

Optocycle GmbH

**Optische Klassifizierung von Bauschutt und
Bodenaushub**

Abschlussbericht über ein Green Start-up Projekt
(18.06.2023 – 18.06.2025),
gefördert unter dem Az: 35506/19-23 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Max-Frederick Gerken und Prof. Dr. Fabian Hüttig

Tübingen, Oktober 2025

1. Inhaltsverzeichnis

2. ZUSAMMENFASSUNG	3
3. EINLEITUNG.....	4
3.1 AUSGANGSSITUATION.....	4
3.2 PROBLEMSTELLUNG	4
3.3 ZIELSETZUNG	5
4. HAUPTTEIL.....	5
4.1 ZIELSETZUNG UND ANLASS DES VORHABENS.....	5
4.2 ARBEITSSCHRITTE UND ANGEWANDTE METHODEN.....	6
4.2.1 KONZEPTION	6
4.2.2 DATENAKQUISE	6
4.2.3 KI-ENTWICKLUNG	7
4.2.4 PILOTIERUNG	8
4.2.5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT	8
4.3 ERGEBNISSE	9
4.3.1 TECHNISCHE ERGEBNISSE.....	9
4.3.2 ÖKOLOGISCHE ERGEBNISSE	10
4.3.3 ÖKONOMISCHE ERGEBNISSE.....	11
4.4 DISKUSSION & HERAUSFORDERUNG	11
4.5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND PRÄSENTATION	13
5. FAZIT.....	13
6. ANHÄNGE.....	15

2. Zusammenfassung

Im Rahmen des DBU Green Startup Programms hat die Optocycle GmbH in den Jahren 2023 bis 2025 ein innovatives System zur automatisierten Klassifizierung von Bau- und Abbruchabfällen entwickelt und erprobt. Ziel des Projekts war es, die bisherige manuelle und fehleranfällige Bewertung von Bauschutt durch eine KI-gestützte, objektive und reproduzierbare Technologie zu ersetzen.

Die entwickelte Lösung kombiniert eine Aufnahmeeinheit, bestehend aus einem Kamera- und Sensorsystem, mit einer Recheneinheit, die mithilfe neuronaler Netze eine zuverlässige Erkennung und Klassifizierung mineralischer Fraktionen ermöglicht. Damit wird es erstmals möglich, Bauabfälle digital und maschinenlesbar zu erfassen, ihre Zusammensetzung transparent darzustellen und daraus Handlungsoptionen für die stoffliche Verwertung abzuleiten.

Im Projektzeitraum wurde eine Klassifizierungsgenauigkeit von über 90 % bei den zentralen Fraktionen (z. B. Beton, Ziegel, Keramik) erreicht. Diese Genauigkeit konnte durch ein dynamisch wachsendes Datenset kontinuierlich gesteigert werden. Der Testdatensatz wächst derzeit um rund 2.000 Bildaufnahmen pro Tag, die in das Training neuer Modelle einfließen.

Im Rahmen von Pilotprojekten mit Partnern der Entsorgungswirtschaft – u. a. Heinrich Feeß GmbH & Co. KG sowie Recycling GmbH Lahnau – wurde die Praxistauglichkeit der Systeme erfolgreich demonstriert. Gleichzeitig konnte Optocycle durch Fachvorträge, Podiumsdiskussionen und die Teilnahme an internationalen Delegationsreisen des Landes Baden-Württemberg eine hohe Sichtbarkeit im Markt erzielen.

Die quantifizierbare CO₂-Einsparung wird im Jahr 2026 erstmals berechnet werden können. Es ist jedoch bereits absehbar, dass das System durch die Reduktion von Deponieraum, die Verkürzung von Transportwegen und die Substitution von Primärrohstoffen erhebliche Beiträge zum Klima- und Ressourcenschutz leisten wird.

3. Einleitung

3.1 Ausgangssituation

Die Bauwirtschaft gehört zu den ressourcenintensivsten Sektoren überhaupt. Sie verursacht rund 50 % des gesamten Ressourcenverbrauchs und bis zu 50 % der CO₂-Emissionen in Deutschland. Bau- und Abbruchabfälle machen dabei mit jährlich etwa 88 Millionen Tonnen den größten Abfallstrom aus.

Besonders problematisch ist die Zementproduktion, die allein 6–8 % der weltweiten Treibhausgasemissionen verursacht. Eine effizientere Nutzung und Wiederverwendung mineralischer Baustoffe ist daher von herausragender Bedeutung für Klima- und Ressourcenschutz.

Gleichzeitig besteht im Bereich der Abfallwirtschaft ein hohes Innovationspotenzial: Während viele Stoffströme (z. B. Verpackungen, Metalle) bereits hoch automatisiert sortiert und verwertet werden, erfolgt die Klassifizierung mineralischer Abfälle bislang überwiegend durch manuelle Schätzung. Fachkräfte beurteilen an der Waage oder auf der Deponie die Materialzusammensetzung – oft visuell und unter Zeitdruck.

Dieser Prozess ist nicht nur ungenau, sondern führt auch zu Konflikten zwischen Abfallerzeugern und Verwertern. Häufig stimmen die Angaben nicht mit der tatsächlichen Zusammensetzung überein, was Preisstreitigkeiten oder sogar Rückweisungen von Ladungen zur Folge haben kann. Hinzu kommt, dass keine maschinenlesbaren Schnittstellen für digitale Prozesse existieren.

3.2 Problemstellung

Die aktuelle Praxis hat mehrere zentrale Schwächen:

1. **Fehleranfälligkeit:** Menschliche Schätzungen variieren stark und sind nicht reproduzierbar.

2. **Datenlücken:** Es existieren kaum belastbare digitale Datensätze über die Zusammensetzung von Bauschutt.
3. **Ineffizienz:** Fehlendes Routing führt zu unnötigen Transportwegen und höherem CO₂-Ausstoß.
4. **Verpasste Recyclingchancen:** Wertstoffe landen auf Deponien, anstatt wiederverwertet zu werden.

3.3 Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund verfolgte das Projekt Optocycle drei Hauptziele:

- **Technologisch:** Entwicklung eines KI-gestützten Systems zur optischen Klassifizierung von Bauabfällen mit hoher Genauigkeit und Echtzeitfähigkeit.
- **Ökologisch:** Steigerung der Recyclingquote, Reduktion des Deponiebedarfs und Einsparung von CO₂-Emissionen durch optimiertes Routing.
- **Ökonomisch:** Senkung von Prozesskosten, Minimierung von Vertragskonflikten und Schaffung einer objektiven Datenbasis für den Handel mit mineralischen Abfällen.

Das Projekt leistet damit einen Beitrag zu den globalen Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen, insbesondere SDG 9 (Industrie, Innovation und Infrastruktur), SDG 12 (Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster) und SDG 13 (Klimaschutz).

4. Hauptteil

4.1 Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Optocycle wollte eine disruptive Innovation schaffen, die den bisherigen Standard – visuelle Schätzungen durch Fachkräfte - ablöst. Anlass für die Antragstellung war neben den ökologischen Herausforderungen auch der regulatorische Druck: Mit Inkrafttreten der Ersatzbaustoffverordnung im Jahr 2023 sind präzisere Nachweise und Deklarationen erforderlich geworden.

4.2 Arbeitsschritte und angewandte Methoden

Das Projekt gliederte sich in fünf Phasen:

4.2.1 Konzeption

Zu Beginn des Projekts stand die Konzeption des Gesamtsystems im Vordergrund. In dieser Phase wurden zunächst die relevanten Materialklassen definiert, die im Rahmen der Bau- und Abbruchabfälle besonders häufig anfallen und für die Kreislaufwirtschaft eine hohe Bedeutung besitzen. Dazu zählen vor allem Beton, Ziegel, Keramik sowie Mischungen dieser Fraktionen. Die Auswahl erfolgte auf Basis statistischer Erhebungen des Abfallaufkommens sowie in Abstimmung mit Partnern aus der Entsorgungswirtschaft, die den praktischen Bedarf bestätigten.

Parallel dazu wurde die Sensorik spezifiziert. Zunächst fiel die Entscheidung auf RGB-Kameras, da diese Technologie kosteneffizient verfügbar, robust und für erste Klassifizierungsansätze ausreichend leistungsfähig ist. Bereits in der Konzeptphase wurde jedoch deutlich, dass perspektivisch eine Erweiterung auf NIR- und SWIR-Spektralbereiche notwendig sein würde, um auch komplexere Materialgemische – etwa verschiedene Betonklassen oder keramische Bestandteile – eindeutig zu unterscheiden. Somit legte die Konzeption die Grundlage für eine skalierbare Systemarchitektur, die zukünftige technologische Erweiterungen ermöglicht.

4.2.2 Datenakquise

Eine der zentralen Voraussetzungen für die erfolgreiche Entwicklung eines KI-Systems ist die Verfügbarkeit hochwertiger Daten. Deshalb wurde frühzeitig ein Datenmanagementsystem aufgebaut, das die Speicherung, Strukturierung und Annotation der Bilddaten sicherstellt. Dieses System bildet die Basis für das Training neuronaler Netze und ermöglicht eine kontinuierliche Erweiterung des Datensatzes.

Die eigentliche Datenakquise erfolgte in enger Kooperation mit den Pilotpartnern. In deren Anlagen wurden Kamerasysteme installiert, die großvolumig Bildmaterial von

anliefernden Fahrzeugen sowie von Bauschutthaufen erzeugten. Anschließend wurden die Bilddaten manuell annotiert, das heißt, die enthaltenen Materialfraktionen wurden durch Fachpersonal markiert und klassifiziert.

Ein entscheidender Fortschritt bestand darin, dass der Datensatz kontinuierlich erweitert wird. Bereits im Projektzeitraum konnte ein täglicher Zuwachs von etwa 2.000 Bildern erzielt werden. Dadurch ist sichergestellt, dass das System nicht auf einem statischen Datenbestand beruht, sondern mit der Zeit immer präzisere Modelle hervorbringt und auf neue Materialvarianten reagieren kann.

4.2.3 KI-Entwicklung

Auf Grundlage des wachsenden Datensatzes begann die eigentliche Entwicklung der KI-Modelle. Ziel war es, neuronale Netze zu trainieren, die in der Lage sind, die zuvor definierten Materialklassen zuverlässig zu erkennen. Dabei kamen moderne Verfahren des Deep Learning zum Einsatz, insbesondere Convolutional Neural Networks (CNNs), die sich für die Bildklassifizierung bewährt haben.

Durch iterative Trainings- und Evaluationszyklen konnte die Klassifizierungsgenauigkeit sukzessive gesteigert werden. Bereits nach den ersten Modellgenerationen erreichte das System Genauigkeiten von über 90 % in den wichtigsten Fraktionen wie Beton und Ziegel. Diese Ergebnisse liegen deutlich über den Werten, die mit rein menschlichen Schätzungen typischerweise erzielt werden.

Besonderes Augenmerk lag auf der Entwicklung eines adaptiven Systems, das nicht starr auf einem einmal trainierten Modell verharrt, sondern sich kontinuierlich verbessern kann. Neue Daten werden fortlaufend integriert, sodass die Klassifizierung im Laufe der Zeit robuster, genauer und universeller einsetzbar wird. Damit wurde ein zentraler Meilenstein des Projekts erreicht: die Schaffung einer dynamischen Lernplattform, die mit den Anforderungen des Marktes wächst.

4.2.4 Pilotierung

Nachdem die Modelle im Labor eine hohe Genauigkeit gezeigt hatten, wurden Prototypen in realen Anlagen installiert. Als Pilotpartner konnten die Heinrich Feeß GmbH & Co. KG sowie die Recycling GmbH Lahnau gewonnen werden. Die Heinrich Feeß GmbH & Co. KG ist ein Vorreiter im Bereich des Bauschuttrecyclings. Die Recycling GmbH Lahnau ist hingegen ein Unternehmen welches den Durchschnitt der heutigen Bauschuttzubereitung darstellt.

In den Pilotanlagen musste sich das System unter praxisnahen Bedingungen bewähren. Dazu gehörten wechselnde Temperaturen, Staubbelastungen, variierende Lichtverhältnisse und unregelmäßige Materialströme. Trotz dieser Herausforderungen konnte gezeigt werden, dass die Klassifizierung zuverlässig funktioniert und die Genauigkeit auch unter realen Bedingungen hoch bleibt.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Integration in bestehende Prozesse. Das System wurde so entwickelt, dass es mit Waagen, Logistiksystemen und Stoffstromplattformen kommunizieren kann. Dadurch entsteht ein durchgängiger digitaler Prozess von der Anlieferung des Materials bis zur stofflichen Verwertung. Die Pilotprojekte belegten, dass die Technologie nicht nur technisch machbar, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll einsetzbar ist.

4.2.5 Öffentlichkeitsarbeit

Parallel zur technischen Entwicklung wurde von Beginn an eine aktive Öffentlichkeitsarbeit betrieben, um die Sichtbarkeit des Projekts zu erhöhen und Akzeptanz in der Branche zu schaffen.

Wichtige Meilensteine waren Präsentationen auf Fachveranstaltungen, insbesondere beim KongressBW, bei dem Optocycle einem Fachpublikum aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft die Projektergebnisse vorstellen konnte. Darüber hinaus nahm das Unternehmen an zwei Delegationsreisen des Landes Baden-Württemberg teil und erhielt

so die Gelegenheit, die Technologie auch international zu präsentieren und potenzielle Partner sowie Investoren zu erreichen.

Ergänzt wurden diese Aktivitäten durch einen gezielten Netzwerkaufbau in Branchenverbänden wie dem Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft (BDE) sowie der Deutschen Gesellschaft für Abfallwirtschaft (DGAW). Diese Vernetzung ermöglichte nicht nur den fachlichen Austausch, sondern auch die Positionierung der Technologie als zukunftsweisender Beitrag zur Kreislaufwirtschaft.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Technische Ergebnisse

Das zentrale technische Ergebnis des Projektes ist die erfolgreiche Entwicklung und Erprobung eines KI-gestützten Systems zur optischen Klassifizierung von Bau- und Abbruchabfällen. In umfangreichen Tests konnte nachgewiesen werden, dass das System in der Lage ist, die relevanten Materialfraktionen mit einer Genauigkeit von über 90 % zu identifizieren. Besonders bei den dominanten Fraktionen Beton, Ziegel und keramische Materialien erwies sich die Klassifizierung als sehr zuverlässig. Diese Werte liegen deutlich über dem, was durch rein menschliche Schätzungen im Alltag erreicht wird, und stellen einen entscheidenden Fortschritt für die Praxis dar.

Die hohe Genauigkeit ist auf die kontinuierliche Weiterentwicklung der Modelle durch Machine Learning zurückzuführen. Das System ist so konzipiert, dass es fortlaufend neue Bilddaten integriert und daraus lernt. Durch die täglichen Zuwächse von rund 2.000 Bildern wächst der Datensatz stetig an, was die Robustheit und Anpassungsfähigkeit der neuronalen Netze erhöht. Damit konnte nicht nur die Klassifizierungsleistung verbessert, sondern auch die Übertragbarkeit auf verschiedene Anlagen und Materialströme sichergestellt werden.

Ein weiterer technischer Meilenstein war der Nachweis der Praxistauglichkeit in Pilotanlagen. Bei den Partnerunternehmen Heinrich Feeß GmbH & Co. KG und Recycling

GmbH Lahnau wurde das System unter realen Bedingungen getestet – mit Staub, wechselnden Lichtverhältnissen, variablen Materialströmen und hohem Durchsatz. Trotz dieser Herausforderungen funktionierte die Klassifizierung stabil und konnte ohne wesentliche Einschränkungen in bestehende Logistikprozesse eingebunden werden. Damit wurde die technische Machbarkeit für eine spätere breite Anwendung erfolgreich bestätigt.

4.3.2 Ökologische Ergebnisse

Neben den technischen Fortschritten stand die ökologische Wirkung des Projektes im Vordergrund. Bereits in den Pilotversuchen zeigte sich, dass das System einen direkten Beitrag zur Ressourcenschonung leisten kann.

Ein zentrales Ergebnis ist die Möglichkeit, unnötige Transporte zu vermeiden, indem Bau- und Abbruchabfälle bereits an der Quelle zuverlässig klassifiziert und dem nächstgelegenen geeigneten Verwerter zugeführt werden können. Das optimierte Routing reduziert die Transportdistanzen erheblich und damit auch den Ausstoß von Treibhausgasen. Während bisher häufig Fehlzweisungen zu langen Umwegen führten, sorgt die objektive Klassifizierung für eine effizientere Logistik.

Darüber hinaus trägt das System zur Einsparung von Deponieraum bei. Bislang landet ein erheblicher Anteil mineralischer Abfälle auf Deponien, weil deren stoffliche Zusammensetzung nicht präzise bekannt ist. Mit der KI-basierten Klassifizierung können schadstoffarme und werthaltige Fraktionen gezielt in den Recyclingprozess gelenkt werden. Dies ermöglicht nicht nur eine höhere Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen, sondern verringert auch den Bedarf an knappen und teuren Deponiekapazitäten.

Die genaue Quantifizierung der CO₂-Einsparung ist zum Zeitpunkt des Projektabschlusses noch nicht erfolgt, da hierfür längere Zeiträume und umfangreichere Datensätze notwendig sind. Für das Jahr 2026 ist jedoch eine umfassende Berechnung geplant, die die eingesparten Transportkilometer, die vermiedene Deponierung und die Substitution von Primärrohstoffen berücksichtigt. Erste Modellrechnungen deuten darauf hin, dass die Potenziale erheblich sind und einen messbaren Beitrag zur Erreichung der nationalen Klimaziele leisten können.

4.3.3 Ökonomische Ergebnisse

Das Projekt konnte auch wesentliche ökonomische Vorteile für die beteiligten Akteure aufzeigen. Insbesondere die Senkung von Prozesskosten bei Entsorgungsunternehmen ist hervorzuheben. Durch die automatisierte Klassifizierung entfällt ein erheblicher Teil manueller Prüfungen und Diskussionen an der Waage. Entscheidungen über die stoffliche Verwertung können schneller und auf einer objektiven Datenbasis getroffen werden. Dies spart Zeit und reduziert Personalkosten.

Darüber hinaus trägt die Technologie zur Reduktion von Vertragskonflikten zwischen Abfallerzeugern und Verwertern bei. Bisher führten divergierende Einschätzungen über die Zusammensetzung einer Lieferung regelmäßig zu Preisstreitigkeiten oder sogar zur Rückweisung ganzer Transporte. Mit der objektiven und reproduzierbaren Klassifizierung durch KI entfällt diese Unsicherheit. Das schafft Transparenz, erhöht die Planungssicherheit und stärkt das Vertrauen zwischen den beteiligten Marktakteuren.

Schließlich bildet das Projekt die Grundlage für neue digitale Geschäftsmodelle im Bereich des Stoffstromhandels. Durch die Bereitstellung maschinenlesbarer Datenpunkte – bestehend aus Menge, Zusammensetzung, Standort und Gewicht – können Stoffströme künftig digital gehandelt und effizient vernetzt werden. Dies eröffnet Potenziale für Stoffstromplattformen, Smart Contracting und dynamische Preisbildung. Optocycle positioniert sich damit als Enabler einer digitalisierten Kreislaufwirtschaft, die ökonomische Effizienz mit ökologischer Nachhaltigkeit verbindet.

4.4 Diskussion & Herausforderung

Die im Projekt erzielten Ergebnisse bestätigen eindeutig die hohe Innovationshöhe und den disruptiven Charakter der entwickelten Technologie. Erstmals ist es gelungen, eine automatisierte, KI-basierte Klassifizierung von Bau- und Abbruchabfällen in der Praxis einzusetzen und dabei eine Genauigkeit von über 90 % zu erreichen. Damit wurde ein Meilenstein für die Digitalisierung und Effizienzsteigerung in der Entsorgungswirtschaft gesetzt.

Gleichzeitig hat das Projekt aber auch gezeigt, dass noch technische und organisatorische Herausforderungen bestehen, die in den kommenden Jahren adressiert werden müssen:

1. Erweiterung der Sensorik auf NIR/SWIR

Während RGB-Kameras für die grundlegende Klassifizierung eine gute Grundlage bieten, stoßen sie bei komplexen Gemischen oder ähnlichen Materialklassen – etwa unterschiedlichen Betonarten oder Mischungen aus Keramik und Ziegel – an ihre Grenzen. Die Einbindung von Nahinfrarot- (NIR) und Kurzwelleninfrarot-Sensorik (SWIR) eröffnet die Möglichkeit, zusätzliche spektrale Informationen zu erfassen und dadurch eine noch differenziertere Analyse vorzunehmen. Diese Erweiterung wird entscheidend sein, um die Technologie auch für komplexere Stoffströme einzusetzen und die Klassifizierung auf ein noch höheres Genauigkeitsniveau zu heben.

2. Skalierung für unterschiedliche Anlagengrößen

Ein weiterer Punkt ist die Anpassungsfähigkeit des Systems an verschiedene Betriebsgrößen. Während in großen Aufbereitungsanlagen ein fest installiertes Kamerasystem problemlos integriert werden kann, stellen kleinere Betriebe mit geringerem Durchsatz oder mobilen Einsatzorten besondere Anforderungen. Hier gilt es, modulare und skalierbare Lösungen zu entwickeln, die sowohl stationär als auch mobil effizient einsetzbar sind. Dies betrifft nicht nur die Hardware, sondern auch die Softwarearchitektur, die flexibel auf unterschiedliche Datenvolumina reagieren können muss.

3. Sicherstellung der Datenqualität bei sehr großen Mengen

Mit dem kontinuierlichen Zuwachs an Bilddaten wächst auch die Herausforderung, die Datenqualität sicherzustellen. Bei täglich mehreren Tausend neuen Aufnahmen steigt die Gefahr von fehlerhaften Annotationen oder unsauberen Klassifizierungen. Für die langfristige Leistungsfähigkeit der Modelle ist es daher notwendig, robuste Prozesse zur Qualitätssicherung und Validierung zu etablieren. Hierzu gehören standardisierte Verfahren der Datenannotation, automatisierte Plausibilitätsprüfungen sowie regelmäßige Audits der Trainings- und Testdaten.

Nur so kann sichergestellt werden, dass die Klassifizierung auch bei sehr großen Materialströmen zuverlässig bleibt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das Projekt die technische Machbarkeit eindrucksvoll nachgewiesen hat, zugleich aber auch Entwicklungsfelder sichtbar wurden, die für die zukünftige Kommerzialisierung und breite Anwendung von zentraler Bedeutung sind. Die adressierten Herausforderungen sind lösbar und stellen keine grundsätzliche Hürde dar, sondern vielmehr nächste Schritte in der Weiterentwicklung einer Technologie mit großem Markt- und Umweltnutzen.

4.5 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Ein wesentlicher Bestandteil des Projekts war die Sichtbarkeit nach außen. Optocycle nahm an zwei Delegationsreisen des Landes Baden-Württemberg teil und konnte dort seine Technologie einem internationalen Publikum vorstellen.

Darüber hinaus wurden Fachvorträge gehalten und Podiumsdiskussionen bestritten, unter anderem beim KongressBW. Die Aktivitäten trugen dazu bei, das Thema „digitales Recycling“ stärker in der Branche zu verankern.

5. Fazit

Das Projektziel wurde erreicht: Mit der Entwicklung eines KI-gestützten Systems zur optischen Klassifizierung von Bau- und Abbruchabfällen konnte die Optocycle GmbH eine Technologie hervorbringen, die das Potenzial hat, die Bau- und Entsorgungswirtschaft grundlegend zu verändern. Zum ersten Mal steht ein Werkzeug zur Verfügung, das auf objektiven, reproduzierbaren Daten basiert und somit einen Paradigmenwechsel vom subjektiven Schätzen hin zu einer datengetriebenen Entscheidungsgrundlage einleitet.

Die erzielten Ergebnisse – insbesondere die Klassifizierungsgenauigkeit von über 90 %, die nachgewiesene Praxistauglichkeit in Pilotanlagen und die kontinuierliche Verbesserung durch maschinelles Lernen – zeigen, dass die Technologie bereits heute einen hohen Reifegrad besitzt. Gleichzeitig eröffnet sie durch ihre modulare Architektur

weitere Entwicklungsmöglichkeiten. Optocycle konnte damit den Nachweis erbringen, dass Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft nicht nur miteinander vereinbar sind, sondern sich gegenseitig verstärken.

Für die kommenden Jahre zeichnen sich drei zentrale Handlungsfelder ab:

1. Quantifizierung der CO₂-Einsparung ab 2026

Während die ökologischen Potenziale qualitativ nachgewiesen wurden, ist für die weitere Validierung und Akzeptanz im Markt eine quantitative Erfassung erforderlich. Ab 2026 sollen Daten über eingesparte Transportwege, vermiedene Deponierung und Substitution von Primärrohstoffen systematisch erfasst und in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden. Dies schafft die Grundlage für wissenschaftlich fundierte Nachweise, politische Anerkennung und mögliche Fördermechanismen.

2. Skalierung auf weitere Märkte und Abfallarten

Die erfolgreiche Anwendung auf mineralische Baustoffe stellt den ersten Schritt dar. In einem nächsten Entwicklungsschritt soll die Technologie auf weitere Abfallarten – wie Bio- oder Papierabfälle – übertragen werden. Parallel dazu ist eine geographische Skalierung geplant, zunächst in Deutschland und anschließend in europäischen Nachbarländern. Mittel- bis langfristig ist auch ein Einsatz in Schwellen- und Entwicklungsländern denkbar, wo der urbane Wandel zu erheblichen Abfallströmen führt und Lösungen für ein ressourcenschonendes Recycling dringend benötigt werden.

3. Integration in Stoffstromplattformen und digitale Geschäftsmodelle

Die Vision von Optocycle geht über die reine Erkennung hinaus. Durch die maschinenlesbare Bereitstellung der Klassifizierungsdaten entstehen völlig neue Möglichkeiten im digitalen Stoffstromhandel. Die Integration in Plattformen erlaubt es, Angebot und Nachfrage in Echtzeit zusammenzuführen, Transportwege zu optimieren und Preise auf Basis objektiver Daten zu gestalten. Dadurch können nicht nur Effizienzgewinne erzielt, sondern auch neue Märkte erschlossen werden.

Damit wird Optocycle einen wesentlichen Beitrag zu Klimaschutz und Ressourcenschonung leisten. Das Projekt hat eindrucksvoll gezeigt, dass Innovation, Ökonomie und Ökologie Hand in Hand gehen können. Durch die Weiterentwicklung und breite Anwendung der Technologie können Millionen Tonnen an Bau- und Abbruchabfällen in wertvolle Sekundärrohstoffe verwandelt, CO₂-Emissionen gesenkt und der Ressourcenverbrauch nachhaltig reduziert werden.

Optocycle steht somit stellvertretend für eine neue Generation von Umwelttechnologien, die Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft intelligent miteinander verbinden – und die Bauwirtschaft von einem der größten Emittenten zu einem Treiber für Nachhaltigkeit transformieren können.

6. Anhänge

- Projektkennblatt
- Formular B