

Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin)

Vorläufige Abschlussbroschüre



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

FONA

Forschung für Nachhaltigkeit



ReMin

Ressourceneffiziente
Kreislaufwirtschaft

Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe



Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum

**Ressourceneffiziente
Kreislaufwirtschaft
Bauen und Mineralische
Stoffkreisläufe (ReMin)**

Vorläufige Abschlussbroschüre

Inhalt

5 Willkommen bei ReMin

6 ASHCON

Einsatz von aufbereiteter Müllverbrennungsasche als Ausgangsstoff bei der Betonherstellung

8 BAUSEP

Separation von Aschen und Schlacken für die Herstellung ressourceneffizienter Bauprodukte

10 EMSARZEM

Einsatz von MV-Schlacke als Rohstoff für die Zementherstellung

12 FaBeR

Faser- und Beton-Recycling von Carbon- und Textilbeton

14 FERTIGTEIL 2.0

Real-digitale Prozessketten zur Gewinnung von eingebauten Betonbauteilen für die Weiterverwendung als fertige Bauteile

16 GipsRec2.0

Technische Vorbereitung der Verfügbarmachung von Gipsfaserplatten und Synthesegipsen zur Herstellung von RC-Gips

18 LIBS-ConSort

Laserbasierte Baustoffsortierung zur Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen für die Kreislaufwirtschaft

20 MIN-LOOP

Substitution polystyrolbasierter Hartschäume durch zementgebundenen Mineralschaum aus rezykliertem Brechsand in Sandwichhybriddecken für rein mineralische Stoffkreisläufe im Hochbau

22 R-ZiEMENT

Ziegelhaltige Recyclingbaustoffe als Rohstoff für ressourceneffiziente Zemente in dauerhaften Betonen

24 REALight

Leichtgranulate und REA-Gips aus feinkörnigen sulfatbelasteten Bau- und Abbruchabfällen und industriellen Nebenprodukten

26 RECBest

Recyclingmaterial vor Asbest absichern – Erfassung und Ausschleusung von Asbest als Störstoff aus Bau- und Abbruchabfällen

28 ReCyCONtroll

Selbstlernende Steuerungstechniken für die automatisierte Produktion robuster Ressourcenschutzbetone – Schlüssel für die umfassende Verwertung mineralischer Stoffströme

30 RekoTi

Ressourcenplan kommunaler Tiefbau

32 REMINTA

REcycling MINeralischer Fraktionen aus TAILings

34 SABINE

Stahlwerksschlacke als Bindemittel für geotechnische Baustoffe

36 SlagCEM

Portlandzement und Roheisen aus Stahlwerksschlacken

38 TReMin

Vernetzungs- und Transfervorhaben

40 Kontaktdaten der Verbundpartner

50 Impressum

Willkommen bei ReMin

Die Förderrichtlinie „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Bauen und Mineralische Stoffkreisläufe (ReMin)“ (2021–2024) ist eine Maßnahme zur Umsetzung des BMBF-Forschungskonzepts „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“ und Teil der Strategie „Forschung für nachhaltige Entwicklung – FONA“, mit dem Ziel den Ausbau der Kreislaufwirtschaft weiter voranzutreiben. Im Fokus stehen die Bauwirtschaft mit ihrer hohen Nachfrage nach Rohstoffen und die erweiterte Nutzung von Sekundärrohstoffen aus Baurestmassen, Schlacken, Aschen sowie bergbaulichen Rückständen.

Thematische Schwerpunkte der Förderung sind:

Bauen in der Kreislaufwirtschaft:

Neue Designkonzepte und innovative Bauprodukte, z. B.

- Vermeidung von Stoffen, die das Recycling erschweren können
- Erhöhter Einsatz von gebrauchten Bauteilen und leicht trennbaren Komponenten
- Bewertung neuer Baustoffe
- Prognose der Stoffströme aus dem Rückbau von Gebäuden
- Schaffung von Materialkatastern

Verwertung von mineralischen Stoffströmen:

Baurestmassen, bergbauliche Rückstände, Aschen, Stäube, Schlacken, z. B.

- Entwicklung von Technologien zur Aufbereitung mineralischer Stoffströme (z. B. Sortiertechnologien)
- Erzeugung von hochwertigen Baustoffen
- Rückgewinnung von Gips
- Erfassen und Ausschleusen von Störstoffen (z. B. Asbest)
- Hemmnisse und Rahmenbedingungen
- Normierung und Standardisierung

Die Forschungsergebnisse der 17 in ReMin geförderten Verbundprojekte mit 101 Teilvorhaben sind in dieser Broschüre zusammengefasst.



Zielstellung

Durch die Verbrennung von Siedlungsabfällen fallen in Deutschland pro Jahr etwa 5,7 Mio. t Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA) an. Aus Gründen der Ressourceneffizienz und zur Einsparung von Deponievolumen, sollten diese Aschen zukünftig bestmöglich in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Ziel ist es, den mineralischen Anteil durch neue Aufbereitungsverfahren abzutrennen und für die Substitution natürlicher Gesteinskörnung der Kornfraktion 2/8 mm in herkömmlichen Rezepturen für Transportbeton und Betonwerksteine einzusetzen. Die Gewinnung der mineralischen Fraktion von HMVA aus Deponien sowie Müllverbrennungsanlagen, die Bestimmung der elementaren Zusammensetzung mittels Neutronenaktivierungsanalyse und der Einsatz der groben mineralischen Fraktion in Rezepturen für die Transportbeton- und Betonwerksteinindustrie bis hin zur großtechnischen Umsetzung sind Gegenstand des Forschungsprojektes ASHCON.

Ergebnisse

Am Entsorgungszentrum Leppe in Lindlar-Remshagen wurden mehrere HMVA-Proben entnommen – drei Proben aus jeweils zwei Deponieabschnitten mit der Bezeichnung „DA3“ und „DA6.1“ sowie zwei Proben mit dem Namen „FRA-1“ bzw. „FRA-2“ aus „frischer“ Anlieferung. Nach deren elektrodynamischer Fragmentierung beim Fraunhofer IBP und Gewinnung einer mineralischen Fraktion mit 2 bis 8 mm Korngröße durch Sortier- und Aufbereitungsprozesse wurde das als Müllverbrennungsreststoff (MVR) bezeichnete Material als teilweiser Ersatz für natürliche Gesteinskörnung (Kies) in Betonen eingesetzt.

Die an der TH Köln untersuchten Betone variierten im MVR-Anteil der groben Gesteinskörnung (25% bis 75%), in der Herkunft der MVR bzw. HMVA sowie Art des Zementes. In den baustofftechnologischen Untersuchungen stand neben der Rheologie (Verarbeitbarkeit) die Druckfestigkeit im Vordergrund. Die MVR-Proben erwiesen sich hinsichtlich geometrischer, mechanischer und stofflicher Eigenschaften (siehe Bild 1) als sehr gleichmäßig, was sich in einer vergleichsweise hohen Gleichmäßigkeit der Frisch- und Festbetoneigenschaften bei Variation des MVR-Anteils und der MVR-Herkunft widerspiegelte. Beispielhaft sind in Bild 2 die Druckfestigkeiten von Betonen mit MVR im

ASHCON

Einsatz von aufbereiteter Müllverbrennungsasche als Ausgangsstoff bei der Betonherstellung

Vergleich zum Referenzbeton mit 100% natürlicher Gesteinskörnung dargestellt. Als wichtige betontechnologische Erkenntnis war die Wasseraufnahme der MVR bei der Betonkonzeption zwingend zu berücksichtigen, wobei das „Saugwasser“ nicht festigkeitswirksam ist und daher auch nicht in den Wasserzementwert einfließt. Trotz bekannter Wasseraufnahme der MVR und Kompensation durch entsprechend zusätzliche Wasserzugabe im Beton, ließen sich leicht erhöhte Streuungen in den rheologischen Eigenschaften der Betone mit unterschiedlichen MVR-Proben feststellen. Allerdings sind diese Streuungen durch Aussteuerung mit Hilfe von Betonzusatzmitteln beherrschbar. Auch unter Variation des Zementes (CEM III, CEM II/B-S und CEM I) ließen sich die gewünschten Frisch- und Festbetoneigenschaften unter Zugabe von Fließmittel zielsicher einstellen. Wie erste Untersuchungen zum Einsatz von MVR in großtechnischen Anlagen bestätigen, ließen sich die MVR-Proben auf Basis von Erfahrungen mit dem Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen zielsicher bei der Herstellung von Betonprodukten wie Transportbeton (siehe Bild 3) einsetzen.

Ausblick

Im Rahmen der Projektverlängerung bis Ende 2024 werden die Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit (AKR, Frost), Umweltverträglichkeit und großtechnischen Umsetzung im Werk der Fertigbeton Rheinland GmbH & Co. KG bzw. Metten STEIN+DESIGN GmbH & Co. KG abgeschlossen.

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 12. 2024

FKZ 033R258

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Björn Siebert
Technische Hochschule Köln (TH Köln)
Betzdorfer Str. 2
50679 Köln
+49 (0)221 8275 2708
bjoern.siebert@th-koeln.de

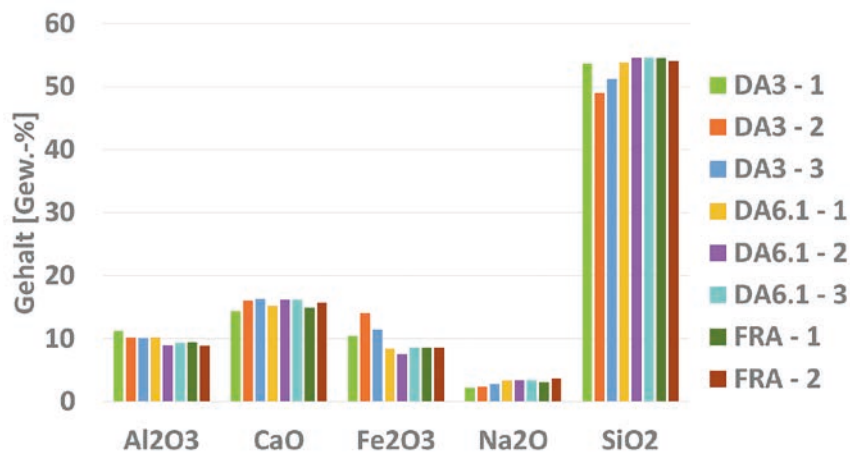


Bild 1:
Elementgehalt in den
elektrodynamisch frag-
mentierten und sortierten
Hausmüllverbrennungs-
aschen
Quelle:
Norbert Leiss,
Fraunhofer IBP

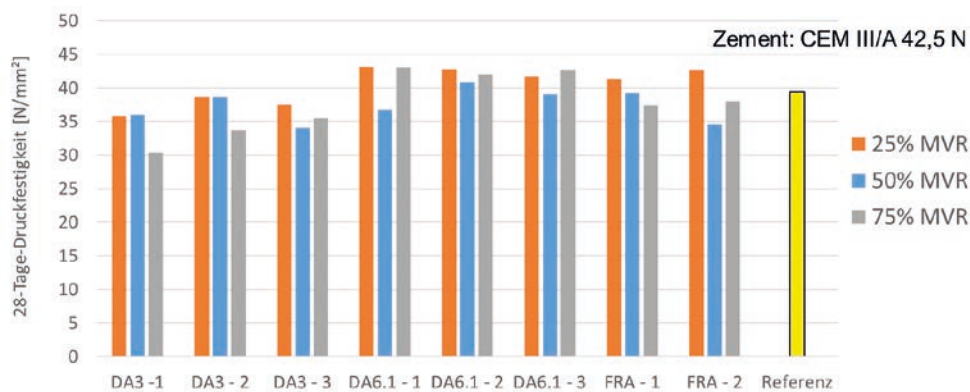


Bild 2:
Druckfestigkeit von Beton
bei Variation des MVR-An-
teils an der Gesteinskörnung
2/8 mm
Quelle:
Björn Siebert, TH Köln



Bild 3:
Betonmischung mit MVR
im Werk der Fertigbeton
Rheinland GmbH & Co. KG
Quelle:
Daniel Wulff-Janssen,
TH Köln

Zielstellung

Das Projekt BAUSEP verfolgt das übergeordnete Ziel durch den Einsatz von Aschen und Schlacken ressourceneffiziente Bauprodukte zu entwickeln und deren Herstellung in die industrielle Produktion zu überführen. Konkret wurden im Zeitraum 02/2021 bis 06/2024 Hausmüllverbrennungsaschen (HMVA) und Eisenhüttenschlacken aus der Eisen- und Stahlproduktion (HOS/LDS) als Substitut für Primärgesteinskörnungen bereitgestellt, um so den Abbau natürlicher Gesteinsvorkommen und den damit verbundenen Landschaftsverbrauch reduzieren zu können. Im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft wurden Betonbauteile, wie Pflaster- und Verbundsteine entwickelt und deren Nachhaltigkeit durch eine begleitende Ökobilanzierung und techno-ökonomische Analyse untersucht. In ergänzenden Untersuchungen zu technischen und rechtlichen Gesichtspunkten wurde zudem das Einsatzpotenzial aufbereiteter Hausmüllverbrennungsaschen und Eisenhüttenschlacken in handelsfähigen und vermarktbar Bauprodukten bewertet.

Ergebnisse

Nach erfolgter Charakterisierung mehrerer potenziell geeigneter Rohstoffe, wurden die folgenden Materialien zur weiteren Verwendung im Projekt ausgewählt:

- LD-Konverterschlacke (LDS)
- Hochofenstückschlacke (HOS)
- Hausmüllverbrennungsasche (HMVA)

Für die HMVA wurde eine Aufbereitungsstrategie entwickelt, mit dem Ziel für eine höherwertige Bauanwendung die störenden Stoffe nahezu vollständig auszutragen. Hier sind vorrangig Salze, Metall- und Glasfraktionen von Bedeutung. Nach erfolgter Aufbereitung wurden, auf Grundlage von Vorgaben an die Herstellung von regelwerkskonformen Pflastersteinen, alle drei Materialien durch Brechen und Sieben auf eine anwendungstypische Korngrößenverteilung eingestellt. In den so festgelegten Rezepturen, unter Berücksichtigung des höchstmöglichen Ersatzes von natürlicher Gesteinskörnung (Sand/Kies) durch HMV-Aschen und Schlacken, konnten abhängig vom Ausgangsmaterial Substitutionsraten von bis zu 100% erreicht werden. Dabei wurde im Wesentlichen auf eine zielorientierte Verarbeitbarkeit sowie auf eine gute Festigkeitsentwicklung geachtet. Nach ersten Laborversuchen konnte die Herstellung der Pflastersteine beim Projektpartner bzw auf die industrielle Produktion übertragen werden. Dabei zeigte sich, dass sich durch die Nutzung von HMV-Aschen und Schlacken

BAUSEP

Separation von Aschen und Schlacken für die Herstellung ressourceneffizienter Bauprodukte

regelkonforme Qualitäten für die Pflastersteinprodukte (siehe Bild 1) erreichen lassen, ohne dass Produktionsprozesse nennenswert angepasst werden müssten. Im weiteren Verlauf des Projektes wurde untersucht, ob die hergestellten „BAUSEP“-Steine recyclingfähig sind. Dazu wurden die Pflastersteine gebrochen und entsprechend fraktioniert. Als relevante Körnung wurde die Fraktion 0/11 festgelegt und auf etwaige Mobilitäten von Inhaltsstoffen mit dem Säulen- und Schüttelverfahren (DIN 19528 bzw. DIN 19529) gemäß Ersatzbaustoffverordnung überprüft. Als Beurteilungsgrundlage dienten dabei die Materialwerte gemäß Ersatzbaustoffverordnung. Im Anschluss wurde diese Körnung verwendet, um deren Einsatz bei der Herstellung von Beton zu untersuchen. In Bild 2 ist ein frisch entschlatter Probekörper zu sehen, dessen Zuschlag zu 100% aus gebrochenem Pflasterstein besteht. Eine Recyclingfähigkeit der BAUSEP-Pflastersteine konnte also aus technischer Sicht eindeutig nachgewiesen werden. Im Rahmen der ökobilanziellen Betrachtung wurde eine potenzielle CO₂-Einsparung von 2% durch den Ersatz von Sand und Kies durch HMV-Aschen nachgewiesen. Für den Umweltwirkungsfaktor „Resource Use“ wurde ein Faktor von 30% errechnet.

Ausblick

Die erzielten Ergebnisse im Projekt BAUSEP zeigen ein deutliches Potenzial zur Ressourceneffizienz von HMV-Aschen und Schlacken. Beide Stoffgruppen konnten als Substitut für natürliche Gesteinskörnungen bei der industriellen Produktion von Pflastersteinen eingesetzt werden. Im Umweltwirkungsfaktor „Climate Change“ ist über die Substitution von Rohstoffen nur ein geringer Einfluss (2% für HMVA) erkennbar. Zu dominant wird dieser Faktor von der CO₂-Bilanz des Zements bestimmt. Aus diesem Grund wollen die Partner des Projektes in weiteren Untersuchungen Lösungsansätze zur Klinkerreduktion bei der Produktion von Betonwaren (z. B. Pflastersteine) entwickeln. Da es zurzeit für HMV-Aschen noch keine Vorgaben zur Umweltverträglichkeit der einzusetzenden Gesteinskörnungen in Betonprodukten gibt, wurde ein Vorschlag für solche Vorgaben entwickelt. Es bleibt abzuwarten, wie sich dieser in der Praxis umsetzen lassen kann.



Bild 1:
Beim Projektpartner bvw industriell
gefertigte Pflastersteine mit LD-
Schlacke als Substitut für Gesteins-
körnungen aus Sand/Kies
Quelle:
Sebastian Dittrich, Fraunhofer IBP



Bild 2:
Entschalter Betonprobekörper,
statt Sand und Kies wurde die
BAUSEP RC-Gesteinskörnung
für die Herstellung des Betons
verwendet
Quelle:
Sebastian Dittrich,
Fraunhofer IBP

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 30. 6. 2024

FKZ 033R256

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley
Dr. Sebastian Dittrich
+49 (0)8024 643209
sebastian.dittrich@ibp.fraunhofer.de

Zielstellung

In Deutschland entstehen durch die Müllverbrennung (26 Mio. t/a) ca. 6 Mio. t MV-Schlacke. Nach Abzug der Feuchtigkeit und grober Fraktionen liegen ca. 4 Mio. t Fertigschlacke (Bild 1) vor. Die Fertigschlacke enthält 1,3 Mio. t einer gröberen Fraktion (10–32 mm) und 2,7 Mio. t einer Feinfraktion (0–10 mm), die in Deutschland fast vollständig im Deponiebau verwendet wird. Diese Feinfraktion der MV-Schlacke enthält 0,3–0,5 % Kupfer, soviel wie heute in einem Kupfererz enthalten ist, das auf der Welt abgebaut wird. Im Gegensatz zu natürlichen Erzen liegt das Kupfer bereits überwiegend metallisch – vergesellschaftet mit Gold, Silber und weiteren Edelmetallen – in Form kleiner Partikel und Drähte vor. Damit ist die Feinfraktion unabhängig von Metallpreisschwankungen als Wertstoff zu betrachten. Das primäre Ziel des Vorhabens EMSARZEM ist es, im Sinne eines Urban Minings, mit Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette ein wirtschaftliches, industriell umsetzbares Verfahren zu entwickeln, mit dem die Metalle möglichst weitgehend durch Brechen, Mahlen, Sieben, magnetische Trennung beziehungsweise Wirbelstromtrennung aus beiden Fraktionen abgetrennt und wieder in die Metallproduktion zurückgeführt werden können. Aufgrund der dissipativen Verteilung in der MV-Schlacke und der daraus resultierenden großen Entropie gehen die Metalle heute im Deponiebau endgültig verloren. Dabei ist es aber für die Wirtschaftlichkeit des gesamten Prozesses entscheidend, dass anschließend die verbleibende feingemahlene mineralische Restfraktion so sauber ist, dass sie als Rohstoff in der Zementproduktion eingesetzt werden kann.

Ergebnisse

Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die gröbere Fraktion (10–32 mm) und die Feinfraktion (0–10 mm) ohne wesentliche Probleme gemahlen werden können. Aus dem Sankey Diagramm (Bild 1) ist zu entnehmen, dass aus der theoretischen Menge von 2,7 Mio. t/a Feinschlacke nach weiteren Trennungsschritten die folgenden wertvollen Produkte hergestellt werden können:

- Mineralische Fraktion: ca. 1,4 Mio. t/a
- Magnetische Fraktion: ca. 1,2 Mio. t/a
- NE-Metall-Fraktion: ca. 0,1 Mio. t/a.

EMSARZEM

Einsatz von MV-Schlacke als Rohstoff für die Zementherstellung

Die zementtechnischen Untersuchungen (Bild 2) zeigen, dass die Festigkeiten eines Zements mit einem Anteil von 4% der mineralischen Fraktion (grüne Balken) der MV-Schlacke mit denen der Referenzzemente identisch sind.

