Fraunhofer IOSB

*vis*IT

Unsere Forschungsfabriken in Karlsruhe und Lemgo

Wie Industrie 4.0 und industrielle KI sichtbar, verständlich und nutzbar werden

www.iosb.fraunhofer.de

ISSN 1616-8240

Impressum

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
Stober Medien
Industriestraße 12
76344 Eggenstein

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 2026

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

27. Jahrgang
ISSN 1616-8240

Bildquellen
S.4: KIT / Amadeus Bramsiepe
S.6/7: Fraunhofer ICT / Mona Rothweiler

Alle anderen Abbildungen
© Fraunhofer IOSB,
Ausnahmen sind gekennzeichnet

Themen

Editorial 3
Jürgen Beyerer, Olaf Sauer, Constanze Hasterok

KI in der Produktion: Forschung, Anwendung und Transfer in vernetzten Fabriken 4
Florian Mayr, Constanze Hasterok, Nissrin Heymann

KI-Methoden zur schnellen Ertüchtigung unreifer Produktionsprozesse – DFG-Forschungsgruppe FOR 5339 8
Jürgen Beyerer, Frank Döhner

Souveräne Datenräume in der Praxis – Vom Messedemonstrator zur kognitiven Forschungsfabrik 10
Boris Schnebel

Next Level für die Forschung: Realproduktion in der SmartFactoryOWL bringt Forschung und Industrie zusammen 12
Jürgen Jasperneite, Nissrin Heymann

Wenn Batteriezellproduktion lernfähig wird – Ansätze des wbk für eine effiziente Produktion 14
Jan-Niklas Sturm, Jürgen Fleischer

Autoinspect – Multisensorielle Inspektion großer Werkstücke zur Inline-Qualitätskontrolle 16
Ilja Kaufmann, Dirk vom Stein

KI-unterstützter Assistent für die manuelle Montage – Von automatischen Arbeitsanweisungen bis zur Zukunftsvision der humanoiden Assistenz 18
Frederik Diederichs, Matthis Leicht

SafeInLoc – Software-definierte Sicherheit für dynamische Produktionsumgebungen 20
Holger Flatt, Dennis Sprute

GLUE – Ein Framework für den sicheren Datenaustausch in industriellen Produktionsprozessen 22
Paul-Georg Wagner, Pascall Birnstill

Drohnen im Praxistest: Testfeld in der Karlsruher Forschungsfabrik 24
Matthias Kollmann, Wilmuth Müller

Schwenkprüfstand – Innovation zur Validierung elektrischer Antriebe für Luftfahrtanwendungen eVTOL-Antriebssysteme realitätsnah testen 26
Lars-Fredrik Berg, Simon Dillmann

Editorial

Liebe Freunde des Fraunhofer IOSB,

im März 2022 haben wir – unterstützt und gefördert vom Bund und Land Baden-Württemberg – nach zweijähriger Bauzeit die Karlsruher Forschungsfabrik in Betrieb genommen. Mit unserem damals gewählten Motto: »Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion« liegen wir – mehr als wir es damals dachten – im Trend der Anstrengungen der deutschen Industrie. Inzwischen laufen in der Karlsruher Forschungsfabrik Projekte mit unterschiedlichen Partnern: Start-ups, mittelständischen Maschinenbauer, BMWE-Projekte wie Catena-X und Factory-X oder eine DFG-Forschergruppe zu »Unreifen Produktionsprozessen«.

Das Gegenstück in Lemgo, die SmartFactoryOWL, hat sich seit ihrer Einweihung 2016 zum weithin anerkannten Reallabor für Smart Automation, energetische Optimierung und neuerdings verstärkt kognitive Robotik entwickelt. Kernidee beider Einrichtungen ist es, Industrie 4.0-Technologien sprichwörtlich greifbar zu machen: So werden sie verständlich, ihr Nutzen für Entwickler und Anwender transparent und es wird auch klar, welches Potenzial und welche Entwicklungschancen immer noch in ihnen stecken. Gleiches gilt für den Einsatz von Maschinellem Lernen und Künstlicher Intelligenz: Unsere Forschungsfabriken helfen dabei, zu erkennen, was die KI leistet, welche Möglichkeiten sie bietet, aber auch, an welchen Stellen menschliche Kreativität und Expertise unersetzbar sind.

Forschungsfabriken sind Showrooms, Testfelder und Erprobungsumgebungen für neue Werkstoffe, neue Produktionsprozesse, neue Maschinen und neue IT-Lösungen, und zwar in ihrem Zusammenspiel: Nur in der Kooperation der Disziplinen und an den Nahtstellen zwischen den Fachgebieten entstehen Innovationen, die das Potenzial haben, industrielle Anwender zu überzeugen und sich letztlich in der Praxis durchzusetzen. In Karlsruhe arbeiten darum das Fraunhofer ICT, das Institut für Produktionstechnik (wbk) am KIT und das Fraunhofer IOSB eng zusammen, in Lemgo kooperieren TH OWL und Fraunhofer IOSB-INA.

In diesem Heft zum vierten Geburtstag der Karlsruher Forschungsfabrik sowie zum zehnjährigen Bestehen der SmartFactoryOWL stellen wir einige Beispiele vor, die in unseren Forschungsfabriken realisiert sind; Sie sind herzlich eingeladen, ihre eigenen Fragestellungen mit unseren Ansprechpartnern zu teilen und dann gemeinsam mit uns zu lösen.

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer

Dr.-Ing. Olaf Sauer

Dr. rer. nat. Constanze Hasterok

Fraunhofer IOSB, im Juni 2026

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer | Dr.-Ing. Olaf Sauer | Dr. rer. nat. Constanze Hasterok

KI in der Produktion: Forschung, Anwendung und Transfer in vernetzten Fabriken

Florian Mayr

Management I4.0 Halle – Forschungsfabrik KA

Tel. +49 721 6091-226
florian.mayr
@iosb.fraunhofer.de

Dr. rer. nat.
Constanze Hasterok

Abteilungsleiterin
Kognitive Industrielle
Systeme (KIS)

Tel. +49 721 6091-602
constanze.hasterok
@iosb.fraunhofer.de

Forschungsumgebung in der Karlsruher Forschungsfabrik

Die Karlsruher Forschungsfabrik ist ein gemeinsames Innovationszentrum des Fraunhofer IOSB, ICT und des wbk Instituts für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Auf dem KIT Campus Ost bietet sie auf rund 5.000 m² eine fabriknahe Forschungsumgebung mit drei Hallen für die beteiligten Partner. Sie schafft ideale Bedingungen für anwendungsnahe Forschung, gemeinsame Entwicklungsprojekte und den Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie [1].

Im Rahmen dieser Infrastruktur entsteht in der Industrie-4.0-Halle des Fraunhofer IOSB die Kognitive Fabrik (KogniFab) – ein neues Konzept auf mehreren Forschungsfeldern, das zukunftsweisende Ansätze der intelligenten Produktion realitätsnah erlebbar macht.

Vision der KogniFab

Künstliche Intelligenz gilt als Schlüsseltechnologie der Produktion von morgen, stößt in der industriellen Praxis jedoch häufig an Grenzen aufgrund heterogener Anlagen, eingeschränkter Datenverfügbarkeit und komplexer Systemabhängigkeiten.

Vor diesem Hintergrund adressiert die KogniFab die Vision einer Produktionsumgebung, die Daten kontextualisiert, Systeme intelligent vernetzt und sich dynamisch an neue Anforderungen anpasst. Ziel ist eine Fabrik, die über klassische Industrie-4.0-Ansätze hinausgeht, lernfähig ist, kontinuierlich optimiert und ihre Prozesse eigenständig weiterentwickelt.

Zudem eröffnet die KogniFab neue Formen der Interaktion zwischen Mensch und Maschine: Systeme können über natürliche Sprache,

Abb. 1: Industrie 4.0-Halle des Fraunhofer IOSB.

Abb. 2: Beispiele für Maschinen und Anlagen in der Kognitiven Fabrik.

Chat oder visuelle Symbole angesprochen werden und ermöglichen so einen intuitiven Zugang zu komplexen Produktionsprozessen. Damit entsteht eine kollaborative Produktionsumgebung, in der technische Systeme nicht nur unterstützen, sondern aktiv mitwirken und sich flexibel an den Menschen anpassen.

Technologische Grundlage

Zur Umsetzung dieser Vision verfügt die KogniFab über eine vollständig integrierte Infrastruktur. Ein institutseigenes Rechenzentrum ermöglicht Edge-AI-Ansätze, bei denen Daten direkt vor Ort verarbeitet werden – ohne den Umweg über externe Cloud-Systeme. Dadurch lassen sich industrielle Daten schnell und sicher nutzen, und ein Edge-Cloud-Kontinuum ist einfach und schnell umsetzbar.

Die Umgebung vereint Anlagen unterschiedlicher Hersteller mit heterogenen Kommunikationsschnittstellen und bildet damit reale Produktionsbedingungen ab. Der modulare Aufbau erlaubt die Integration zusätzlicher Sensorik, Maschinen und Materialflusseinrichtungen. Prozess- und Sensordaten werden kontinuierlich erfasst und aufbereitet und bilden eine zentrale Grundlage für das Training und die Validierung von KI-Modellen.

Brücke zwischen Forschung und Anwendung

Für Industrie- und Forschungspartner bietet die KogniFab eine realitätsnahe Entwicklungs- und Testumgebung für KI- und Machine-Learning-Anwendungen. Unternehmen erhalten die Möglichkeit, eigene Anwendungsfälle frühzeitig zu validieren, Risiken bei der Einführung neuer Technologien zu reduzieren und Entwicklungszeiten deutlich zu verkürzen. Kundenspezifische Prozesse und Anlagen können integriert und erprobt werden, ohne die eigene Produktion zu beeinträchtigen.

Darüber hinaus lassen sich gezielt seltene oder kritische Szenarien wie Fehlproduktionen oder ungeplante Maschinenstillstände abbilden, die in realen Produktionsumgebungen schwer oder nur mit hohem Risiko nachzustellen sind. Dies ermöglicht es, robuste und praxistaugliche Lösungen zu entwickeln und fundierte Entscheidungen für den späteren Einsatz in der eigenen Fertigung zu treffen.

Ergänzt wird dies durch die enge Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten des Fraunhofer IOSB und des KIT, die in gemeinsamen Projekten methodisches und technologisches Know-how einbringen und Unternehmen gezielt bei der Umsetzung ihrer KI-Strategien unterstützen.

1 Website der Karlsruher Forschungsfabrik: https://www.karlsruher-forschungsfabrik.de

Abb. 3: Die Forschungsumgebung der SmartFactoryOWL in Lemgo.

Vernetzung von Forschungsfabriken

Ein zentrales Ziel moderner Forschungsfabriken ist die enge Vernetzung mit weiteren industriellen Forschungs- und Produktionsumgebungen. Der Austausch von Daten, Methoden und Technologien soll dabei helfen, Synergien zwischen unterschiedlichen Standorten zu schaffen und gemeinsame Entwicklungsansätze zu fördern. Die Forschungsfabriken des IOSB sind darum auch Datenraumwerkstätten, in denen produzierende Unternehmen alle Elemente vorfinden, um schnell und einfach Datenraumtechnologien zu entwickeln und zu erproben [2].

