

Ressourceneffizienz durch Recycling in der Bauwirtschaft

Prof. Dr.-Ing. habil. A. Müller, **Dipl-Ing. S. Liebezeit**,
Dr.-Ing. Barbara Leydolph, Dr.-Ing. U. Palzer

Bau- und Abbruchabfälle als mengenmäßig dominierende Abfallart in Deutschland 2018/19: 89 Mio. Tonnen

Bau- und Abbruchabfälle
22 %, 89 Mio. t

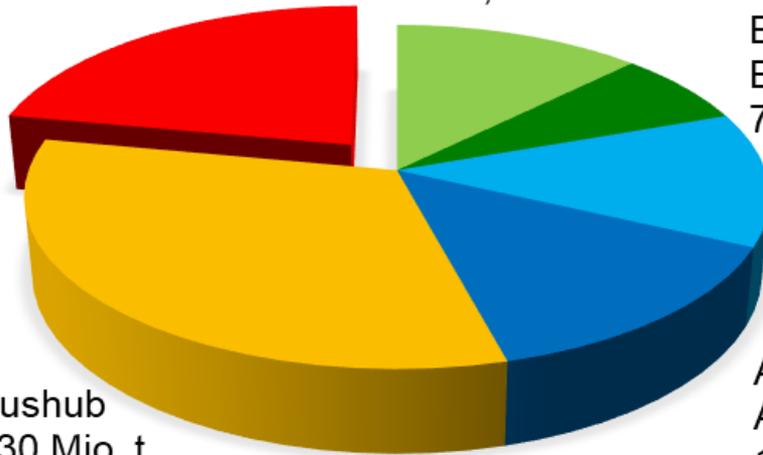
Siedlungsabfälle
13 %, 51 Mio.t

Abfälle aus
Gewinnung und
Behandlung von
Bodenschätzen
7 %, 28 Mio.t

Abfälle aus Produktion und
Gewerbe 13 %, 51 Mio. t

Bodenaushub
32 %, 130 Mio. t

Abfälle aus
Abfallbehandlungsanlagen
14 %, 56 Mio. t



„Technisch geregelte“ Verwertungswege für folgende Bestandteile von Bau- und Abbruchabfällen

- Asphaltstraßenaufbruch:
Deck-, Binder- und Tragschichten in Asphaltstraßen
- Betonbruch:
Frostschutz- und Schottertragschichten sowie R-Beton
- Ziegelbruch:
Dachbegrünungsmaterial
- Rückgebaute Gipskartonplatten:
Rohstoff für die erneute Gipsherstellung



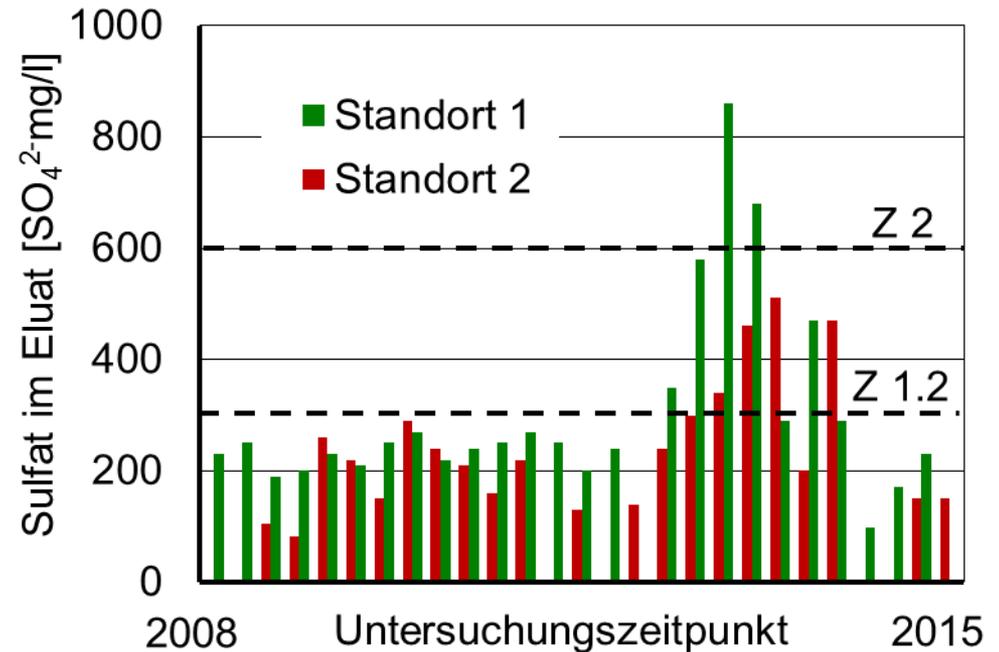
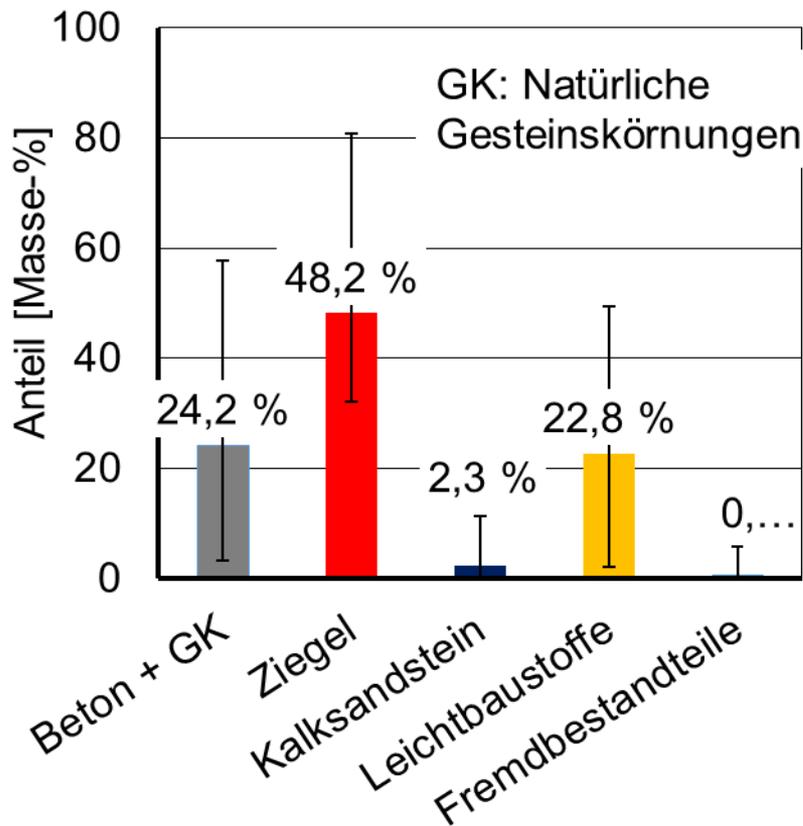


