

# interaktiv

DAS KUNDENMAGAZIN DES FRAUNHOFER IPA | AUSGABE 2.2022



Flexibel und produktiv durch  
die Matrixproduktion

Ressourcen sparen mit dem  
virtuellen Lacklabor

KI unter Kontrolle

# Alle Nachrichten auf einen Klick

# interaktiv online

[interaktiv.ipa.fraunhofer.de](https://interaktiv.ipa.fraunhofer.de)

**Liebe Leserinnen und Leser, liebe Kunden des IPA,**

wir freuen uns am IPA über die gegenwärtigen Lockerungen und wiedererlangten Freiheiten. Masken verschwinden zunehmend aus unserem Blickfeld, Kongresse, Tagungen gehören bald wieder unreguliert zu unserem Alltag und gemeinsame Feste und Reisen sind künftig wieder unbeschwert und selbstverständlich möglich.

Die Zuversicht, dass wieder Normalität einkehrt, nehmen wir auch aus unseren Forschungserfolgen. Wir haben in unseren Entwicklungen am IPA systematisch Platz für den Wandel geschaffen. Denn wir täuschen uns nicht darüber hinweg, dass sich künftig alles noch öfter, schneller und immer stärker verändert.

Wie solche Innovationen aussehen können, lesen Sie in diesem Heft. Dort stellen wir Ansätze, Projekte und Best Practices vor, wie wir und unsere Kunden mit Wandel umgehen. Die Matrixproduktion steht dieses Mal im Mittelpunkt. Sie wird Flexibilität mit Produktivität, die mit gerade noch einem Prozent Wachstum zusehends schwächelte, neu verbinden. Modularität in der Fertigung und Werker-Assistenzsysteme werden die Menschen in der Produktion unterstützen, mit den unvorhersehbaren Entwicklungen umzugehen. Wir bleiben dran – für Sie und Ihr Unternehmen.

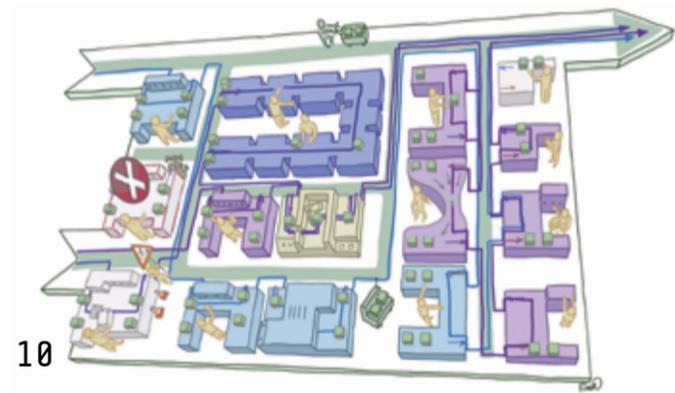
Wir wünschen Ihnen eine ruhige Weihnachtszeit und einen entspannten Jahreswechsel.

Ihr Thomas Bauernhansl und Ihr Alexander Sauer



Alexander Sauer

Thomas Bauernhansl



10

**Ohne Band und Takt:**

## Flexibel und produktiv durch die Matrixproduktion

Schneller auf globale Krisen reagieren, mit Lieferengpässen zurechtkommen und gleichzeitig auf individuelle Kundenwünsche reagieren: Matrixproduktionssysteme bieten sich als Lösungsansatz für eine wirtschaftliche Produktion an.



34

## Batteriezellenproduktion mit Digitalen Zwillingen updaten

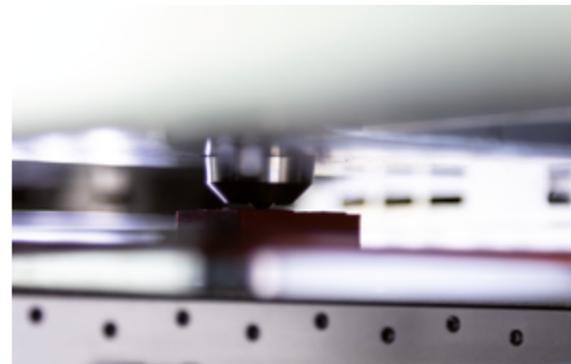
Ein Forschungsteam am Zentrum für Digitalisierte Batterie-zellenproduktion des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA hat im aktuell erschienenen »Handbook on Smart Battery Cell Manufacturing« dargestellt, wie sich durch eine Digitalisierung der Fertigung nicht nur Produktionsprozesse optimieren, Material sowie Energie einsparen lassen, sondern auch die Lebensdauer der Akkus verlängert werden kann.



26

## Die Fledermaus steht Pate bei der Digitalen Transformation: Ressourcen sparen mit dem virtuellen Lacklabor

Digitale Simulationen statt Trial and Error: Im Projekt PaintVisco modellieren Forschende am IPA die Entwicklung und Verarbeitung von Lacken. Die Daten dafür liefert ein neu konzipiertes Rheometer, mit dem sich erstmals exakt die viskoelastischen Eigenschaften von Lacken beim Trocknen und Aushärten messen lassen – Vorbild bei der Technologie-Entwicklung war dabei die Echo-Ortung der Fledermaus.



40

## KI unter Kontrolle

Produkte, die Künstliche Intelligenz (KI) nutzen, sollen gesetzeskonform entwickelt werden und nachvollziehbare Ergebnisse liefern. Dies stärkt das Vertrauen in die Technologie und macht sie breiter einsetzbar. Ein Audit des Fraunhofer IPA hat nun einem Produkt der Firma Experian – dem »Transaction Miner« als Teil einer Betrugspräventionslösung – diese Eigenschaften bestätigt.

## Editorial

von Thomas Bauernhansl und Alexander Sauer

3

## Plattform

Nachrichten und Notizen

6

## Titel

Ohne Band und Takt: Flexibel und produktiv durch die Matrixproduktion

10

## FuE

Matrixproduktionssysteme machen Fabriken fit für die Zukunft

15

## Interview

Go with the Flow: Matrixproduktion im Fluss

16

## FuE

Rein, reiner, »Reiner!«

19

Mobile Robotik als Schlüssel zur Matrixproduktion

20

## Reportage

Ein Tag mit Dennis Bauer

22

## Blickpunkt

Ressourcen sparen mit dem virtuellen Lacklabor

26

## Reportage

Hoher Besuch: Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger im Future Work Lab

28

Produktionsarbeit der Zukunft, Ausbau einer transatlantischen Kooperation mit dem MIT

31

## FuE

Batteriezellenproduktion mit Digitalen Zwillingen updaten

34

## Gastkommentar

Energie – das Schmiermittel unserer Gesellschaft von Vince Ebert

36

## FuE

Biointelligenter Sensor misst virale Aktivität

38

Roboter CURT beackert die Felder

39

## Im Gespräch

KI unter Kontrolle

40

»Durch Maschinelles Lernen stehen uns neue Werkzeuge zur Verfügung«, im Gespräch mit Martin Baumann

44

## FuE

Ersatzteile für Elektrofahrräder aus dem 3D-Drucker

46

Anwenderleitfaden »Qualitätssicherung in der additiven Materialextrusion«

47

## Interview

»Meine Arbeit soll einen Impact haben«, Interview mit Jens Langejürgen

48

## Impressum

50

## Platz 1 fürs IPA beim FIT2clean-Award 2022



*Dr. Markus Rochowicz hat Grund zur Freude: Platz 1 fürs IPA beim FIT2clean-Award 2022.*

Große Freude bei IPA-Gruppenleiter Markus Rochowicz. Der Fachverband industrielle Teilereinigung e.V. (FIT) lobte in diesem Jahr erstmalig den Fit2clean Award aus und das IPA gewann den ersten Platz. JOT schreibt in seinem Nachbericht: »Was zuerst absurd erscheinen mag – das brennbare Gas Butan als Reinigungsmedium zu verwenden – zeigt bei näherer Betrachtung eine Vielzahl von Potenzialen für einen energiesparenden Teilereinigungsprozess. Butan wird bei leichtem Überdruck (circa 5 bar) flüssig und besitzt dann bereits bei Raumtemperatur neben einer hervorragenden Spaltgängigkeit auch ein sehr hohes Lösevermögen für Öle. Bei Entspannung auf Normaldruck verdampft es, sodass eine gesonderte Trocknung der Bauteile entfällt – ebenso wie eine eventuelle Kühlstrecke. Sogar die Trocknung erfolgt absolut rückstandsfrei. Darüber hinaus lässt sich die bei der Verdampfung freigesetzte Kälte zur Kühlung anderer Prozesse einsetzen.«

### Mehr dazu:

<https://www.jot-oberflaeche.de/branche/premiere-fit2clean-award-2022-geht-an-3264881.html>

## Französische Delegation im KI-Fortschrittszentrum



*Der »AI Picking«-Demonstrator zeigt die KI-gestützte Vereinzelung von Werkstücken durch einen Roboter.*

Ende Juni besuchten hochrangige Gäste das KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik« der Fraunhofer-Institute IPA und IAO in Stuttgart-Vaihingen. Vertreter und Vertreterinnen der französischen Botschaft sowie des »Cour des Comptes«, des französischen Rechnungshofs, informierten sich über die Einrichtung und deren erfolgreiche Transferformate und konnten KI- sowie Roboterdemonstrationen live erleben.

Wie gelangen neueste Ergebnisse aus der Spitzenforschung rund um Künstliche Intelligenz (KI) und Robotik in die Anwendung, um Unternehmen im globalen Wettbewerb technologisch optimal aufzustellen? Mit dieser Frage beschäftigt sich nicht nur das KI-Fortschrittszentrum, der anwendungsnahe Zweig von Europas größtem KI-Forschungsverbund Cyber Valley. Auch unser Nachbarland Frankreich setzt hierzu aktuell eine umfassende Strategie um. Diese zu prüfen und

den Einsatz der finanziellen Mittel zu bewerten ist Aufgabe des Cour des Comptes. Im Rahmen dieser Entwicklungen besuchten die Gäste der französischen Botschaft und des dortigen Rechnungshofs das KI-Fortschrittszentrum. Die gewonnenen Eindrücke sollen als Inspiration und erfolgreiches Umsetzungsbeispiel für die französische Strategie genutzt werden und der Bewertung der KI-Aktivitäten in Frankreich dienen. Das KI-Fortschrittszentrum wird vom baden-württembergischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus als Leuchtturmprojekt im Rahmen des »Aktionsprogramms KI für den Mittelstand« finanziell gefördert.

## Forschungsneubau für Leichtbautechnologien eröffnet

Am 14. Juli eröffneten die baden-württembergische Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut zusammen mit dem Institutsleiter des Fraunhofer IPA, Prof. Thomas Bauernhansl, sowie Georg Gewers von Gewers & Pudewill Architekten das neue Forschungsgebäude für Leichtbautechnologien. Mit dem durch EU, Bund und Land Baden-Württemberg geförderten Forschungsneubau steht nach drei Jahren Bauzeit das erste Gebäude des Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus S-TEC in Stuttgart-Vaihingen.

Ziel des eröffneten Zentrums für Leichtbautechnologien ist es, deutsche und insbesondere regionale Unternehmen bei der Entwicklung und Umsetzung von Leichtbaulösungen in deren Produkten, Produktion und Produktionssystemen zu unterstützen. Die drei Forschungsschwerpunkte des Zentrums für Leichtbautechnologien sind Bearbeitungstechnologien, Füge-, Trenn- und Recyclingverfahren für Leichtbauwerkstoffe sowie der Einsatz von Leichtbauwerkstoffen und -prinzipien im Maschinen- und Anlagenbau und der Produktionstechnik.

**Mehr dazu:** <https://s-tec.de/zentren/zentrum-fuer-leichtbautechnologien/>



## Fraunhofer IPA ist Gründungsmitglied der Gleichstromallianz ODCA

Am 3. November hat der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie gemeinsam mit 33 Unternehmen und Forschungseinrichtungen die »Open Direct Current Alliance«, kurz ODCA, gegründet. Zu den Gründungsmitgliedern zählt auch die Fraunhofer-Gesellschaft, vertreten durch das Fraunhofer IPA.

Als persönlicher Vertreter des Fraunhofer IPA ist Institutsleiter Alexander Sauer auf der Gründungsveranstaltung in den Vorstand gewählt worden. Ziel der Arbeitsgemeinschaft ODCA ist es, den weltweiten Aufbau eines Gleichstromökosystems zu realisieren und Gleichstromtechnik anwendungsübergreifend zu nutzen. Die Vorteile, die ein Gleichstromnetz im Vergleich zum Wechselstromnetz bietet, sind unter anderem eine effizientere Nutzung erneuerbarer Energien und das Einsparen von Ressourcen. In einer industriellen Versorgung lassen sich bis zu zehn Prozent an elektrischer Energie einsparen. Gleichzeitig kann auf mindestens 25 Prozent des Kupfers in den Leitungen verzichtet werden. Durch den direkten Energieausgleich zwischen den Systemen kann die Anschlussleistung reduziert werden. »Durch die intelligente Regelung der Gleichstromnetze lässt sich außerdem die Energieflexibilität von Unternehmen steigern. Die ODCA wird also ihren Teil dazu beitragen, dass die Menschheit in Zukunft CO<sub>2</sub>-neutral und ressourcenschonender wirtschaftet«, so Sauer.

## Dänische Delegation informiert sich über Robotik und KI



Am 26. Oktober 2022 empfing Professor Thomas Bauernhansl, Leiter des Fraunhofer IPA, 14 hochrangige Gäste aus Dänemark auf dem Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus S-TEC. Eingeladen vom baden-württembergischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus war das Fraunhofer IPA eine von mehreren Stationen auf der Delegationsreise. Die Gäste informierten sich rund um Industriepartnerschaften sowie Test- und Demonstratormöglichkeiten zu neuesten Technologien mit Schwerpunkt Robotik.

