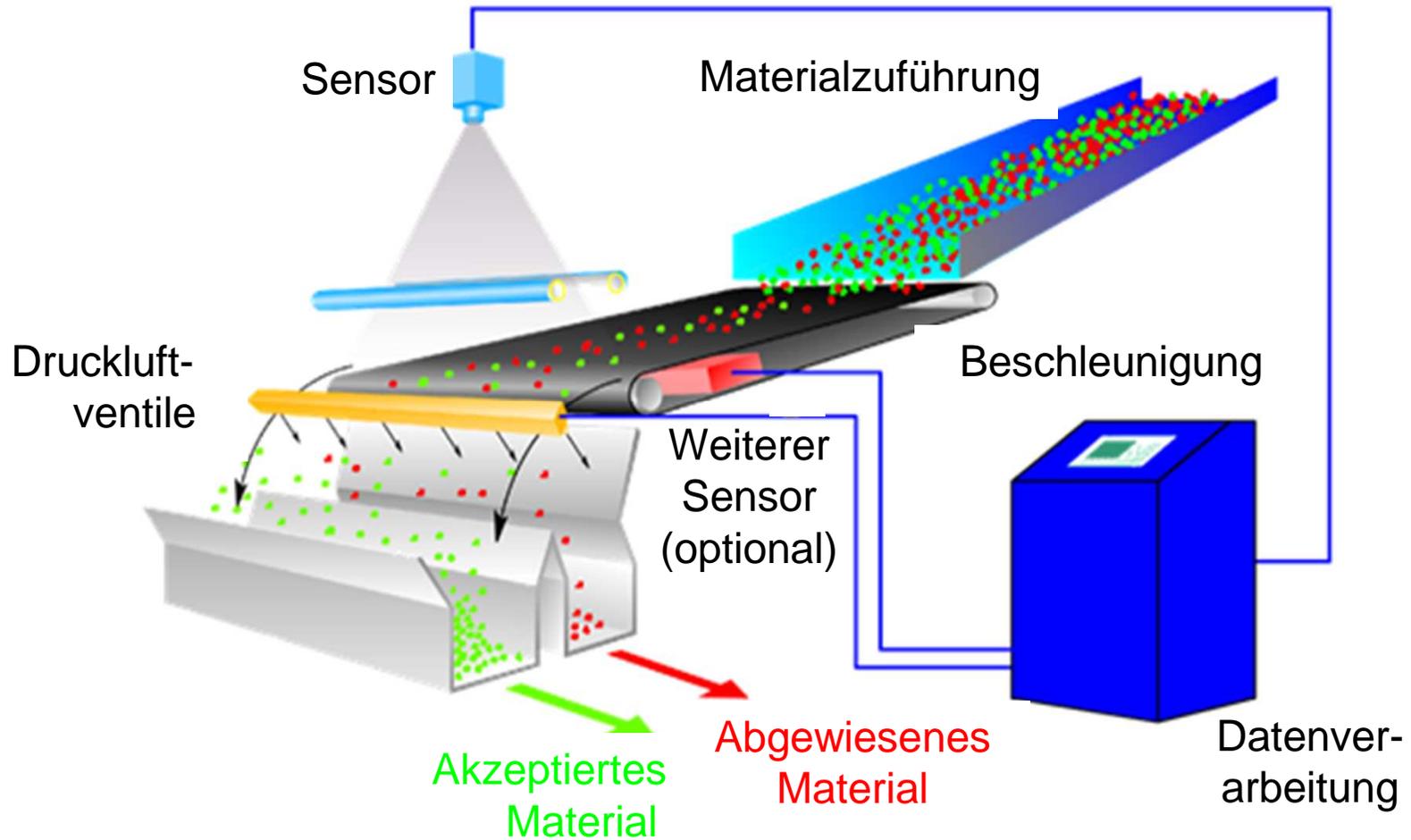
(Sortier)-Merkmale verschiedener Bestandteile von RC-Baustoffen