Ein gutes Beispiel hierfür ist die SmartFactoryOWL in Lemgo. Als bedeutender Baustein im Forschungsökosystem für intelligente Produktion ermöglicht sie durch Kooperationen übergreifende Forschungsansätze, die den Transfer von KI-Methoden in die industrielle Praxis maßgeblich beschleunigen. Der folgende Absatz stellt die SmartFactoryOWL als wichtigen Partner innerhalb dieses Netzwerks vor.

Forschungsumgebung in der SmartFactoryOWL

Die SmartFactoryOWL in Lemgo ist ein Reallabor für KI und Automation, das vom Fraunhofer IOSB-INA gemeinsam mit der Technischen Hochschule OWL betrieben wird [3]. Auf 2.000 m² stehen hochmoderne Forschungs- und Testflächen für einen systematischen Technologietransfer bereit. Durch die Abbildung realer Fertigungsprozesse und die enge Anbindung an Industrienetzwerke – wie den Centrum Industrial IT e. V. oder das Spitzencluster it's OWL – wurden Unternehmen in den letzten Jahren direkt in die Technologieentwicklung eingebunden. Dies steigert den Technologiereifegrad (TRL) von Innovationen erheblich.

Bereits seit 2016 verfolgt die SmartFactoryOWL die Vision einer humanzentrierten Automation, die durch KI im Produktionsumfeld unterstützt wird.

Vision humanzentrierte Automation (Humation)

Unter dem Begriff Humation bietet ein Kompetenzverbund für humanzentrierte Automation eine Plattform für Forschung und Industrie. Ziel ist es, die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine – insbesondere in der Robotik – zukunftsfähig zu gestalten. Die Schwerpunkte liegen auf:

- KI-Modellen und Digitalen Zwillingen,
- Mensch-Roboter-Kommunikation und Sicherheit (Safety),
- Cloud Computing für Simulationswerkzeuge.

Die SmartFactoryOWL fungiert hierbei als physisches Labor und dient insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) als Anlaufstelle zur Implementierung dieser Technologien.

Technologische Grundlagen

Im Fokus stehen KI- und Plattformtechnologien für die robotergestützte Produktion, um Planung und Inbetriebnahme drastisch zu verkürzen. Durch den Einsatz physiknaher Digitaler Zwillinge in Modellierungs- und Simulationswerkzeugen werden standortübergreifende Entwicklungen möglich. So lassen sich KI-basierte Lösungen in einer hybriden Forschungsinfrastruktur, in der reale Automatisierungssysteme und ihre digitalen Abbilder nahtlos interagieren, konstruieren und optimieren.

Vorteile für den Mittelstand

Die Forschungsinfrastruktur adressiert gezielt die wirtschaftlichen Herausforderungen des Mittelstands:

- **Test-before-Invest:** Bevor in kostspielige Projekte und Anlagen investiert wird, können Machbarkeit und Funktionen der KI-Robotik in realitätsnaher Simulation geprüft werden.
- **Fachkräftemangel:** Intelligente Assistenzsysteme unterstützen Personal in der Montage oder Logistik und überbrücken so personelle Engpässe.
- **Produktivitätssteigerung:** Die Symbiose aus menschlicher Erfahrung und präziser Robotertechnik erhöht die Effizienz in der Fertigung.
- **Digitale Zwillinge:** Digitale Zwillinge erlauben Optimierungen ohne Eingriff in den laufenden Produktionsbetrieb.
- **Niedrigschwelliger Zugang:** KMU profitieren von direktem Zugang zu Expertenwissen und einer erstklassigen Infrastruktur, die sonst oft nur Großkonzernen vorbehalten ist.

Möchten Sie mehr erfahren?
Unsere Ansprechpartner aus den Forschungsfabriken in Karlsruhe und Lemgo stehen Ihnen für Fragen und Gespräche gerne zur Verfügung.

Nissrin Heymann

Business Developerin
Automatisierung
und Digitalisierung

Tel. +49 5261 94290-93
nissrin.heymann
@iosb-ina.fraunhofer.de

2 Mehr zu Datenraumwerkstätten: https://www.iosb.fraunhofer.de/datenraumwerkstatt

3 Website der SmartFactoryOWL: https://www.smartfactory-owl.de

KI-Methoden zur schnellen Ertüchtigung unreifer Produktionsprozesse

DFG-Forschungsgruppe FOR 5339

Prof. Dr.-Ing. habil.
Jürgen Beyerer

Institutsleiter
Fraunhofer IOSB

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

Frank Döhner

Kognitive Industrielle
Systeme (KIS)

frank.doehner
@iosb.fraunhofer.de

In der DFG-Forschungsgruppe FOR 5339 entwickelt das Fraunhofer IOSB gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT und mehreren Lehrstühlen des Karlsruher Instituts für Technologie KI-basierte Methoden, um unreife Produktionsprozesse schnell in die industrielle Reife zu überführen [1]. Der Forschungsverbund integriert Kompetenzen aus Produktionstechnik, Prozessautomatisierung, Sensorik, Robotik, Leichtbau, Echtzeitsystemen sowie daten- und wissensbasierten Methoden für die Grundlagenforschung. Als Beispielprozess für das Projekt dient das »stamp forming« von thermoplastischen Verbundplatten (siehe Abb. 1), das hinsichtlich der Qualitätssicherung im industriellen Kontext noch große Herausforderungen birgt.

Der Prozess gilt als noch nicht ausgereift, da zentrale Qualitätsmerkmale bislang nicht zuverlässig garantiert werden können. Ursache hierfür ist unter anderem der komplexe Materialaufbau aus mehreren Lagen mit jeweils unterschiedlichen Faserrichtungen: Entlang der Fasern ist das Material nicht dehnbar, während zwischen den Lagen Scherbewegungen auftreten können. Beim Umformen kann dies zu lokalen Ausbeulungen senkrecht zur Plattenebene führen. Die dabei entstehenden Knicke in den Fasern reduzieren die mechanische Festigkeit und führen zu lokalen Unterschieden in der Dicke, wodurch effektiv die Oberflächenqualität des Bauteils abnimmt. Nach der Entnahme aus dem Werkzeug kann sich das Produkt zudem aufgrund innerer Spannungen geometrisch verformen.

Beispiel eines unreifen Prozesses

Als Demonstrationsprozess für die entwickelten Methoden wurde das »stamp forming« in der Karlsruher Forschungsfabrik umgesetzt. Der Prozess ähnelt dem klassischen, gut verstandenen Tiefziehen von Metallblechen, stellt jedoch aufgrund des anisotropen, mehrlagigen Faserverbundmaterials deutlich komplexere Anforderungen. Dabei wird eine thermoplastische Verbundplatte in einen Rahmen mittels frei positionierbarer Greifer eingespannt und unter definierter Spannung gehalten. Anschließend wird die Verbundplatte in einem Infrarot-Ofen über die Schmelztemperatur des Thermoplasts erhitzt und in einer Presse in die gewünschte Geometrie geformt. Während der Abkühlung erstarrt das Material in der neuen Form.

Abb. 1: Teilumgeformte thermoplastische Verbundplatte.

Abb. 2: Aufbau des Demonstrationsprozesses in der Karlsruher Forschungsfabrik.

Lösungsansätze

In der Forschungsfabrik wird der Demonstrationsprozess als realitätsnahe Testumgebung aufgebaut (siehe Abb. 2) und dient der Forschungsgruppe als gemeinsame Plattform, auf der neue KI-Methoden direkt unter industrierelevanten Bedingungen erprobt werden. Ziel ist es, unreife Produktionsprozesse schnell, messbar und nachhaltig stabiler sowie beherrschbarer zu machen. Dafür setzen wir auf eine gezielte Erweiterung der Sensorik und Aktorik: Probabilistische Ansätze zur sequenziellen Sensorplatzierung unterstützen die Fehlerlokalisierung, während kausalitätsinformierte neuronale Netze helfen, verdeckte Prozessgrößen und entscheidende Einflussfaktoren im Prozess zu identifizieren. Zusätzliche Mess- und Stellgrößen machen bislang verborgene Prozesseffekte sichtbar und schaffen die Grundlage für eine robustere Prozessführung. Darauf aufbauend werden dynamische Prozessmodelle auf Basis graphbasierter neuronaler Netze entwickelt, die aus Mess- und Simulationsdaten lernen, Ursachenanalysen vereinfachen und virtuelle Daten für Entwicklung und Absicherung generieren. Die Prozessoptimierung erfolgt unter anderem mittels Bayesian Optimization, um geeignete Prozessparameter daten- und kosteneffizient zu bestimmen. Ergänzend werden Verfahren zur stochastischen Zustandsschätzung und Filterung, zur Unsicherheitsfortpflanzung sowie zur modellprädiktiven Regelung entwickelt, um den Prozess auch bei unvollständigen, verrauschten oder unsicheren Messdaten robust zu steuern. Physikbasierte Simulationen, ein modularer Prozessbaukasten für schnelle strukturelle Prozessänderungen, Kennzahlen zur Reifegradbewertung sowie ein Virtual Process Dossier, das prozessbezogene Metadaten in einem Wissensgraph speichert und eine effiziente Analyse über verschiedener Prozessinstanzen hinweg ermöglicht, sorgen dafür, dass Fortschritte transparent werden und Lösungen schneller in die industrielle Anwendung transferiert werden können.

FOR 5339

Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Projekt ist auf vier Jahre angelegt, mit Option auf eine weitere vierjährige Förderperiode.

Beteiligt sind:

- Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
- mehrere Einrichtungen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT):
  - Lehrstuhl Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung (MAP) am Institut für Produktionstechnik (wbk)
  - Lehrstühle Intelligente Sensor-Aktor-Systeme (ISAS), Autonomous Learning Robots Lab (ALR) und Interaktive Echtzeitsysteme (IES) am Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR),
  - Institutsteil Leichtbau des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik (FAST)
  - Web Science Forschungsgruppe am Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB)

1 Projektwebseite FOR5339: https://www.for5339.kit.edu

Souveräne Datenräume in der Praxis

Vom Messedemonstrator zur kognitiven Forschungsfabrik

Wie können Unternehmen ihre Fertigungsdienstleistungen und Produkte am Markt digital anbieten und dabei die Souveränität über ihre Daten behalten? Diese Frage treibt das Fraunhofer IOSB von den Anfängen des eigens entwickelten Smart Factory Web (SFW) über Factory-X bis hin zum Aufbau des hier beschriebenen »SFW-Dataspace« an.

Auf der Hannover Messe 2026 haben wir gezeigt, wie digitale Produktpässe und Fertigungsfähigkeiten auf Basis Digitaler Zwillinge in einem realen Datenraum bereitgestellt und für andere Teilnehmende auffindbar gemacht werden können (siehe Abb. 1). Dieser Demonstrator wurde nun in die Kognitive Fabrik der Karlsruher Forschungsfabrik überführt und dient dort als dauerhafte Erprobungsumgebung für Manufacturing-as-a-Service-(MaaS) Anwendungsfälle.

Die Fabrik wird zum digitalen Akteur

Die Kognitive Fabrik agiert nicht nur als physischer Produktionsort, sondern als digitaler Teilnehmer in industriellen Datenräumen. Maschinen und Produktionslinien beschreiben ihre Produktionsfähigkeiten über standardisierte Datenmodelle. Diese Informationen ermöglichen es anderen Teilnehmern im Datenraum, Partner für verteilte Fertigungsprozesse zu identifizieren und sogar resiliente Lieferketten zu planen. Die technische Basis für diese Vernetzung bildet das MX-Port-Konzept aus Factory-X [1].

In der Kognitiven Fabrik betrachten wir zwei heterogene Anwendungsfälle:

1. **Digitaler Produktpass:** Wir zeigen den kontrollierten Zugang zu Produktinforma-

Boris Schnebel

Informationsmanagement und Leittechnik (ILT)

Tel. +49 721 6091-363
boris.schnebel@iosb.fraunhofer.de

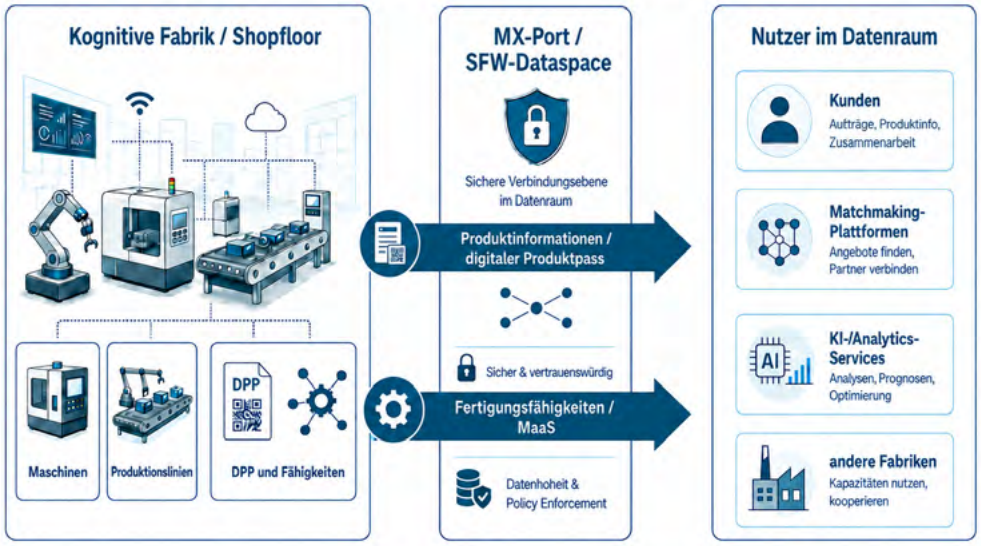


Abb. 1: Der SFW-Dataspace: *Über MX-Ports werden Produktinformationen und Fertigungsfähigkeiten aus der Kognitiven Fabrik sicher im Datenraum bereitgestellt und für Kunden, Matchmaking-Plattformen sowie KI-Services nutzbar gemacht.*

Abb. 2: Kognitive Fabrik in der Karlsruher Forschungsfabrik.

tionen. Während Typenschilder und Dokumentationen öffentlich einsehbar sind, bleiben sensible Daten wie Produktzustände oder CO_2-Fußabdrücke geschützt und werden erst nach erfolgreicher Berechtigungsprüfung freigegeben.

2. **Manufacturing-as-a-Service:** Hier rückt die Auffindbarkeit von Produktionsfähigkeiten in den Fokus. Eine Fabrik stellt ihre Dienste, etwa 3D-Druck oder CNC-Bearbeitung im Datenraum bereit. Kunden oder Matchmaking-Plattformen können diese abfragen und verteilte Produktionsnetzwerke orchestrieren.

Produktion liefert nachvollziehbare Information

Greifbar wird dieser Ansatz anhand eines realen Szenarios. Wir zeigen die Fertigung eines individualisierten Namenschilds von Spritzguss und CNC-Individualisierung über 3D-Druck einer Halterung sowie deren Montage bis zur optischen Prüfung (siehe Abb. 2). Entlang dieser Wertschöpfungskette wächst ein digitaler Produktpass mit, der Materialdaten und Energieverbräuche aggregiert und Besucherinnen und Besuchern via QR-Code Einblick in die Entstehung gewährt. Dieses Beispiel zeigt: Industrielle Datenräume beginnen bereits bei der Maschine auf dem Shopfloor.

Datenräume sind mehr als Software

Datenräume benötigen stabile IT-Infrastruktur, Zertifikate, Netzwerkkonzepte, IT-Sicherheit, Monitoring und klare Betriebsmodelle. Für kleine und mittlere Unternehmen ist diese Komplexität eine entscheidende Hürde: Wo entsteht Integrationsaufwand? Welche Betriebsmodelle sind realistisch? Und wie können Unternehmen teilnehmen, ohne selbst ein großes Team aus Spezialisten aufzubauen?

Besonders relevant wird dies durch die immer wichtiger werdende Nutzung von Daten für KI- und Analytics-Anwendungen. In industriellen Datenräumen reicht daher klassische Zugriffskontrolle allein nicht aus. Es geht nicht nur um die Frage, wer Daten sehen darf, sondern auch darum, wofür und wie lange sie verwendet werden dürfen. Solche Zugangs- und Nutzungsrichtlinien können im Datenraum verhandelt, dokumentiert und technisch nachvollziehbar gemacht werden.

So entsteht nicht nur mehr Transparenz im eigenen Betrieb, sondern auch ein neuer Zugang zum Markt. Unternehmen können ihre Informationen und Fähigkeiten sichtbar machen, von Kunden oder Services gefunden werden und neue Aufträge gewinnen, während die Daten unter eigener Hoheit bleiben.

Nutzen und Transfer

Für Unternehmen ist in der Forschungsfabrik ein geschützter Raum entstanden, um Datenraum-Use-Cases praktisch zu erproben: von Produktpässen über MaaS- bis zu KI-nahen Services. Das Fraunhofer IOSB hilft Ihnen dabei als unabhängiger und anwendungsorientierter Forschungspartner.

1 MX-Port-Konzept als PDF: https://factory-x.org/wp-content/uploads/MX-Port-Concept-V1.10.pdf

Next Level für die Forschung: Realproduktion in der SmartFactoryOWL bringt Forschung und Industrie zusammen

Prof. Dr.-Ing.
Jürgen Jasperneite

Direktor
Fraunhofer IOSB-INA

Tel. +49 526 194290-22
juergen.jasperneite
@iosb-ina.fraunhofer.de

Nissrin Heymann

Business Developerin
Automatisierung
und Digitalisierung

Tel. +49 5261 94290-93
nissrin.heymann
@iosb-ina.fraunhofer.de

In einer langfristigen Kooperation aus 10 Partnern wird seit 2021 die digitale und nachhaltige Kunststoffproduktion der Zukunft in der SmartFactoryOWL entwickelt. Die Produktion bringt Forschungsergebnisse direkt in den Transfer für die Industrie.

Seit 2016 können Unternehmen bereits in der SmartFactoryOWL Industrie 4.0 hautnah erleben. Von Beginn an war es die Vision des Initiators Prof. Dr. Jürgen Jasperneite, Direktor des Fraunhofer IOSB-INA, eine reale Fertigung in die SmartFactoryOWL zu integrieren. Denn nur durch die Nähe zur Praxis kann die Forschung einen höheren Technologiereifegrad und somit eine bessere Anwendbarkeit erzielen.

Das vom BMWE geförderte Projekt »KI Reallabor« mit dem Ziel, die industrielle Datenwirtschaft zu erforschen, griff diese Vision auf und zielte auf den Aufbau eines kollaborativen Datenraums mit möglichst realen Produktionsdaten. In diesem Kontext suchte das Fraunhofer IOSB-INA Produktionspartner für den Aufbau einer Realproduktion in der SmartFactoryOWL, um in einem industriellen Setting technologische Use Cases gemeinsam mit der Plattform Industrie 4.0 umzusetzen und KI-Lösungsanbietern reale Industriedaten offen für die Forschung und Entwicklung industrieller, datenbasierter Lösungen zugänglich zu machen. Die SmartFactoryOWL bietet dazu hierbei das ideale Umfeld, um KI-Anwendungen in realen Interaktionsszenarien zwischen Mensch, Maschine und Produkt zu entwickeln, zu erproben und zu demonstrieren.

Nach erfolgreicher Planung und Integration setzte das Fraunhofer IOSB-INA gemeinsam mit 10 Partnern 2021 eine weltweit einzigartige Fertigung um. Zentral ist das hergestellte Produkt: Die CUNA Products GmbH stellt Mehrwegbecher aus CO2-neutralem, pflanzlichem

Abb. 1: Fertigung biobasierter Kunststoffbecher in der SmartFactoryOWL.

Material her. CUNA, 2018 gegründet, zeichnet sich durch ein einzigartiges, nachhaltiges Konzept aus: Ein biobasierter Kunststoff, der auf Öl verzichtet, hohe Qualität, Wiederverwendbarkeit sowie anschließendes hauseigenes Recyceln zeichnen die Becher aus. Die Mehrwegbecher kommen in der Gastronomie oder auf Festivals zum Einsatz. Der mittelständische Kunststoffverarbeiter Hadi-Plast GmbH & Co. KG hat die Produktionsleitung und den Betrieb der Fertigung in der SmartFactoryOWL übernommen und bringt hierbei Expertise aus jahrelanger Spritzgussfertigung ein. Die Gesamtkonzeption und Integration der Anlagentechnik übernahm federführend der namhafte deutsche Anlagenbauer ARBURG aus Loßburg, der flankiert wird von weiteren Industriepartnern, wie dem weltweit agierenden Robotik-Hersteller KUKA sowie den Automatisierungsunternehmen FPT Robotics, der Barth Mechanik GmbH und dem Simulationsunternehmen IANUS Simulation GmbH. Für die individualisierte Beschriftung der CUNA-Becher kommt ein Lasersystem der REA Elektronik GmbH zum Einsatz. Die Materialversorgung wird von dem Herforder Mittelständler digicolor GmbH organisiert, der Granulattrockner und Farbsysteme herstellt.

Der Aufbau der hochgradig automatisierten Fertigung ist bereits jetzt durch einen hohen Technologieeinsatz gekennzeichnet, unterstützt durch Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und agilen Forschungstransfer. Kunden können online ihre Bestellung von CUNA-Bechern aufgeben, ihre Produkte individualisieren und live in der SmartFactoryOWL die Produktion ihrer Becher verfolgen. Die vollumfänglich digitalisierte und transparente Produktion liefert kontinuierlich Daten für KI-Anwendungen. Diese Daten werden Anwendern und Entwicklern von Technologien und Verfahren der Künstlichen Intelligenz zur Verfügung gestellt und zur dauerhaften Optimierung der Produktion und Prozesse genutzt.

In dieser Konstellation wird mit einer vollumfänglich vernetzten und KI-gestützten Produktion die Herstellung der nachhaltigen Becher in der SmartFactoryOWL in Lemgo verortet und damit zu einem Experimentierfeld für Technologien der Künstlichen Intelligenz.

Prof. Dr. Jürgen Jasperneite, Institutsleiter des Fraunhofer IOSB-INA gibt einen Ausblick: »Diese sehr innovationsoffene Kooperation der beteiligten Partner ist der perfekte Nährboden, den wir bei Fraunhofer zur Forschung an smarten Fabriken und Technologien wie KI benötigen. Unsere SmartFactoryOWL verfügt über eine moderne Umgebung. Hier kann ein zukunftsfähiges Produkt hergestellt werden und zugleich können Technologieentwickler die Produktion von Morgen unter Aspekten der Nachhaltigkeit und Digitalisierung gestalten. Dass dabei ein

Abb. 2: Energiedatenmonitoring und Ressourcenoptimierung im laufenden Betrieb.

umweltfreundliches Mehrwegprodukt entsteht, ist für uns und die Wissenschaft ein wichtiges Zeichen.«

Mit dieser Infrastruktur in der SmartFactoryOWL wird die Zukunft der industriellen KI, die das Fraunhofer IOSB-INA durch die Erforschung von Technologien – mit offenen Datenplattformen, Simulationen und Algorithmen – stärken möchte, kollaborativ vorangetrieben und allen Interessierten zugänglich gemacht.

Über das Fraunhofer IOSB-INA Lemgo

Der Fraunhofer Institutsteil für Intelligente Automation INA in Lemgo befasst sich mit datenbasierten Lösungen für die industrielle Produktion. Hierbei stehen Technologien für smarte Sensorsysteme, Algorithmen der Künstlichen Intelligenz, soziotechnische Systeme und Cybersicherheit im Fokus. Die SmartFactoryOWL ist ein Reallabor des Fraunhofer IOSB-INA und eine Industrie 4.0 Forschungsfabrik.

Wenn Batteriezellproduktion lernfähig wird

Ansätze des wbk für eine effiziente Produktion

Jan-Niklas Sturm

wbk Institut für Produktionstechnik des KIT

Tel. +49 1523 9502570
jan-niklas.sturm@kit.edu

Prof. Dr.-Ing.
Jürgen Fleischer

Institutsleiter
wbk Institut für Produktionstechnik des KIT

Tel. +49 721 608-44009
juergen.fleischer@kit.edu

Vom Hochlauf zur lernfähigen Produktion

Batteriezellen werden in spezialisierten Linien gefertigt. Dies ist effizient, solange Produkt, Material und Prozessfenster stabil bleiben. Bei Material- oder Formatwechsel müssen Anlagen neu eingestellt und Qualitätsabweichungen bewertet werden. Diese Hochlaufphase kostet Zeit, Material sowie Anlagen- und Expertenkapazität.

Flexible Batteriezellproduktion als Basis

Für die Batteriezellproduktion in der Karlsruher Forschungsfabrik orientieren sich die Arbeiten des wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) an der Frage, wie sich neue Produkte schneller von der Materialentwicklung in reproduzierbare Fertigungsabläufe überführen lassen. Einen zentralen Ausgangspunkt bildet das Projekt AgiloBat[1], in dessen Rahmen am wbk ein agiles Produktionssystem für formatflexible Pouch-Zellen aufgebaut und weiterentwickelt wurde (siehe Abb. 1). Dieses verbindet modulare Prozessstationen, Robotik, Anlagensteuerung und digitale Schnittstellen zu einer flexiblen Prozesskette. Am wbk wurden dabei insbesondere die modulare Anlagenstruktur, die Integration der Prozessmodule sowie die steuerungs- und datentechnische Vernetzung der Prozesskette aufgebaut und entwickelt.

Eine wesentliche Grundlage hierfür ist die übergeordnete Steuerungs- und Datenarchitektur. Sie koordiniert die Prozesskette, während jedes Modul seine lokale Steuerung behält. Über OPC UA, Maschinennetze und eine Online-Datenbank werden zellformatspezifische Parameter übertragen, gespeichert und in der Prozesskette nutzbar gemacht.

Damit entsteht die technische Basis, um Formatwechsel, Parameteranpassungen und perspektivisch auch datenbasierte Lern- und

Abb. 1: Flexible Batteriezellproduktion AgiloBat als modulares Produktionssystem.

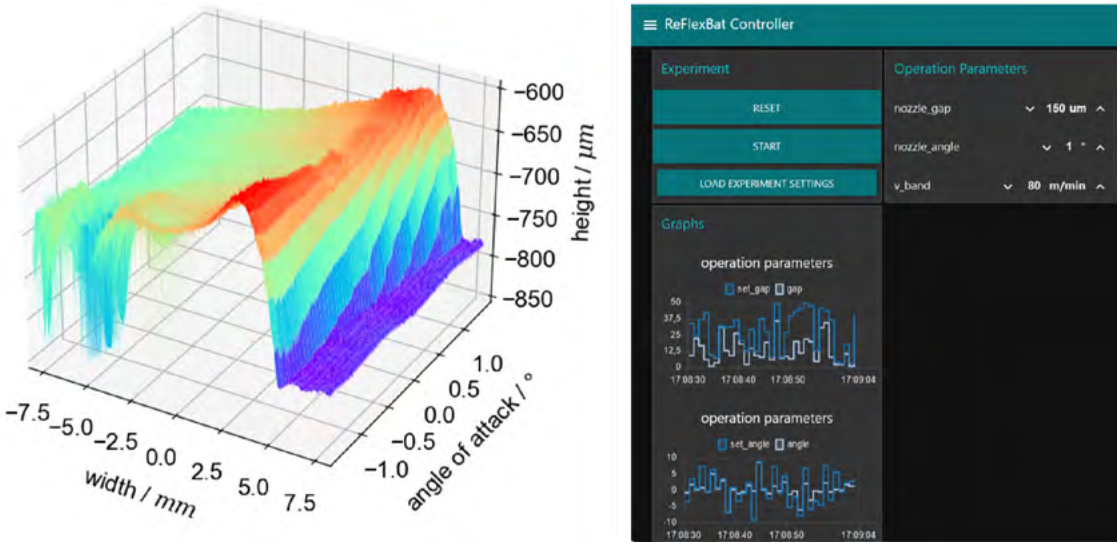


Abb. 2: Links ist das Beschichtungsprofil der Elektrode dargestellt, rechts die Softwareumgebung des Controllers zur automatisierten Einstellung der Beschichtungsparameter. Ziel ist eine stabilere Beschichtung und eine verbesserte Elektrodenqualität.

Optimierungsprozesse in der Batteriezellproduktion systematisch zu unterstützen.

KI-gestützte Prozessführung

Auf dieser Grundlage lässt sich der Hochlauf systematisch gestalten. Entscheidend ist, Prozesswissen mit Betriebsdaten zu verbinden. Statt Parameter ausschließlich manuell und erfahrungsbasiert zu suchen, werden Maschinen-, Prozess- und Qualitätsdaten genutzt, um Startwerte, stabile Prozessfenster und notwendige Anpassungen abzuleiten. Die Anlage wird dadurch nicht nur flexibel, sondern zunehmend lernfähig.

Wie dieser Gedanke in einem konkreten Prozessschritt umgesetzt wurde, zeigt das gemeinsam mit dem Fraunhofer IOSB durchgeführte Projekt ReFlexBat (Abbildung 2). Im Projekt wurde der Beschichtungsprozess als qualitätskritischer Schritt der Elektrodenfertigung betrachtet. Abbildung 2 zeigt links die Beschichtungsdicke auf einer Elektrode über die Breite der Beschichtung je nach Anstellwinkel der Düse. Zusammen mit weiteren Parametern wie Spaltbreite und Bahngeschwindigkeit beeinflusst dieser Winkel die Verteilung des nassen Beschichtungsfilms. Bereits kleine Abweichungen können zu Randschichtüberhöhungen, ungleichmäßiger Beschichtung und Ausschuss führen. In ReFlexBat haben wir daher KI-gestützte Strategien untersucht, um Einstellungen schneller zu finden und die Beschichtungsqualität zu stabilieren.

KI ersetzt dabei nicht das Prozessverständnis, sondern nutzt vorhandenes Wissen und existierende Messdaten. Mit Hilfe von Kameratechnik, Prozesssignalen und Qualitätsbewertung entsteht eine Regelungsstrategie, die den Anlauf verkürzen und Ausschuss reduzieren kann.

Während ReFlexBat einen einzelnen Prozessschritt betrachtet, führt der nächste Schritt zur adaptiven Prozessführung der gesamten Batteriezellproduktion. Produktionssysteme sollen künftig auf Störeinflüsse und veränderte Randbedingungen reagieren können. Effizienzverluste entstehen häufig, wenn Prozesse instabil oder nicht ausreichend anpassungsfähig sind. Hybride Modelle der Prozessführung verbinden analytisches Prozesswissen mit datengetriebenen Methoden. Sie berechnen Regelungsparameter, ermöglichen eine robuste Grundparametrierung und unterstützen die Nachjustierung im Betrieb. Digitale Zwillinge, Steuerungsdaten sowie Daten- und Informationsmodelle werden zu Enablern einer anpassungsfähigen Produktion.

Ausblick auf neue Zellchemien

Großes Potenzial bietet dieser Ansatz insbesondere für neue Zellchemien. Im Exzellenzcluster POLiS stehen post-Lithium-Technologien wie Natrium-Ionen-Batterien im Fokus. Da sich etablierte Prozessfenster nicht einfach auf neue Batteriematerialien übertragen lassen, müssen Materialeigenschaften, Prozessantworten und Qualitätsmerkmale systematisch neu verstanden und bewertet werden. Datengetriebene Ansätze können helfen, Prozess-Know-how schneller auf neue Materialsysteme zu übertragen. AgiloBat wird so zur Brücke zwischen Materialforschung und industrienaher Umsetzung.

1 Projektwebseite AgiloBat: https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/AgiloBat//index.php

AutoInspect

Multisensorielle Inspektion großer Werkstücke zur Inline-Qualitätskontrolle

Dr. Ilja Kaufmann

Optronik (OPT)

Tel. +49 7243 992-122
ilja.kaufmann
@iosb.fraunhofer.de

Dirk vom Stein

Business Developer
Advanced Sensing

Tel. +49 721 6091-524
dirk.vom.stein
@iosb.fraunhofer.de

Automatische Prüfverfahren der Qualitätssicherung sowie weiterführende Schritte in der Produktionskette benötigen Informationen über den Ist-Zustand eines Werkstücks. Aus verschiedenartigen Inspektionsverfahren liegen Daten dafür idealerweise in einem gemeinsamen 3D-Modell vor, einem Digitalen Zwilling.

Das Fraunhofer IOSB forscht dafür an optronischen Sensortechnologien, der automatischen – auch KI-gestützten – Auswertung der Messdaten sowie Systemtechnologien zur Prozessautomatisierung. Um sie zu verknüpfen, weiterzuentwickeln und in die Anwendung zu überführen, entstand in der Karlsruher Forschungsfabrik das System AutoInspect. Das eigenfinanzierte Projekt dient gleichermaßen als Entwicklungsumgebung wie als Demonstrator von Inspektions-Technologien für viele Produktklassen von PKW-Karosserien über Haushaltsgroßgeräte bis zu Flugzeugteilen.

Verortung der Messdaten

Zentrales Element zur Verortung aller Daten im 3D-Modell des Werkstücks ist eine kalibrierte 3D-Markeranordnung aus retroreflektierenden Kugeln an der Trägerplattform, einem Fahrerlosen Transportsystem (FTS). Eine Posenkamera erfasst diese Kugeln; aus dem Kamerabild berechnet die Systemsoftware dann exakt Position und Blickwinkel (sog. Pose) der Kamera in Relation zu den Marker-Kugeln und damit zum Werkstück. So lassen sich Messdaten aus einem mit der Posenkamera verbundenen optronischen Sensor eindeutig ins 3D-Modell abbilden.

Abb. 1: Deflektometriemessung im Displaybogen von AutoInspect.

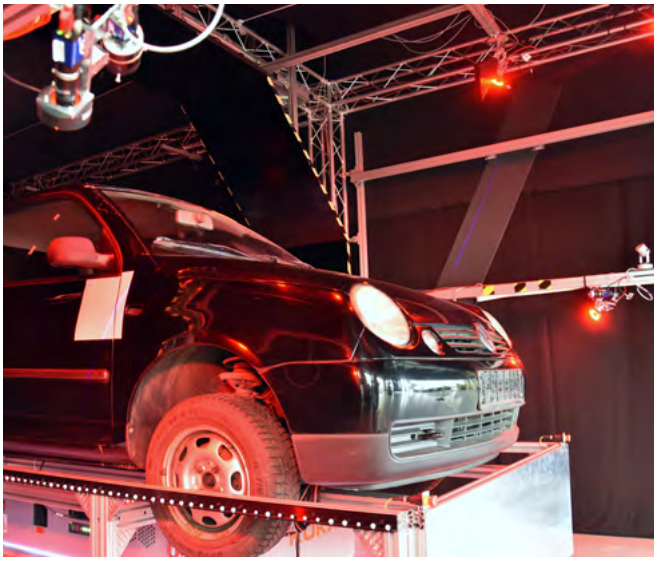


Abb. 2: 3D-Vermessung per Laserlinien-Triangulation. Anhand retroreflektierender Marker-Kugeln lokalisieren sich die Sensoren im Objekt-Koordinatensystem..

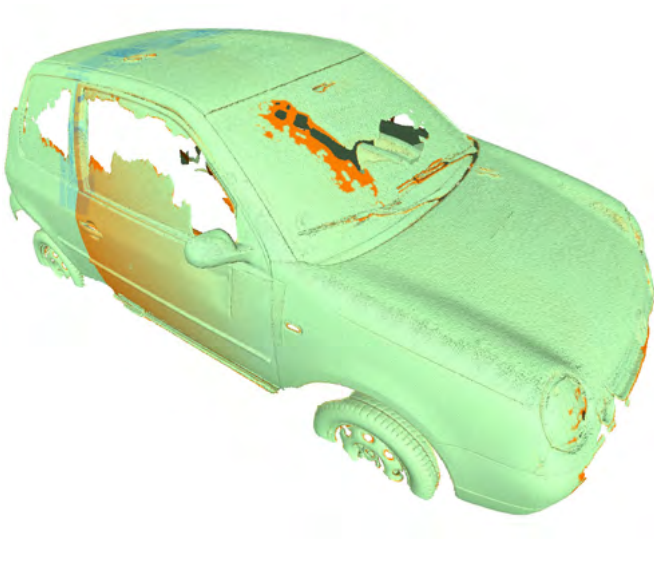


Abb. 3: 3D-Datensatz aus der Laserlinien-Triangulation. Orange: Geometrieabweichung vom Referenzmodell. Blau: Deflektometriedaten.

Als Anwendungsbeispiel bewegt das FTS in AutoInspect eine PKW-Karosserie von Sensorstation zu Sensorstation sowie für notwendige Scanvorgänge innerhalb der Sensorstationen. Die aktuellen Arbeitsschwerpunkte liegen auf der 3D-Vermessung großer Objekte im Durchlauf und auf der Deflektometrie. Grundsätzlich können nahezu beliebige zusätzliche Technologien in das modulare Konzept integriert werden. So waren bereits ein Ellipsometriesensor zur Lackschichtvermessung und eine AR-basierte Werkerinspektion Bestandteile im System.

3D-Vermessung

Die Laserlinien-Triangulation bietet bei relativ niedrigen Systemkosten eine hervorragende Auflösung, geringe Messunsicherheit und Wiederholrate. Für ausgedehnte Objekte benötigt sie jedoch eine große Triangulationsbasis zwischen Laser und Kamera sowie meist mehrere Module zur allseitigen Vermessung. Mit thermischer Ausdehnung, Materialspannungen und Vibrationen beim Scanvorgang kommt die mechanische Stabilität der Kalibrierung einer großräumigen Sensoranordnung schnell an ihre Grenzen. Im Eigenforschungsprojekt SKaLEV haben wir daher im Kontext von AutoInspect das Konzept der »Selbstkalibrierung« entwickelt: Laser und Triangulationskamera jedes Moduls werden mechanisch getrennt und jeweils mit einer Posenkamera kombiniert. Mit deren Information berechnet die Software die 3D-Profilpunkte der im Bild der Triangulationskamera detektierten Laserlinie unmittelbar im Koordinatensystem des Objekts – unabhängig von Störbewegungen der Sensorkomponenten. Durch die Bewegung des FTS setzt sich nach und nach ein vollständiges 3D-Bild zusammen.

Deflektometrie

Die Deflektometrie ist die Methode der Wahl, um spiegelnde, z. B. lackierte, Oberflächen auf Schäden und Unebenheiten zu prüfen. Eine Kamera beobachtet die Reflexion eines Musters, das ein Bildschirm über der Prüfoberfläche anzeigt. Aus den Verzerrungen des Musters im Spiegelbild kann auf die Geometrie der Prüfoberfläche und vorhandene Defekte geschlossen werden.

Zwei deflektometrische Messstationen sind derzeit Bestandteil des AutoInspect-Demonstrators: Ein Tor-artiger Monitorbogen ermöglicht die Erfassung der Ober- und Längsseiten des Prüfobjekts, während es das FTS schrittweise durch die Messstation fährt. Um auch Oberflächen zu vermessen, die dieser Anordnung geometrisch nicht zugänglich sind, bewegt ein Industrieroboter ein weiteres Deflektometriemodul – ebenfalls bestehend aus Display und zugeordneter Kamera. Für beide Varianten registriert jeweils eine zur Sensorik kalibrierte Posenkamera die Markeranordnung der Trägerplattform, um die Deflektometriedaten im 3D-Modell des Prüfobjekts zu verorten.

1 Projektwebseite AutoInspect: www.iosb.fraunhofer.de/autoinspect

KI-unterstützter Assistent für die manuelle Montage

Von automatischen Arbeitsanweisungen bis zur Zukunftsvision der humanoiden Assistenz

Dr.-Ing. Frederik Diederichs

Human-AI Interaction (HAI)

Tel. +49 721 6091-419
frederik.diederichs
@iosb.fraunhofer.de

Matthis Leicht

Human-AI Interaction (HAI)

Tel. +49 721 6091-158
matthis.leicht
@iosb.fraunhofer.de

Die manuelle Montage ist in vielen Industriezweigen nach wie vor unverzichtbar – insbesondere bei variantenreichen Produkten mit kleiner Stückzahl. Vollautomatisierte Lösungen stoßen hier an ihre wirtschaftlichen und technischen Grenzen. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Qualität, Flexibilität und Geschwindigkeit in der kostenintensiven Montage kleiner Losgrößen. Neue Produktvarianten müssen schnell in die Fertigung integriert werden, während erfahrene Fachkräfte immer schwerer zu finden sind.

Das Fraunhofer IOSB erforscht daher einen KI-basierten Montageassistenten, der Montageschritte von Menschen lernen, Werkerinnen und Werker in Echtzeit durch komplexe Montageprozesse führen, Fehler proaktiv erkennen und die Einarbeitung neuer Mitarbeitender drastisch beschleunigen soll. Mithilfe neuester KI-Methoden erfassen wir die Montageschritte und übersetzen dieses Prozesswissen in Tutorials und Arbeitsanweisungen für neue Mitarbeitende - und zukünftig auch für humanoide Roboter.

Vom Video zur Arbeitsanweisung

Ein zentraler Baustein des Systems ist die automatische Erstellung von Standard Operating Procedures (SOPs) aus Videoaufnahmen. Ein erfahrener Werker führt den Montageprozess einmalig vor der Kamera durch. Anschließend analysiert die KI das aufgenommene Video und extrahiert daraus eine vollständige,

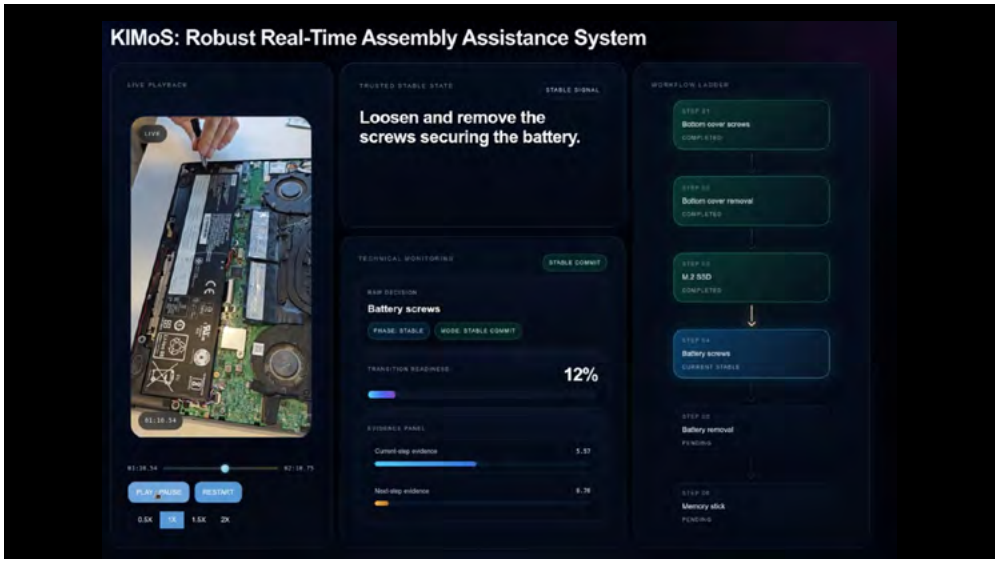


Abb. 1: Benutzeroberfläche des KIMoS-Montageassistenten. Links der Live-Videostream des Arbeitsplatzes, in der Mitte die Echtzeit-Analyse mit Schritterkennung und Konfidenzwerten, rechts die Workflow-Übersicht mit dem aktuellen Montagefortschritt.

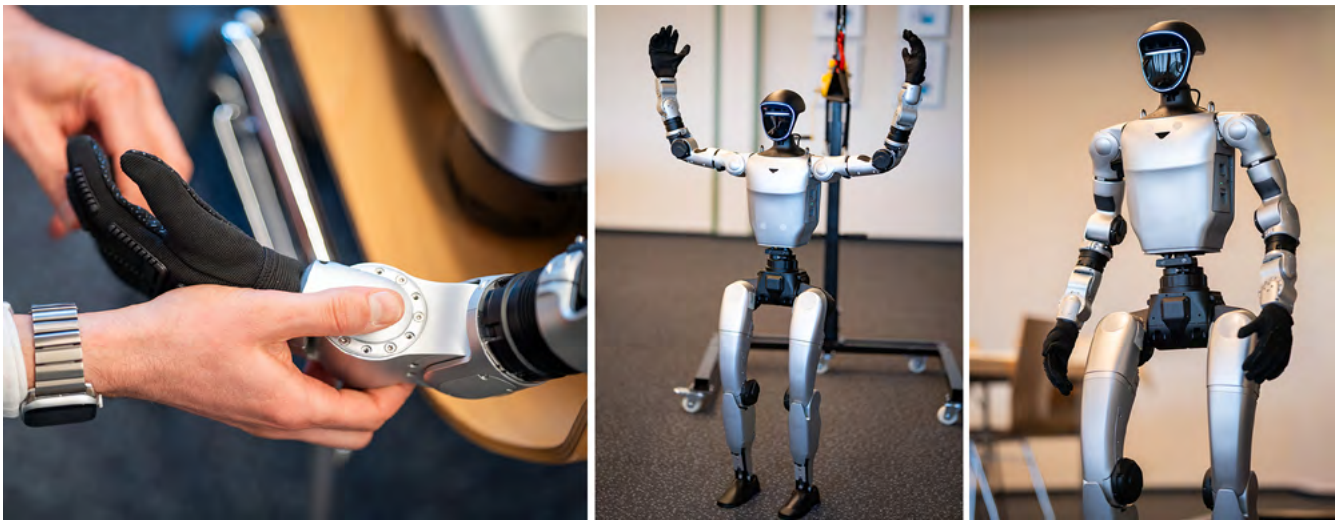


Abb. 2: Perspektivisch soll der Montageassistent humanoide Roboter für kollaborative Szenarien befähigen. Hier der Unitree G1 EDU-U3 des Fraunhofer IOSB.

strukturierte Schritt-für-Schritt-Anleitung – inklusive relevanter Handgriffe, Werkzeuge und Bauteile.

Der Nutzen ist unmittelbar spürbar: Erfahrene Mitarbeitende beschleunigen die Erstellung von Montageanleitungen für jedes Bauteil durch automatisierte Dokumentation. Neue Mitarbeitende benötigen keine Einarbeitung durch die schwer verfügbaren Experten mehr. Stattdessen erhalten sie vom System eine klar strukturierte Anleitung, die sie eigenständig durch den Prozess führt. Auch bei der Einführung neuer Produktvarianten zeigt sich der Vorteil: Ein einziges Demonstrationsvideo genügt, um innerhalb weniger Minuten eine aktualisierte SOP zu generieren und in der Produktion bereitzustellen.

Echtzeit-Schrittverfolgung – das System versteht den Prozess

Während der laufenden Montage überwacht der Assistent kontinuierlich den Videostream des Arbeitsplatzes und erkennt in Echtzeit, welcher Montageschritt gerade ausgeführt wird. Auf dem Bildschirm erhält der Werker eine sofortige Bestätigung des aktuellen Schritts sowie eine Vorschau auf den nächsten Arbeitsgang. So bleibt die Orientierung im Prozess jederzeit gewährleistet – auch bei komplexen Varianten mit zahlreichen Einzelschritten. Abbildung 1 zeigt einen Prototypen der Benutzeroberfläche.

Proaktive Fehlererkennung

Ein besonderer Mehrwert des Montageassistenten liegt in der frühzeitigen Fehlererkennung. Das System detektiert automatisch, wenn ein Bauteil fehlt oder fehlerhaft ist, wenn ein Montageschritt übersprungen oder in falscher Reihenfolge ausgeführt wird. In solchen Fällen erscheint unmittelbar ein visueller Hinweis auf dem Bildschirm und der Werker erhält auf Wunsch zusätzlich Korrekturanweisungen.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen sind erheblich: Nacharbeit, Ausschuss und Qualitätsmängel werden signifikant reduziert. Jedes einzelne Bauteil profitiert von einer durchgehenden und dokumentierten Prozessüberwachung, die klassische Stichprobenprüfungen wirkungsvoll ergänzt. Qualitätsmängel können bis zum einzelnen Montageschritt zurückverfolgt werden.

Ausblick – Montageassistenz durch humanoide Roboter

Die nächste Evolutionsstufe des Montageassistenten zielt auf die Integration von humanoiden Robotern. Das bestehende Assistenzsystem kann als kognitive Komponente auf einem humanoiden Roboter installiert werden, sodass dieser den aktuellen Montageschritt eigenständig erkennt. In einem kollaborativen Szenario könnte der Roboter dem Werker gezielt Bauteile und Werkzeuge anreichen, während der Mensch die feinmotorischen Montageschritte übernimmt. Langfristig ist auch eine vollständig autonome Durchführung kompletter Montagesequenzen denkbar.

Die Herausforderungen sind vielfältig: Das sichere Greifen unterschiedlichster Objekte in unstrukturierten Umgebungen, die präzise Hand-Auge-Koordination, die zuverlässige Kraftregelung beim Fügen empfindlicher Bauteile sowie die sichere Mensch-Roboter-Interaktion in geteilten Arbeitsräumen. Das Fraunhofer IOSB erprobt u. a. in Karlsruhe und Lemgo mit Industriepartnern den heutigen Stand der Wissenschaft und Technik, um Potenziale und Hürden frühzeitig zu identifizieren und Use Cases zu entwickeln, die in konkreten Montageabläufen gewinnbringend eingesetzt werden können – für eine Produktion, die flexibel, effizient und zukunftsfähig ist.

SafeInLoc

Software-definierte Sicherheit für dynamische Produktionsumgebungen

Dr.-Ing. Holger Flatt

Digitale Infrastruktur (DIS)

Tel. +49 5261 94290-31
holger.flatt
@iosb-ina.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Dennis Sprute

Digitale Infrastruktur (DIS)

Tel. +49 5261 94290-63
dennis.sprute
@iosb-ina.fraunhofer.de

Flexible Produktionsumgebungen gelten als Schlüssel für die Fabrik der Zukunft: Matrixfertigung, häufige Produktwechsel, fahrerlose Transportsysteme und enge Mensch-Roboter-Kollaboration verändern den Betrieb von Anlagen grundlegend. Klassische Sicherheitskonzepte stoßen dabei an ihre Grenzen. Fest installierte Zäune, Lichtschranken oder Sicherheitslaserscanner sind für starre Layouts ausgelegt und lassen sich nur mit erheblichem Aufwand anpassen.

Sicherheit von der Hardware entkoppeln

SafeInLoc, das wir am Fraunhofer IOSB entwickelt haben, adressiert genau diese Lücke. Die Kernidee: Sicherheitszonen sind nicht mehr an einzelne Sensoren gebunden, sondern vollständig in Software definiert. Dafür verbindet das System zwei Technologien (siehe Abb. 1): Ultrabreitband-Funktechnik (UWB) lokalisiert Sender an Personen, Transportfahrzeugen und Werkstücken in Echtzeit. Parallel erkennen RGB-Kameras Personen, verfolgen ihre Bewegungen und projizieren die Positionen auf die Hallenebene.

Beide Datenströme laufen in einer zentralen Softwareplattform zusammen, die auf omlox basiert – einem offenen Industriestandard für Echtzeit-Lokalisierung. Der Standard definiert einheitliche Schnittstellen, über die unterschiedliche Ortungstechnologien herstellerunabhängig Daten austauschen. Das Herzstück ist der omlox Hub – eine Middleware, die Positionsinformationen entgegennimmt, redundante Daten fusioniert, Inkonsistenzen erkennt und ein einheitliches Lagebild bereitstellt.

Vom Lagebild zur Schutzzone

Auf Basis dieses Lagebilds lassen sich Sicherheitszonen über eine Weboberfläche anlegen

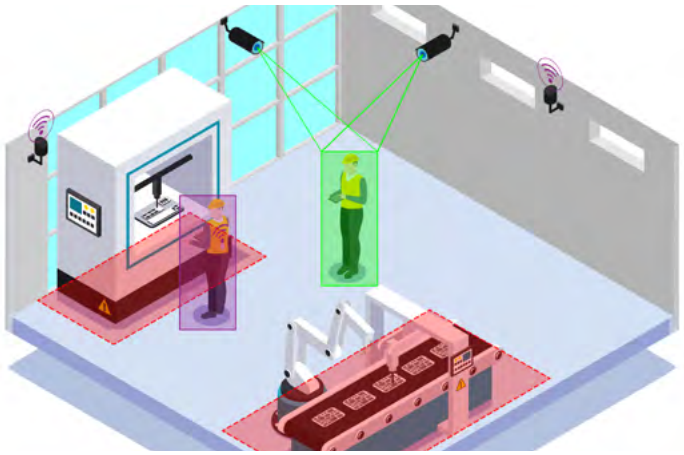


Abb. 1: SafeInLoc-Architektur: Multi-modale Objektlokalisierung mit definierten Sicherheitszonen.

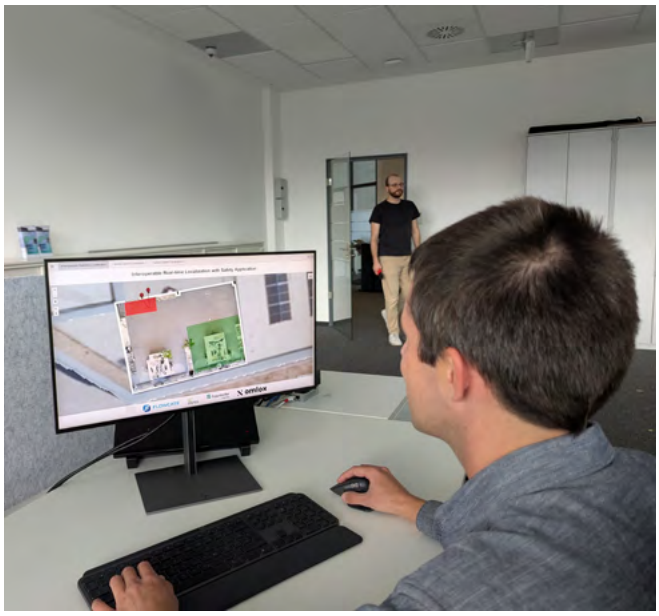


Abb. 2: Konfiguration dynamischer Sicherheitsbereiche über die Weboberfläche.

Abb. 3: SafeInLoc-Einsatz in der SmartFactoryOWL.

und verwalten (siehe Abb. 2). Statische Schutzbereiche werden als Polygone auf dem digitalen Hallenplan definiert. Dynamische Schutzfelder bewegen sich mit mobilen Systemen wie fahrerlosen Transportfahrzeugen und passen Größe und Form automatisch an Geschwindigkeit und Fahrtrichtung an. Die Plattform erkennt in Echtzeit, ob eine Person einen Schutzbereich betritt, und löst definierte Reaktionen aus – von Warnsignalen bis zur Abschaltung einer Anlage.

Neue Schutzzonen entstehen somit per Mausklick, bestehende lassen sich in Sekunden anpassen. Wird eine Produktionszelle umgerüstet, muss keine Hardware versetzt werden. Die Sicherheit folgt dem Prozess – nicht umgekehrt.

Erprobt in zwei Forschungsfabriken

Die Technologie haben wir in der SmartFactoryOWL in Lemgo und der Forschungsfabrik Karlsruhe systematisch erprobt (siehe Abb. 3). UWB-Infrastruktur, Kamerasysteme, Edge-Rechner und die zentrale Softwareplattform bilden dort ein durchgängiges System: Personen und Objekte werden auf dem Shopfloor verfolgt, Sicherheitszonen konfiguriert und Schutzfeldverletzungen an stationären Anlagen sowie an einem fahrerlosen Transportfahrzeug visualisiert.

Auf dem Weg zur funktionalen Sicherheit

Damit softwaredefinierte Schutzzonen fest installierte Sicherheitstechnik ersetzen können, muss das System die strengen Anforderungen der funktionalen Sicherheit erfüllen. SafeInLoc verfolgt zwei parallele Ansätze: Einzelne Lokalisierungskomponenten sollen zertifizierbar sichere Positionsdaten liefern. Zugleich wird an einer Architektur gearbeitet, in der die zentrale Plattform Sensorinformationen plausibilisiert, fusioniert und daraus eine funktional sichere Position ableitet. Seit Juli 2024 leitet das Fraunhofer IOSB-INA die omlox Working Group Safety mit dem Ziel, Anforderungen für einen künftigen Sicherheitsstandard zu erarbeiten.

Nächster Schritt: die reale Produktion

Als Pilotanwender wird die IWN GmbH & Co. KG in Bielefeld SafeInLoc zur Absicherung eines robotergestützten Prüfprozesses einsetzen. Das System soll dort flächendeckend den Arbeitsbereich überwachen, während ein bestehender Sicherheitslaserscanner als Rückfallebene fungiert.

Mehr als nur Sicherheit

SafeInLoc [1] liefert einen modularen Werkzeugkasten für sichere Indoor-Lokalisierung: wiederverwendbare Bausteine, standardisierte Integrationsmethoden und eine erprobte Systemarchitektur. Die permanente Positionserfassung eröffnet über den Personenschutz hinaus vielfältige Anwendungen – von der Optimierung innerbetrieblicher Transportwege über intelligentes Energiemanagement bis zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung. Sicherheit wird damit Teil einer umfassenden, datengetriebenen Produktionssteuerung.

1 Weitere Informationen: https://www.iosb-ina.fraunhofer.de/safeinloc und https://www.iosb.fraunhofer.de/safeinloc

GLUE

Ein Framework für den sicheren Datenaustausch in industriellen Produktionsprozessen

Dr.-Ing.
Paul-Georg Wagner

Informationsmanagement
und Leittechnik (ILT)

Tel. +49721 6091-220
paul-georg.wagner
@iosb.fraunhofer.de

Dr.-Ing.
Pascal Birnstill

Informationsmanagement
und Leittechnik (ILT)

Tel. +49721 6091-612
pascal.birnstill
@iosb.fraunhofer.de

Vernetzte Produktion – Chancen und Risiken

Mit der zunehmenden Vernetzung von industriellen Produktionsprozessen fällt dem unternehmensübergreifenden Datenaustausch eine immer größere Bedeutung zu. Die Chancen dieser Entwicklung liegen auf der Hand: Eine engere Verzahnung von Lieferketten – insbesondere in Kombination mit einer verbesserten Datentransparenz in der Supply Chain – ermöglichen geringere Durchlaufzeiten, schnellere und zielführendere Reaktionen auf Qualitätsprobleme sowie eine ganzheitliche Prozesssteuerung über Unternehmensgrenzen hinweg. Durch den gemeinsamen Zugriff auf Produktions- und Logistikdaten können darüber hinaus Wartungsarbeiten nachhaltig optimiert und eine effizientere Ressourcennutzung erreicht werden. Allerdings ergeben sich durch die Weiterleitung von Produktionsdaten an Partnerunternehmen auch Risiken. Insbesondere im Bereich der Datensicherheit steht für datengebende Unternehmen viel auf dem Spiel – von Haftungs- und Verantwortlichkeitsfragen bis hin zum Verlust wertvoller Intellectual Property an Mitbewerber. Auch regulatorische Anforderungen und Kosten für Governance und Compliance stellen noch immer Hindernisse in der kollaborativen Datenverarbeitung dar.

Sichere Datenräume als Grundlage für vertrauenswürdiges Data Sharing

Um diese Probleme zu lösen, bedarf es sicherer und vertrauenswürdiger Datenraumarchitek-

Abb. 1: Der GLUE-Demonstrator auf der Hannovermesse 2025.

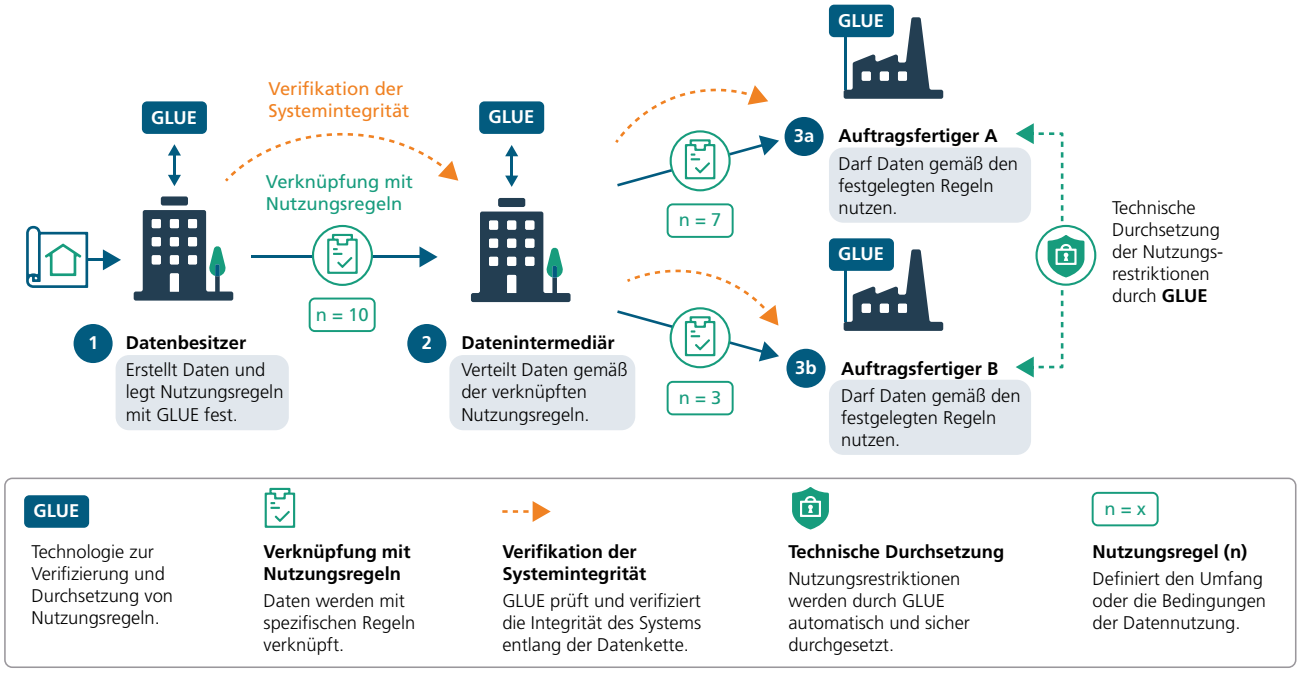


Abb. 2: End-to-End-Systemintegrität mit GLUE: Verifikation, Regelverknüpfung und sichere Durchsetzung von Datennutzungsrichtlinien entlang der gesamten Datenwertschöpfungskette.

turen, in denen die Supply-Chain-Teilnehmer mittels standardisierter Protokolle und Schnittstellen klare Data-Sharing-Vereinbarungen treffen und auf technischer Ebene durchsetzen können. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei der Technologie der Nutzungskontrolle zu. Nutzungskontrolle ist eine Weiterentwicklung der Zugriffskontrolle, die es ermöglicht, Daten auch während ihrer Verarbeitung in fremden Systemen vor missbräuchlicher Verwendung zu schützen. Dazu werden zunächst Sicherheitsrichtlinien aufgestellt, die die konkreten Regeln für eine legitime Nutzung der zu schützenden Daten beinhalten. Diese Nutzungsregeln werden dann automatisiert an alle datenempfangenden Systeme übertragen und dort durch Nutzungskontrollkomponenten umgesetzt. So ist es möglich, selbst in domänenübergreifenden Datenverarbeitungsprozessen jederzeit die volle Kontrolle über den eigenen Datenbestand zu behalten (Datensouveränität). Eine besondere Herausforderung liegt dabei in der Sicherstellung der Vertrauenswürdigkeit der zugrundeliegenden Infrastruktur, um Manipulationen an den übertragenen Regeln oder den ausführenden Nutzungskontrollkomponenten zu verhindern.

GLUE als Lösung für verteilte Nutzungskontrolle

Im Projekt GLUE (Generalized Lightweight Usage Control Enforcement) entwickeln wir gemeinsam mit dem Fraunhofer AISEC und dem Fraunhofer ISST Lösungen für den Einsatz von verteilter Nutzungskontrolle im Bereich des Manufacturing-as-a-Service (MaaS). Moderne 3D-Druckverfahren erlauben es beispielsweise, benötigte Ersatzteile für Industrieanlagen bei Bedarf durch einen Dienstleister vor Ort herstellen zu lassen. Die Blaupausen der zu druckenden Ersatzteile müssen dafür vom Hersteller der Anlage geliefert werden. Da diese jedoch in der Regel sensibles Know-how beinhalten, dürfen sie nicht in falsche Hände gelangen. Zudem muss verhindert werden, dass der ausführende Dienstleister das Ersatzteil häufiger druckt als bestellt, um den Überschuss unter der Hand zu verkaufen.

GLUE bietet eine technische Lösung für dieses Problem: Mittels verteilter Nutzungskontrolle kann verhindert werden, dass der Druckdienstleister die empfangenen Blaupausen weiterleitet, kopiert oder häufiger herstellt als vereinbart. Als Rechtebeschreibungssprache setzen wir eine erweiterte Fassung der verbreiteten Open Digital Rights Language (ODRL) ein. Zudem beinhaltet das GLUE-Framework auf Confidential Computing-basierende Mechanismen, um die Integrität der Nutzungskontrollinfrastruktur zu sichern. Diese gewährleisten, dass die übertragenen Daten nur in einer vertrauenswürdigen von GLUE kontrollierten Umgebung im Klartext lesbar sind und stets gemäß den Nutzungsregeln ausgewertet werden.

1 Weitere Informationen unter: https://www.iosb.fraunhofer.de/glue

Drohnen im Praxistest: Testfeld in der Karlsruher Forschungsfabrik

Einsatz von Drohnen und Drohnenverbünden

Matthias Kollmann

Interoperabilität und Assistenzsysteme (IAS)

Tel. +49 721 6091-241
matthias.kollmann
@iosb.fraunhofer.de

Wilmuth Müller

Interoperabilität und Assistenzsysteme (IAS)

Tel. +49 721 6091-462
wilmuth.mueller
@iosb.fraunhofer.de

Drohnen bieten ein breites Anwendungsspektrum. So werden sie in der Landwirtschaft, der Bau- und Industriebranche für Vermessung, Kontrolle und Inspektionsaufgaben eingesetzt, ermöglichen eine verbesserte Datenerhebung in der Umweltüberwachung und können dazu beitragen, Logistikprozesse schneller, kostengünstiger und zuverlässiger zu gestalten. Ebenso können Drohnen vielfältig eingesetzt werden, um Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben zu unterstützen, kritische Infrastrukturen zu schützen und für Aufgaben im militärischen Umfeld. Drohnen bieten verbesserte, flexible und risikominimierende Möglichkeiten, entscheidungsrelevante Informationen zu gewinnen, Einsatzlagen zu beurteilen und spezifische Maßnahmen (teil-) autonom durchzuführen.

Ein besonderes Potenzial bietet zukünftig auch der Einsatz von intelligenten Drohnenverbünden (Drohnenschwärmen), die in der Lage sind, sich intern zu koordinieren, um komplexe Aufgaben kooperativ zu bearbeiten. Durch das Team wird ein höherer Mehrwert erreicht, als durch die Einzelsysteme möglich wäre.

Aufbau des Testfeldes

Um aktuelle Technologien, Algorithmen und Szenarien für Drohnen und Drohnenverbünde zu erforschen, sie sicher und kontrolliert zu erproben und zu verbessern, hat das Fraunhofer IOSB an der Karlsruher Forschungsfabrik ein Indoor-Drohnentestfeld aufgebaut (siehe Abb. 1 und 2).

Das Testfeld umfasst einen Flugbereich von rund 5x15 m und 3,5 m in der Höhe, innerhalb dessen ein sicherer Flugbetrieb gewährleistet ist. Zusätzlich haben wir verschiedene Lokalisierungssysteme und eine WLAN- und Netzwerk-Infrastruktur so installiert, dass eine

Abb. 1: Drohnenschwarm im Testfeld.

Abb. 2: Testfeld in der Forschungsfabrik.

Abb. 3: Drohne im Testfeld.

Basisinfrastruktur für unterschiedliche Einsatzzwecke vorhanden ist. Der zufällig strukturierte Untergrund am Boden ermöglicht die Nutzung von visueller Odometrie. Mobile Hindernisse und zusätzliche Elemente wie maßstabgetreue Landfahrzeuge oder Landschaftselemente können je nach Bedarf eingebracht werden.

Aktuelle Drohnentypen im Testfeld

Zur initialen Ausstattung des Testfeldes haben wir eine Serie von unterschiedlichen Drohnen beschafft. Diese lassen sich in drei Kategorien einteilen:

1. Kompakte Drohnen mit 100 mm Motorabstand und einem Abfluggewicht von unter 100 g. Diese können auch in großer Stückzahl (10+) im Testfeld betrieben werden. Ein besonderes Augenmerk wurde hier auf den einfachen Betrieb des Einzelsystems und günstige Betriebskosten gelegt.
2. Mittlere Drohnen mit 250 mm Motorabstand und einem Abfluggewicht von circa 1 kg. Während die kompakten Drohnen noch eine zentrale Steuerung vorrausetzen, ist ab dieser Kategorie eine Onboard-Steuerung über die eigene Sensorik realisiert, bei der sich die Systeme eigenständig im Raum stabilisieren und lokalisieren können.
3. Große Drohnen mit 500 mm Motorabstand und einem Abfluggewicht von circa 3 kg. Im Gegensatz zu der mittleren Kategorie können die großen Systeme zusätzliche Nutzlasten aufnehmen. Hierbei handelt es sich meist um Sensoren, aber auch spezielle Aktoren, die zur Erfüllung der Mission notwendig sind. Aktuell sind zwei Nutzlasttypen verfügbar: ein Laserscanner zur Kartierung der Umgebung, um eine Pfadplanung im unbekannten Terrain zu ermöglichen, und Meshed-Kommunikationsmodule, um ein Adhoc-Netzwerk aufzubauen, das Relay-Kommunikation ermöglicht.

Alle Drohnen lassen sich mittels ROS (Robot Operating System) steuern, einer Robotik-Middleware, die sich als Quasi-Standard für autonome Plattformen etabliert hat und kontinuierlich weiterentwickelt wird.

Verwendung des Testfeldes

Bei der Planung und Ausgestaltung des Testfelds wurde ein besonderer Fokus auf die Erweiterbarkeit gelegt (Sensoren, Verfahren, Ausstattung), sodass auch zukünftige Anwendungsszenarien und Bedarfe abgedeckt werden können.

Das Testfeld ermöglicht es insbesondere, Schwarmintelligenz für heterogene Drohnenverbünde zu erforschen, zu erproben und erfahrbar zu machen. Ein aktueller Forschungsfokus des Fraunhofer IOSB liegt dabei auf dem Einsatz aktueller KI-Verfahren wie großer Sprachmodelle (LLM), um Intelligenz und Flexibilität von Drohnen und Drohnenverbünden weiter zu steigern und zusätzlich die Bedienbarkeit auch für nicht spezifisch geschultes Personal zu verbessern.

Schwenkprüfstand – Innovation zur Validierung elektrischer Antriebe für Luftfahrtanwendungen

eVTOL-Antriebssysteme realitätsnah testen

Dr. Lars-Fredrik Berg

Fraunhofer ICT

Tel. +49 721 4640-527
lars-fredrik.berg
@ict.fraunhofer.de

Simon Dillmann

Fraunhofer ICT

Tel. +49 721 4640-597
simon.dillmann
@ict.fraunhofer.de

Die Elektrifizierung der Luftfahrt gilt als Schlüsseltechnologie für nachhaltige Mobilitätskonzepte, insbesondere im Bereich urbaner Luftmobilität. Gleichzeitig stellt die Validierung entsprechender Antriebssysteme Entwickler vor neue Herausforderungen.

Gemeinsame Entwicklung für die Zukunft der Luftfahrt

Im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts ALBACOPTER® [1] wurde ein Validierungskonzept für Luftfahrtanwendungen entwickelt. Dabei konzipierte das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT einen Schwenkprüfstand, um die im ALBACOPTER®-Projekt entwickelten Antriebe zu testen (Abb. 1). Das Fraunhofer IOSB integrierte die Hardware-in-the-Loop-Simulation OCTAS® [2], die unter anderem zur Ansteuerung des Prüfstands verwendet wird. Der Prüfstand stellt einen wichtigen Fortschritt bei der Validierung und Entwicklung elektrischer Antriebssysteme für Drohnen und eVTOL-Fluggeräte (electric Vertical Take-Off and Landing) dar. Das Projekt soll innovative Lösungen für urbane Luftmobilität ermöglichen und die Entwicklung leistungsfähiger Antriebstechnologien beschleunigen.

Simulation trifft Realität: Hardware-in-the-Loop

Die flexible Schwenkfunktion des Prüfstands erlaubt klassische Leistungstests ebenso wie effiziente und umfassende Dauer- und Belastungstests unter realen Einsatzbedingungen. Da die Prüfstandsaktuatorik an das Simulations-

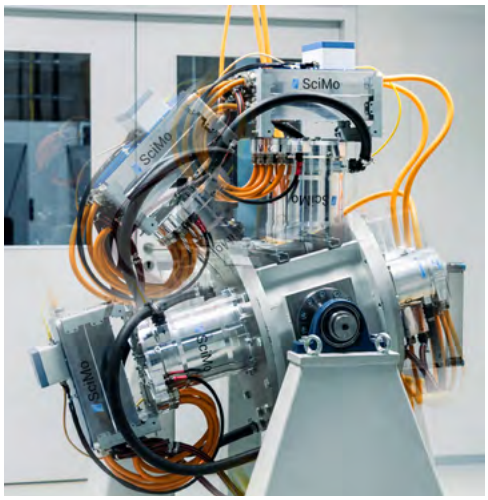


Abb. 1: Schwenkprüfstand mit Schwenkbereich +/- 90°.

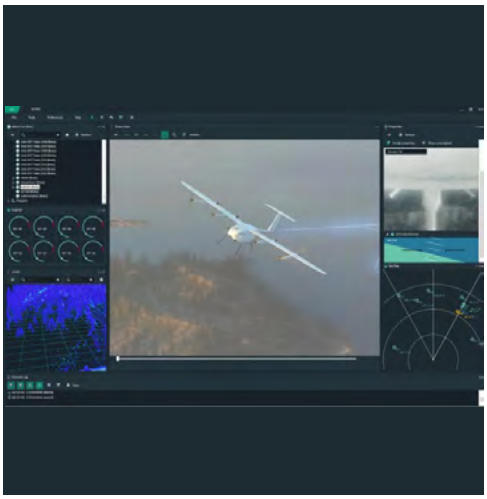
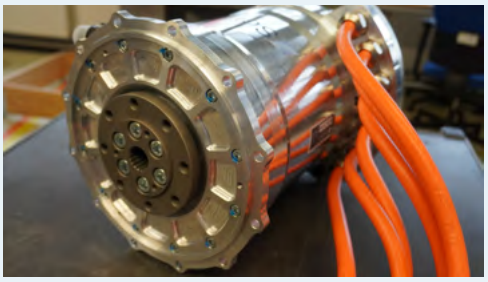
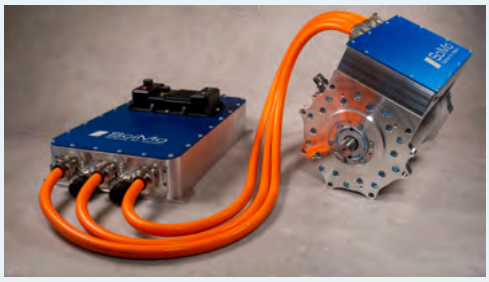


Abb. 2: ALBACOPTER®-Lastendrohne in der OCTAS Simulationsumgebung.





Lastmaschine	SciMo SY62 – high torque	SciMo SY33.A – high speed
	6-phasig	3-phasig
Drehzahlbereich	0–6000 U/min	0–40.000 U/min
Drehmoment (Dauer)	240 Nm @6.000 U/min	18 Nm @25.000 U/min
Drehmoment (Max.)	500 Nm @6.000 U/min	30 Nm
Leistung (Dauer)	70 kW @2.500 U/min	70 kW @40.000 U/min
Leistung (Max.)	300 kW @6.000 U/min	100 kW @40.000 U/min
Anwendung	Direktantriebe z. B. mit Außenläufermotor, Hochdrehzahlantriebe mit Untersetzungsgetriebe	Hochdrehzahlantriebe

Tab. 1: Übersicht der technischen Highlights.

system OCTAS® des Fraunhofer IOSB angebunden ist, können Hardware-in-the-Loop-Tests durchgeführt werden: Dabei interagieren reale Antriebe synchron mit virtuellen Simulationsszenarien und -umgebungen. So entstehen neue Möglichkeiten zur Testgestaltung und praxisnahe Validierungen in simulierten Flugmissionen (Abb. 2).

Technische Highlights auf einen Blick

Der modulare Aufbau des Prüfstands mit zwei unterschiedlichen Lastmaschinen des Partners SciMo erlaubt es, verschiedene Antriebstopologien zu erproben. Eine Übersicht über die Lastmaschinen ist in Tabelle 1 abgebildet.

Mehrwert für Entwickler: flexible Prüfoptionen

Der Prüfstand ermöglicht Tests von Antriebssystemen unter realitätsnahen Betriebsbedingungen bereits in frühen Entwicklungsphasen. Ein zentrales Merkmal ist die Fähigkeit, den Prüfling – einen Propellermotor – während des Betriebs um eine oder zwei Achsen zu schwenken. Bei der Prüfung lassen sich dabei bewegungsabhängige Effekte wie Kühlung und Schmierung ebenso untersuchen wie das Verhalten bei Lastwechseln und in unterschiedlichen Lagezuständen. Durch die Kopplung mit der Simulation können Versuche reproduzierbar ausgeführt und gezielt parametriert werden. Dadurch sind weniger physische Versuchsaufbauten notwendig und Entwicklungsabläufe lassen sich effizienter strukturieren.Die verfügbare Messtechnik ist nachfolgend gelistet:

Messtechnik

Messgerät	Funktion	Parameter
AVL X-ion™	Leistungsmessgerät	AC-Strom- und -Spannungsmessung mit HVP- & CSS-Box
Kistler 4503B	Drehmomentaufnehmer	bis zu 50.000 U/min 0,2–5.000 Nm
HBK T12	Drehmomentaufnehmer	bis zu 22.000 U/min 100–10.000 Nm

Tab. 2: Übersicht über die verfügbare Messtechnik..

Zielgruppen und Anwendungsspektrum

Der Prüfstand ist für Unternehmen und Forschungseinrichtungen relevant, die elektrische Antriebssysteme für die Luftfahrt entwickeln und validieren. Auch Entwickler, die reale Hardware in virtuellen Simulationsumgebungen untersuchen wollen, profitieren von den Hardware-in-the-Loop-Tests. Dazu zählen Hersteller von Drohnen und eVTOL-Flugzeugen, Zulieferer für Antriebskomponenten, Ingenieurbüros sowie Universitäten und Institute mit Fokus auf Luftfahrttechnik und Elektromobilität.

1 Projektwebseite ALBACOPTER®: https://www.albacopter.fraunhofer.de

2 Projektwebseite OCTAS®: https://octas.org

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