Angeführt von der dänischen Botschafterin in Deutschland, Susanne Hyldelund, und begleitet vom Ministerialdirektor im Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg Michael Kleiner besuchten die Gäste für rund zweieinhalb Stunden das Fraunhofer IPA. Im Fokus standen Erfolgsgeschichten aus der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Unternehmen, die am S-TEC in der Projektform »Industry on Campus« und in langfristig angesetzten Zusammenarbeiten realisiert werden. Das baden-württembergische Wirtschaftsministerium fördert Projekte von S-TEC maßgeblich.

## Strategische Partnerschaft mit japanischem Maschinenbauunternehmen Sugino



Tomoyuki Kishi, Japanisches Generalkonsulat München, Dr. Marc Entenmann, Fraunhofer IPA, Naoki Samawura, Sugino Machine Ltd., Prof. Thomas Bauernhansl, Fraunhofer IPA, Claus Mayer, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg, Dr. Michael Hilt, Fraunhofer IPA.

»Diese Kooperation bietet die Möglichkeit, die in der Forschung gewonnenen Erkenntnisse in die Anwendung zu bringen und profitabel umzusetzen. Gerade auch regionale Anwender kann dieses Know-how beispielsweise bei der Zulassung und Zertifizierung neuer Anlagen unterstützen.«

Das Fraunhofer IPA pflegt enge Kontakte zu Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Fernost. Am 25. Juli 2022 hat im Rahmen eines Symposiums die Zusammenarbeit mit Sugino Machine Limited offiziell begonnen. Mitarbeiter von IPA und Sugino werden in den nächsten zwei Jahren in den Zentren für Dispergiertechnik und Partikeltechnik gemeinsam forschen. Der Schwerpunkt: die industrielle Verarbeitung von Biopolymeren. »Sugino verfügt über exzellentes Wissen zur Herstellung von Pasten und Slurries für Beschichtungsmaterialien und die Speichertechnik, aber auch zur Prozessierung von Biopolymeren« informiert der Geschäftsfeldleiter Prozessindustrie am Fraunhofer IPA, Ivica Kolaric.

## Qualifizierung des Prüflabors der Lackchemischen Anwendungstechnik für die WEB

Seit Anfang August ist das Prüflabor am Fraunhofer IPA im Rahmen der WEB der Mercedes Benz Group AG für die Durchführung von Prüfdienstleistungen qualifiziert. Das heißt, TIER-1-Lieferanten von Mercedes-Benz können das Prüflabor der Lackchemischen Anwendungstechnik jetzt mit werkstofflichen Erstbemusterungen (WEB) nach den Daimler-Benz-Liefervorschriften (DBL) 7381.10 beauftragen.

Die Prüfdienstleistungen umfassen organisch beschichtete Metallbauteile zum Einsatz an der Fahrzeugaußenseite, am Unterboden und am Motor. Zudem werden optische, technisch-mechanische, klimatische und analytische Prüfungen durchgeführt und auf Beständigkeit gegen Chemikalien, Testgemische und Testkonzentrate geprüft.

Verglichen mit der WEB 2020 entfallen im WEB2020+-Prozess die früheren Methodenklassifizierungen (A-C) für entsprechende Labors und es muss der Nachweis erbracht werden, dass die Eignungsanforderungen der Mercedes-Benz Group AG erfüllt werden. Zusätzlich wird anhand entsprechender Ringversuche die Eignung des Labors überprüft. Das Prüflabor am Fraunhofer IPA hat die Eignungsprüfung für die DBL 7381.10 am Deutschen Referenzbüro für Ringversuche und Referenzmaterialien (DRRR) erfolgreich durchführen lassen. Abschließend wurde eine Methodenüberprüfung vor Ort durchgeführt, die ebenfalls erfolgreich absolviert wurde.



## S-TEC-Zentrum für Klimaneutrale Produktion eröffnet

Ein neues Zentrum auf dem Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus S-TEC soll Unternehmen auf dem Weg zur Klimaneutralität voranbringen: Am 23. November 2022 eröffnete auf dem S-TEC-Spitzenreffen Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut das Zentrum für Klimaneutrale Produktion und Ganzheitliche Bilanzierung (ZKP) gemeinsam mit den Instituts- und Zentrumsleitungen von Fraunhofer IBP und IPA sowie der Universität Stuttgart.

Das vom Land mit 4,5 Millionen Euro geförderte Zentrum verfolgt zwei Schwerpunkte: Zum einen erforschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Potenziale von Maßnahmen, Treibhausgasemissionen deutlich zu verringern. Dabei analysieren sie die Wirksamkeit von Maßnahmen, um den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen zu reduzieren. Zum anderen entwickeln interdisziplinäre Forschungsteams neue Lösungen, die es Unternehmen ermöglichen, Nachhaltigkeitsbewertungen und umweltrelevante Vorgaben systematisch und mit hoher Effizienz umzusetzen. Im Mittelpunkt stehen speziell auf die Anforderungen der Industrie ausgerichtete Methoden, Werkzeuge und Daten.



Von links: Dr. Markus Wolperdinger, Leiter Fraunhofer IGB, Prof. Dr. Thomas Bauernhansl, Leiter Fraunhofer IPA, Steffen Kiemel, Zentrumsleiter, Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut, Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes Baden-Württemberg, Prof. Dr. Philip Leistner, Leiter Fraunhofer IBP, Dr. Daniel Wehner, Zentrumsleiter, Dr. Anna-Lena Klingler, Fraunhofer IAO.

# Ohne Band und Takt:

## Flexibel und produktiv durch die Matrixproduktion

Von Anna Unseld

**Schneller auf globale Krisen reagieren, mit Lieferengpässen zurechtkommen und gleichzeitig auf individuelle Kundenwünsche reagieren: Matrixproduktionssysteme werden als Lösungsansatz für eine wirtschaftliche Produktion in einem herausfordernden Marktumfeld mit sinkenden Stückzahlen, steigender Variantenvielfalt und schlechter Prognostizierbarkeit von Kundenbedarfen diskutiert.**

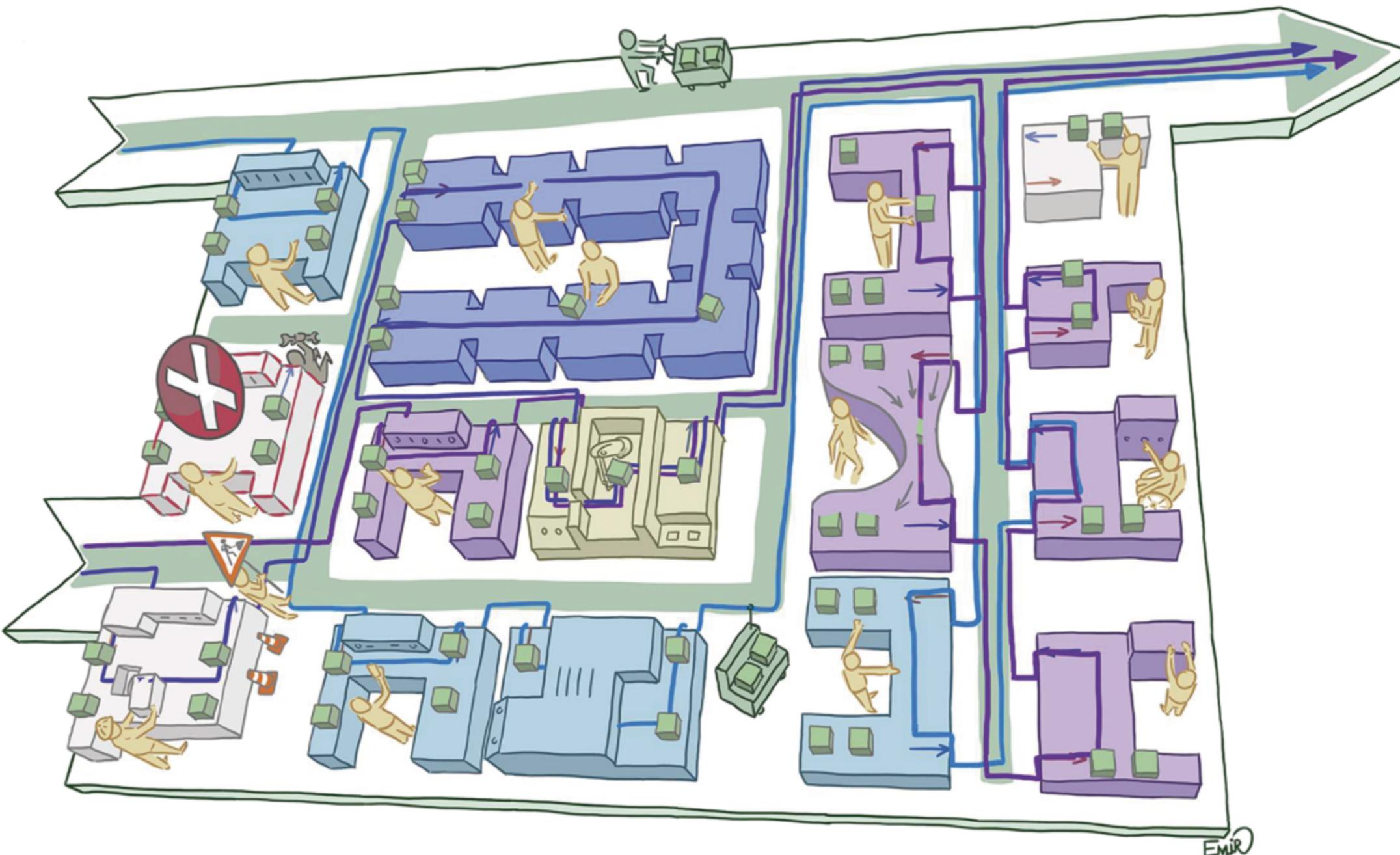
Sie herrscht noch immer in der Industrie vor: Die Linienproduktion mit Fließband und festem Takt. Doch dieses etablierte Produktionssystem stellt Unternehmen immer häufiger vor Herausforderungen. Werden kundenindividuell konfigurierte Produkte oder kürzere Lieferzeiten gewünscht, ändern sich die Prozesse und feste Zyklus- sowie vorgegebene Durchlaufzeiten stimmen nicht mehr. Auch krisen- und umweltbedingte Unterbrechungen der Lieferketten, kurzfristige Stornierungen, Veränderungen der Bestellungen oder der Trend zu immer kleineren Auftragslosen machen die Linienfertigung weniger produktiv und erfordern einen hohen Steuerungsaufwand. Gleichzeitig müssen Unternehmen ihre Produktivität und Resilienz steigern, um im globalen Wettbewerb bestehen zu können.

Bei diesen Anforderungen lohnt es sich, abseits von Band und Takt zu denken, um Flexibilität bei hoher Produktivität zu erhalten. Diesen Lösungsansatz verfolgt die Matrixproduktion, ein flexibles Produktionssystem, das eine Produktion verschiedenster Varianten und skalierbarer Stückzahlbereiche ermöglicht.

Der Begriff Matrix stammt ursprünglich aus der Mathematik und beschreibt eine rechteckige Anordnung von Elementen in Zeilen und Spalten. Produktionstechniker verstehen unter einer Matrix eine schachbrettförmige Anordnung von Produktionsmodulen, die frei verkettet sind. Ein solches Modul kann eine flexible manuelle oder automatisierte Montagezelle oder auch eine stark spezialisierte technologisch geprägte Station sein. Auch Linienabschnitte können als Prozessmodule Teil einer Matrix sein. Ein flexibler Materialfluss – realisiert über einen Logistiker oder eine Flotte fahrerloser Transportsysteme (FTS) – verkettet die frei anfahrbaren Prozessmodule. In hochentwickelten Matrixproduktionen wird dieser Materialfluss cyberphysisch über einen Digitalen Zwilling gesteuert. Durch ihn lassen sich Stoffströme und Maschinenauslastungen optimieren. Mithilfe der Ergebnisse werden dann die realen – physischen – Module gesteuert. Dabei folgt jede Variante ihrem variantenspezifischen Pfad durch das System und Produkte durchlaufen nur die auftragspezifisch benötigten Prozesse.

Das Produktionssystem wird bereits in Unternehmen unterschiedlicher Branchen umgesetzt. Vorreiter ist die Halbleiterindustrie, aber auch größere Hersteller im Automotive- und Elektronikbereich setzen modulare Strukturen ein, wie zum Beispiel die Siemens AG im Werk in Karlsruhe.

Dass Matrixproduktionssysteme gerade bei herausfordernden Marktanforderungen eine wirtschaftliche Produktion ermöglichen, zeigt die Veröffentlichung, die das Fraunhofer IPA gemeinsam mit dem Fraunhofer IWU im Auftrag der acatech



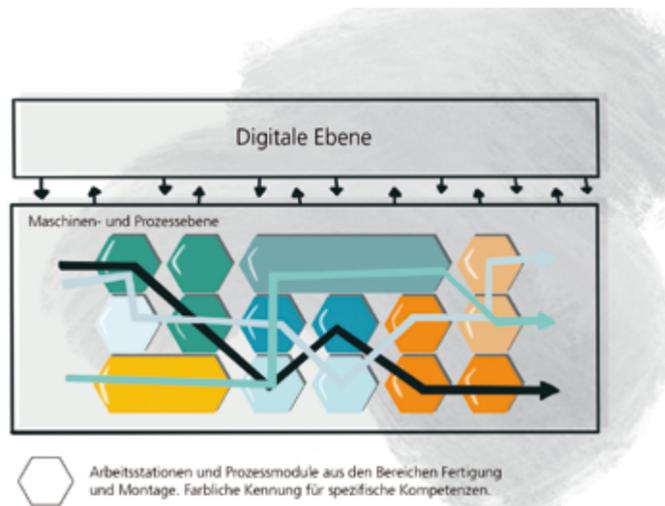
durchgeführt hat: »Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen – Expertise des Forschungsbeirats der Plattform Industrie 4.0«. Thomas Bauernhansl, Institutsleiter des Fraunhofer IPA, ist sich sicher: »Ähnlich wie vor über hundert Jahren das Fließband wird die Matrixproduktion eine neue industrielle Ära einleiten und bald der neue Standard sein.«

Die Umstellung auf ein Matrixproduktionssystem wirft Fragen in unterschiedlichen Produktionsbereichen auf und erfordert interdisziplinäre Expertise.

