

„Circonomy-Hub Kickoff Treffen“

» Innovative Aufbereitungsverfahren für Bauschutt zur Rückgewinnung sekundärer Rohstoffe «

Dr. Volker Thome

15. März 2023

Forschungsthemen Fraunhofer IBP

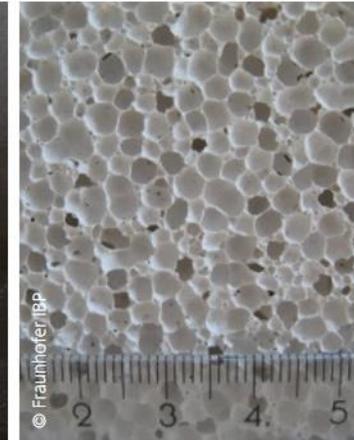
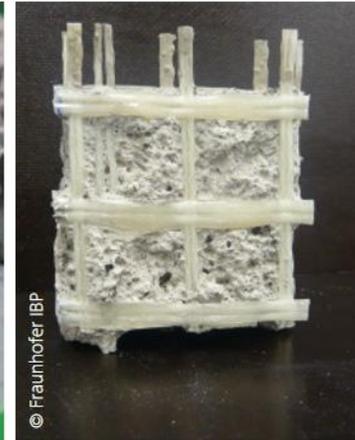
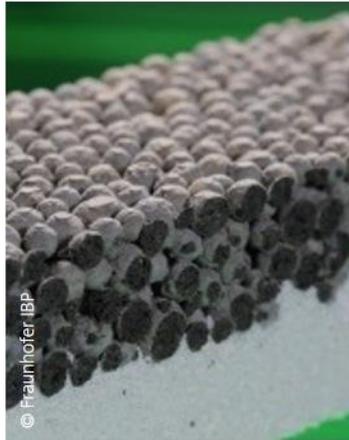
Abt.: Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling

Baustofftechnologie

- Formulierung von Zementen und Beton
- Leichtbeton, Faser-verstärkter Beton
- **Porenbeton**, Schaumbeton und Dämmstoffe
- **Entwicklung von Analyseverfahren**
- Zementarme und zementfreie Bindemittel
- **Historische Baustoffe**
- Verwertung von Pyrolysaten / Karbonisaten

Aufbereitung und Verwertung

- Recycling von mineralischen Abfallstoffen
- Aufbereitung von Aschen und Schlacken
- **Gipsrecycling**
- **Aufbereitung von teerhaltigem Straßenabbruch**
- Aufreinigung von recovered Carbon Black
- **Bauschuttsortierung**





Ausgangslage

Wirtschaftliche Probleme

- Ressourcenmangel
- Nur 12,7% sekundäre Rohstoffe
- Verbrauch an Bausand ca. 50 Mrd. t / a

Gesellschaftliche Probleme

- Kein echtes Recycling im Bauwesen
- Hohe CO₂-Emissionen der Bauwirtschaft
- Abhängigkeit von Rohstoff-Importen

9 INDUSTRIE,
INNOVATION UND
INFRASTRUKTUR



12 NACHHALTIGE/R
KONSUM UND
PRODUKTION



13 MASSNAHMEN ZUM
KLIMASCHUTZ



Quelle: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

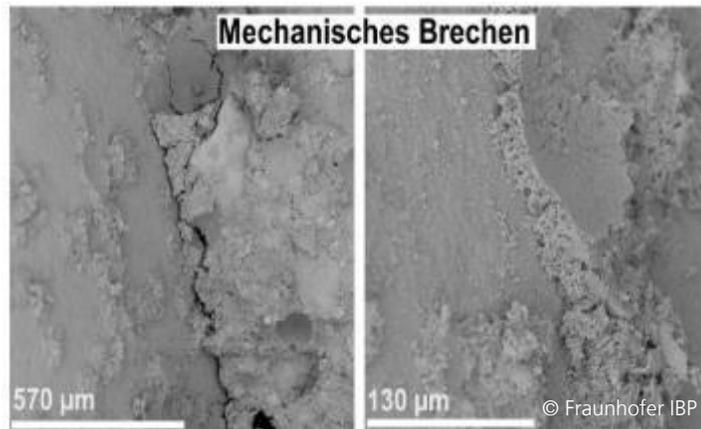


© Shutterstock

Aktuelle Situation, Herausforderungen und Motivation

Probleme bei der Nutzung mineralischer Sekundär-Rohstoffe

QUALITÄT



»Die Qualität des RC-Materials entspricht nicht dem Primärrohstoff.«

**ELEKTRODYNAMISCHE
FRAGMENTIERUNG**

HETEROGENITÄT



»Die heterogene Zusammensetzung verhindert eine hochwertige Wiederverwendung.«

BAUCYCLE-SORTIERUNG

SCHADSTOFFE



»Schadstoffe verhindern den Einsatz in vielen Bereichen.«

ENSUBA-VERFAHREN

Herausforderungen Betonrecycling

Probleme bei der Nutzung mineralischer Sekundär-Rohstoffe



»Mechanische Aufbereitung macht aus einem Großen viele Kleine!«

Verwertungsproblem für Frischbeton:

- Verringerung mechanischer Festigkeiten
- Wasseranspruch erhöht
- Verarbeitbarkeit erschwert

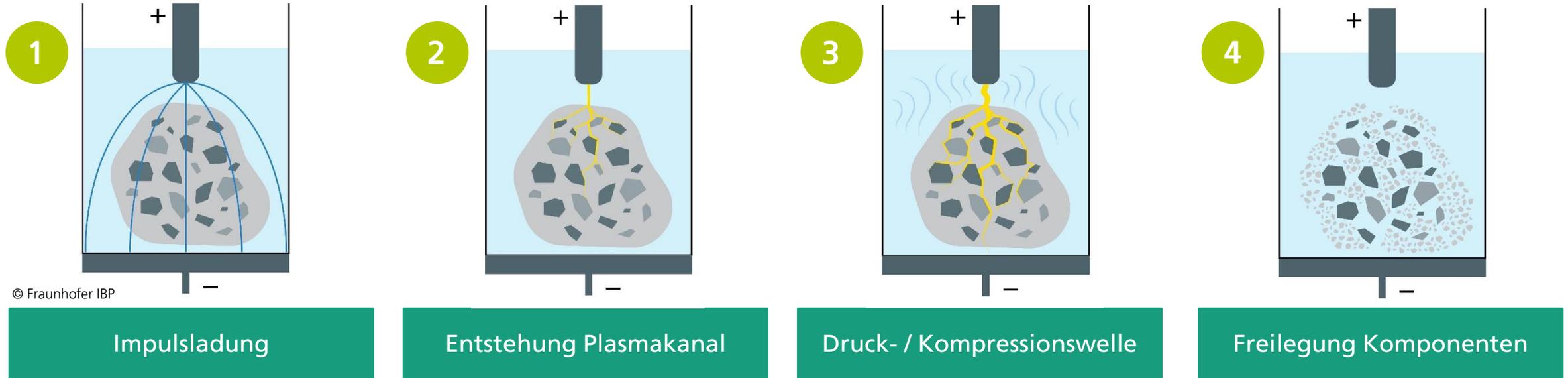
Für ein echtes Recycling müssen die im Verbund vorliegenden Bestandteile selektiv freigelegt werden



Elektrodynamische Fragmentierung



Prinzip der elektrodynamischen Fragmentierung (EDF)



Schematische Darstellung einer elektrischen Entladung zwischen zwei Elektroden

- Eine Impulsentladung durchläuft den Festkörper entlang von Korngrenzen.
- Beim Durchschlag entsteht ein Plasmakanal, der sich schlagartig ausdehnt.
- Die Druckwelle wird von der Gefäßwand reflektiert und generiert zusätzlich eine Kompressionswelle.