Eine gröbere mineralische Fraktion, die bei der Aufbereitung ebenfalls anfällt, kann zur Herstellung von Beton verwendet werden. Aus Bild 1 ist zu entnehmen, dass im Rahmen der Aufbereitung ca. 100.000 t einer NE-Metall Fraktion (2%) resultieren. In Bild 3 ist dargestellt, in welche Körnungen und unterschiedlichen Fraktionen sich diese aufteilt.

Das Cu-Konzentrat, in dem im Rahmen dieses Projektes ca. 85% Kupfer und 30 ppm Gold analysiert werden konnten, ist die NE-Metall-Fraktion mit dem höchsten Wertinhalt. Aus Bild 3 wird deutlich, dass Metallpartikel in diesen Korngrößen, dissipativ verteilt, nur wiedergewonnen werden können, wenn sie nach dem Prozess der Müllverbrennung aufkonzentriert in der MV-Schlacke vorliegen.

Ausblick

Auf der Basis der aktuell vorliegenden Daten kann dem Projekt EMSARZEM ein sehr hohes Potenzial für eine industrielle Umsetzung bescheinigt werden. Die Mahl- und Separationsprozesse erfolgten in Technikanlagen, mit denen normalerweise die Einsatzmöglichkeiten der Aufbereitungstechnologien vor der Auslegung großtechnischer Anlagen getestet werden. Im Jahr 2024 soll ein Großversuch in einem Zementwerk stattfinden.

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 10. 2024

FKZ 033R265

Kontakt

GKS-Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH
Dr.-Ing. Ragnar Warnecke
Hafenstraße 30, 97424 Schweinfurt
+49 (0)9721 6580120
ragnar.warnecke@gks-sw.de

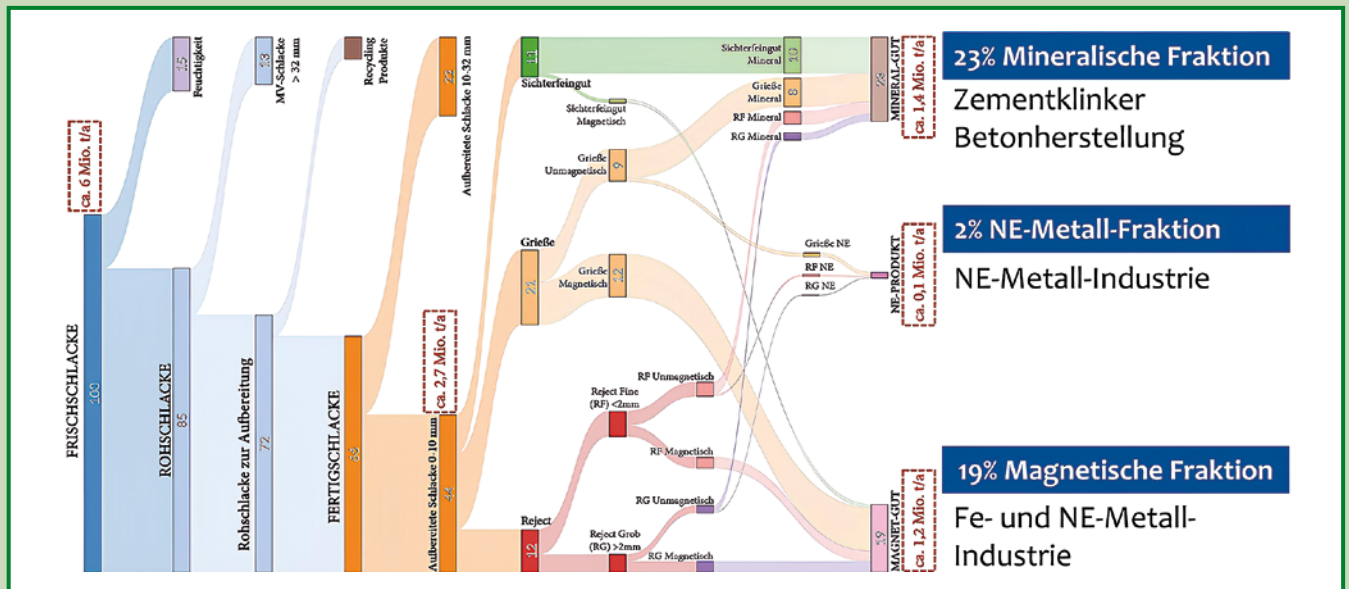


Bild 1: Theoretische Gesamtstoffströme bezogen auf die Frischschlacke
Quelle: Ida Adhiwiguna, Universität Duisburg-Essen

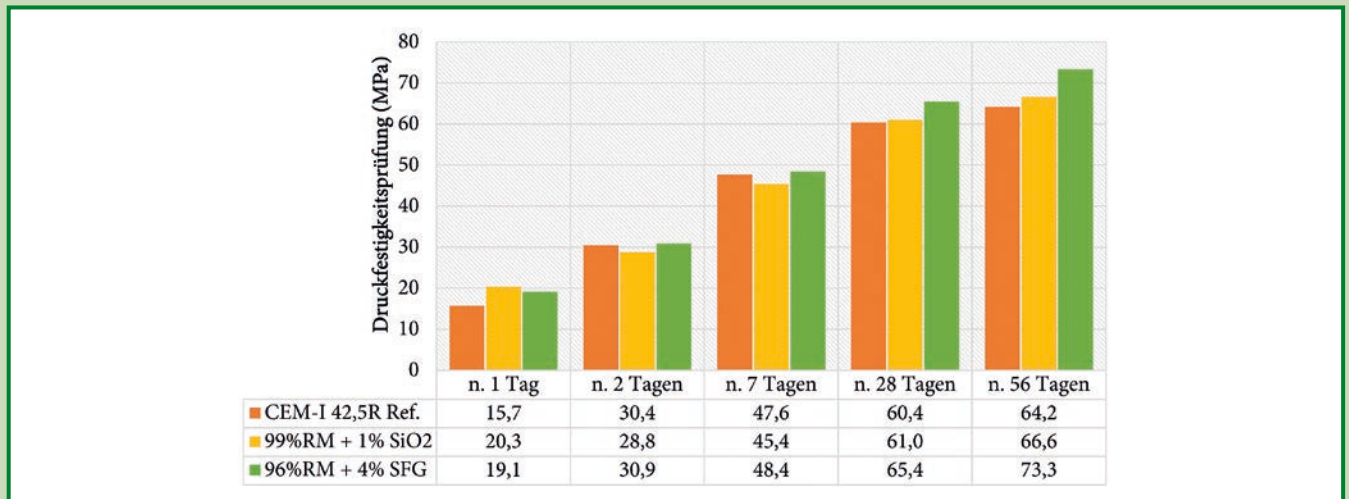


Bild 2: Vergleich der Druckfestigkeit eines Zements nach 56 Tagen unter Verwendung von 4% der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke (grün) im Vergleich zu Referenzzementen (orange und gelb)
Quelle: Sabine Mutke, Wilhelm-Dyckerhoff-Institut für Baustofftechnologie



Bild 3: Unterschiedliche zurückgewonnene NE-Metall-Fractionen
Quelle: Ida Adhiwiguna, Universität Duisburg-Essen

Zielstellung

Das Projekt FaBeR verfolgt das Ziel einer stofflich hochwertigen, umfassenden Nutzung von zu recycelnden Textilbetonbauteilen. Die Mineralik- und Faserfraktionen sollen in der Produktion von Zement, RC-Beton und Textil-/Faserbetonen genutzt werden. Diese Verwertung soll den übrigen Baustoffstrom faserfrei halten. Weiterhin soll die gesundheitliche Unbedenklichkeit möglicher Faseremissionen über den gesamten Aufbereitungs- und Verwertungszyklus sichergestellt werden. Abschließend erfolgt ein LCA, eine ökonomische Bewertung der entwickelten Baumaterialien und die Entwicklung eines Demonstrators in Form eines faserbewehrten Industriefußbodens.

Ergebnisse

Die assoziierten Industriepartner Fybro Glassfibreconcrete und Hering Bau haben Produktionsabfälle aus Textilbeton mit Glas- bzw. Carbonbewehrung für die Aufbereitung zur Verfügung gestellt (Bild 1). Am AMR erfolgte die selektive Zerkleinerung mittels Backenbrecher mit anschließender Klassierung zur Sortierung des Betonbruchs. Die Fraktionen 0–2 mm, 2–4 mm, 4–8 mm, >8 mm sowie Carbon- bzw. Glasfaser wurden den jeweiligen Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Der produzierte Betonbruch wurde am ibac charakterisiert und in Zusammenarbeit mit der Firma PAGEL SPEZIAL-BETON als Gesteinskörnung in einer Werk-trockenmischung eingesetzt.

Die Feinfraktion als Zementbestandteil in unterschiedlichen Zusammensetzungen testete die Holcim GmbH im Labor. Im Technikumsmaßstab wurde der Brechsand aufbereitet und anschließend mit Portlandzement und teilweise Hüttensandmehl zu unterschiedlichen Zementarten gemischt. Die unterschiedlichen Feinheiten der Technikumsmahlung beeinflussen die Festigkeiten der R-Zemente im betrachteten Bereich nicht. Diese Ergebnisse zeigen, dass zum Erreichen der Festigkeitsklasse 42,5 mit den verwendeten Mischkomponenten der normative Grenzwert (DIN EN 197-6 Entwurf) von 20 % RC-Mehl nicht überschritten werden sollte.

Die Aufbereitung der Carbonfaserfraktion erfolgt bei der Mitsubishi Chemical Advanced Materials GmbH. In einem Pyrolyseverfahren konnten aus CFK-Abfällen Kurzfasern hergestellt werden, die am ITA auf ihre Verbundeigenschaften beim Einsatz in Beton geprüft wurden. Die Kurzfasern zeichnen sich bereits ohne weitere Oberflächenbearbeitung oder -beschichtung durch hohe Verbundfestigkeiten aus. Neben der Möglichkeit der Knickwinkeländerung und dem Einfluss des Knickwinkels auf die Faserlängenverteilung wurde auch die Faserlängenverteilung mittels des fibreshape-Prüfgerätes der Firma IST AG untersucht.

FaBeR

Faser- und Beton-Recycling von Carbon- und Textilbeton

Die Glasfasern konnten bei den verwendeten Proben nicht vollständig vom Beton separiert werden, so dass eine gemischte Fraktion entstanden ist. Mörtelversuche und Versuche im Betonmaßstab zeigen eine prinzipiell gute Verarbeitbarkeit beider Recyclingfraktionen. Es ist ein Rezyklateinsatz von bis zu 100 % der Gesteinskörnung möglich.

Die entstandenen Probekörper werden ab Anfang 2024 mit unterschiedlichen Methoden (Brechen, Mahlen, Fräsen) in einem im Rahmen des Projektes entwickelten Fasermessstand (Bild 2) zerkleinert und die jeweilige Faserfreisetzung untersucht.

Das Ergebnis der Ökobilanzen zeigt, dass sowohl für den entworfenen Demonstrator als auch für die RC-Zement-Mischungen die nach wie vor benötigten primären Materialien (insbesondere Primärzement) ausschlaggebend für die analysierten Umweltkategorien, wie beispielsweise das *Global Warming Potential*, sind. Eine Ausnahme bildet das Humantoxizitätspotenzial für den Demonstratorboden – hier ist der Prozess der Zerkleinerung des Betons anteilmäßig am bedeutendsten. Kostentreiber sind Personalkosten und der Bezug primärer Materialien.

Ausblick

Basierend auf den bisherigen positiven Ergebnissen, wurden unterschiedliche Rezepturen für faserbewehrten Industriefußboden entwickelt, um sowohl die Carbonkurzfasern, den separierten Betonbruch als auch den glasfaserhaltigen Betonbruch hochwertig zu nutzen. Die Rezepturen werden aktuell im Labor getestet und anschließend mit Unterstützung durch die Baumaschinen Beckschulte KG als Gehwegplatten mit variierenden Zusammensetzungen auf einer Probefläche am ITA eingebaut.

Projektlaufzeit

1. 5. 2021 – 30. 4. 2024

FKZ 033R253

Kontakt

apl. Prof. Dr.-Ing. Anya Vollpracht
Institut für Baustoffforschung der
RWTH Aachen University
Schinkelstraße 3, 52062 Aachen
+49 (0)241 809 5116
vollpracht@ibac.rwth-aachen.de



Bild 1: CF aus unterschiedlichen Ursprungsproben mit teils noch anhaftendem Bauschutt
 Quelle: Mitsubishi Chemical Advanced Materials GmbH

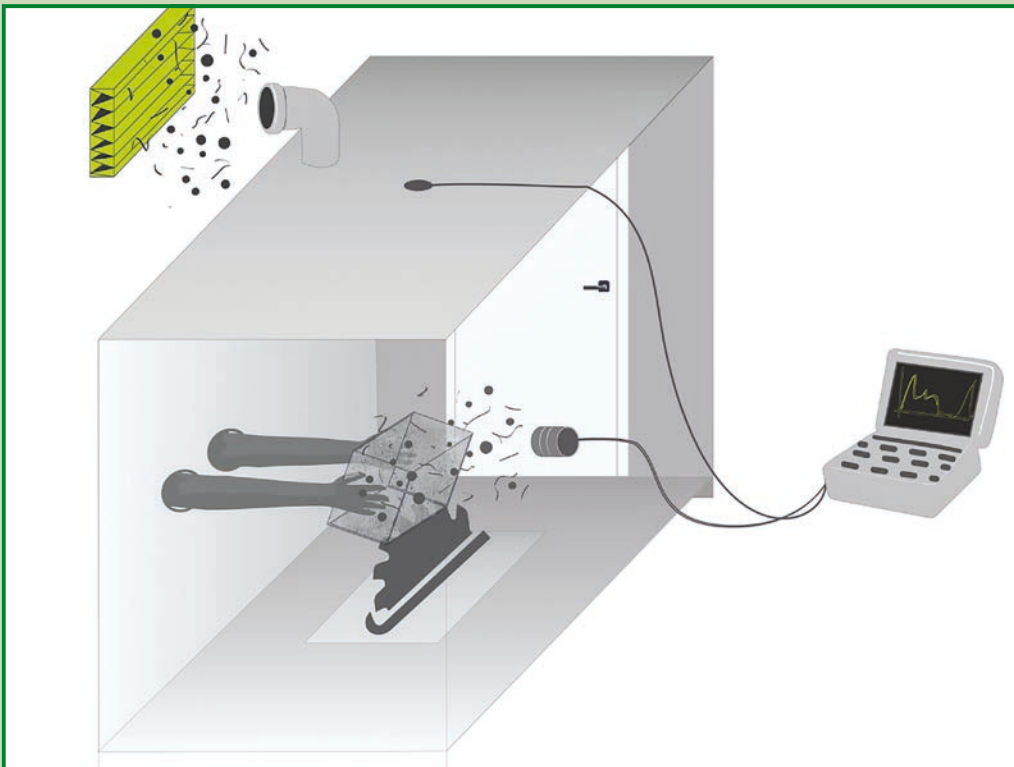


Bild 2: Schematische Darstellung des Versuchsstandes zur Faserfreisetzung
 Quelle: ibac

Zielstellung

Im Projekt Fertigteil 2.0 werden Betonbauteile aus zum Abriss bestimmten Gebäuden als wiederverwendbare „fertige Bauteile“ für Neubauten gewonnen. Auf Basis einer neuartigen real-digitalen Prozesskette werden Gebäude digitalisiert und als digitaler Zwilling in einem Building Information Modell (BIM) abgebildet. Die Betonbauteile werden anschließend zu flexiblen neuen Fertigteilkonstruktionen zusammengefügt.

Ergebnisse

Die Wiederverwendung von Bauteilen erfordert neue Planungs- und Bauabläufe. Während digital-reale Prozessketten von Neubauten mit der digitalen Planung starten und dann realisiert werden, steht zu Beginn der real-digitalen Prozessketten ein bestehendes Bauwerk. Im ersten Schritt dieser neuartigen Prozesskette werden daher die realen Bauwerke 3D gescannt und die wiederverwendbaren Betonbauteile systematisch erfasst und digitalisiert. Die realen Betonbauteile werden eindeutig gekennzeichnet (codiert) und als digitaler Zwilling (Geometriemodell mit zusätzlichen Attributen) in einem BIM-Modell abgebildet. Um eine möglichst flexible Wiederverwendung der Betonbauteile zu ermöglichen, werden die ursprünglich individuell verorteten Bauteile nach dem Rückbau durch subtraktive Nachbearbeitung so uniformiert, dass diese flexibel zu neuen Fertigteilkonstruktionen zusammengefügt werden konnten. Die so gewonnenen uniformierten Fertigteile 2.0 behalten ihre ursprüngliche Funktion (Stütze bleibt Stütze). Die Basis der neuartigen real-digitalen Prozessketten bildet eine Digitalisierungsplattform (Erfassung, Planung, Verwaltung, Logistik, Fabrikation), die im Projekt prototypisch entwickelt, angewendet und evaluiert wurde und neben der grundlegenden Prozessgestaltung auch die ökologische Bewertung umfasst. Die Veranschaulichung der real-digitalen Prozesskette erfolgte durch einen 1:1 Demonstrator in Form eines Gebäudeausschnittes aus weiterverwendeten Fertigteilen 2.0. Eine begleitende Lebenszyklusanalyse ermöglicht die Bilanzierung der ökologischen Effekte.

Durch die Realisierung des Demonstrators konnten zentrale Forschungsfragen beantwortet werden: Erstens konnte die für Fertigteile 2.0 entwickelte Herstellungs- und Verbindungsmethode im Gebäudemaßstab realisiert werden. Somit konnte gezeigt werden, dass die Herstellung mithilfe einer geschlossenen real-digitalen Prozesskette grundsätzlich möglich ist. Die Auswertung des Herstellungsprozesses zeigte zweitens, dass die Vorbereitung des Ernteprozesses ein zeitintensiver Arbeitsschritt ist, da die Sägeausrüstung und der Kran auf der Abrissbaustelle im Vor-

FERTIGTEIL 2.0

Real-digitale Prozessketten zur Gewinnung von eingebauten Betonbauteilen für die Weiterverwendung als fertige Bauteile

feld genau eingerichtet werden müssen. Sobald diese Vorbereitungen abgeschlossen sind, ist das eigentliche Sägen der Komponenten einfach.

Durch die begleitende Lebenszyklusanalyse konnte nachgewiesen werden, dass die Wiederaufbereitung und Wiederverwendung von rückgebauten Bauteilen zu signifikanten Einsparungen in der Ökobilanz führen, trotz des aufwändigen Ernteprozesses, der Transportwege und dem Aufbereitungsprozess. Die Ergebnisse der Ökobilanz zeigen, dass die Treibhausgasemissionen des wiederverwendeten Bauteils um ca. 65% geringer sind als die von Recyclingbeton oder konventionellem Beton. Unter den gewählten Modellbedingungen weisen die wiederverwendeten Bauteile in einem Transportradius von etwa 700 km geringere Emissionen auf als konventionell hergestellte Betonelemente vor Ort.

Ausblick

Das Projekt Fertigteil 2.0 bietet verschiedene wissenschaftliche und wirtschaftliche Weiterverwertungsmöglichkeiten. Die gewonnenen Erkenntnisse und entwickelten Technologien können im Rahmen von zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsprojekten im Feld der Kreislaufwirtschaft für die Baubranche eingesetzt werden. Der Ansatz des Projekts, eine Digitalisierungsplattform und einen Marktplatz für Bauteile zu schaffen, bietet das Potenzial einer größeren Vernetzung, besserer und digitalisierter Zusammenarbeit, sowie von digitalisierten Prozessabläufen in der Baubranche. So lassen sich Planung, Verwaltung, Logistik und Fabrikation zukünftig kreislaufgerecht optimieren.

Projektlaufzeit

1. 3. 2021 – 30. 6. 2023

FKZ 033R255

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Oliver Tessmann
Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Architektur
DDU – Digital Design Unit – Digitales Gestalten
El-Lissitzky-Str.1
64287 Darmstadt
+49 (0)6151 16-22483
tessmann@dg.tu-darmstadt.de



Bild 1:
Selektiver Rückbau mit einer
diamantbestückten Beton-
säge als Konzeptnachweis
für die Gewinnung von
Betonteilen zur Wiederauf-
bereitung und Wiederver-
wendung als Fertigteile 2.0.
Quelle:
Malcolm Unger, DDU,
TU Darmstadt



Bild 2:
Zusammengebauter
1:1-Demonstrator aus
wiederaufbereiteten,
modularen Fertigteilen 2.0.
Quelle:
Lukas Ledderose, ITE,
TU Darmstadt



Bild 3:
Gebauter Demonstrator als
Fragment einer größeren
Gebäudestruktur.
Quelle:
DDU, TU Darmstadt

Zielstellung

Vor dem Hintergrund der Endlichkeit und teils schwierigen Zugänglichkeit der natürlichen Gipsvorkommen bei aktuellem Rückgang der REA-Gipse aus der Kohleverstromung, sollen bisher unzureichend genutzte Potenziale des Recyclings von Gipsprodukten sowie sonstiger Gipsquellen identifiziert und bewertet werden. Ziel des Projektes ist somit die Ausweitung der Sekundärrohstoffpotenziale für die Herstellung von Recyclinggips. Im Projekt GipsRec 2.0 sollten technische Möglichkeiten zur Verfügbarmachung dieser Potenziale aus Gipsfaserplatten (GFP) (Bild 1) und Synthesegipsen entwickelt werden.