Mauerwerkbruch

Merkmale

Stark schwankende
Materialzusammensetzung

Teilweise hohe Sulfatkonzentration
im Eluat als Folge der Verwendung
von Gipsbaustoffen



Verbleib

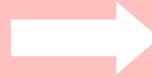
- Ablagerung auf „Zwischenlagern“
- Verfüllen von Hohlräumen und Abgrabungen
- Befestigung von Wegen
- Deponierung



Von Bundesarchiv, Bild 183-L0207-0334 / CC-BY-SA 3.0, CC BY-SA 3.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5365468>

Unterscheidung zwischen zwei Verwertungsarten

Werkstoffliche Verwertung



Verwertung unter Nutzung der mechanischen Eigenschaften ohne Veränderung der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung.



Rohstoffliche Verwertung



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

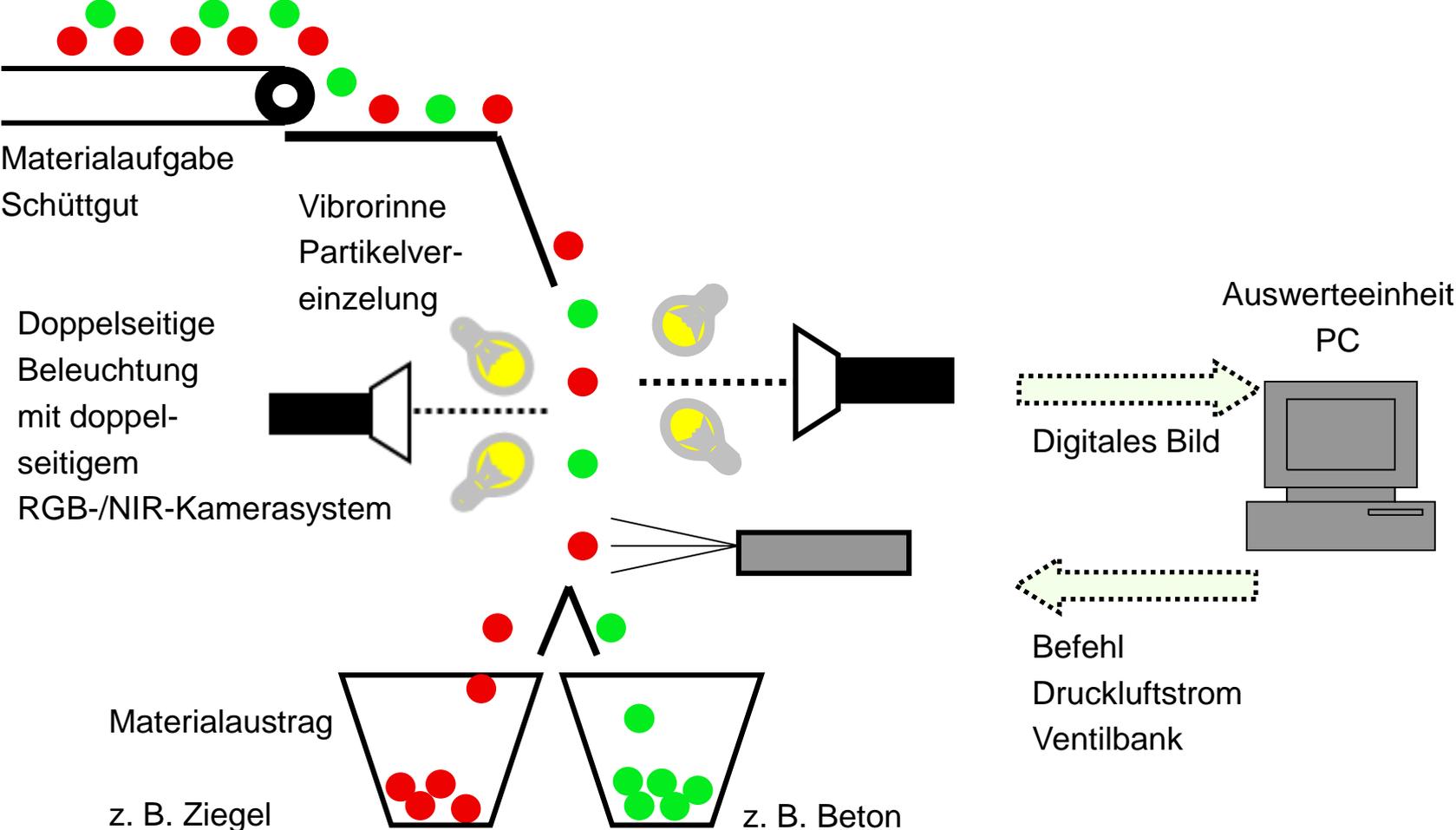


➔ Sortierung des Mauerwerkbruchs nach Baustoffarten erforderlich



