

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

01.03.2021 - 31.12.2021

Forschungsvereinigung

Forschungsvereinigung Leichtbeton e.V.

Forschungseinrichtung(en)

1 / 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 - Erarbeitung eines Lastenheftes

Das Lastenheft ist im Projektfortschritt erweiterbar. Im Berichtszeitraum wurden folgende Festlegungen getroffen:

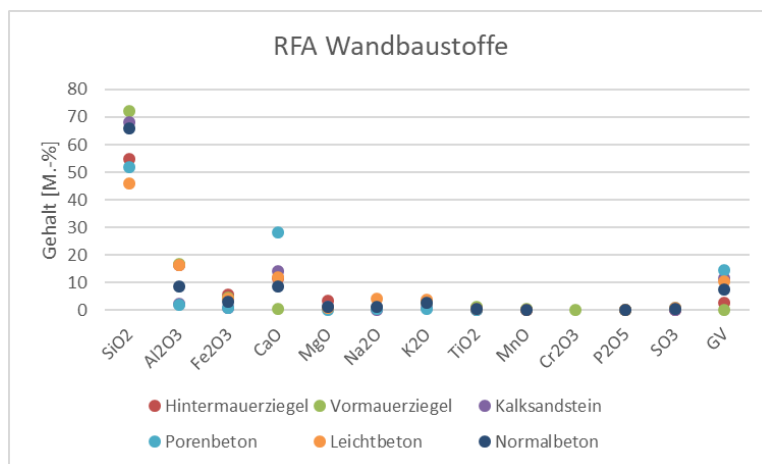
- Eckdaten für das Projekt,
- Funktionale Anforderungen,
- Planung der Dokumentation.

1.2. AP 1 – Bilanzierung der Baustoffe, Auswahl, Beschaffung, Charakterisierung Durchgeführte Arbeiten:

- Sammlung repräsentativer Baustoffe mit charakteristischen Eigenschaften (Ziegel, Kalksandsteine, Porenbetone, Leichtbetone, Betone, Gipswerkstoffe, Putze, Verbundbaustoffe, sonstige organische und anorganische Bestandteile)
- Bestimmung der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung mittels RFA,
- Erfassung der Stoffströme, Systematisierung der Verwertungsmöglichkeiten für den Einsatz als Sekundärrohstoff in Primärbaustoffen und neuen Werkstoffen

Erzielte Ergebnisse:

Von den gesammelten Baustoffen wurde die chemisch-mineralogische Zusammensetzung mittels RFA bestimmt. Dies dient einerseits dazu, Zusammenhänge zwischen Zusammensetzung und Sortierbarkeit zu erforschen, andererseits kann eine mögliche Veränderung in der Zusammensetzung von Gemischen infolge der Sortierung erfasst werden. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf An- und Abreicherung von Störstoffen im sortierten Material feststellen. Im untenstehenden Diagramm ist beispielhaft das RFA-Analyseergebnis für die untersuchten Wandbaustoffe dargestellt.



Die zur Erfassung der Stoffströme ermittelten Zahlenangaben beruhen auf dem Monitoringbericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018 vom Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V., der im Januar 2021 in Berlin erschienen ist.

Im Jahr 2018 sind 218,8 Mio. t mineralische Bauabfälle angefallen. Diese teilen sich auf in:

- Boden und Steine (59,6 %),

- Bauschutt (27,3 %),
- Straßenaufbruch (6,4 %),
- Bauabfälle auf Gipsbasis (0,3 %),
- Baustellenabfälle (6,4 %).

Die Zuordnung erfolgt über Abfallschlüsselnummern gemäß Abfallverzeichnisverordnung.

Etwa 25 % der Baustellenabfälle sind mineralische Bestandteile. Von den insgesamt ca. 14,0 Mio. t Baustellenabfällen wurden 1,8 % recycelt, 96,9 % einer sonstigen Verwertung zugeführt und 1,3 % auf Deponien beseitigt.

Die Verwertungsmöglichkeiten der Recycling-Baustoffe hängen von ihren bautechnischen und umweltrelevanten Eigenschaften sowie ihrer stofflichen Zusammensetzung ab. Mauerwerkbruch ist in seiner Anwendung als Recyclingbaustoff stark eingeschränkt, da er in der Regel als Gemisch verschiedener Wandbaumaterialien wie Ziegel verschiedener Güte, Kalksandstein, Leichtbeton und Porenbeton sowie Mörtel und Putz anfällt. Der Hauptgrund für die schlechte Verwertbarkeit sind die Unterschiede der physikalischen Eigenschaften wie die Porosität, die Festigkeit und der Frostwiderstand, oder Störstoffe wie beispielsweise Sulfat haltige Bestandteile. Als Lösungsansatz können zwei Vorgehensweisen gewählt werden:

- a) Das Gemisch wird durch eine Sortierung in die verschiedenen Wandbaustoffarten zerlegt. Diese sortenreinen Baustofffraktionen können dann entsprechend ihren spezifischen Eigenschaften Verwendung finden oder den Rohstoff für das Primärprodukt zumindest teilweise substituieren. Liegen die Baustoffarten nach der Sortierung getrennt vor, ist der anteilige Wiedereinsatz als Rohstoff im ursprünglichen Baustoff möglich.
- b) Das Gemisch wird ohne Trennung als Rohstoff verwertet. Das setzt voraus, dass Produkte gefunden und/oder entwickelt werden, die auf der chemischen Zusammensetzung des Gemischs aufbauen.