Der elektrische Durchschlag verläuft bevorzugt an Phasengrenzen, der entstehende Plasmakanal mit $T \sim 10^4$ K erzeugt eine Druckwelle mit ca. 10 GPa. Die Druckwelle wird von der Gefäßwand reflektiert und erzeugt eine Kompressionswelle, welche die Freilegung der Komponenten verstärkt.



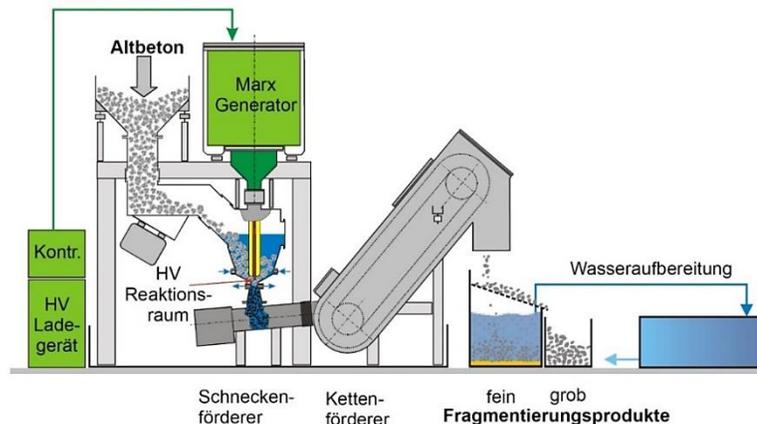
Historie der elektrodynamischen Fragmentierung

hoher Energieverbrauch
($> 20 \text{ kWh/t Beton}$)

geringer Durchsatz
(max. 1 t/h Beton)



© Karlsruher Institut für Technologie KIT



Quelle: Bluhm et al. 2000



© Fraunhofer IBP

Das Verfahren wurde in den 1950er Jahren an der Universität Tomsk entwickelt

Erste Labor-Fragmentierungsanlage am KIT

Masterarbeit von V. Thome zu EDF

Laboranlage für diskontinuierlichen Betrieb (IBP)

1950

1985

1999

2000

2011

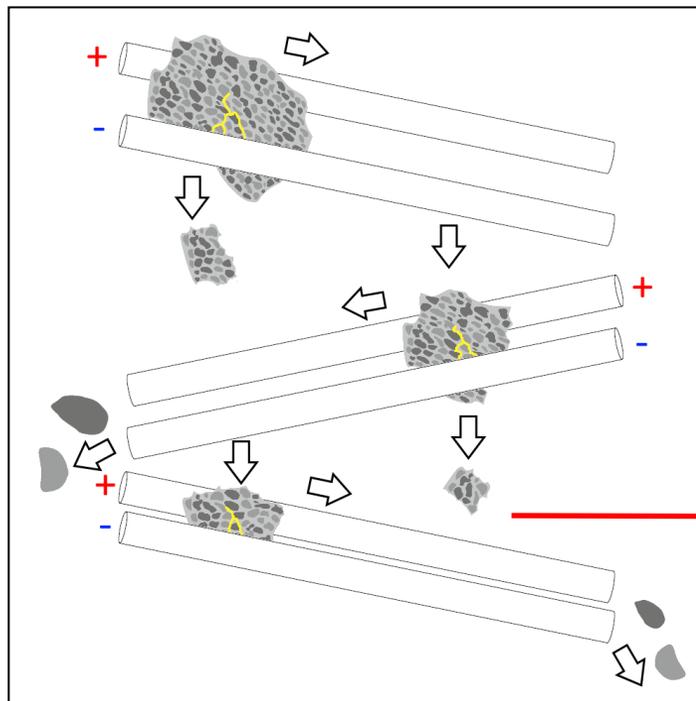


Kooperation IBP mit Diehl Defence zur Entwicklung von EDF-Großanlagen

Nur mit Diehl – Generatoren lässt sich das Verfahren wirtschaftlich betreiben!

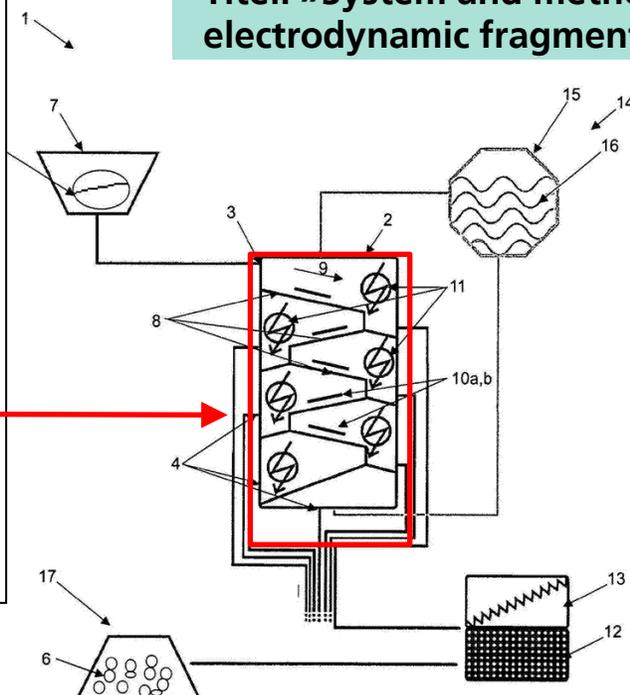
Nur **1/10 Energieverbrauch** im Vergleich zu herkömmlichen Hochspannungs-Generatoren !

Durchsatz konnte durch neuartiges Mehrelektrodensystem erhöht werden !



aus Masterarbeit (IBP) S. Lamoth (2020)

Patent IBP/Diehl für **EDF-Großanlagen** (2018)
DE 10 2018 003 512 A1 2019.10.31:
Titel: »System and method for an electrodynamic fragmentation«



Quelle: Stark et al. 2019

Nr.	Bedeutung
1	Anlage zur elektrodynamischen Fragmentierung
2	Gehäuse
3	Einlass
4	Auslässe
5	Aufgabegut
6	Fragmentiertes Material
7	Materiallager
8	Transportwerge
9	Transporttrichtung
10	Elektrodenpaare
11	Hochspannungsquellen
12	Siebung
13	Rüttelband
14	Fördervorrichtung
15	Medientank
16	Medium
17	Auffangbehälter



Produkte aus Altbeton nach einer EDF-Behandlung



- Elektrodynamische Fragmentierung von Altbeton auf IBP-Laboranlage
- Dauer: 20 s
- Durchsatz: ca. 1 t / h
- **Energieverbrauch: 2,3 kWh / t**
- Produkte wurden nach Fragmentierung getrocknet und gesiebt
- Das Filtrat besteht größtenteils aus **sekundärem Kalk** und Silika-Gelen