Mehr zur Studie: Seite 15

**Modulare Matrixmontage**

Wie kann die Montage produktiv und wandlungsfähig gestaltet werden?



Mit der Matrix ergeben sich neue Freiheitsgrade für die Gestaltung, Planung und Steuerung des Montagesystems. Gängige Planungsmethoden im Lean Line Design sind nicht eins zu eins auf die Matrixmontage übertragbar. Bloßes Auseinanderziehen vormals verketteter Stationen und das Auslagern von Sonderausstattungen in Nebenstationen schöpft das Potenzial einer Matrixproduktion bei Weitem nicht aus. Das Fraunhofer IPA hat prozessorientierte Planungsmethoden entwickelt, um Montagesysteme unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen als Matrix zu konzipieren und umzuwandeln. Unsere Expertinnen und Experten aus der Gruppe »Montageplanung und datengetriebene -optimierung« bieten

zum Beispiel eine Potenzialanalyse an, gestalten Matrixmontagesysteme und begleiten bei der Transformation. Außerdem führen sie Materialflusssimulationen zum Vergleich von unterschiedlichen Montagestrukturvarianten, wie z. B. Linie und Matrix, durch.

Mehr dazu: <https://www.ipa.fraunhofer.de/matrixmontage>

**Standardisierte Rekonfiguration**

Was muss berücksichtigt werden, wenn das System für neue Herausforderungen umgebaut wird?

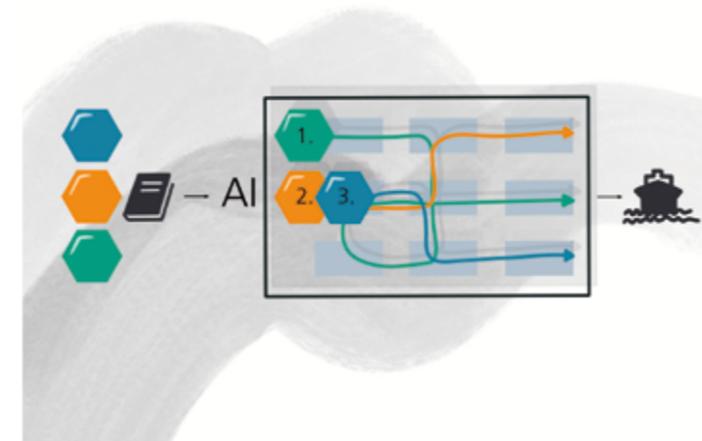


Die modulare Struktur von Matrix-Produktionssystemen ermöglicht eine hohe Flexibilität für die tägliche Produktion. Je nach Zusammensetzung der Produktionsprogramme oder Integration eines weiteren Produkttyps kann es jedoch sinnvoll sein, die vorhandene Flexibilität anzupassen. In diesem Fall spricht man von Rekonfiguration. In einer Matrixproduktion kann das die Änderung von Funktionsumfängen an Prozessmodulen, die Veränderung der Anzahl von Prozessmodulen oder deren räumliche Neuordnung sein. Um zu erkennen, wann eine Rekonfiguration sinnvoll ist, wie sie zu gestalten und umzusetzen ist, bedarf es eines standardisierten Prozesses, der in die Organisation der Produktion integriert ist. Diesen Prozess hat das Fraunhofer IPA in sechs Schritte eingeteilt: Von der Prozessplanung und -überwachung über Zielfestlegung, Gestaltung, Ausführungsplanung und Ausführung bis zur Reflexion. Zur Unterstützung des Prozesses bietet sich die Nutzung einer Software an.

Mehr dazu: <https://s.fhg.de/matrix-produktionssysteme-interaktiv>

**Autonome Auftragssteuerung**

Wie können Aufträge optimal durch das System gesteuert werden?

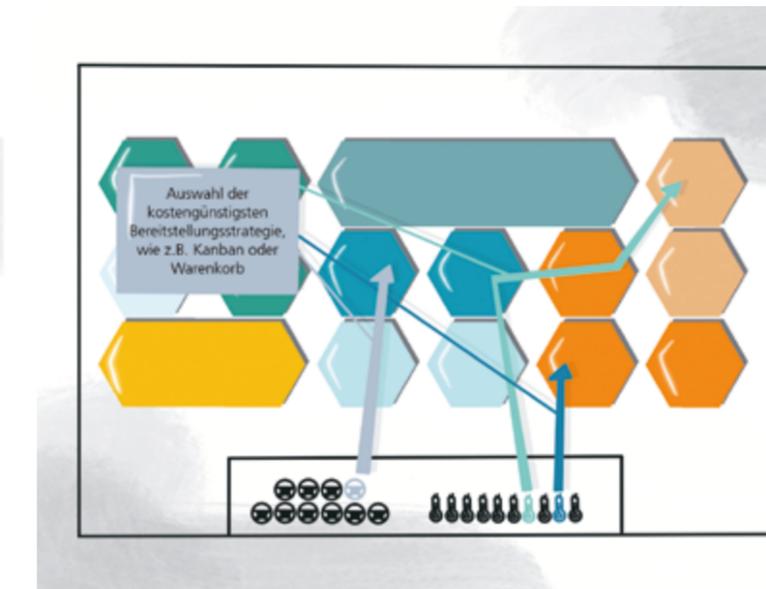


Im Gegensatz zur klassischen Linienproduktion ist der Produkt- und Materialfluss in hochflexiblen Produktionssystemen wie der Matrixproduktion nicht durch das Produktionssystem vorgegeben. Dadurch steigt die Komplexität der Steuerung und unvorhergesehene Ereignisse in der Auftragsabwicklung nehmen zu. Klassische Verfahren der Auftragssteuerung wie Heuristiken sind daher ungeeignet, um diese hochflexiblen Produktionssysteme effizient zu steuern. Selbstlernende Auftragssteuerungssysteme sind in der Lage, diese Lücke zu schließen. Die Gruppe »Zuverlässige KI-Systeme« am Fraunhofer IPA hat sich daher zum Ziel gesetzt, mit Methoden der Künstlichen Intelligenz Kundenaufträge so zu steuern, dass auf Umweltänderungen in Echtzeit reagiert werden kann und gleichzeitig logistische Zielgrößen wie Produktionskosten, Durchlaufzeit oder Termintreue optimiert werden. Dazu nutzen die Forscher Reinforcement Learning (RL) bei realen Entscheidungsproblemen in der Produktionsplanung und -steuerung. Erste Ergebnisse zeigen, dass mit der RL-basierten Auftragssteuerung für die Matrixproduktion bessere Ergebnisse erzielt werden können als mit gängigen Heuristiken, wie beispielsweise der FIFO-Logik (»first in – first out«).

Mehr dazu: <https://s.fhg.de/reinforcement-learning-interaktiv>

**Kostenoptimale Materialbereitstellung**

Wie kommt das Material verlässlich und kostengünstig an die Station?

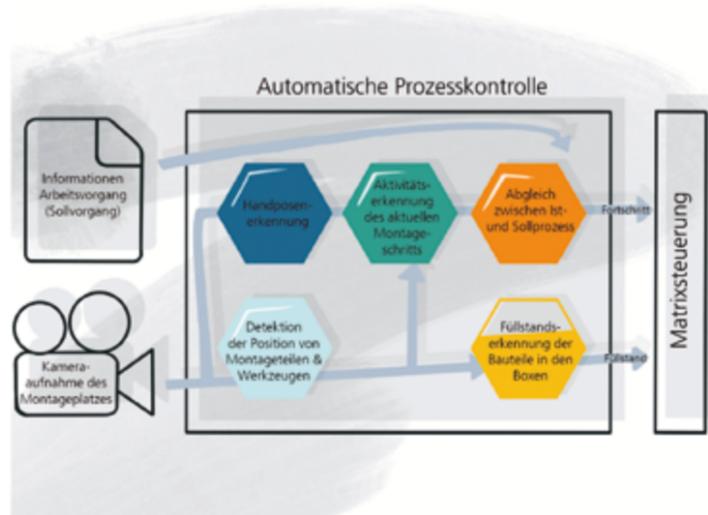


Die Materialbereitstellung macht effiziente Produktionssysteme erst möglich und trägt wesentlich zum Erfolg von Matrixproduktionssystemen bei. Um der hohen Dynamik, unsicheren Nachfragemengen je Station und den Freiheitsgraden zur Auftragsverteilung zu begegnen, entwickelt die Gruppe »Montageplanung und datengetriebene -optimierung« ein Planungsvorgehen mit der Integration von Simulation und Auswahl-Algorithmen. Dazu wird die geplante Matrixproduktion in einer Simulationsumgebung abgebildet. Mit diesem digitalen Abbild werden im nächsten Schritt Simulationsexperimente durchgeführt, um das dynamische Verhalten zu untersuchen. Aus den in der Simulation bestimmten Verbrauchswerten werden zu erwartende Kosten für alternative Materialbereitstellungsstrategien abgeleitet. Die Informationen zu Verbrauchswerten, Flächenverhältnissen etc. werden danach aufgenommen und in eine mathematische Problembeschreibung überführt. Diese soll entsprechend optimal gelöst werden. Dazu haben die Forscherinnen und Forscher unterschiedliche mathematische Lösungswege untersucht und einen geeigneten Algorithmus ausgewählt. Die beiden sequenziell ablaufenden Bausteine »Simulation« und »Auswahlentscheidung« erlauben es, die Planung der Materialbereitstellung kurzzyklisch, automatisiert und parallel zu anderen Tätigkeiten des Planers durchzuführen.

Mehr dazu: <https://s.fhg.de/prozesskontrolle-matrix-interaktiv>

## Automatisierte Prozesskontrolle

Wie können Montageprozesse inklusive Füllstände und Prozessfortschritt automatisch erkannt werden?



Um manuelle Montageprozesse in die komplexe Matrixproduktion zu integrieren, werden Systeme benötigt, die automatisch den Zustand des Prozesses erkennen und an die Steuerung der Matrix zurückgeben können. Damit können abhängige Produktionsschritte in anderen Matrixzellen der aktuellen Situation angepasst werden. Die Schwierigkeit besteht hier darin, unterschiedliche KI-Methoden so zu kombinieren, dass man möglichst flexibel und exakt Informationen aus dem laufenden Prozess extrahieren kann. Um das System ohne großen Aufwand in bestehende Montagezellen integrieren zu können, wird auf einen einzelnen Kamerasensor gesetzt, der den Arbeitsbereich vollständig erfassen kann und sowohl 2D-Farbbilder als auch Tiefenbilder kontinuierlich aufnehmen kann. Auf diese Videodaten werden moderne Bildverarbeitungsalgorithmen angewandt. Die von der Abteilung »Bild- und Signalverarbeitung« entwickelten Methoden zur automatischen Prozesserkennung sind ein wichtiger Bestandteil der komplexen KI-gestützten Matrixproduktion von morgen. Bildverarbeitung ist ein elementarer Bestandteil sowie eine notwendige Schnittstelle zwischen digitaler und realer Welt, um manuelle Prozesse in die automatische Matrixproduktion zu integrieren.

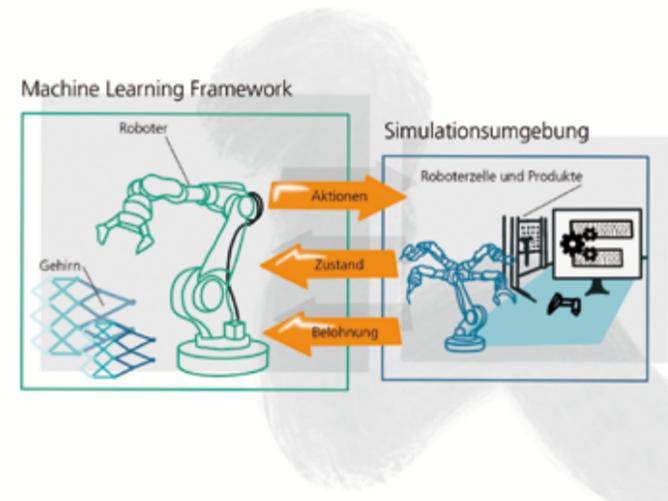
Mehr dazu: <https://s.fhg.de/prozesskontrolle-matrix-interaktiv>

### Kontakt zum Themenbereich Matrixproduktion:

Susann Kärcher | Telefon +49 711 970-3838 | [susann.kaercher@ipa.fraunhofer.de](mailto:susann.kaercher@ipa.fraunhofer.de)

## Selbstlernende Roboter

Wie bringen wir Robotern bei, mit der großen Vielfalt an unterschiedlichen Produkten umzugehen?



Der Wunsch nach kundenindividuellen Produkten erfordert lernfähige Roboter in der Produktion, die sich ihre wechselnden Aufgaben selbst beibringen. Die passende Technologie dazu nennt sich Deep Reinforcement Learning und ist ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz (KI). Dank Simulation übt der Roboter in einer für ihn und den Menschen sicheren, digitalen Umgebung, neue Produkte herzustellen. Dem Roboter wird die Fähigkeit zur sequenziellen Entscheidungsfindung und zum situativen Handeln mit einem längerfristigen Ziel antrainiert. Zudem lernt der Roboter, sicher mit Produktvarianten und sogar Abweichungen in den Produkten oder im Prozess umzugehen, indem diese während des Trainings direkt berücksichtigt werden. Eines der zentralen Ziele der Gruppe »Roboterprogrammierung« am Fraunhofer IPA ist es also, dem Roboter während des Trainings nicht nur ein Produkt, sondern auch dessen Varianten zu zeigen, damit der Roboter lernt, damit umzugehen, und auch die Produktvariante herstellen kann.