	Korngröße (Anreicherung im...)	Kornform	Farbe	Trockenrohichte [kg/m³]
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, haufwerksponiger Beton				
Mörtel, Putz				
Poröse Schlacke				
Bims				
Mineralische Dämmstoffe	k.A.	plattig	variabel	150
Extrudiertes Polystyrol	k.A.	plattig	weiss	30

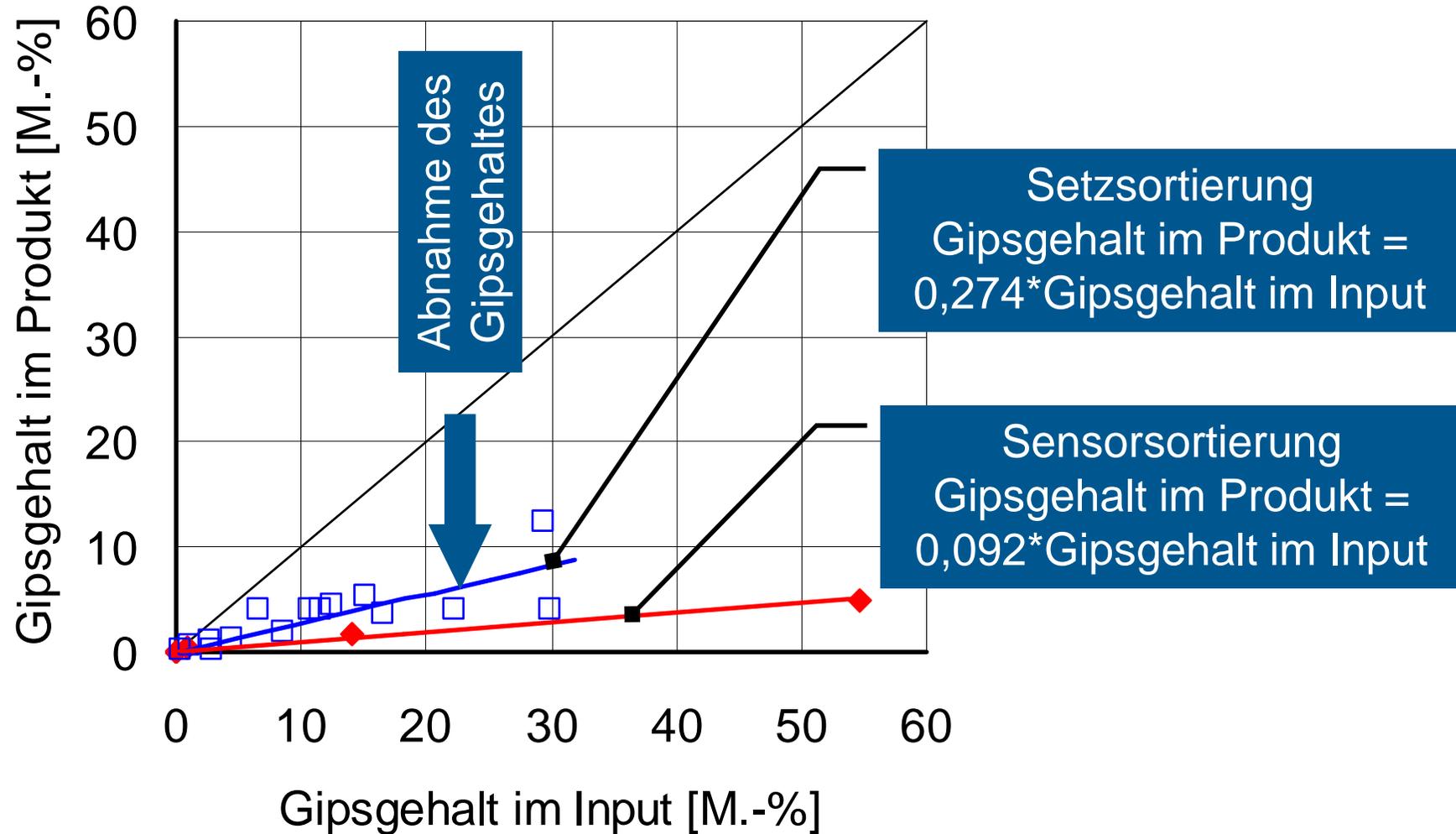
Sortierung mittels nasser Verfahren: Setzmaschine