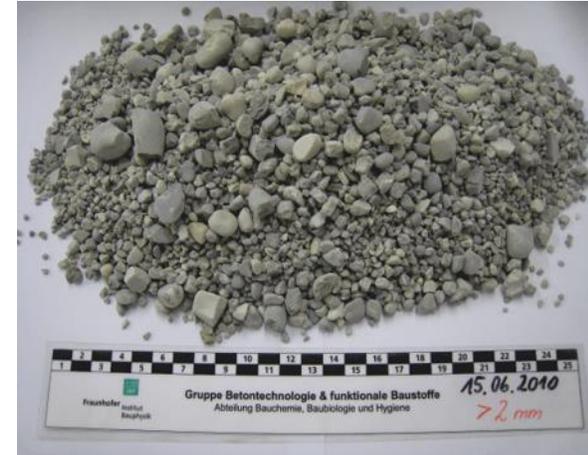
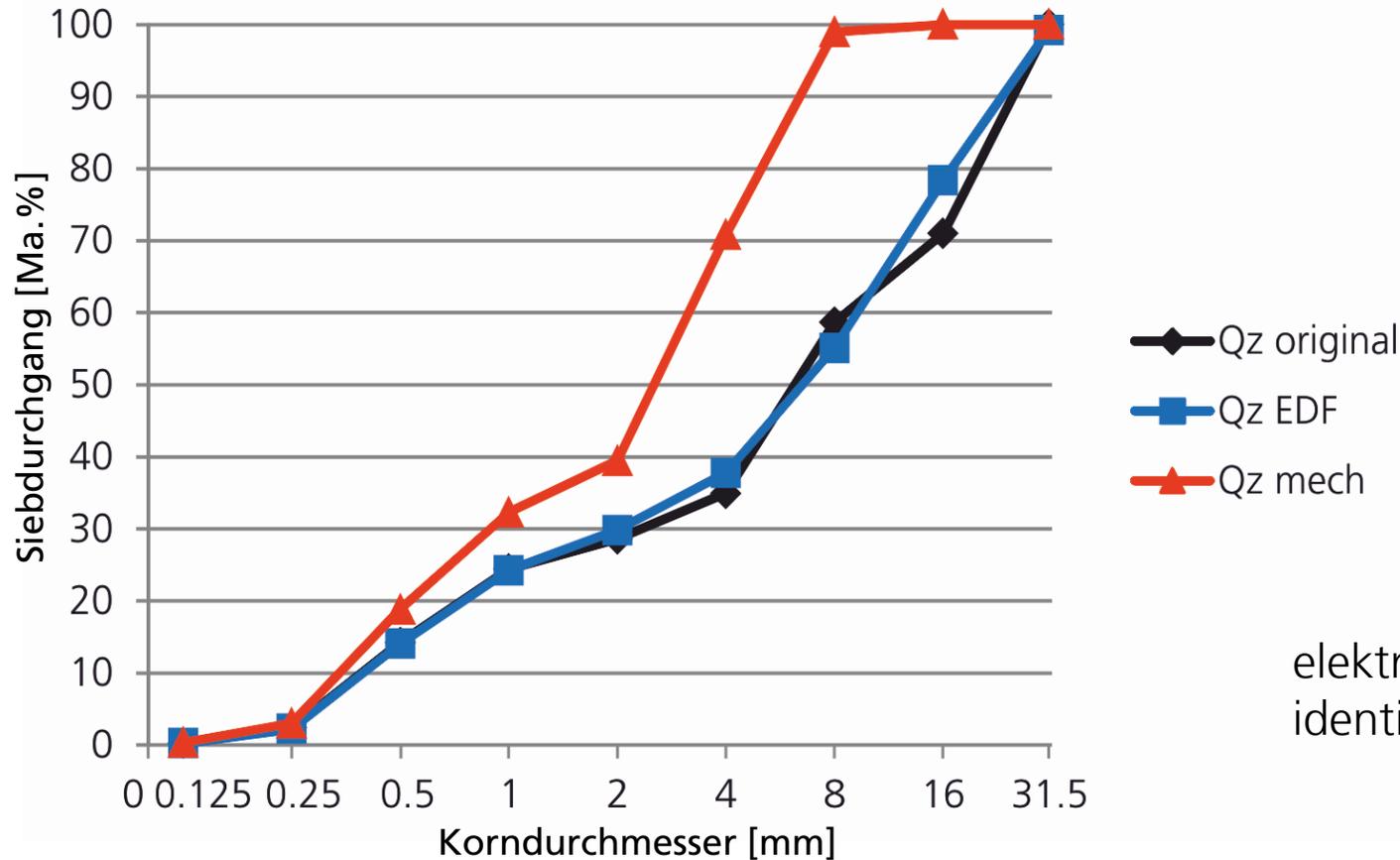
Fragmentierung von Stahlfaser-Beton



Durch eine elektrodynamische Fragmentierung können auch Stahlfasern aus Altbeton freigelegt werden