Mehr dazu: <https://s.fhg.de/selbstlernende-roboter-interaktiv>

Eine Serie von neun Beiträgen widmet sich der Matrixproduktion auf interaktiv online.

<https://interaktiv.ipa.fraunhofer.de/resiliente-wertschoepfung/die-materialbereitstellung-kostenoptimal-und-adaptiv-planen/>

# Matrixproduktionssysteme machen Fabriken fit für die Zukunft

Mit der Expertise »Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen« ermitteln die Fraunhofer-Institute IPA und IWU den Umsetzungsstand von Matrixproduktionssystemen, fassen Erkenntnisse zur Einführung und zum Betrieb von cyberphysischen Matrixproduktionssystemen zusammen und stellen sie der deutschen Industrie zur Verfügung.

Können cyberphysische Matrixproduktionssysteme die Werkstattfertigung produktiver und die Linienproduktion flexibler machen? Um diese Frage zu beantworten, haben die Forschungsteams aus dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU im Auftrag der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften acatech 28 Unternehmen befragt, Ergebnisse zusammengetragen und ausgewertet. »Unser Ziel war es, den Stand der Technik zu untersuchen und herauszufinden, inwieweit die neuen Systeme in der Praxis schon genutzt werden und dort tatsächlich Flexibilität und Produktivität erhöhen«, erklärt Daniel Ranke, einer der IPA-Autoren der Studie.

»Vor allem Großunternehmen, aber auch größere Mittelständler nutzen bereits Matrixproduktionssysteme«, berichtet Dr. Arvid Hellmich, der die Studie am Fraunhofer IWU geleitet hat. Vorreiter bei der Einführung der neuen Systeme ist die Halbleiter-Industrie, aber auch größere Hersteller von Automobilen oder Elektrogeräten setzen modulare Strukturen ein, die digital optimiert und gesteuert werden. »Erfreut waren wir, dass die Technologien in vielen der Unternehmen, die Matrixproduktionssysteme einsetzen, bereits einen hohen Reifegrad besitzen«, betont der Forscher.

Für die Bewertung des Reifegrads der cyberphysischen Matrixproduktionssysteme haben die Ingenieurinnen und Ingenieure einen Katalog von Kriterien erarbeitet. Zu diesen zählen unter anderem der modulare Aufbau der Produktionseinheiten, der Umsetzungsgrad eines Digitalen Zwilling, der Einsatz auto-

matisierter Transportsysteme sowie die Rekonfigurierbarkeit des Ablaufs, die eine schnelle Anpassung der Produktion an veränderte Anforderungen des Markts erlaubt.

»Das Ergebnis der Expertise zeigt, dass Matrixproduktionssysteme eine wirtschaftliche Produktion bei herausfordernden Marktanforderungen ermöglichen und dass Unternehmen mit verschiedenen Produktionsprozessen aus unterschiedlichen Branchen diese bereits teilweise oder auch schon vollständig umsetzen«, resümiert Hellmich.

Was bisher fehlt, sind marktreife Komplettlösungen: »Überraschend war für uns, dass zwar Einzellösungen für Matrixproduktionssysteme angeboten werden, jedoch keine Gesamtpakete inklusive Anlagentechnik und Prozessautomatisierung«, betont Ranke. »Die Unternehmen, die bereits mit den neuen, modularen Systemen arbeiten, haben diese selbst entwickelt. Kleine und mittlere Unternehmen, die sich eine eigene Technologieentwicklung nicht leisten können, haben das Nachsehen. Hier muss dringend eine bessere Vernetzung zwischen den Technologieanbietern und den potenziellen Kunden stattfinden.«

### Die acatech-Expertise

»Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen« steht kostenlos zum Download zur Verfügung:

<https://www.ipa.fraunhofer.de/de/Publikationen/studien/matrix-studie.html>



# Go with the Flow: Matrixproduktion im Fluss

Das Fraunhofer IPA und die Siemens AG in Karlsruhe betreiben das Lab »Matrixproduktion im Fluss«. Ziel ist eine umfassende Transformation der Fertigungsstruktur in eine Matrixproduktion. Im Gespräch mit interaktiv geben die beiden Projektverantwortlichen Einblicke in ihre bisherige Arbeit.



Der Standort Karlsruhe ist mit rund 1000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eines der größten Werke der Siemens AG in Deutschland und das größte Werk für Industrie-PCs des Konzerns. Die Fertigungstiefe deckt fast alle Stufen der Elektronikproduktion ab: Siemens bestückt und prüft einerseits Flachbaugruppen. Andererseits wird in Karlsruhe ein variantenreiches Spektrum an Produkten montiert, geprüft und getestet, das von Automatisierungssystemen über Prozessleitsysteme und Industrie-PCs bis zur industriellen Kommunikation und Objektidentifikation reicht. 2021 wurde das Werk zur »Fabrik des Jahres« ausgezeichnet.

Um den gestiegenen Marktanforderungen an Flexibilität und Qualität zu genügen, die Wettbewerbsfähigkeit im globalen Vergleich zu verbessern und immer komplexer werdenden Kundenwünschen gerecht zu werden, hat Siemens einen umfassenden Prozess der Digitalen Transformation im Werk Karlsruhe angestoßen. Das Fraunhofer IPA unterstützt seit September 2019 in verschiedenen Projekten bei dieser Transformation. Um die vielen interdisziplinären Themen bearbeiten zu können, wurde Anfang 2022 eine langfristige Entwicklungskooperation vereinbart und ein sogenanntes Lab-Projekt mit einer Laufzeit bis Dezember 2024 ins Leben gerufen. Fokus der Lab-Kooperation ist die Matrixproduktion mit den angegliederten Themen »Der Mensch im Mittelpunkt« und »Lean Production«.

Im Gespräch mit interaktiv erklären die beiden Projektleiter Michael Scholz (Siemens) und Michael Trierweiler (Fraunhofer IPA), wie die neue Werkstrategie am Siemens-Standort Karlsruhe gemeinsam umgesetzt wird.

*Herr Scholz, schon im Sommer 2019 titelte das »Handelsblatt«: »Der leise Abschied von Henry Ford«. Gemeint war damit die Abkehr vom Fließband und die Hinwendung zu Matrixproduktionssystemen. Warum setzt Ihr Werk in Zukunft nicht mehr ausschließlich auf hochspezialisierte Produktionsstraßen, sondern ergänzt diese durch matrixstrukturelle Konzepte?*

*Michael Scholz:* Das liegt vor allem an unserer sehr hohen Produktvarianz. Wenn wir bei der klassischen Linienstruktur bleiben würden, würden wir eine große Anzahl an Linien benötigen, hätten dadurch einen hohen Investitionsbedarf und könnten somit das Produkt nicht wirtschaftlich herstellen. Dazu kommt die Notwendigkeit einer hohen Automatisierung aufgrund des Produkts, das wir herstellen. Flachbaugruppen in der Elektronikproduktion werden hoch automatisiert bestückt.

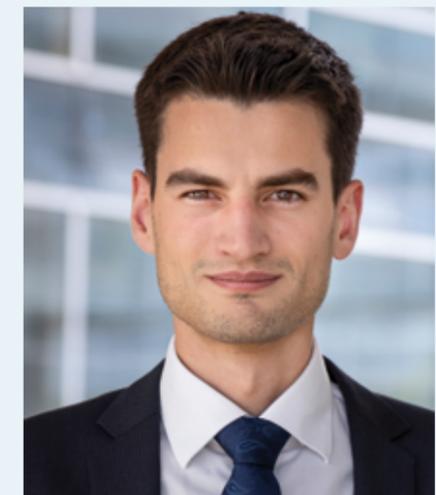
Die Matrixproduktion, wie wir sie leben, nennen wir »Matrixproduktion im Fluss«. Sie ermöglicht sehr hohe Produktvarianten und -volumina, weil jeder einzelne Matrixabschnitt jedes Produkt bearbeiten kann. Wir investieren in eine gewisse Anzahl an Anlagen und nutzen diese Anlagen dann hochflexibel. Das heißt, wenn man von außen draufschaut, sieht die Produktion einer Werkstattfertigung ähnlich. Das wäre dann noch ein Schritt vor Henry Ford. In dieses Layout legen wir aber einen virtuellen Fluss, so bleiben wir im One-Piece-Flow. Dieses wichtige Element der Lean-Fertigung von Henry Ford übernehmen wir. Damit kombinieren wir das Beste aus beiden Welten: Die Flexibilität der verrichtungsorientierten Organisation und die Produktivität der Lean Production.

*Herr Trierweiler, welche Rolle spielt Industrie 4.0 bei Matrixproduktionssystemen?*

*Michael Trierweiler:* Eine sehr entscheidende. Denn gerade der virtuelle Fluss zur Verknüpfung der einzelnen Produktionsmodule in einer Matrixproduktion wird erst durch die Techniken von Industrie 4.0 möglich. Um diesen möglichst effizient zu gestalten, müssen permanent Daten erfasst und darauf basierend Optimierungsentscheidungen in Echtzeit getroffen werden. Anschließend müssen Steuerungsbefehle an die Prozessmodule sowie an die Automated Guided Vehicles, kurz AGVs, zur Ausführung der Materialtransporte gesendet werden. Außerdem unterstützen digitale Assistenzsysteme Werker und Führungskräfte. Dazu braucht es unter anderem eine durchgehende Vernetzung, die im Rahmen von Industrie 4.0 entwickelt wurden.



**Dr. Michael Scholz**, Head of Engineering Industry PC im Fertigungswerk Karlsruhe der Siemens AG, kombiniert Matrix und Lean. Er war bei Siemens unter anderem Projektleiter für die digitale Anbindung der SMT-Fertigungsanlagen und deren physische Vernetzung mit autonomen, mobilen Transportrobotern zur Ausbildung einer hochflexiblen Matrixproduktion. Mit der Digitalisierung und Wertschöpfung durch wandlungsfähige Produktionssysteme schafft der promovierte Maschinenbauer die Voraussetzung für eine zukunftsfähige Produktion.



**Michael Trierweiler** hat Maschinenbau studiert und ist seit 2018 am Fraunhofer IPA. Als Projektleiter betreibt er anwendungsorientierte Forschung im Bereich Montagesystemgestaltung, Digitale Transformation in der Montage und vor allem Matrixmontage. Mitte 2022 veröffentlichte er gemeinsam mit weiteren Fraunhofer-Kolleginnen und -Kollegen die Expertise »Umsetzung von cyber-physischen Matrixproduktionssystemen«. In seiner Dissertation entwickelt er eine Methodik zur permanenten Rekonfiguration von Matrixproduktionen, um diese kontinuierlich an veränderte Anforderungen anzupassen.



*Herr Scholz, hatten Sie Schwierigkeiten, Ihre Mitarbeitenden auf die Reise zu einem neuen Produktionssystem mitzunehmen?*

*Michael Scholz:* Einzelne Umsetzungsschritte waren schwierig. Aber, was uns besonders wichtig ist: Die digitale Fabrik wird erst durch den Menschen intelligent. Darum haben wir ein Transformationsteam, das die Mitarbeitenden mitgenommen hat. Viele Bedenken wurden aus dem Weg geräumt. Viele haben auch Lust, selbst die Transformation mitzugestalten. Beispiel: Unsere Mitarbeiter haben den fahrerlosen Transportfahrzeugen, den FTF, Namen gegeben. Damit bekommen die Fahrzeuge eine Rolle im Team. »Wicki und die Starken Männer« sind unsere FTF. So wird der Kollege Roboter geschaffen, der auch mal Fehler macht und Hilfe braucht.

*Herr Trierweiler, welches Ziel hat die Lab-Kooperation zwischen Siemens und dem Fraunhofer IPA?*

*Michael Trierweiler:* Als gemeinsames Ziel verfolgen wir die stetige Weiterentwicklung des Werks. Dazu bringt das Fraunhofer IPA interdisziplinäres Know-how und Mitarbeiterkapazität ein. Bisher waren dies hauptsächlich Kolleginnen und Kollegen aus den Bereichen Produktionsmanagement, Digitalisierung und Automatisierung. Nach Bedarf können wir auch Infrastruktur zum Beispiel zum Aufbau von Demonstratoren zur Verfügung stellen.

*Herr Scholz, können Sie bereits von ersten Ergebnissen und vielleicht auch Lösungen berichten, die im Lab entwickelt wurden?*

*Michael Scholz:* Das Spannende an dem Lab: Wir arbeiten im Terial-Takt. Jedes Projekt muss innerhalb von vier Monaten

ein definiertes Ziel erreicht haben. So generieren wir alle vier Monate Ergebnisse, die einen direkten Impact auf unsere Werkzeuge haben. Ein tolles Beispiel ist die »Mini-Matrix«. In dem Projekt haben wir ein Matrixsystem in einer hochautomatisierten Endmontage getestet. Da haben wir die FTF-Shuttles auf Tischebene gehoben, die als frei fahrende Werkstückträger ohne Band die Produkte zwischen den Fertigungsstationen transportieren. Mit dem Fraunhofer IPA haben wir den Prozess simuliert und konnten so die Auslegung und Grenzkapazität bestimmen.