Ergebnisse

Im Projekt wurden umfangreiche Recherchen zu Stoffströmen, Potenzialen und Qualitäten von GFP und Synthesegipsen durchgeführt und deren Materialeigenschaften analytisch untersucht. Die Aufkommen bzw. die Potenziale an GFP-Abfällen, insbesondere aus dem Rückbau und Abbruch, wurden recherchiert und ausgewertet. Darüber hinaus wurden bestehende Potenziale an Synthesegipsen aus industriellen Prozessen und deren Einsatzmöglichkeiten für das Recycling eruiert. Darauf aufbauend wurden geeignete Prozessketten zur Rückgewinnung der Wertstoffe Gips und Papier abgeleitet, die in entsprechende Versuchsanordnungen zur Findung geeigneter Aufbereitungstechnologien eingeflossen sind.

Zum Erreichen der Zielstellung, einer nahezu sortenreinen Trennung der in den GFP vorhandenen Gipsfraktion von der Papierfraktion und damit die Rückgewinnung von Gipsen als potenzielle Wertstoffquelle für die Gipsindustrie, erfolgten großtechnische Versuche mit unterschiedlicher Zerkleinerungs- (Stachelwalzenbrecher, Hammermühle) und Siebtechnik (Russell-Vibrationssieb und 10g-Linearschwingsieb). Die Ergebnisse zeigen, dass eine sehr gute Trennung der GFP in die ursprünglichen Wertstoffe Gips und Papier mittels der entwickelten Prozesskette möglich ist (Bild 2). Die abgetrennte Gipsfraktion (Bild 3) zeigte eine Reinheit, die eine Wiederverwendung in der Gipsindustrie zulässt. Die Papierfraktion kann ebenfalls einer Verwertung in der Gipsindustrie zugeführt werden. Hinsichtlich der Reinheit zur stofflichen Verwertung in der Papierindustrie besteht noch weiterer Optimierungsbedarf.

Basierend auf der Potenzialerhebung für vorhandene Synthesegipse wurde der Schwerpunkt auf deren Rückgewinnung aus Batteriesäuren gelegt, da hier ein hohes Potenzial beim Recycling von Altbatterien zu erwarten ist.

Im Rahmen der Forschungsarbeit sind verbrauchte Batteriesäuren in umfangreichen Versuchen, unter

GipsRec2.0

Technische Vorbereitung der Verfügbarmachung von Gipsfaserplatten und Synthesegipsen zur Herstellung von RC-Gips

Ausnutzung von Fällungsreaktionen und anschließender Filtration der Gipsfraktion, im Labormaßstab untersucht worden. Die dabei entstandenen Gipsfraktionen wurden laborchemisch auf deren Reinheit und Restkontamination, insbesondere Schwermetalle, untersucht. Daraus abgeleitet wurde eine Prozesskette entwickelt, die in der Praxis ihre Anwendung finden könnte. Die Ergebnisse zeigen, dass dieses Verfahren ein großes Potenzial im Hinblick auf die Rückgewinnung des Wertstoffes Gips aus Batteriesäuren besitzt.

Für die entwickelten Prozessketten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes entsprechende Öko-Bilanzen erstellt sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen vorgenommen. Dabei wurden diesen Betrachtungen Standortanalysen für Recyclingstandorte in Deutschland für neue und bestehende Gipsrecyclinganlagen, basierend auf den vorhandenen Abfallpotenzialen, zu Grunde gelegt.

Ausblick

Die Ergebnisse des Projektes GipsRec2.0 verdeutlichen, dass ein GFP-Recycling in Deutschland technisch und ökonomisch umsetzbar ist. Die im Rahmen des Projektes entwickelte Technologie zur Aufbereitung von GFP ist im großtechnischen Maßstab einsetzbar. Ökonomisch ist eine Erweiterung in Betrieb befindlicher Gipsrecyclinganlagen durch Adaption der entwickelten Prozesskette sinnvoll. Dementsprechend kann die Umsetzung des GFP-Recyclings in der Praxis zur Gewinnung des verfügbaren Wertstoffpotenzials empfohlen werden.

Die Rückgewinnung von Synthesegipsen (Bild 4) aus verbrauchter Batteriesäure besitzt ebenfalls ein großes Wertstoffpotenzial. Inwieweit das betrachtete Verfahren in der Praxis realisiert werden kann, sollte mit den dafür in Betracht kommenden Wirtschaftsakteuren – Batterierecyclingunternehmen – weiter diskutiert und die Rentabilität und Umsetzbarkeit eruiert werden.

Beide betrachteten Aufbereitungsverfahren besitzen ein großes Potenzial für eine praktische Umsetzung und sollten durch dafür in Betracht kommende Wirtschaftsunternehmen weiterverfolgt und auf politischer bzw. administrativer Ebene unterstützt werden.



Bild 1: Gipsfaserplatten-Ausgangsmaterial

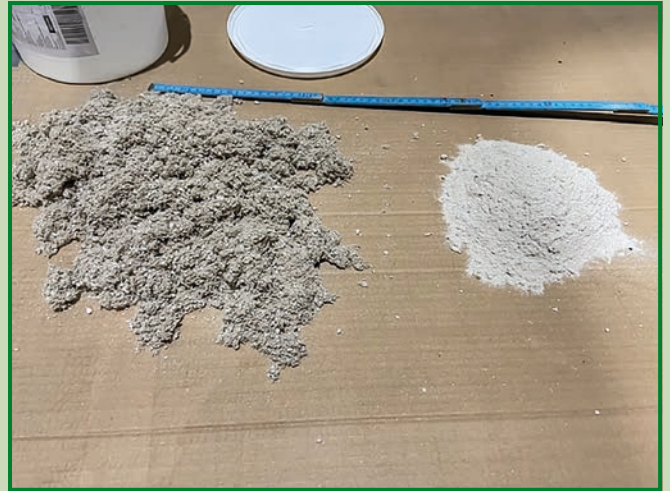


Bild 2: Papier- und Gipsfraktion nach Aufbereitung
Quelle: MUEG

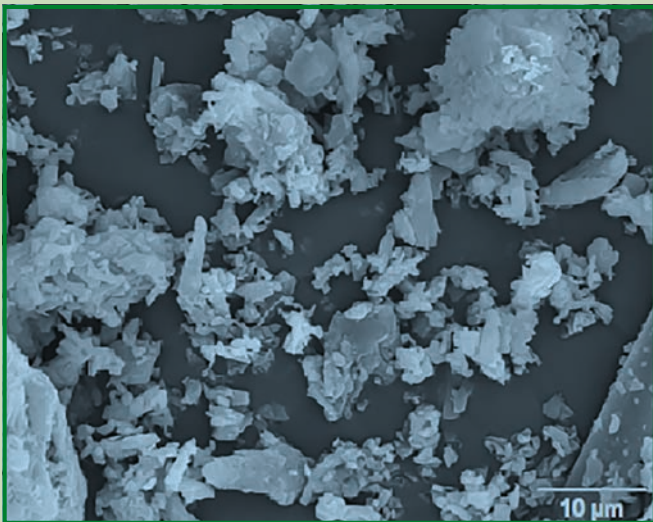


Bild 3: REM-Untersuchung – Gipsfraktion
Quelle: MPA

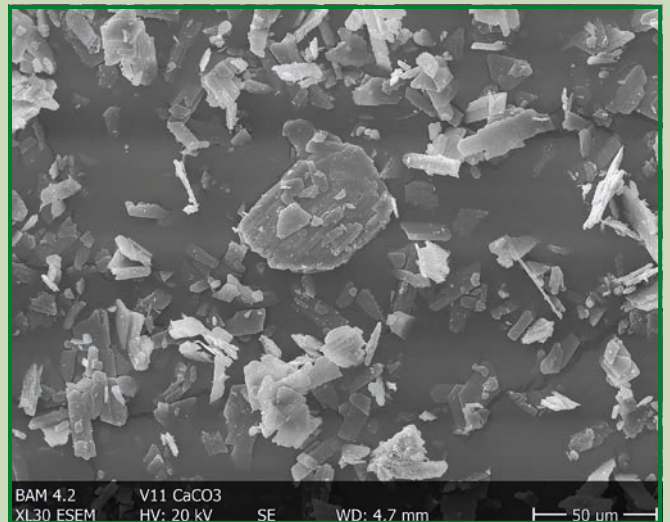


Bild 4: SEM-Untersuchung –
Synthesegips bei Fällung mit CaCO_3
Quelle: BAM

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 30. 4. 2024

FKZ 033R267

Kontakt

MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und
Entsorgung GmbH
Geiseltalstraße 1
06242 Braunsbedra
Dipl.-Ing. Jörg-Michael Bunzel
+49 (0)34633 41 115
joerg-michael.bunzel@mueg.de

Zielstellung

Für die Schaffung geschlossener Stoffkreisläufe in der mineralischen Baustoffindustrie werden vor allem sortenreine Materialfraktionen benötigt. Im Forschungsvorhaben wurde die Laser Induced Break-down Spectroscopy (LIBS) als neues Sortierverfahren für Baustoffe untersucht und eingesetzt. Klassische Sensortechnologien (NIR und Farbe) wurden durch LIBS ergänzt, um die Erkennungsraten zu erhöhen und Störstoffe möglichst frühzeitig innerhalb einer noch nicht etablierten Vorsortierung abzutrennen.

Ausgangssituation

Der Großteil der Gebäude, die sich derzeit im Rückbau befinden, sind durch großes Materialvolumen, zunehmende Materialvielfalt und die Verwendung von Verbundbaustoffen gekennzeichnet. Das führt zu einer starken Heterogenität von Bauschutt und Baustellenabfällen, die vor der möglichen Weiterverwendung anforderungsgerecht sortiert werden müssen. Daher werden automatische Sortierverfahren benötigt, um verschiedene Nebenbaustoffe (Fremd- und Störstoffe) sowie Schadstoffe so früh wie möglich zu erkennen und von den Hauptbaustoff-Gemischen (Beton, Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton) auszuschleusen. Dies ist auch der Tatsache geschuldet, dass der klassische selektive Rückbau und die händische Sortierung bei stationären Baustoffrecyclinganlagen zunehmend an ihre Grenzen der technischen Machbarkeit stoßen. Hinzu kommen der sich verschärfende Fachkräftemangel sowie der Platzbedarf für die selektive Sammlung der Materialien auf der Baustelle.

Ergebnisse

Im Projekt wurden NIR-, SWIR- und LIBS-Spektralinformationen von 91 Proben verschiedener Bau- und Abbruchabfälle gesammelt. Mithilfe extrahierter Absorptionsmerkmale (NIR, SWIR) und Elementinformationen (LIBS) wurden Klassifikationsmodelle für jeden Sensor trainiert und anschließend in Form einer Kreuzvalidierung auf unbekannte Testproben angewandt. Die so mit ermittelten Vorhersagewahrscheinlichkeiten für jede Materialgruppe gaben Aufschluss über Stärken und Schwächen der Sensoren und ermöglichten eine Datenfusion über die gewichtete Zusammenführung

LIBS-ConSort

Laserbasierte Baustoffsortierung zur Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen für die Kreislaufwirtschaft

der Einzelklassifikationen in einem finalen Votingprozess (Bild 1). Zur Umsetzung der methodischen Kombination wurde ein Prototyp im Labormaßstab aufgebaut, welcher zur echtzeitfähigen Klassifikation verschiedenster Baustoffe dienen soll. Die Schwerpunkte liegen hierbei auf einer automatisierten Datenaufnahme aller Sensoren und der anschließenden fusionierten Verarbeitung mittels multivariater Analyse und maschinellem Lernen.

Die Ergebnisse werden als vielversprechend für die spektrale Erkennung von mineralischen Baustoffen angesehen. Die zusätzlichen Informationen der RGB-Kamera sollen die Erkennungsraten weiter verbessern. Simultan zur Entwicklung des Prototyps werden ein erweiterter Datensatz von Prüfkörpern und der Einfluss von Verschmutzung und Feuchtigkeit auf die Erkennungsgenauigkeit untersucht. Auch Verbundwerkstoffe werden gesondert betrachtet, um ein Konzept für eine zuverlässige Identifizierung zu entwickeln. Die abschließende Validierung erfolgt an „unbekannten“ Referenzproben aus der Praxis, um statistische Aussagen zu Detektionswahrscheinlichkeiten treffen zu können. Die bisher erarbeiteten Erkenntnisse flossen direkt in die Entwicklung eines Demonstrators im Technikumsmaßstab (Bild 2) ein. Auf diesem können verschiedene Materialproben nach der Aufgabe linear eingespart und dem Strahlungsbereich zugeführt werden. Die Probe wird mit dem verbauten Laser beschossen (Bild 3) und das entstehende Plasma analysiert. Der Vergleich des erfassten Spektrums mit den Informationen aus der Materialdatenbank ermöglicht die Klassifizierung und damit die Ausschleusung der Probe.

Ausblick

Angesichts des großen Potenzials einer chemisch-mineralogischen Sortierung durch die Kombination von NIR-, SWIR- und LIBS-Technologie empfiehlt sich eine Weiterentwicklung der Methodik bis hin zum industriellen Einsatz. Ebenso erscheint eine Übertragbarkeit auf weitere Fragestellungen, wie die Charakterisierung feinkörniger Bau- und Abbruchabfälle vielversprechend.

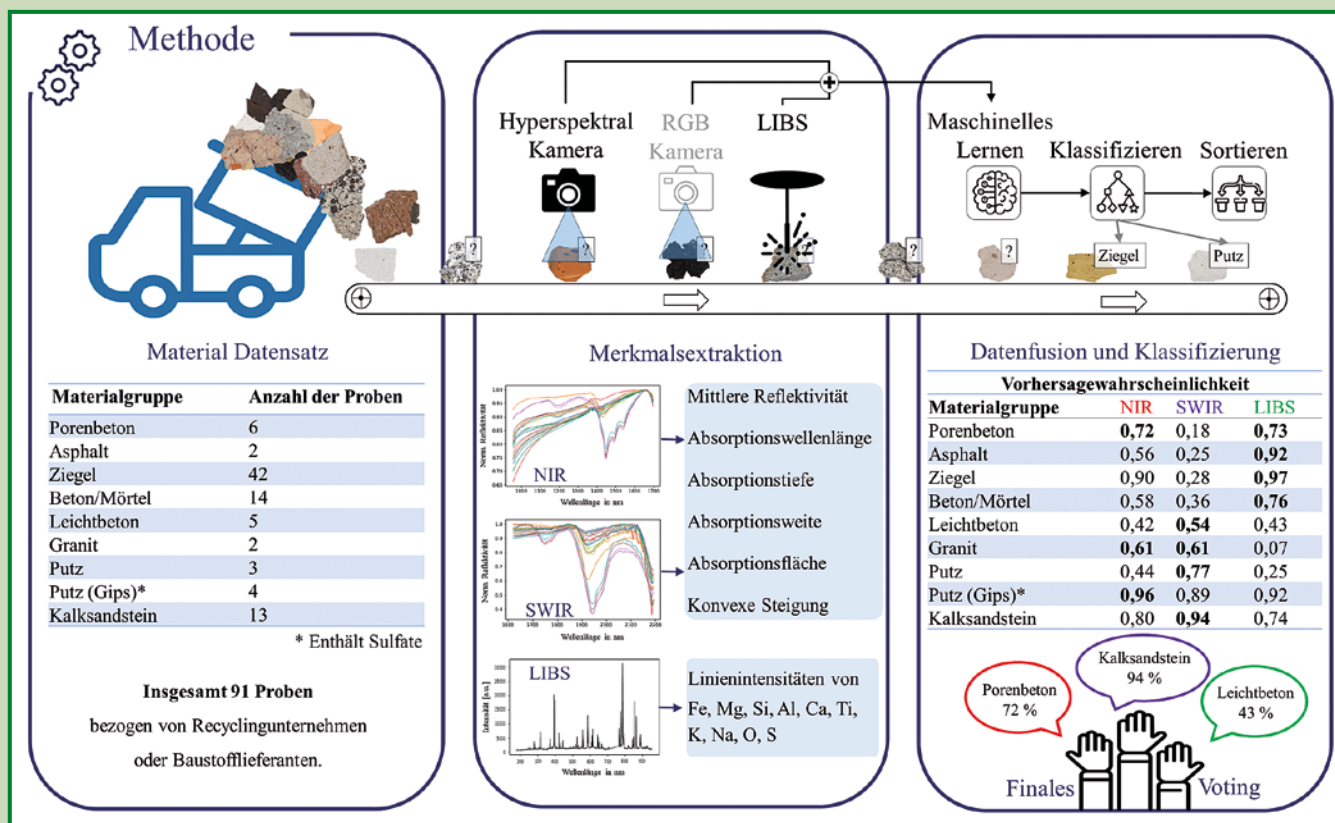


Bild 1: Methodologie der Datenfusion
Quelle: Klewe (BAM, Berlin)



Bild 2: LIBS-Demonstrator am IAB
Quelle: Müller (IAB Weimar)

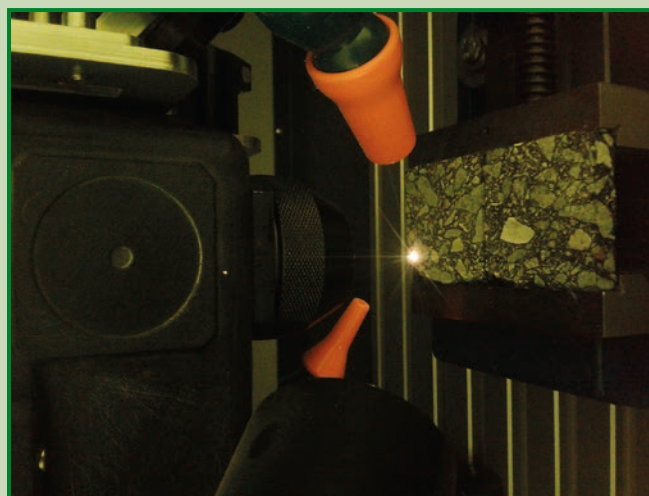


Bild 3: Laserschuss auf eine Betonprobe
Quelle: Götz (IAB Weimar)

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 7. 2024

FKZ 033R259

Kontakt

IAB Weimar gGmbH
Über der Nonnenwiese 1
99428 Weimar
Dr.-Ing. Barbara Leydolph
+49 (0)3643 8684-145
b.leydolph@iab-weimar.de

Zielstellung

Die Erzeugung nahezu vollständig mineralischer Stoffkreisläufe für hybride Deckenelemente unter Substitution von Polystyrol-Hartschaum durch mineralische Ersatzbaustoffe stellt die zentrale Zielstellung des Projektes dar.

Ergebnisse

Durch die Integration von großflächigen Polystyrol-Verdrängungskörpern in Deckensysteme, lassen sich die konstruktiven Vorteile einer Flachdecke mit den statischen Vorzügen einer Haupt-Nebenträger-Struktur kombinieren. Aufgrund des kraftschlüssigen Verbundes zwischen den Dämm-Elementen und dem angrenzenden Beton entstehen jedoch nach Ablauf der Gebäudenutzung schwer zu trennende Verbundabfälle. Als Alternative zu den Polystyrol-Elementen wird im Projekt ein mineralisierter Schaum entwickelt, welcher sich aufgrund seines im Vergleich zum Stahlbeton geringen Gewichts (ca. 500 kg/m³) als Verdrängungskörper eignet und in seiner technischen Leistungsfähigkeit den herkömmlichen Polystyrol-Hartschäumen überlegen ist. Durch den Einsatz von rezykliertem Brechsand als Komponente des Mineralschaums lässt sich ein breites Anwendungsfeld für die aktuell nicht genutzten Recyclingpotenziale öffnen. Durch den Austausch der polystyrolbasierten Verdrängungskörper soll ein hybrides Deckenelement mit einer unteren und oberen Betonschale aus Normalbeton und einer vollflächigen Kernschicht aus Mineralschaum entstehen (siehe Bild 1).

Zur Beschreibung des Trag- und Verformungsverhaltens der Sandwichhybriddecke werden Berechnungsmodelle für die einzelnen Schichten erstellt, welche anschließend miteinander gekoppelt werden. Hierzu sind die mechanischen Eigenschaften der Ausgangsstoffe sowie ihr Zusammenwirken in der Gesamtstruktur zu erforschen. Aus diesem Grund wurden im Projektverlauf zahlreiche Mischungsentwürfe mit unterschiedlichen Trockenrohdichten entwickelt, hergestellt und auf ihre mechanischen Eigenschaften untersucht. Zur rechnerischen Quantifizierung wurde das mechanische Verhalten des Mineralschaums anhand der ex-

MIN-LOOP

Substitution polystyrolbasierter Hartschäume durch zementgebundenen Mineralschaum aus rezykliertem Brechsand in Sandwichhybriddecken für rein mineralische Stoffkreisläufe im Hochbau

perimentellen Untersuchungen approximiert (siehe Bild 2). Es wurden Ingenieurmodelle zur nichtlinearen Berechnung der Schnitt- und Verformungsgrößen der Betonschalen und der Kernschicht entwickelt. Die numerischen Modelle wurden hierbei mittels Finite-Elemente-Berechnungen verifiziert (siehe Bild 3).