Um das Potenzial des bisher nicht praktizierten Verwertungsweges des rohstofflichen Recyclings zu nutzen, braucht es die enge Zusammenarbeit zwischen Recyclingunternehmen und Baustoffherstellern.

1.3. AP 2 – Erarbeitung einer Baustoffbibliothek und Sortieralgorithmus

Durchgeführte Arbeiten:

- Erfassung der charakterisierten Baustoffe in einer Bibliothek
- Zuordnung der möglichen sensorischen Erkennung

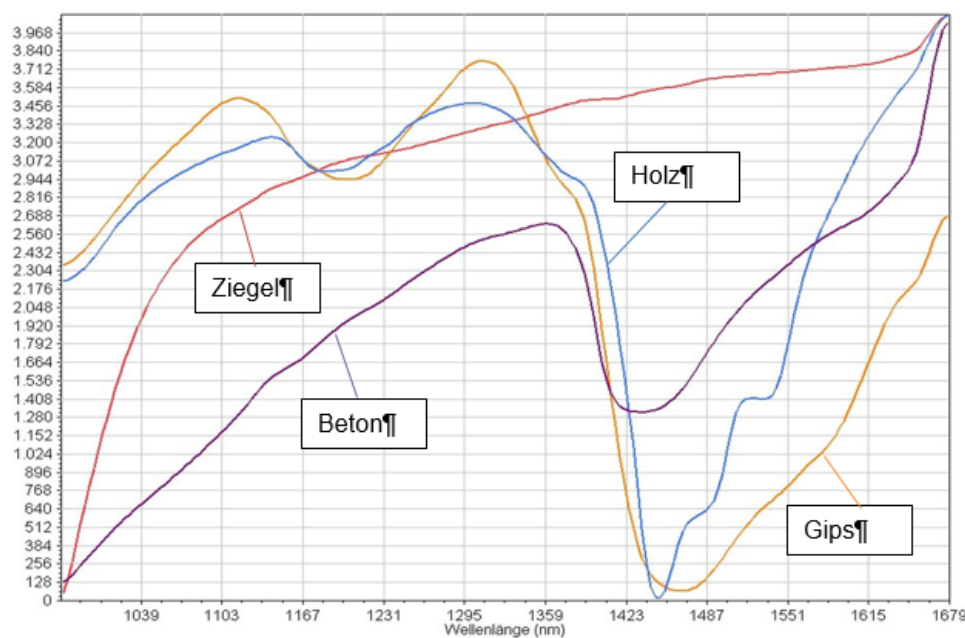
Erzielte Ergebnisse:

Grundlegend werden die bei Bau- und Abbrucharbeiten anfallenden Materialien in Zielstoffe, Fremd- und Störstoffe und Schadstoffe unterschieden. Zielstoffe in mineralischen Bau- und Abbruchabfällen bilden oftmals die mengenmäßig dominierenden Hauptbaustoffe (Betone, Ziegel, Kalksandstein und Porenbeton) in einem Materialgemenge. Da diese zugleich den Wertstoff darstellen gilt es, eine für die nachfolgende Verwertung möglichst hohe Sortenreinheit zu erzielen. Nahezu alle Haupt- und Nebenbaustoffe liefern deutliche NIR-Spektren im Bereich von 900 - 1700 nm. Farbige Material kann zudem mit Farbzeilenkameras im Bereich von 380 - 780 nm

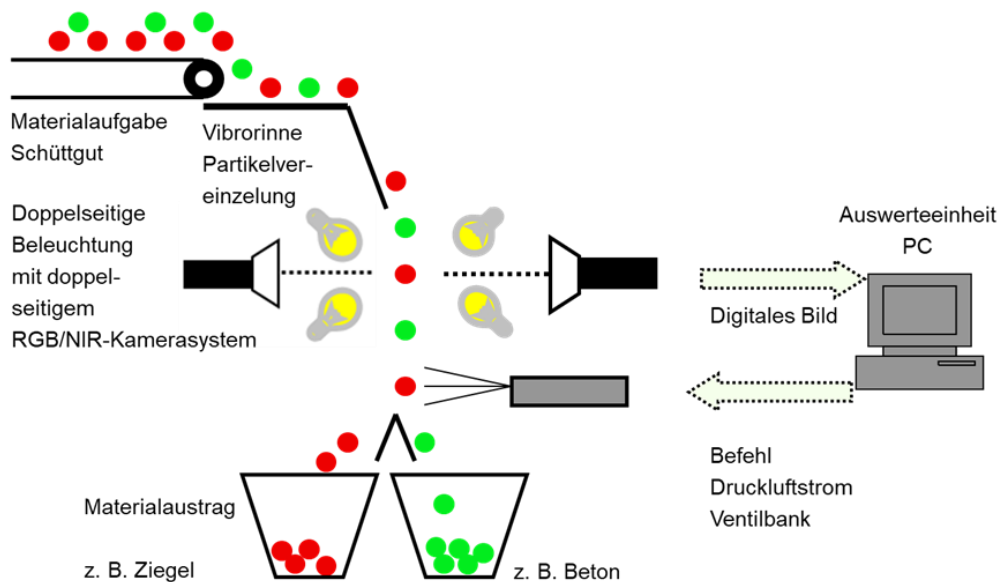
abgebildet werden. Amorphe Stoffe liefern kein NIR-Spektrum und schwarze und/oder hochglänzende Materialien können weder im NIR- noch im VIS-Bereich erkannt werden. Materialien können nur dann mittels spektroskopischer Verfahren sortiert werden, wenn sie erstens erkennbare NIR- bzw. Farbspektren liefern und zweitens diese für die voneinander zu unterscheidenden Materialien verschieden charakteristisch sind. Daher sind für jede neue Sortieraufgabe die geeigneten Algorithmen zu finden. Diese können sich unterscheiden hinsichtlich:

- der verwendeten mathematischen Operationen,
- der Gewichtung einzelner Charakteristika,
- der Reihenfolge verschiedener Sortierstufen und/oder
- der Verwendung von Positiv- oder Negativsortierung.

Die folgende Grafik zeigt beispielhaft die charakteristischen NIR-Spektren für Ziegel, Holz, Gips und Beton.



Die im Projekt genutzte Freifallsortierung beruht auf dem im folgenden Bild dargestellten Funktionsprinzip.



Das Sortierverfahren beruht auf dem Vergleich von NIR- bzw. Farbspektren, die zuvor an definiertem Vergleichsmaterial aufgenommen wurden, mit denen, die am zu sortierenden Material erfasst werden. Bei Übereinstimmung der materialcharakteristischen Spektren erfolgt die Erkennung und Zuordnung des Materials. Bei Positivsortierung wird der Wertstoff im ausgetragenen Material angereichert, bei Negativsortierung wird der Fremdstoff ausgetragen.

Die erstellte Bibliothek enthält die Einschätzung zur Erkennbarkeit der einzelnen Baustoffe im NIR- und Farbspektrum mit Hinweis auf mögliche Einschränkungen.

Die Erkennbarkeit von mineralischen Baustoffen wurde nachgewiesen. Damit wurde Meilenstein 1 mit positivem Ergebnis erreicht.

1.4. AP 3 – Bereitstellung der Ausgangsmaterialien für grundlegende Versuche

Durchgeführte Arbeiten:

- Aufbereitung der Ausgangsstoffe durch Klassierung auf Fraktion 16/64
- Trocknen auf Ausgleichsfeuchte
- Herstellung von Modellgemischen

Für die grundlegenden Versuche wird sauberes, ausgleichsfeuchtes Material verwendet. So kann die grundsätzliche Sortierbarkeit der Modellgemische untersucht werden. Entsprechend den Anforderungen der Sortieranlage ist die Partikelgröße auf 10 bis 100 mm begrenzt, wobei ein Größenverhältnis von mindestens 1:4 einzuhalten ist. Die Aufbereitung der Materialien für diese Versuche erfolgte durch die IAB gGmbH im institutseigenen Technikum.

1.5. AP 4 – Sortierversuche und betriebstechnologische Fragestellen

Durchgeführte Arbeiten:

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

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 8,32 PM und für übriges Fachpersonal 4,19 PM eingesetzt.
- Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans)
Geräte waren nicht eingeplant.
- Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans)
Die geplanten 5.000 EUR zu Bauschuttzubereitung 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 01.03.2021 bis 31.12.2021 (Berichtszeitraum)

Die folgende Tabelle zeigt die innerhalb des Berichtszeitraums durchgeführten Transfermaßnahmen.

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraum
PA Nr.1	Startberatung, Klärung der grundlegenden Vorgehensweise im Projektablauf unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit späterer Anwendung	online	20.04.2021
PA Nr.2	Zwischenstand und Materialien, Konkretisierung weiter Arbeiten	online	07.10.2021

Corona bedingt fanden Projektberatungen, 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 01.01.2022 bis 31.08.2023 (bis Projektende)

Die folgende Tabelle zeigt die geplanten Maßnahmen mit fixem Zeitpunkt.

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

PA Nr. 3 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	09.+10.11.2022 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 01.09.2021 (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	IAB-Wissenschaftstage, ibausil, Fachtagung „Recycling“ des ABW e.V.,

	Diskussion von Ergebnissen	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
Forschungsfortführung	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 technische Regelwerke, Normen, Kreislaufwirtschaftskonzepten	Anpassung Stand der Technik	Forschungs- und Bundesverbände; DGZfP-Unterausschuss LIBS im Bauwesen