*Herr Trierweiler, lassen sich die Ergebnisse aus dem Lab einfach auf andere Unternehmen übertragen oder ist ein Matrixproduktionssystem immer genau auf das zu produzierende Produkt ausgelegt?*

*Michael Trierweiler:* Zunächst unterscheiden sich in jeder Anwendung Ausgangssituation und Fragestellung, zum Beispiel geht es um Fertigungs- oder Montageoperationen oder auch darum, auf welche Kennzahlen das Produktionssystem optimiert werden soll. Die Prinzipien, die wir bei der Gestaltung von Matrixproduktionssystemen nutzen, sind dabei aber immer die gleichen – Modularisierung gepaart mit einem optimierten flexiblen Materialfluss. Genau das ermöglicht hohe Flexibilität im täglichen Betrieb, kombiniert mit einer hohen Produktivität sowie Möglichkeiten der Rekonfiguration im taktischen Zeitraum. Im Detail führt dies immer zu anwendungsfallspezifischen Lösungen, aber die grundsätzlichen Erkenntnisse und Erfahrungen lassen sich übertragen.



*Sind Matrixproduktionssysteme auch für kleine und mittlere Unternehmen interessant?*

*Michael Trierweiler:* Absolut, denn gerade in KMU ist der Bedarf nach flexiblen und veränderungsfähigen Produktionssystemen hoch. Dazu erfordert der stetig steigende Kostendruck hohe Produktivität. Dies können Matrixproduktionssysteme bieten. Vermeintlich hohe Investitionen schrecken KMU bisher jedoch noch ab. Unsere Gespräche mit KMU zeigen, dass viele im Glauben verharren, dass Matrixproduktionssysteme nur von Konzernen mit großen Entwicklungsabteilungen eingeführt werden können. Dies ist jedoch nicht der Fall. Man kann sich dem Thema schrittweise und somit mit überschaubaren Aufwänden und Risiken nähern. Hier müssen wir als öffentliches Forschungsinstitut noch weiter Aufklärungsarbeit und Wissenstransfer leisten.

*Herr Scholz, das Siemens-Werk in Karlsruhe wurde als »Fabrik des Jahres« ausgezeichnet. Was muss man da überhaupt noch optimieren?*

*Michael Scholz:* Da fällt mir sofort folgendes Zitat ein: »Wer aufhört, besser zu werden, hat schon aufgehört, gut zu sein.« Wir hinterfragen uns permanent und versuchen jeden Tag, ein kleines bisschen besser zu werden und unsere Prozesse zu optimieren. Wir sind mit Sicherheit noch nicht mit unseren Ideen am Ende.

*Hat Ihnen die Kooperation mit dem Fraunhofer IPA auch geholfen, die Auszeichnung zu erhalten?*

*Michael Scholz:* Definitiv. Es sind genau diese Impulse von außen, die man braucht. Auch die kritischen. Die Wissenschaftler des Fraunhofer IPA bringen disruptive Ideen ein, die teilweise zwar weit vor dem sind, was wir direkt umsetzen können, aber immer wieder neue Impulse setzen. Sie hinterfragen Themen neu, die man selbst nicht mehr hinterfragt. Genau so war es bei der Matrixfertigung: Um Band und Takt aufzulösen, braucht es Impulse und neue Ansätze aus der Forschung.

*Das Interview führte Anna Unseld.*

## Rein, reiner, »REINER!«

»Wir haben so viele gute bis hervorragende Neuerungen in der Reinraum- und Reinheitstechnik, dass wir der Meinung waren, dass man das auch mal belohnen könnte. Belohnen mit einer Auszeichnung«, so Dr. Udo Gommel, Leiter Reinst- und Mikroproduktion am Fraunhofer IPA, auf der damaligen Messe Lounges 2013, als zum ersten Mal der Reinheitspreis »CLEAN!« verliehen wurde. Im Jahr 2018 erhielt der Fraunhofer-Reinheitspreis ein neues Gesicht, sodass aus »CLEAN!« »REINER!« wurde. Nächstes Jahr feiert der Fraunhofer-Reinheitspreis schon seinen zehnjährigen Geburtstag. »10 Jahre mit großartigen Bewerbungen und Ideen, voller Innovationen, nachhaltiger Aspekte und immer mit dem Blick auf die industrielle Machbarkeit«, schwärmt Gommel.

### Fast jede Branche braucht Reinheitstechnik

Im medizinischen Bereich hat uns COVID-19 vor Herausforderungen gestellt, die Klimaziele der EU fordern Innovationen in der Batterie- und Mikrochipproduktion. Und auch für die Herstellung von Implantaten ist eine reine Umgebung unabdingbar.

Genauso vielfältig wie die Branchen der Reinheitstechnik sind auch die Innovationen der letzten Jahre, die sich um REINER beworben haben. In der Zeit wurden viele neue Reinigungstechnologien vorgestellt, aber auch Systeme für den medizinischen Bereich, um das Arbeiten auf ein neues Reinlichkeitslevel zu heben.

### Innovationen für die Technik, die Wirtschaft und die Welt

Sie haben eine reinheitstechnische Innovation? Teilen Sie Ihre Begeisterung mit uns und bewerben Sie sich noch bis zum 16. Januar 2023 bei uns für den REINER 2023. Wir drücken Ihnen die Daumen, dass wir uns auf der Bühne der Lounges 2023 zur Ehrung Ihrer Innovation wiedersehen.

Melden Sie sich über unsere Homepage mit Ihrer kurzen Projektbeschreibung an und seien Sie dabei, wenn es heißt: »rein, reiner, REINER!«

[https://www.ipa.fraunhofer.de/de/ueber\\_uns/institutprofil/IPA-Innovationspreise/reinheitstechnikpreis\\_reiner.html](https://www.ipa.fraunhofer.de/de/ueber_uns/institutprofil/IPA-Innovationspreise/reinheitstechnikpreis_reiner.html)



# Mobile Robotik als Schlüssel zur Matrixproduktion

In einem Ameisenhaufen wimmelt es von Krabbeltierchen, die auf den ersten Blick wild und unkontrolliert versuchen, schnell einen möglichst kurzen Weg von A nach B zu finden. Und doch steckt weit weniger Zufall dahinter, als man zunächst denkt. Mit Blick auf zukünftige Lösungen rund um die Matrixproduktion könnte sich ein ähnliches Bild ergeben: Zahlreiche mobile Roboter bewegen sich in einer Fabrikhalle, um an den einzelnen Stationen einen ununterbrochenen Produktionsprozess zu ermöglichen. Die Roboter ersetzen das Fließband oder sie unterstützen die Fachkräfte dabei, dass das richtige Bauteil oder Werkzeug zur richtigen Zeit am richtigen Ort ist. Den Einsatz der Roboter optimal zu planen, ist allerdings noch eine Herausforderung. Um diese anzugehen, entstehen neue Softwarelösungen im Forschungsprojekt »SE.MA.KI«. Sie adressieren vorwiegend autonome mobile Roboter (AMR), aber auch entsprechend mit Sensoren ausgestattete fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF).

## Optimierter Verkehr

Der Schlüssel zu einem erfolgreichen AMR-Einsatz für die Matrixproduktion ist eine optimale Planung. Welcher Roboter fährt wann über welche Strecke zu welchem Ziel? Manuell ist diese komplexe Herausforderung nicht zu meistern. Ein bereits existierender Lösungsansatz ist die Verkehrsoptimierung, die mit Flotten-Management-Systemen umsetzbar ist. Dabei wird versucht, die Anzahl an Robotern zu reduzieren, die sich in einem Korridor bewegen. Wenn sich also mehrere Roboter im selben Korridor befinden, müssen sie warten und sich anstellen. An bestimmten Orten können für FTF auch Fahrwegmarkierungen installiert werden. Diese klar vorgegebenen Fahrwege erleichtern es, den Arbeitsraum zwischen Fahrzeug und Mensch zu

trennen. Eine solche Lösung kann durchaus skalierbar sein, ist aber gleichzeitig ineffizient, da sie die Bewegungsfreiheit der Menschen einschränkt und auch andere bewegliche Einheiten in der Produktion wie z. B. Stapler weniger flexibel nutzbar sind.

## Freie Planung

Die freie Planung mobiler Roboter ist die bessere Lösung für eine flexible und robuste Produktion. Denn so können sich mehrere Roboter in der Werkhalle befinden. Jeder kann Kollisionen mit anderen vermeiden und dennoch seinen Weg zum Ziel finden. Bei dieser freien Planung können sich auch Menschen zu Überwachungs- und Arbeitszwecken in der Halle bewegen. Sie stellt zudem sicher, dass kein Roboter zu wichtig wird, um anderen den Weg zu versperren oder, schlimmer noch, abgegrenzte Bereiche für bestimmte Aktivitäten zu schaffen. Diese Anpassungsfähigkeit war auch eine der Ideen, die die Matrixproduktion zum Leben erweckt haben, sodass die Prozesse und die Produktionshalle selbst an Veränderungen angepasst werden können.

## Gruppenbasierte Produktionsplanung

Um die Durchlaufzeiten in der Produktion zu verwalten und zu verkürzen, ist zudem der Ansatz der gruppenbasierten Produktionsplanung bekannt. Dabei werden die Aufgaben gesammelt und gruppiert. Diese Gruppen werden als Terminierungseinheiten und Untergruppen als Terminierungsobjekte behandelt. Der Ansatz hat sich bei der Verkürzung der Produktionsdurchlaufzeiten im Vergleich zu traditionellen Ansätzen bewährt. Daher ist es auch sinnvoll, eine solche gruppenbasierte Terminierung bei der Verwaltung der Artikelverteilung an verschiedene Stationen einzusetzen. Die Zusammenführung von Materialversorgung, Artikellieferungen und -verteilung in einer Produktionsumgebung in einer gemeinsamen Perspektive kann nicht nur die Überlastung mobiler Roboter verringern, sondern ist auch an die sich ändernden Anforderungen dynamischer Produktionen anpassbar. Da die Artikelverteilungen für einen bestimmten

Zeitraum oder eine bestimmte Charge eingerichtet werden, können neue Anforderungen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb der nächsten Charge auftreten, berücksichtigt werden, bevor die Aufträge zentral verarbeitet und eingeplant werden.

Diese Artikelverteilungen werden für die Verarbeitung als Aufträge klassifiziert und müssen notwendigerweise eine Ausgangsposition und ein Lieferziel haben. Durch die Kombination von Aufträgen, die sich bis zu einem bestimmten Zeitintervall angesammelt haben, oder durch die Verwendung einer vorbestimmten Liste von Aufträgen entsteht eine Auftragsmenge, die in der nächsten Runde abgearbeitet werden muss. Anhand dieser Informationen und der aktuellen Standorte aller mobilen Roboter in der Umgebung können die Aufträge zentral verarbeitet und den entsprechenden Aufträgen der Reihe nach zugeordnet werden. Gleichzeitig wird die von allen Robotern zurückgelegte Gesamtstrecke optimiert.

## Neuer bioinspirierter Ansatz

Die vorgestellten Ansätze lösen allerdings die Einsatzplanung mobiler Roboter noch nicht optimal. Industrieseitig ist entscheidend: Wie kann eine Transportaufgabe schnellstmöglich erledigt werden? Und wie lässt sich dabei gleichzeitig die zurückgelegte Strecke der Flotte so kurz wie möglich halten? Viele Forschungstätigkeiten widmen sich deshalb diesem Thema. In letzter Zeit wurden zunehmend bioinspirierte Algorithmen eingesetzt. Algorithmen auf der Grundlage der Partikelschwarmoptimierung werden erfolgreich bei der Verteilung von Artikeln in Produktionssystemen genutzt, aber auch zum Finden optimaler Routen oder Zykluszeiten in Fließlagerzellen.

Vorbild hierfür ist die sogenannte Ameisenkolonie-Optimierung (ACO). Das ist ein bekannter Ansatz innerhalb der Schwarmintelligenz, der viele Variationen hat. Das Vorbild aus der Natur: Wie finden Ameisen die kürzeste Strecke zu einer Futterstelle? Sie starten alle vom gleichen Ort, dem Nest, und laufen unterschiedliche Wege zum Futter. Alle hinterlassen auf ihrem Weg Duftstoffe, also Pheromon-Markierungen. Auf dem kürzesten Weg sind schneller mehr Ameisen unterwegs und hinterlassen dort mehr Pheromone als auf den längeren Strecken. Mehr Pheromone ziehen mehr Ameisen an. Auch wenn das Wissen Einzelner also begrenzt ist, dient ihr kleiner Beitrag der Intelligenz des Schwarms und optimiert dessen Verhalten.

## Routenplanung mithilfe virtueller Ameisen

Am Fraunhofer IPA ist ein modifizierter Ansatz entstanden, der vom ACO-Algorithmus inspiriert ist und der die gesamte zurückgelegte Strecke für alle mobilen Roboter auch unterschiedlicher Hersteller in einer bestimmten Umgebung optimiert. Der Ansatz benötigt die aktuellen Standorte der Roboter, um so viele Optionen wie möglich zu berücksichtigen und Aufträge intelligent zu verteilen. Und natürlich arbeitet er nicht mit Pheromonen wie bei den Ameisen. Stattdessen sendet jeder einzelne Roboter von seinem aktuellen Standort »virtuelle Ameisen« zu allen Zielen, die die Roboter anfahren könnten. Die Ameisen machen sich auf den Weg zu den Zielen und wenn sie dabei mit anderen Ameisen zusammenstoßen, sterben sie. Am Ende bleiben also nur die Ameisen übrig, die ihr Ziel erfolgreich erreicht und das virtuelle Objekt abgeliefert haben.

Mit dieser Information können dann die realen Roboter ihre Route erfolgreich planen. Dabei bekommt auch nicht jeder Roboter einen Auftrag zugewiesen, wenn andere Optionen günstiger sind. Nachdem mehrere Fälle mit dem Algorithmus getestet wurden, ergab sich bei der Optimierung für die von allen Robotern zurückgelegte Gesamtstrecke ein Minimalplan, bei dem einem mobilen Roboter gar kein Auftrag zugewiesen wurde und somit seine Strecke eingespart wurde.