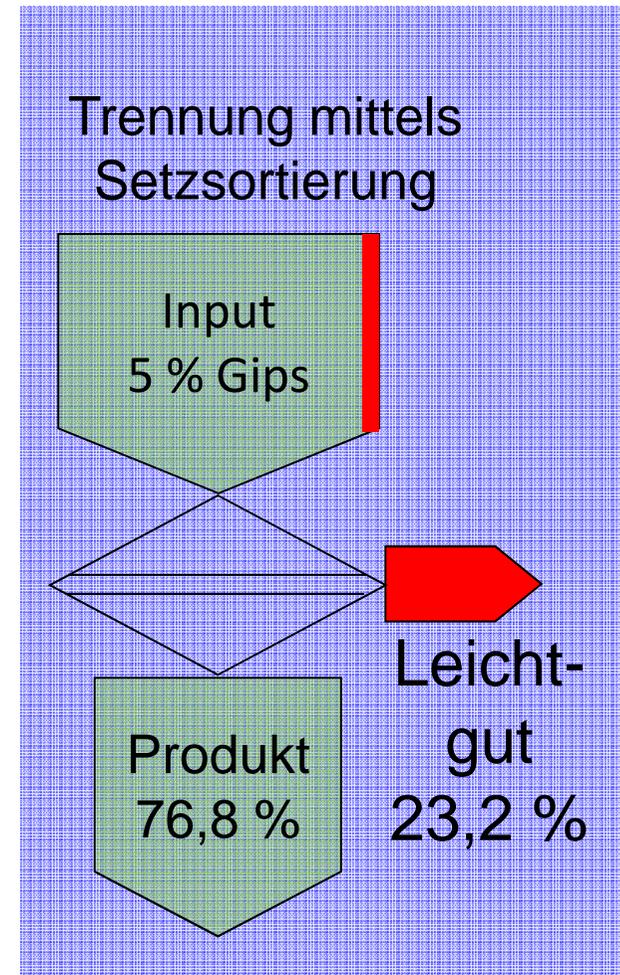
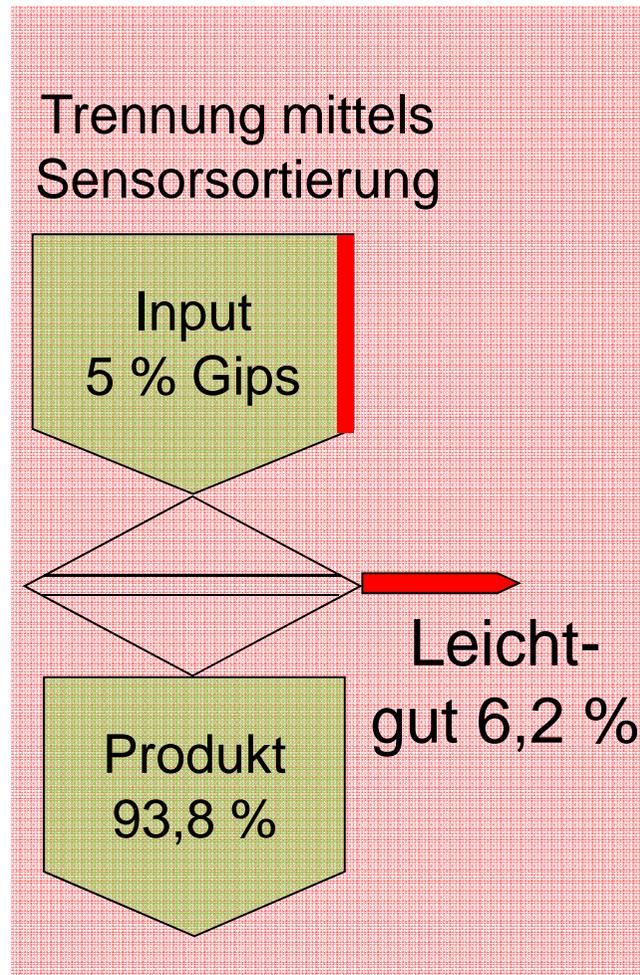
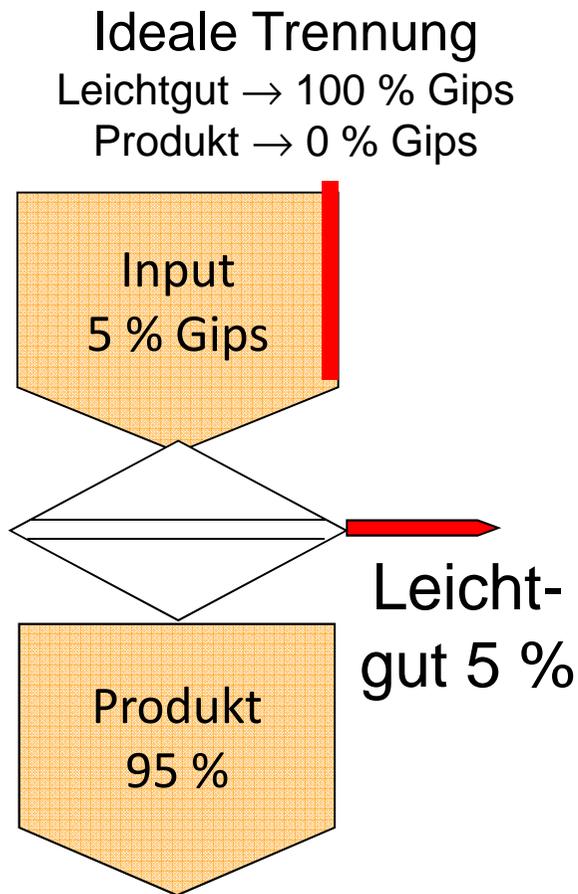
Sensorgestützte Sortierung