Während des gesamten Projektverlaufes wurden weiterhin die ökobilanziellen Einflüsse auf Baustoff-, Bauteil- sowie auf Gebäudeebene untersucht. Die Bilanzierungsergebnisse zeigen, dass sich mittels Substitution der PS-Elemente durch Mineralschaum eine deutliche Einsparung von nicht erneuerbarer Primärenergie sowie eine Senkung des Treibhauspotenzials erreichen lässt.

Ausblick

Im verbleibenden Projektverlauf werden die Ingenieurmodelle durch experimentelle Untersuchungen validiert sowie die Reversibilität des Deckenelementes untersucht.

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 1. 2024

FKZ 033R261

Kontakt

RPTU Kaiserslautern
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau & Baukonstruktion
Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn / Felix Ruppert, M.Sc.
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern
+49 (0)631 205-3083
matthias.pahn@bauing.uni-kl.de

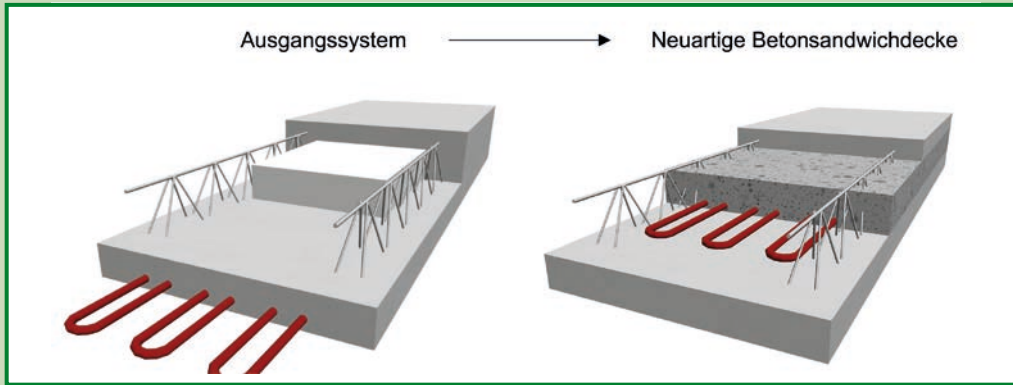


Bild 1:
Prinzipskizze der hybriden
Betonsandwichdecke
Quelle:
Felix Ruppert

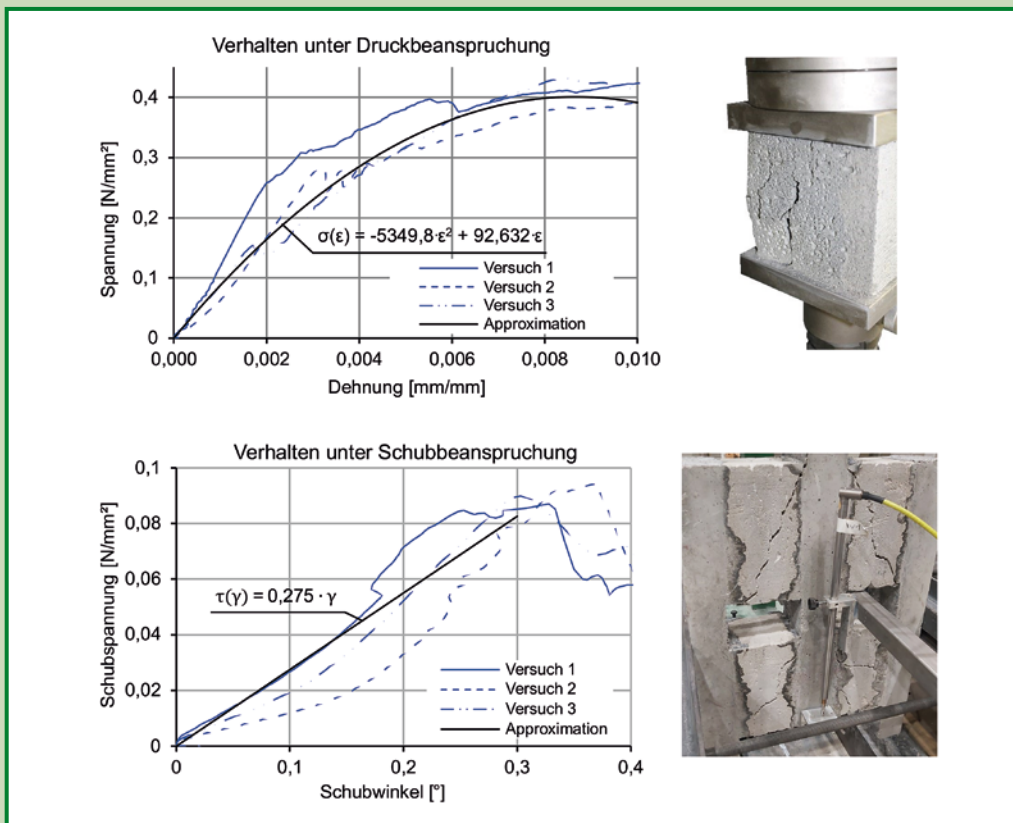


Bild 2:
Ergebnisse der mechanischen Untersuchungen
Quelle:
Felix Ruppert

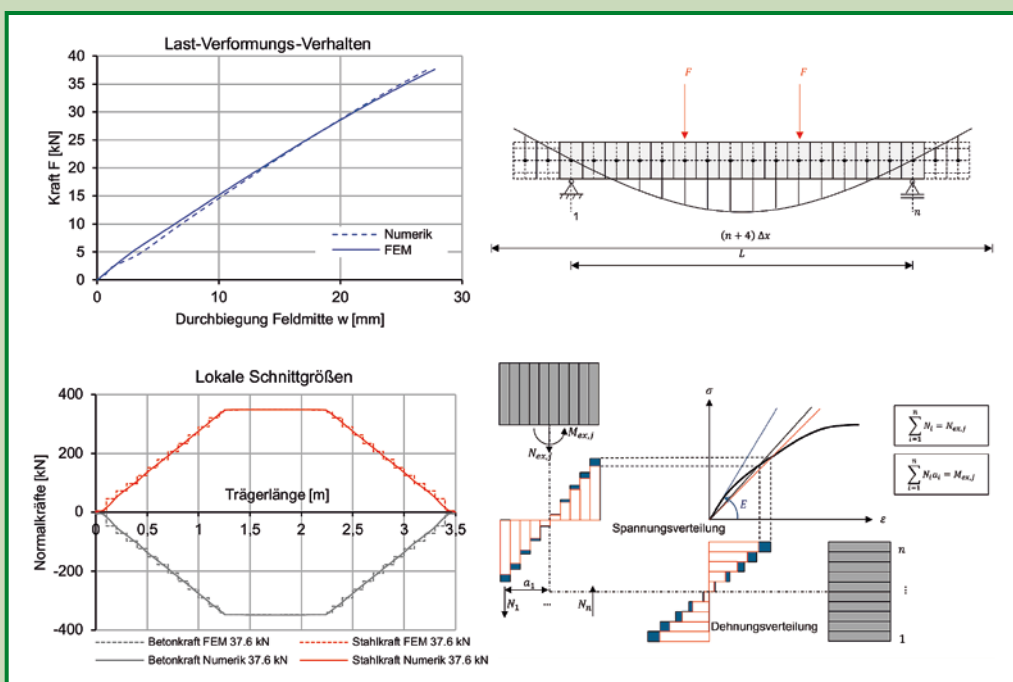


Bild 3:
Ergebnisse der numerischen Untersuchungen
Quelle:
Felix Ruppert

Zielstellungen

Inwieweit lassen sich ziegelhaltige Recyclingbaustoffe (Bild 1) als Hauptbestandteil im Zement verwerten? Interdisziplinär und branchenübergreifend untersucht R-ZiEMENT, wie sich ressourceneffiziente Zemente mit ziegelhaltigen Recyclingbaustoffen und verringertem Klinkeranteil herstellen und im Beton anwenden lassen.

Wie können Recyclingstoffströme mit Ziegel angereichert werden? Welche Verwertungsmöglichkeiten ergeben sich aus Ziegelschleifstaub? Wie sollten ziegelhaltige Stoffströme zusammengesetzt sein und wie sind sie aufzubereiten? Welche Eigenschaften entstehen im Mörtel und Beton, wenn ziegelmehlhaltige Zemente angewendet werden?

Auf diese Fragen gibt das Projekt Antworten und verknüpft damit die Kreislaufwirtschaft zwischen den produzierenden Industriezweigen Ziegel, Baustoffrecycling, Zement und Beton.

Ergebnisse

Die Untersuchungen der Stoffströme der Recycling- und Ziegelwerke haben ergeben, dass die Ziegelanteile eines Stoffstroms ebenso variieren können wie die Reaktivität der entsprechenden Ziegelbestandteile. Je nach chemisch-mineralogischer Zusammensetzung und Brenntemperatur eines Ziegelbestandteils zeigten sich in den Untersuchungen der Hydratationswärme (ASTM C1897-20) von Ziegel- und Mauerwerksbruch in Bindemittelpasten zum Teil deutliche Unterschiede in der puzzolanischen Reaktivität. Auch der Ziegelanteil eines RC-Stoffstroms bzw. einer RC-Baustoffprobe führte zu unterschiedlichen Reaktivitäten.

Mit Blick auf Schad- und Störstoffe wurden an den ziegelhaltigen Recyclingbaustoffen Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit durchgeführt, die sich zunächst an den Empfehlungen der LAGA sowie an den Kriterien zur Verwendung von siliziumreicher Flugasche und Kesselsand in Betonbauteilen (DAfStb-Richtlinie) orientierten. Mit dem Vorliegen der Produktnorm EN 197-6 für klinkereffiziente Zemente mit rezyklierten Feinstoffen sind die in den Prüfplänen des DIBt geforderten Höchstwerte nach DIN 4226-101 einzuhalten.

Je nach stofflicher und granulometrischer Zusammensetzung ressourceneffizienter Zemente wird neben der Druckfestigkeit auch die Gefügeentwicklung beeinflusst. Diese Effekte entscheiden über die Anwendungsmöglichkeiten im Beton und damit darüber, wie weit der Klinkeranteil reduziert, CO₂-Emissionen verringert und natürliche Ressourcen eingespart werden könnten.

R-ZiEMENT

Ziegelhaltige Recyclingbaustoffe als Rohstoff für ressourceneffiziente Zemente in dauerhaften Betonen

Die R-Zemente mit einem RC-Anteil von 30 M.-% in Kombination mit 70 M.-% CEM I 52,5 R erzielten Normfestigkeiten zwischen 58 MPa und 68 MPa. Die im R-Zement eingesetzten RC-Materialien aus Ziegel- oder Mauerwerksbruch wiesen dabei Feinheiten $\geq 5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ (Blaine) sowie variierende Reaktivitäten (entsprechend einer Hydratationswärme von ca. 30 J/g bis 220 J/g) auf. Ein Zusammenhang zwischen der Hydratationswärme und der Druckfestigkeit bestand nicht (Bild 2).

Zur Untersuchung zulassungsrelevanter Betoneigenschaften wurde z. B. der Frostwiderstand mit dem Würfelverfahren geprüft. Die Druckfestigkeiten der Betone mit einem Wasserzementwert $w/z = 0,60$ erreichten Werte zwischen 36,5 MPa und 42,0 MPa. Unabhängig vom RC-Material im Zement wurde das DIBt-Bewertungskriterium für die Abwitterungen nach 100 Frost-Tau-Wechseln $\leq 10 \text{ M.-%}$ eingehalten (Bild 3).

Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen der Laborversuche sollen in großtechnischen Betriebsversuchen ziegelhaltige R-Zemente mit einem Klinkerfaktor von ca. 70% hergestellt werden. Dabei ist sowohl eine gemeinsame Mahlung eines CEM II/B-Q bzw. CEM II/B-F sowie eine getrennte Mahlung mit anschließendem Mischen von Klinker, Kalkstein und gesiebttem Ziegelschleifstaub zu CEM II/B-M (Q-LL) vorgesehen. Abschließende Dauerhaftigkeitsprüfungen und ökobilanzielle Berechnungen sollen den Weg zur Einführung dieser R-Zemente in die Baupraxis sowie Möglichkeiten einer Produktentwicklung hin zu deutlich klinkerreduzierten R-Zementen vorbereiten.

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 7. 2024

FKZ 033R263

Kontakt

Dr. Christoph Müller, Katrin Severins
VDZ Technology gGmbH
Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf
+49 (0)211 4578 253
katrin.severins@vdz-online.de



Bild 1:
Ziegelhaltige Recyclingbaustoffe aus unterschiedlichen Aufbereitungsstufen:
als Ausgangsstoff, als Recyclingbrechsand und als Recyclingmehl
Quelle:
VDZ Technology gGmbH/
Julia Vogel

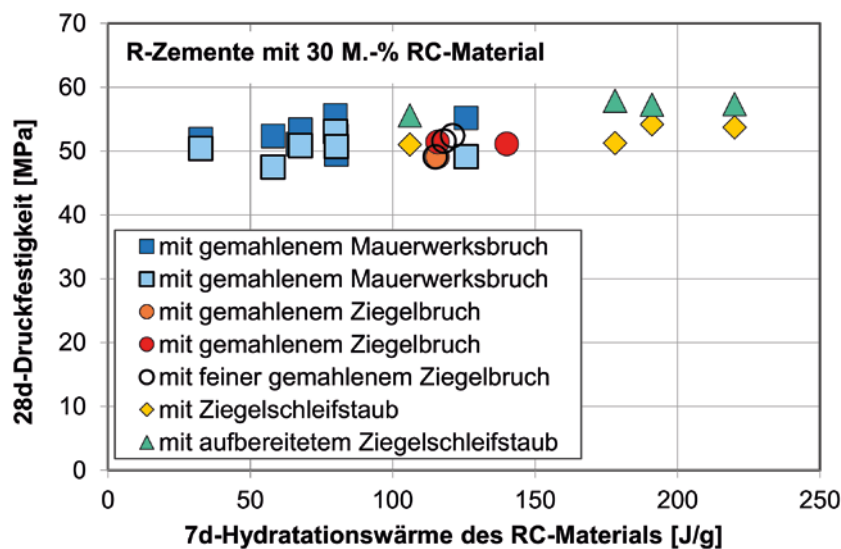


Bild 2:
Einfluss der Reaktivität des RC-Materials auf die Normfestigkeit von R-Zementen mit einem RC-Anteil von 30 M.-% in Kombination mit 70 M.-% CEM I 52,5 R; Druckfestigkeit gemäß EN 196-1 (Prüfalter 28 Tage); Hydratationswärme gemäß ASTM C1897-20 (Prüfalter sieben Tage) zur Einordnung der puzzolanischen Reaktivität des RC-Materials im Zement
Quelle:
VDZ Technology gGmbH/
Katrin Severins

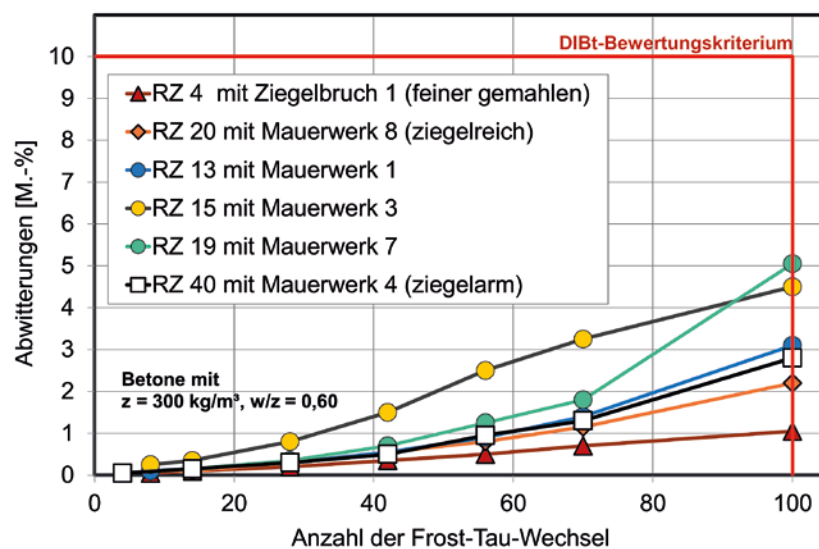


Bild 3:
Frostwiderstand der Betone im Würfelverfahren, Abwitterungen der Betone mit einem Zementgehalt $z = 300 \text{ kg/m}^3$ sowie einem Wasser-zementwert $w/z = 0,60$ in Abhängigkeit der Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, Anwendung von R-Zementen mit einem RC-Anteil von 30 M.-% in Kombination mit 70 M.-% CEM I 52,5 R
Quelle:
VDZ Technology gGmbH/
Katrin Severins

Zielstellung

Ziel des Projekts REALight ist die Entwicklung einer Referenzanlage zur Herstellung von Leichtgranulaten (lightweight aggregates, LWA) aus mineralischen Bau- und Abbruchabfällen. Ausreichend große Mengen an LWA für Applikationstests sind zu erzeugen. Daneben sind Demonstratoren für die praxisnahe Erprobung herzustellen. Auch soll die Technologie hinsichtlich der Nutzung weiterer Einsatzstoffe sowie zwecks Gipsrückgewinnung erweitert werden – als Voraussetzung zur Übertragung der Produkt- und Verfahrensidee in die Praxis und als Nachweis für die Machbarkeit der Sulfatabtrennung und -rückgewinnung aus gipshaltigem Material. Gegenstand des Projekts sind zudem Untersuchungen zur Verbreiterung der Rohstoffbasis durch Einkopplung spezifischer Stoffströme.

Ergebnisse

Als Rohstoffe wurden hauptsächlich bisher ungenutzte oder auf sehr niedrigem Niveau eingesetzte mineralische Bauabfälle wie gemischter Bauschutt und Ziegelbruch eingesetzt. Um die Rohstoffbasis zu verbreitern, wurde in einem Rohstoffassessment die Eignung anderer Materialien untersucht: Aschen, Schlämme, Brechsande und weitere Reststoffe.

Die bautechnischen Eigenschaften der LWA, ihre umweltanalytischen Eigenschaften und die Beton- bzw. Mörtelkennwerte wurden fortlaufend ermittelt. Zum Blähverhalten von Rohstoffmischungen erfolgten zudem chemisch-physikalische Untersuchungen. Mögliche Blähmittel verschiedener Herkunft kamen zum Einsatz. Ansätze zur Identifikation neuer, wirtschaftlicher Blähmittel wurden gefunden.

In einer Pilotanlage des Instituts für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH erfolgten Versuchskampagnen zur Herstellung der LWA (Bild 1). In einem mehrstufigen mechanischen Prozess, bestehend aus Brechen, Sieben, Mahlen, Blähmittelzugabe, Homogenisieren und finalem Granulieren, wurden Grüngranulate hergestellt. Im Anschluss erfolgte im Drehrohrföhrer eine thermische Behandlung der Granulate, die zur Volumenzunahme bei gleichzeitiger Verfestigung führt. Die Sulfatabtrennung durch thermische Zersetzung bildet die Grundlage der REA-Gips-Gewinnung. An der Anlage wurden ein Nasswäscher und eine stationäre Gasanalyse installiert. Die grundsätzliche Machbarkeit der Sulfatabtrennung konnte nachgewiesen werden. Die in der Pilotanlage hergestellten LWA wurden den Projektpartnern für die Materialprüfungen und die Applikationstests zur Verfügung gestellt.

Die Beton und Naturstein Babelsberg GmbH sowie die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) entwickelten mit LWA der Körnungen 0 – 4 mm

REALight

Leichtgranulate und REA-Gips aus feinkörnigen sulfatbelasteten Bau- und Abbruchabfällen und industriellen Nebenprodukten

bzw. 4 – 8 mm Rezepturen für Leichtbetone mit dem CO₂-armen Bindemittel Celitement. Der Leichtbeton weist bei Prüfung von Betonwürfeln mit 150 mm Kantenlänge eine Trockenrohdichte von 800 kg/m³, eine Druckfestigkeit von 10,8 MPa und eine Gesamtporosität von 63,5 % auf. Das angestrebte Ziel der Herstellung eines Infraleichtbetons wurde damit erreicht. Als Demonstratoren wurden Fassadenelemente aus diesem Infraleichtbeton hergestellt (Bild 2).

Die OPUS Denkmalpflege GmbH entwickelte leichte Füllmörtel, bestehend aus feinkörnigen, gebrochenen Leichtgranulaten der Körnungen 0 – 0,5 mm, 0,5 – 1 mm, 1 – 2 mm und 2 – 4 mm. Für die denkmalgerechte Restauration Cottaer Sandsteine sind, abgestimmt auf die Füllmörtel, leichte Deckmörtel der Körnung 0 – 0,5 mm entwickelt worden. Das zweistufige Mörtelsystem soll zum Auffüllen größerer Fehlstellen dienen. Bild 3 zeigt ein Prisma aus Deck- und Füllmörtel auf Kalkbasis.

