Bauschutt – ein innovativer Rohstoff für leichte Granulate mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten

Dr.-Ing. Barbara Leydolph
Prof. Dr.-Ing. habil. Anette Müller
Dipl.-Ing Steffen Liebezeit
IAB Weimar gGmbH

Inhalt

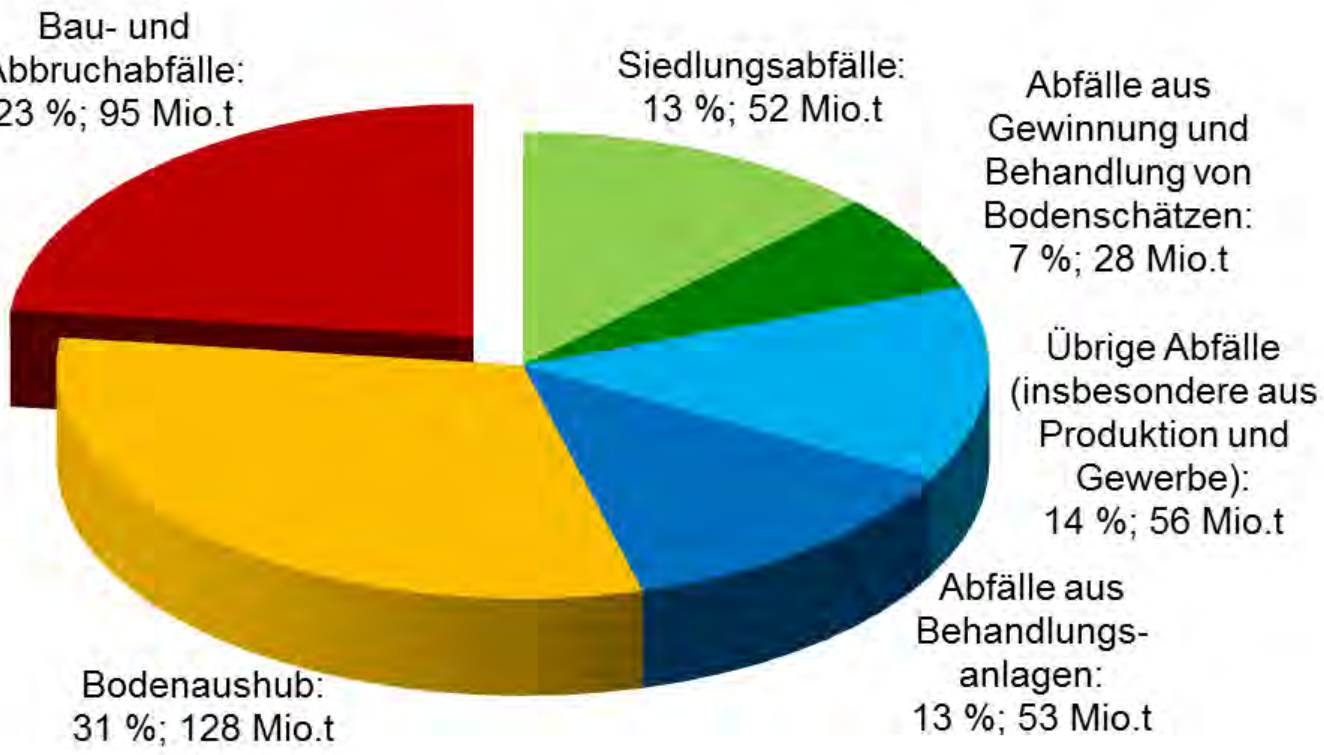
- Gegenwärtige Situation des Baustoffrecyclings
- Konzepte zur Verwertung von Mauerwerkbruch
- Leichtzuschlag aus Mauerwerkbruch
- Einsatz in Betonen
- Zukünftige Herausforderungen
- Ausblick

Gegenwärtige Situation

Aufkommen – Bau- und Abbruchabfälle als mengenmäßig dominierende Abfallart in Deutschland: 89,4 Mio. (95 Mio.?) Tonnen (2016)

Monitoring-Bericht:
Bauschutt
58,5 Mio.t
Straßenaufbruch
16,0 Mio.t
Gemischte Bau- und Abbruchabfälle
14,3 Mio.t
Gipsabfälle
0,6 Mio.t

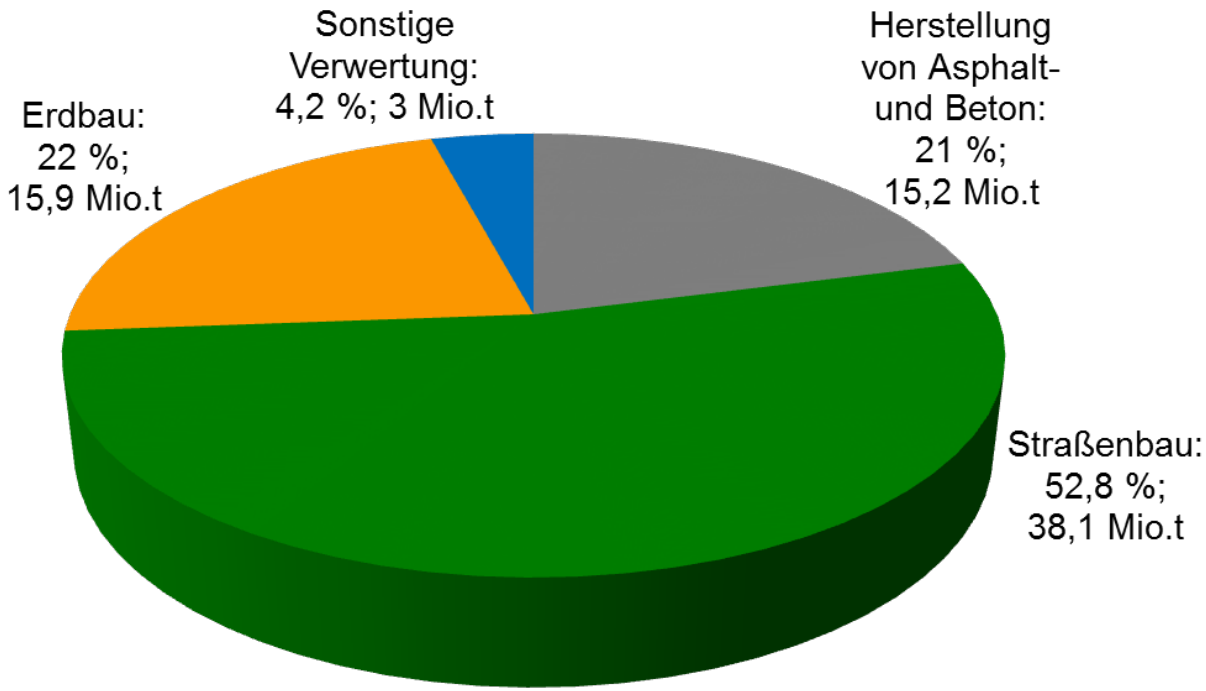
Differenz 5,6 Mio.t



Umweltstatistische Erhebungen Abfallwirtschaft Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. Monitoring-Bericht 2016

Gegenwärtige Situation

Überblick – Verwertungswege Bauabfall (2016)



TV-Foto/Archiv: Gabi Vogelsberg

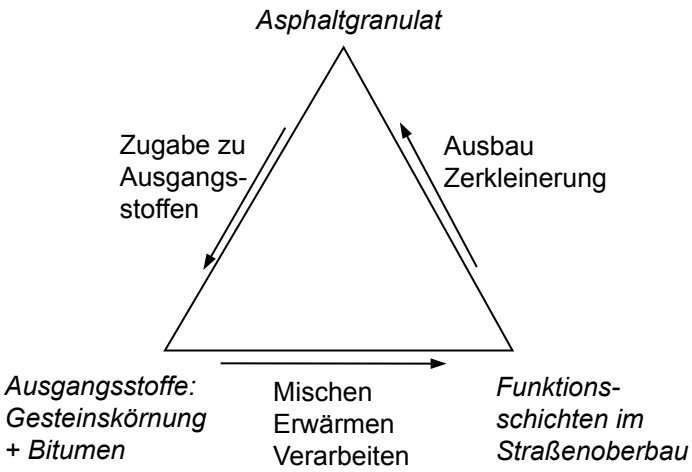
BAST Jahrbuch 2008

Umweltstatistische Erhebungen Abfallwirtschaft Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. Monitoring-Bericht 2016

