

# Zwischenbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 21657 BR

## Thema

Entwicklung eines sensorgestützten Freifallsortierverfahrens auf Basis doppelseitiger und gekoppelter Nahinfrarot-Sensorik (NIR) und Farberkennung (VIS) zur Rückgewinnung sortenreiner Materialien aus heterogenen, mineralischen Bau- und Abbruchabfällen

## Berichtszeitraum

01.01. - 31.12.2022

## Forschungsvereinigung

Forschungsvereinigung Leichtbeton e.V.

## Forschungseinrichtung(en)

IAB - Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH

Über der Nonnenwiese 1

99428 Weimar

Gefördert durch:

## 1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

### 1.1. AP 0 – Fortschreibung des Lastenheftes

Im Berichtszeitraum wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Beschreibung des Ausgangsmaterials,
- vorgesehene Aufbereitungsstufen,
- Eingrenzung der Sortieraufgaben.

Erzielte Ergebnisse:

Das beim Recyclingunternehmen angelieferte Material umfasst Partikel im Bereich bis zu 600 mm. Hierbei kann zwischen 25 und 30 M.-% gebundenes Bimsgestein enthalten sein. In mehreren Aufbereitungsstufen wird das Ausgangsmaterial durch Vorzerkleinerung und Fraktionierung zum Zwischenmaterial aufbereitet. Aus diesem entsteht mittels Sortierung das Endmaterial. Das Gemisch enthält neben Beton, Bims-Leichtbeton und Ziegel Störstoffe wie Holz, Kunststoff, Keramik, Porenbeton und Gips, die entfernt werden sollen. Insbesondere bei der Schließung eines Stoffkreislaufes in der Leichtbetonindustrie muss besonderes Augenmerk auf die Dichtesortierung gelegt werden.

### 1.2. AP 1 – Bilanzierung der Baustoffe, Auswahl, Beschaffung, Charakterisierung

Durchgeführte Arbeiten:

- Beschaffung von realen Materialmengen

Erzielte Ergebnisse:

Über die Ergebnisse wurde bereits im Zwischenbericht für das 2021 berichtet. Die Fa. Mendiger Basalt lieferte Leichtbeton-Abbruchmaterial. Das Material war auf 63 mm gebrochen und auf < 8 mm abgeseibt. Es wurde gemäß AP 3 aufbereitet.

### 1.3. AP 2 – Erarbeitung einer Baustoffbibliothek und Sortieralgorithmus

Durchgeführte Arbeiten:

- Sortierung definierter Materialmenge
- Optimierung und Anpassung der Sortieralgorithmen

Erzielte Ergebnisse:

Im Ergebnis der Spektrenaufnahmen an einzelnen Baustoffen (vorheriger Berichtszeitraum) wurde die nachfolgende Tabelle erstellt. Sie gibt Auskunft über die Erkennbarkeit der Baustoffe im NIR- und im VIS-Spektrum. Daraus lassen sich Vorhersagen über die spätere Sortierbarkeit der Materialgruppen und -kombinationen ableiten. Diese Tabelle wird der Planung von konkreten Sortieraufgaben zugrunde gelegt.

Baustoffgruppe	Untergruppe	Bezeichnung	NIR	VIS	Anmerkung
Ziegel	Hintermauerziegel	Vollziegel	+++	bei hohem	
		Hohlziegel	+++	Rotanteil	
	Vormauerziegel		++	abh. von Farbe	
	Dachziegel		++	abh. von Farbe und Glanz	
Beton	Normalbeton		abh. von	nicht sinnvoll	eventuell Unterscheidung anhand der enthaltenen Zuschläge möglich
	Schwerbeton		Zuschlagart		
	Leichtbeton		abh. von Farbe und Anteil der Zuschläge		
	Mörtel		++		
Porenbeton			+++		
Kalk	Kalksandstein		++		
	Kalkputz		++		
Gips	Gipskarton		++		
	Gipsputz		+++		
	Anhydrit		+++		
	Dihydrat		+++		
Organik	Cellulose	Holz	+++		
		Papier/Pappe			besser durch Windsichtung
	Kunststoff	Thermoplast	+++	abh. von Farbe	nicht schwarz
		Duroplast	+++		
		Elastomer			
PAK		++			
Bitumen		---	---		
Glas	farbig		---	++	
	farblos		---	---	
Keramik	Grobkeramik		abh. von Farbe und Glanz	abh. von Farbe und Glanz	
	Feinkeramik		abh. von Farbe und Glanz	abh. von Farbe und Glanz	
Naturstein	Bims		+		abhängig von der Materialkombination
	Basalt		+		
	Granit		++		
	Quarz		+++		
	Sandstein		+++		
Schadstoff					

