



Institut für Angewandte Bauforschung  
Weimar gemeinnützige GmbH

# Recyclingtechnologien – Rückblick und Ausblick

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

Weimar  
September 2016

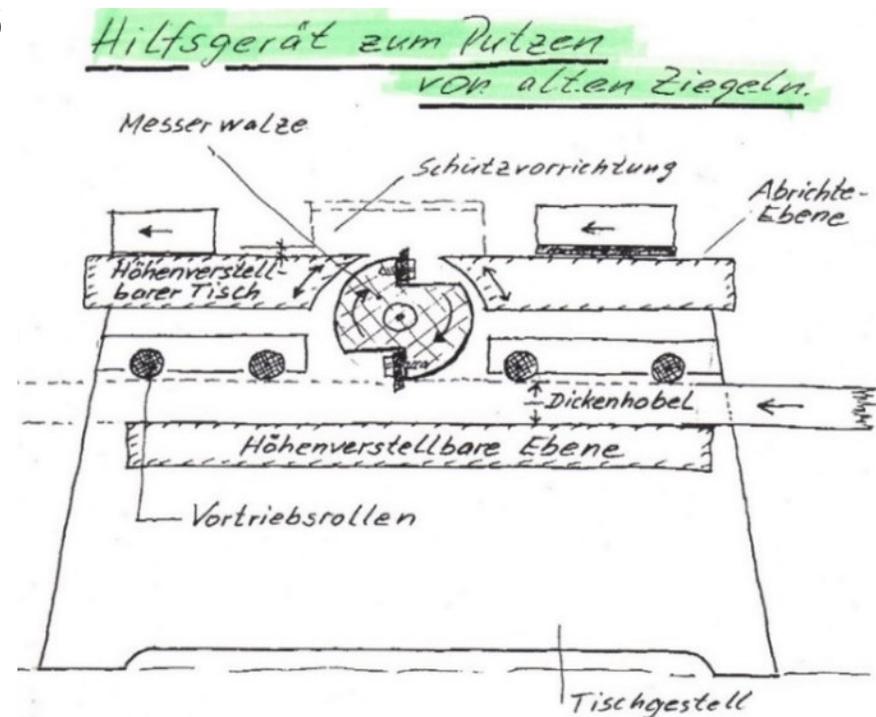
Meilensteine des Baustoffrecyclings

Gegenwärtige Situation

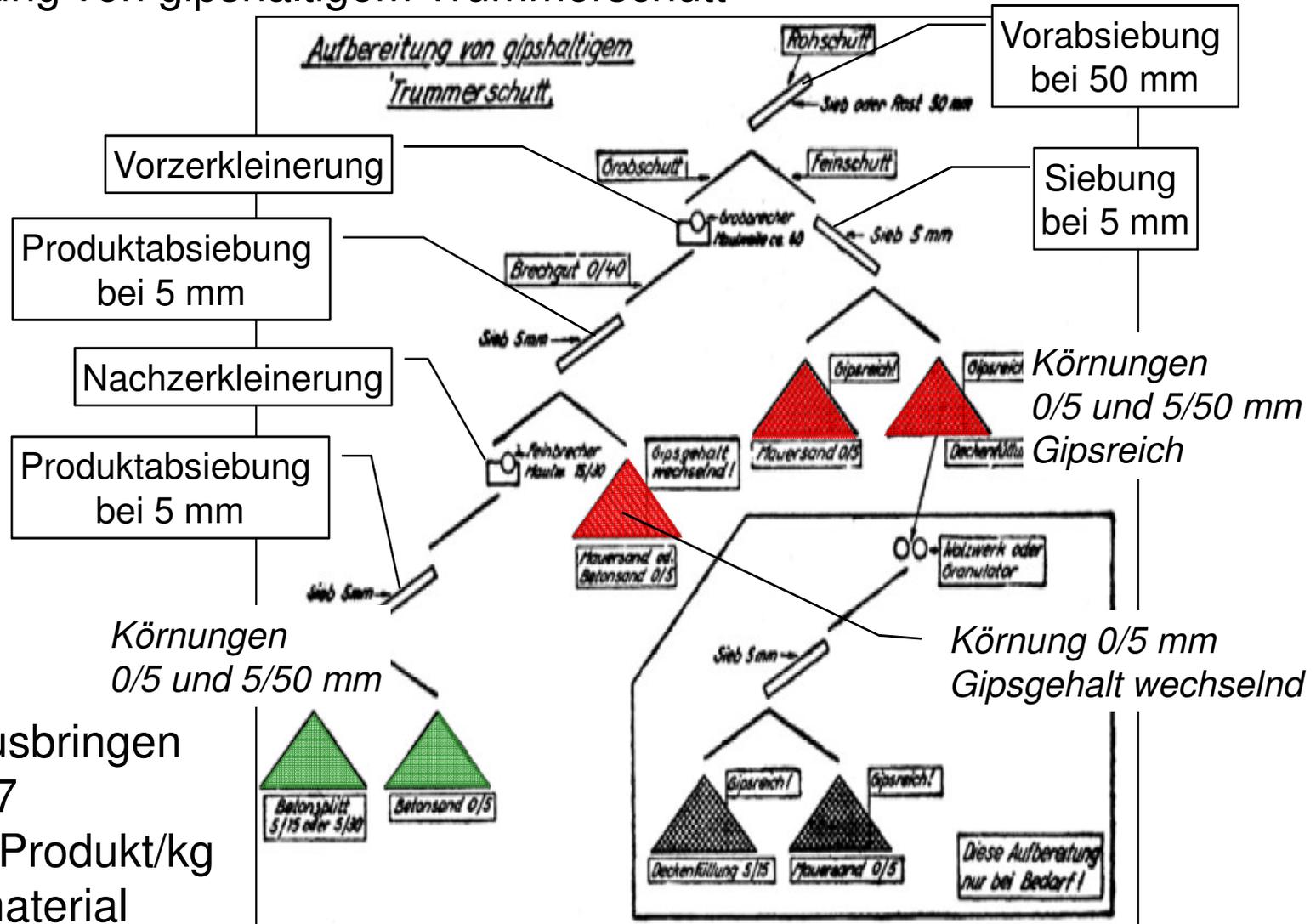
Ausblick: Wege zu mehr Ressourceneffizienz