Gegenwärtige Situation

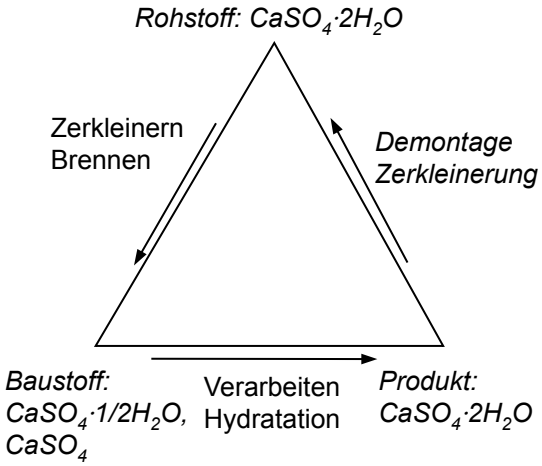
Verwertungstechnologien

Asphalt-
aufbruch



Gipskarton-
Platten

Gipsrecycling nur 4,5%



Gegenwärtige Situation

Betonstraßen-aufbruch

Betonbruch aus Hochbau

Verwertung

- Recycling-Baustoffe für Tragschichten im Straßenbau

oder

- Rezyklierte Gesteinskörnungen für Betonherstellung

Gegenwärtige Situation

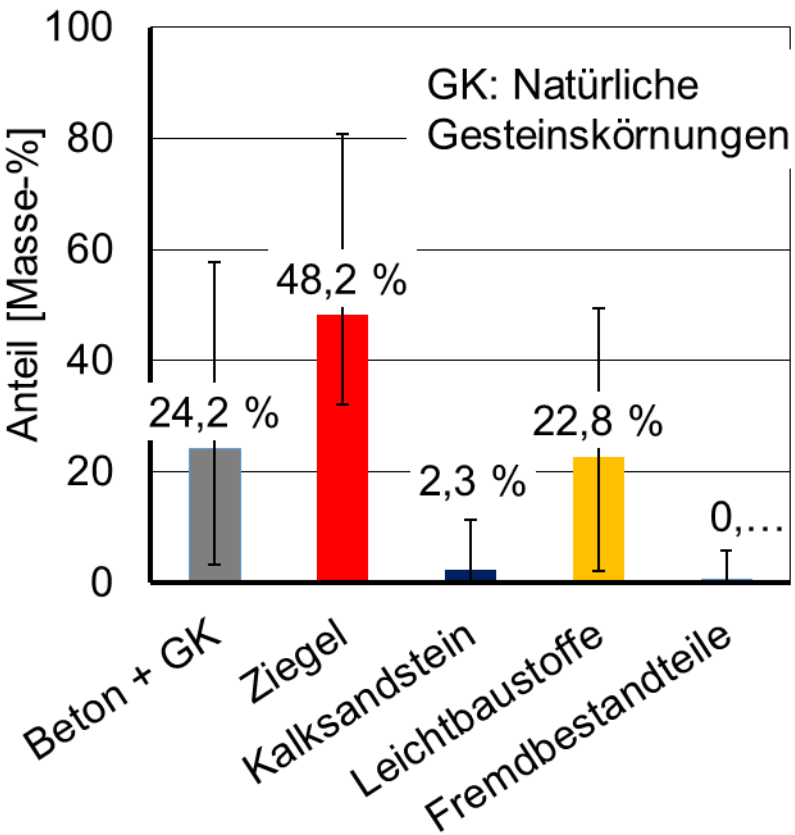
Mauerwerkbruch

Sammelbezeichnung für Material, das beim Abbruch und bei Umbauarbeiten von Bauwerken aus Mauerwerk anfällt. Kann Ziegel, Beton und Leichtbeton, Kalksandstein, Porenbeton sowie Mörtel und Putz enthalten.

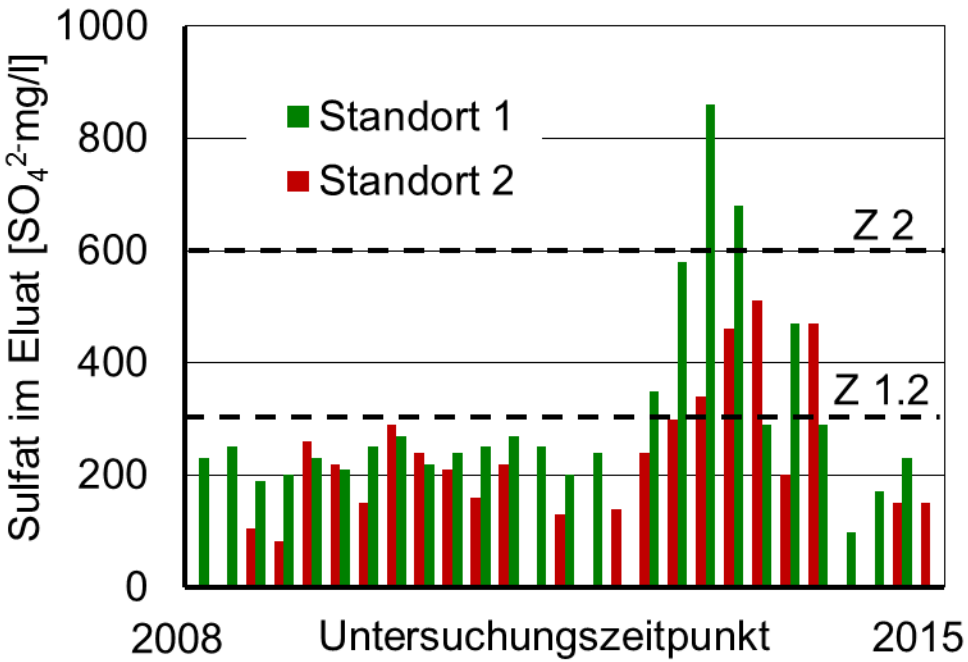
Gegenwärtige Situation

Merkmale Mauerwerkbruch

Stark schwankende Materialzusammensetzung



Teilweise hohe Sulfatkonzentration im Eluat als Folge der Verwendung von Gipsputzen



Gegenwärtige Situation

Verbleib Mauerwerkbruch

- Ablagerung auf „Zwischen-lagern“
- 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

Konzepte Mauerwerkbruch-Verwertung

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.

Konzepte Mauerwerkbruch-Verwertung

Werkstoffliche Verwertung
von sortenreinem Ziegelbruch unter Nutzung spezifischer Eigenschaften

- Farbe:
  Tennenflächen wie beispielsweise Sandtennis-plätze, Hartfußballplätze oder Reitplätze
- Offene Porosität, neutraler pH-Wert:
  Zierkies, Dach- und Bauwerksbegrünungen, Schotterrasen sowie Baumsubstrate
- Ausreichende Kornfestigkeit und Frostbeständigkeit:
  Bestandteil von rezyklierten Gesteinskörnungen

Konzepte Mauerwerkbruch-Verwertung

Rohstoffliche Verwertung

für Herstellung eines anderen (Bau-)Produkts

- Ermittlung geeigneter Produkte anhand der chemischen Zusammensetzung

Mindestvoraussetzung:

- Keine sortenreine Rückgewinnung erforderlich
- Entfernen von nicht-mineralischen Störstoffen durch Vorsortierung
- Einhalten von bestimmten Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

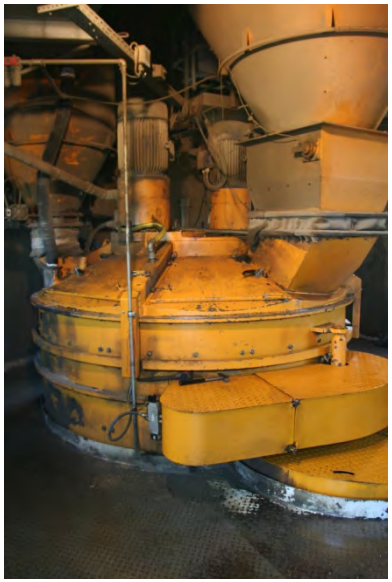
Weitere Randbedingungen:

- Ursprüngliche Werkstoffeigenschaften spielen keine Rolle
- Aufhebung der Heterogenität des Aufgabematerials durch den Herstellungsprozess

Konzepte Mauerwerkbruch-Verwertung

Rohstoffliche Verwertung
von Mauerwerkbruch zur Herstellung leichter Gesteinskörnungen für

- Betonherstellung
- Leichtschüttungen oder
- hydroponische Pflanzenzucht



Leichte Gesteinskörnungen – Stand der Technik

- Natürliche oder synthetische Materialien mit Rohdichten weniger als 2000 kg/m³ entsprechend der DIN EN 13055

Unterscheidung folgender Typen:

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

Untersuchte Rohstoffe für synthetische leichte Gesteinskörnungen	Anzahl Ver-öffentlichungen seit 2000
Müllverbrennungsschlacke	47
Rückstände aus der Rohstoffgewinnung	47
Rückstände der Kraftwerksindustrie	35
Rückstände aus der Rohstoffverarbeitung	20
Sedimente und Schlämme	24
Rückstände der Metallurgie	12
Andere Rohstoffe u.a. Bauabfälle	2

M. Dondi et al. / Construction and Building Materials 127 (2016) 394–409

Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

Überblick eigener Untersuchungen zur Leichtzuschlag-Herstellung aus Mauerwerkbruch

- Erste Tests zur Machbarkeit
- Technologische Untersuchungen
- Untersuchungen der Granulat-eigenschaften und der Eigenschaften der daraus hergestellten Betone
- Untersuchungen von Mauerwerk-bruch verschiedener Herkunft, anderen Reststoffen und Zusätzen
- Bewertung der ökonomischen Machbarkeit
- Entwurf und Errichtung einer Pilotanlage 2018

1999 – 2001	„TH-Projekt“*: Granulates from aerated autoclaved concrete und clay brick rubble
2009 – 2012	BMBF-Projekt: High-quality structural lightweight aggregates from secondary raw materials based on heterogeneous construction and demolition waste
2009 – 2012	“TH-Projekt”*: Lightweight aggregates from rock wool
2011 – 2013	“TH-Projekt”*: Lightweight aggregates from fine fraction of shale processing
2015 – 2017	AiF-Projekt: Development of a process for the production of lightweight aggregates based on CDW/other inorganic residues from Vietnam
From 2015	Inquiries from the recycling industry, tests with CDW of different companies

* Vom Freistaat Thüringen geförderte Projekte

Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

Systematisierung der Eignungsuntersuchungen für unterschiedliche Ausgangsstoffe

- Chemische Analysen zur Eignungsbewertung
- Granulometrische Untersuchungen zur ggf. erforderlichen Feinmahlung < 100 µm
- Herstellung eines Rohstoffversatzes aus Bauabfall + ggf. weiterer Reststoffe + Blähmittel (1 – 3 % SiC)
- Dreistufiger Standardblähversuch
- Bewertung der Granulate anhand von Rohdichte und Kornfestigkeit

Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

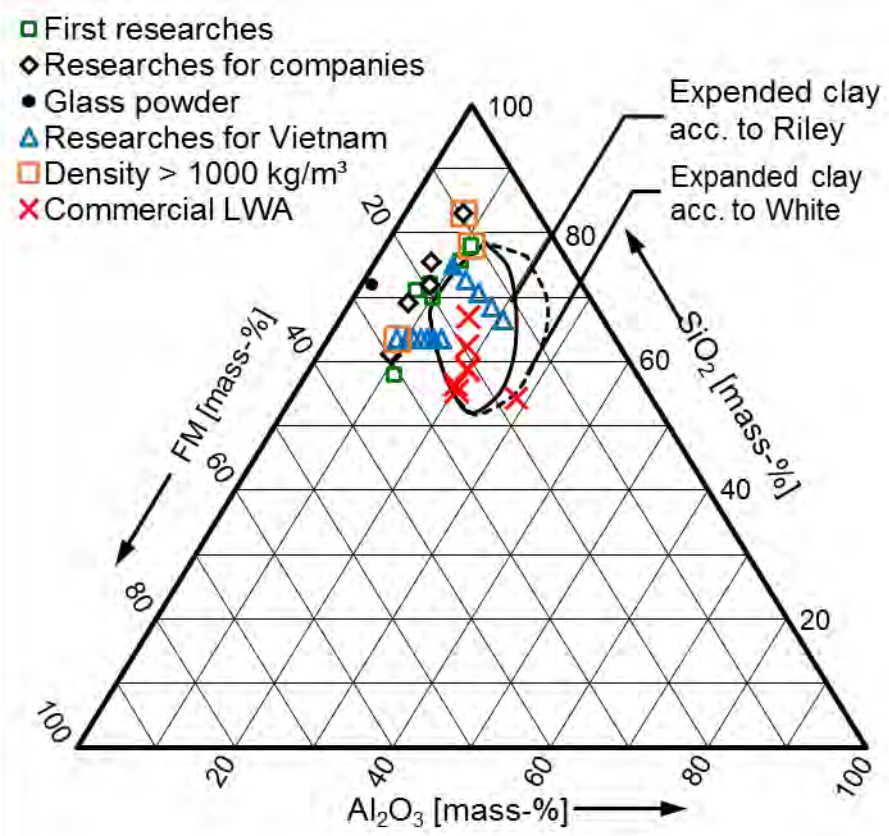
Verwendete Ausgangsrohstoffe

- Mauerwerkbruch von Recyclingunternehmen
- Siliciumcarbid SiC als Blähmittel
- Optional: Verschiedene Zusätze zur Beeinflussung der Zusammensetzung wie Tone, Glaspulver, Flugasche, Schlacke, Kieswaschschlamm, Kalkstein, Schiefer

Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

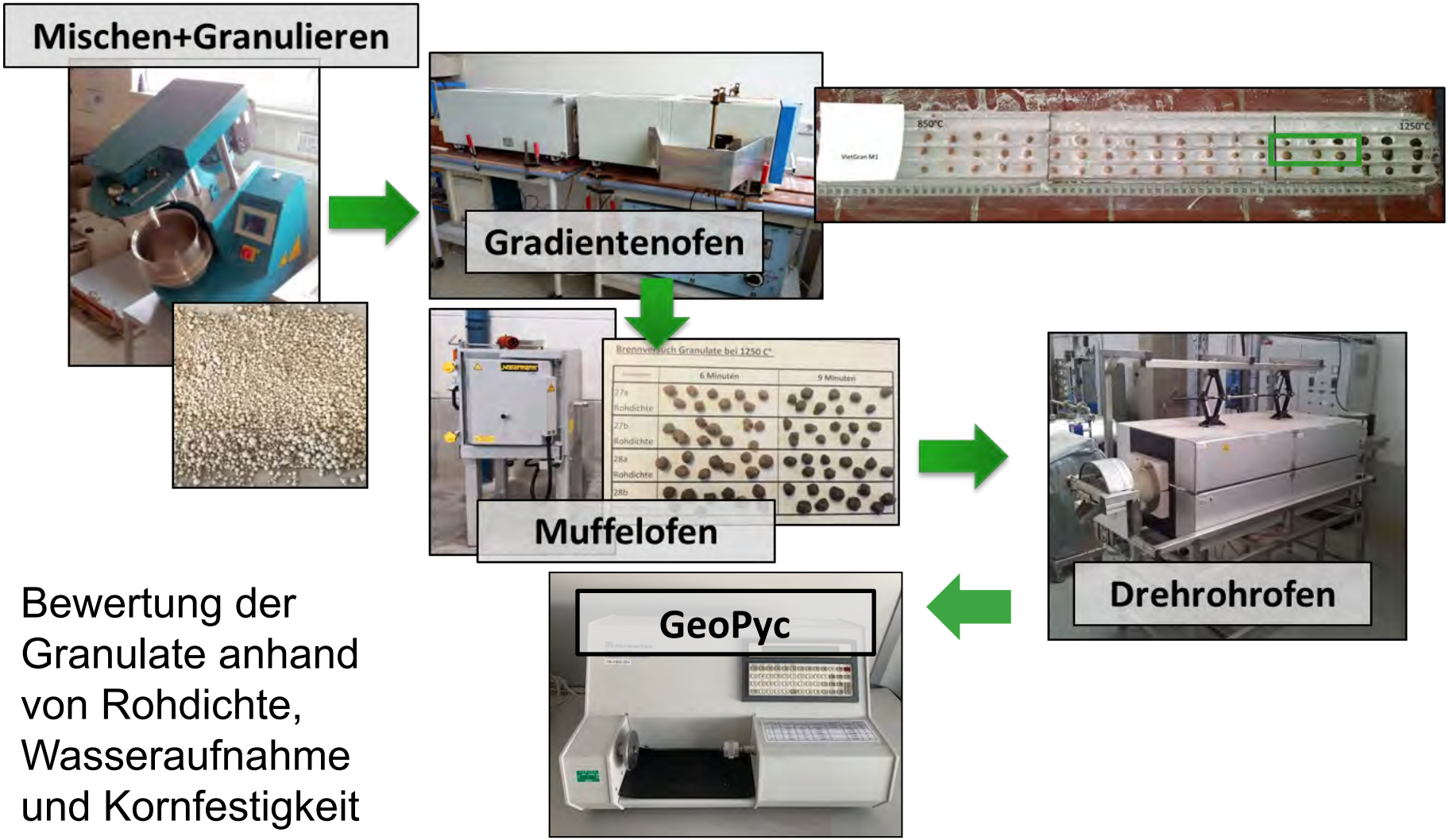
Eignungsbeurteilung auf Basis des für Blähton entwickelten Drei-Stoff-Diagramms