Ausblick

Die Eignung heterogenen ziegelhaltigen Bauschutts als Ausgangsstoff zur Herstellung leichter Gesteinskörnungen wurde im Technikumsmaßstab nachgewiesen. Das Projekt REALight stellt einen weiteren Schritt für das Scale-Up der Technologie dar. Erstmals wurde auch die Möglichkeit der Sulfatentfrachtung nachgewiesen. Zur technischen Umsetzung der Gipsrückgewinnung aus dem Prozess sind weitere Arbeiten notwendig. Außerdem sind weitere Untersuchungen an verschiedenen Rohstoffmischungen zum Blähverhalten von Interesse, um wirtschaftliche Blähmittel zu identifizieren und den Herstellungsprozess zu optimieren.

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 1. 2024

FKZ 033R257

Kontakt

Bauhaus-Universität Weimar
Professur Werkstoffe des Bauens
Dipl.-Ing. Alexander Schnell
Coudraystr. 11
99423 Weimar
+49 (0)3643 58-4608
alexander.schnell@uni-weimar.de



Bild 1:
Leichtgranulate am Ofen-
auslass des Drehrohrofens
Foto:
IAB Weimar gGmbH



Bild 2:
Leichtbetonfassaden-
platten aus Infraleichtbeton
als Demonstrator
Foto:
Beton- und Naturstein
Babelsberg GmbH



Bild 3:
Restauriermörtel
für die Denkmalpflege
Foto:
OPUS Denkmalpflege GmbH

Zielstellung

Das Ziel des Projekts war es, einen sicheren Gesamtprozess im schadstoffbelasteten Baubestand zu ermöglichen – von der Erfassung über die Sanierung und Ausschleusung von Asbest bis hin zur Erzeugung sicherer Recyclingmaterialien (RCM). Entsprechende Branchen waren im Konsortium vertreten.

Ergebnisse

Die Anwendungen neuer Untersuchungsmethoden und Probenahmestrategien, insbesondere der VDI 6202 Blatt 3 zur systematischen Erkundung und Bewertung von Asbest in baulichen und technischen Anlagen und der VDI 3876 zum Messen von Asbest in Bau- und Abbruchabfällen zeigten, dass Asbest im Bestand sowie im Bauschutt sicher und systematisch nachgewiesen werden kann.

Asbest hat in einer Vielzahl von Bauprodukten Anwendung gefunden. Dieses können konkret erfassbare Bauprodukte wie leichte Platten oder Asbestzementplatten sein, aber auch flächig aufgetragene Baustoffe wie Putze, Klebstoffe oder Spachtelmassen. Letztere können bei Renovierungsarbeiten durch geringe Asbestfaseranteile zu großen Raumluftbelastungen beitragen und wie alle anderen Asbestprodukte zu unterschwelligen und grenzwertrelevanten Belastungen der Bauabfälle führen. Die Analysen mittels Rasterelektronenmikroskop als Zählverfahren zeigen dabei auch die Spurenbelastungen im Bauschutt immer wieder klar auf und weisen auf die vorab ungenügend ausgeführte Entfrachtung hin.

Auch optisch sind einige Asbestbauprodukte im Haufwerk schnell erkennbar und behindern die Weiterverwendung des Wirtschaftsgutes Recyclingmaterial. Prüfungen haben gezeigt, dass je größer das Haufwerk, desto häufiger sind schon relativ geringe Stückkonzentrationen an der Oberfläche sichtbar. Diese führen dann zum Ausschluss aus dem Stoffkreislauf.

RECBest

Recyclingmaterial vor Asbest absichern – Erfassung und Ausschleusung von Asbest als Störfall aus Bau- und Abbruchabfällen

Die Erkennbarkeit von Asbestbauprodukten variiert sehr stark, sowohl bei intakten Materialien im Bauwerk als auch an zerstörten Materialien im Haufwerk. Die Auswahl von Materialien zur Beprobung und Analyse ist dabei auf die visuelle Bestimmung als Asbestverdachtsmaterial angewiesen. Für den prüfenden Sachverständigen wurde daher eine Bestimmungsbasis mit den charakteristischen Merkmalen an zahlreichen Beispielen erstellt.

Da der Beton bzw. der Stahlbeton einen erheblichen Anteil am Bauschuttaufkommen bildet und zudem ein wichtiges Wirtschaftsgut im Stoffkreislauf darstellt, wurden zur Erkundung von asbesthaltigen Abstandhaltern nicht-invasive Verfahren, wie die Betonradiographie erprobt. Diese kann erste Hinweise auf die Verwendung potenziell asbesthaltiger Spannhülsen liefern. Visuelle Prüfungen sind in günstiger Lage auch an der Oberfläche möglich. Nach einem Abtrag der Oberflächen wird die vollständige Ortung und die gezielte Entfernung asbesthaltiger Abstandhalter möglich (Bild 1).

Zur selektiven Entfernung wurde auch ein Hochdruckstrahlverfahren entwickelt, das Spannhülsen in wässriger Suspension direkt erfasst, absaugt und dabei die Stahlbewehrung sowie den umgebenden Beton unzerstört zurücklässt. So ist es möglich, asbestfreies RCM zu erzeugen und die Asbest-Mineralstoffdeponien trotz der Vorgaben der neuen Vollzugshilfe zur Entsorgung asbesthaltiger Abfälle (LAGA M-23 von 05/2023) weiterhin zu entlasten.

Nicht nur vorab im Bestand, sondern auch nach dem Abbruch im Haufwerk kann es notwendig sein, asbesthaltige Abstandhalter sicher zu erkennen und zu entfernen. Mit der Fotogrammetrie wurden zerkleinerte Materialien optisch charakterisiert und die Wiedererkennung der Bruchstücke durch KI-Verfahren mit über 99% in ersten Serien bestätigt (Bild 2).

Bei der ökonomischen Betrachtung der *end-of-life*-Phase von Asbest bzw. asbesthaltigen Baumaterialien wird deutlich, dass der selektive Rückbau inklusive Ausschleusung der asbesthaltigen Materialien aus dem Stoffkreislauf dann lohnenswert ist, wenn man die Wiederverwertung der entfrachteten Materialien in die Bilanzierung einbezieht.

Fazit und Ausblick

Die Erkenntnisse bzw. Ergebnisse des Forschungsprojektes fanden bereits Berücksichtigung in Richtlinien und werden in noch laufenden Richtlinienengremien einbezogen. Eine Studie im Auftrag des BMDV zur Bearbeitung von Straßenbaubrücken aus Stahlbeton mit asbesthaltigen Abstandhaltern zur Vorbereitung eines Leitfadens baut auf Ergebnissen aus RECBest auf. Es sind Publikationen und zahlreiche Fachbeiträge auf Kongressen entstanden. Die Machbarkeit der

dringend notwendigen Ausschleusung von Asbest aus dem Stoffkreislauf ist in technischer sowie wirtschaftlicher Hinsicht demonstriert worden.

Weiterer Entwicklungsbedarf besteht akut im Bereich der Trenntechnik und der instrumentellen *live* Erkennung. Hier sind bereits weitere Projekte beabsichtigt. Voraussetzung hierfür ist der dringend benötigte rechtliche Rahmen für die Forschungstätigkeit mit Asbest, in Form der erwarteten Novellierung der Gefahrstoffverordnung.



Bild 1:
Visuell sichtbarer Abstandhalter an der Unterseite einer Stahlbetondecke
Quelle:
Wessling GmbH

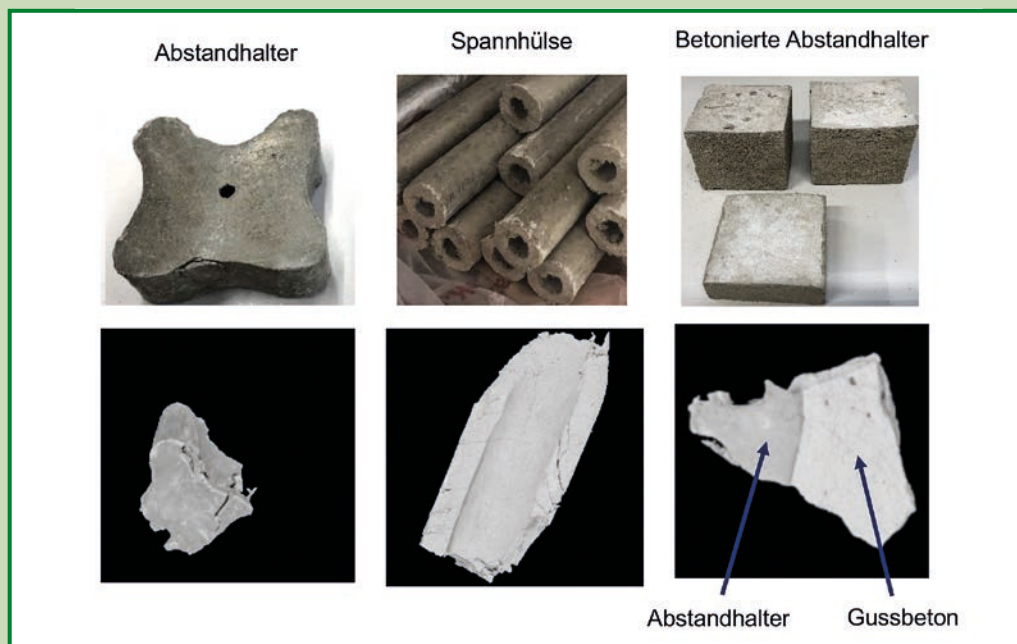


Bild 2:
Beispielhafter Datensatz unterschiedlicher Komponenten aus Stahlbetonabbruchmaterial mit potenziell asbesthaltigen Hilfsbauteilen zum Trainieren einer Bilderkennungssoftware
Quelle:
TU Berlin, MVTA

Projektlaufzeit

1. 3. 2021 – 30. 9. 2023

FKZ 033R268

Kontakt

Dr. Martin Hönig
WESSLING GmbH
Kohlenstraße 51–55
44795 Bochum
+49 (0)2346897510
martin.hoenig@wessling.de

Zielsetzung

Die Schließung des Baustoffkreislaufs im Bauwesen und insbesondere im Betonbau wird durch stark ausgeprägte Streuungen der Materialeigenschaften von Rezyklaten (im konkreten Fall von rezyklierten Gesteinskörnungen aus rezyklierbarem Bauschutt) stark behindert. Materialschwankungen müssen durch hohe Sicherheitspuffer ausgeglichen werden, was die Verwendung dieser Stoffe unwirtschaftlich macht und ökologisch sehr nachteilig ist. Zielsetzung des Projekts ReCyCONtrol ist es, die Ressourceneffizienz bei der Herstellung von Beton signifikant zu steigern, indem die technischen Voraussetzungen geschaffen werden, um bislang aufgrund zu großer Materialstreuungen ungeeignete Rohstoffe einsetzen und aus Qualitätsicherungsgründen erforderliche große Sicherheitspuffer in der Betonzusammensetzung (i.d.R. hohe Zementgehalte) reduzieren zu können. Dies soll durch die Einführung automatisierter, selbstlernender Prozessüberwachungs-, -steuerungs- und -regelungsmethoden bei der Betonherstellung erfolgen.

Ergebnisse

Im Zentrum der Arbeiten des Projekts ReCyCONtrol stand die Entwicklung berührungsfreier Messsysteme und selbstlernender Prozesssteuerungs- und Regelungsmethoden für die Betonherstellung, die es gestatten, die nachteiligen granulometrischen und stofflichen Schwankungen der Betonausgangsstoffe – und hier insbesondere der Rezyklate – zu erfassen und darauf aufbauend die Eigenschaften des Endprodukts Beton durch eine Aussteuerung der Betonzusammensetzung sowie der Frischbetoneigenschaften während des Mischvorgangs durch Zugabe speziell abgestimmter Additive vorzunehmen. Wesentliche Elemente sind Techniken zur online-basierten Erfassung der Ausgangsstoff- und der Frischbetoneigenschaften mittels sog. Computer Vision- bzw. Deep-Learning-basierter Methoden (Bild 1).

Für die Methodenentwicklung war es zunächst notwendig eine Charakterisierung marktüblicher fraktionierter Rezyklate unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung (Betonbruch, Mauerwerksbruch, natürliche Gesteinskörnung) vorzunehmen und übliche Schwankungsbereiche der Eigenschaften zu identifizieren. Darauf aufbauend wurde eine Quantifizierung des Einflusses der Eigenschaftsschwankungen (Korngrößenverteilung, Materialzusammensetzung) auf die Frischbetoneigenschaften (Konsistenz, rheologischen Eigenschaften, etc.) vorgenommen.

ReCyCONtrol

Selbstlernende Steuerungstechniken für die automatisierte Produktion robuster Ressourcenschutzbetone – Schlüssel für die umfassende Verwertung mineralischer Stoffströme

Die sensorgestützte Erfassung granulometrischer Ausgangsstoffschwankungen – hier insbesondere der Gesteinskorneigenschaften – erfolgt mittels optischer Sensorik, die auf dem Zulieferband der Gesteinskörnung installiert wird und somit in der Lage ist, die Gesamtmenge der tatsächlich für den jeweiligen Mischungsentwurf verwendeten Gesteinskörnung zu erfassen. Ein Deep-Learning-basierter Auswertealgorithmus ermittelt dabei kontinuierlich und hochpräzise die Korngrößenverteilung, Kornform und stoffliche Zusammensetzung aus den aufgenommen Bilddaten. Im Vergleich zu klassischen Methoden (Siebung) zur Ermittlung der Korngrößenverteilungskurven, welche üblicherweise stichprobenhaft ermittelt werden, erzielt das entwickelte Verfahren Ergebnisse mit mittleren absoluten Abweichungen von unter 2 % für die prädierten Massenanteile der einzelnen Korngrößenfraktionen.

Um darüber hinaus den Übergang von einer reinen Qualitätserfassung hin zu einer Qualitätsregelung zu ermöglichen, werden zum einen Algorithmen benötigt, die den Beton auf Basis der inline ermittelten Schwankungen der Gesteinskorneigenschaften aussteuern. Zum anderen bedarf es Methoden, die das Ergebnis der Regelung, d. h. der Frischbetoneigenschaften, präzise erfassen. Hierzu wird mithilfe von videooptischen Systemen mit angeschlossener digitaler Bildauswertung das Strömungsverhalten des Betons im Mischer erfasst und mittels Deep-Learning-basierten Auswertealgorithmen in rheologische Kenngrößen (Konsistenz, Fließgrenze, plastische Viskosität) überführt. Speziell entwickelte bauchemische Additive für die Kopplung mit den entwickelten Auswertealgorithmen ermöglichen durch deren Zugabe eine gezielte Aussteuerung der rheologischen Eigenschaften des Betons. Da die Rheologie des frischen Betons auch während dieser Additivzugabe durch die Sensoren erfasst werden kann, besteht die Möglichkeit, iterativ selbstlernende Algorithmen zur Aussteuerung der Betoneigenschaften einzusetzen und damit eine digitale Überwachung des Produktionsprozesses zu ermöglichen.

Die zuvor beschriebenen Methoden zur sensorbasier-

ten Prädiktion der Ausgangsstoffeigenschaften und rheologischen Kennwerte des Frischbetons sind im Projektverlauf in eine Pilotmischanlage im Technikum des Instituts für Baustoffe der Leibniz Universität übertragen worden (Bild 2). Hier gelingt es bereits im jetzigen Entwicklungsstadium, eine präzise Prädiktion der Ausgangsstoff- und Frischbetoneigenschaften vorzunehmen.

Im weiteren Projektverlauf sollen die zuvor beschriebenen Methoden im Rahmen von großtechnischen Untersuchungen zum Einsatz kommen. Hierfür wird das Transportbetonwerk eines Projektpartners mit der entsprechenden Sensortechnik ausgestattet. Dies stellt den erfolgreichen Übertrag der entwickelten Techniken vom Labormaßstab hin zum praxisrelevanten Einsatz bei der Betonherstellung dar.

Ausblick

Durch das breit angelegte Spektrum an beteiligten Industrie- und Forschungspartnern sowie dem institutionellen Bauherrenpartner können im Projekt alle für diese Technologie zu erwartenden Probleme adressiert und berücksichtigt werden. Dadurch ist auch eine direkte und zielgerichtete wirtschaftliche Umsetzung der Projektergebnisse in der Praxis möglich. Der Einsatz automatisierter, selbstlernender Prozessüberwachungs- sowie -regelungsmethoden bei der Betonherstellung stellt auch wissenschaftlich eine hoch innovative Neuerung dar. Die daraus resultierenden Erfolgsaussichten zur Generierung neuen Wissens sind als äußerst hoch einzuschätzen. Eine Übertragbarkeit der erarbeiteten Steuerungstechniken auf andere Stoffströme ist in hohem Maße zu erwarten.

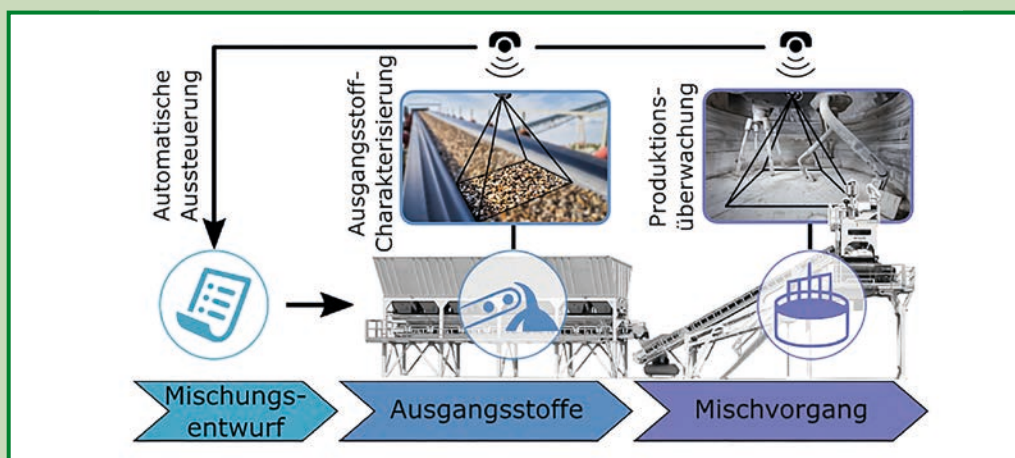


Bild 1:
Computer Vision basiertes
Konzept zur automatischen
Qualitätsregelung bei der
Betonherstellung
Quelle:
Institut für Baustoffe



Bild 2:
Sensorgestützte Pilotmisch-
anlage im Technikum der
Leibniz Universität Hannover
Quelle:
Institut für Baustoffe

Projektlaufzeit

1. 5. 2021 – 31. 12. 2024

FKZ 033R260

Kontakt

Leibniz Universität Hannover,
Institut für Baustoffe (IfB) und Institut für
Photogrammetrie und GeoInformation (IPI)
30167 Hannover
Prof. Dr. Michael Haist
+49 (0)511 762 - 37 22
haist@baustoff.uni-hannover.de

Zielstellung

Im Projekt RekoTi wird ein Ressourcenplan für den kommunalen Tiefbau entwickelt, der Kommunen die Möglichkeit gibt Ressourcenpotenziale bei Brücken, Kanalisation und Verkehrsflächen zu erkennen. Im Projekt werden das anthropogene Materiallager ermittelt, alternative Bauweisen und Verfahren untersucht, kommunale Prozesse analysiert, Managementansätze weiterentwickelt und die Ergebnisse in einer digitalen Toolbox inklusive digitalem Leitfaden zusammengefasst, siehe Bild 1.

Ergebnisse

Für die drei genannten Infrastrukturanlagen wurde das kommunale anthropogene Materiallager der Beispielm Kommune abgeschätzt. Bei Brücken sind die drei Bauteilgruppen Überbau, Unterbau und Gründung jeweils in Typenvertreter eingeteilt worden. Jedem Typ wurden auf Basis empirischer Untersuchungen Formeln zur statistischen Massenabschätzung zugeordnet. Betreffe Kanalisation und Verkehrsflächen wurden Konstruktionsdatenbanken aufgebaut, die mittels weniger Basisattribute eine Massenabschätzung ermöglichen. Berücksichtigt wurden hierzu die Haltungen und Schächte (Kanalisation) bzw. Fahrbahnen und ihre Nebenanlagen, wie Geh- und Radwege (Verkehrswege).