Recycling nach dem 2. Weltkrieg:

- Sortierung des Trümmerschutts
  - Reinigung der unbeschädigten Ziegel
    - Direkte Wiederverwendung
  - Aufbereitung der beschädigten Ziegel
    - Verwertung für Ziegelsplittbeton
- entsprechend DIN 4136  
Norm zurückgezogen



## Aufbereitung von gipshaltigem Trümmerschutt



## Trümmer-Verwertungs GmbH in Frankfurt 1947 - 1963

### Anlagenkomponenten

- Brech- und Siebanlage
- Betonwerk für die Herstellung von Vollsteinen, Hohlblocksteinen und Deckensteinen

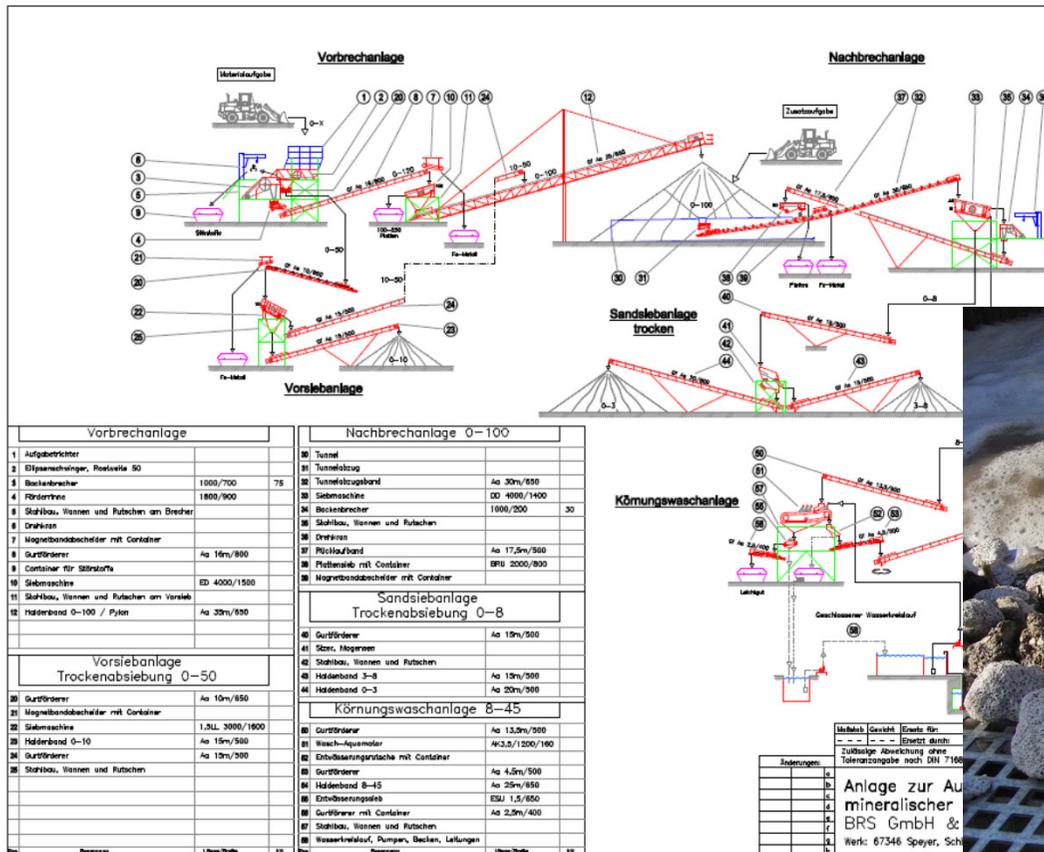
Tagesleistung von 1500 m<sup>3</sup>/d  
Jahresleistung 300.000 – 400.000 t/a

### Sinteranlage für den Feinschutt

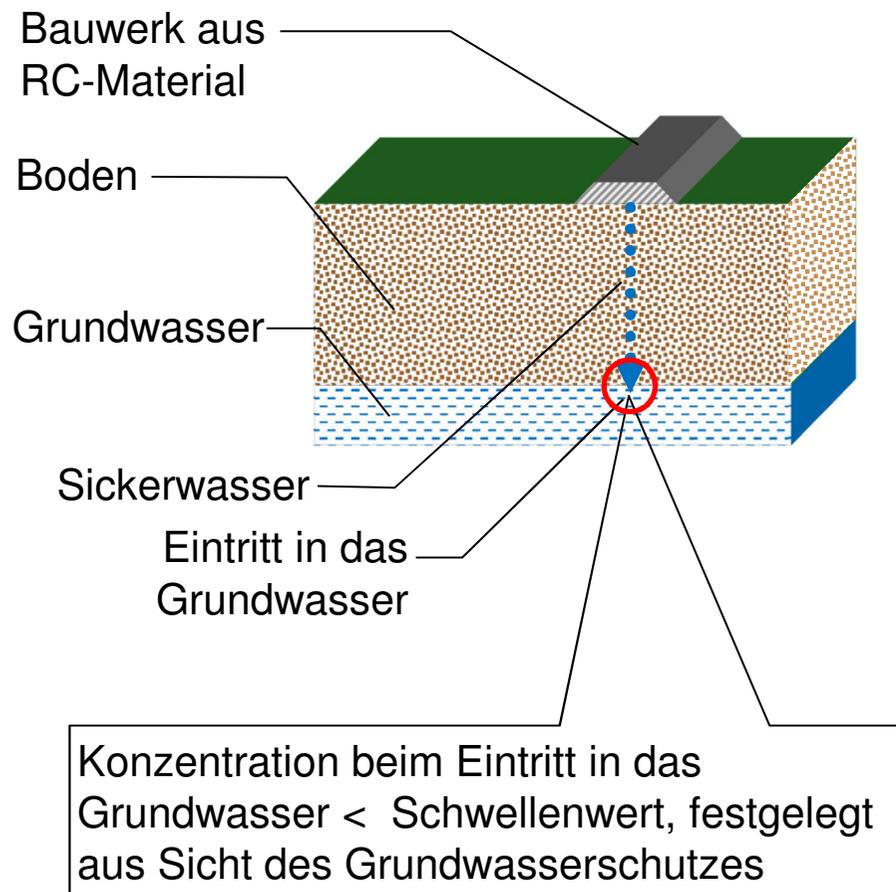
- Beseitigung von unerwünschten Beimischungen
- Einsatz des behandelten Feinschutts für die Betonherstellung



Renaissance des Recyclings ab 1980:  
Entstehung von gut ausgerüsteten, stationären  
Recyclinganlagen



Ab 2000: Baustoffrecycling wird auf den Schadstoffaspekt verkürzt



## Schadstofffreisetzung

- Gehalt an relevanten Bestandteilen
- Fixierung der Bestandteile: Unlöslich → leicht löslich
- Freisetzungskinetik
- Standort des Bauwerks: außerhalb von Wasserschutzgebieten → innerhalb von Wasserschutzgebieten
- Einbauweisen: wasserdurchlässig → wasserundurchlässig → eingebunden in bituminöse Matrix oder Zementsteinmatrix

## Schadstofftransport

- Reaktionen während der Bodenpassage: keine Reaktionen, Abbau, Retardation
- Stärke der Grundwasserdeckschicht
- Durchlässigkeit der Grundwasserdeckschicht

Ab 2010: Forderungen nach Ressourceneffizienz nehmen zu



## Ermittlung von Stoffströmen im Focus einer Vielzahl von Studien

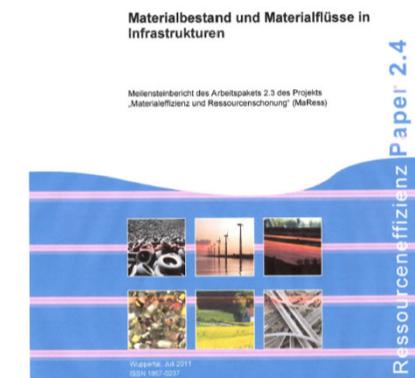
Schiller, G; Deilmann, C.  
2010:  
Ermittlung der Ressourcenschonungspotentiale...

IÖR, Dresden,  
INTECUS, Dresden



Steger, S. u. a 2011:  
Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen.

Wuppertal Institut



Deilmann, C. Reichenbach, J. u.a. 2014:  
Sensitivitätsstudie zum  
Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau

IÖR, Dresden,  
INTECUS, Dresden



Schiller, G.; Steger, S.;  
Reichenbach, J. u.a. 2015:  
IÖR, Dresden, Wuppertal  
Institut, INTECUS

Kartierung des anthro-  
genen Lagers in  
Deutschland zur  
Optimierung der  
Sekundärrohstoffwirtschaft.



Bundesverband  
Baustoffe – Steine und  
Erden e. V. 2016:

Die Nachfrage nach  
Primär- und  
Sekundärrohstoffen der  
Steine-und-Erden-  
Industrie bis 2035 in  
Deutschland“



Müller, A. 2016:

Erschließung der  
Ressourceneffizienz-  
potenziale im Bereich  
der Kreislaufwirtschaft  
Bau






 Bundesministerium  
 für Umwelt, Naturschutz,  
 Bau und Reaktorsicherheit

- In ProgRess II genannte Ziele
- Nur Beton und Gipskartonplatten werden explizit aufgeführt
  - Zielvorgaben sehr diffus

## Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) II: Fortschrittsbericht 2012 – 2015 und Fortschreibung 2016 – 2019

Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen

Steigerung des Einsatzes von Recycling-Baustoffen – Recycling-Gesteinskörnungen als Betonzuschlagsstoff	Einsatzquote von Recycling-Gesteinskörnungen als Betonzuschlagsstoff am Gesamtaufkommen an mineralischen Recycling-Baustoffen	Signifikante Erhöhung bis 2030
Steigerung des hochwertigen Einsatzes von Recycling-Baustoffen – Ausschleusung von Gips aus Bau- und Abbruchabfällen und Etablierung des Recyclings	Rezyklatanteil in der Gipsplattenherstellung (Gipskarton)	Signifikante Erhöhung bis 2030

## Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II

Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen

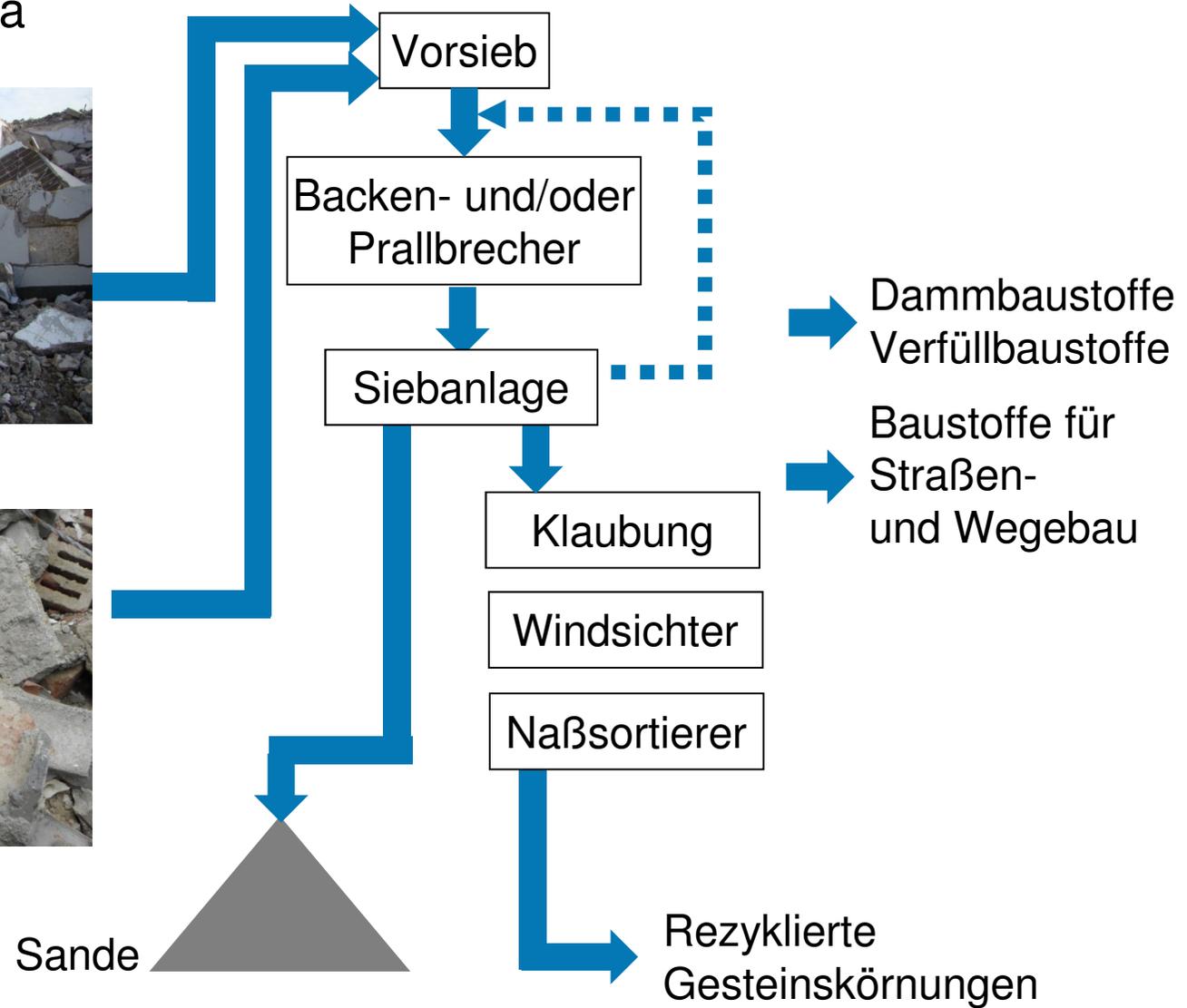
## Aufbereitungsschema



Betonbruch



Mauerwerkbruch

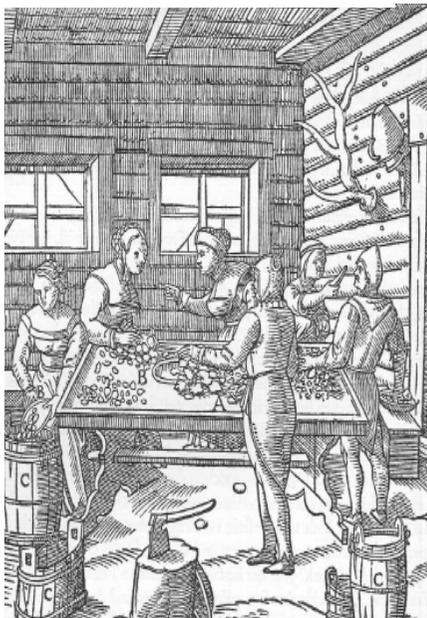


# Gegenwärtige Situation: Aufbereitung

Einzelkornsor-  
tierungstechniken

Klaubung bzw. Hän-  
dische Sortierung

Klaubetafel nach  
Agricola 1556



Sortierband  
2014



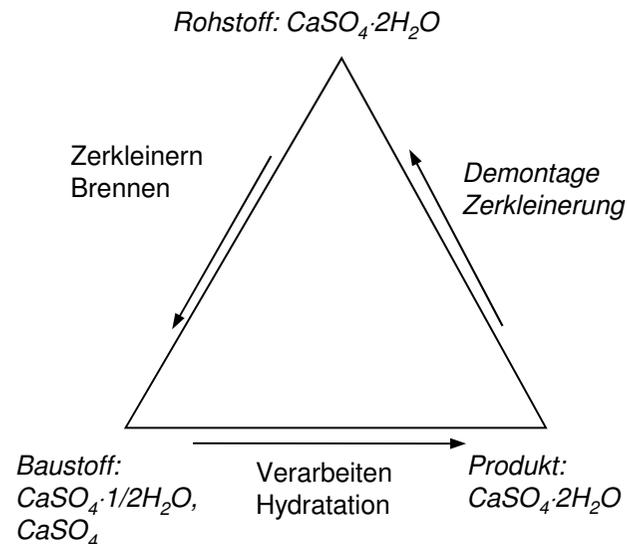
## Asphaltaufbruch

- Rezyklierbarkeit beruht auf der Thermoviskosität des Bindemittels Bitumen
- Technologien für die hochwertige Verwertung verfügbar
- Mischgutproduktion : Ausbauasphalt = 41 Mio.t : 14,5 Mio.t
- Verarbeitung erfolgt unter Regie der (Primär-) Asphalthersteller



## Gips

- Rezyklierbarkeit beruht auf der Reversibilität der Gipshydratation
- Technologien für die Aufbereitung von Gipskartonplatten verfügbar
- Gesamtrohstoffverbrauch : Sekundärgipsmenge = 8 Mio.t : 0,6 Mio.t
- Rohstoffliche Verwertung erfolgt durch die Gipsindustrie

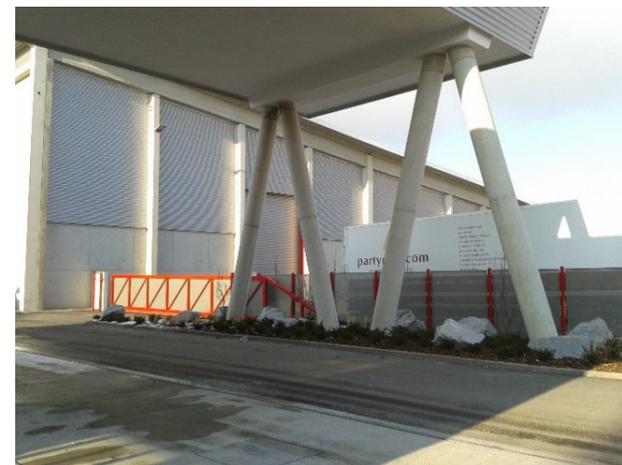


## Betonstämmige Recycling-Baustoffe

- Anwendung basiert auf physikalischen Merkmalen wie Dispersität, Kornfestigkeit und Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel
- Technologien der Aufbereitung von der Natursteinindustrie übernommen
- Einsatz für Frostschutz- und Tragschichten im Straßenbau oder für Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen
- Aufnahmepotenziale

Mineralische Baustoffe für Frostschutzschichten und Tragschichten: 14,5 Mio.t/a	Betonbruch 27,3 Mio.t/a
Betonherstellung (Transportbeton + Betonwaren + konstruktive Fertigteile): 150,5 Mio.t/a	

- Rollenverteilung zwischen Rezyklatherstellern und –anwendern wichtig für Fortschritte beim Recycling von betonstämmigen Recycling-Baustoffen



### Recycling-Baustoffe auf Basis von Mauerwerkbruch

- Anwendungen basieren auf dem Volumen der Rezyklate
- Einsatz für Verfüllungen, Bodenverbesserungen oder...

für landschaftsgestaltende Maßnahmen



→ Entwicklung von Technologien

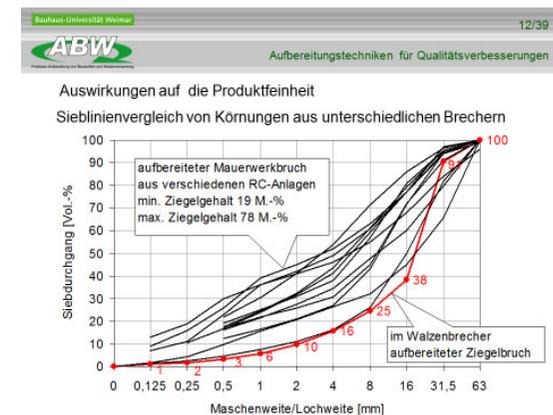
→ Entwicklung neuer Produkte

Technologieentwicklungen

- Zerkleinerungsverfahren für Mauerwerkbruch zur Erzeugung von feinkornarmen Körnungen



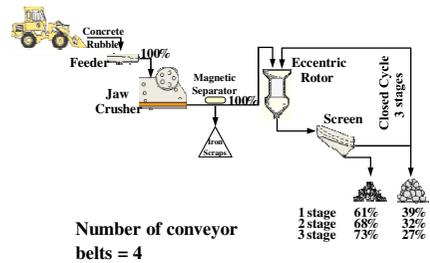
→ Eigener Handversuch R´10



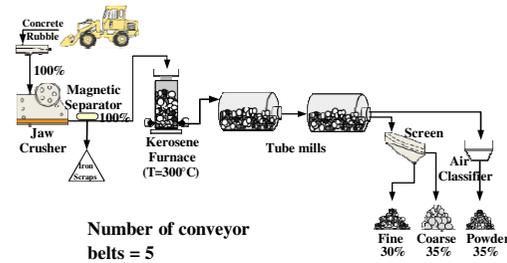
- Zerkleinerungsverfahren für Betonbruch zur Erzeugung von zementsteinarmen Körnungen → Vielzahl von Untersuchungen
- Verfahren zur Sortierung von Bauschutt → Zunehmende Anzahl von Untersuchungen und erste Praxisbeispiele

## Verfahren zur Erzeugung von zementsteinarmen Körnungen

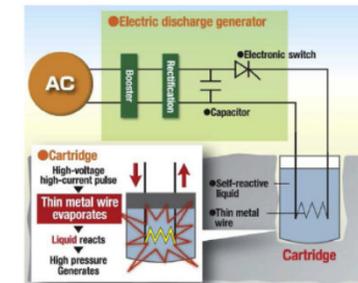
Eccentric Rotor Crusher (ERC)



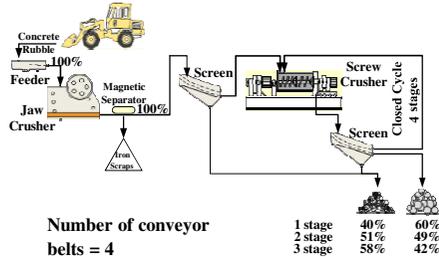
Heating and Rubbing (HR-F)



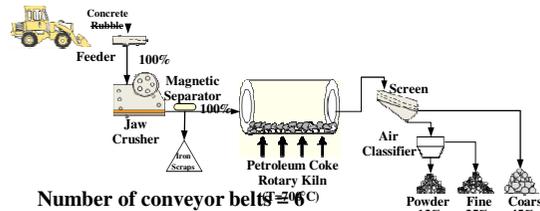
Elektrodynamische Zerkleinerung



Screw Abrading Crusher (SAC)

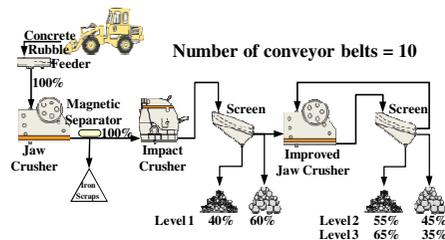


Heating and Sorting (HS-RK)

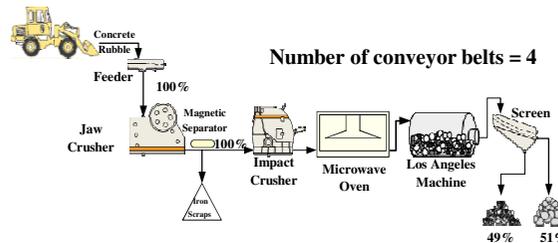


Referenz: Zweistufiger Brechprozess

Compression & Impact Process (C&I)



Mikrowave-Heating and Rubbing (HR-M)



## Verfahren zur Erzeugung von zementsteinarmen Körnungen

	Wasseraufnahme	Ausbringen > 4,8 mm	Energieverbrauch	
			Aufgabe	Produkt
	[Masse-%]	[kg/kg]	[MJ/t]	
Referenz	5,5	0,60	22,2	37,0
Eccentric Rotor Crusher	1,0	0,27	34,2	126,7
Compression & Impact	3,2	0,35	39,8	113,6
Screw Abrading Crusher	1,6	0,4	63,5	158,8
MW-Heating and Rubbing	2,8	0,51	23,0	45,1
Heating and Rubbing	0,8	0,35	484,7	1384,8
Heating and Sorting	0,4	0,45	1056,0	2346,6

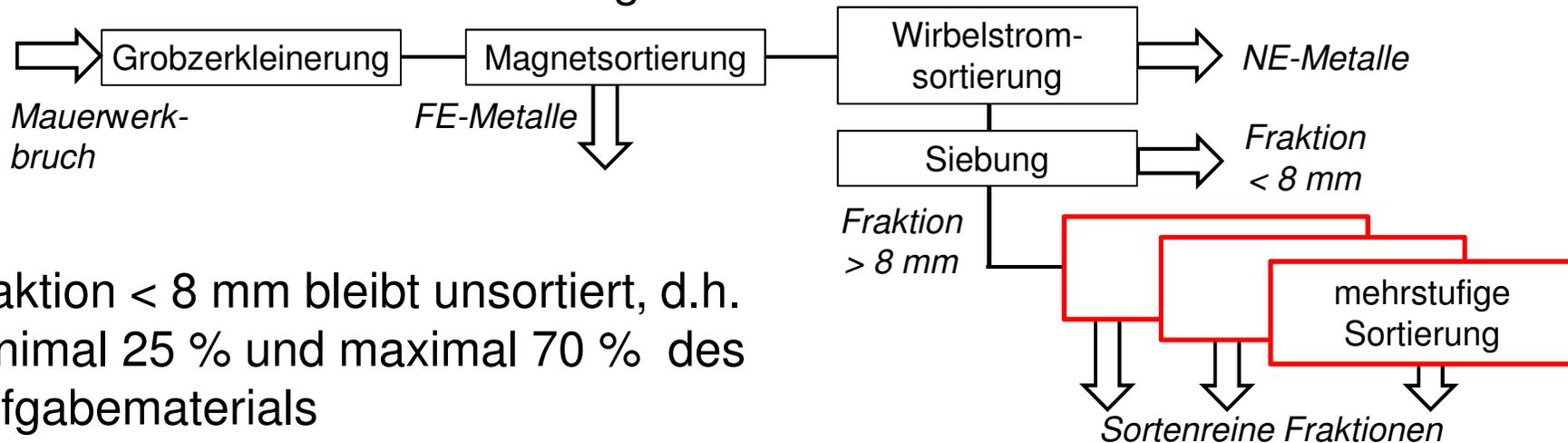
## Verfahren zur Einzelkornsortierung von Bauschutt Upstream-Verfahren: Sortierroboter, z.B. Smart Gripper



Max. Picking Speed	2000 picks/hour = 33 picks/min
Max. Object Weight	20 kg

Nach: Resource Efficient Use of Mixed Wastes  
Case study: ZenRobotics Recycler – Robotic waste sorting V2 – April 2016

## Downstream-Verfahren: Sensorgestützte Verfahren



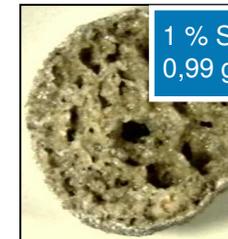
Fraktion < 8 mm bleibt unsortiert, d.h. minimal 25 % und maximal 70 % des Aufgabematerials

## Entwicklung neuer Produkte

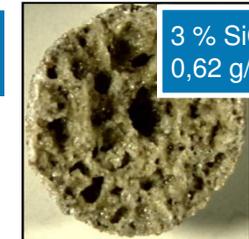
- Mauerwerkbruch für die Betonherstellung tauglich machen



0 % SiC  
1,8 g/cm<sup>3</sup>



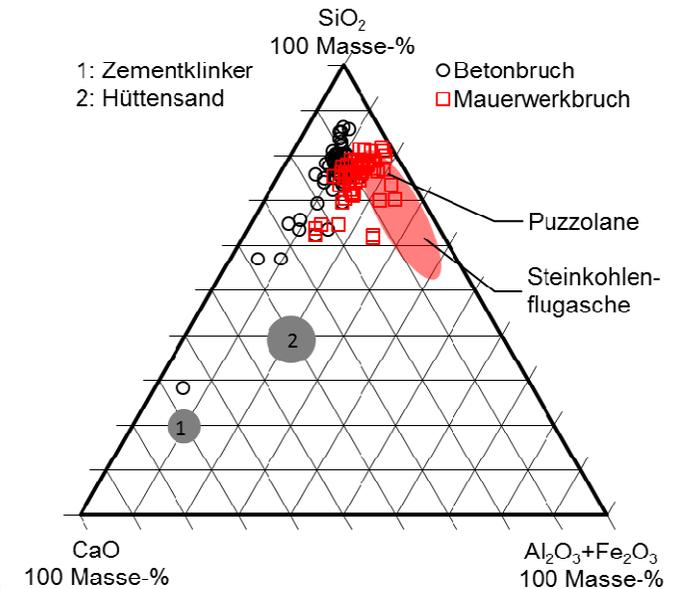
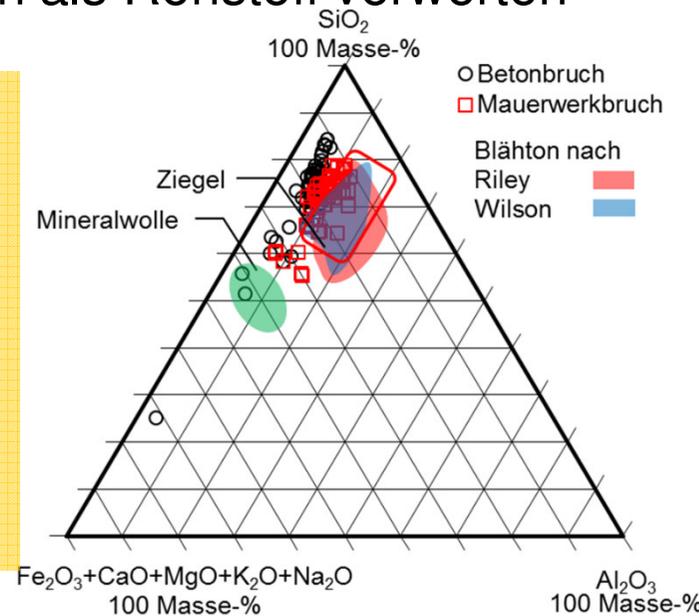
1 % SiC  
0,99 g/cm<sup>3</sup>



3 % SiC  
0,62 g/cm<sup>3</sup>

- Mauerwerkbruch als Rohstoff verwerten

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



## Deutscher Bundestag

18. Wahlperiode

Drucksache 18/9094

06.07.2016

Politische  
Unterstützung

## Beschlussempfehlung und Bericht

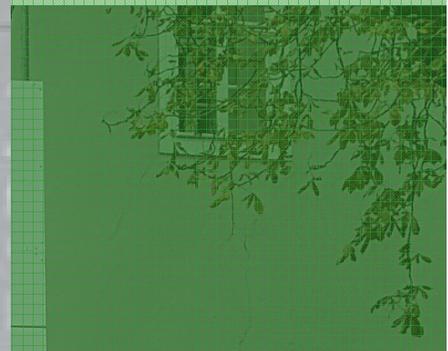
des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit  
(16. Ausschuss)

Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der  
natürlichen Ressourcen (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II)

Ausgewählte Schwerpunkte der 10 Aufforderungen an die Bundesregierung

1. Entwicklung einer umfassenden nationalen Forschungs- und Innovationsförderstrategie
2. Fortentwicklung und Ausbau der Angebote zur betrieblichen Effizienzberatung
3. Technologische Innovationen zur Ressourceneffizienz zu fördern und Technologieoffenheit sicherzustellen
4. Abstimmung der Aktivitäten zur Energie- mit denen zur Ressourceneffizienz
5. Verbesserung der methodischen Voraussetzungen für produktbezogene Ökobilanzen
6. Stärkung von Initiativen zur ressourceneffizienten öffentlichen Beschaffung
7. Ausweitung der Produktverantwortung als Instrument zur Vermeidung von Abfällen

## Vorschlag zur Verbesserung der ressourceneffizienten Beschaffung

<p>Haustechnikplanung Heizung / Sanitär Dipl.-Ing. Mewes - Ingenieurbüro für Gebäudetechnik Schillerstraße 6 99096 Erfurt E-Mail: kontakt@ihr-energieberater.de</p> <p>Tel.: 0361 3452920 Fax: 0361 3451290</p>	
<p>Haustechnikplanung Elektrotechnik Steinlgeweg Planungs GmbH &amp; Co. KG Bodenschwinghstraße 80 99425 Weimar E-Mail: info@steinlgeweg.jetzweb.de</p> <p>Tel.: 03643 86130 Fax: 03643 861350</p>	<p>Einführung einer Ressourcenplanung Dipl.-Ing. Mustermann Ingenieurbüro für Ressourcen Engineering xxx</p>
<p>Haustechnikplanung Lüftung Ingenieurbüro HIRSCH Heckerstieg 3 99085 Erfurt E-Mail: info@ibh-erfurt.de</p> <p>Tel.: 0361 66480-0 Fax: 0361 66480-99</p>	

## Fazit

- Verwertung von Bauabfällen hat in den letzten 20 Jahren kaum Fortschritte gemacht
- Ursachen: Überbetonung des Schadstoffaspekts zu Lasten von Technologie- und Produktentwicklungen
- Fortschritte nur bei gezielter Förderung von Forschung und Entwicklung sowie bei (befristeter) Förderungen der Herstellung und Anwendung von Recycling-Baustoffen

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!

[a.mueller@iab-weimar.de](mailto:a.mueller@iab-weimar.de)