Recycling von Altbeton: Gesteinskörnung

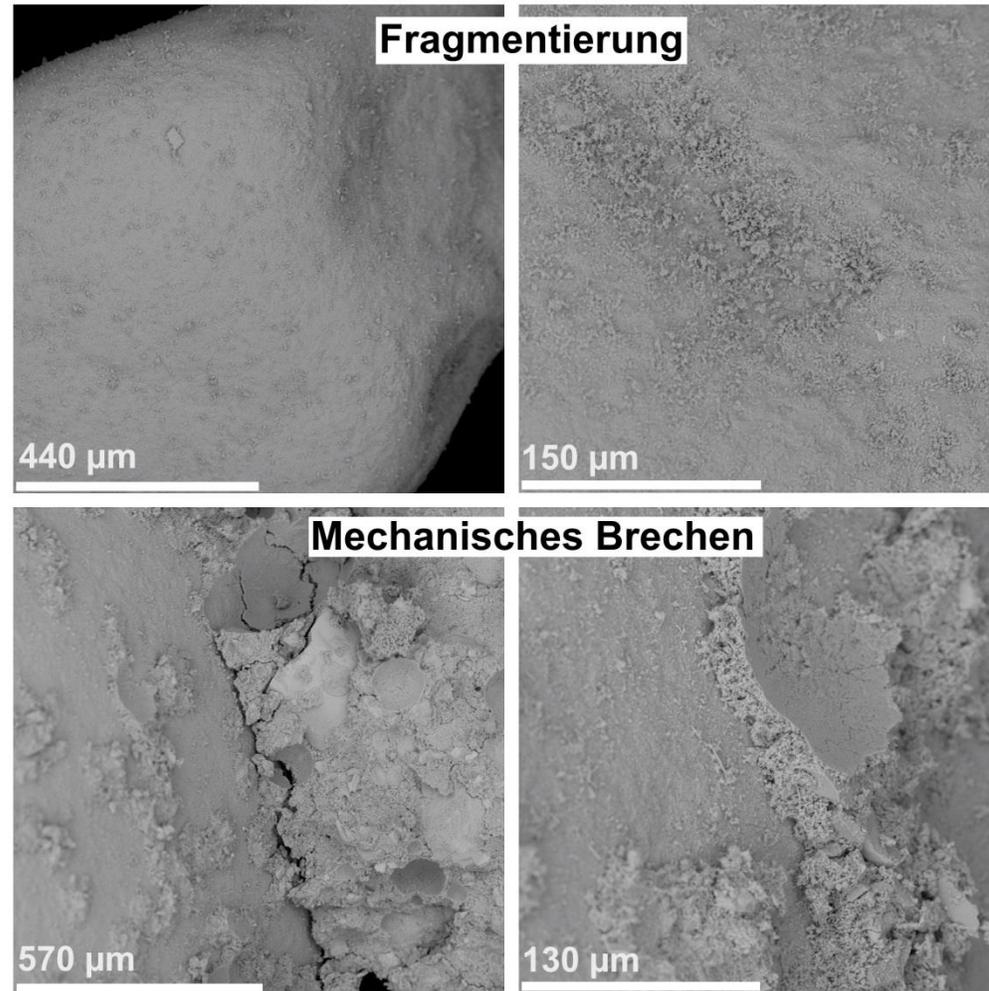


elektrodynamische Aufbereitung führt zu identischer Sieblinie wie in der originalen Probe!

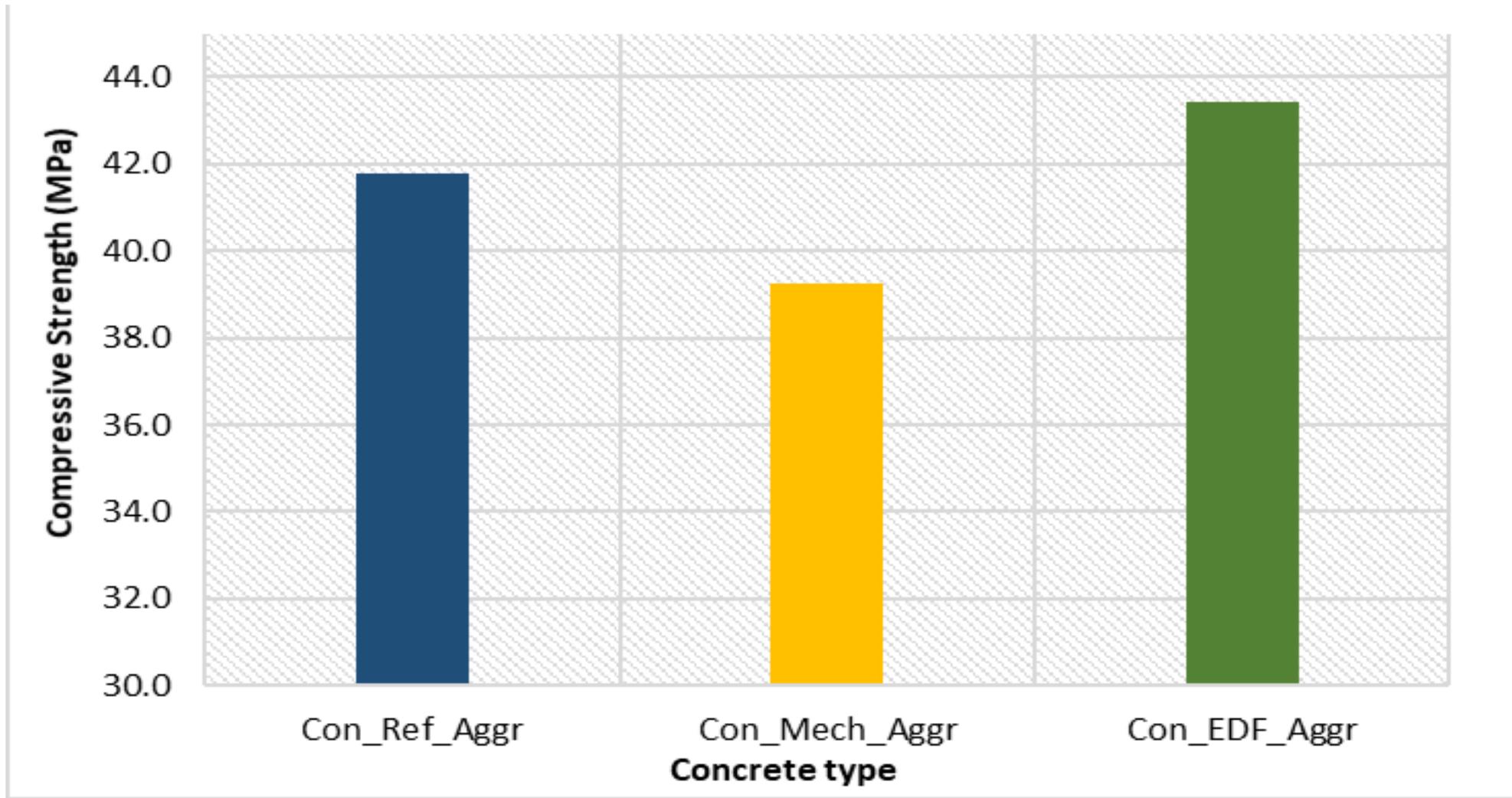


Recycling von Altbeton: Gesteinskörnung

- Nach Fragmentierung nur Anhaftungen von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ auf den Oberflächen des Zuschlages
- Nach dem Brechen Anhaftungen von Zementstein auf den Oberflächen des Zuschlages

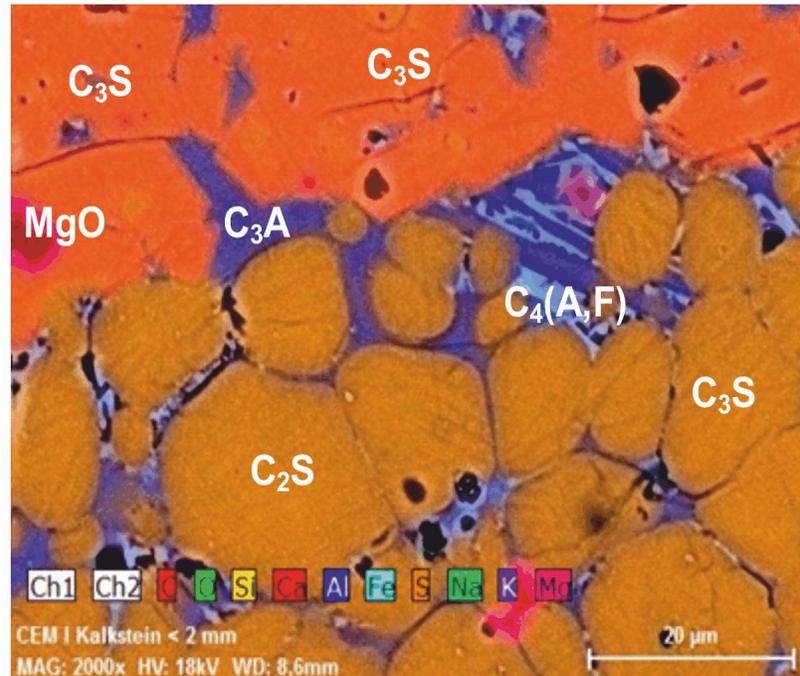
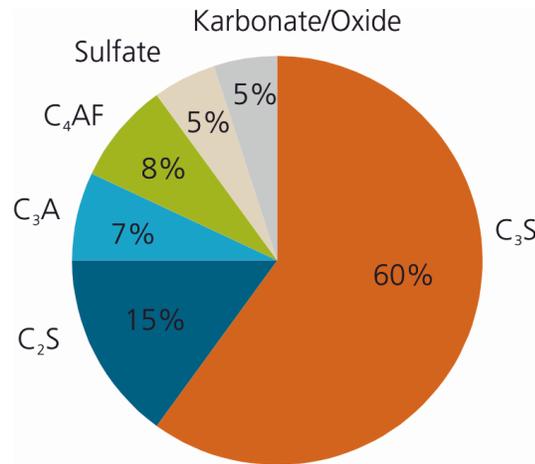


Vergleich der Druckfestigkeiten in RC-Betonen



Recycling von Altbeton: Feinfraktion < 2 mm

Rohstoffersatz für die Herstellung von »RC-Zement«



Herstellung von Zement aus Altbeton ist möglich!