Zusätzlich zur Arbeit in SE.MA.KI arbeitet das Fraunhofer IPA daran, heterogene mobile Roboter in den Ansatz einzubeziehen. So können mobile Systeme mit unterschiedlichen Kapazitäten, wie autonome Routenzüge und mobile Roboter mit einem Manipulator, in der gleichen Umgebung arbeiten und auch intelligent eingeplant werden. Die vollständige Orchestrierung von heterogenen mobilen Robotern, die unterschiedliche Aufträge in einer Matrix-Produktionsumgebung optimal ausführen können, ist die Vision hinter diesen Arbeiten.

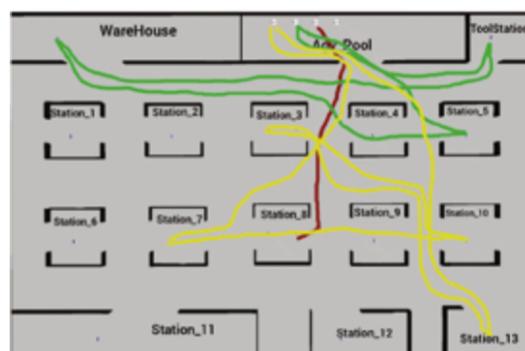
## Kontakt

Agha Ali Haider Qizilbash

Telefon +49 711 970-3623

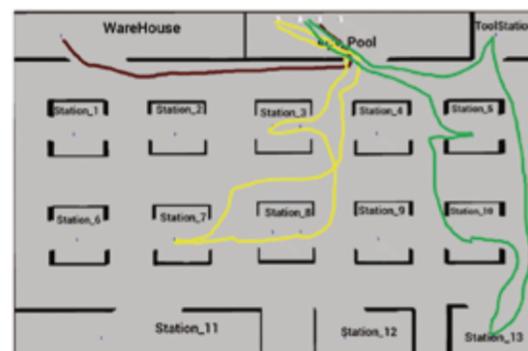
agha.ali.haider.qizilbash@ipa.fraunhofer.de

Without optimization



Total distance travelled = 231m

With optimization



Total distance travelled = 182m



# Ein Tag mit...

## DENNIS BAUER

**Privat erklimmt er Alpengipfel und beruflich untersucht er, wie die deutsche Industrie mit Künstlicher Intelligenz energieeffizienter und energieflexibler werden kann: Dennis Bauer leitete am Fraunhofer IPA die Gruppe Energieflexible Produktion & Energiedatenanalyse. »interaktiv« hat den Forscher einen Tag lang begleitet.**

Dass es auf diesem Planeten ein Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA gibt, erfuhr Dennis Bauer im Juni 2011. Er studierte zu dieser Zeit gerade im Bachelor Maschinenbau an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg in Mosbach. Sein Arbeitgeber, Wittenstein SE, hatte ihn für 16 Wochen an den Standort Grüsch in der Ostschweiz entsandt. Er sollte dort die Produktionsprozesse während des Hochlaufs optimieren. Unterstützt wurde er dabei von einem erfahreneren Kollegen, der am Fraunhofer IPA promoviert hatte.

Der Aufenthalt in der Schweiz muss etwas mit Bauer gemacht haben. Denn nach einer dreimonatigen Episode bei einem Automobilzulieferer in Kanada wechselte er im April 2013 für den Masterstudiengang an die Universität Stuttgart und legte den Schwerpunkt auf Produktionstechnik. In einer Vorlesung zum Wissens- und Informationsmanagement in der Produktion lernte er einen gewissen Thomas Bauernhansl kennen und erfuhr von diesem, dass das benachbarte Fraunhofer IPA stets auf der Suche nach fähigen studentischen Mitarbeitern sei. Bauer fühlte sich angesprochen und bewarb sich bei der Gruppe von Joachim Seidelmann, der heute die Abteilung Digitale Werkzeuge in der Produktion leitet, damals aber noch Gruppenleiter in der Abteilung Reinst- und Mikroproduktion war. Im August 2013 trat Bauer seine Stelle an.

### Wegweisende Zeit

Als wegweisend sollte sich insbesondere die Zeit ab November 2015 erweisen. Bauer war inzwischen wissenschaftlicher Mitarbeiter und betreute zwei größere Forschungsprojekte. Das Projekt »Power Semiconductor and Electronics Manufacturing 4.0« (SemI40) sollte die europäische Halbleiterindustrie leistungsfähiger machen. In diesem Zuge untersuchte Bauer, wie sich die Produktionssteuerung mit Informationen aus dem Wertschöpfungsnetzwerk automatisiert optimieren ließ. In diesem Zuge definierte er auch das Thema seiner Doktorarbeit.





Das zweite Forschungsprojekt, das Bauer in dieser Zeit übernahm, heißt »SynErgie« und läuft bis heute. In diesem Projekt entwickeln Forscherinnen und Forscher vom Fraunhofer IPA in enger Zusammenarbeit mit der Industrie einerseits Technologien, Konzepte und Maßnahmen, um Produktionsprozesse an das volatile Energieangebot von Wind- und Solarparks anzupassen. Für den Handel mit Strom, der sich aus diesem Flexibilitätspotenzial ergibt, entwerfen sie andererseits eine IT-Plattform, die »Energiesynchronisationsplattform«.

#### Eine Werkstattfertigung, die selbsttätig auf Ereignisse reagiert

Im Februar 2019 wechselte Bauer zur Abteilung Industrielle Energiesysteme und übernahm zusammen mit dem Aufbau und der Leitung der Gruppe Energieflexible Produktion und Energiedatenanalyse auch die Gesamtverantwortung für das Forschungsprojekt SynErgie. Die neuen Aufgaben führten zeitweise dazu, dass die Arbeit an der Dissertation in den Hintergrund rückte. Doch mit dem Ausbruch der Corona-Pandemie im Frühjahr 2020 hatte Bauer auf einmal wieder mehr Freizeit. Er widmete sie seiner Doktorarbeit mit dem Titel »Lernende ereignisbasierte Optimierung der Produktionssteuerung für die komplexe Werkstattfertigung«. In ihr untersuchte er am Beispiel der Halbleiterindustrie, welche Ereignisse im Wertschöpfungsnetzwerk einer komplexen Werkstattfertigung auftreten und welche Maßnahmen in der Produktionssteuerung jeweils Abhilfe schaffen. Es gelang ihm, dass die Systeme, die

auf Ereignisse aus dem Wertschöpfungsnetzwerk reagieren, nun mittels »Reinforcement Learning«, einem Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI), selbstständig dazulernen und automatisch aktiv werden.

#### Mit 30 den ersten Viertausender bezwungen

Nun, da die Doktorarbeit eingereicht und verteidigt ist, hat Bauer wieder mehr Zeit für seine große Leidenschaft, die Berge. In diesem Sommer hat er zusammen mit seinem jüngeren Bruder den Edelrid-Klettersteig bei Bad Hindelang durchstiegen, stand schließlich auf dem 1876 Meter hohen Gipfel des Islers und genoss den traumhaften Blick auf die Allgäuer Alpen.



Bereits im August 2020, Bauer war gerade 30 Jahre alt geworden, bezwang er gemeinsam mit seinem Bruder und zwei Freunden seinen ersten Viertausender, das Lagginhorn bei Saas-Fee im Schweizer Kanton Wallis. »Man muss sich durchbeißen, man muss sich quälen. Aber wenn man dann auf dem Gipfel steht und dieses unglaubliche Bergpanorama vor Augen hat, dann weiß man, dass es die Anstrengung wert war«, sagt Bauer.

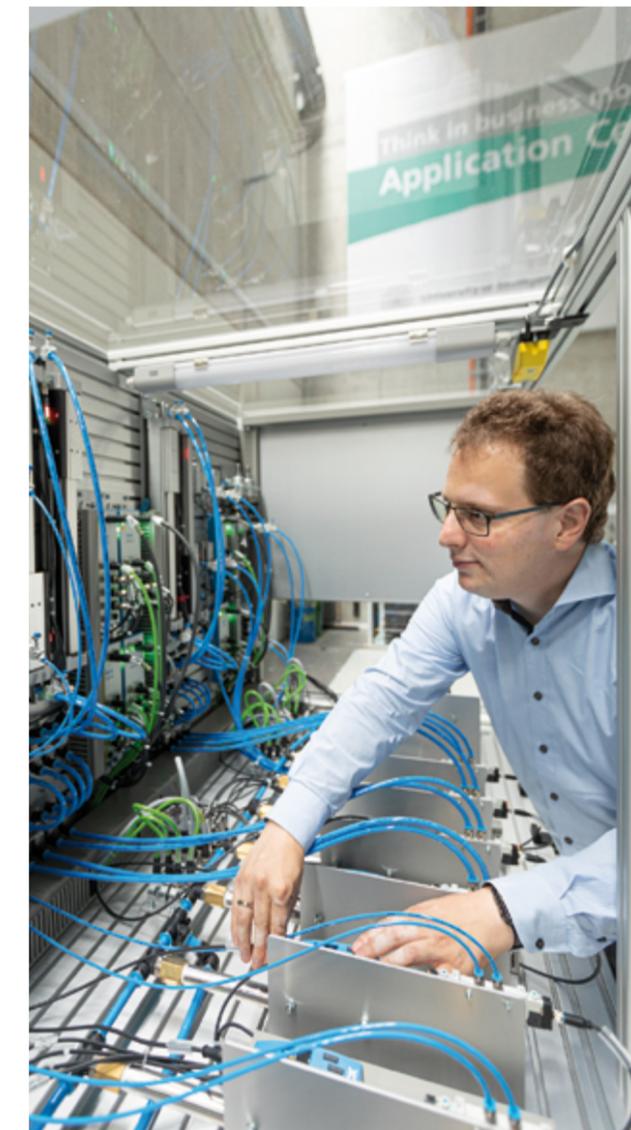
Mit seiner Frau teilt Bauer seine zweite Leidenschaft: das Kochen. Gemeinsam haben sie eine Vorliebe für asiatische Gerichte, wobei am häufigsten Currys aus Indien oder Indonesien auf den Tisch kommen. »Als Schwabe kann ich aber natürlich nicht auf regionale Gerichte verzichten, vor allem dann nicht, wenn ein Bestandteil davon Spätzle sind«, so Bauer.

#### Eine wandlungsfähige Druckluftanlage

Zurück am Fraunhofer IPA arbeitete Bauer schwerpunktmäßig daran, wie die deutsche Industrie durch den Einsatz von KI energieeffizienter und energieflexibler werden kann. Große Einsparpotenziale gibt es beispielsweise bei der Druckluft, einer der verbreitetsten und teuersten Energieformen in der deutschen Industrie.

Mit ihrem Druckluftdemonstrator »WanDa«, der so heißt, weil er wandlungsfähig ist, können Druckluftanlagen nachgebildet und dann datenbasiert optimiert werden. Denn WanDa steckt voller Sensoren, die riesige Mengen Daten generieren. Diese Daten verraten nicht nur, an welchen Stellen Luft aus Leckagen und undichten Verbindungsstücken entweicht, sondern auch, welche anderen Fehler und Anomalien auftreten und wie sich die Prozesse optimieren lassen. Der Vorteil: Auf ihrer Suche nach Optimierungspotenzialen müssen die Forscher nicht mehr in die Produktion ihrer Kunden eingreifen.

»Die Themen Energie und KI treiben ohnehin schon seit Jahren viele Unternehmen um. Aber seit die deutsche Wirtschaft unabhängiger von russischem Erdgas werden muss, haben sie erst recht Konjunktur«, sagt Bauer. Die Anzahl einschlägiger Projekte mit der Industrie ist in den vergangenen Monaten und Jahren jedenfalls deutlich gewachsen.

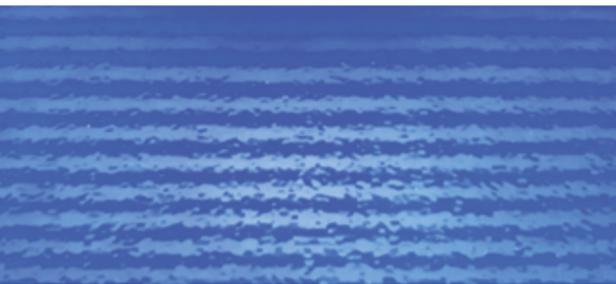


Ab Januar 2023 stellt sich Dennis Bauer einer neuen Herausforderung. Er ist dann Niederlassungsleiter bei der e-con in Stuttgart und verantwortet zugleich die Forschungs Kooperationen der Alois-Müller-Gruppe. Die e-con ist seit mehr als zehn Jahren im Einsatz für erneuerbare Energien und versteht sich als Partner für die Energiewende. Für Kunden aus Kommunen, Industrie und Gewerbe entwickelt das Unternehmen CO<sub>2</sub>-neutrale Energiekonzepte sowie nachhaltige und hocheffiziente Wärmeversorgungen, die Ressourcen schonen und Energiekosten optimieren. Wir wünschen ihm viel Erfolg!