- Etliche der verwendeten Rohstoffe liegen außerhalb des für blähfähige Tone gültigen Bereichs
- Trotzdem: Meist werden Rohdichten < 1000 kg/m³ erreicht
- Schlussfolgerung vom wissenschaftlichem Standpunkt: Parameteranalyse erforderlich
- Schlussfolgerung vom technologischen Standpunkt: Produkt ist robust gegenüber Schwankungen der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, bestimmte Schwankungsbreiten können toleriert werden



Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

Dreistufiger Standardblähversuch

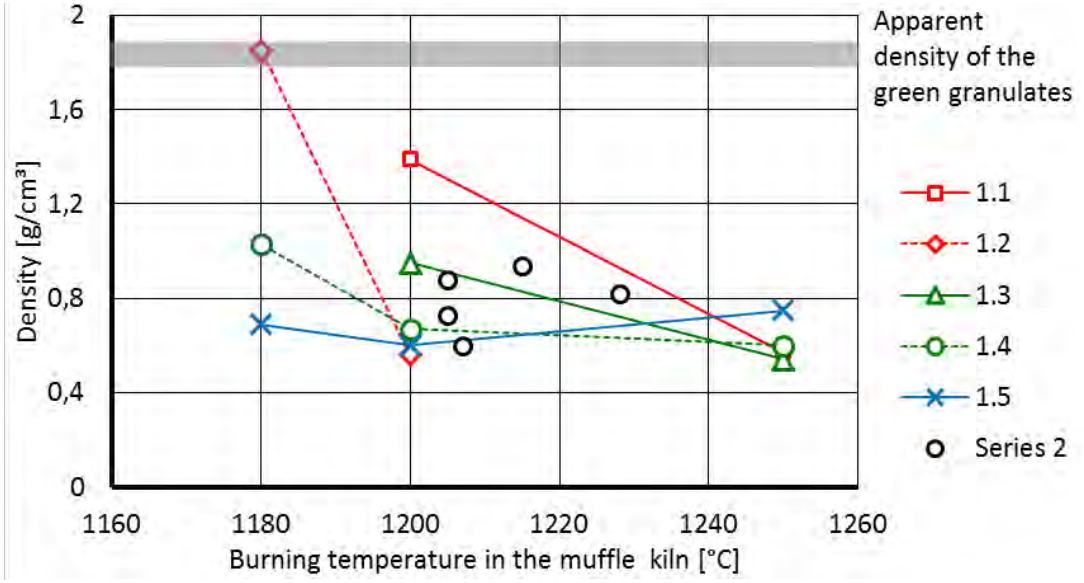


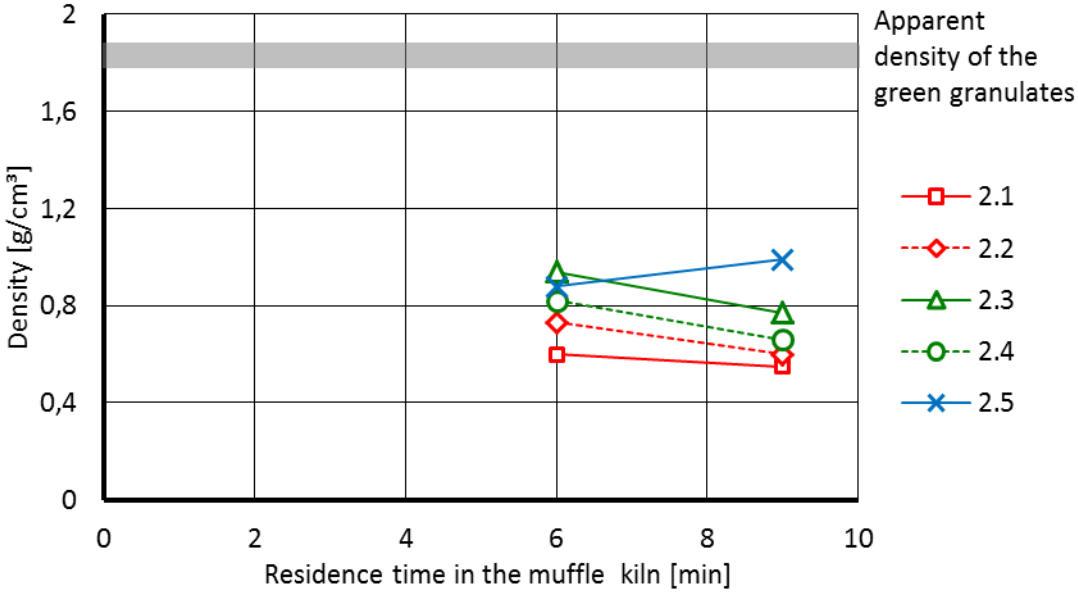
Bewertung der Granulate anhand von Rohdichte, Wasseraufnahme und Kornfestigkeit

Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

Brennbedingungen ermittelt mit Standardblähversuchen

Brenntemperatur
(1180 °C) … 1240 °C

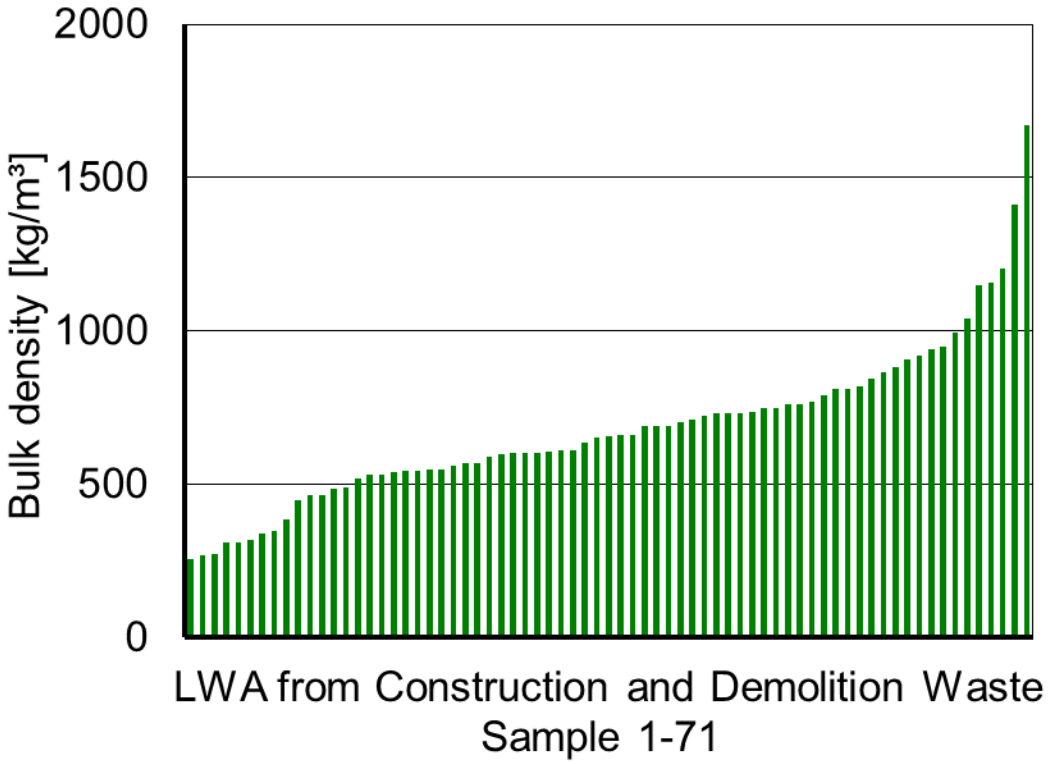


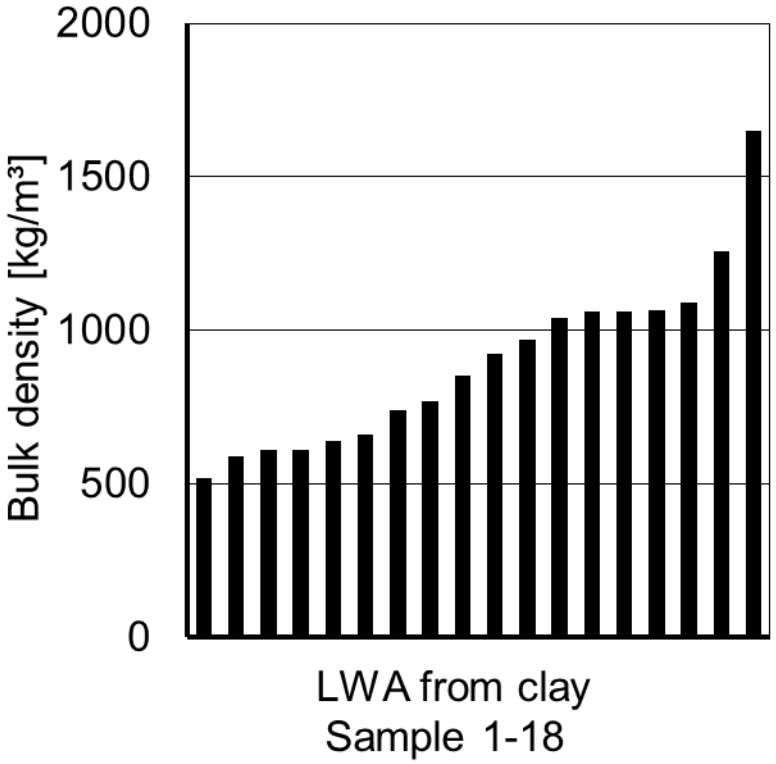


Verweilzeit > 6 min

Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

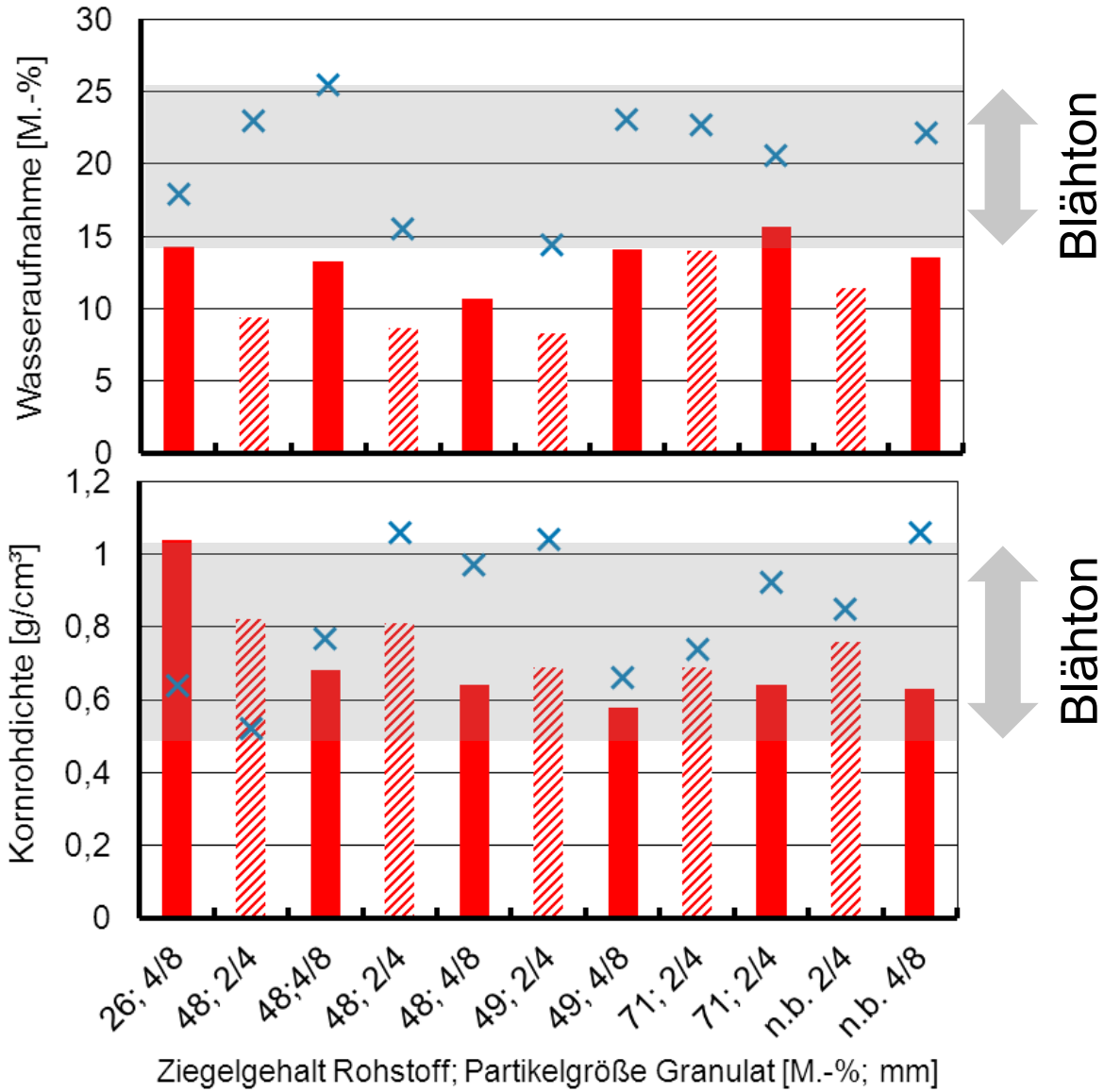
Überblick über die erreichten Rohdichten aus den untersuchten Ausgangsmaterialien im Vergleich zu Blähton





Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

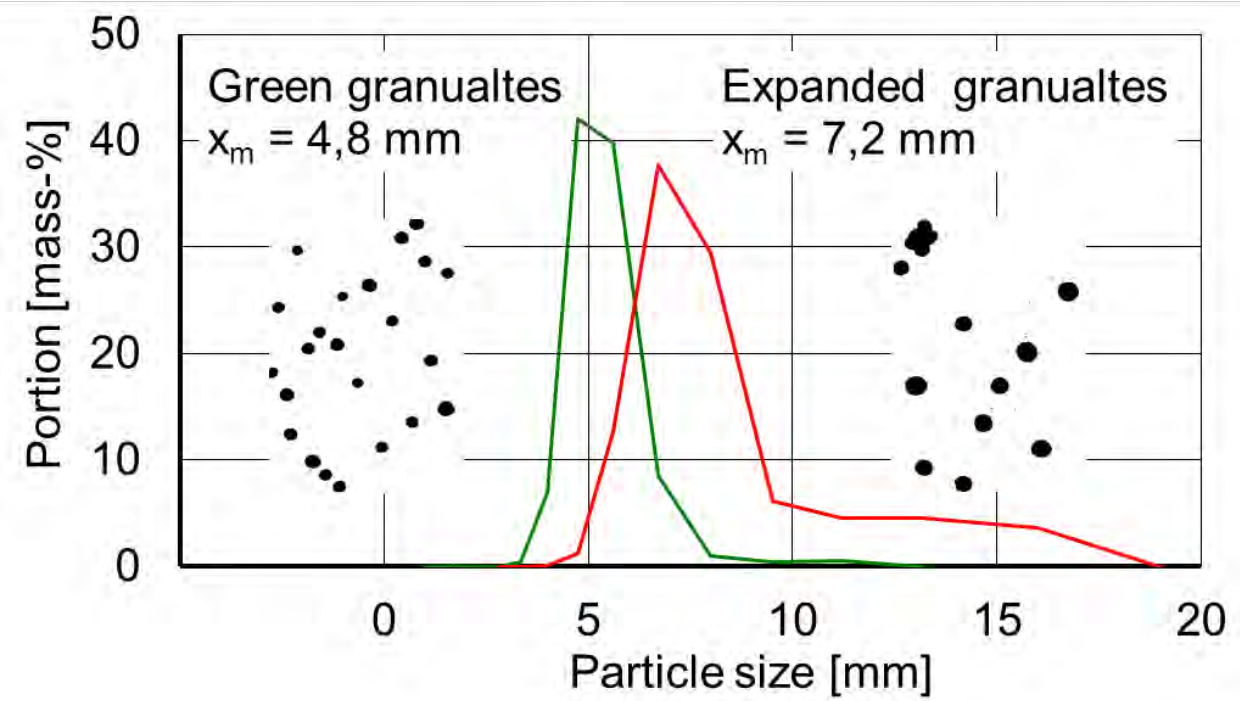
Kornrohdichten und Wasseraufnahmen der Leichtgranulate im Vergleich zu Blähton



Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

Erreichter Bläheffekt

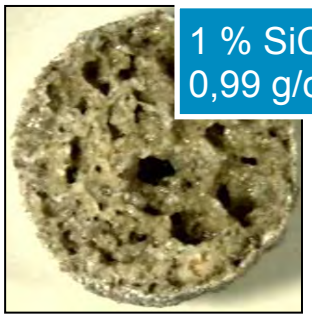
- Anstieg des Kornvolumens auf bis zu 250 %