Aus BMBF-Projekt: »ELDYNTON«



Verwertungsplan EDF-Anlagen am Beispiel für Transportbetonwerk

Schaffung eines Beton- und CO₂-Kreislaufes !

- Schonung von primären Ressourcen
- CO₂-Reduzierung in der Zementproduktion
- *Echtes* Recycling
- Schonung von Deponieflächen
- Keine Deponierungsgebühren
- Kürzere Transportwege
-



Multi-Branchen Ansatz »elektrodynamische Fragmentierung«



Feuerfestbeton (Feuerfestkeramik)

IBP-Patent: Europäische Patentanmeldung: 18778428.5 (2017)

»Verfahren zum Recyclen von Keramiken, danach erhältliche Regenerate und Verwendung der Regenerate zur Herstellung von Keramiken«



Mauerwerk (Ziegel + Gips)



© Fraunhofer IBP

Müllverbrennungs-Aschen



© Fraunhofer IBP



Altbeton

© Fraunhofer IBP

RC-Zuschlag
(Sand und Kies)

CO₂-armer Zement-
Ersatzrohstoff

→ Mechanische vs. elektrodynamische Aufbereitung

	Prallmühle, Backenbrecher	Elektrodynamische Fragmentierung
Energieeintrag	mechanisch	elektrisch
Kräfte zur Zerkleinerung	> Druckfestigkeit	> Zugfestigkeit
Verschleiß, Staub	Hoch (durch Abrieb)	Niedrig (nur Elektrode)
Zerkleinerung	nicht selektiv	selektiv
Produkte	Konglomerate	sortenrein
Edukte	Altbeton ohne Bewehrung	auch Stahlfaserbeton
Kontamination	hoch	niedrig

EDF - Technologie-Entwicklung / Roadmap

Nachweis der Skalierbarkeit

Dauer: ca. 9 Monate

Ermittlung der Parameter für Upscaling zu Wirtschaftlichkeit, Durchsatz und Materialien (Feuerfestbeton, Beton, etc.)

Ziel: TRL 4

„Versuchsaufbau im Labormaßstab“
keine Gesamtanlage

Entwicklung und Bau eines
1. Prototypen mit 10 t / h

Dauer: ca. 2 Jahre

Aufbau einer **modularen Forschungsplattform** am IBP
(Forschungsanlagen mit Peripherie)

Ziel: TRL 5

„Versuchsaufbau in
Einsatzumgebung“ am IBP

Kontinuierliche Prototypenanlage

Dauer: ca. 1 Jahr

Kontinuierlich laufende EDF-
Großanlage **im Dauerbetrieb**

Ziel: TRL 6 - 7

„Aufbau eines Prototypen in
Einsatzumgebung“ bei Kunden

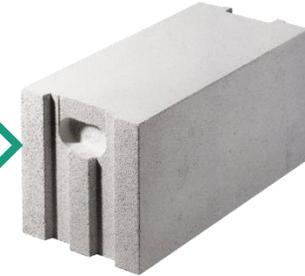
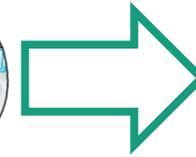
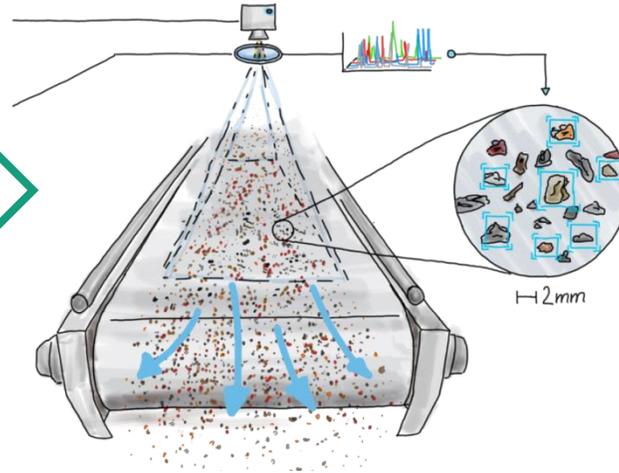
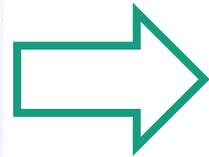
Zusammenfassung Elektrodynamische Fragmentierung

Vorteile einer **elektrodynamischen Fragmentierung** gegenüber der **mechanischen Aufbereitungsmethoden**:

- **Selektive Freilegung** der Betonkomponenten Zementstein und Zuschläge
- Energieverbrauch im Bereich der mechanischen Aufbereitung **2-3 kWh/t**
- Kies-Grobfraktion > 4 mm besitzt mind. **gleiche oder höhere Festigkeiten** als der Originalzuschlag
- **Verarbeitbarkeit** (Wasser- und Fließmittelanspruch) der Fragmentierungsprodukte ist **ähnlich der Originalmischung**
- **Staubfreies Verfahren**, da Unterwasser-Prozess
- **Keine Kontamination** des Mahlgutes durch Abrieb der Mahlwerkzeuge
- **Vielseitig einsetzbar, allg. für alle Nichtleiter**, speziell für Verbundwerkstoffe, Komposite, Erze oder sehr harte Materialien
- Erzeugt **sekundären Kalk** und trägt zur Reduzierung von CO₂-Emissionen der Zementproduktion bei