Erkennbarkeit der Baustoffe mittels Spektren (+ steht für gut, - steht für schlecht)

Für die Versuche wurde zum einen ein Materialgemisch (MG1) aus verschiedenen Gipsen und Leichtbetonarten hergestellt, zum anderen ein Gemisch aus Ziegel, Keramik, Kunststoff, Leichtbeton, Holz, Gips, Porenbeton und Beton/Naturstein (MG2). Die Bestandteile waren sauber und auf Ausgleichsfeuchte getrocknet. Die zugrundeliegenden Vergleichsspektren wurden in der vorangegangenen Projektphase aufgezeichnet und bearbeitet. Bei der Sortierung der Modellgemische wurden folgende Varianten untersucht:

- Wechsel zwischen Positiv- und Negativsortierung,
- Variation der Sortieraufgabe (gleichzeitiger Austrag verschiedener Materialien),
- Variation der Sortierparameter (Wichtungsfaktor für die einzelnen Materialklassen),
- Variation der Anlagenparameter (Schaltzeit für die Druckluftdüsen).

Aus MG1 sollten die Leichtbetone von den Gipsmaterialien getrennt werden. Hier führte eine Negativsortierung mit Wichtungsfaktor 2 für die Gipserkennung bei einer Ausblaszeit von 35 ms zum optimalen Sortierergebnis.



Modellgemisch 1

Aus MG2 sollten Kunststoff, Holz, Gips und Porenbeton als Störstoffe entfernt werden. Das optimale Sortierergebnis wurde hier durch den Austrag von Gips mit Wichtungsfaktor 2 für beide Materialgruppen bei einer Ausblaszeit von 35 ms erreicht.

Material	Aufgabe [g]	Ziel erreicht	Fehlaustrag	Anteil im Austrag	Anteil im Durchlauf	Anteil im Gemisch	Wichtung
Ziegel	2187,6	76,49%	23,51%	28,51%	29,04%	28,91%	1
Keramik	717,8	78,07%	21,93%	8,72%	9,73%	9,49%	1
Kunststoff	98,2	81,87%	18,13%	4,46%	0,31%	1,30%	3
Leichtbeton	805,0	76,92%	23,08%	10,30%	10,75%	10,64%	1
Holz	222,4	65,74%	34,26%	8,10%	1,32%	2,94%	2
Gips	498,5	69,65%	30,35%	19,24%	2,63%	6,59%	3
Porenbeton	401,7	36,10%	63,90%	8,04%	4,45%	5,31%	3
Naturstein/ Beton	2635,2	91,35%	8,65%	12,63%	41,78%	34,83%	1

Sortierergebnis Modellgemisch 2

**Die Sortierbarkeit von Modellgemischen wurde nachgewiesen. Damit wurde Meilenstein 2 mit positivem Ergebnis erreicht.**

#### 1.4. AP 3 – Bereitstellung der Ausgangsmaterialien für grundlegende Versuche

Durchgeführte Arbeiten:

- Aufbereitung des gelieferten Materials mit Rückstellproben im Lieferzustand
- Waschen
- Trocknen auf Ausgleichsfeuchte
- Fraktionieren

Erzielte Ergebnisse:

Die Aufbereitung der Materialien für diese Versuche erfolgte durch die IAB gGmbH im institutseigenen Technikum. Das Material wurde gewaschen und auf Ausgleichsfeuchte getrocknet. Die Zusammensetzung einer repräsentativen Probe wurde durch händische Sortierung ermittelt sortiert. Die abgeschwemmten Bestandteile wurden nicht in das Ergebnis einbezogen.



Material im Lieferzustand



enthaltene Störstoffe



Material gewaschen



abgeschwemmte Bestandteile

Das übrige aufbereitete Material stand für die Sortierversuche zur Verfügung.

#### 1.5. AP 4 – Sortierversuche und betriebstechnologische Fragestellungen

Durchgeführte Arbeiten:

- Sortierung Praxismischungen
- Auswertung der Sortierergebnisse
- Optimierung von Parametern zur verbesserten Materialerkennung

Erzielte Ergebnisse:

Das Material enthält Leichtbeton, Ziegel, Keramik, Gips, Kalksandstein, Porenbeton, Beton, Mörtel und Naturstein werden zu einer Materialgruppe zusammengefasst. Glas, Holz, Kunststoff u. ä. sind in sehr geringem Teil enthalten und werden als „Sonstiges“ bezeichnet.