Freifallsortieranlage mit doppelter Detektion: NIR + Farbkamera

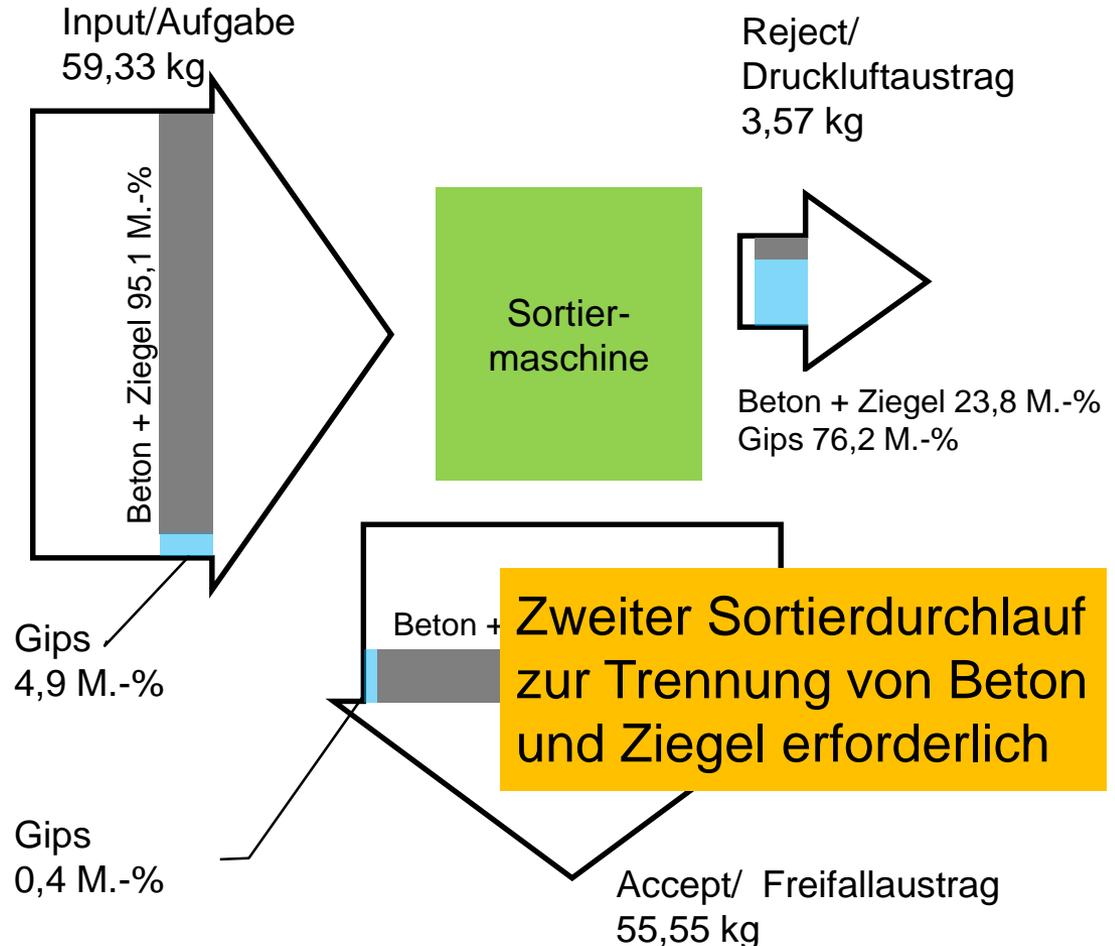
Funktionsprinzip Freifallsortierer



Beispiel: Austrag von Gips als Störstoff aus Beton-Ziegelgemisch

Sortierergebnis

Druckluftaustrag (Gips als Störstoff) Freifallaustrag (Ziegel & Beton)



➔ Mauerwerkbruch als Rohstoff für leichte Gesteinskörnungen

Definition LGK: Natürliche oder synthetische Materialien mit Rohdichten $< 2000 \text{ kg/m}^3$ [DIN EN 13055]

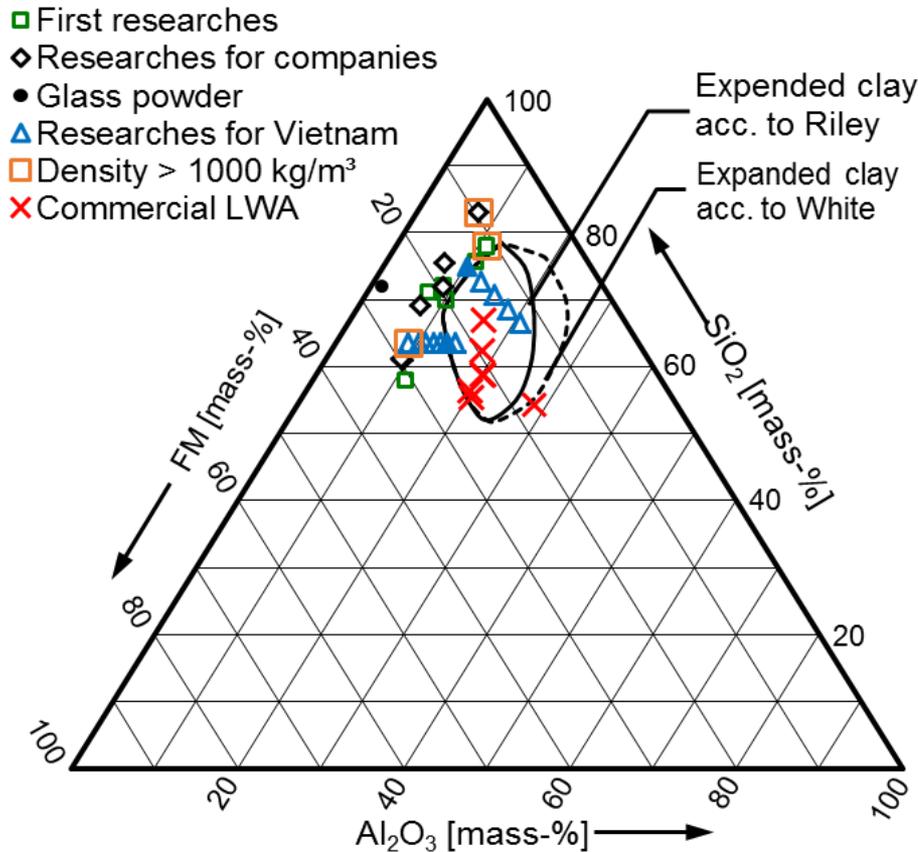
Unterscheidung folgender Typen:

- Natürliche leichte Gesteinskörnungen wie Bims, Tuff, Vermiculit
- Synthetische leichte Gesteinskörnungen, hergestellt aus natürlichen Rohstoffen wie Perlit, Ton oder Schiefer
- Synthetische leichte Gesteinskörnungen, hergestellt aus alternativen Rohmaterialien, meist Rückständen oder Abfällen