Vergleich des Gehalts an Gipspartikeln im Produkt



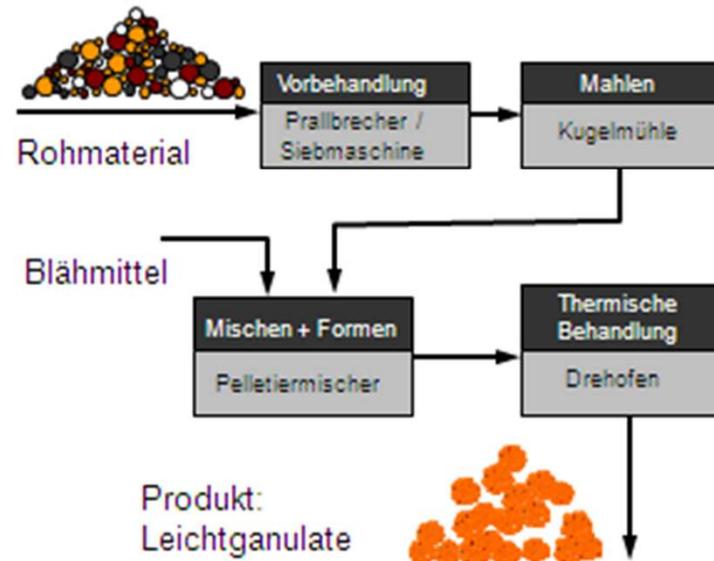
Vergleich der Effektivität der Sortiertechniken bei einem Gehalt an Gipspartikel von 5 % im Aufgabematerial



Abtrennung mittels thermischen Verfahrens

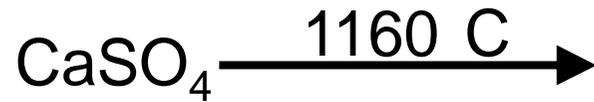
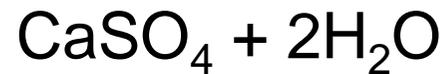
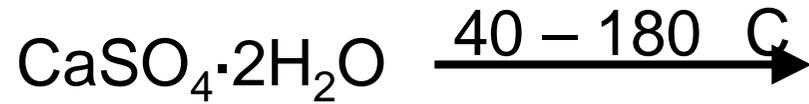
Verfahren zur Herstellung leichter Gesteinskörnungen aus Mauerwerkbruch

Herstellungsprozess

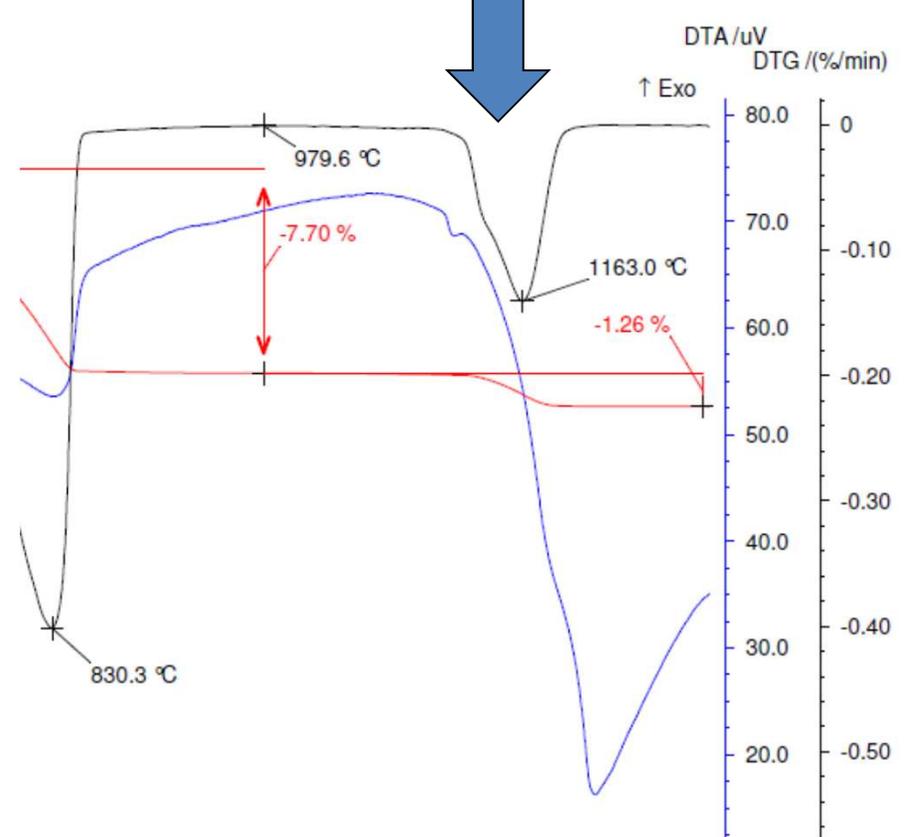


Vorlesung D/Gips

Thermische Zersetzung des Gipses



Zersetzungstemperatur
 1163 C



Brenntemperatur Aufbaurkörnungen
 1150 - 1180 C

- Gips ist gut rezyklierbar, wenn sortenrein
- Gips wird zunehmend eingesetzt
- Gipsgehalte in Bauwerken zwischen 0 und 10,5 Masse-%
- Gips in RC-Tragschichtmaterial kann zu Treiberscheinungen und Entfestigungen führen – wenn die benötigten Reaktionspartner zur Verfügung stehen
- Gipsabtrennung durch Nass- oder Sensorsortierung in gewissem Umfang möglich
- Wirkungsvollste Methode:
thermische Zersetzung und Rückgewinnung als REA-Gips im Zuge der Herstellung von Aufbaukörnungen