Mit der Versuchsstrecke „Kanalstraße“ wurde das Ziel verfolgt, Kenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten und Ressourceneinsparpotenziale alternativer Bauweisen zu erlangen. Anhand von sechs Versuchsfeldern erfolgte die Untersuchung des Einsatzes von Asphaltgranulat in einer Asphaltdeckschicht aus Splittmastixasphalt (SMA). Hierbei wurden drei Versuchsfelder in temperaturabgesenkter Bauweise erstellt. Dies ist derzeit in den Regelwerken für SMA nicht vorgesehen und wird daher kaum umgesetzt. Die Kontrollprüfungen zeigten, dass eine den aktuellen Regelwerksanforderungen entsprechende Einbauqualität erreicht wurde. Abhängig vom Asphaltgranulatanteil im SMA (0, 20 und 50 M.-%) ergaben sich Einflüsse auf die Herstellung und den Einbau (z. B. in Bezug auf Mischzeiten und Walzeneinsatz) des Asphaltes. Die Ausführung der temperaturabgesenkten Asphaltdeckschicht aus SMA mit einem Asphaltgranulatanteil von 20 M.-% war unter den Randbedingungen der Praxis weitgehend problemlos handhabbar. Insgesamt zeigt die Versuchsstrecke u. a. Einsparpotenziale bei der Verwendung von Primärrohstoffen und dem Energiebedarf bei der Asphaltproduktion auf.

Daneben wurden im Bereich der Brücken insbesondere Schnellbauweisen wie Bewehrte Erde oder Fertigteilkonstruktionen analysiert, sowie für die Kanalisation geschlossene Bauweisen dem Flüssigbodenverfahren als offene Bauweise gegenübergestellt. Insgesamt

RekoTi

Ressourcenplan kommunaler Tiefbau

wurden so Alternativen inklusive Anwendbarkeitskriterien und Ressourceneinsparpotenziale aufgezeigt.

Bei der Weiterentwicklung eines Straßenerhaltungsmagementsystems wurden umweltbezogene Aspekte in die Entscheidungsfindung einbezogen. Die bislang verfügbaren Ökobilanz-Datensätze decken nicht die notwendige Detailtiefe ab, weshalb bei der Weiterentwicklung lediglich der Materialbedarf als umweltrelevanter Aspekt berücksichtigt wurde. Hierbei konnte aufgezeigt werden, dass die jeweils verfolgte Zielsetzung (Ressourcen- oder monetäre Effizienz) Auswirkungen auf den Ressourcen- und monetären Aufwand sowie auf die Zustandsentwicklung der Verkehrsflächen hat.

Die prototypisch entwickelte digitale RekoTi-Toolbox basiert auf der GIS-Software QGIS und unterstützt Kommunen im netzweiten Infrastrukturassetmanagement. Initial auf Münster fokussiert, verarbeitet sie die diversen, für die Infrastrukturanlagen Brücke, Kanalisation und Verkehrsfläche vorliegenden Daten. Die Toolbox bestimmt dabei das kommunale anthropogene Materiallager GIS-basiert, indem Bestandsdaten mit externen Quellen verknüpft werden. Abb. 2 illustriert dies exemplarisch anhand der berechneten Werte für die Kanalhaltungen. Weiter können Materialhotspots identifiziert sowie Objekt- und Netzinformationen unterschieden und editiert werden. Hinzu kommt die Integration von Daten aus verschiedenen externen Infrastrukturmanagementsystemen, welches die Anzeige der zeitlichen Materialverfügbarkeit und entstehenden Kosten im Zusammenhang mit geplanten Maßnahmen ermöglicht. Die Anwendung soll zudem eine Schnittstelle für die BIM-basierte Maßnahmenplanung bereitstellen und auf diese Weise die Abfrage und Integration von modellbasierten Ressourcendaten ermöglichen. Durch die verschiedenen Anwendungsszenarien und die Integration unterschiedlicher Datenquellen ist die RekoTi-Toolbox als ein Baustein zur Optimierung des kommunalen Infrastrukturassetmanagements anzusehen.

Ausblick

Die Veröffentlichung aller Ergebnisse erfolgt in Form eines digitalen Leitfadens über die Projekthomepage <https://www.fh-muenster.de/rekoti/index.php>.

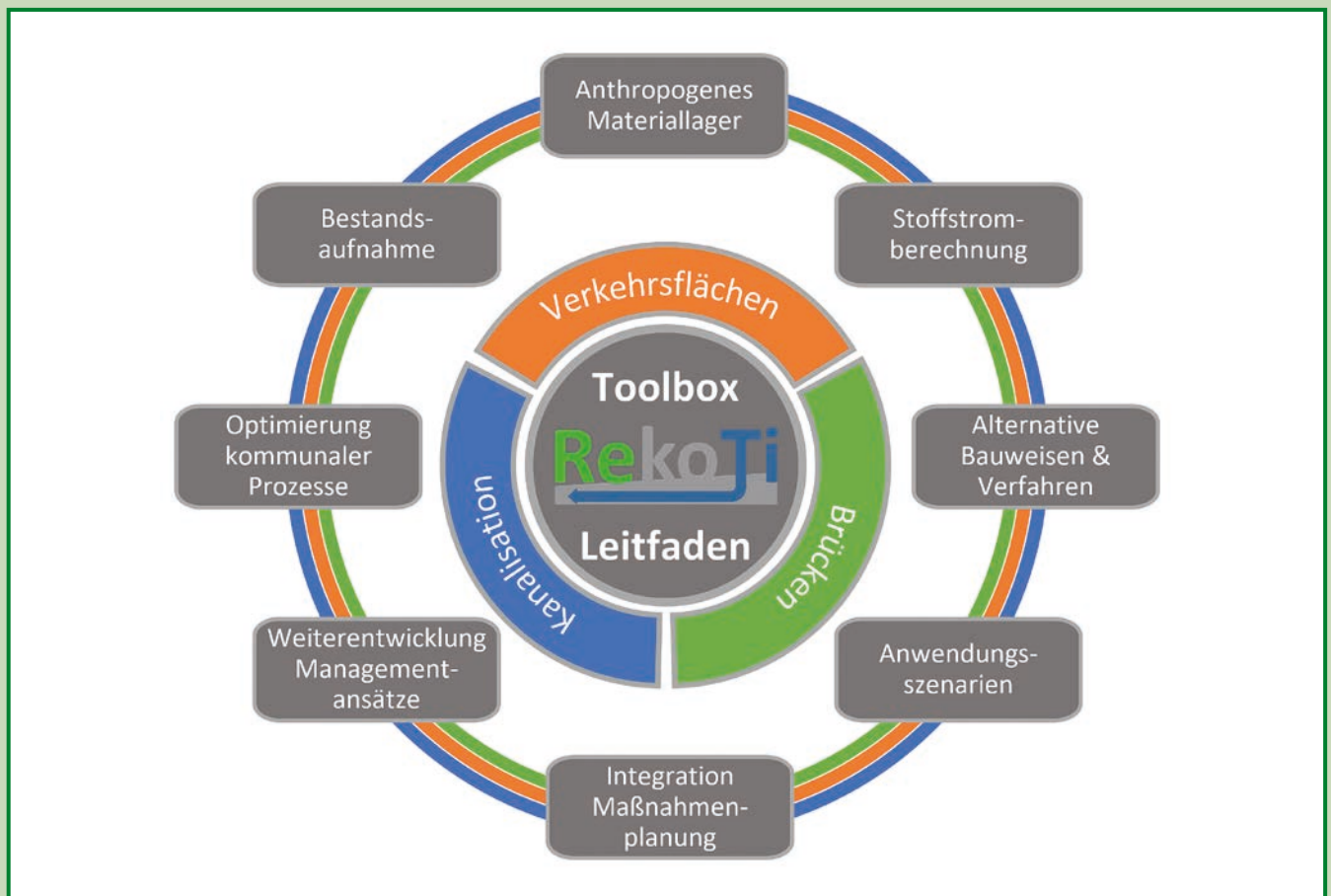


Bild 1: Bestandteile und Einflussgrößen des digitalen RekoTi-Leitfadens sowie der RekoTi-Toolbox
Quelle: Jonas Maibaum, Ruhr-Universität Bochum

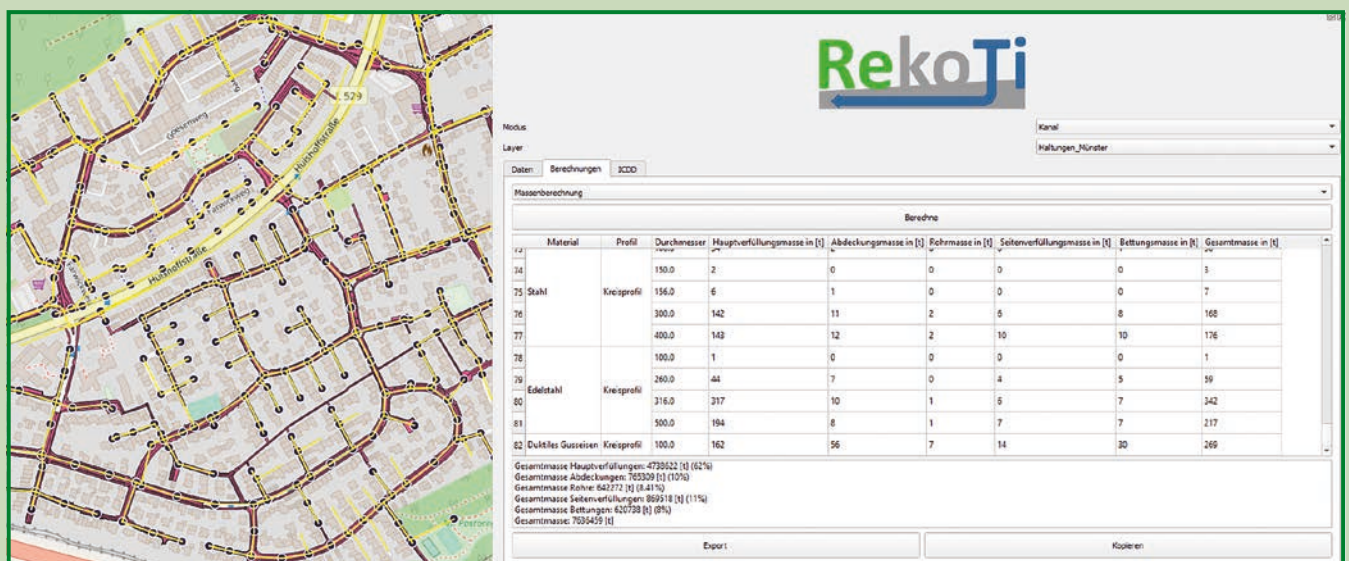


Bild 2: Prototypische Darstellung der GIS-basierten Bestimmung des anthropogenen Materiallagers für die Kanalhaltungen mit der RekoTi-Toolbox
Quelle: Jonas Maibaum, Ruhr-Universität Bochum

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 10. 2024

FKZ 033R264

Kontakt

Leitung:
FH Münster
Prof. Sabine Flamme
Corrensstraße 25, 48149 Münster

Ansprechpartnerin:
Franziska Struck M.Sc.
+49 (0)251 83 65 278
f.struck@fh-muenster.de

Zielstellung

Im Projekt REMINTA sollen metall- und mineralhaltige Rückstände aus den Bergeteichen des Erzbergwerks Rammelsberg aufbereitet und nutzbar gemacht werden. Erstmals wird versucht aus in Tailings lagernden Bergbaurückständen mineralische Rohstoffe für die Bauindustrie zu gewinnen. Ziel ist die Entwicklung eines Gesamt-Verwertungskonzepts für die Teiche am Goslarer Bollrich unter Berücksichtigung aller Aspekte der Nachhaltigkeit.

Ergebnisse

In neu entwickelten Verfahren wurden die abgelagerten Rückstände zunächst in verschiedene Fraktionen geteilt. Biolaugung und chemische Laugung der Fraktionen ermöglichen anschließend eine höherwertige Verwertung. In mehreren Flotationsstufen wird das Bergeteichmaterial in drei Hauptgruppen aufgeteilt:

- wertmetallreiche Sulfid-Fraktion (ca. 15–20 % der Ausgangsmasse), in der je nach betrachtetem Element ca. 75 %–95 % der Zielwertstoffe enthalten sind
- eine Baryt-Fraktion (20–25 %), in der sich knapp 80% des Baryts befindet
- eine Fraktion mit der verbleibenden Mineralik (55–65 %).

Die wertmetallreiche Fraktion kann über hydrometallurgische Prozesse zu Vorprodukten für die Metallgewinnung verarbeitet werden. Entsprechende Routen werden wie im Vorprojekt REWITA in diesem Projekt aufgezeigt.

Das Hauptaugenmerk des Projekts REMINTA lag aber auf der Aufbereitung der Mineralikfraktion. Diese erfordert die Einhaltung der gesetzlichen Grenzen für Störstoffe und der Qualitätsmerkmale des erzeugten Baustoffs. Eine Flotation, kombiniert mit einer biologischen und chemischen Laugung, reduziert die Menge an Störstoffen in der Mineralikfraktion erheblich, so dass eine Verwendung als Zement-Zuschlagstoff erreichbar sein kann. Mittels Biolaugung gelang es einen Großteil des Bleis abzutrennen. Hierfür wurden Hefen beziehungsweise die von ihnen gebildeten Tricarbonsäuren eingesetzt.

Für die nachfolgende chemische Laugung wurde die Verwendung von Schwefelsäure und Wasserstoffperoxid untersucht. So konnten aus der Mineralik-Fraktion nochmals je nach Element zwischen 60 und 99 % der Störstoffe abgetrennt werden. Beispielsweise sank der Mangan-Gehalt von 1,2 % auf unter 0,015 %.

REMINTA

REcycling MINeralischer Fraktionen aus TAILINGS

Anwendungsgebiete für das aufbereitete Material sind mineralische Ersatzbaustoffe, Deponiebau, Zement-Zuschlagstoff und die Grobkeramik. Der konkrete Einsatz hängt vom Einzelfall und den jeweiligen Grenzwerten ab. Im Projekt wurden insbesondere der Zement- und Grobkeramik-Einsatz untersucht. Eine abschließende Bewertung, auch für eine Pilotierung, erfolgt noch.

Die Entwicklung eines angepassten Labor-Management-Systems unterstützt den Übergang von der Laborforschung in die Umsetzung. Digitalisierung der Aufbereitungsprozesse und die Verknüpfung der Daten führten zu einem Prozess-Simulations-Tool. Hiermit können aus den in der Forschung erstellten Labordaten gezielt Zusammenhänge aufgezeigt werden. Das Simulations-Tool dient gleichzeitig als Grundlage für die begleitende LCA-Analyse. Hierbei wurde das gesamte entwickelte Aufbereitungskonzept einer ökologischen Bewertung unterzogen. Ungeachtet von Skaleneffekten, der Vorteilhaftigkeit einer kontinuierlichen Prozessgestaltung sowie der chemischen Zusammensetzung der aufbereiteten Mineralikfraktion konnte schon jetzt in Berechnungen gezeigt werden, dass große positive ökologische Auswirkungen bei Verwendung dieser Fraktion als Sekundärrohstoff zu erwarten sind.

Neben den technischen Erkenntnissen ist für eine spätere Nutzung die Wahrnehmung der Materialien in der Baustoffindustrie wichtig. In Expertengesprächen sowie einem Workshop wurden sieben zentrale Hemmnisse identifiziert: Kosten, Standortabhängigkeit, rechtliche Rahmenbedingungen, Stoffeigenschaften, Verfügbarkeit & Planbarkeit, Offenheit in Behörden und ein schlechtes Image des Materials.

Schließlich ist es für ein Rückbauprojekt auch relevant Themen, die die lokale Bevölkerung mit den Bergeteichen verbindet, zu adressieren und einzubeziehen.

Ausblick

Nach Projektende soll in einer Pilotierungsphase der Rückbau des Bergeteiches großtechnisch dargestellt und so der Sprung vom Labormaßstab in den industriellen Maßstab ermöglicht werden. Der im Projekt erstellte Leitfaden soll langfristig dazu dienen Hinweise, Methoden und Verfahren aufzeigen, die allgemein einen Rückbau von vergleichbaren Bergeteichen ermöglichen.



Bild 1: Projektmitarbeitende auf dem Dach des Zementwerkes in Höver
Quelle: CUTEK



Bild 2:
Keramikproben aus aufbereiteter Mineralik-Fraktion: RMT1 Referenzprobe; RMT 1.1 und 1.2 mit je 15 % REMINTA-Material
Quelle: Geiger, Felix von Aulock

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 7. 2024

FKZ 033R266

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann

Walther-Nernst-Straße 9

38678 Clausthal-Zellerfeld

+49 (0)5323 72-2735

daniel.goldmann@tu-clausthal.de

Zielstellung

Die Bauwirtschaft hat eine hohe Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen. Gleichzeitig entstehen in anderen Industriezweigen mineralische Nebenprodukte wie Schlacken oder Aschen. Im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft ist es Ziel, diese als Sekundärrohstoff in Baustoffen einzusetzen.

Die Zementherstellung ist für 5 bis 8 % der weltweiten anthropogenen CO₂-Emissionen verantwortlich. Alternative Bindemittel, in denen Zementklinker teilweise oder vollständig zum Beispiel durch Schlacken substituiert wird, gewinnen daher mehr und mehr an Bedeutung, da ihr ökologischer Fußabdruck deutlich kleiner ausfällt.

Schlacken entstehen als Nebenprodukt bei der Herstellung von Metallen, wie die Hochofenschlacke bei der Erzeugung von Roheisen oder die Elektroofenschlacke bei der schrottbasierten Stahlherstellung. Die Schlacken unterscheiden sich sowohl chemisch als auch mineralogisch deutlich.

Im Rahmen des Projekts SABINE wurde untersucht, wie Elektroofenschlacken zu behandeln, aufzubereiten und zu aktivieren sind, um auch sie als alternatives, d. h. alkalisch aktiviertes Bindemittel in Baustoffen verwenden zu können. Bei alkalisch aktivierten Bindemitteln initiiert die Zugabe eines hochalkalischen Aktivators zu einem Präkursor in Form von Schlacke, Asche oder auch Gesteinsmehl eine Festigkeitsentwicklung.

Ergebnisse

Im Rahmen von SABINE wurde die alkalische Aktivierbarkeit von Elektroofenschlacken in einem typischen Mörtelsystem untersucht. Verwendet wurden sowohl prozesstypische Schlacken mit einem hohen kristallinen Anteil als auch amorphe, durch Wassergranulation behandelte Schlacken, die nach dem Stand der Technik aber noch nicht industriell verfügbar sind.

Erwartungsgemäß entwickelten die untersuchten Mörtel mit amorpher Elektroofenschlacke mit bis zu 50 MN/m² im Referenzalter von 28 Tagen eine deutlich höhere Festigkeit als beim Einsatz kristalliner Schlacke, hier waren es bis zu ca. 20 MN/m². Damit zeichnet sich ab, dass Elektroofenschlacke für die im Rahmen des Projekts SABINE fokussierten geotechnischen Baustoffe potenziell geeignet ist.

SABINE

Stahlwerksschlacke als Bindemittel für geotechnische Baustoffe

Es zeigte sich jedoch auch, dass die konkrete mineralogische Zusammensetzung einen maßgeblichen Einfluss auf die Aktivierbarkeit und damit die Festigkeit hat. Kristalline Schlacken zeigen diesbezüglich deutlich größere Schwankungen als amorphe. Bei kristallinen Schlacken ist nicht nur in Einzelfällen nahezu keine Festigkeitsentwicklung zu verzeichnen.

Für eine großtechnische Nutzung kommt daher auf Grundlage der Erkenntnisse aus SABINE aktuell nur amorphe Elektroofenschlacke infrage. Erste hierfür erforderliche Wassergranulationsanlagen sind in der Projektierung.

Ausblick

Aufbauend auf dem erfolgten Nachweis der grundsätzlichen Machbarkeit ist das untersuchte Mörtelsystem mit alkalisch aktivierter Elektroofenschlacke als Bindemittel unter Berücksichtigung der Aspekte „baustofftechnologische Performance“ (insbesondere hinsichtlich Festigkeit und Verarbeitbarkeit), „Wirtschaftlichkeit“ und „CO₂-Fußabdruck“ zu einer großmaßstäblichen praxistauglichen Lösung weiterzuentwickeln.

Darüber hinaus gilt es, die Ursachen, warum einige kristalline Elektroofenschlacken deutlich besser zu aktivieren sind als andere, genauer zu erforschen. Diese Erkenntnisse könnten dann dazu verwendet werden, die Behandlung der Schlacke im Stahlwerk entsprechend anzupassen und die Verwertbarkeit des Nebenprodukts Elektroofenschlacke zu verbessern.

Projektlaufzeit
1. 2. 2021 – 31. 7. 2024

FKZ 033R262

Kontakt
STUVA e.V.
Dr.-Ing. Christian Thienert
Mathias-Brüggen-Straße 41
50827 Köln
c.thienert@stuva.de
+49 (0)221 5 97 95-0



Bild 1: Elektroofen für die schrottbasierte Stahlherstellung
Quelle: Georgsmarienhütte



Bild 2: Möglicher Einsatzbereich: Ringspaltmassen bei maschinellen Tunnelvortrieben
Quelle: Klaus Helbig

Zielstellung

Das Projekt SlagCEM strebt eine vollständige Verwertung von Linz-Donawitz-Schlacken (LDS), einem Nebenprodukt der Stahlherstellung, an. Zum einen soll Eisen aus der LDS zurückgewonnen, zum anderen ein hydraulisches Bindemittel auf Basis der erzeugten eisenarmen LDS für den Einsatz in der Zementindustrie produziert werden. Hierdurch sollen Primärrohstoffe eingespart und Treibhausgasemissionen in der Zementindustrie reduziert werden.

Ergebnisse

Die Rückgewinnung des Eisens erfolgt über die Reduktion des oxidisch vorliegenden Eisens bei hohen Temperaturen aus der schmelzflüssigen LDS (Bild 1). Die reduzierte, eisenarme LDS enthält einen höheren Anteil an hydraulischen Mineralphasen.

Um den Hochtemperaturprozess zu überwachen, wurde im Rahmen des Projekts durch die Firma LTB ein Laser-Induziertes Breakdown Spektroskopie (LIBS)-Messsystem konzipiert und konstruiert, das darauf ausgelegt ist, schmelzflüssige Proben direkt an der Produktionslinie quantitativ zu analysieren (Bild 2). Um aussagekräftige Ergebnisse zu gewährleisten, wurden Schlackeproben in Schmelzversuchen am Lichtbogenofen der BAM erzeugt, die dazu dienen, eine valide Kalibrierung zu erstellen und die Messungen im Stahlwerk bei Arcelor Mittal Eisenhüttenstadt zu ermöglichen. Die Messtechnik zeichnet sich durch eine hohe Zeit- und gute spektrale Auflösung aus und ermöglicht eine weitgehende Eliminierung der Untergrundstrahlung der heißen Proben. Aufgrund der teilweise unregelmäßigen Topografien der Schlackeproben wurde neben einer Beobachtungskamera auch ein Profil-Liniensensor eingebaut, um den Messkopf präzise nachzuführen. Ein entscheidender Faktor für die Anwendbarkeit im industriellen Umfeld ist das robuste Design des Systems. Dies beinhaltet eine thermische Kapselung der Komponenten sowie eine aktive Kühlung.

Erste zementtechnische Untersuchungen an einer bei der BAM reduzierten LDS (V551) erfolgten am FEhS-Institut. Die Probe bestand zu 62 M.-% aus β - C_2S und zu je 14 M.-% aus FeO und C_4AF . V551 wurde in der Kugelmühle auf $3100 \text{ cm}^2/\text{g}$ nach Blaine gemahlen ($d_{50\%} = 11 \text{ }\mu\text{m}$). V551 substituierte zu 50 M.-% bzw. 25 M.-% Portlandzement CEM I 42,5 R und die Mischung wurde sowohl als Mörtel gemäß DIN EN 196-2 als auch bzgl. der Hydratationswärmementwicklung gemäß DIN EN 196-11 geprüft. Als Referenz dienten die Werte des Portlandzements bzw. einer Kombination mit 50 M.-% Quarzsandmehl. Ergänzend wurden Wär-

SlagCEM

Portlandzement und Roheisen aus Stahlwerksschlacken

messungen an unbehandelter LDS durchgeführt, die mit unterschiedlichen Sulfatzugaben (2,5-2,0 M.-% SO_3) kombiniert wurde.

Bereits bei der Verarbeitung des Frischmörtels zeigte sich ein schnelles Ansteifen, was eine unmittelbar nach Wasserkontakt einsetzende Reaktion belegt. Bei 50 % Substitution lagen die Festigkeiten nach 2 und 7 Tagen signifikant unter denen der Kombination mit Quarzsandmehl, zeigen also einen störenden Einfluss (Bild 3). Nach 28 und 91 Tagen entsprach der Aktivitätsindex dem der Kombination mit Quarzsandmehl. Auch bei 25 % Substitution war der Festigkeitsabfall größer als erwartet. Der Wärmeverlauf für die pure Schlacke ist, unabhängig vom Sulfatgehalt, äußerst gering und lässt keinen eigenen Festigkeitsbeitrag der V551 erwarten. Als Ursache des negativen Einflusses der V551 kommt entweder eine Behinderung der Klinkerreaktion oder die schnelle Bildung eines zwar versteifenden, aber nicht festigkeitsbildenden Reaktionsproduktgerüsts in Frage.

Die Ergebnisse zeigen, dass das bisher erzeugte Material keine klinkertypischen Eigenschaften aufweist und ohne weitere Maßnahmen nicht als Zementbestandteil geeignet ist. Eine ausreichende Qualität der reduzierten und modifizierten LDS für den Einsatz in der Zementindustrie ist jedoch wesentlich für eine sinnvolle industrielle Umsetzung des Verfahrens.

Ausblick

Weitere Untersuchungen zur Ursache für das festigkeitsstörende Verhalten sind nötig, wie z. B. die Analyse der Porenlösungen. Des Weiteren müssen natürlich auch die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung des gesamten Prozesses positiv ausfallen.

Projektlaufzeit

1. 2. 2021 – 31. 7. 2024

FKZ 033R254

Kontakt

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Richard-Willstätter-Straße 11
12489 Berlin

Dr. Christian Adam

+49 (0)30-8104-5670

christian.adam@bam.de



Bild 1: Abguss der reduzierten LDS im kleintechnischen Lichtbogenofen der BAM
Quelle: BAM



Bild 2: Laser-Induziertes Breakdown Spektroskopie (LIBS)-Messsystem zur Messung schmelzflüssiger Proben
Quelle: LTB

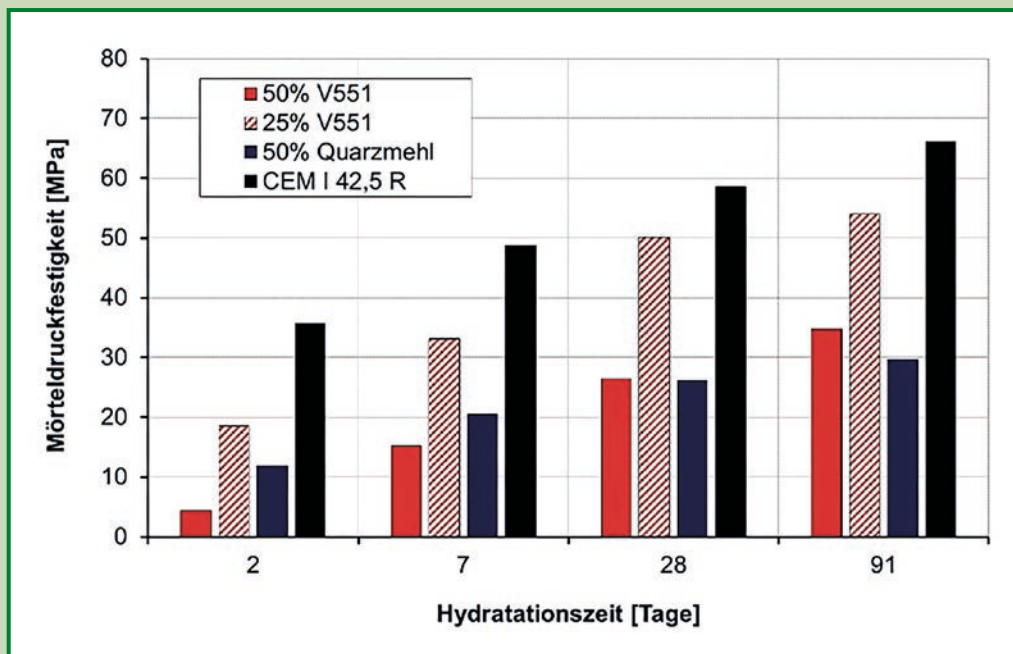


Bild 3: Festigkeitsentwicklung des mit 25 % und 50 % reduzierter LDS (V551) substituierter Zements nach DIN EN 196-2 im Vergleich zu einem CEM I 42,5 R und einem mit 50% Quarzmehl substituierten Zement
Quelle: FEhS

Zielstellung

Die Innovationskraft der Förderrichtlinie ReMin des BMBF durch Vernetzung der Zielgruppen und Transfer der Forschungsergebnisse zu stärken, verfolgt das Begleitforschungsprojekt TReMin. Denn eine hochwertige Nutzung mineralischer Reststoffe und deren Wiedereinsatz in der Bauindustrie als Sekundärrohstoffe (Recycling-Baustoffe) trägt in erheblichem Umfang zur Einsparung von Primärressourcen und damit auch zum Klimaschutz bei.

Ergebnisse

Grundlage ist eine Bereitstellung von Bauprodukten definierter Qualität auf Basis der Anforderungen der anwendenden Industrie, verbunden mit der Rechtssicherheit für einen flächendeckenden Einsatz in öffentlichen wie privaten Bauvorhaben. Um dies großtechnisch, wirtschaftlich und rechtssicher in Zukunft umsetzen zu können, bedarf es der Schaffung einiger Voraussetzungen, die stoffstromübergreifend gelten und nachfolgend weiter konkretisiert werden:

1. Reinheit, Homogenität und kontinuierliche Verfügbarkeit ausgewählter Stoffströme

- Förderung innovativer Trenn- und Sortiertechnologien
- Förderung der Digitalisierung und Automatisierung bei der Aufbereitung mineralischer Reststoffe und Baurestmassen
- Festlegung verbindlicher und praktisch realisierbarer Grenzwerte unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten der Aufbereitung und der zu erzielenden Materialeigenschaften
- Entwicklung kommunaler Ressourcen- und Materialkataster, ergänzt um eine Schadstoff-Datenbank
- Förderung von Technologien zur Aufbereitung der Feinfraktion von Hausmüllverbrennungs-Aschen
- Bereitstellung regionaler Aufbereitungsflächen (auch in Ballungsräumen)

2. Klare gesetzliche Stellung von Sekundär- gegenüber Primärrohstoffen

- Vorrangstellung von Sekundär- gegenüber Primärrohstoffen im öffentlichen Vergaberecht von Bund und Ländern
- Festlegung von Quoten in öffentlichen Bauten unter Berücksichtigung der verfügbaren Mengen
- Neugestaltung von AVV-Schlüsseln bei Gips- und Abbruchabfällen zur verbesserten Sammlung und Aufbereitung
- Keine höheren Umwelanforderungen an Sekundärrohstoffe als an Primärrohstoffe
- Eindeutige und praktikable Definition des Abfallendes von mineralischen Reststoffen und Baurestmassen

TReMin

Vernetzungs- und Transfervorhaben

- Anpassung bestehender Regelungen (DIN EN 206, LAGA Eckpunktepapier, DIN 1045) zur Förderung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen, wie Stahlwerksschlacken, etc. ...
- Zusammenführung bestehender Verordnungen und Gesetze zu sinnvollen Gesetzespaketen (Minimierung der Flut von Regelungen)

3. Umgang mit besonders gefährlichen Schadstoffen wie Asbest

- Festlegung gesonderter Regelungen zum Umgang mit Asbest zu Forschungszwecken
- Förderung der Entwicklung und des Einsatzes von Methoden zur „Realtime-Erkennung“ von Asbest in mengenmäßig großen Stoffströmen
- Unterstützung des Aufbaus von Datenbanken und Schulungskonzepten zur Schadstofferkennung
- Führung eines öffentlichen Bürgerdialogs gemeinsam durch Forschung und Politik

4. Berücksichtigung von Gips als (Sekundär-)Rohstoff

- Förderung der Aufbereitung gipshaltiger Baustoffe
- gemeinsame Anpassung der gegenwärtigen Standards der Gipsverbände an die aktuellen Verhältnisse im Gipsrecycling durch Wirtschaft, Wissenschaft und Gesetzgeber
- Erschließung eines möglichst breiten Anwendungsfeldes von Rezyklaten (z. B. Gipsfaserplatten)

5. Schaffung öffentlicher Akzeptanz für die Nutzung nachhaltiger Rohstoffe

- Förderung der Errichtung regionaler Demonstrationsanlagen zur Aufbereitung sowie zur Herstellung von RC-Baustoffen
- Förderung der Erstellung und Nutzung ökologischer Bewertungsmethoden wie LCA und EPD als Unterstützung für eine kreislaufgerechte Baupraxis.
- Verankerung kreislaufwirtschaftlicher Aspekte in Studium und Ausbildung
- Aufbau regionaler Logistiksysteme zur Herstellung nachhaltiger Baustoffe zu bezahlbaren Preisen

Ausblick

Die Analyse des Transferpotenzials der einzelnen Projekte im Hinblick auf eine wirtschaftliche Skalierung in der Zukunft steht noch an. Zudem werden der weitere Forschungs- beziehungsweise Förderungsbedarf einzelner Verbundthemen ermittelt.

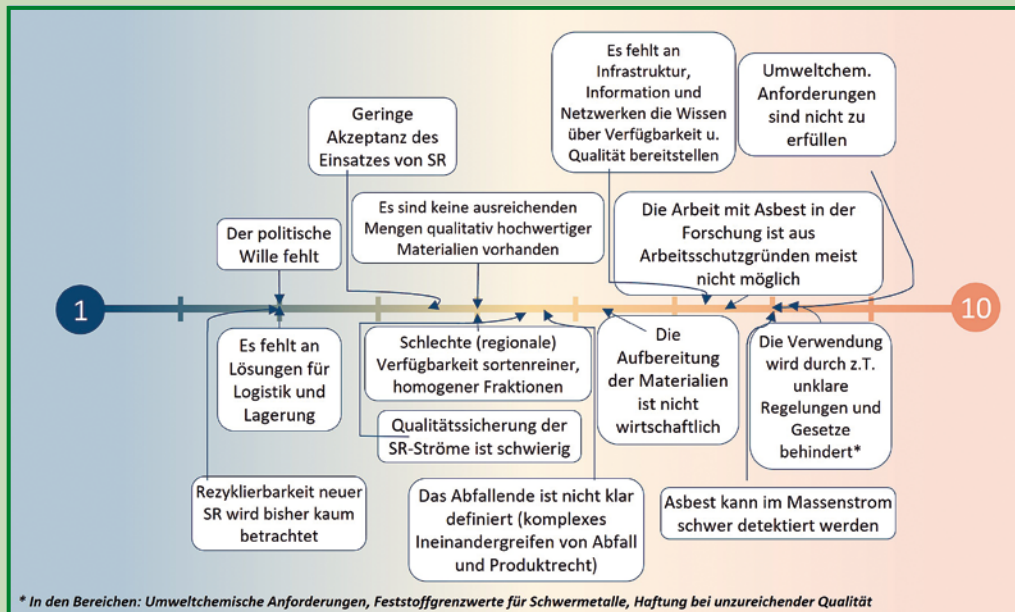


Bild 1:
Hemmnisse, gewichtet von 1 (gering) bis 10 (hoch)
Quelle: TReMin

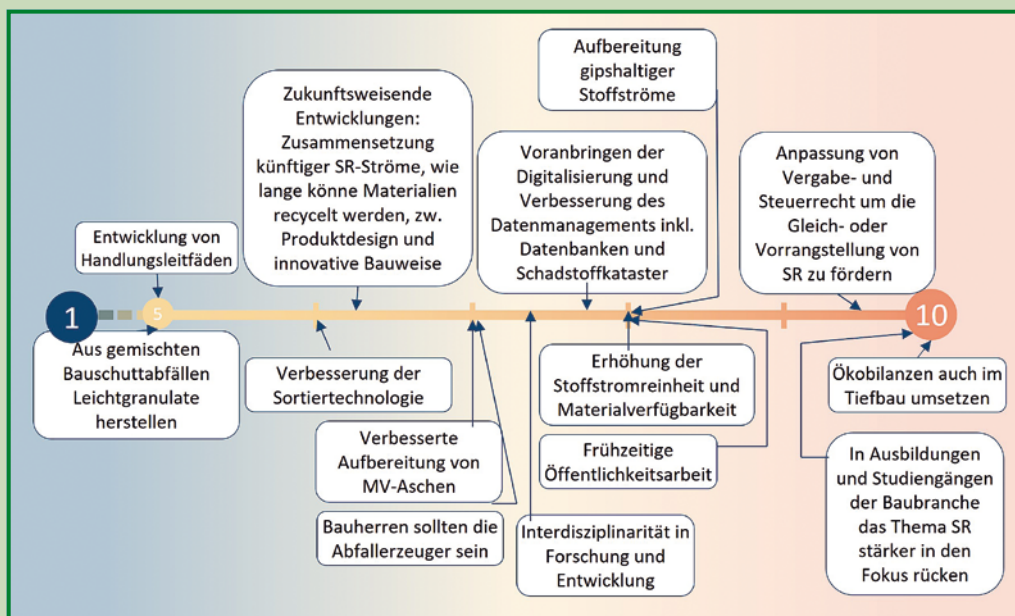


Bild 2:
Handlungsempfehlungen, gewichtet von 1 (gering) bis 10 (hoch)
Quelle: TReMin



Bild 3: ReMin-Workshop bei Fraunhofer IWKS in Alzenau 2023
Foto: Andre Bertram, CUTEc

Projektlaufzeit

1. 1. 2021 – 31. 12. 2024

FKZ 033R252

Kontakt

Technische Universität Clausthal
CUTEc Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum

Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld

Leitung:

Prof. Dr. mont. Dr. rer. nat. Michael Fischlschweiger
+49 (0)5323 72-3871

michael.fischlschweiger@tu-clausthal.de

Koordinator:

Dipl.-Ing. Andre Bertram

+49 (0)5323 72-6201

andre.bertram@cutec.de

Kontaktaten der Verbundpartner



ReMin-Stand des Begleitforschungsprojekts TReMin auf der BKMNA 2023 in Berlin
Foto: Andre Bertram, CUTEC



Produkte des Projekts REALight
Foto: Andre Bertram, CUTEC

ASHCON

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Björn Siebert
Technische Hochschule Köln
Betzdorfer Str. 2
50679 Köln
+49 (0)221 8275 2708
bjoern.siebert@th-koeln.de

Verbundpartner

TH Köln
Labor für Kolloidchemie
Campusplatz 1
51379 Leverkusen
Prof. Dr. Jan Wilkens
+49 (0)214-32831-4614
jan.wilkens@th-koeln.de

TH Köln
Projektstandort: metabolon
Am Berkebach
51789 Lindlar
Prof. Dr. Christian Wolf
christian.wolf@th-koeln.de
+49 (0)2261-8196-6483

AiNT GmbH
Cockerillstrasse 100 (DLZ)
52222 Stolberg (Rhld.)
Marius Hirsch M.Sc.
+49 (0)2402 10215-11
hirsch@nuclear-training.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Standort Holzkirchen
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley
Norbert Leiss M.Eng
+49 (0)8024 643-296
norbert.leiss@ibp.fraunhofer.de

FH Münster IWARU
Corrensstraße 25
48149 Münster
Dipl.-Ing. Gotthard Walter
+49 (0)251 83-65258
gwalter@fh-muenster.de

Fertigbeton Rheinland GmbH & Co. KG
Am Langen Graben 32
52353 Düren
Frank Urbanek
+49 (0)2421 8002-35
f.urbanek@fbr-beton.de

METTEN STEIN+DESIGN GmbH & Co. KG
Industriegebiet Hammermühle
D-51491 Overath
Dipl.-Ing. Guido Volmer
+49 (0)2206 603-85
guido.volmer@metten.de

RWTH Aachen - Institut für Bauforschung Aachen
Schinkelstraße 3
52062 Aachen
apl. Prof. Dr.-Ing. Anya Vollpracht
+49 (0)241 80 95-116
vollpracht@ibac.rwth-aachen.de

BAUSEP

Projektleitung

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley
Dr. Sebastian Dittrich
+49 (0)8024 643209
sebastian.dittrich@ibp.fraunhofer.de

Verbundpartner

bvw Steinwerk Hamminkeln GmbH & Co. KG
Industriestraße 2–6
46499 Hamminkeln
Marc Rettig
+49 (0)2852 913156
rettig@betonsteinwerke.de

Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum
Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Sven Schulze
+49 (0)5323 726271
sven.schulze@cutec.de

KM GmbH für Straßenbau- und Umwelttechnik
Weg am Kötterberg 51
44807 Bochum
Dr.-Ing. Klaus Mesters
+49 (0)234 592924
k.mesters@kmgmbh.com

Ludwig-Maximilians-Universität München
Theresienstraße 41
80333 München
Dr. Amanda Günther
+49 (0)89 21804276
guenther@min.uni-muenchen.de

Stadtreinigung Hamburg AöR
Bullerdeich 19
20537 Hamburg
Dipl.-Ing. Peter Rochnia
+49 (0)40 2576 2010
peter.rochnia@stadtreinigung.hamburg

thyssenkrupp MillServices & Systems GmbH
Emschertalstraße 12
46149 Oberhausen
Dr. Michael Dohlen
+49 (0)208 65605
michael.dohlen@thyssenkrupp.com

EMSARZEM

Projektleitung

GKS-Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH
Dr.-Ing. Ragnar Warnecke
Hafenstraße 30
97424 Schweinfurt
+49 (0)9721 6580120
ragnar.warnecke@gks-sw.de

Verbundpartner

Blue Phoenix Deutschland GmbH
Bataverstraße 25
47809 Krefeld
Dieter Kersting
+49 (0)2151 52580
d.kersting@cc-gruppe.com

REMEX GmbH
Am Fallhammer 1
40221 Düsseldorf
Bernd Bissot
+49 (0)211 171600
bernd.bissot@remex.de

Dyckerhoff GmbH
Biebricherstraße 68
65203 Wiesbaden
Sabine Mutke
+49 (0)611 6760
sabine.mutke@dyckerhoff.com

Loesche GmbH
Hansaallee 243
40549 Düsseldorf
Dr. Winfried Ruhkamp
+49 (0)211 53530
winfried.ruhkamp@loesche.com

DK Recycling und Roheisen GmbH
Werthausenstraße 182
47053 Duisburg
Holger Schneiders
+49 (0)203 60810
schneiders@dk-duisburg.de

VDZ Technology gGmbH
Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf
Dr. Volker Hoenig
+49 (0)211 45780
volker.hoenig@vdz-online.de

Universität Duisburg Essen
Forsthausweg 2
47057 Duisburg
Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Deike
+49 (0)203 3791800
ruediger.deike@uni-due.de

FaBeR

Projektleitung

apl. Prof. Dr.-Ing. Anya Vollpracht
Institut für Baustoffforschung der
RWTH Aachen University
Schinkelstraße 3, 52062 Aachen
+49 (0)241 809 5116
vollpracht@ibac.rwth-aachen.de

Verbundpartner

RWTH Aachen University:
Institut für Baustoffforschung (ibac), Kontakt s. o.
Institut für Textiltechnik (ITA)
Otto-Blumenthal-Straße 1
52074 Aachen
Vanessa Overhage
+49 (0)241 80 23443
Vanessa.Overhage@ita.rwth-aachen.de
Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen (INaB)
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
52074 Aachen
Anna Luthin
+49 (0)241 80-22998
anna.luthin@inab.rwth-aachen.de
Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung
mineralischer Rohstoffe (AMR)
Lochnerstraße 4–20 Haus C
52064 Aachen
Devrim Gürsel
+49 (0)241 8097250
guersel@amr.rwth-aachen.de
Lehrstuhl für Technik und Organisationssoziologie
(STO)

Holcim (Deutschland) GmbH
Hannoversche Straße 28
31319 Sehnde-Höver
Kaleb Yared
+49 (0)5132 927-408
kaleb.yared@holcim.com

Mitsubishi Chemical Advanced Materials GmbH
Betriebsstätte Wischhafen
Stader Straße 55–63
21737 Wischhafen
Kerstin Anselmino
+49 (0)4770 808 003 220
kerstin.anselmino@mcam.com

Baumaschinen Beckschulte KG
Lindenstraße 83
53721 Siegburg
Frank Beckschulte
+49 (0)2241 66979
f.beckschulte@baumaschinen-beckschulte.de

Fydro Glassfibreconcrete B.V.
Morsestraat 9–11
6716 AH Ede Niederlande
Gijs Jansen
+49 (0)318 648 320
g.jansen@fydro.nl

Hering Bau GmbH & Co. KG
Neuländer 1
57299 Burbach
Jens Geffert
+49 (0)2736 27-0
Jens.Geffert@hering-ac.com

PAGEL SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG
Wolfsbankring 9
45355 Essen
Henning von Daake
+49 (0)201 68 504 30
vondaake@pagel.de

FERTIGTEIL 2.0

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Oliver Tessmann
Technische Universität Darmstadt
Fachbereich Architektur
DDU – Digital Design Unit – Digitales Gestalten
El-Lissitzky-Straße 1
64287 Darmstadt
+49 (0)6151 16-22483
tessmann@dg.tu-darmstadt.de

Verbundpartner

Institut für Tragwerksentwurf (ITE)
TU Braunschweig
Pockelsstraße 4
38106 Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft
+49 (0)351 391 3571
h.kloft@tu-braunschweig.de

Fachgebiet Entwerfen und Nachhaltiges Bauen (ENB)
TU Darmstadt
Fachbereich Architektur
El-Lissitzky-Str.1
64287 Darmstadt
Prof. Dipl.-Ing. Christoph Kuhn
+49 (0)6151 16 23459
kuhn@enb.tu-darmstadt.de

THING TECHNOLOGIES GmbH
Am Kronberger Hang 8
65824 Schwalbach am Taunus
Dr. Marc Gille-Sepehri
+49 (0)151 17552601
marc.gille@thing-it.com

FARO Europe GmbH
Lingwiesenstraße 11/2
70825 Korntal-Münchingen
Steffen Kappes
steffen.kappes@faro.com

GipsRec2.0

Projektleitung

MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH
Geiseltalstraße 1
06242 Braunsbedra
Dipl.-Ing. Jörg-Michael Bunzel
+49 (0)34633 41 115
joerg-michael.bunzel@mueg.de

Verbundpartner

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
4.4 Thermochemische Reststoffbehandlung und Wertstoffrückgewinnung
Richard-Willstätter-Straße 11
12489 Berlin
Dr.-Ing. Karin Weimann
+49 (0)30 8104 5676
karin.weimann@bam.de

Öko-Institut e.V.
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Dr. Matthias Buchert
+49 (0)6151 8191 147
m.buchert@oeko.de

LIBS-ConSort

Projektleitung

IAB Weimar gGmbH
Über der Nonnenwiese 1
99428 Weimar
Dr.-Ing. Barbara Leydolph
+49 (0)3643 8684-145
b.leydolph@iab-weimar.de

Verbundpartner

SECOPTA analytics GmbH
Rheinstraße 15b
14513 Teltow bei Berlin
Dr. rer. nat. Christian Bohling
+49 (0)3328 35403 00
christian.bohling@secopta.de

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Unter den Eichen 87
12205 Berlin
Prof. Dr. rer. nat. Sabine Kruschwitz
+49 (0)30 8104-1442
sabine.kruschwitz@bam.de

Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin
Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Stephan
+49 (0)30 314 72 100
stephan@tu-berlin.de

BTB Recycling-Hof GmbH
Frank-Zappa-Straße 25
12681 Berlin
Reimar Breul
+49 (0)30 9824700
info@btb-bautransporte.de

T.B.R. Teltower Baustoffrecycling GmbH
Teltower Damm 300
14167 Berlin
Niko Schumann
+49 (0)3328 301968
n.schumann@tbrgmbh.de

Gramm Fertigungstechnik GmbH
Harjesstraße 12
99867 Gotha
Andreas Gramm
+49 (0)3603 895350
a.gramm@gramm-fertigungstechnik.de

MIN-LOOP

Projektleitung

Technische Universität Kaiserslautern
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Massivbau & Baukonstruktion
Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn / Felix Ruppert, M.Sc.
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern
+49 (0)631 205-3083
matthias.pahn@bauing.uni-kl.de

Verbundpartner

Technische Universität Darmstadt
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Prof. Dr.-Ing. Albrecht Gilka-Bötzow/
Conrad Ballschmiede, M.Sc.
Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt

Wilhelm Röser Söhne GmbH & Co. KG
Dr.-Ing. Frank Röser
Felsenstraße 4
73450 Neresheim-Dorfmerkingen

Innogrations GmbH
Thomas Friedrich
Cusanusstraße 23
54470 Bernkastel-Kues

Betonwerk Büscher GmbH & Co. KG
Wolfgang Büscher
Bült 54
48619 Heek

ee concept GmbH
Dr.-Ing. Martin Zeumer/
Dipl.-Ing. Anne-Kristin Wagner
Spreestraße 3
64293 Darmstadt

R-ZIEMENT

Projektleitung
Christoph Müller, Katrin Severins
VDZ Technology gGmbH
Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf
katrin.severins@vdz-online.de
+49 (0)211 4578 253

Verbundpartner
Institut für Ziegelforschung Essen e. V.
Am Zehnthof 197
45307 Essen
Alexander Winkel
+49 (0)201 59 213 41
winkel@izf.de

Leipfinger-Bader GmbH
Ziegeleistraße 15
84172 Vatersdorf
Dr. Matthias Heigl
+49 (0)8762 733 192
Matthias.heigl@leipfinger-bader.de

Scherer & Kohl GmbH
Rheinhorststraße 63
67071 Ludwigshafen
Stephan Kreßer
+49 (0)621 67150 16
Kresser.S@scherer-kohl.de

Spenner GmbH & Co. KG
Bahnhofstraße 20
59597 Erwitte
Martin Franzke
+49 (0)2943 986 333
m.franzke@spenner-zement.de

REALight

Projektleitung
Bauhaus-Universität Weimar
Professur Werkstoffe des Bauens
Dipl.-Ing. Alexander Schnell
Coudraystraße 11
99423 Weimar
+49 (0)3643 58-4608
alexander.schnell@uni-weimar.de

Verbundpartner
Institut für Angewandte Bauforschung Weimar
gemeinnützige GmbH
Über der Nonnenwiese 1
99428 Weimar
Dr. Barbara Leydolph
+49 (0)3643 8684-145
b.leydolph@iab-weimar.de

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87
12205 Berlin
Dr. Katrin Rübner
+49 (0)30 8104-1714
katrin.ruebner@bam.de

Technische Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Str. 2a
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Daniel Goldmann
+49 (0)5323 72-2735
goldmann@aufbereitung.tu-clausthal.de

T.B.R. Teltower Baustoffrecycling GmbH
Teltower Damm 300
14167 Berlin
Gundula Schumann
+49 (0)30 847888-0
g.schumann@tbrgmbh.de

MENDIGER BASALT
Schmitz Naturstein GmbH & Co.KG
Ernst-Abbe-Straße 2
56743 Mendig
r.krings@mendiger-basalt.de

Beton und Naturstein Babelsberg GmbH
Walter-Klaus-Straße 17a
14482 Potsdam
Manuel Vöge
+49 (0)331 70433-0
voege@bnb-potsdam.de

Sievert Baustoffe GmbH & Co. KG
Mühlenschweg 3
49090 Osnabrück
Michael Schnittker
+49 (0)201 8488-111
m.kanig@sievert.de

Heidemann Recycling Thüringen GmbH & Co. KG
Zur Sandgrube 35
98673 Eisfeld
Kennet Heidemann
+49 (0)3686 391-0
kh@hrt-eisfeld.de

OPUS Denkmalpflege GmbH
Gartenfelder Straße 29–37, Gbd. 35
13599 Berlin
Matthias Chronz
+49 (0)30 8951-845
chronz@opus-denkmalpflege.de

IBU-tec advanced materials AG
Hainweg 9–11, 99425 Weimar
Dr. Thomas Wocadlo
+49 (0)3643 864980
wocadlo@ibu-tec.de

HanseGrand Klimabaustoffe e.K.
Haaßeler Kamp 3, 27446 Selsingen
Hans Pape
+49 (0)4284 92685-0
h.pape@hansegrand.de

RECBest

Projektleitung

Dr. Martin Hönig
WESSLING GmbH
Kohlenstraße 51–55
44795 Bochum
+49 (0)2346897510
martin.hoenig@wessling.de

Verbundpartner

Buhck Umweltberatung GmbH
Liebigstraße 46
22113 Hamburg
Herr Robert Texter
+49 (0)40 720066853
rtexter@buhck.de

Kluge Sanierung GmbH
Hülsermannshof 36
47179 Duisburg
Herr Christoph Hohlweck
+49 (0)203 5004260
christoph-hohlweck@kluge-sanierung.de

TU Berlin, FMVA
Prof. Dr.-Ing. Harald Kruggel-Emden
Ernst-Reuter-Platz 1
10588 Berlin
+49 (0)30 31426910
kruggel-emden@tu-berlin.de

TU Berlin, FB Bauphysik und Baukonstruktion
Prof. Dr.-Ing. Frank Ulrich Vogdt
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin
+49 (0)30 31472141
bauphysik@tu-berlin.de

ReCyCONtrol

Projektleitung

Leibniz Universität Hannover,
Institut für Baustoffe (IfB) und Institut für
Photogrammetrie und GeoInformation (IPI)
30167 Hannover
Prof. Dr. Michael Haist
+49 (0)511 7 62 - 37 22
haist@baustoff.uni-hannover.de

Verbundpartner

Master Builders Solutions Deutschland GmbH
Dr-Albert-Frank-Strasse 32
83308 Trostberg
Dr. Oliver Mazanec
oliver.mazanec@mbcc-group.com

Heidelberger Beton GmbH
Berliner Straße 6
69120 Heidelberg
Dr. Egor Secrieru
Dr.Egor.Secrieru@heidelbergcement.com

Pemat Mischtechnik GmbH
Hauptstraße 29
67361 Freisbach
Thomas Stahl
t.stahl@pemat.de

Bikotronic GmbH
Im Hohen Acker 7
67146 Deidesheim
Frank Weilacher
frank.weilacher@bikotronic.de

Bundesanstalt für Wasserbau (Unterauftragnehmer)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe
Dr. Frank Spörel
frank.spoerel@baw.de

alcemy GmbH
Choriner Straße 83
10119 Berlin
Leopold Spenner
leopold.spenner@alcemy.tech

Assoziierter Partner:

Moß Abbruch-Erdbau-Recycling GmbH & Co. KG
Ulanenstraße 66
49811 Lingen (Ems)

Unterstützung durch:

HOCHTIEF AG, Frankfurt;
INSENSIV GmbH, Bielefeld

RekoTi

Projektleitung

Leitung:
FH Münster
Prof. Sabine Flamme
Corrensstraße 25, 48149 Münster
Ansprechpartnerin:
Franziska Struck
f.struck@fh-muenster.de
+49 (0)251 83 65 278

Verbundpartner

FH Münster, Institut für Infrastruktur • Wasser
• Ressourcen • Umwelt
AG Ressourcen
Prof. Flamme
Corrensstraße 25
48149 Münster
+49 (0)251 83-65253
flamme@fh-muenster.de

AG Infrastruktur
Prof. Heimbecher
Corrensstraße 25
48149 Münster
+49 (0)251 83-65150
heimbecher@fh-muenster.de

AG Verkehrswesen/Straßenbautechnik
Prof. Weßelborg
Corrensstraße 25
48149 Münster
+49 (0)251 83-65208
wesselborg@fh-muenster.de

Stadt Münster
Amt für Mobilität und Tiefbau
Günter Stücker
Albersloher Weg 33
48155 Münster
+49 (0)251 492- 6630
stuecker@stadt-muenster.de

Hochschule Karlsruhe
Institut für Verkehr und Infrastruktur
Prof. Stöckner
Moltkestraße 30
Gebäude B
76133 Karlsruhe
+49 (0)721 925-2652
markus.stoeckner@h-ka.de

Prof. Holldorb
Moltkestraße 30
Gebäude B
76133 Karlsruhe
+49 (0)721 925-2629
christian.holldorb@h-ka.de

Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen
Prof. König
Universitätsstraße 150 Gebäude IC 6-63
44801 Bochum
+49 (0)234 32- 23047
koenig@inf.bi.rub.de

Hermann Dallmann Straßen- und Tiefbau
GmbH & Co. KG, Bramsche
Manuel Heitmann
Heywinkelstraße 3
49565 Bramsche-Engter
+49 (0)5461 952-93
m.heitmann@dallmann-bau.de

Thomas & Bökamp Ingenieurgesellschaft mbH
Münster
Henning Klöckner
Im Derdel 13
48161 Münster
+49 (0)2534 610-119
h.kloeckner@thomas-boekamp.de

REMINTA

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann
Walther-Nernst-Straße 9
38678 Clausthal-Zellerfeld
+49 (0)5323 72-2735
daniel.goldmann@tu-clausthal.de

Verbundpartner

Technische Universität Clausthal
Adolph-Roemer-Straße 2a
38678 Clausthal-Zellerfeld
Dr.-Ing. Kai Rasenack
+49 (0)5323-72-6127
kai.rasenack@tu-clausthal.de

Geocycle (Deutschland) GmbH
Tropowitzstraße 5
22529 Hamburg
Germany
Dr. Thorsten Haase
+49 (0)5132 927-262
thorsten.haase@geocycle.com

Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.
Bautzner Landstraße 400
01328 Dresden
Dr. Katrin Pollmann
+49 (0)351 260 2946
k.pollmann@hzdr.de

Hochschule Harz
Hochschule für angewandte Wissenschaften
Friedrichstraße 57-59
38855 Wernigerode
Prof. Dr. Alena Bleicher
+49 (0)3943 659 278
ableicher@hs-harz.de

IBU-tec advanced materials AG
Hainweg 9-11
99425 Weimar
Dr. Matthias Ommer
+49 (0)3643-8649-49
ommer@ibu-tec.de

pdv-software GmbH
Im Schleeke 50
38642 Goslar
Tristan Niewisch
+49 (0)5321 5732-22
t.niewisch@pdv-software.de

Wilhelm Geiger GmbH & Co. KG
Herzmanns 10
87448 Waltenhofen
Dr. Felix von Aulock
+49 (0)8379 2348 -143
felix.vonaulock@geigergruppe.de

SABINE

Projektleitung

STUVA e.V.
Dr.-Ing. Christian Thienert
Mathias-Brüggen-Straße 41
50827 Köln
+49 (0)221 5 97 95-0
c.thienert@stuva.de

Verbundpartner

MC-BAUCHEMIE MÜLLER GmbH & Co. KG
Dr. Max-Fabian Volhard
Am Kruppwald 1-8
46238 Bottrop
+49 (0)2041 101-217
max-fabian.volhard@mc-bauchemie.de

FEhS – Institut für Baustoff-Forschung e.V.
Dr.-Ing. Andreas Ehrenberg
Bliersheimer Straße 62
47229 Duisburg
+49 (0)2065 99 45-50
a.ehrenberg@fehs.de

PORR GmbH & Co. KGaA
Dr.-Ing. Thorsten Weiner
Franz-Rennefeld-Weg 4
40472 Düsseldorf
+49 (0)211 15 92 23-415
thorsten.weiner@a-porr.de

SlagCEM

Projektleitung

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Richard-Willstätter-Straße 11
12489 Berlin

Dr. Christian Adam
+49 (0)30-8104-5670
christian.adam@bam.de

Verbundpartner

ArcelorMittal Eisenhüttenstadt
Werkstraße 1

15890 Eisenhüttenstadt
Dr. Frank Gehrmann
+49 (0)3364 37 2045
Frank.Gehrmann@arcelormittal.com

Technische Universität Berlin
Gustav-Meyer-Allee 25 (Gebäude 13b)
13355 Berlin, Germany
Kevin Wendt
+49 (0)30 314 72 109
k.wendt@tu-berlin.de

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.)
Linder Höhe
51147 Köln
Dr. Thomas Werner
+49 (0)2203 601 5041
Thomas.Werner@dlr.de

FEhS - Institut für Baustoff-Forschung e.V.
Bliersheimer Str. 62
47229 Duisburg
David Algermissen
+49 (0)2065-99 45 12
d.algermissen@fehs.de

thyssenkrupp Industrial Solutions
thyssenkrupp Allee 1
45143 Essen
Carsten Sachse
carsten.sachse@thyssenkrupp.com

Öko-Institut e.V.
Borkumstrasse 2
13189 Berlin
Alexandra Möck
+49 (0)30 405085-302
a.moeck@oeko.de

LTB Lasertechnik Berlin
Am Studio 2c
12489 Berlin
Lutz Pfeifer
+49 (0)30 912075-320
lutz.pfeifer@ltb-berlin.de

TReMin

Projektleitung

Technische Universität Clausthal
CUTEC Clausthaler Umwelttechnik
Forschungszentrum

Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Leitung:

Prof. Dr. mont. Dr. rer. nat. Michael Fischlschweiger
+49 (0)5323 72-3871
michael.fischlschweiger@tu-clausthal.de

Koordination:
Dipl.-Ing. Andre Bertram
+49 (0)5323 72-6201
andre.bertram@cutec.de

Verbundpartner

Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
Marie Gentzmann, M.Sc.
+49 (0)511 643 2839
marie.gentzmann@bgr.de

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe
und Ressourcenstrategie IWKS
Brentanostraße 2
63755 Alzenau
Dipl.-Ing. (FH) Thilo Brämer
+49 (0)6023-32039-804
thilo.braemer@iwks.fraunhofer.de

Impressum

Herausgeber

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum
Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
www.cutec.de

Ansprechpartner und Redaktion

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum
Dipl.-Ing. Andre Bertram
E-Mail: andre.bertram@cutec.de

Ansprechpartner

Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF
Thomas Bartelt
Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft;
Geoforschung
E-Mail: thomas.bartelt@bmbf.bund.de

Ansprechpartnerin Projektträger Jülich

Dr. Hannelore Katzke
E-Mail: h.katzke@fz-juelich.de

Gestaltung

Thomas Velte
grafik-design | illustration
thomasvelte-design.de

Bildnachweise

Titel: ©Calado – stock.adobe.com
S. 5: ©Countrypixel – stock.adobe.com
Rückseite: Andre Bertram, CUTEC

Druck

Oberharzer Druckerei
Fischer & Thielbar GmbH
Alte Fuhrherrenstraße 5
38678 Clausthal-Zellerfeld

Stand Juni 2024
1. Auflage, 100 Stück

www.remin-kreislaufwirtschaft.de

Das dieser Publikation zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033R252 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren der einzelnen Beiträge. Die Publikation ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.



ReMin-Statuskonferenz in Clausthal-Zellerfeld.