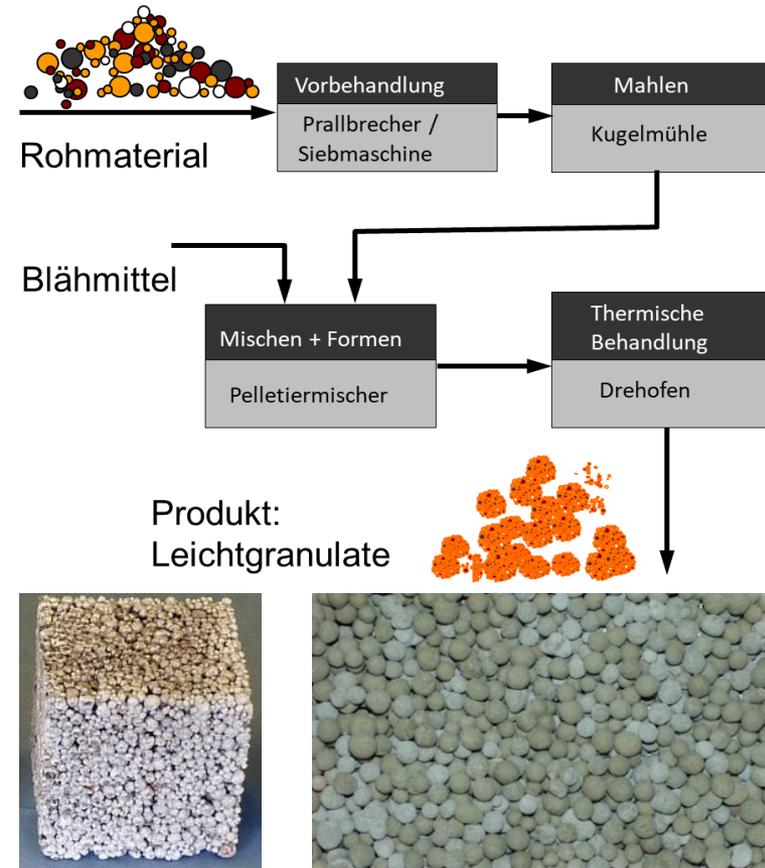


Ersatz von Ton durch Ziegel- bzw. Mauerwerkbruch bei der Erzeugung von leichten Gesteinskörnungen möglich