DAS VERBUNDPROJEKT »BAUCYCLE«

Aufbereitung und Verwertungsmöglichkeiten für feinkörnigen Bauschutt



Ein Gemeinschaftsprojekt von

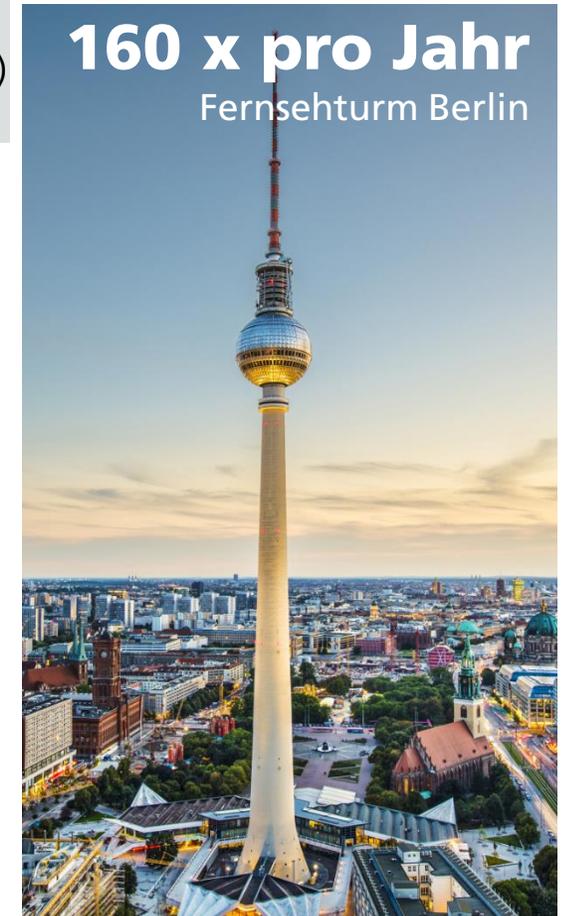
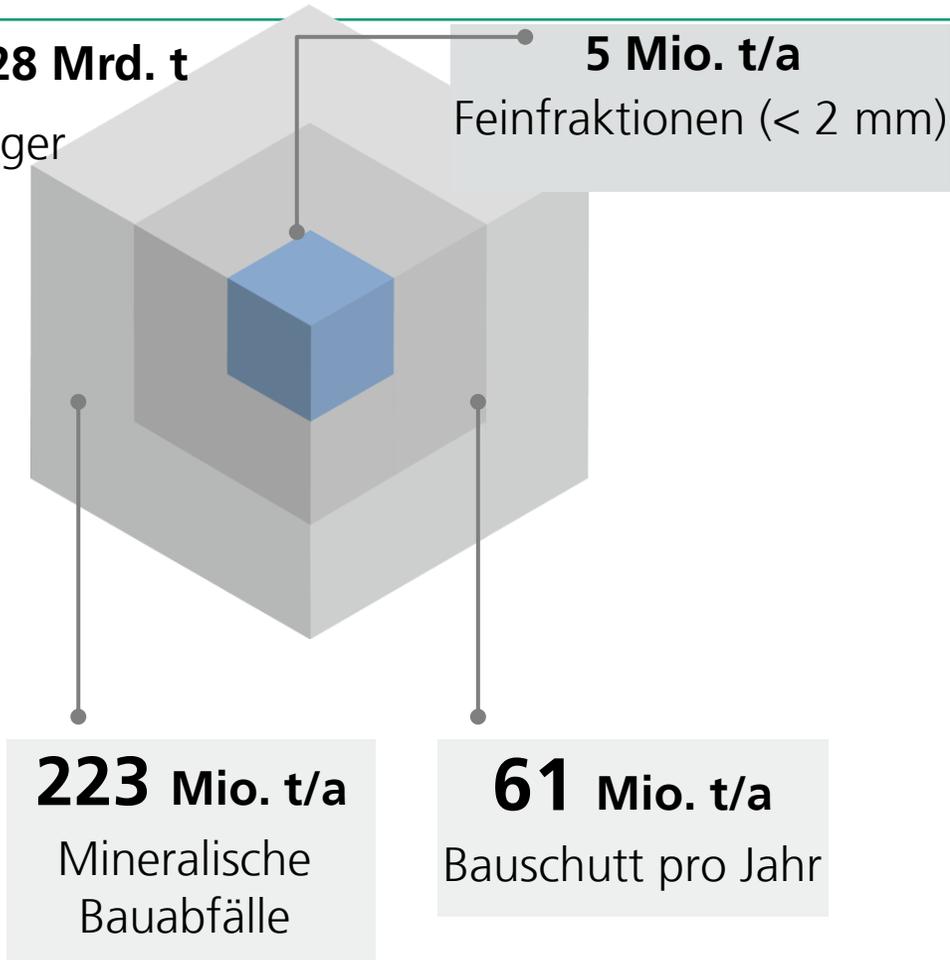


WARUM BAUCYCLE?

Gebäudebestand inkl. Infrastruktur ist mit **28 Mrd. t** ein bedeutendes anthropogenes Rohstofflager

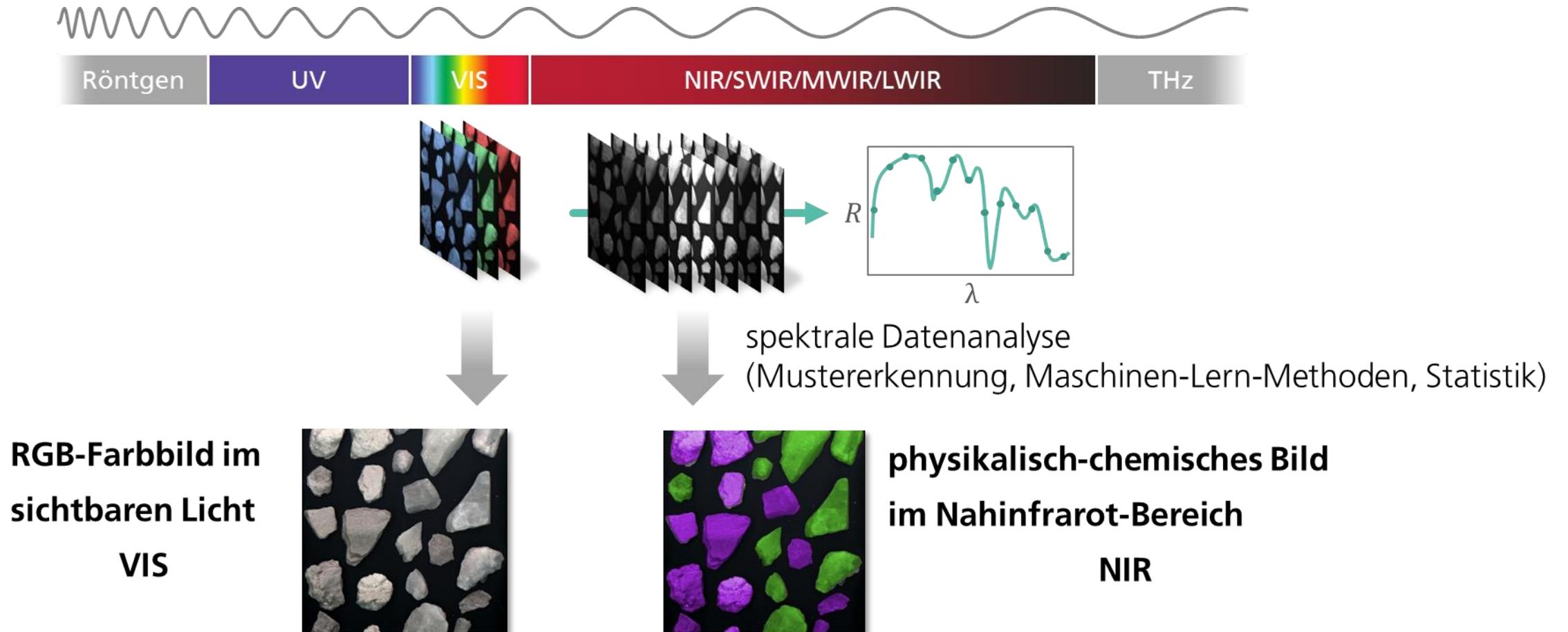


Bauschutt ist ein heterogenes Gemenge aus den Hauptbestandteilen:
Kalksandstein, Beton, Ziegel und Gips

