

Baustoffrecycling in Deutschland - Auf dem Weg zu geschlossenen Stoffkreisläufen

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

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

Bau- und Abbruchabfälle
22 %, 89 Mio. t

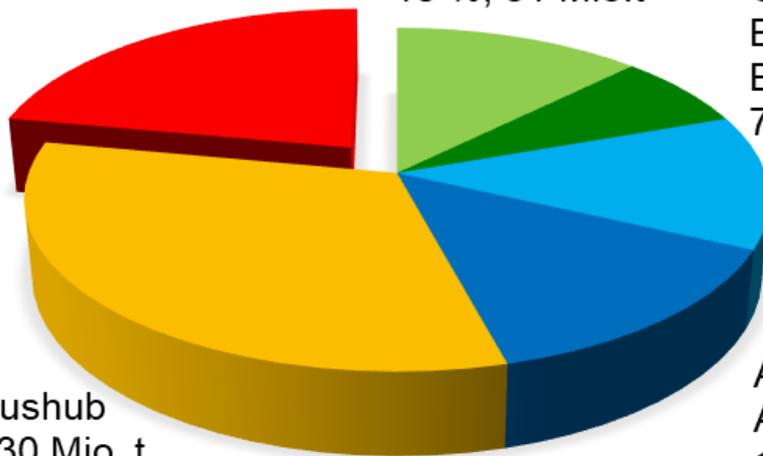
Siedlungsabfälle
13 %, 51 Mio.t

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

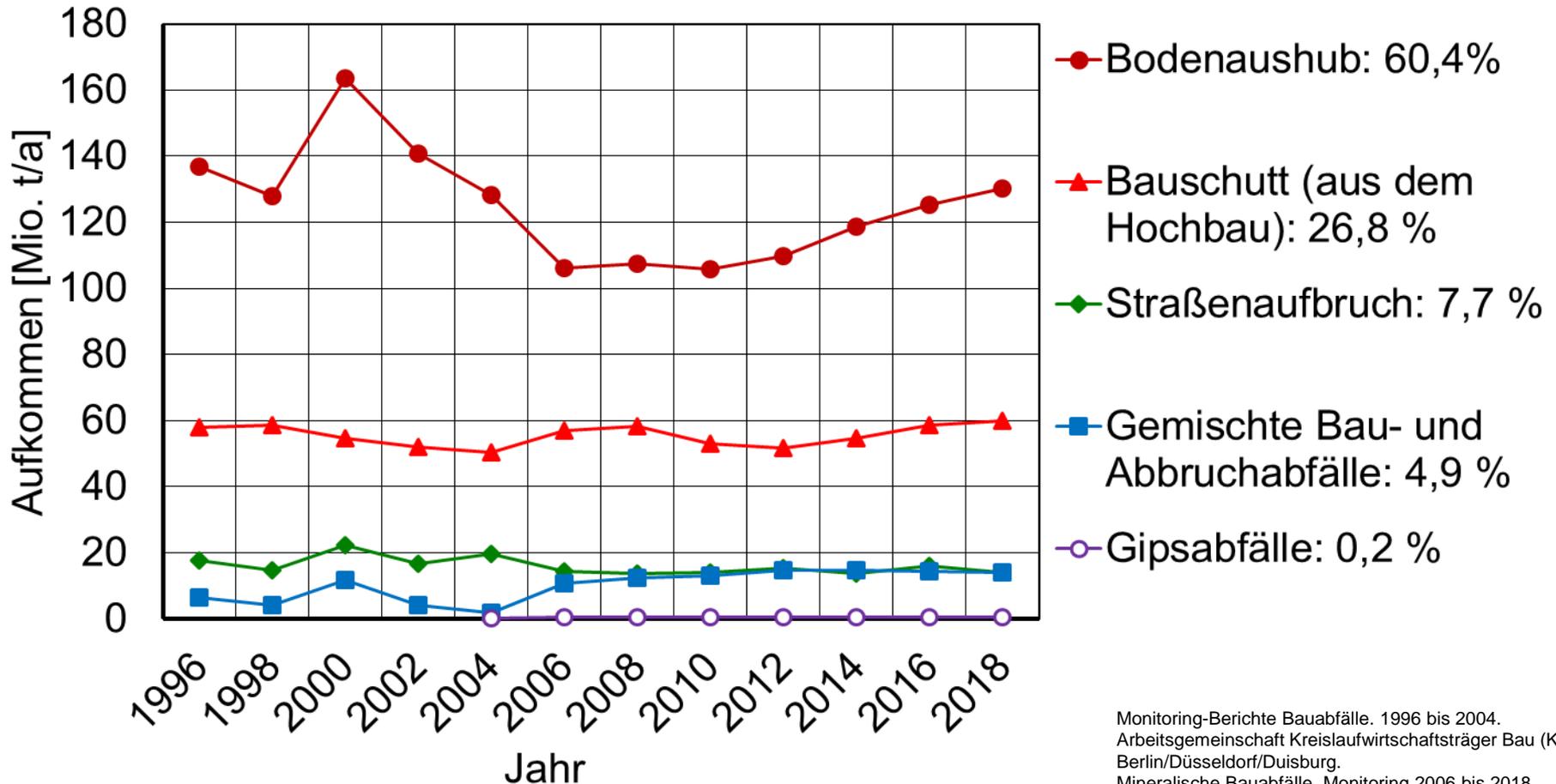
Abfälle aus Produktion und
Gewerbe 13 %, 51 Mio. t

Bodenaushub
32 %, 130 Mio. t

Abfälle aus
Abfallbehandlungsanlagen
14 %, 56 Mio. t

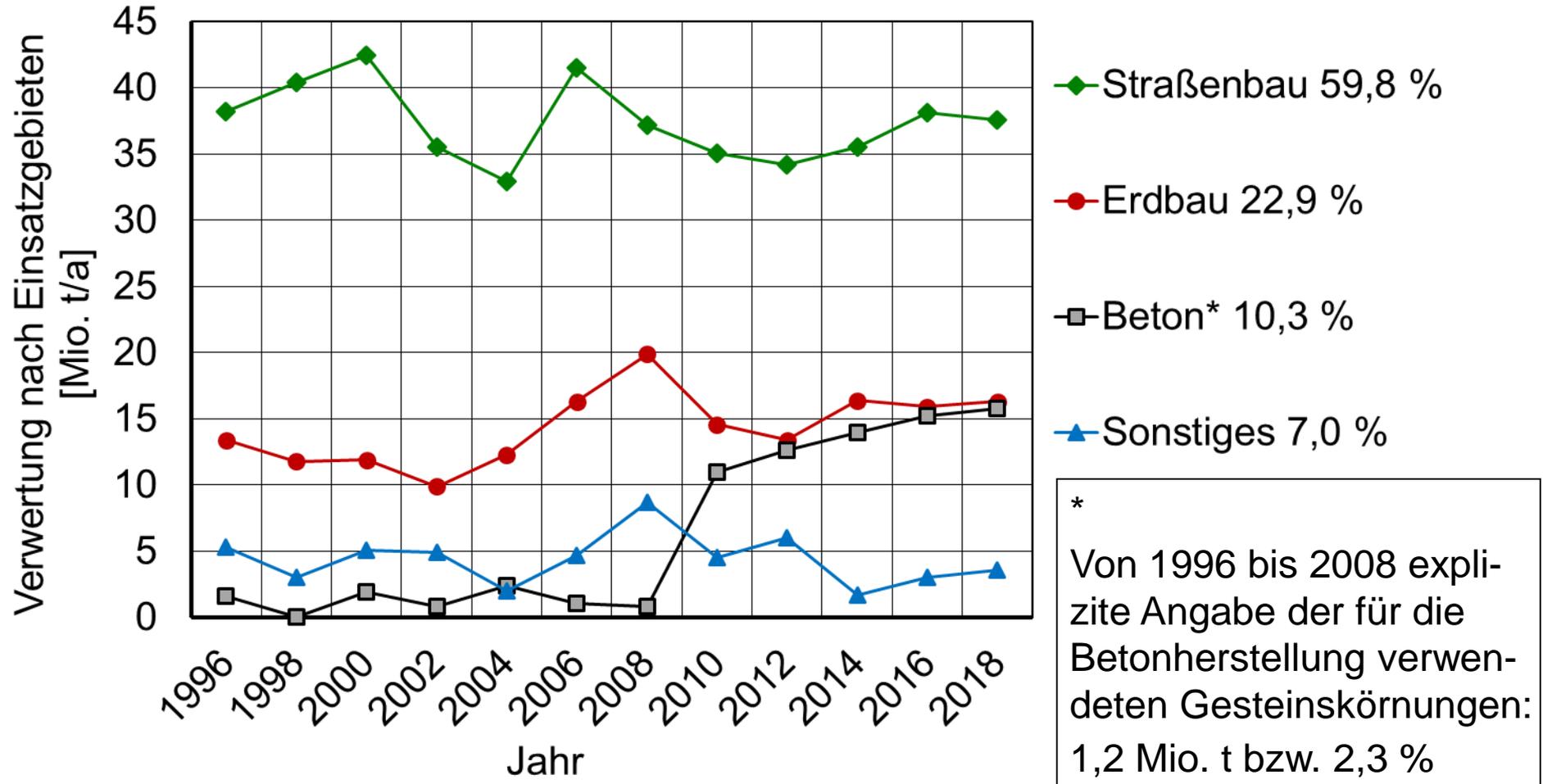


Zeitreihen zum Aufkommen an Bauabfällen in Deutschland und durchschnittliche Anteile von 1996 bis 2018



Monitoring-Berichte Bauabfälle. 1996 bis 2004.
 Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTTB).
 Berlin/Düsseldorf/Duisburg.
 Mineralische Bauabfälle. Monitoring 2006 bis 2018.
 Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e. V. Berlin.

Zeitreihen zu Verwertungssektoren von Bauabfällen ohne Bodenaushub in Deutschland und deren durchschnittliche Anteile

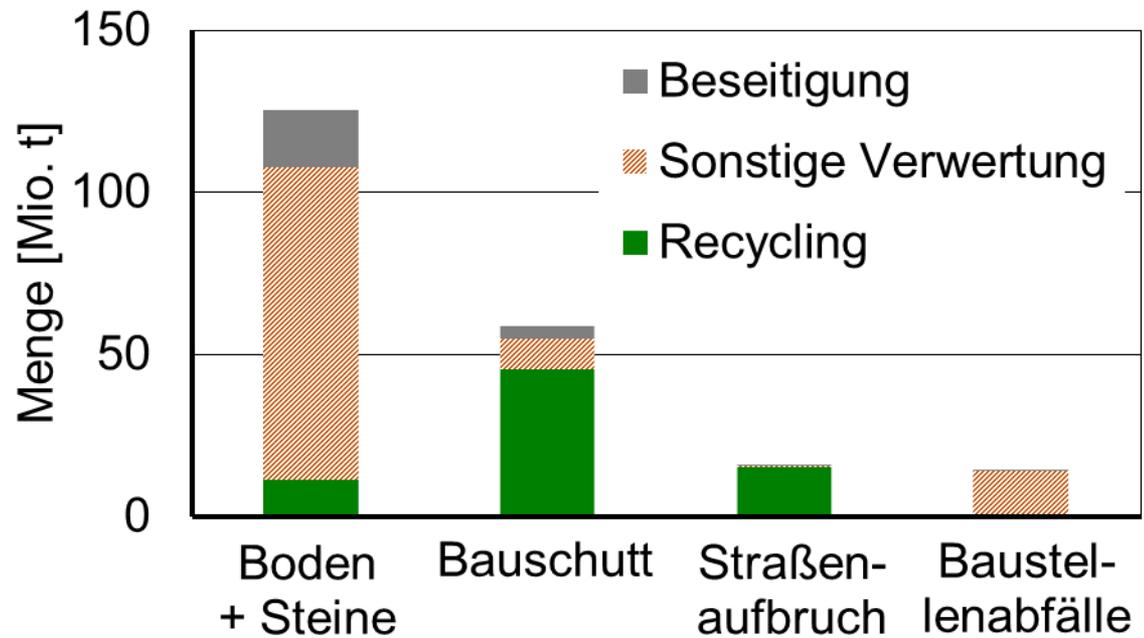


Beseitigte Mengen
 + Mengen für sonstige
 Verwertungen
 + Rezyklierte Mengen

 = Gesamtaufkommen

Verwertungssektoren
 der rezyklierten
 Mengen für 2016

Straßenbau	53 %
Erdbau	22 %
Asphalt + Beton	21 %
Sonstiges	4 %



BAST Jahrbuch 2008

Verabschiedet am 11. Juni 2021

„Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung“

- Liste der betrachteten Stoffe
- Zulässige Gehalte an bestimmten Inhaltsstoffen: Schwermetalle, Salze und organische Verbindungen
- Verwertungsmöglichkeiten in Abhängigkeit vom Schadstoffgehalt und den Einbaubedingungen

Mineralischer Ersatzbaustoff

Hochofenstückschlacke der Klassen 1, 2

Hüttensand

Stahlwerksschlacke der Klassen 1, 2

Kupferhüttenmaterial der Klassen 1, 2

Gießerei-Kupolofenschlacke

Gießereirestsand

Schmelzkammergranulat aus der Schmelzfeuerung

Steinkohlenkesselasche

Steinkohlenflugasche

Braunkohlenflugasche

Hausmüllverbrennungsgasche der Klassen 1, 2

Recycling-Baustoff der Klassen 1, 2, 3

Bodenmaterial der Klassen 0, 0*, F0*, F1, F2, F3

Baggergut der Klassen 0, 0*, F0*, F1, F2, F3

Gleisschotter der Klassen 0, 1, 2, 3

Herstellung von Gesteinskörnungsgemischen für Frost- und Tragschichten aus Betonbruch

Regelwerke vorhanden und praktikabel
Anforderungen an

- Partikelgrößenverteilung
- Zusammensetzung nach Materialarten
- Kornfestigkeit und Frostwiderstand
- Begrenzung des Gipsgehaltes
Material > 4 mm: < 0,5 Masse-% bzw.
Material < 4 mm: < 0,5 Masse-%
≈ 300 SO₄²⁻-mg/l

RC-Frostschutzschichten seit den 1980er Jahren ohne Beanstandung unter Verkehr



Chronologie des Regelwerks

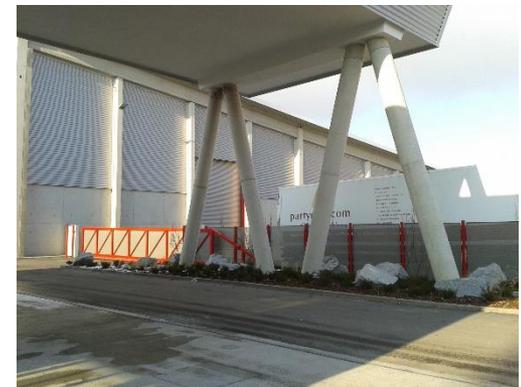
1998	DAfStb-Richtlinie: Beton mit rezykliertem Zuschlag
2001	DIN EN 206-1: Beton – Teil 1
2001	DIN 1045-2: Beton, Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
2002	DIN 4226-100: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen
2003	DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100
2003	DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton, Deutsche Fassung. Ersatz für DIN 4226-1 und -2
2004	DIN EN 206-1/A 1: Beton – Teil 1. Ergänzungen und Berichtigungen
2004	DIN EN 12620: Gesteinskörnungen für Beton, Deutsche Fassung. Berichtigung 1
2005	DIN 1045-2/A1: Beton. Deutsche Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
2010	DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN EN 1992-1
2017	DIN 4226-101: Rez. Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620: Typen und geregelte gefährliche Substanzen
2017	DIN 4226-102: Rez. Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620: Typprüfung und Produktionskontrolle



Grundsätze

- Rezyklierte Gesteinskörnungen < 2 mm von der Verwertung ausgeschlossen
- Anteile an Rezyklaten > 2 mm auf maximal 45 % begrenzt
- Einsatz bis zur Festigkeitsklasse C 30/37
- Nur Einsatzgebiete mit geringen oder moderaten Expositionen erlaubt
- Einstufung von Rezyklaten unbekannter Herkunft in die Alkaliempfindlichkeitsklasse E III S
- Trotzdem keine Maßnahmen erforderlich, wenn Zementgehalt < 350 kg/m³
- Einhaltung bestimmter Umweltparameter

Standorte von Bauwerken aus R-Beton



Stürmer, S.; Kulle, C.: DBU-Abschlussber

2005

Schulgebäude Zürich:
5.000 m³ Sichtbeton mit rezyklierten Gesteinskörnungen

2020

Leonardo-da-Vinci-Gymnasium
Berlin:
2.500 m³ Sichtbeton mit rezyklierten Gesteinskörnungen



Hansruedi Eberhard 2006, Riedel Bau Magazin 2020

Rückbau der Kaimauer der Zandvliet Schleuse und Verwertung des aufbereiteten Betons zum Bau der Berendrecht Schleuse im Hafen von Amsterdam

Dimensionen der rückgebauten Kaimauer

- Gesamtlänge 484 m, Gesamthöhe 25 m, Breite der Fundamente 18,5 m
- Gesamtvolumen an Stahlbeton 80.000 m³ bzw. 180.000 t

Dimensionen der 1987 neu errichteten Schleuse

- Gesamtlänge 500 m, Breite 68 m, Tiefe 13,5 m
- Gesamtvolumen an Stahlbeton 650.000 m³
- Erforderliche Betongüte: B 35
- Beton mit groben rezyklierten Gesteinskörnungen und Natursand erfüllt die Anforderungen
- Schleuse war ca. 25 Jahre in Betrieb



Morilon, D.: RILEM 1988, pp. 709-718; Vrijders, J.: RILEM 2015

Verwertung im ursprünglichen Produkt

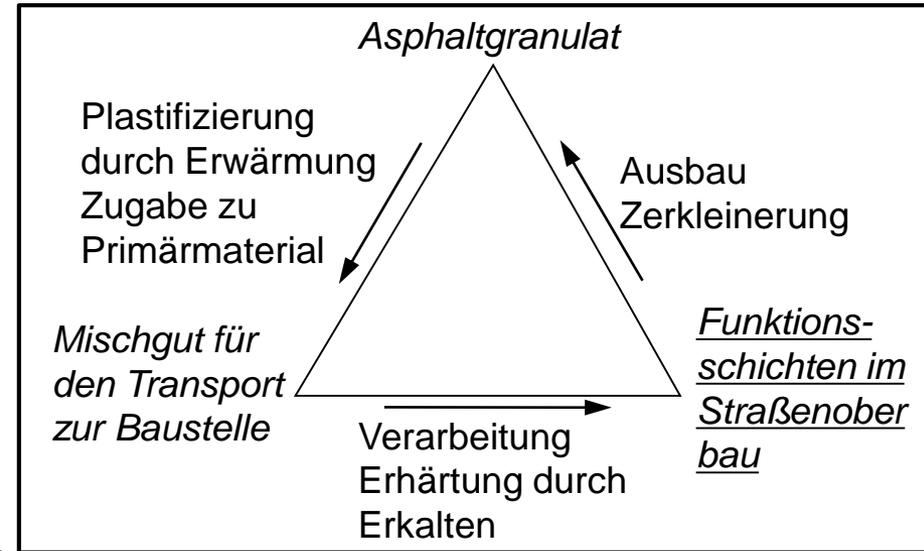
- Aufgrund der Eigenschaften möglich und technisch machbar
- Gewinnung und Aufbereitung des Ausbauasphalts mit dafür entwickelten Verfahren
- Verarbeitung zusammen mit neuem Mischgut
- Aber: Aufkommen an Ausbauasphalt übersteigt den Bedarf!

Höhere Zugabemengen durch

- Modifizierung der Rezepturen
- Einsatz von Verjüngungsmitteln

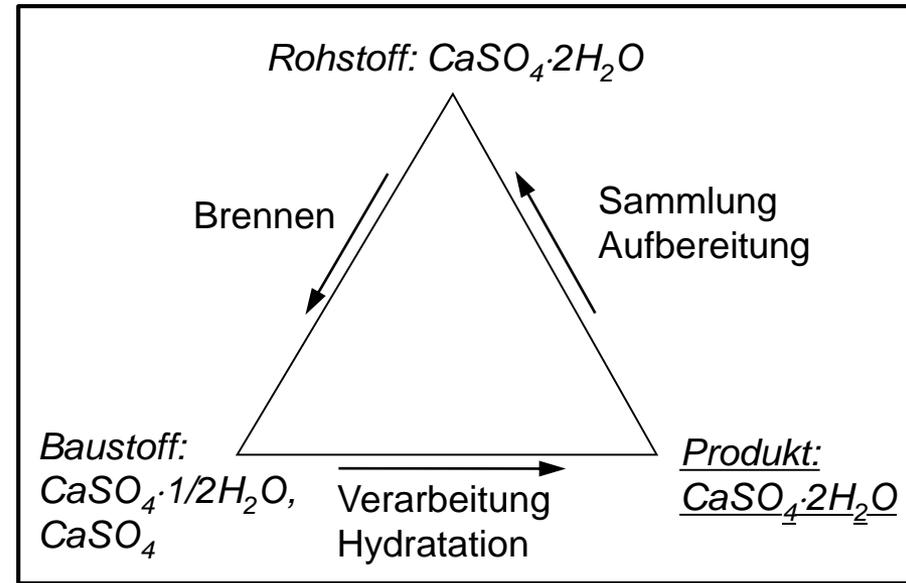
Von der Verwertung ausgeschlossen:

- Teerpechhaltiger Asphalt



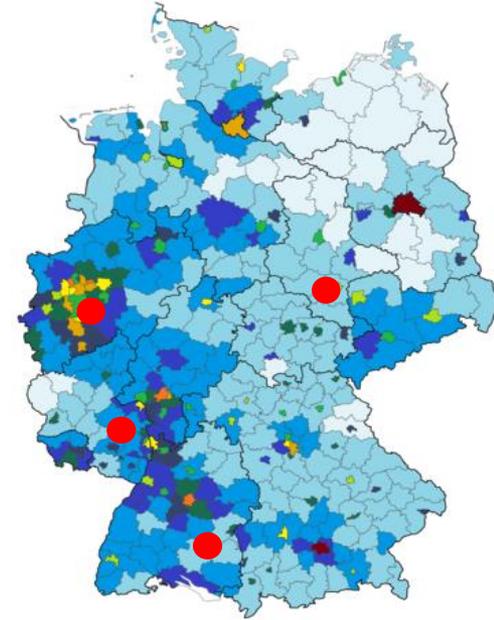
Verwertung im ursprünglichen Produkt

- Aufgrund der Eigenschaften möglich und technisch machbar
- Sekundärgips anwendbar als Rohstoff für Gipskarton- und Gipswandbauplatten, Gipsformen
- Aufbereitung durch...
- Karton → grobe Flakes, Gips → kubische Partikel < 10 mm



Laut Abfallstatistik: 600.000 t Gipsabfälle in D
Aufbereitungsanlagen an mehreren Standorten

- New West Gypsum Deutschland Pulheim
- Mueg Großpösna/Sachsen
- Mueg Zweibrücken/Rheinland-Pfalz
- Deißlingen/Lauffen Baden-Württemberg



Ggw. Bedarf am Rohgips: 11 Mi. t

- Davon: 50 % Naturgips und
50 % REA-Gips

Kann der rezyklierte Gips die
„Gipslücke“ schließen?



Naturgipsabbau Quelle: BV Gips



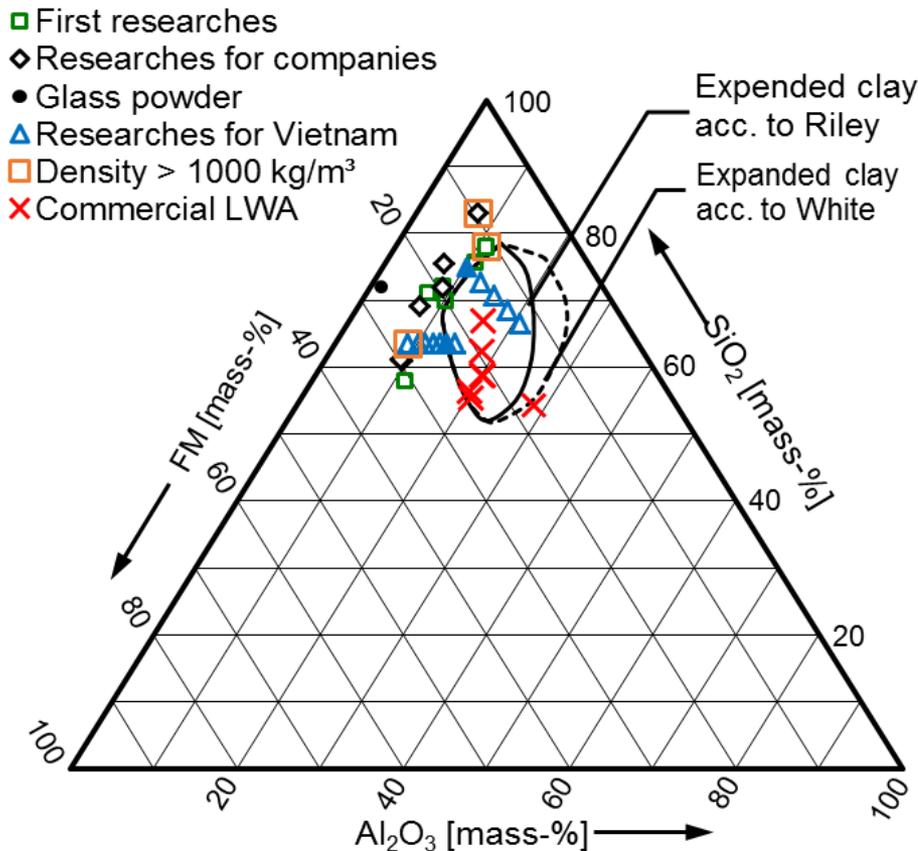
Mauerwerkbruch: Verwertungsdefizite auf Grund seiner Heterogenität

- Lösungsansatz: „Rohstoffliche“ Verwertung in einem thermischen Verfahren
- Angestrebtes Produkt: Leichte Gesteinskörnungen ähnlich Blähtonen

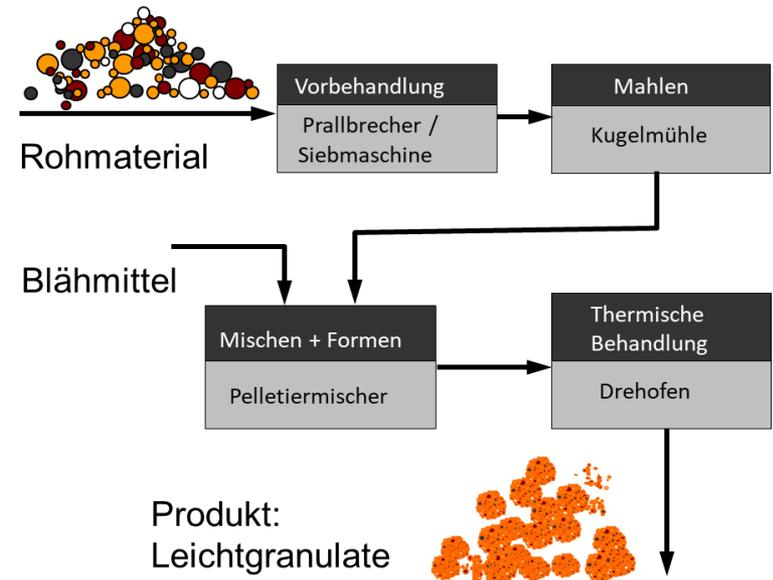


Ersatz von Ton durch Ziegel- bzw. Mauerwerkbruch bei der Erzeugung von leichten Gesteinskörnungen möglich