Dreistoffdiagramm

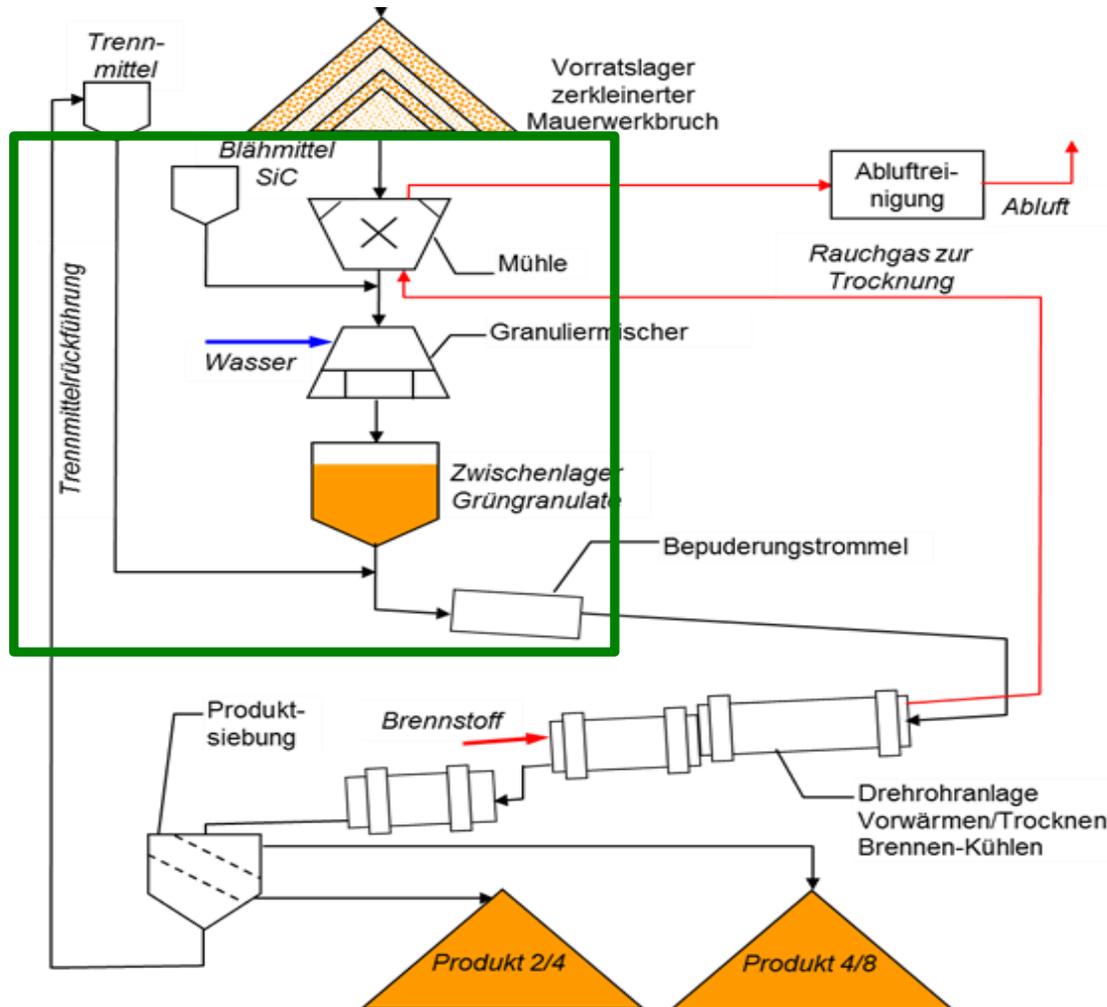


Verfahrenschema

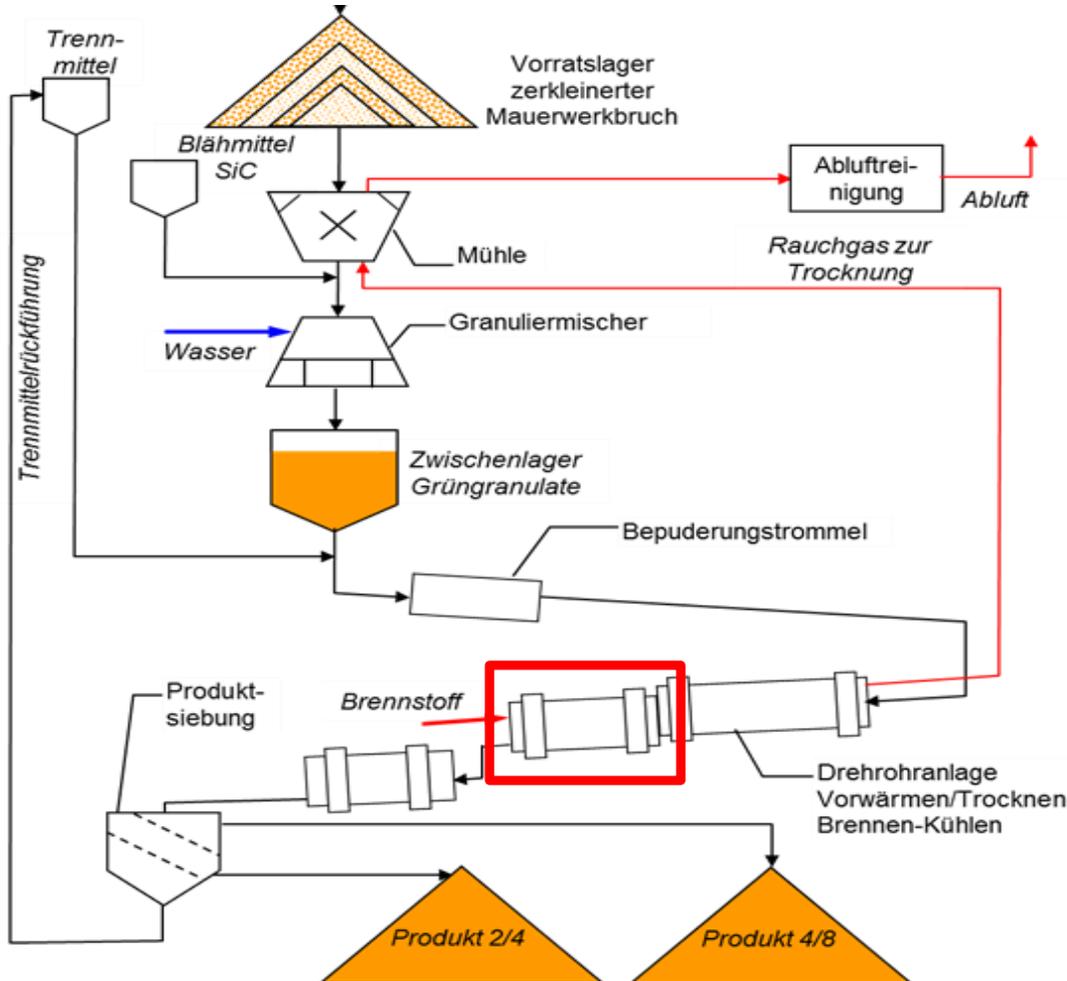


- Chemische Zusammensetzung ist ausschlaggebend für die Eignung eines mineralischen Materials für die Herstellung von geblähten Produkten in einem thermischen Verfahren
- Mineralogische Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ist von untergeordneter Bedeutung, weil die ursprünglichen Mineralphasen im thermischen Prozess – in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung und der Brenntemperatur – (sowieso) umgewandelt werden