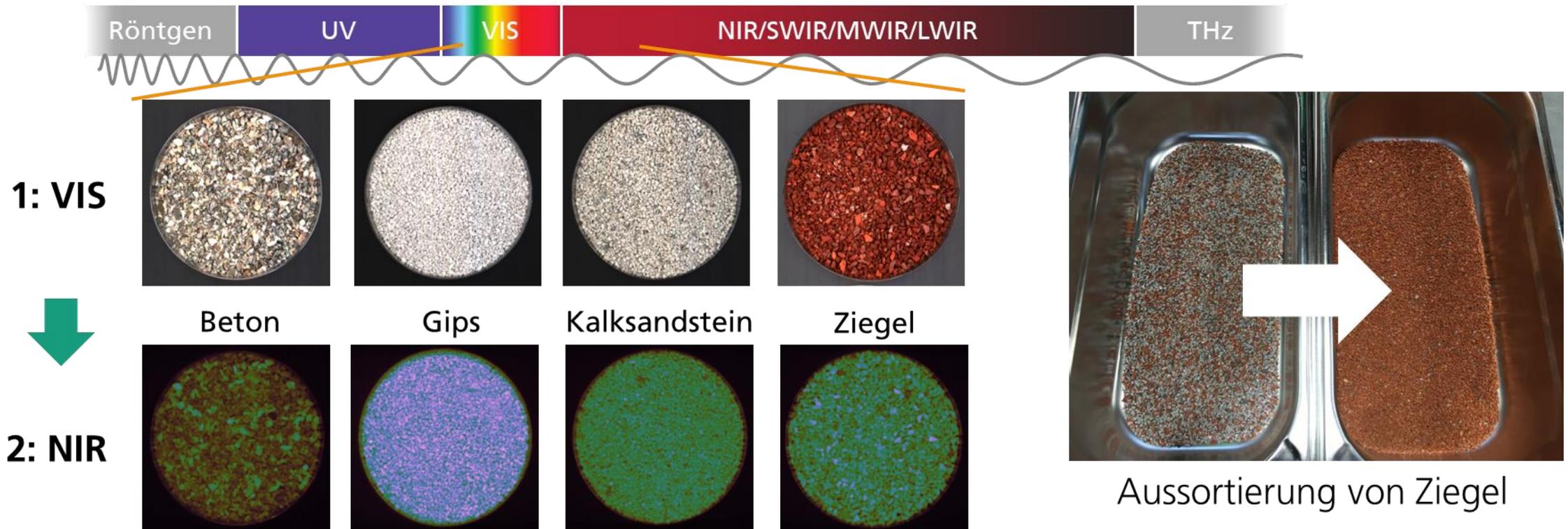


HYPER-SPECTRAL IMAGING ZUR MATERIALERKENNUNG

- Erfassung der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Bauschutt-Bestandteile



SORTIERTECHNOLOGIE MIT SPEZIELLER HYPERSPEKTRALKAMERA



Ziegel wird allein durch Farberkennung im sichtbaren Licht (VIS) elektrooptisch analysiert und pneumatisch aussortiert.

Im Nahinfrarotbereich (NIR) können auch **Beton**, **Gips** und **Kalksandstein** voneinander getrennt werden.

PRODUKTENTWICKLUNGEN AUS BAUSCHUTT-FEINFRAKTIONEN



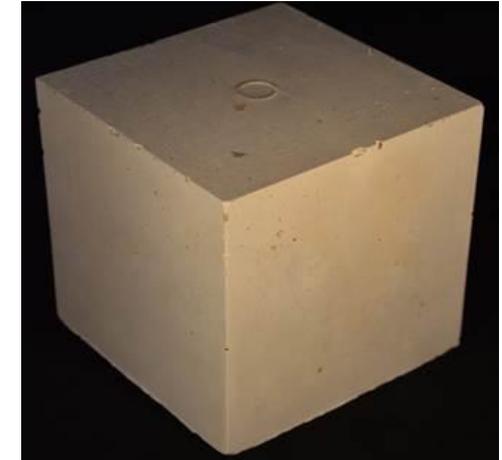
Porenbetone aus
30-60 % Bauschutt



Akustische Schallabsorber
aus **60 %** Bauschutt



Pflanzsubstrate für
Fassadenbegrünung aus
80 % Bauschutt



**Zementfreie säure-
beständige Bindemittel**
aus **90 %** Bauschutt

Produktqualität identisch wie die von Produkten aus primären Rohstoffen !

Untere Grenze der Sortierbarkeit: **1 mm**

Reinheit der Einzelfractionen **> 99,5 % !**

Durchsatz: **ca. 1,5 t/h**, Kosten: **5-6 €/t**

Entsulfatisierung von Bauschutt-Feinfraktionen (< 2 mm)

Vorteile des »ENSUBA«-Verfahrens

Hintergrund

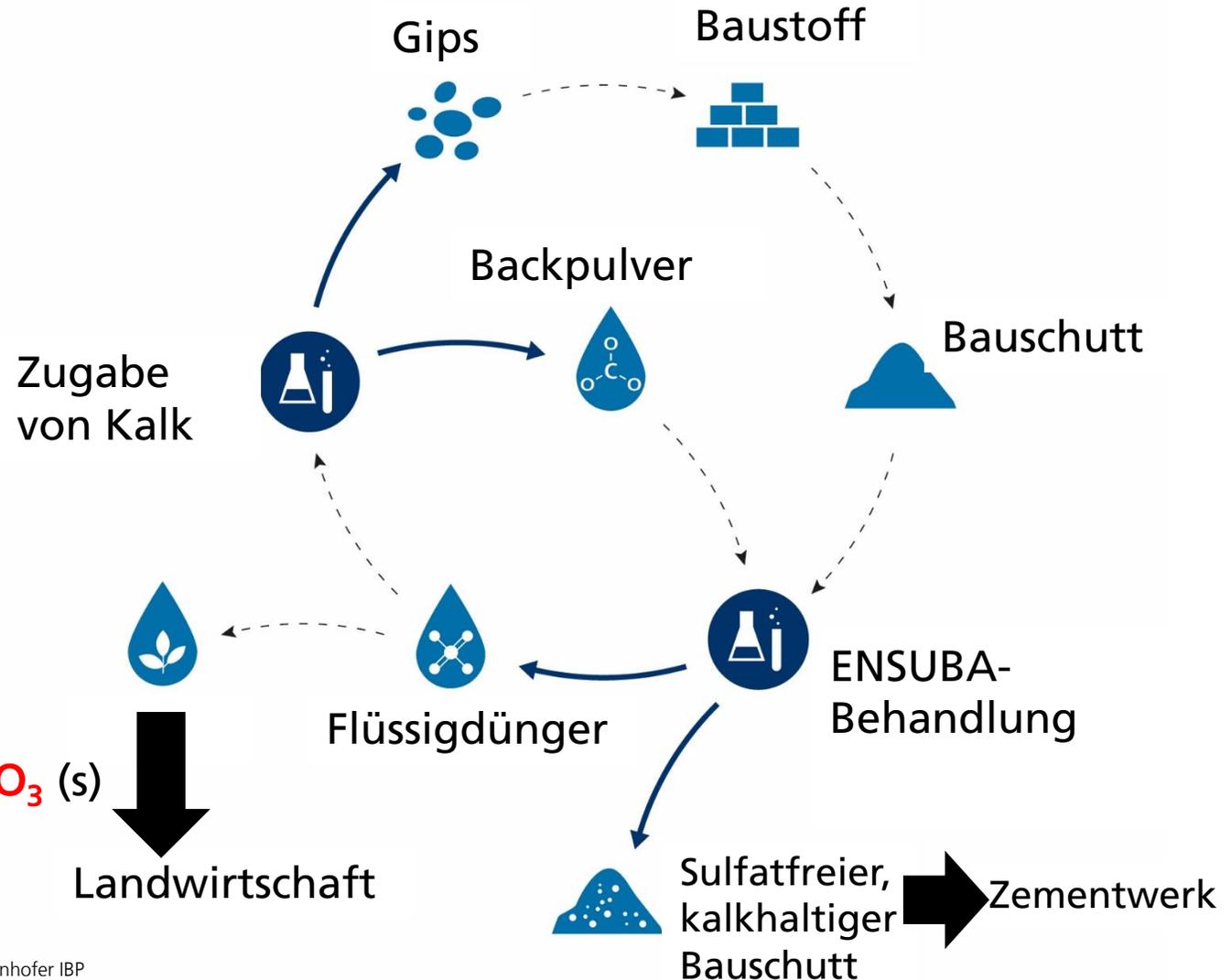
- Jährlich werden in BRD 500.000 t Gips aus Bauschutt-Feinfraktionen (< 2 mm) deponiert
- Ressourcenverknappung (- 6 Mio. t REA Gips) durch Abbaustopp und Schließung von Kohlekraftwerken.
- Deutsche Patentanmeldung: Nr. 10 2017 211 730.3; »Verfahren zur Kalziumsulfatentfernung aus kalziumsulfathaltigem Bauschutt«