Dreistoffdiagramm



Verfahrenschema



Überblick zu eigenen Untersuchungen zur Herstellung von leichten Gesteinskörnungen aus Mauerwerkbruch

- Erste Tests zur Machbarkeit
- Untersuchungen von Mauerwerkbruch verschiedener Herkunft, anderen Reststoffen und Zusätzen
- Untersuchungen der Granulatoreigenschaften und der Eigenschaften der daraus hergestellten Betone
- Technologische Untersuchungen
- Entwurf, Errichtung und Betrieb einer Pilotanlage ab 2018
- Bewertung der ökonomischen Machbarkeit

1999 – 2001	TH-Projekt: Granulate aus Porenbeton und Ziegelschutt
2009 – 2012	BMBF-Projekt: Hochwertige strukturelle Leichtzuschlagstoffe aus Sekundärrohstoffen auf Basis heterogener Bau- und Abbruchabfälle
2009 – 2012	TH-Projekt: Leichte Gesteinskörnungen aus Steinwolle
2011 – 2013	TH-Projekt: Leichte Gesteinskörnungen aus feiner Schieferfraktion
2015 – 2017	AiF-Projekt: Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Leichtzuschlagstoffen auf Basis von RC-Material/ anorganischen Rückständen aus Vietnam
ab 2015	Untersuchungen für die Recyclingbranche, Tests mit RC-Material verschiedener Unternehmen
ab 2019	EuroNorm-Projekt: Duales Verwertungsverfahren für gipshaltigen Mauerwerkbruch

- 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

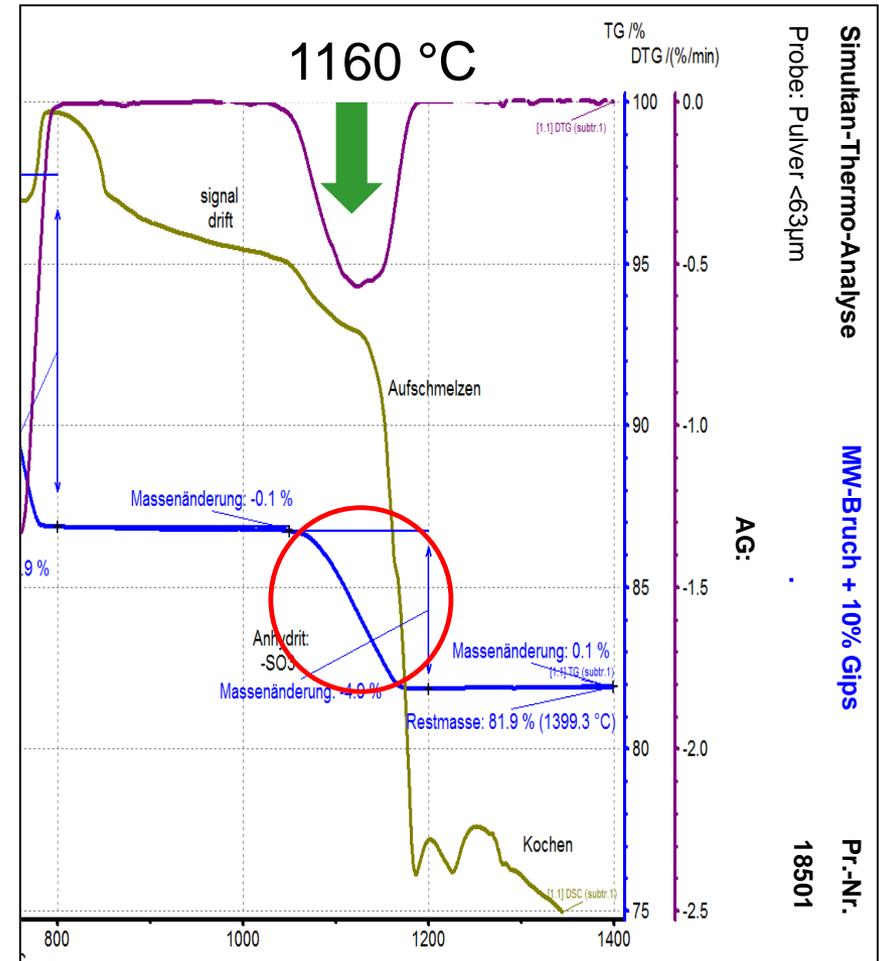
Weitere, in Industriaufträgen getestete Rest- und Anfallstoffe

- Mineralwolle +
- Vorsiebmaterial –
- Waschschlämme +/-
 - aus der Boden- bzw. Bauschuttzubereitung
 - aus der Kieszubereitung
- Reststoffe aus der Zubereitung von vulkanischen Gesteinen +
- Leichtbetonblöcke aus der Bimsindustrie +
- Primärtone +
- Schieferreststoffe +
- Absaugfüller aus der Natursteinzubereitung +/-

Techniken zur Rückgewinnung von Gips aus Mauerwerkbruch



- Thermische Zersetzung von Calciumsulfat CaSO_4
$$\longrightarrow \text{CaO} + \text{SO}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$$
- Zersetzungstemperatur für reines CaSO_4 bei einem Zersetzungsdruck von 100 mm Hg: 1700 K = 1427°C
- Zersetzungstemperatur für CaSO_4 in Anwesenheit von SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 : 1100 bis 1260°C

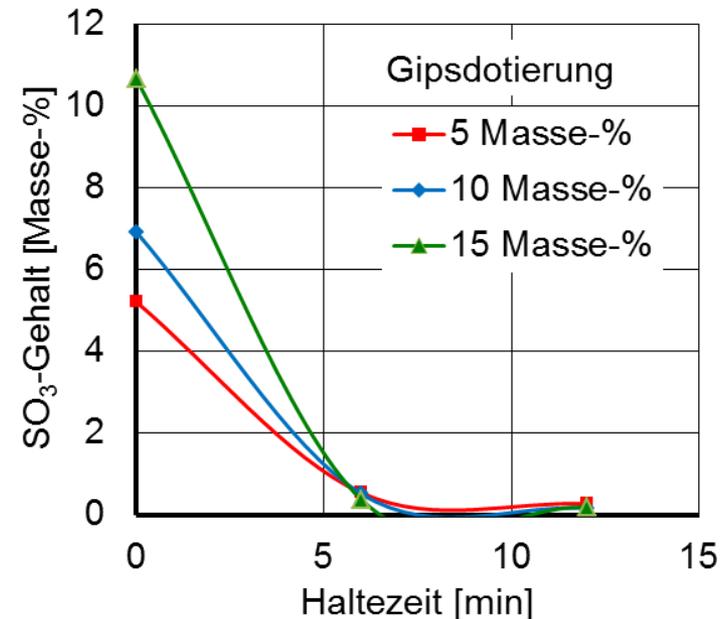
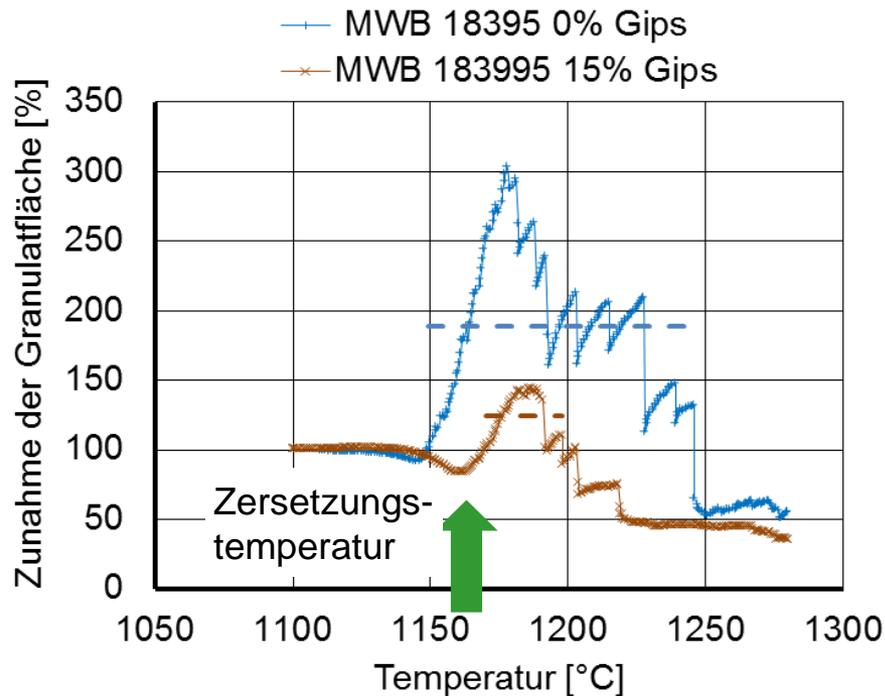


Swift, W.,M. et al. (1976)

Überprüfung des Potenzials der thermischen Leichtgranulat-herstellung für die Gipsrückgewinnung

- Gegenüberstellung des Temperaturintervalls der Zersetzung mit dem Temperaturintervall des Blähvorgangs
- Experimenteller Nachweis der Sulfatreduzierung

Laborversuche



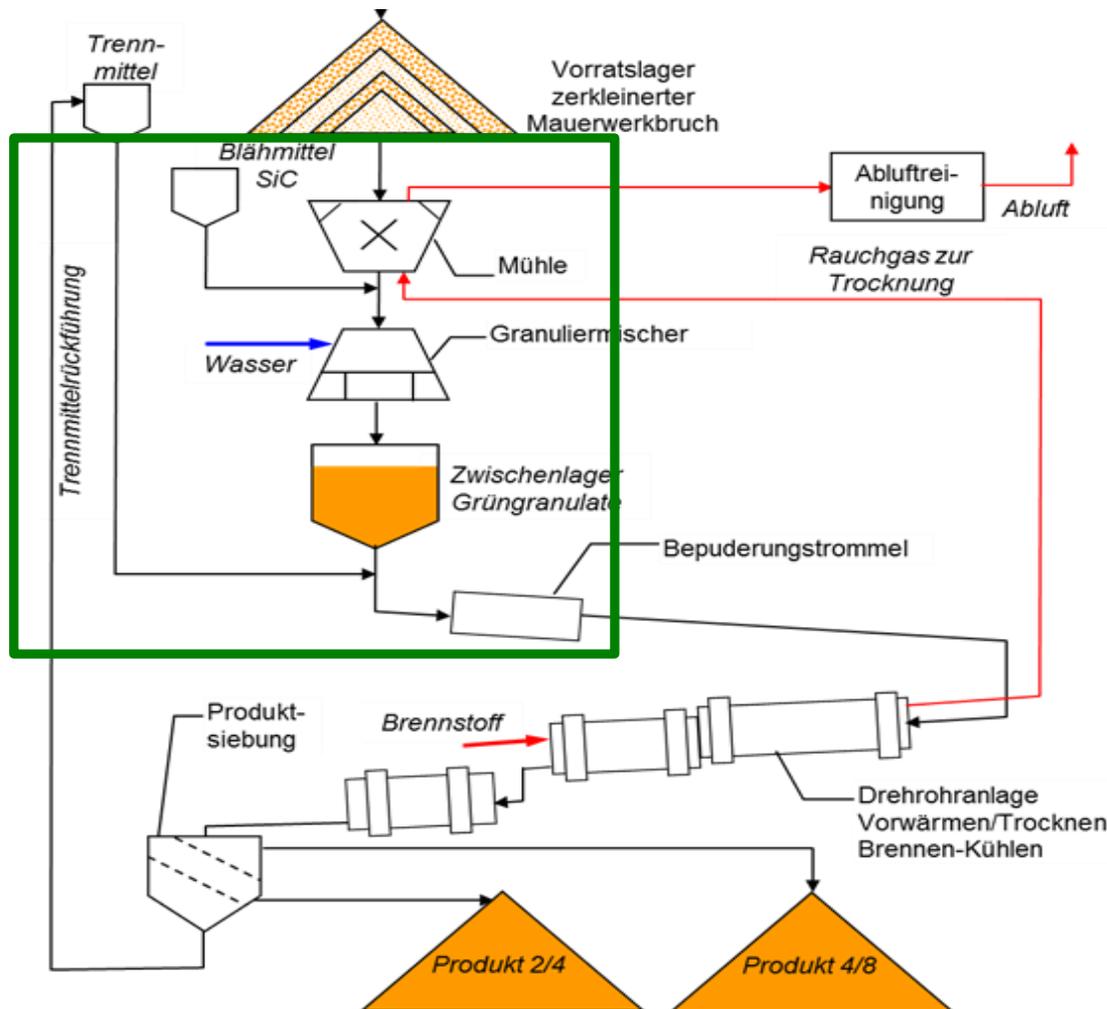
Bestätigung der Laborergebnisse im Pilotmaßstab

Verwendetes Ausgangsmaterial: Ziegelwand mit Gipsputz

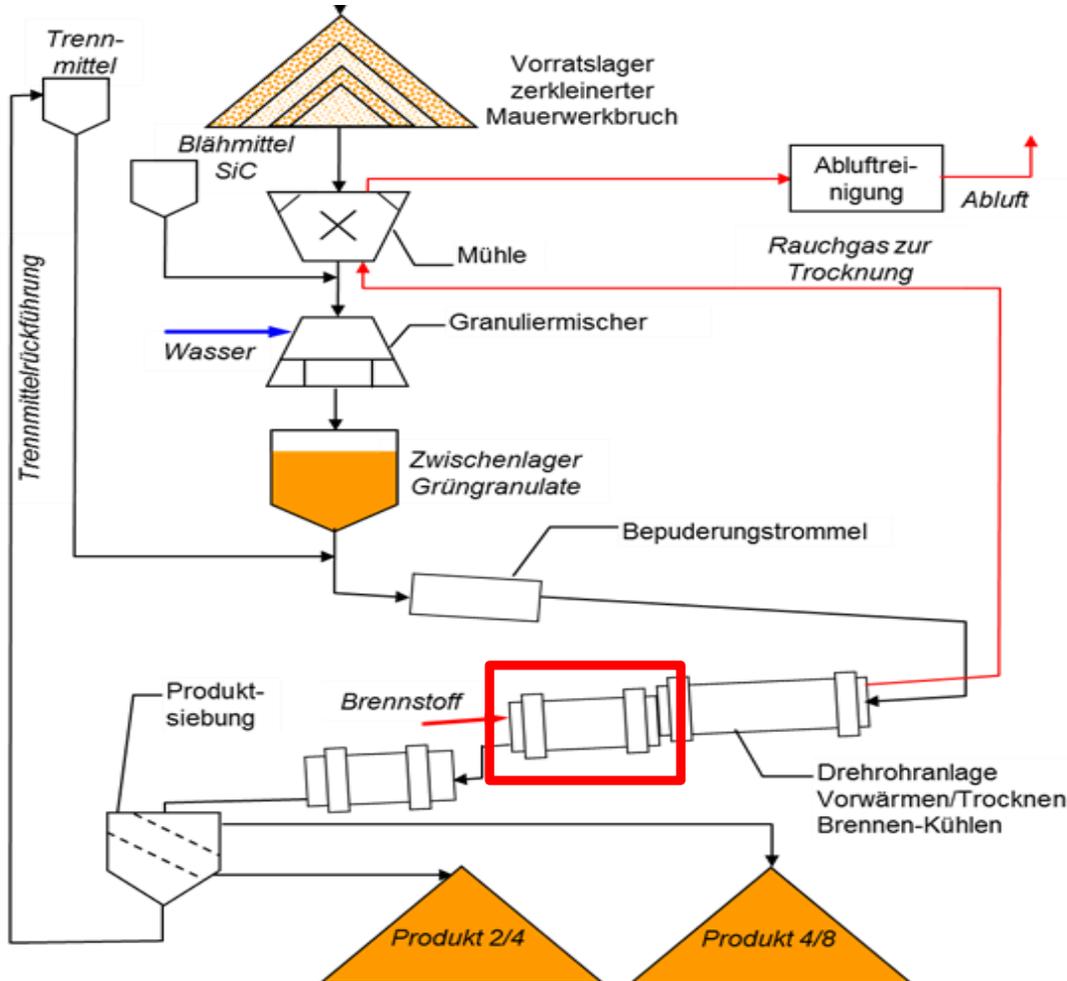


- Reduzierung des Sulfatgehalts
 - Ausgangsmaterial 9,28 Masse-%
→ Leichtzuschlag 0,14 Masse-%
-
- Verwertung von sulfathaltigem Bauschutt nach Labor- und Pilotversuchen realistisch
 - Neue Rohstoffquelle für die Gipsherstellung?

Rohstoffvorbereitung



Thermische Behandlung



Drehrohröfen

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

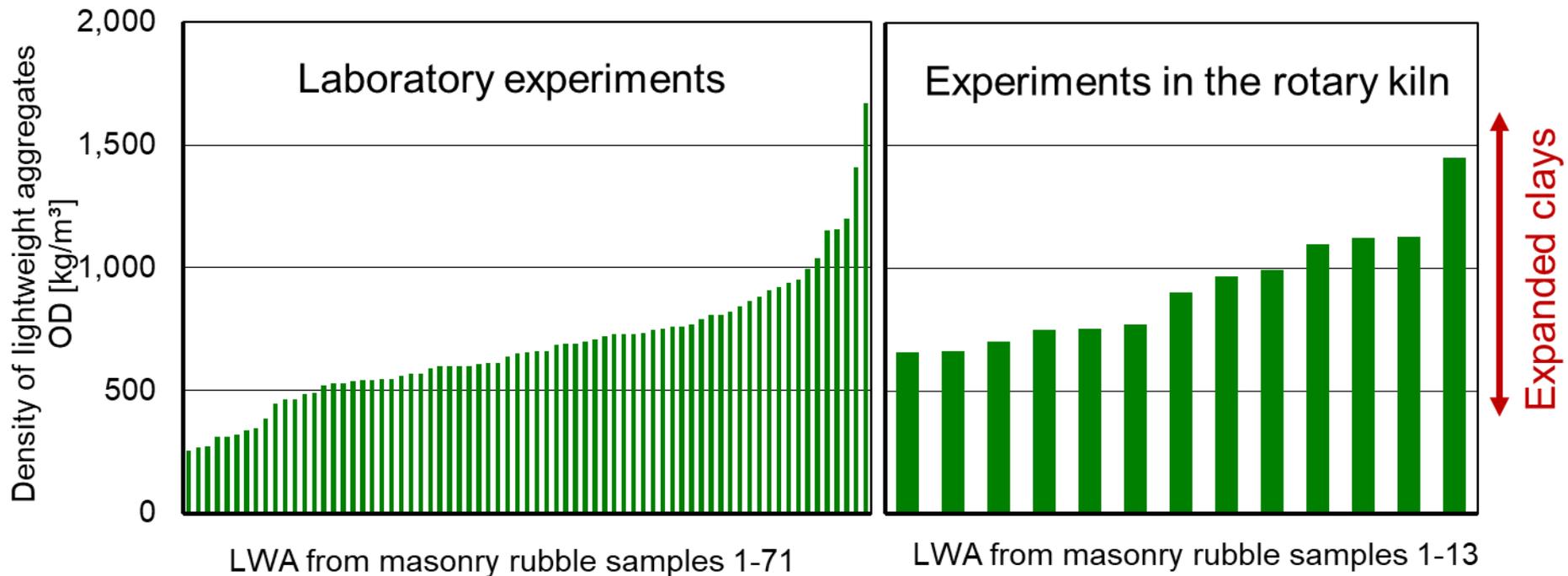
Gasbeheizt: 50 bis max. 500 kW

Temperaturbereich: 500 – 1250 °C

Maximaltemperatur: 1500 °C

Gegenüberstellung der Rohdichten der Granulate

- Die Rohdichten der „Laborgranulate“ werden im auch im Drehrohrofen erreicht
- Sie unterscheiden sich nicht von den Rohdichten von kommerziellen Blähtonen



Erfolgreiche Erzeugung von Leichtgranulaten aus unterschiedlichen Ausgangsmaterialien

Mauerwerkbruch 19596



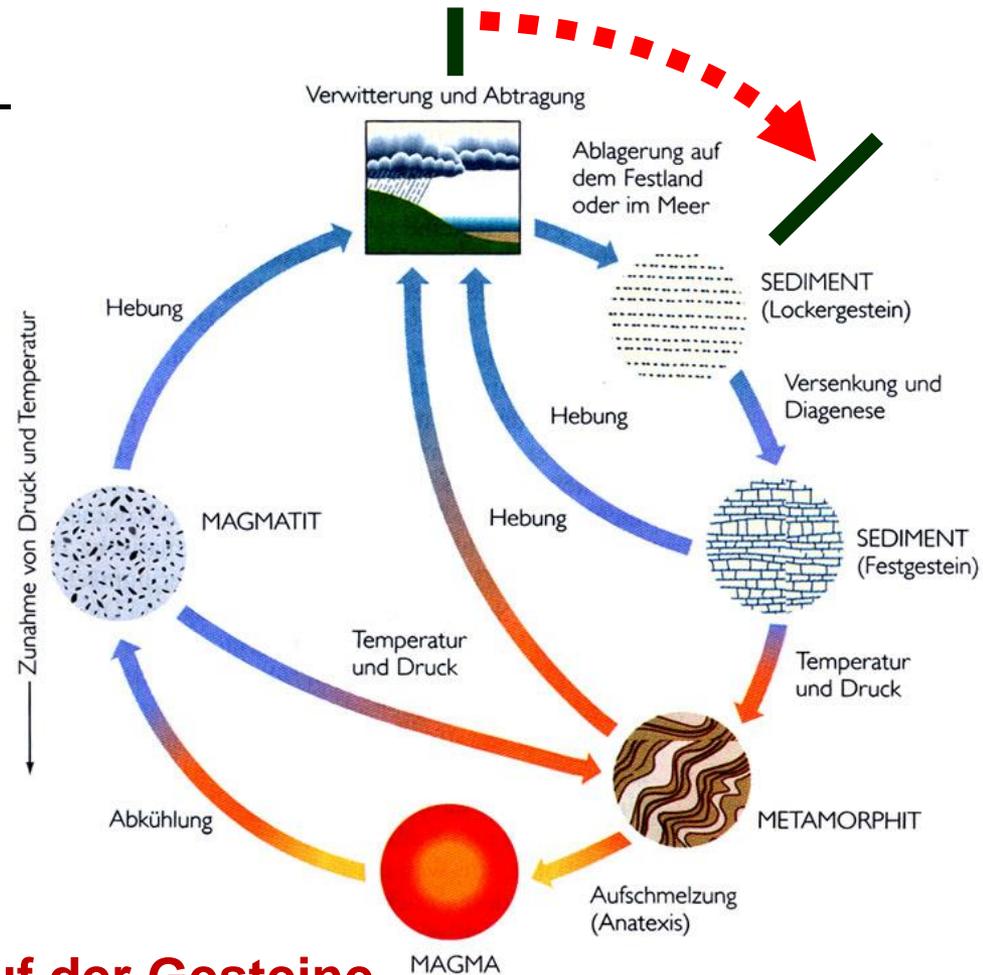
Ziegelbruch 19595



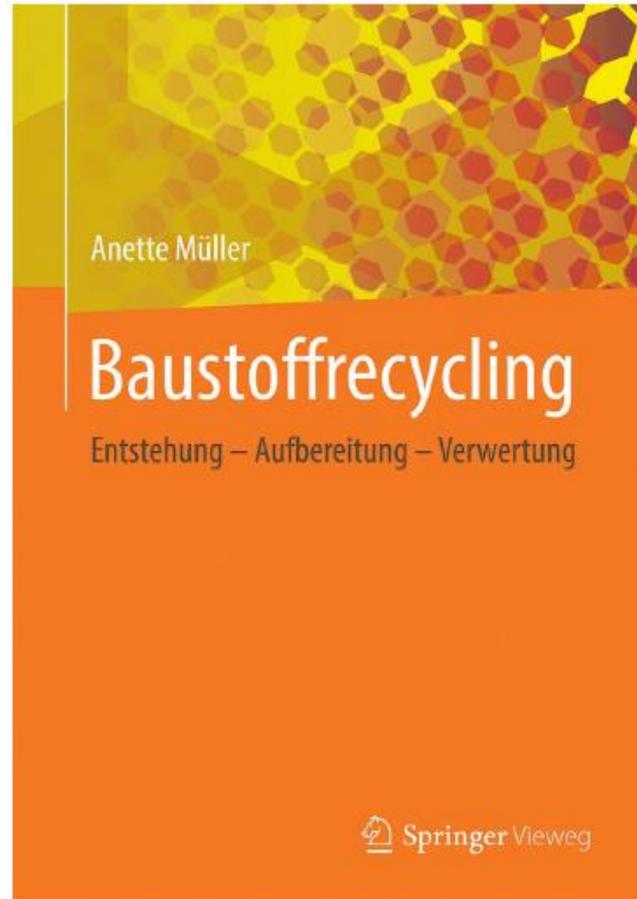
Bimsabfälle 20211



- Technologien für geschlossene Kreisläufe für Betonbruch, Asphaltbruch und Gipskartonplatten verfügbar
- Für Betonsande, Mauerwerkbruch und Bodenaushub besteht Entwicklungsbedarf
- Verknappungen von Flugasche, natürlichen Leichtzuschlägen und REA-Gips als „Weckruf“ für das Baustoffrecycling begreifen
- Mit den aufgezeigten Verfahren könnte Mauerwerkbruch der neue Rohstoff für diese Baustoffe sein



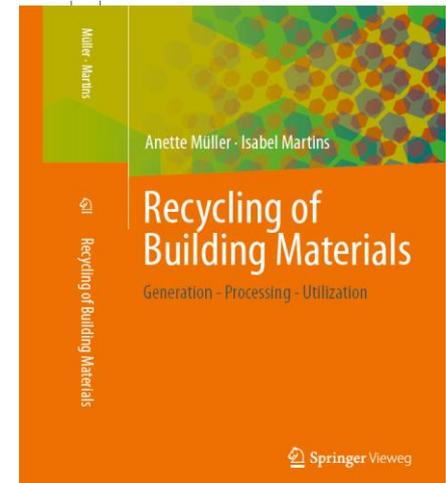
**Kreislauf der Gesteine
als Vorbild einer zirkulären Baustoffwirtschaft.
ES SIND ERST 10 MINUTEN ZURÜCKGELEGT!**



1. Aufl. 2018, XXVIII, 336 S. 208 Abb.,
136 Abb. in Farbe.

ISBN 978-3-658-22987-0

ISBN 978-3-658-22988-7 (eBook)



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

a.mueller@iab-weimar.de