Die Fledermaus steht Pate bei der Digitalen Transformation:

# Ressourcen sparen mit dem virtuellen Lacklabor

**Digitale Simulationen statt Trial and Error: Im Projekt PaintVisco modellieren Forschende am IPA die Entwicklung und Verarbeitung von Lacken. Die Daten dafür liefert ein neu konzipiertes Rheometer, mit dem sich erstmals exakt die viskoelastischen Eigenschaften von Lacken beim Trocknen und Aushärten messen lassen – Vorbild bei der Technologie-Entwicklung war dabei die Echo-Ortung der Fledermaus.**



Wie lange bleibt der Lack fließfähig?  
Wie gut gleicht er Unebenheiten aus?  
Unter welchen Bedingungen

die Lackindustrie nur eingeschränkt aussagekräftig. Außerdem zeigen solche Messungen immer nur einen kleinen willkürlich gewählten Ausschnitt aus dem Materialverhalten, da oft nur mit einer einzigen Schwingungsfrequenz gemessen wird«, berichtet Seeler. Für rechnerische Verlaufsprognosen benötigt man jedoch sehr viel umfangreichere Informationen über das Materialverhalten, beispielsweise das Verhalten einer Lackprobe bei zahlreichen Frequenzen.

bildet sich die gewünschte, spiegelglatte Oberfläche? »Bisher mussten Lackierer in kosten- und zeitintensiven Trial-and-Error-Versuchen ausprobieren, wann eine Lackschicht optimal verläuft«, erklärt Dr. Fabian Seeler. Im Projekt PaintVisco hat er jetzt ein Simulationsprogramm erarbeitet, mit dem sich die Eigenschaften von Lacken virtuell bestimmen lassen.

Die Entwicklung des Computermodells war für den IPA-Forscher und sein Team eine echte Herausforderung, denn Lacke sind viskoelastisch. Dies bedeutet, dass sie – abhängig von Zeit und Temperatur – ihre Eigenschaften verändern: Zunächst verhalten sie sich eher wie Flüssigkeiten, später eher wie Feststoffe. Die Viskoelastizität wiederum ist entscheidend für die Prognose des Verlaufs, also der Fähigkeit eines Lacks, Unebenheiten auszugleichen – das können oberflächliche Pinselspuren sein, aber auch Poren, Wellenstrukturen und Kanten unter der Lackschicht.

## Eine neue Messtechnik liefert die Daten

Um dieses sehr komplexe Verhalten von Lacken zu simulieren, braucht man eine Fülle von Daten. Die Messgeräte, die diese liefern sollen, heißen Rotationsrheometer. Sie ermitteln die Fließfähigkeit von Lacken, indem sie eine dünne flüssige Lackprobe mit einer aufgesetzten Scheibe in Drehung oder Schwingung versetzen und dann messen, welche Kraft für die Verformung nötig ist. »Bisherige Geräte verhindern jedoch das Abdampfen der Lösungsmittel, die Ergebnisse sind daher für

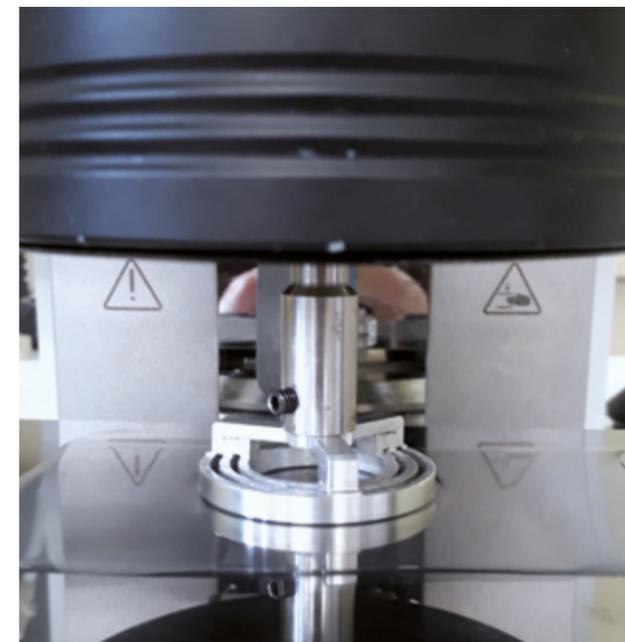
Gemeinsam mit seinem Team hat er eine neue Messtechnik entwickelt. Dabei stand die Natur Pate: »Das Messprinzip haben wir bei der Fledermaus abgeguckt«, erinnert sich der Forscher. Die Fledermaus nutzt kurze Ultraschall-Rufe für die Orientierung: Jeder Ruf enthält – fließend ineinander übergehende – niedrige und hohe Frequenzen, die von der Umgebung reflektiert werden. Am Echo erkennt die Fledermaus beispielsweise, wo sich Hindernisse oder Beutetiere befinden. Indem der Ruf wiederholt wird, kann die Fledermaus verfolgen, wie sich der Abstand zu einem Hindernis mit der Zeit verändert oder wie sich das Beutetier bewegt.

Das PaintVisco-Rheometer arbeitet, wie die Fledermaus, mit fließend ineinander übergehenden Frequenzen. Variiert werden dabei allerdings nicht Ultraschall-Rufe, sondern die Frequenzen, mit denen die Lackprobe verformt wird. Durch Wiederholung der Abfolge von Frequenzen lässt sich die Veränderung der viskoelastischen Lackeigenschaften beim Abbinden erfassen. Durch diese besondere Signalform sei es möglich, alle für die Verlaufsprognose benötigten Daten innerhalb kürzester Zeit zu ermitteln, betont Seeler.

Mit der neuen Messtechnik können die Forschenden am IPA jetzt auch die für die Industrie so wichtige Lösemittelverdunstung berücksichtigen: In ihrem Rheometer wird die Lackschicht nicht mehr durch eine geschlossene Scheibe, sondern durch

eine Konstruktion aus mehreren Ringen verformt. Die Öffnungen zwischen den Ringen erlauben es dem Lösemittel, zu verdunsten.

»Unsere Messungen haben gezeigt, dass sich mit der multi-frequenten Messtechnik die Veränderung der viskoelastischen Eigenschaften der Lackschicht über den gesamten Lackierprozess – vom Auftragen über das Trocknen bei Raumtemperatur bis zum Vernetzen in einem Ofen – ermitteln lässt«, berichtet Seeler. »Mithilfe dieser Daten können wir jetzt nicht nur die Veränderungen der verlaufsbestimmenden Materialeigenschaften einer Lackschicht während des Abbindens nachvollziehen, sondern auch digitale Verlaufsprognosen erstellen und optimierte Lackeigenschaften ableiten – egal ob die Lackoberflächen mit dem Pinsel oder mit einem Zerstäuber erzeugt wurden.«



## Simulationen, die Ressourcen sparen

Die Entwicklung und Einführung eines neuen Lackes dauert mehrere Jahre und verursacht Kosten im Millionenbereich. Die PaintVisco-Simulationen können künftig Hersteller dabei unterstützen, den Verlauf ihrer Lacke schon im Entwicklungsstadium zu optimieren, neue Produkte schneller auf den Markt zu bringen und diese mit Zusatzinformationen für Anwender zu versehen. Detaillierte Angaben würden den Lackierbetrieben helfen, teure Testläufe einzusparen und auf diese Weise schneller optimale

Ergebnisse zu erzielen – Vorteile, die in Zeiten von steigenden Gas- beziehungsweise Strompreisen und Personalmangel wettbewerbsentscheidend sein können.

## Auszeichnungen

Preise unterstreichen bereits, wie groß die Bedeutung der Projektergebnisse für die Industrie ist. Dr. Fabian Seeler betreute die studentische Abschlussarbeit auf der Basis von Fledermausmessungen von Nicolas Keinath. Sie wurde mit dem vom Lackhersteller Mankiewicz gestifteten Absolventenpreis der Hochschule Esslingen ausgezeichnet. Zusammen mit Dr. Oliver Tiedje erhielt Seeler außerdem den Lackchemie-Preis der Gesellschaft Deutscher Chemiker.

## Kontakt

Dr. Fabian Seeler  
Telefon +49 711 970-1967 | fabian.seeler@ipa.fraunhofer.de



## Projekt PaintVisco (01.01.2020 bis 30.06.2022)

Das Projekt wurde über die Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e. V. (FPL) bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e. V. (AiF) als industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF) eingereicht und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 20994 N gefördert. 20 teilnehmende Firmen haben Rohstoffe, Recherchen, Geräte, Software und Messergebnisse beigesteuert

# Hoher Besuch

## Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger im Future Work Lab

Von Klaus Jacob

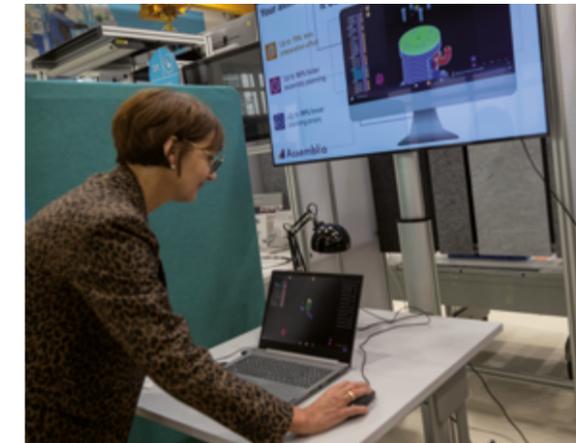
Eine Corona-Erkrankung machte eine Verschiebung nötig. Dann, an einem warmen Herbsttag Ende Oktober, war es endlich so weit. Thomas Bauernhansl, der Leiter des Fraunhofer IPA, seine Kollegin Katharina Hölzle, die das Fraunhofer IAO leitet, und eine Handvoll Mitarbeiter empfingen die Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger. Sie wollte sich über neue Entwicklungen in der Arbeitswelt informieren. Und dafür ist das Future Work Lab wie geschaffen, dieses Gemeinschaftsprojekt von Fraunhofer IPA und IAO. Mit seinen zahlreichen Exponaten nimmt es gewissermaßen die Zukunft der Industriearbeit vorweg. Der Besuch fand in einer fast familiären Atmosphäre statt, ohne lange Statements und großen Pressetross. Die Ministerin schüttelte sogar jedem Teilnehmer die Hand, was in Corona-Zeiten nicht selbstverständlich ist.



Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger (2. v. re.) zusammen mit IAO-Institutsleiterin Prof. Katharina Hölzle (2. v. li.) und IPA-Institutsleiter Prof. Thomas Bauernhansl (re.) und den Future-Work-Lab-Leitern Dr. Moritz Hämmerle (Mitte), IAO, und Simon Schumacher (li.), IPA.

Das Future Work Lab, an dem sich neben den wissenschaftlichen Instituten auch viele Unternehmen beteiligen, ist mehr als eine Ausstellung, das betonten Hölzle und Bauernhansl. Es bietet Weiterbildung, Seminare, Workshops und Fachkonferenzen, aus denen auch Bücher entstanden sind. Kernstück sind natürlich die Demonstratoren, deren Zahl inzwischen auf 75 gestiegen ist. Damit hat die Einrichtung weit über die Landesgrenzen hinaus für Aufmerksamkeit gesorgt. Schon mehr als 15 000 Gäste aus aller Welt haben das Future Work Lab besucht. Natürlich konnte die Ministerin nicht alle Ausstellungsstücke ansehen, das hätte ihr enger Terminplan nicht erlaubt. Sie absolvierte fünf Stationen, wofür ihr jeweils fünf Minuten zur Verfügung standen – im Schlepptau ihr Fotograf, der stets auf der Suche nach dem besten Motiv war. Denn optisch hatte die Visite einiges zu bieten, schließlich legte die Ministerin bei einigen Exponaten selbst Hand an.

Zunächst aber durchschnitt sie ein Band und nahm damit symbolisch den 75. Demonstrator in Betrieb. Es handelt sich um ein Modul, das die Montageplanung erleichtert – und vieles in sich vereint, was die Ministerin von der Forschung hierzulande erwartet: Durchbrüche von deutschen Wissenschaftlern, fordert sie, sollten rasch in Produkte umgesetzt werden, die sich vermarkten lassen. Und die Zahl der univer-



sitären Ausgründungen sollte sich erhöhen. »Assemblio«, das neue Werkzeug zur Montageplanung, ist ein Paradebeispiel dafür. Am Fraunhofer IPA entstanden, wird es nun von der »Assemblio GmbH« vermarktet, einer jungen Ausgründung. Alexander Neb, der IPA-Erfinder, Gründer und Geschäftsführer des Unternehmens, stellte sein »Baby« vor: Das Erstellen einer Montageanleitung ist derzeit eine aufwendige Arbeit, die größtenteils von Hand erledigt werden muss. Mit Assemblio, einer Software, die Künstliche Intelligenz nutzt, geht es wesentlich einfacher. Ein 3D-Modell genügt, und das Programm liefert im Nu die gewünschten Montageanleitungen. Auch eine Videoanleitung lässt sich generieren. Die Erfinder geben konkrete Versprechungen: Die Montageplanung könne bis

zu 92 Prozent schneller erfolgen, der Vorbereitungsaufwand verringere sich um bis zu 73 Prozent, und die Planungsfehler gingen um bis zu 55 Prozent zurück.

Bei der industriellen Fertigung haben Roboter bereits viele Arbeiten übernommen. Doch manchmal sind die maschinellen Helfer noch immer überfordert. Das zeigt sich vor allem bei der Montage, bei der zahlreiche Arbeitsschritte mit unterschiedlichen Werkzeugen nötig sind. Auch wenn der Roboter hier nicht die komplette Arbeit stemmen kann, so kann er immerhin den Menschen unter die Arme greifen, etwa beim Heben schwerer Lasten. Allerdings darf er nicht zur Gefahr für das Personal werden. Früher sorgte ein Zaun für die nötige Distanz, der eine enge Kooperation zwischen Mensch und Maschine ausschloss. Wie es eleganter geht, durfte die Ministerin ausprobieren. Sie manövrierte einen übermannshohen Koloss, der mehr als drei Zentner heben kann, mit sanftem Druck in die richtige Richtung. Ein optisches System sorgte dafür, dass der Metallarm innehielt, sobald er Stark-Watzinger zu nahe kam.