Die Negativsortierung erfolgte mit dem Ziel, Ziegel- und Gips- Material aus dem aufbereiteten Praxismaterial auszutragen. Anhand der Erfahrungen aus den vorangegangenen Versuchen wurde für die Ziegelerkennung Wichtungsfaktor 2 gewählt, für alle anderen Materialien lag er bei 1. Die Ausblaszeit wurde auf 35 ms festgelegt.

Die untenstehende Tabelle zeigt die zahlenmäßige Auswertung des Versuchs:

- Das Ziel, Ziegel und Gips aus dem Gemisch abzutrennen, wurde erreicht.
- 90,36 % des Ziegelmaterials und 100 % des Gipsmaterials wurden im Austrag gesammelt, nur 9,64 % Ziegel wurden fälschlicherweise dem Gutstoff zugeordnet.
- Der Anteil von Ziegel am Gemisch konnte durch die Sortierung von 17,55 % auf 2,42 % im Sortierergebnis (Durchlauf) reduziert werden.
- Der Gips konnte vollständig aus dem Gemisch entfernt werden.

AP 4 wird noch über 6 Monate Projektlaufzeit fortgesetzt.

Material	Aufgabe [g]	Ziel erreicht	Fehlaustrag	Anteil im Austrag	Anteil im Durchlauf	Anteil im Gemisch
Ziegel	2409,9	90,36%	9,64%	52,48%	2,42%	17,55%
Beton (+)	9597,8	82,64%	17,36%	40,15%	82,49%	69,89%
Leichtbeton	415,0	83,73%	16,27%	1,63%	3,61%	3,02%
Keramik	217,2	59,58%	40,42%	2,12%	1,35%	1,58%
Gips	46,4	100,00%	0,00%	1,12%	0,00%	0,34%
Kalksand-stein	1046,8	90,05%	9,95%	2,51%	9,80%	7,62%
Porenbeton	12,1	100,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,09%
sonstiges	25,2	79,37%	20,63%	0,13%	0,21%	0,18%

#### 1.6. AP 5 – Berichterstattung und Koordination

Es handelt sich um ein übergeordnetes Arbeitspaket, welches über den Berichtszeitraum hinaus bearbeitet wird. Alle Berichte werden durch die IAB gGmbH Weimar erstellt, die auch alle Arbeiten im Rahmen des Projektes koordiniert.

## 2. Verwendung der Zuwendung

- wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)  
Laut Finanzierungsplan wurden für A1 7,75 PM und für übriges Fachpersonal 7,63 PM eingesetzt.
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)  
Geräte waren nicht eingeplant.
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)  
Die geplanten 5.000 EUR zu Bauschutttaufbereitung wurden noch nicht in Anspruch genommen.

## 3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die notwendigen Arbeiten zur Durchführung des Projektes ergeben sich aus dem Arbeitsplan und den dafür kalkulierten Stundenaufwendungen. Der Arbeitsplan wurde termingerecht und mit dem geplanten Personaleinsatz und den entsprechenden Stunden umgesetzt.

## 4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Es existiert ein umfangreiches Netzwerk zwischen der mittelständischen Wirtschaft und dem IAB als wirtschaftsnahe Forschungseinrichtung, welches zum Ergebnistransfer genutzt werden soll.

### Transfermaßnahmen zwischen 01.01.2022 bis 31.12.2022 (Berichtszeitraum)

Die folgende Tabelle zeigt die innerhalb des Berichtszeitraums durchgeführten Transfermaßnahmen.

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
PA Nr. 3	Vorstellung bisheriger Ergebnisse, Vorführung der Sortiertechnik	Weimar, IAB	18.07.2022
Netzwerktreffen RecyBau	Übersichtsvortrag und aktuelle Erkenntnisse in Gegenwart vieler KMU	Weimar, IAB	06.04.2022
6. RIS-Forum Ressourcen-effizienz	Thüringer Innovationsstrategie (RIS Thüringen), Zusammenbringen von Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft, Übersichtsvortrag IAB	Weimar, IAB	17.05.2022
1. Thüringer Wertstoffdialog	Vortrag zu verbesserten Recyclingmaßnahmen in der Baustoffindustrie	Online, Thüringen	17.03.2022

Corona bedingt fanden weitere Ergebnispräsentationen und Absprachen ausschließlich als Videokonferenzen statt.

Die Vorstellungen weiterer Projektergebnisse auf beispielsweise Tagungen, Messen oder Ähnlichem gestaltet sich sehr schwierig. Oftmals wurden Vorhaben verschoben, abgesagt oder es bestand allgemein eine Unsicherheit über die weitere Durchführung von Präsenzveranstaltungen.

#### Transfermaßnahmen ab 01.01.2023 bis 31.08.2023 (bis Projektende)

Die folgende Tabelle zeigt die geplanten Maßnahmen mit fixem Zeitpunkt.

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
PA Nr. 4	Vorstellung bisheriger Ergebnisse, Vorführung der Sortiertechnik	Weimar, IAB	04.04.2023
Innovationstag Mittelstand des BMWK	publikumswirksame Präsentation Ihrer Projektergebnisse zur Wirksamkeit der themen- und branchenoffenen Innovationsförderung des Bundes	Berlin	15.06.2023
V. International Conference Progress of Recycling in the Built Environment (V. PRE)	Internationale Tagung zum Baustoffrecycling, die durch RILEM unterstützt wird	Weimar, IAB	10.-12.10.2023

PA Nr. 4 soll in Absprache mit dem Leichtbeton-Verband e.V. in Weimar als Präsenzveranstaltung stattfinden. Im Vordergrund steht die Vorführung der Sortiertechnik für interessierte KMU und die Teilnehmer des PA.

Weitere mögliche Transfermaßnahmen ohne fixen Termin oder feste Zusage sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Maßnahme	Ort	Zeitpunkt/weitere Informationen
Baustoffforum Recycling	Weimar, IAB	Die Möglichkeiten der Durchführung einer solchen Veranstaltung werden geprüft.
Ulmer Betontage	Ulm	nur bei Vortragsannahme durch Veranstalter

IAB-Wissenschaftstage Beton	Weimar	15.+16.11.2023 Ausstellung oder Vortrag (Leichtbeton-Industrie)
Gerätevorführung	funktionelle Darstellung einer sensorgestützten Sortiermaschinen im Betrieb	IAB Weimar gGmbH, bei Bedarf
akademische Lehre	Unterstützung von Fachpersonal in der akademischen Lehre, Unterstützung bei der Durchführung von Studien- /Masterarbeiten	Bauhaus-Universität Weimar, Forschung im Rahmen des renatBau-Netzwerkes

### Transfermaßnahmen ab 01.09.2023 (nach Projektende)

Die nachfolgende Tabelle zeigt die geplanten spezifischen Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens. Viele während der Projektlaufzeit durchgeführte Transfermaßnahmen sollen fortgesetzt werden.

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen
Fachbeiträge	schriftliche Kurzdarstellung der wichtigsten Projektergebnisse (deutsch/englisch)	Internetseite Forschungseinrichtung/ -vereinigung; Fachzeitschriften
Vorträge	Übermittlung des Kenntnisstandes an interessierte Unternehmen der Wirtschaft im Rahmen von Tagungen/Seminaren; Darstellung und Diskussion von Ergebnissen	IAB-Wissenschaftstage, ibausil, Fachtagung „Recycling“ des ABW e.V., International Conference Progress of Recycling in the Built Environment etc.
Gerätevorführung	funktionelle Darstellung einer sensorgestützten Sortiermaschinen im Betrieb	IAB Weimar gGmbH, bei Bedarf
Beratungsgespräche	Unterstützung der Unternehmen bei der praktischen Umsetzung der FuE- Ergebnisse	IAB Weimar gGmbH, bei Bedarf
Forschungs- fortführung	Lösung weiterer Problemstellungen unter Beteiligung von KMU; Wirtschaftstransfer durch spezifische KMU-Fördermöglichkeiten	Kooperationsprojekte mit KMU, Forschung im Rahmen des renatBau-Netzwerkes
akademische Lehre	Unterstützung von Fachpersonal in der akademischen Lehre, Unterstützung bei der Durchführung von Studien- /Masterarbeiten	Bauhaus-Universität Weimar
Übernahme von Ergebnissen in tech- nische Regelwerke, Normen, Kreislaufwirtschafts- konzepten	Anpassung Stand der Technik	Forschungs- und Bundesverbände; DGZfP-Unterausschuss LIBS im Bauwesen