- Zusatz eines Blähmittels erforderlich, welches sich im Temperaturbereich der Schmelzphasenbildung unter Entstehung von Gasphasen zersetzt
- Brennbedingungen: Temperaturen zwischen 1000 und 1200 °C, Haltezeiten in diesem Temperaturbereich ca. 10 min

Rohstoffvorbereitung



Thermische Behandlung



Drehrohrföfen

Länge: 6,00 m

Innendurchmesser: 0,60 m

Feuerfestauskleidung 0,15 m

Neigung: 0,5° / 1° / 2° / 3°

Umdrehungsgeschwindigkeit:

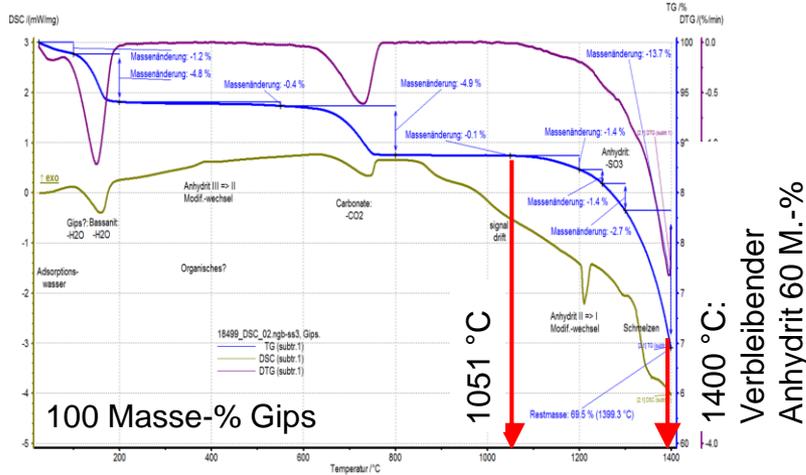
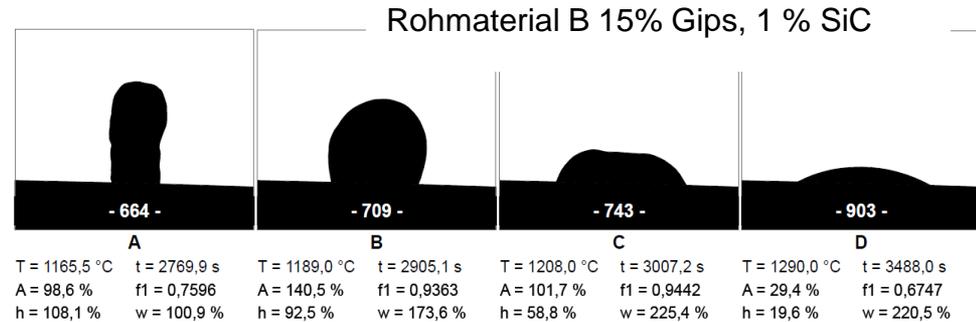
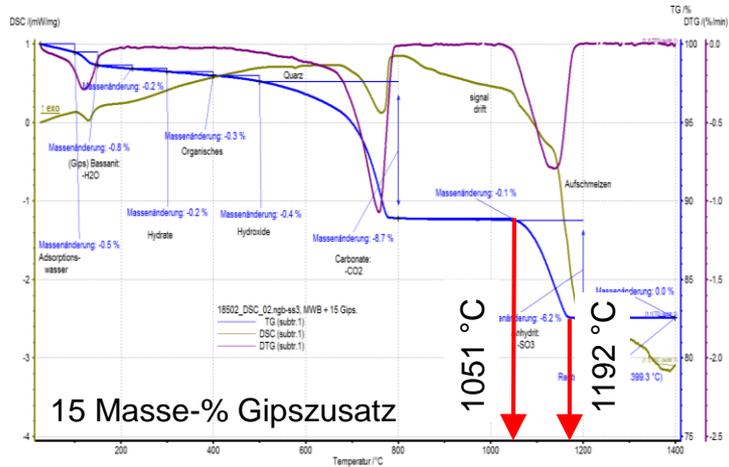
0,3 – 3,0 U/min