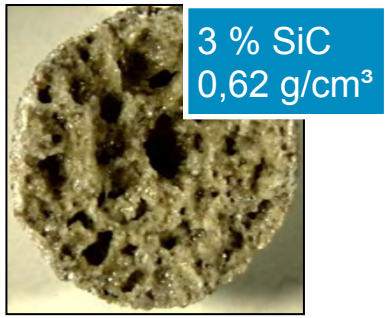
Rohdichte und Kornfestigkeit

- Einstellbar über Menge der Blähmittelzugabe

12 N/mm²



5 N/mm²



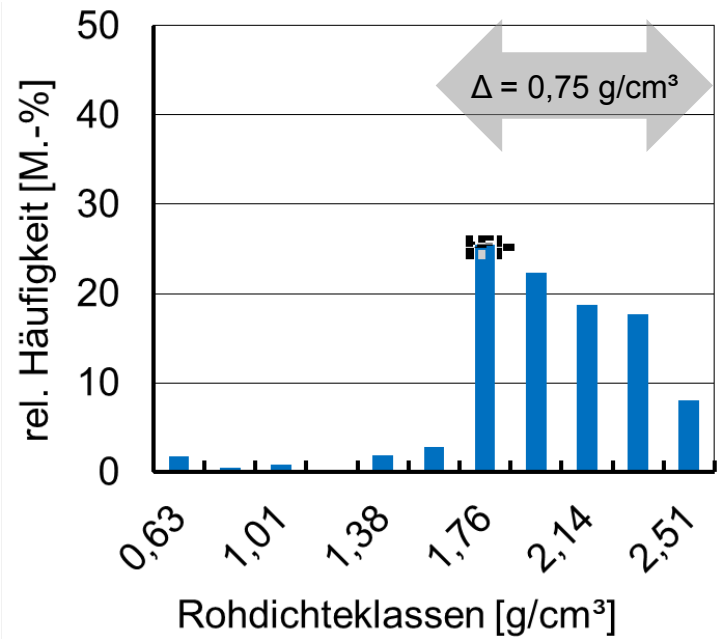
1,8 N/mm²

Leichte Gesteinskörnung – Mauerwerkbruch

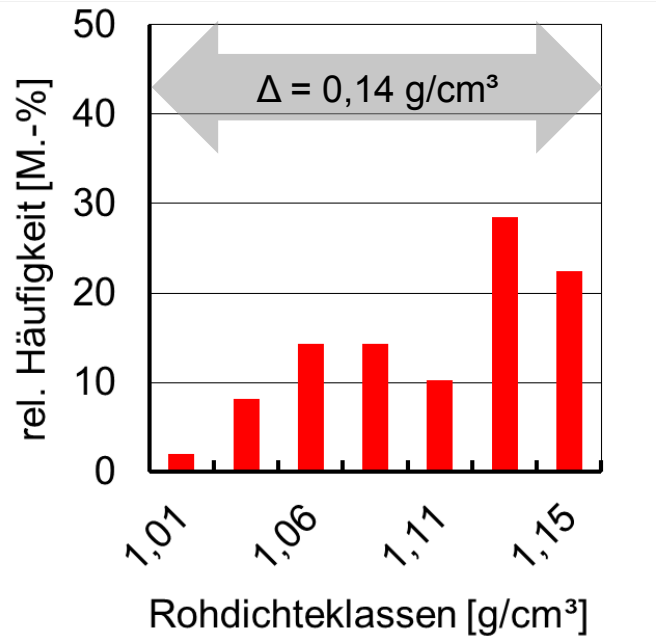
Erreichte Vergleichmäßigung

- Dichteverteilung des Produkts deutlich schmaler im Vergleich zu der des Ausgangsmaterials
- Zurückzuführen auf die Mahlung des Mauerwerkbruchs und die dadurch bewirkte gleichmäßigere Verteilung der verschiedenen Partikel

Dichteverteilung Ausgangsmaterial



Dichteverteilung Produkt



Einsatz in Betonen

Betonherstellung unter Praxisbedingungen

1999 – 2001	„TH-Projekt“: Granulates from aerated autoclaved concrete und clay brick rubble

		Granulat 1	Granulat 2	Blähton
4/8 mm	[dm³]	225	244	242
	[kg]	145	132	79,7
0/4 mm Blähschiefer	[kg]	63	82	80
Flugasche	[kg]	27,5	82,0	80,0
Zement	[kg]	63,0	68,0	67,5
Wasser	[kg]	51,0	25,0	41,0
w/z	[-]	0,81	0,37	0,61
Trockenrohdichte	[kg/m³]	1224	1120	871
Würfeldruckfestigkeit	[MPa]	8,8	11,9	6,2
Frostbeständigkeit		bestanden		nicht bestanden
Wärmeleitfähigkeit	[W/mK]	0,34	0,35	0,24

Einsatz in Betonen

Demonstrationsversuche Leichtbetonherstellung

2015 – 2017	AiF-Projekt: Residues from Vietnam

Haufwerksporiger Leichtbeton nach DIN EN 1520 Verwendete Körnungen: 2/8 oder 4/16 mm	Gefügedichter Leichtbeton nach DIN EN 1992-1-1, DIN EN 206 / DIN 1045-2 Verwendete Körnungen: Leichtzuschläge 4/8 mm und Sand 0/4 mm
Verhältnis Leichtzuschlag/Zementpaste •Volumen: $V_{LWA} : V_P = 10 : 1$ •Masse: $M_{LWA} : M_P = 2 : 1$	Verhältnis Leichtzuschlag/Mörtel •Volumen: $V_{LWA} : V_M = 1{,}7 : 1$ •Masse: $M_{LWA} : M_M = 0{,}3 : 1$
Anwendung Leichtbetonblöcke und -elemente	Anwendung Konstruktionsbeton
Rohdichteklasse: 0,6 – 0,7 g/cm³	Rohdichteklasse: 1,6 g/cm³
Bereich der Festigkeit: 1 – 2 MPa	Bereich der Festigkeit: ungefähr 30 MPa (LC 30/33)

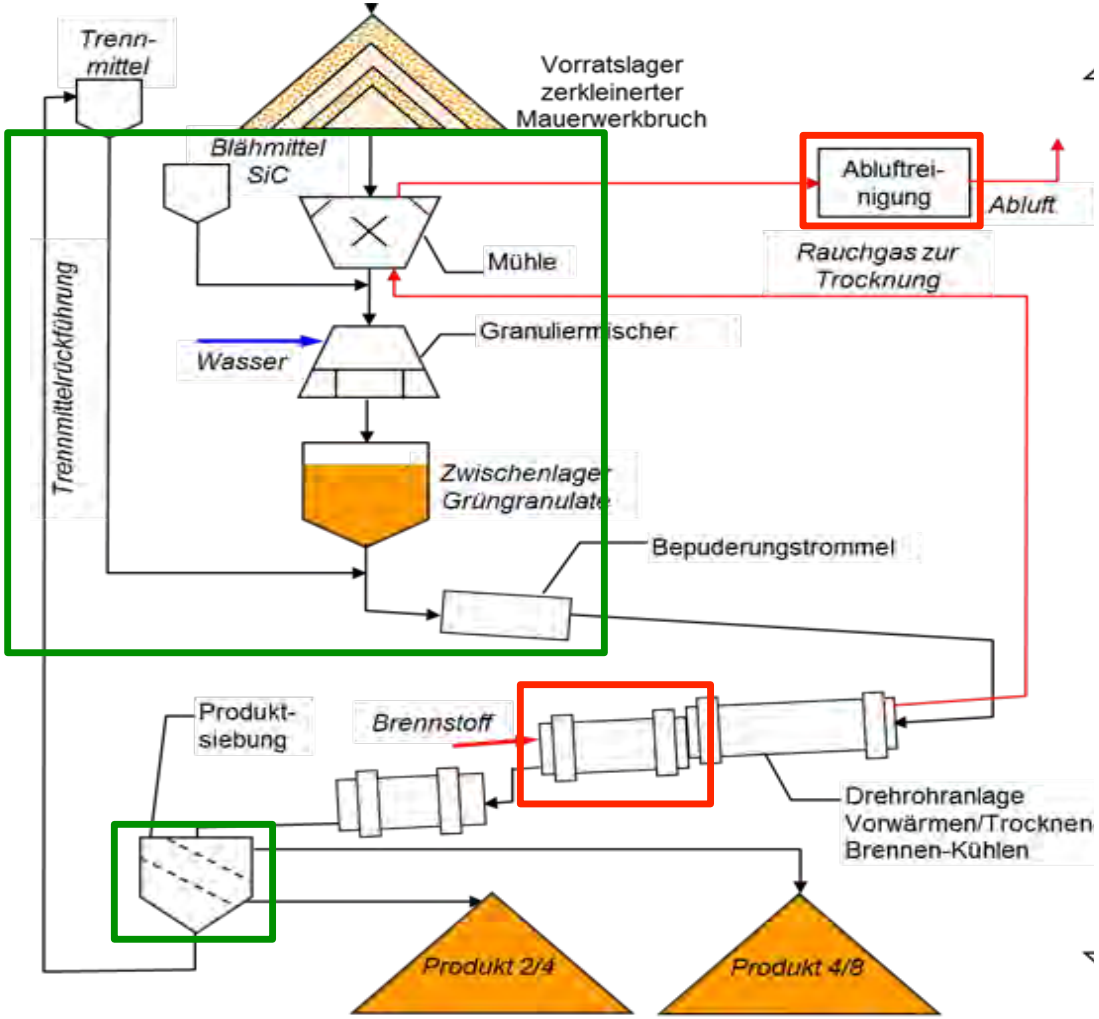
Zukünftige Herausforderungen

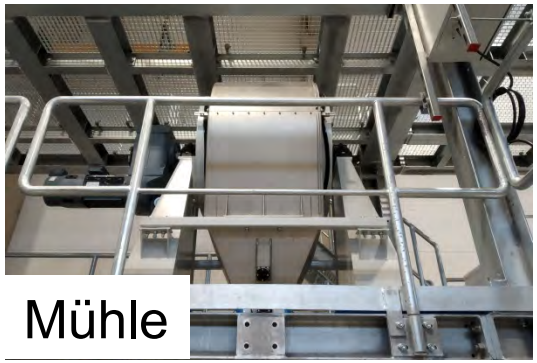
Scale up der Herstellungstechnologie

Gips-Rückgewinnung aus Bauschutt

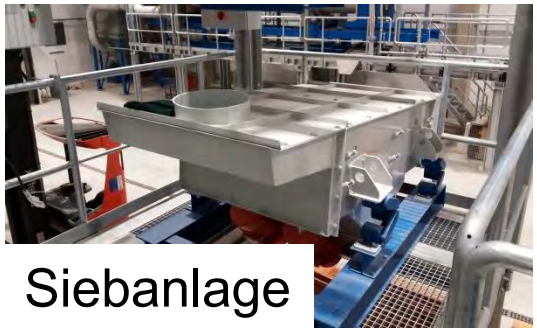
Nachweis der wirtschaftlichen Machbarkeit

Herstellungstechnologie: Rohstoffvorbereitung und Produktkonfektionierung

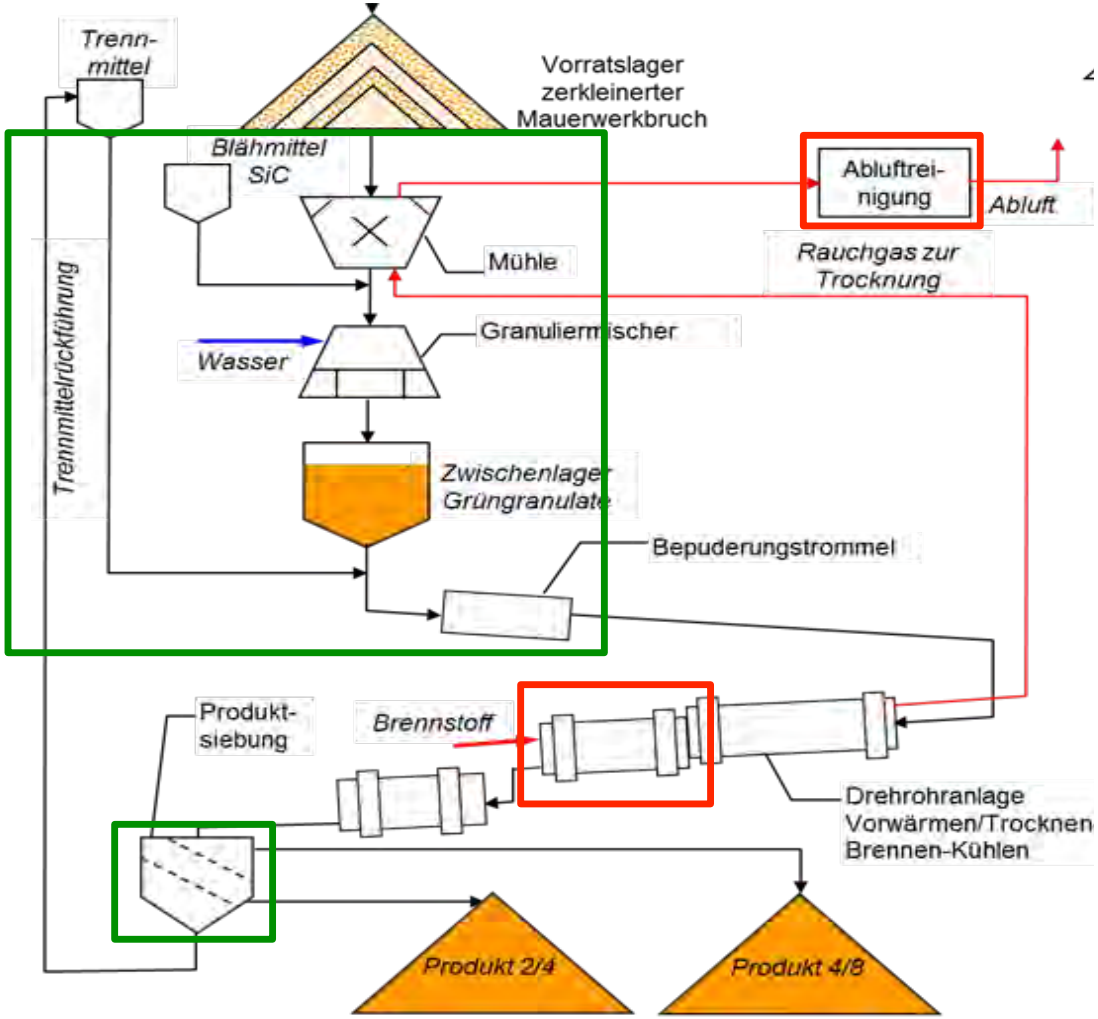



Mühle

Granulierteller


Siebanlage

Herstellungstechnologie: Thermische Behandlung und Abgasreinigung



Gips-Rückgewinnung

Gips-Rückgewinnung aus Bauschutt durch thermische Zersetzung und anschließende Abscheidung aus dem Rauchgas

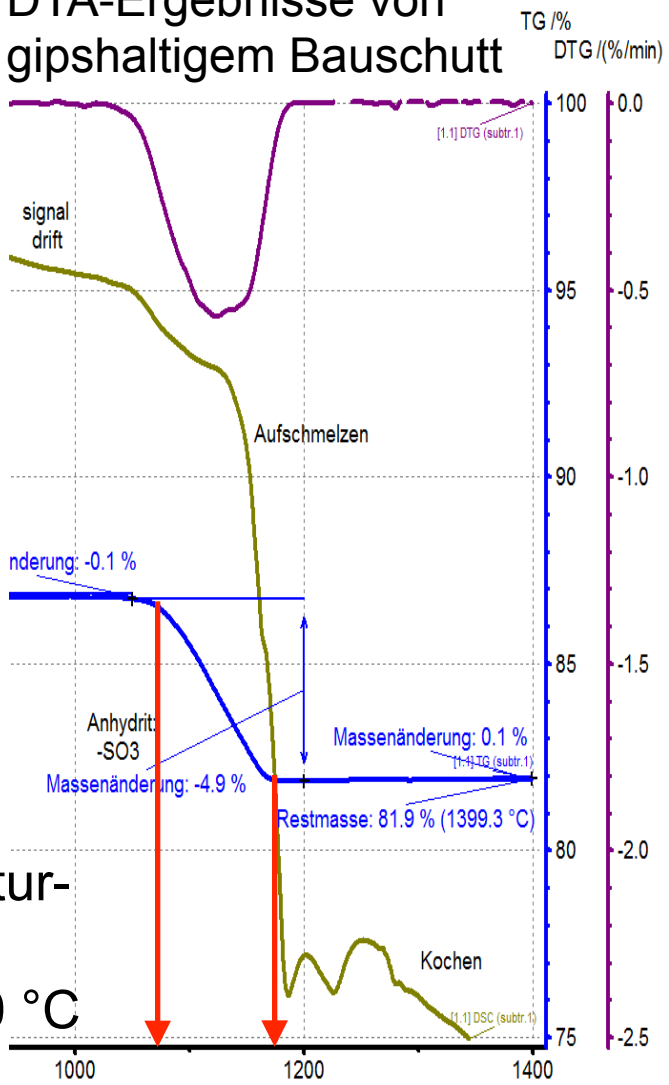
Reaktionen von Gips bei thermischer Behandlung

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \xrightarrow{40 - 180\ °C} CaSO_4 + 2H_2O$$

$$CaSO_4 \xrightarrow{1180\ °C} CaO + SO_3$$

Wer hat aufgepaßt?
Wie waren die erforderlichen Brenntemperaturen?

DTA-Ergebnisse von gipshaltigem Bauschutt

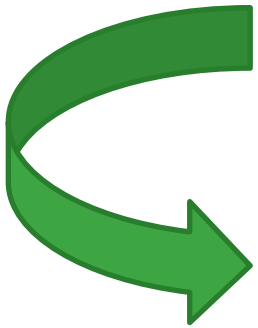


Zersetzung im Temperatur-bereich von 1030 – 1180 °C

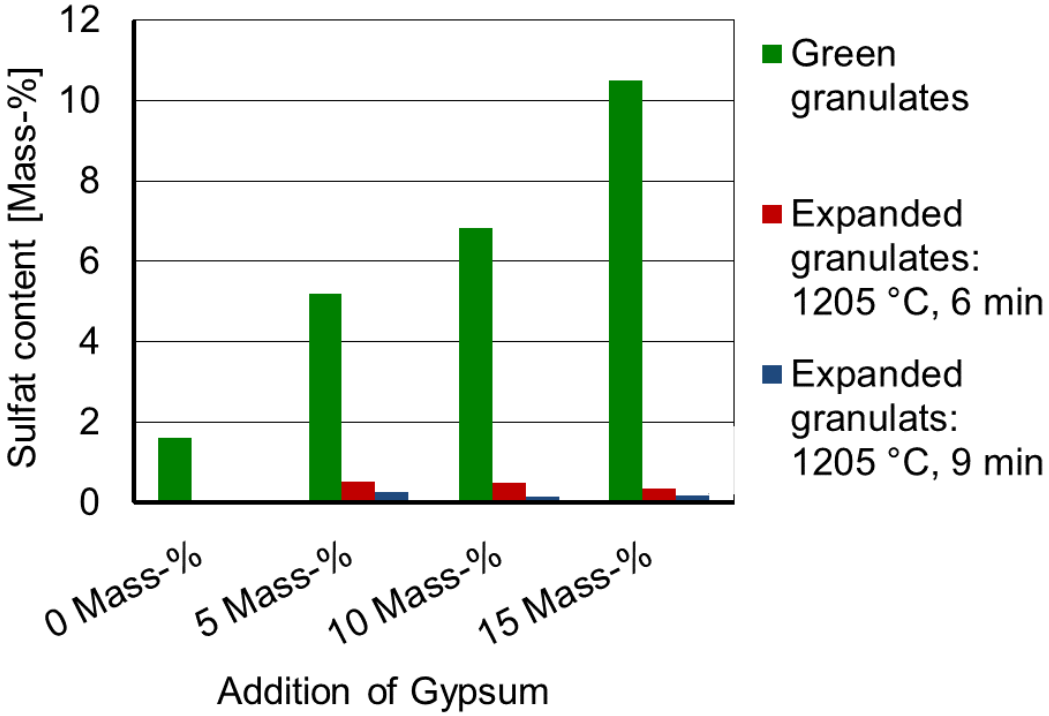
Gips-Rückgewinnung

Bestätigung der DTA-Ergebnisse durch Standardblähversuche

- Brenntemperaturen über 1150 °C, Verweilzeit 9 Minuten
- Reduzierung der Sulfatgehalte von 1 bis > 10 Masse-% im Ausgangsmaterial auf 0,15 bis 0,29 Masse-% in den Leichtzuschlägen



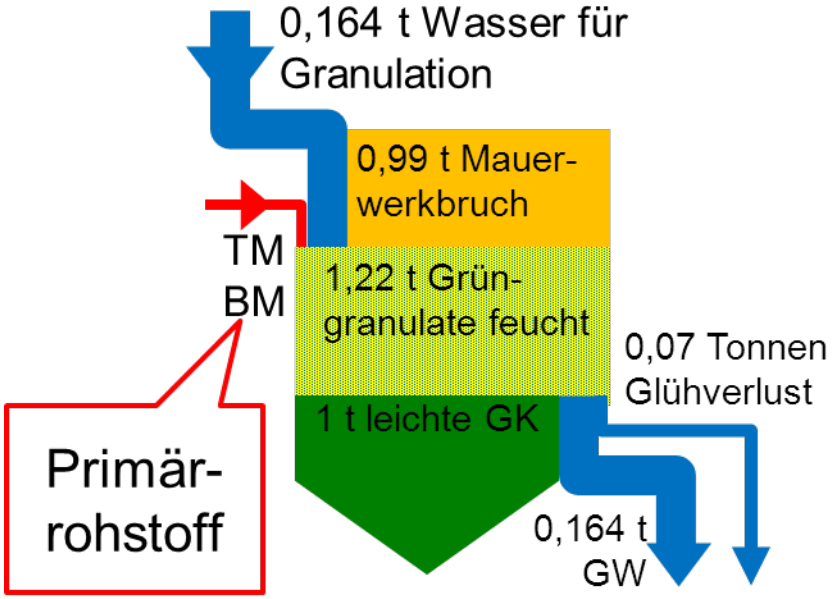
- Verwertung sulfathaltiger Bauschuttfraktionen nach Laborergebnissen realistisch
- Erzeugung Sekundärgips über Rauchgasreinigung
- (Neue Rohstoffquelle für die Gipsherstellung)



Wirtschaftliche Machbarkeit

Vergleichsmaßstab: Leichte Gesteinskörnungen aus Tonrohstoffen

1. Primärrohstoffverbrauch



Abnahme von 100 % (Vergleichsmaterial Blähton) auf 5 % (Leicht-zuschläge aus Recyclingmaterial)

Wirtschaftliche Machbarkeit

2. Energieverbrauch für Mahlung und Granulierung: Kein Unterschied zur Tonaufbereitung

BT: Blähton LG: Leichtgranulate	[kJ/kg] BT	[kJ/kg] LG
Aufheizvorgänge	1443	1225
Endotherme chemische Prozesse		
Verdampfen der Feuchtigkeit	659	391
Hydroxylation	241	0
Calciumcarbonatzersetzung	67	238
Calciumsulfatzersetzung	0	37
Exotherme chemische Prozesse		
	105	0
Summe	2305	1891

3. Prozesswärmeverbrauch

Abnahme von 100 % (Vergleichs-material Blähton) auf 83 % (Leicht-zuschläge aus Recyclingmaterial)

4. Kostenabschätzung für eine Anlage mit einem Durchsatz von 60.000 Tonnen pro Jahr

Kosten	[€/t]
Kapitalkosten	15,40
Reparaturkosten	3,60
Personalkosten	17,40
Energiekosten	42,80
Kosten für Blähmittel + Trennmittel	27,20
Sonstige betriebliche Kosten	9,10
Wagnis und Gewinn	2,70
	118,20
Einnahmen:	
Bauschuttannahme	-14,00
Produktpreis Leichtzuschläge	104,20

Schüttdichte	300 – 400 kg/m³	500 – 600 kg/m³
Leichtzuschläge aus Mauerwerkbruch	36,50 €/m³	57,30 €/m³
Blähton (nach Preisliste Blähtonhersteller 2018)	Blähton F3	Blähton F6,5
Abfüllung lose	56,05 €/m³	77,10 €/m³
BigBag	78,55 €/m³	99,60 €/m³

N. Schumann: Bachelor-Arbeit 2017

Ausblick

Nächste Schritte

- Vertiefung der wissenschaftlichen Grundlagen zum Existenzgebiet von Leichtzuschlägen aus natürlichen Tonen ebenso wie aus mineralischen Abfällen
- Weiterführung der Zusammenarbeit mit Vietnam mit dem Ziel der Errichtung einer technischen Anlage
- Herstellung von Leichtzuschlägen aus rückgebauten “Bimsbetonen” mit dem Ziel der Verlängerung der Verfügbarkeit von leichten Gesteinskörnungen im Neuwieder Becken

Ausblick

- Inbetriebnahme des Recycling-Technikums am IAB Weimar
- Erprobung der Herstellung von Leichtzuschlägen in der Technikumsanlage
- Überprüfung der Aussagen zur Sulfatreduzierung und -rückgewinnung
- Herstellung von Leichtgranulatmengen für Anwendungsversuche

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

b.leydolph@iab-weimar.de

IAB-Wissenschaftstage 2019