Feststoff-Austauschreaktion:

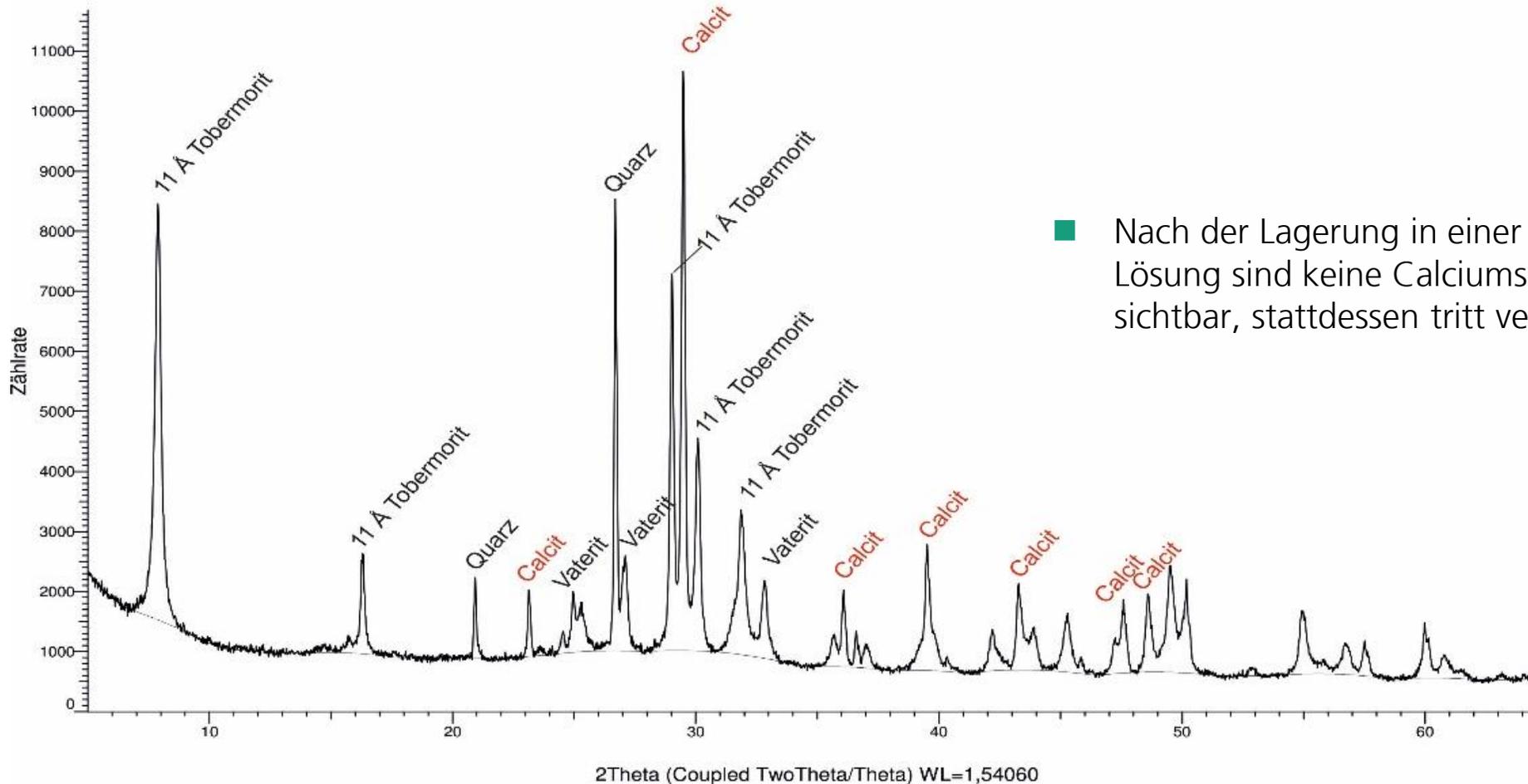


Landwirtschaft

© Fraunhofer IBP



Behandlung von Porenbeton mit »ENSUBA-Verfahren«



- Nach der Lagerung in einer Ammoniumcarbonat-Lösung sind keine Calciumsulfat-Peaks mehr sichtbar, stattdessen tritt vermehrt Calcit auf.

Pulverröntgendiagramm von Porenbeton **NACH** einer ENSUBA-Behandlung

Zusammenfassung

- **EDF – Trennverfahren für Verbundwerkstoffe**

Ziel: Aufskalierung auf mind. 10 t/h, Aufbau einer Forschungsplattform bis 2024

- **BAUCYCLE – Sortierverfahren: Aufbau einer Forschungsanlage am IBP in Q1 2023**

Ziel: Anpassung und Optimierung von Sortierverfahren an jeweiligen Stoffstrom
Erweiterung der Kamertechnik für Detektion von Asbest und Teer

- **ENSUBA: Konzept und Aufbau einer Demoanlage bis 2024**

diverse aktuelle Projekte: Test von ENSUBA an unterschiedlichen Stoffströmen bei Aufbereitern

Kontakt

Dr. Volker Thome

Abteilungsleitung

**»Mineralische Werkstoffe
und Baustoffrecycling«**

Tel. +49 8024 643 – 623

volker.thome@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Fraunhoferstraße 10

83626 Valley

www.ibp.fraunhofer.de

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit !**