



Fraunhofer
IOSB



visIT
—

Technologien für den Tiefbau

Digitalisierung – Robotik – KI

www.iosb.fraunhofer.de

ISSN 1616-8240

visIT erscheint etwa drei Mal pro Jahr und informiert über ausgewählte Forschungsthemen des Fraunhofer IOSB. Für die Bestellung von Einzelheften, ein kostenloses visIT-Abo sowie für Adressänderungen und Abbestellungen schicken Sie bitte eine E-Mail an publikationen@iosb.fraunhofer.de

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. habil.
Jürgen Beyerer

Redaktion

Dipl.-Phys. Ulrich Pontes
Lena Kaul, M.A.

Layout

Anja Wollfarth, M.A.

Druck

Ganz GmbH
Ooser Bahnhofstraße 36
76532 Baden-Baden

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für
Optronik, Systemtechnik und
Bildauswertung IOSB
Fraunhoferstr. 1, 76131 Karlsruhe
Telefon +49 721 6091-300
Fax +49 721 6091-413
presse@iosb.fraunhofer.de

© Fraunhofer IOSB
Karlsruhe 2025

Ein Institut der
Fraunhofer-Gesellschaft
zur Förderung der angewandten
Forschung e. V. München

26. Jahrgang
ISSN 1616-8240

Bildquellen

S.14+15: stock.adobe / Anoo

Alle anderen Abbildungen
© Fraunhofer IOSB,
Ausnahmen sind
gekennzeichnet

Themen

Editorial	3
Jürgen Beyerer, Janko Petereit	
Straßenbau neu denken – Wie die robotische Transformation im Tiefbau Gestalt gewinnen könnte	4
Jürgen Beyerer	
Autonome Bau- und Arbeitsmaschinen – Semantische Intelligenz und adaptive Steuerung für Bagger, Radlader & Co.	6
Janko Petereit	
Assistierte Fernoperation mobiler autonomer Arbeitsmaschinen – Neue Ansätze zur Bewältigung komplexer Einsatzszenarien	8
Norbert Fränzel, Andreas Wenzel	
Knowledge Guided Safety Assertion – Sichere Mensch-Maschine Interaktion auf Baustellen dank intelligenter Bildverarbeitung	10
Gerrit Holzbach	
Trennung von Materialien und Erkennung von Gefahrstoffen mittels sensorgestützter Sortierung	12
Georg Maier, Thomas Längle	
Digitale Produktpässe im Bau – Wie Industrie-4.0-Technologien zu Prozesseffizienz und Nachhaltigkeit beitragen können	14
Reinhard Herzog	

Editorial

Liebe Freunde des Fraunhofer IOSB,

der Tiefbau steht vor einer doppelten Herausforderung: Sanierungsstau und Fachkräftemangel treffen auf steigende Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit. Digitale Zwillinge, autonome Maschinen und KI versprechen eine präzisere Planung, zuverlässige und effiziente Ausführung und lückenlose Dokumentation. Daten werden zum zentralen Werttreiber – sie sichern Qualität, machen Prozesse transparent und öffnen den Weg in eine zirkuläre Bauwirtschaft. Der Straßenbau bietet hierbei besonders gute Randbedingungen für eine umfassende Automatisierung: klar abgegrenzte Baufelder, wiederkehrende Abläufe und objektiv messbare Qualitätskriterien.

Diese visIT-Ausgabe zeigt den Weg von der Vision zur Praxis. Sie skizziert den hochautomatisierten Straßenbau von der digitalen Bestandsaufnahme und automatisierten Vermessung über autonome kooperierende Maschinen bis zum Flottenmanagement im 5G-Campusnetz. Wir stellen autonome und fernbediente Arbeitsmaschinen sowie Nachrüstlösungen vor, beleuchten Sicherheitsverfahren, und zeigen sensorgestützte Sortierung für schadstoffbelasteten Bauschutt. Den Ausblick bildet der Digitale Produkt- und Gebäudepass auf Basis standardisierter Datenräume und Verwaltungsschalen.

Als Fraunhofer IOSB verbinden wir Optronik, Systemtechnik und KI zu praxistauglichen Lösungen vom Sensor bis zur Fahrzeug- und Flottensteuerung. Gemeinsam mit Industrie, Bauunternehmen und Behörden bringen wir in Pilotprojekten die Technologien aus dem Labor und der Simulation in robuste Feldanwendungen. Unser Anspruch: Automatisierung, die Menschen schützt, Produktivität steigert und den Weg zur zirkulären Bauwirtschaft ebnet. Wir stehen Ihnen dabei als kompetenter, herstellerneutraler Partner zur Seite.

Fraunhofer IOSB, im Oktober 2025



Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer



Dr.-Ing. Janko Petereit



Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer



Dr.-Ing. Janko Petereit

Straßenbau neu denken

Wie die robotische Transformation im Tiefbau Gestalt gewinnen könnte

Autonome, KI-gestützte Robotersysteme stehen vor einem Durchbruch, der weit über klassische Automatisierung hinausgeht. Moderne Maschinen arbeiten nicht nur präzise und zuverlässig, sondern entwickeln – dank generativer KI – eine neue Qualität an maschineller Intelligenz, Interaktivität und Teamfähigkeit. Während Logistik und Landwirtschaft bereits erste Anwendungen sehen, ist das Potenzial in der Bauwirtschaft bislang kaum genutzt.

Gerade der Straßenbau bietet ideale Voraussetzungen: Sanierungsstau und Fachkräftemangel treffen auf klar abgegrenzte Baustellen, wiederkehrende Abläufe und objektiv messbare Qualitätskriterien. Monotone Tätigkeiten wie Erdarbeiten, Materialtransporte oder das Abfräsen sanierungsbedürftiger Fahrbahndecken eignen sich für eine schrittweise Automatisierung. Wenn Transportfahrzeuge, Walzen oder Bagger einfache, wiederkehrende Arbeitsschritte autonom übernehmen, können Fachkräfte sich auf Aufgaben konzentrieren, die Urteilsvermögen, Erfahrung und Flexibilität erfordern. Sie werden von belastenden Tätigkeiten entlastet und bleiben zugleich im Zentrum der Entscheidung.

Arbeitsplan, der verfügbare Ressourcen und zeitliche Abhängigkeiten berücksichtigt.

Die mobilen Maschinen arbeiten in abgestimmten Prozessen: Fräsen entfernen die Deckschicht automatisiert, Logistikplattformen übernehmen den Abtransport, Bagger und Radlader erledigen Erd- und Planierarbeiten. Auf großen Baustellen kann Material direkt an der Fräse sortiert und unterschiedlichen Verwertungspfaden zugeführt werden.

Die eingesetzten Maschinen verfügen über einen hohen Autonomiegrad. Gestützt durch ausgereifte Sensorsysteme werden die erforderlichen Funktionen wie Lokalisierung, Kartierung, Bewegungsplanung und Kollisionsvermeidung durch multimodale KI umgesetzt. Die Maschinen kooperieren über standardisierte Schnittstellen in einem sicheren 5G-Campusnetz, ein Flottenmanagement verteilt Aufgaben und optimiert Ressourcen. Digitale Zwillinge ermöglichen Planung, Simulation und Transfer zwischen Maschinentypen.

Wichtig: Ein komplett neuer Maschinenpark ist dafür nicht erforderlich – modulare Nachrüstungen machen bestehende Geräte schrittweise autonom.



Prof. Dr.-Ing. habil.
Jürgen Beyerer

Institutsleiter
Fraunhofer IOSB

Tel. +49 721 6091-211
juergen.beyerer
@iosb.fraunhofer.de

Von der Vermessung bis zur Ausführung

Am Beginn steht die digitale Bestandsaufnahme: Drohnen und Messfahrzeuge erfassen das Baufeld, daraus entsteht ein digitaler Zwilling mit Geozäunen, Sicherheitszonen und Transportkorridoren. Auf dieser Grundlage erzeugen KI-gestützte Verfahren einen optimalen

Mensch im Loop – Safety first

Sicherheit hat oberste Priorität: Umfangreiche Sicherheitseinrichtungen wie Geofencing und KI-gestützte Bildverarbeitung ermöglichen auch bei wechselnden Bedingungen die Überwachung von Gefahrenbereichen. Menschliche Expertise bleibt bewusst eingebunden:



Abb. 1: Zukunftsvision des hochautomatisierten Straßenbaus.

Operateurinnen und Operateure überwachen mehrere Maschinen parallel, greifen bei Ausnahmen per Teleoperation ein und übernehmen heikle Arbeitsschritte. Dieses Prinzip »N Bediener – M Maschinen« schafft Skalierbarkeit, ohne Kompromisse bei der Sicherheit einzugehen.

Daten als Werttreiber

Thermische und geodätische Messungen dokumentieren das Einbaufenster, Walzen liefern Verdichtungsnachweise, Fortschritt und Qualität fließen kontinuierlich in den digitalen Zwilling. So entstehen belastbare Daten für Dokumentation, Qualitätssicherung und perspektivisch für Material- und Produktpässe, die Recycling und Kreislaufwirtschaft im Tiefbau unterstützen.

Von der Vision zur Umsetzung

Der Weg zur autonomen Baustelle führt über klar umrissene, repetitive Teilaufgaben: zunächst Materialtransport, Andock- und Follow-me-Manöver oder assistiertes Fräsen, anschließend kooperative Abläufe zwischen wenigen Maschinen und schließlich die sukzessive Erweiterung der Flotte. Simulation

und digitale Zwillinge beschleunigen Entwicklung und Absicherung, offene Schnittstellen sichern Herstellerneutralität.

Diese Vision umfasst Erfassung, Planung, Ausführung, Überwachung und Dokumentation. Wir bringen Autonomiefunktionen, Bildverarbeitung, Sicherheits-KI, Flottensteuerung, Teleoperation und Systemintegration ein – und suchen die Zusammenarbeit mit Bauunternehmen, Herstellern, Baustoff- und Entsorgungswirtschaft sowie Behörden. Ziel ist es, gemeinsam Leuchtturm-Baustellen aufzusetzen, Anforderungen zu präzisieren und praxisnahe Lösungen zu entwickeln. So wird – im Zusammenspiel von Engineering und Bauexpertise, von KI-Kompetenz und praxiserprobtem Sachverstand – der hochautomatisierte Straßenbau vom Gedankenspiel zur Realität.

Autonome Bau- und Arbeitsmaschinen

Semantische Intelligenz und adaptive Steuerung für Bagger, Radlader & Co.

Ob im Straßenbau, bei der Sanierung von Altlasten oder beim Ausbau kritischer Infrastruktur: Baustellen sind komplexe, dynamische Umgebungen. Steigende Anforderungen an Effizienz, Sicherheit und Flexibilität machen die Automatisierung von Arbeitsmaschinen zu einem Schlüsselfaktor für die Zukunft der Bauwirtschaft. Besonders relevant wird dies in Bereichen mit Fachkräftemangel, gefährlichen Einsatzorten oder hohem Kostendruck.

Autonome Baumaschinen versprechen hier grundlegende Vorteile: Sie können rund um die Uhr arbeiten, gefährliche Aufgaben übernehmen und konstant hohe Qualität liefern. In Kombination mit digitalen Bauprozessen und Flottenmanagementsystemen ermöglichen sie eine präzisere Planung, geringere Ausfallzeiten und eine bessere Dokumentation. Gleichzeitig reduzieren sie Risiken für das Personal – etwa beim Einsatz in kontaminierten Gebieten oder bei extremen Wetterbedingungen.

Doch der Weg zur vollständigen Autonomie ist technisch anspruchsvoll. Insbesondere unstrukturiertes Gelände, unvorhersehbare Umwelteinflüsse und komplexe Interaktionen zwischen Mensch und Maschine stellen hohe Anforderungen an Sensorik, Steuerung und Maschinenintelligenz. Genau an diesen Herausforderungen arbeitet das Fraunhofer IOSB, insbesondere im Kontext schwer zugänglicher oder gefährlicher Einsatzorte. Ziel ist es, robuste, flexible Systeme zu entwickeln, die auch unter schwierigen Bedingungen sicher und effizient arbeiten können. [1]

Autonomie in Aktion

Ein Beispiel ist der autonome Bagger ALICE, der im Rahmen des Kompetenzzentrums ROBDEKON [2] für den Einsatz in kontaminierten Umgebungen weiterentwickelt wurde. Die Maschine kann selbstständig Erdreich abtragen, dabei Hindernisse erkennen und ihre Arbeits-



Dr.-Ing. Janko Petereit

Mess-, Regelungs- und
Diagnosesysteme (MRD)

Tel. +49 721 6091-605
janko.petereit
@iosb.fraunhofer.de



Abb. 1: Der autonome Bagger ALICE hilft beim Sanieren einer Deponie.



Abb. 2: Die Forschungsflotte autonomer Bau- und Arbeitsmaschinen am Fraunhofer IOSB.

weise an die Gegebenheiten anpassen. Auch das Bergen von Fässern erledigt ALICE automatisch.

Autonome Radlader und multifunktionale Arbeitsmaschinen wie der Unimog sind ebenfalls Teil unserer Forschung. Sie werden mit umfangreicher Sensorik – etwa Kamera-, LiDAR- und GNSS-Systemen – sowie KI-basierten Modulen für Navigation, Objekterkennung und Bewegungsplanung ausgestattet. Ziel ist eine semantisch gestützte Maschinenintelligenz, die nicht nur Hindernisse erkennt, sondern auch Kontext versteht – etwa, ob ein Objekt ein loses Gestein oder ein fest verbautes Hindernis ist.

Zentral für die Entwicklung ist ein ganzheitlicher Systemansatz: vom Digitalen Zwilling über simulationsgestützte Entwicklung bis hin zum realen Testeinsatz auf Versuchsanlagen und unter Praxisbedingungen. Dabei werden klassische Regelverfahren mit modernen KI-Technologien kombiniert, um eine zuverlässige, adaptive Steuerung zu ermöglichen.

Neue Möglichkeiten durch generative KI

Die Steuerung autonomer Baumaschinen im unstrukturierten Gelände gilt als eine besonders anspruchsvolle Aufgabe in der Robotik. Einen vielversprechenden Ansatz bieten multimodale

Foundation Models – eine neue Klasse generativer KI-Modelle, die über große Datenmengen und unterschiedliche Modalitäten hinweg trainiert werden. Sie können visuelle, sprachliche, räumliche und sensomotorische Informationen in einem einheitlichen semantischen Raum verknüpfen. Für die Baurobotik bedeutet das: Maschinen, die nicht nur verstehen, was zu tun ist, sondern auch wie, wo und warum – selbst bei bislang unbekannten Situationen.

Ein praktisches Beispiel: Ein Bediener gibt eine Anweisung wie »Modelliere die Oberfläche in diesem Bereich auf 30 cm Tiefe«. Die KI interpretiert die Sprachangabe, analysiert das Gelände über Kamera- und LiDAR-Daten, erkennt Hindernisse und plant in Echtzeit die effizienteste Vorgehensweise. Dank Zero-Shot-Fähigkeiten kann das System auch auf neue Aufgaben reagieren, ohne speziell dafür trainiert worden zu sein.

Am Fraunhofer IOSB werden solche Foundation Models derzeit in eine skalierbare Systemarchitektur eingebettet. Sie umfasst reale Einsatzdaten, simulationsgestütztes Pretraining und kollaborative Demonstrationen mit Teams robotischer Arbeitsmaschinen. Ziel ist ein lernfähiges System, das kontinuierlich besser wird, sich auf verschiedene Maschinentypen übertragen lässt und langfristig sogar als zentrales »Gehirn« ganzer Maschinenflotten agieren kann.

1 Erfahren Sie mehr über unsere Forschungskompetenz im Bereich Autonome Robotersysteme: <https://www.iosb.fraunhofer.de/autonome-roboter>

2 Weitere Infos unter <https://www.iosb.fraunhofer.de/robdekon> und <https://robdekon.de/>

Assistierte Fernoperation mobiler autonomer Arbeitsmaschinen

Neue Ansätze zur Bewältigung komplexer Einsatzszenarien



Norbert Fränzel, M. Sc.

Eingebettete Intelligente Systeme (EIS)

Tel. +49 3677 461-134
norbert.fraenzel
@iosb-ast.fraunhofer.de



Prof. Dr.-Ing.
Andreas Wenzel

Abteilungsleiter
Eingebettete Intelligente Systeme (EIS)

Tel. +49 3677 461-144
andreas.wenzel
@iosb-ast.fraunhofer.de

Technologien für herausfordernde Umgebungen

Die Nutzung mobiler Arbeitsmaschinen in Katastrophen- oder Gefahrenlagen ist heute technisch bereits möglich. Am Fraunhofer IOSB wurden in den Projekten **AKIT**, **AKIT-PRO** [1] und **ROBDEKON** [2] verschiedene Umrüst- und Automatisierungskonzepte für bestehende Maschinen entwickelt und in realitätsnahen Szenarien erfolgreich erprobt. Diese reichen von schwer zugänglichen Katastrophenszenarien bis zur Sanierung von Altlasten. Eine Erweiterung auf weitere menschenfeindliche Szenarien, wie z. B. die Arbeit in munitionsbelasteten Gebieten ist Gegenstand aktueller Forschungen. Hierbei wird mit möglichen Anwendern eng zusammengearbeitet. Für Tests, Demonstrationen sowie Forschungs- und Entwicklungsaufgaben steht dem Fraunhofer IOSB-AST unter anderem der

geländegängige Gabelstapler MATS aus Abbildung 1 zur Verfügung.

Weitere Einsatzmöglichkeiten

Neben dem Ziel, Menschen in gefährlichen Situationen bestmöglich zu schützen, gibt es noch weitere Einsatzbereiche, in denen autonome Arbeitsmaschinen von Vorteil sind, z. B. im Tiefbau. Der Fachkräftemangel, steigende Qualitätsanforderungen sowie hohe Investitionskosten für Spezialmaschinen verlangen neue Ansätze zur Effizienzsteigerung. Ein vielversprechender Weg liegt in der Fernbedienung und Teilautomatisierung von Arbeitsmaschinen. So kann das heute verbreitete Konzept »ein Bediener pro Maschine« in ein skalierbares »N Bediener – M Maschinen«-Modell überführt werden.



Abb. 1: Der geländegängige Gabelstapler MATS (das Kürzel steht für »Mobiles Autonomes Transportsystem«) dient unter anderem dazu, das autonome Aufnehmen und Abstellen palettierter Lasten sowie deren autonomen Transport im schwierigen Gelände zu trainieren.



Abb. 2: Der mittels EnvP-Kit umgerüstete Traktor Claas Arion am Fraunhofer IOSB-AST in Ilmenau ist durch seine Vielzahl von Anbaugeräteoptionen breit als autonome Baumaschine einsetzbar – in Verbindung mit einem Anhänger etwa als autonome Transportplattform. Das stellte er in den Projekten AKIT und ROBDEKON erfolgreich unter Beweis.

Grenzen der Teleoperation

Die Fernsteuerung großer Maschinen stellt jedoch erhebliche Anforderungen an das Bedienpersonal: Eingeschränkte Sinneswahrnehmungen, verzögerte Rückmeldungen und fehlendes taktiles Feedback machen präzises Arbeiten oft langsam und fehleranfällig. Daher ist es notwendig, bestimmte Arbeitsabläufe zu automatisieren, um die kognitive Last der Operateure zu reduzieren. Gleichzeitig bleiben viele komplexe Vorgänge – etwa das Erkennen unstrukturierter Hindernisse oder das Treffen situationsabhängiger Entscheidungen – auf menschliche Erfahrung und Intuition angewiesen. Hier sind hybride Konzepte gefragt, die Automatisierung mit assistierter Kontrolle kombinieren.

Modulare Nachrüstung durch das EnvP-Kit

Ein zentrales Ergebnis unserer Forschung ist das sogenannte **EnvP-Kit** [3], das bestehende Fahrzeuge zu autonomen Plattformen aufrüstet. In Abbildung 2 ist ein EnvP-Kit montiert auf dem Dach des autonomen Traktors zu sehen. Es integriert Sensorik, Recheneinheiten und Schnittstellen zur Maschinensteuerung in einem modularen System. Damit können logistische Aufgaben, wie das Transportieren von palettierten Gütern oder das automatisierte Rückwärtsfahren mit Anhänger, auch von noch nicht voll automatisierten Maschinen übernommen werden. In einem

Anwendungsbeispiel wird etwa die Leitpfostenwäsche an einem Kommunalfahrzeug im Projekt **EIPra** teilautonom realisiert.

Virtuelle Realität als Assistenzsystem

Zur Unterstützung von Operateuren in der Fernsteuerung und Überwachung der Arbeitsvorgänge setzen wir zunehmend auf virtuelle Realität (VR). In eigens entwickelten VR-Umgebungen können Bediener und Bedienerinnen die Maschinen und deren Umgebung immersiv wahrnehmen und steuern. Dabei werden sowohl klassische Bedienelemente als auch moderne Konzepte des Maschinellen Lernens, etwa **Reinforcement Learning** für das Rangieren, eingebunden. Ziel ist eine intuitive, flexible und robuste Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine.

Ausblick: Autonome Logistik auf der Baustelle

Viele regelmäßig wiederkehrende Aufgaben auf Baustellen – beispielsweise das Beladen, Entladen oder Transportieren von Materialien – bieten ein hohes Potenzial für die Automatisierung. Die im Rahmen unserer Projekte gewonnenen Erkenntnisse und Technologien können hier als Grundlage für neue Anwendungen dienen. Damit leisten wir nicht nur einen Beitrag zur Sicherheit in Gefahrenlagen, sondern auch zur Zukunftsfähigkeit des Bau- und Logistiksektors.

Fördergeber:

Die Projekte AKIT, AKIT-PRO, ROBDEKON wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Das Projekt »Elektrischer Präzisionsfahrantrieb als integratives Antriebs- und Steuerungssystem für autonome und mobile Arbeitsmaschinen« (EIPra) wird von der Sächsischen Aufbaubank (SAB) gefördert und durch die Europäische Union kofinanziert.

- 1 Weitere Informationen über AKIT(-PRO) finden Sie auf der Projektwebsite: <https://www.a-kit.de/>
- 2 Weitere Informationen über ROBDEKON finden Sie auf der Projektwebsite: <https://robdekon.de>
- 3 Weitere Infos zum EnvP-Kit: <https://www.iosb-ast.fraunhofer.de/de/projekte-produkte/envp-kit.html>

Knowledge Guided Safety Assertion

Sichere Mensch-Maschine Interaktion auf Baustellen dank intelligenter Bildverarbeitung

Baustellen sind heute mehr denn je Orte intensiver Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen. Bei allen Tätigkeiten ist eine reibungslose und sichere **Interaktion zwischen Mensch und Technik** gefragt, die immer mehr auch von KI geprägt ist. Gerade bei der kollaborativen Arbeit entsteht ein hoher Anspruch an die **funktionale Sicherheit**. Gefahrenbereiche müssen zuverlässig überwacht werden. Ein solcher Gefahrenbereich ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt.

Moderne bildverarbeitende Systeme spielen dabei eine immer größere Rolle. Doch diese Systeme stoßen in der rauen Praxis oft an ihre Grenzen: Wetterumschwünge oder neue, unerwartete Arbeitssituationen können dazu führen, dass kritische Szenen nicht erkannt oder falsch bewertet werden – mit potenziellen Risiken für Mensch und Maschine.

Um diesen Herausforderungen in der Mensch-Maschine-Interaktion und der funktionalen Sicherheit zu begegnen, hat das Fraunhofer IOSB mit **Knowledge Guided Safety Assertion (KGSA)** eine innovative Methode entwickelt. KGSA adressiert zwei zentrale Risiken der automatisierten Bildverarbeitung:

1. Unbekannte Situationen und Umgebungsbedingungen (»Out-of-Distribution«, OOD): Sobald das Bildverarbeitungssystem mit Szenen konfrontiert wird, die sich deutlich von den im Training gelernten Beispielen unterscheiden, können wichtige Gefahren übersehen werden. KGSA erkennt solche OOD-Situationen frühzeitig.

2. Klassische Fehler und Ausfälle in der Objekterkennung: Selbst bei scheinbar bekannten Szenen können Personen oder Objekte übersehen werden. KGSA erkennt auch diese Fehlfunktionen direkt im Betrieb.

Kollisionen oder Gefahren in der Mensch-Maschine-Interaktion können so verhindert werden.

KGSA – Ein pragmatischer Ansatz für mehr Sicherheit auf Baustellen

KGSA nutzt zwei unterschiedliche Informationsquellen: Zum einen die Ausgaben des Objektdetektors, der beispielsweise Personen, Baumaschinen oder sicherheitsrelevante Ausrüstung auf einer Baustelle erkennt. Zum anderen werden allgemeine Bildrepräsentationen herangezogen, die auf sogenanntem »Weltwissen« basieren.

Was ist Weltwissen und wie wird es gewonnen?

Während klassische Objektdetektoren wie YOLO auf die Erkennung bestimmter Objektklassen trainiert werden, gibt es inzwischen KI-Modelle, die aus Millionen verschiedenster Bilder gelernt haben, ganz allgemein Zusammenhänge in der Bildwelt zu erfassen. Ein prominentes Beispiel ist das sogenannte CLIP-Modell (Contrastive Language-Image Pretraining), das von OpenAI entwickelt wurde. CLIP verbindet Bildinformationen mit



Gerrit Holzbach

Human-AI Interaction
(HAI)

Tel. +49 721 6091-364
gerrit.holzbach
@iosb.fraunhofer.de



Abb. 1: Zu sehen ist eine nachgestellte Baustellensituation. Im Bild oben rechts befindet sich eine Person im Gefahrenbereich der Baumaschine.

natürlichsprachlichen Beschreibungen und kann dadurch nicht nur einzelne Objekte erkennen, sondern auch komplexe Szenen verstehen, einschätzen und beschreiben, was auf einem Bild im größeren Zusammenhang passiert. Das Weltwissen sorgt für ein allgemeines »Verständnis« für typische und untypische Situationen.

Wie nutzt KGSA diese Informationsquellen?

Beide Ströme – die spezialisierten Detektor-Ausgaben und die allgemeinen, von CLIP generierten Bildbeschreibungen – werden durch speziell entwickelte Softwarebausteine, sogenannte Encoder, in einen gemeinsamen Merkmalsraum übertragen. KGSA kann so automatisch erfassen, ob die aktuelle Szene einer »gewohnten« oder einer potenziell kritischen Situation entspricht, oder ob die Detektion wahrscheinlich fehlerhaft ist und Personen übersehen wurden.

Fazit und Ausblick

Mit KGSA steht Systemintegratoren, Herstellern und Anbietern von Lösungen für Baumaschinen und Baustellenüberwachung eine innovative Technologie zur Verfügung, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit bildverarbeitender Systeme auf ein neues Niveau zu heben. KGSA lässt sich flexibel als Zusatzmodul in bestehende Sensorsysteme integrieren und steigert die Effizienz im Baustellenalltag.

Die Vorteile von KGSA sind jedoch nicht nur im Baustellenkontext interessant. Das Prinzip, die Sicherheit von KI-gestützten Erkennungs- und Überwachungssystemen durch die Kombination von spezifischem Detektorwissen und allgemeinem Weltwissen gezielt zu erhöhen, ist ebenso auf andere industrielle Umgebungen übertragbar: etwa in der Logistik, in der Produktion, in Fertigungshallen, beim autonomen Fahren in Werksarealen – überall dort, wo Maschinen und Menschen im engen Zusammenspiel agieren und höchste Ansprüche an die funktionale Sicherheit bestehen.

Trennung von Materialien und Erkennung von Gefahrstoffen mittels sensorgestützter Sortierung



Dr.-Ing. Georg Maier

Sichtprüfsysteme (SPR)

Tel. +49 721 6091-649
georg.maier
@iosb.fraunhofer.de

Sensorgestützte Sortiersysteme gelten als Schlüsseltechnologie für die Kreislaufwirtschaft und haben eine zentrale Bedeutung in der Qualitätskontrolle verschiedener Industrien [1]. Sie ermöglichen die Trennung eines körnigen Materialstroms anhand verschiedenster Eigenschaften, z. B. optischer oder physiochemischer Parameter, in mehrere Fraktionen. Anwendungsbeispiele finden sich in der Sortierung von Altglasscherben und Kunststoffabfällen sowie bei der Entfernung von Fremdkörpern in Lebensmitteln und Agrarprodukten. Der Einsatz sensorgestützter Sortiersysteme für die Aufbereitung von Bauschutt (Hochbau, Tiefbau) ist jedoch nicht etabliert und ein aktuelles Forschungsthema, das enormes Potenzial bietet, eine echte Kreislaufwirtschaft im Baubereich zu erzielen.

schen, ökologischen als auch sozialen Gesichtspunkten ist es erstrebenswert, Gebäude und Infrastruktur als anthropogene Lagerstätten und somit Rohstoffquellen zu betrachten. Diese Sichtweise rückt in den vergangenen Jahren immer mehr in den Fokus und wird sich noch verstärken.

Im Verbundprojekt »BauCycle« haben wir gemeinsam mit unseren Projektpartnern Fraunhofer IBP, IML und UMSICHT u. a. ein Sortierverfahren entwickelt, das die material-spezifische Sortierung von Bauabbruchabfällen selbst im Feinkornbereich von circa zwei Millimetern ermöglicht [2]. Mittels hyperspektraler Bildgebung und einer intelligenten Spektraldatenauswertung lassen sich verschiedene Materialien wie Beton, Kalksandstein, Ziegel und Gips erkennen und sortieren. Es wurde gezeigt, dass sich aus den so zurückgewonnenen Materialien hochwertige neue Bauprodukte wie Porenbeton und Akustikputze herstellen lassen. Die Ergebnisse leisten somit einen essenziellen Beitrag zur Stärkung einer Kreislaufwirtschaft für Baustoffe.

Materialspezifische Sortierung von Bauschutt

Der Bedarf der Bauwirtschaft an mineralischen Rohstoffen ist hoch. Sowohl unter ökonomi-



Prof. Dr.-Ing.
Thomas Längle

Abteilungsleiter
Sichtprüfsysteme (SPR)

Tel. +49 721 6091-212
thomas.laengle
@iosb.fraunhofer.de

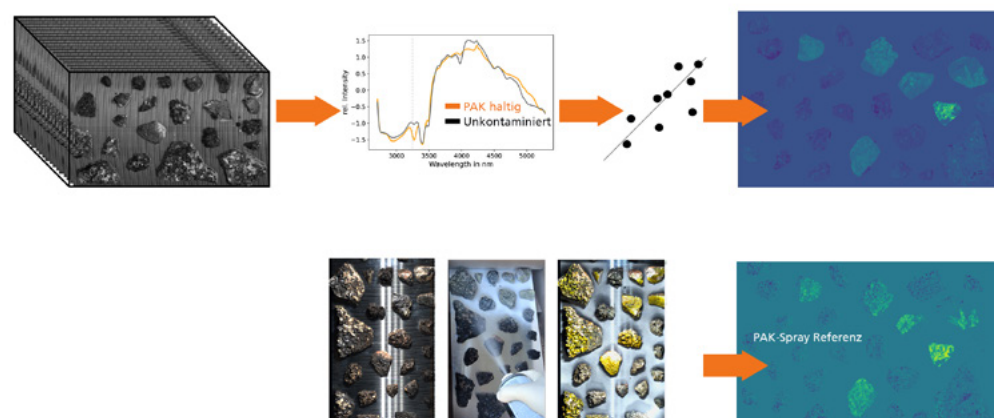


Abb. 1: Die entwickelten Verfahren machen PAK »sichtbar« und eignen sich beispielsweise für den Einsatz in sensorgestützten Sortiersystemen.

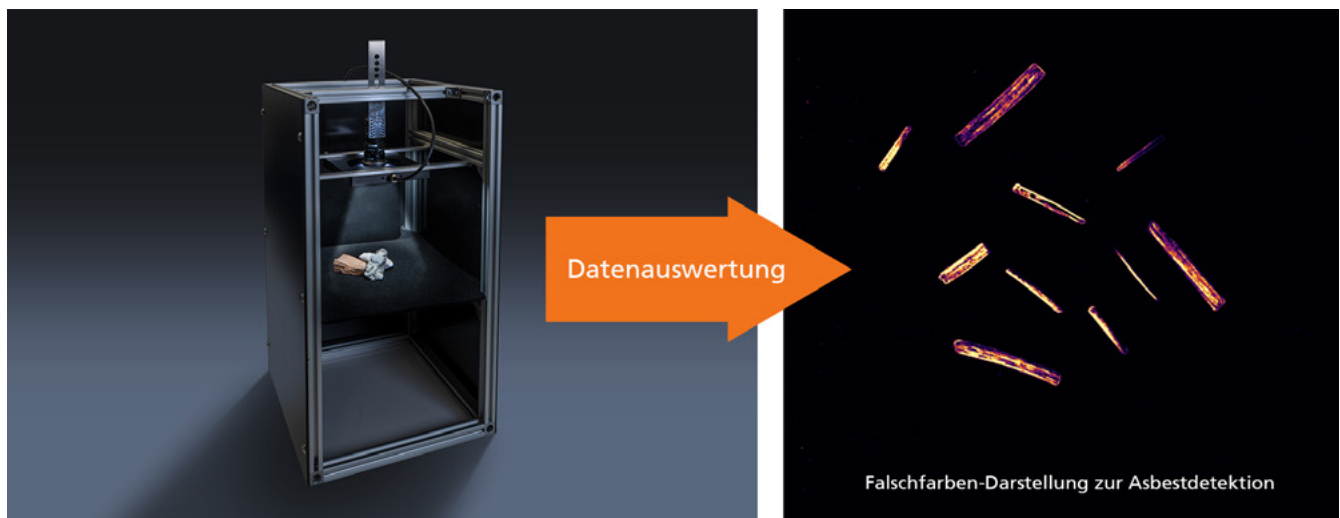


Abb. 2: Das im Projekt DIANA entwickelte optische System unterstützt bei der Erkennung, ob eine Asbestbelastung vorliegt.

Aufbereitung von Straßenaufbruch: Entfernung teerbelasteter Bestandteile

Im Verbundprojekt »InnoTeer« forschen die Partner Fraunhofer IOSB, IBP, IML und UMSICHT an innovativen Verfahren zum Recycling von Straßenaufbruch. Hierzu haben wir am Fraunhofer IOSB u. a. ein System zur Identifizierung von teerhaltigem Straßenaufbruch entwickelt, da dieser häufig giftige Kohlenwasserstoffverbindungen, so genannte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), enthält. Mithilfe hyperspektraler Bildgebung im mittleren Infrarotbereich und moderner KI-Verfahren konnte gezeigt werden, dass verschiedene Materialien sich präzise unterscheiden lassen. Ein speziell trainiertes neuronales Netz analysiert die spektralen Verläufe von Teer (siehe Abbildung 1), Bitumen und bindemittel-freier Mineralik und erkennt Teerkontaminationen in über 95 Prozent der Fälle, selbst bei partiellen Anhaftungen [3]. Diese Technologie wird zurzeit in ein Sortiersystem integriert. Somit lassen sich die Menge an recyclebarem, unbelastetem Straßenaufbruch erhöhen und Ressourcen schonen. Zudem erforschen wir, wie die gewonnenen Daten für weitere Prozessschritte, wie die Dekontamination teerhaltiger Materialien oder die Herstellung neuer Recyclingbaustoffe, genutzt werden können.

Detektion asbestbelasteter Materialien

Asbest ist ein ernstzunehmendes Problem auf Abbruchbaustellen, da es in älteren Gebäuden zur Isolation und Stabilisierung verwendet wurde. Die Gefahr, die von eingeatmeten Asbestfasern ausgeht, ist erheblich. Nach einer Schätzung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales enthalten ca. 20 Prozent des Baubestandes in Deutschland asbesthaltige Baustoffe. Der Einsatz dieser Stoffe wurde 1993 untersagt, was eine selektive Entfernung während Instandhaltungs- und Abbrucharbeiten erforderlich macht. Im Verbundprojekt »DIANA« haben wir gemeinsam mit dem Fraunhofer IBP eine kostengünstige, zerstörungsfreie Methode zur Detektion von Asbest entwickelt. Durch bildgebende Sensoren und Maschinelles Lernen können asbesthaltige Bauabfälle von normalem Bauschutt differenziert werden (wie in Abbildung 2 zu sehen). Ein miniaturisierter Handsensor wurde als flexible, kostengünstige Alternative zu teuren Spektrometern entwickelt. Zusätzlich erproben wir ein spezielles bildgebendes Verfahren, das die optischen Eigenschaften von Asbestfasern nutzt, um diese schnell zu erkennen. Unter Laborbedingungen haben wir für die verschiedenen Detektionsverfahren bereits vielversprechende Ergebnisse erzielt. In einem nächsten Schritt sollen die Verfahren im Rahmen eines Feldversuchs weiter validiert werden.

¹ G. Maier, R. Gruna, T. Längle, and J. Beyerer, »A Survey of the State of the Art in Sensor-Based Sorting Technology and Research«. In: IEEE Access 12 (2024), pp. 6473–6493.

² J. Nühlen, R. Gruna, and G. Maier, »Bauschutt optisch sortiert«. In: UmweltMagazin (2019).

³ P. Bäcker, G. Maier, T. Längle, and J. Beyerer, »PAH Detection in Road Surface Residue Using Various Hyperspectral Imaging Sensors«. In: OCM 2025 – Optical Characterization of Materials conference proceedings. 2025, pp. 233–245.

Digitale Produktpässe im Bau

Wie Industrie-4.0-Technologien zu Prozesseffizienz und Nachhaltigkeit beitragen können

Über Jahrhunderte war die Wiederverwendung von Baumaterialien selbstverständlich. Heute jedoch bleibt am Ende eines Gebäudelebens meist nur Bauschutt. Die Gründe sind vielfältig, doch angesichts knapper werdender Rohstoffe und steigender Umweltauforderungen beginnt ein Umdenken: Zirkuläres Bauen wird wieder attraktiv. Wie könnten Technologien aus der Industrie 4.0 den Weg zu diesem Ziel ebnen?

Die Vision: Vom statischen Plan zum lebenden Asset

Die Vision für die Zukunft des Bauens liegt in einem durchgängigen Informationsmanagement. Ein entscheidender Hebel könnte hier ein digitaler **Gebäuderessourcenpass** sein, analog zum etablierten Produktpass der Industrie, in dem alle Informationen über ein Produkt gespeichert werden. Dieser Ansatz

könnte im Konzept des **Digitalen Zwillings** münden: einem dynamischen, digitalen Abbild des realen Gebäudes, das über den gesamten Lebenszyklus gepflegt wird.

Eine denkbare Lösung für die Verantwortlichkeit liegt in einem Modell, das sich an den Lebensphasen orientiert: Die initiale Erstellung des »As-Built«-Zwillinges obläge dem Bauträger. Bei der Übergabe ginge die Verantwortung für die Pflege auf den Eigentümer über, der diese Aufgabe an einen spezialisierten Dienstleister – eine Art »digitalen Kümmerer« – delegieren könnte.

Technisch ermöglichen könnte dies die **Verwaltungsschale (Asset Administration Shell, AAS)**. Als standardisiertes Format ist sie in der Lage, alle relevanten Informationen zu Bauteilen interoperabel zu speichern – von Materialeigenschaften über Demontageanleitungen bis hin zur Wartungshistorie.



Reinhard Herzog

Informationsmanagement
und Leittechnik (ILT)

Tel. +49 721 6091-294
reinhard.herzog
@iosb.fraunhofer.de



Abb. 1: Vision einer vernetzten Baustelle der Zukunft mit automatisierter Datenerfassung.



Abb. 2: Der digitale Produktpass für die Baustelle der Zukunft: Tiefbaumaschinen wie Bagger und Tieflader sind direkt mit dem digitalen Produktpass vernetzt. Sie erkennen und beschreiben selbstständig die bewegten Baustoffe in Echtzeit, was eine präzise Materialverfolgung und effiziente Kreislaufwirtschaft im Bauwesen ermöglicht.

Automatisierung als Schlüssel zur Realisierung

Damit diese Vision Realität wird, ist eine weitgehend automatisierte Datenerfassung entscheidend. Anstatt auf aufwendige und auch fehleranfällige manuelle Eingaben zu bauen, könnten moderne Maschinen künftig während des Bauprozesses selbstständig Daten generieren. Ein Bagger würde beim Aushub automatisch Volumen und Gewicht des Materials erfassen; Transportbehälter könnten erste Angaben zur Zusammensetzung liefern. So entstünde ein verlässlicher Informationsfluss, der die Erstellung von Materialpässen in Echtzeit und mit hoher Datenqualität ermöglicht.

Construction as a Service (CaaS): Die vernetzte Bauwirtschaft der Zukunft

Auf Basis solcher Daten lassen sich völlig neue, serviceorientierte Geschäftsmodelle etablieren. Die logische Konsequenz wäre »Construction as a Service« (CaaS): eine digitale Plattform, auf der Baudienstleistungen koordiniert werden. Partnerfirmen würden ihre Fähigkeiten standardisiert beschreiben. Ein intelligenter Algorithmus könnte dann passgenaue Dienstleister für spezifische Aufgaben finden und orchestrieren – unter Berücksichtigung von Preis, Verfügbarkeit und ökologischem Fußabdruck.

Die denkbaren Anwendungsfälle sind vielfältig: Bei einem **zirkulären Rückbau** würde die Plattform den Digitalen Zwilling analysieren, den Prozess in Mikro-Aufgaben zerlegen und diese auf dem Markt ausschreiben. So werden Bauteile zu handelbaren Ressourcen. Gleichzeitig würde CaaS die **Resilienz** bei der Projektumsetzung erhöhen, da bei Ausfall eines Partners schnell qualifizierter Ersatz gefunden würde.

Fazit

Die Integration von Industrie-4.0-Werkzeugen eröffnet der Bauindustrie vielversprechende Perspektiven, um Prozesseffizienz mit Nachhaltigkeit zu verbinden. Der Digitale Zwilling birgt das Potenzial, den Wert des Bestehenden transparent zu machen. Automatisierte Datenerfassung kann die hierfür nötige Datenqualität sichern, während CaaS-Plattformen die Grundlage für einen resilienten und zirkulären Markt schaffen könnten. Erste Beispiele, wie etwa die N1 CIRCULAR GmbH, zeigen bereits erfolgreiche Umsetzungen dieser Ideen.

Sich frühzeitig mit diesen Technologien auseinanderzusetzen, stellt daher eine strategische Chance dar, um die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und die Transformation der Branche aktiv mitzugestalten.

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

info@iosb.fraunhofer.de

www.iosb.fraunhofer.de

Fraunhofer IOSB Karlsruhe

Fraunhoferstraße 1

76131 Karlsruhe

Telefon +49 721 6091-0

Fraunhofer IOSB Ettlingen

Gutleuthausstraße 1

76275 Ettlingen

Telefon +49 7243 992-0

Institutsteil für angewandte Systemtechnik IOSB-AST

Am Vogelherd 90

98693 Ilmenau

Telefon +49 3677 461-0

info@iosb-ast.fraunhofer.de

www.iosb-ast.fraunhofer.de

Institutsteil für industrielle Automation IOSB-INA

Campusallee 1

32657 Lemgo

Telefon +49 5261 94290-22

juergen.jasperneite@iosb-ina.fraunhofer.de

www.iosb-ina.fraunhofer.de

Zweigstellen & Kontaktbüro

Forschungsgruppe IT-Sicherheit für Kritische Infrastrukturen

ENERGIE UND WASSER

Wilhelmsplatz 11

02826 Görlitz

Fraunhofer-Zentrum für die Sicherheit Sozio-Technischer Systeme SIRIOS

c/o Fraunhofer FOKUS

Kaiserin-Augusta-Allee 31

10589 Berlin

Fraunhofer-Forschungsgruppe Smart Ocean Technologies SOT

Alter Hafen Süd 6

18069 Rostock

Forschungsgruppe Aktive Laserfasern

Moritz-Hensoldt-Straße 10

73447 Oberkochen

Kontaktbüro Beijing

Unit 0602G, Tower D1

DRC Liangmaqiao Office Building

19 Dongfangdonglu, Chaoyang District

100600 Beijing, PR China

muh@fraunhofer.com.cn



ePaper Ausgabe