Gasbeheizt: 50 bis max. 500 kW

Temperaturbereich: 500 – 1250 °C

Maximaltemperatur: 1500 °C

Gipshaltiger Mauerwerkbruch verwertbar, weil der Temperaturbereich der CaSO_4 -Zersetzung unter dem des Blähens liegt



	Temperatur [°C]	
	Zersetzungs- bereich	Sphärisch- temperatur
Rohmaterial + 15 M.-% Gips	1051-1192	1189

Untersuchte Ausgangsstoffe

Versuchsserie C



„Casa“ Musterwand
mit Gipsputz



Betonbruch



Dachziegelbruch



+ Gipsputz

Versuchsserie D



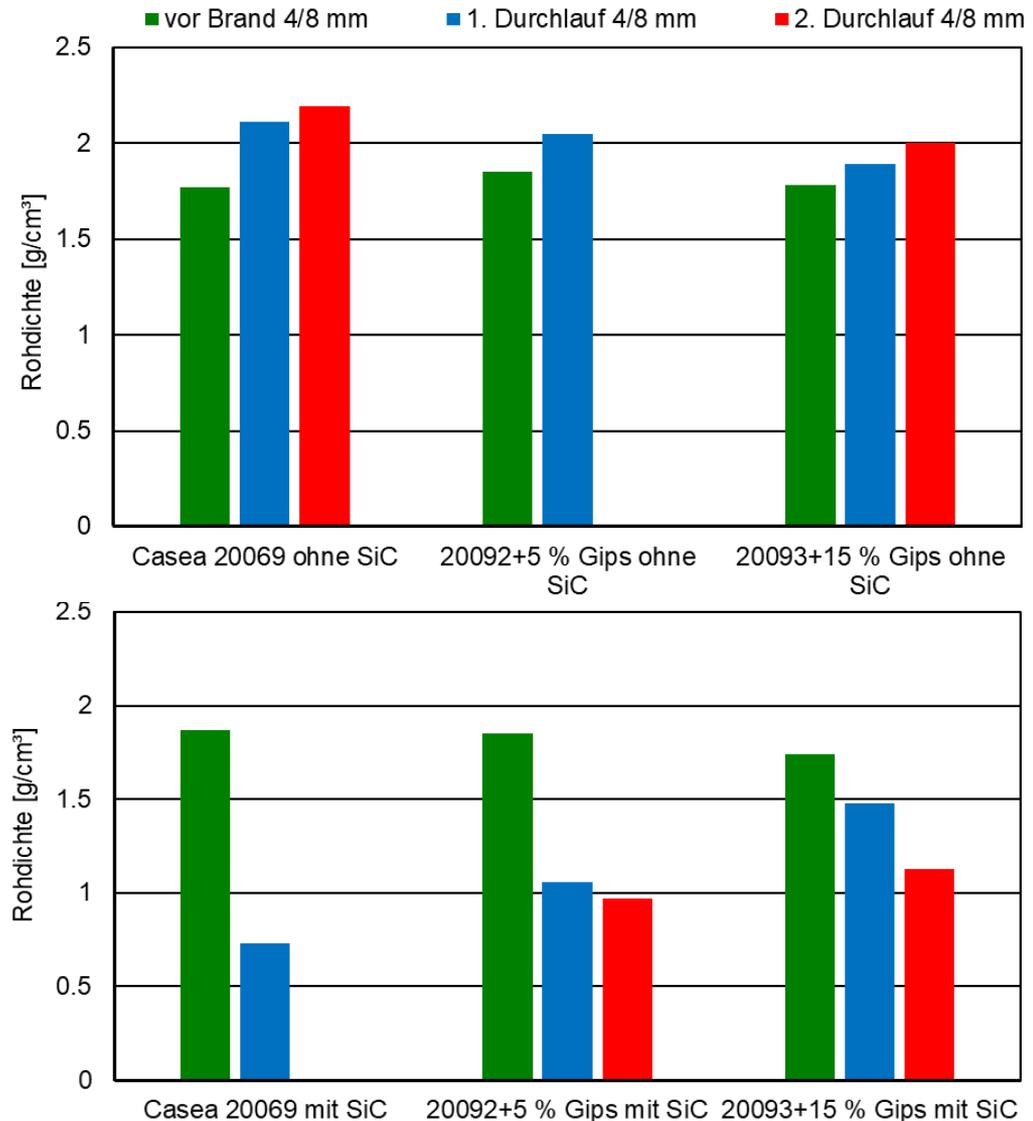
Mit Miwo gefüllte Ziegel



Mit Perlit gefüllte Ziegel
+ Gipsputz wie links

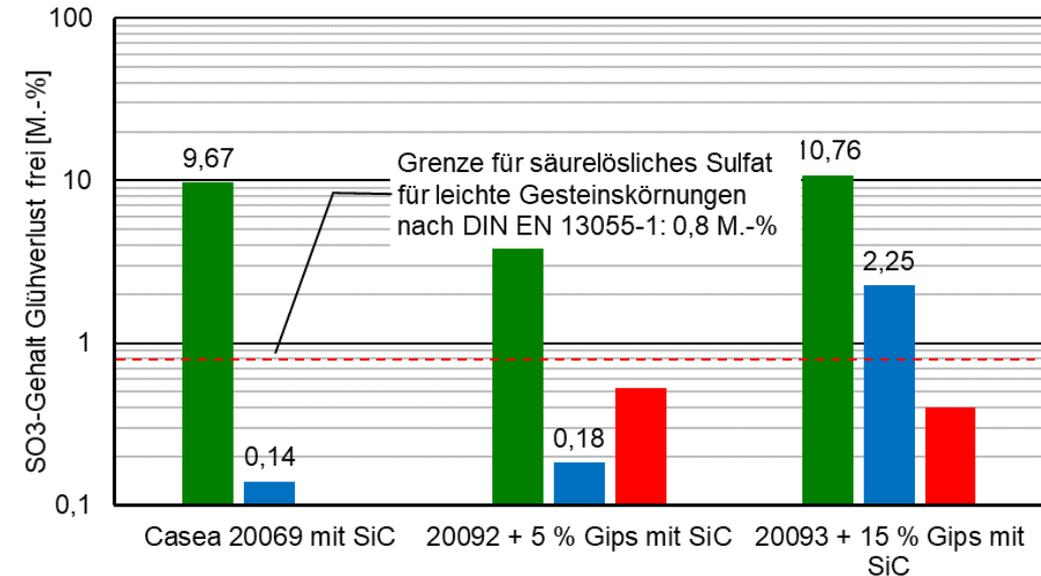
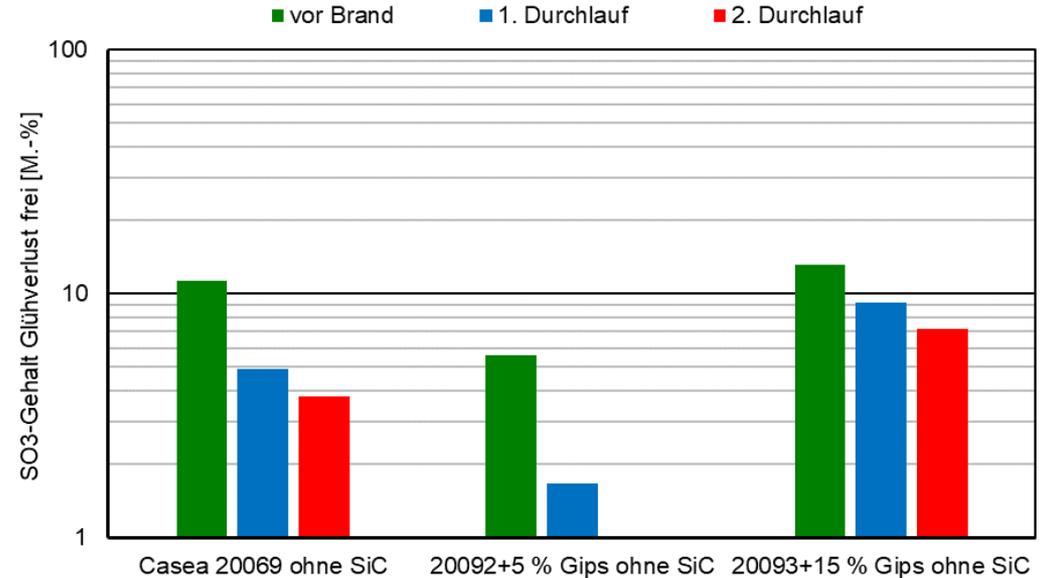
Rohdichten der im Drehrohrföfen gebrannten leichten Gesteinskörnungen der Serie C

- Rohdichten ohne SiC-Dotierung > 1,5 g/cm³
- Mit zunehmender Brenndauer ansteigend
- Rohdichten mit SiC-Dotierung von 0,7 g/cm³ bis 1,5 g/cm³
- Zunahme des Gipsgehalts führt zu Anstieg der Rohdichte
- Überprüfen: Folge der nicht ausreichenden Verweilzeit im Drehrohrföfen?



Sulfatgehalte der im Drehrohrföfen gebrannten leichten Gesteinskörnungen der Serie C

- Rest-SO₃-Gehalte ohne SiC-Dotierung > Rest-SO₃-Gehalte mit SiC-Dotierung
- Rest-SO₃-Gehalte bei Dotierung deutlich unter 0,8 Masse-%

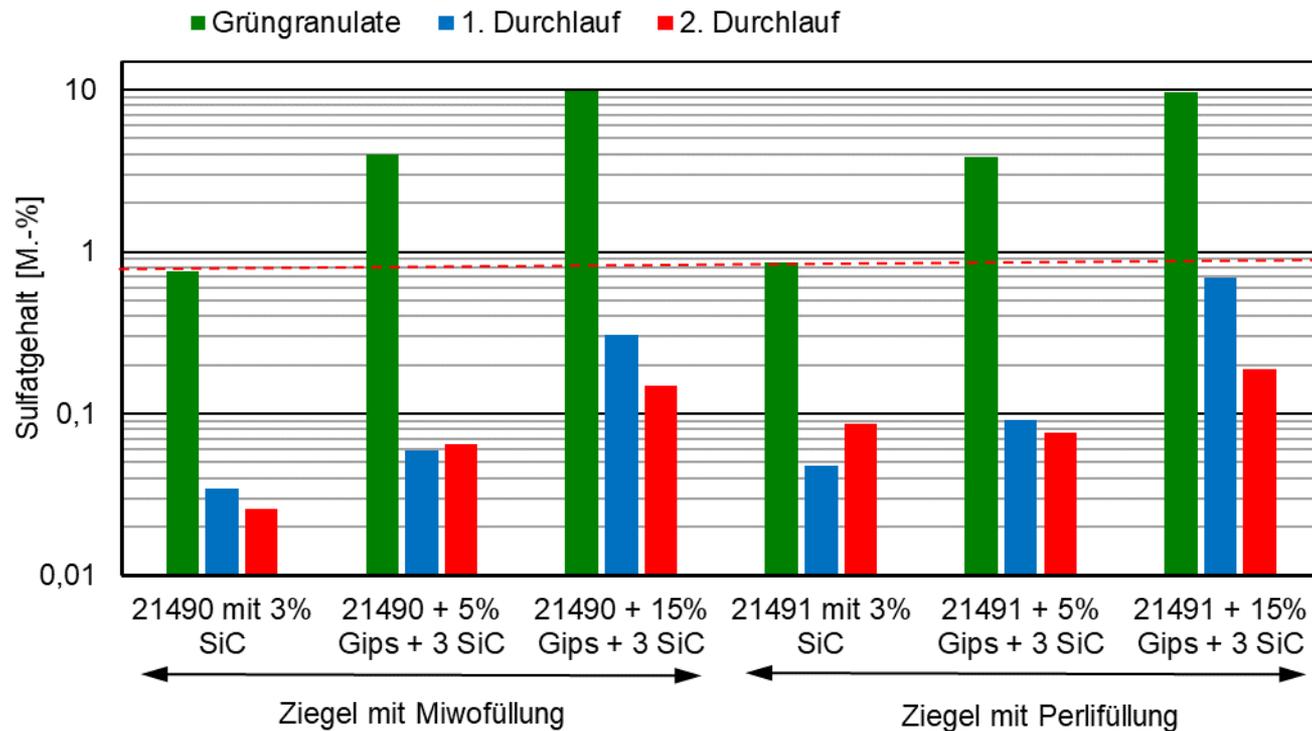


Eluatwerte der Drehrohrofen gebrannten leichten Gesteinskörnungen der Serie C

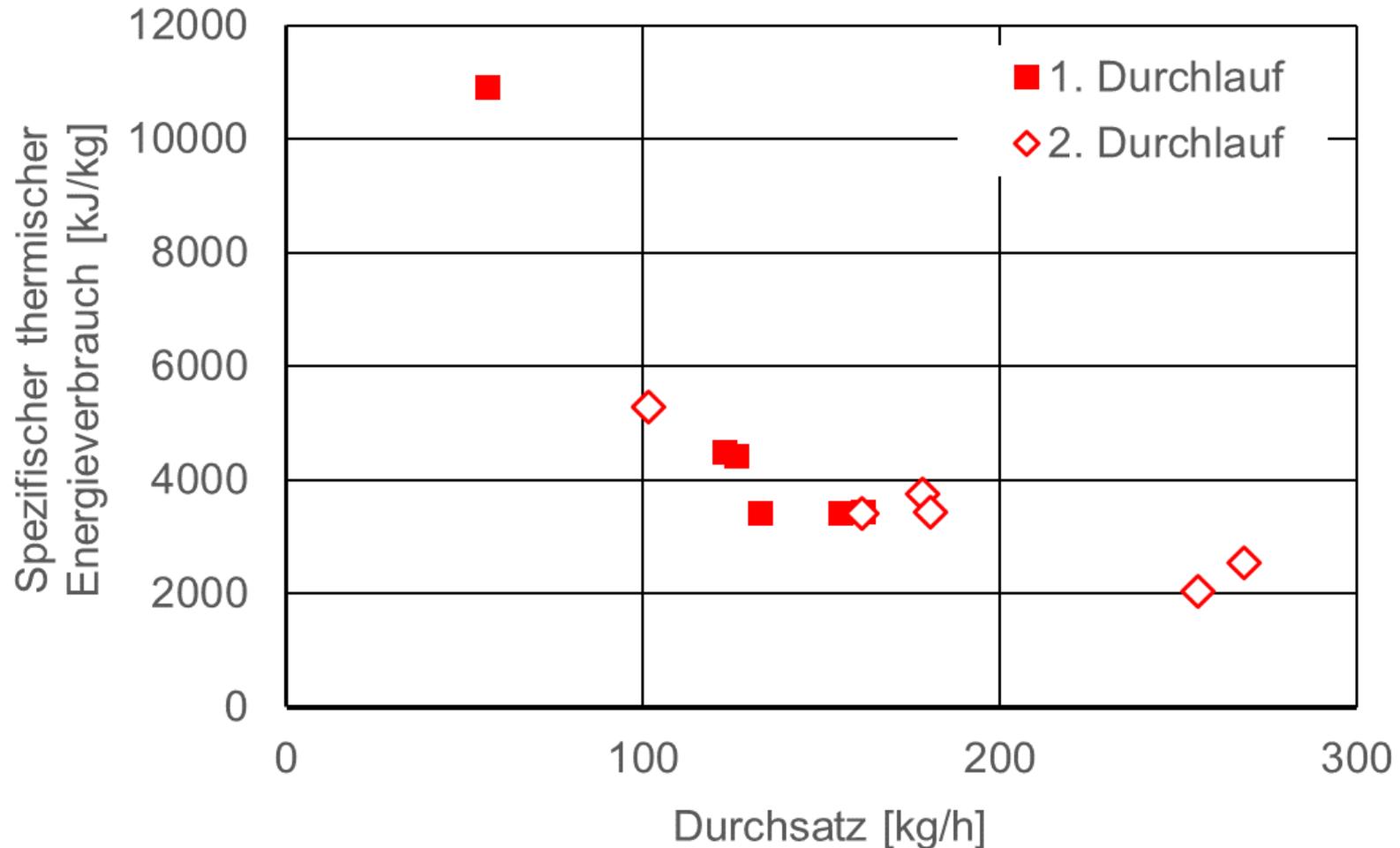
			Musterwand 20069 ohne SiC, 1 x gebrannt	Musterwand 20069 mit SiC, 1 x gebrannt	Musterwand 20069 mit SiC, 2 x gebrannt	20093 Grüngranulat	20093 mit SiC, 2 x gebrannt	Recycling-Baustoffe		
								Z 0	Z 1.2	
pH-Wert			7,3	7,36	8,01	8,95	8,83	7 - 12,5		
Elektrische Leitfähigkeit	µS		122	412	157	2200	140	500	2500	
Chlorid	mg/l		< 1	< 1	< 1	20,2	< 1	10	40	
Sulfat	mg/l		1610	51	21	1580	41,3	50	300	
Cyanid-gesamt	µg/l		< 10	< 10	< 10	< 5	< 5	< 10	50	Werte für Boden
Phenolindex	µg/l		< 10	< 10	< 10	80	< 10	< 10	50	
Arsen (As)	µg/l		< 1	< 1	30	< 3	27	10	40	
Andere Werte deutlich unter Zuordnungswerten										

Sulfatgehalte der im Drehrohrföfen gebrannten leichten Gesteinskörnungen der Serie D

- SO_3 -Gehalte deutlich unter 0,8 Masse-%



An der Pilotanlage gemessener thermischer Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Durchsatz



- Einbeziehung weiterer Rest- und Anfallstoffe in die Untersuchungen zur Herstellung von Leichtzuschlägen
- Anwendungsuntersuchungen in Richtung Beton, Mörtel, Wandbausteine, Leichtlehmlatten, vegetationstechnische Anwendungen, geotechnische Anwendungen...
- Inbetriebnahme des Gaswäschers der Pilotanlage zur Rauchgasentschwefelung
- Scale up in Richtung 20.000 bis 100.000 Jahrestonnen-Großanlage zusammen mit dem Anlagenbauer Zadcon
- Akquise / Projekte





Besichtigung des Recycling-Technikum am IAB