### Future Work Lab

Das Future Work Lab auf dem Fraunhofer-Campus in Stuttgart ist das größte Innovationslabor Deutschlands zur Produktionsarbeit der Zukunft. In der Demonstratorenwelt wurden 75 innovative Anwendungsfälle entwickelt. Das »Future Work Lab« wird von 2016 bis 2022 als Pilotmaßnahme mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen«, Programmlinie »Zukunft der Arbeit« gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

[www.futureworklab.de](http://www.futureworklab.de)

Auch bei zwei anderen Demonstratoren ging es darum, dass die Technik den Menschen unterstützt. Solche Assistenzsysteme gewinnen an Bedeutung, weil die Aufgaben in einer Fabrik immer komplexer werden. Ein Highlight war das Modul VRcademy, eine virtuelle Lernumgebung, die es erlaubt, neue Service- und Produktionsprozesse zu trainieren.

An einer anderen Station hantierte sie mit einem intelligenten Schraubendreher, der die Montage vereinfachen und Fehler verhindern soll. Als sie den Startknopf drückte, passierte allerdings zunächst nichts. Denn das Gerät wird nur aktiv, wenn es in die unmittelbare Nähe der Schraube kommt, die als nächstes an der Reihe ist. Ein optisches System gibt die



Die Ministerin setzte sich eine klobige Augmented-Reality-Brille auf die Nase und hantierte im leeren Raum mit virtuellen Gegenständen. Das wirkte zwangsläufig wie eine Pantomime, weil es keine Gegenstände gab, die sie hätte manövrieren können. Nur auf einem Monitor ließ sich für die Umstehenden erkennen, dass Stark-Watzinger ein imaginäres Bauteil demontierte.

nötige Rückkopplung. Dann surrte tatsächlich der Motor, und die Schraube saß fest. Das korrekte Drehmoment stellte das clevere Gerät automatisch ein.

Bei allen Demonstratoren des Future Work Labs geht es letztlich auch darum, die Arbeiten in der Fabrik zu digitalisieren. Doch damit ist es nicht getan. »Die Digitalisierung führt nicht automatisch zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität«, bemerkte Bauernhansl. Das belegen Zahlen, die er anführte. So stieg die Produktivität in den letzten 100 Jahren im Durchschnitt jedes Jahr um 2,5 Prozent. Nur in den letzten 10 Jahren gab es – trotz aller Automatisierung – einen Rückgang auf 1 Prozent. Das sei zu wenig: »Wir brauchen eigentlich 5 Prozent«, betont Bauernhansl. Es gibt also noch viel zu tun, sowohl für die Forschung als auch für die Politik.



# Produktionsarbeit der Zukunft

Ausbau einer transatlantischen Kooperation mit dem MIT

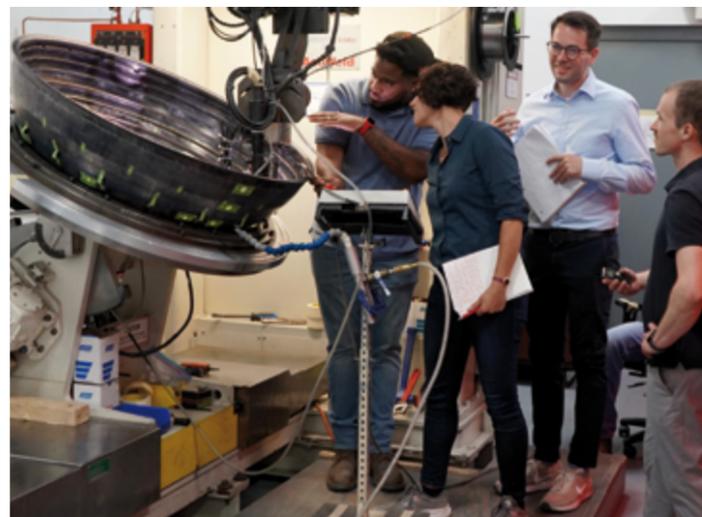
Von Simon Schumacher



Simon Schumacher ist am Fraunhofer IPA Projektleiter des Future Work Lab. Mit seinem zweiten Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology hat er die transatlantische Kooperation zur Produktionsarbeit der Zukunft zwischen dem Future Work Lab und dem MIT ausgebaut. Kern seines dreimonatigen Aufenthalts im Sommer 2022 war eine gemeinsame Studie.

## Über Corona hinweg

Im Februar 2020 habe ich meinen ersten Forschungsaufenthalt am MIT in Zusammenarbeit mit der Task Force Work of the Future verbracht, der allerdings nach einem Monat durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie vorzeitig beendet werden musste. Seitdem haben wir den Austausch aufrechterhalten und ein gemeinsames White Paper mit dem MIT Media Lab veröffentlicht sowie eine Studie mit dem MIT Industrial Performance Center gestartet. Fachlich tauschen wir uns mit dem MIT Industrial Performance Center und der MIT Task Force Work of the Future bereits seit dem Jahr 2018 aus.



## Highlights aus meinem Forschungsaufenthalt

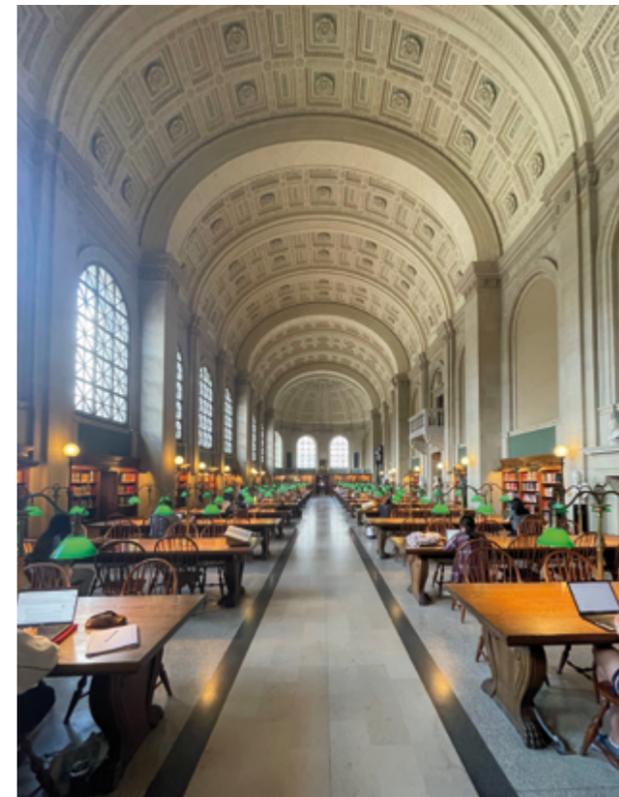
Am MIT IPC war ich von Mai bis August 2022. Gleich zu Beginn meiner Zeit an der US-Ostküste haben wir auf der Jahreskonferenz der Industry Studies Association ein Panel an der renommierten Wharton School der University of Pennsylvania in Philadelphia organisiert und durchgeführt. Ein fachliches Highlight! Über den Tellerrand hinaus blickte ich in Washington, DC. Dort traf ich zwei ehemalige Leiterinnen der MIT Task Force Work of the Future wieder, die mittlerweile im Weißen Haus für die Biden-Regierung tätig sind. In den folgenden Wochen genoss ich das einzigartige Forschungsumfeld am MIT in vollen Zügen. Insbesondere der unkomplizierte, ausführliche und direkte Austausch mit den verschiedenen klugen Köpfen am MIT war großartig. Das internationale und sehr offene Umfeld scheint schier unbegrenzte Möglichkeiten für neue Ideen zu bieten. Mein persönliches Highlight bleiben die Joggingrunde am Ufer des Charles River und die Wohngemeinschaft mit sieben weiteren US-amerikanischen bzw. internationalen Studierenden direkt in Cambridge, keine 10 Minuten vom MIT entfernt.

## Unsere Studie

Der August stand am Ende meines Forschungsaufenthalts ganz im Zeichen unserer Studie zur Small Firm Industrie 4.0 Technology Adoption. Im Bundesstaat Ohio haben wir kleine und mittlere Unternehmen für die Studie interviewt.

## Gemeinsame Präsentationen

Zwei Konferenzbeiträge in Nordamerika, ein Paper zum Workshop Collaborative Robots and the Work of the Future auf der IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) in Philadelphia, USA, und erste Einblicke in die Studie zur Small Firm Industrie 4.0 Technology Adoption auf der Conference on Production Systems and Logistics (CPSL) in Vancouver, Kanada, waren das Ergebnis unserer Kooperation kurz vor meinem Forschungsaufenthalt.



Die Analyse von über 15 Interviews mit Firmen aus der metallverarbeitenden Industrie verspricht spannende Einblicke in die Entscheidungsfindung und die direkten Auswirkungen von neuen Technologien zum Roboterschweißen auf Arbeitsplätze. Neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen waren die Einblicke in US-amerikanische Fabriken wie auch die Reise durch den vom Strukturwandel geprägten Bundesstaat sehr spannend. Unterstützt wurde ich in dieser Zeit von meinem IPA-Kollegen Roland Hall. Die nächsten wissenschaftlichen Veröffentlichungen befinden sich schon in Arbeit!

## Zurück am IPA

Im kommenden Jahr werde ich am Fraunhofer IPA die Leitung der neuen Forschungsgruppe Digital Industrial Engineering in der Abteilung Digitale Werkzeuge für die Produktion übernehmen. Ich freue mich sehr auf die Vertiefung der im Future Work Lab begonnenen Themen und arbeite gleichzeitig an der Fertigstellung meiner Dissertation. Im Februar 2023 soll zudem die gemeinsame Studie zur Small Firm Industrie 4.0 Technology Adoption mit einem Besuch von zwei MIT-Wissenschaftlern für vertiefende Interviews in Baden-Württemberg fortgesetzt werden. Die Studie ist Teil eines gemeinsam eingeworbenen Seed Fundings bis Januar 2024, mit dem wir die spannende Zusammenarbeit mit dem MIT weiter ausbauen wollen.



## Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) ist eine Technische Hochschule und Universität in Cambridge im US-Bundesstaat Massachusetts. Die Hochschule liegt am Charles River in Cambridge direkt gegenüber von Boston und stromabwärts von der Harvard University. Das MIT wurde 1861 gegründet und ist eine private, nicht-konfessionelle Technische Universität. Derzeit studieren am MIT über 10 000 Studierende.

# Batteriezellenproduktion mit Digitalen Zwillingen updaten

Assemblierung von Batteriezellen mit einem intelligenten Werkstückträger für die digitalisierte Produktion.



Die Neuzulassungen von Elektroautos steigen kontinuierlich. In Deutschland wurden im Jahr 2021 laut Kraftfahrt-Bundesamt rund 356 000 Pkw mit reinem Elektroantrieb neu zugelassen. Dieser Rekordwert wird voraussichtlich erneut übertroffen: Von Januar bis Oktober 2022 wurden bereits rund 308 300 Elektroautos verkauft.

Die Herstellung der Batteriezellen ist energie- und ressourcenintensiv. Im Falle eines PKW mit zylindrischen Zellen benötigt man pro Batterie aktuell 7000 bis 10 000 Stück. Die Zellen enthalten neben Lithium auch Nickel, Mangan und Cobalt, Graphit, Polymere und Elektrolyte.

Um die Produktion effizient und nachhaltig zu gestalten, muss die Batteriezellenfertigung unbedingt optimiert werden. Ein Forschungsteam am Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion des Fraunhofer IPA hat im aktuell erschienenen »Handbook on Smart Battery Cell Manufacturing« dargestellt, wie sich durch eine Digitalisierung der Fertigung nicht nur Pro-

duktionsprozesse optimieren, Material sowie Energie einsparen lassen, sondern auch die Lebensdauer der Akkus verlängert werden kann.

## Energie und Rohstoffe durch digitalen Steckbrief einsparen

Durch digitalisierte Produktionssteuerung lassen sich die Fertigungsprozesse beschleunigen und flexibel an Kundenwünsche anpassen und Qualitätsmängel frühzeitig aufspüren: Bauteile, die nicht den Kriterien entsprechen, können aussortiert werden. Durch digitale Fehleranalyse lassen sich außerdem schnell die Ursachen der mangelnden Produktqualität identifizieren und Herstellungsprozesse nachjustieren.

Das spart Zeit, Material und Energie. Die Daten, die während der Produktion gesammelt werden, lassen sich anschließend nutzen, um für jede Zelle einen Steckbrief zu erstellen, der sie ein ganzes Produktleben lang begleitet. Dieser Produktlebens-

lauf enthält beispielsweise Informationen darüber, aus welchen Materialien die Zelle gefertigt wurde, aus welchen Substanzen die Elektroden bestehen und wie viel Elektrolyt zugegeben wurde.

Wenn die Hersteller von Akkus dank der digitalen Steckbriefe die Kapazitäten jeder Einzelzelle kennen, können sie diese gezielt auswählen und zu hochqualitativen Akkus verbinden. Dadurch würde sich die Lebensdauer der fertigen Akkus verlängern. Denn diese hängt von der Kapazität der Einzelzellen ab – je geringer die Kapazitätsunterschiede sind, desto länger lebt die Batterie. Und im laufenden Betrieb würde der Steckbrief dem Batteriemanagementsystem helfen, den Ladeprozess so zu steuern, dass die einzelnen Zellen möglichst gut ausgelastet werden.

## Lebensdauer von Batteriezellen vorhersagen

Die Digitalisierung spielt an einer anderen Stelle noch eine ganz erhebliche Bedeutung. Die Lebensdauer von Batteriezellen vorherzusagen ist entscheidend. Ohne diese wichtige Voraussetzung dürfte man keinen Pkw auf die Straße bringen. Zum einen gilt das für jede neu entwickelte Zellgeneration, zum anderen für jede Zelle im Betrieb in einer Batterie.

Im Falle der Zellgeneration geht es darum, sicher sein zu können, dass die Zelle die garantierte Lebensdauer von z. B. 10 bis 15 Jahren einhält. Das heißt, die Zellen müssen nach dieser Zeit zum Beispiel noch 80 Prozent ihrer Initialkapazität besitzen. Im Falle des Betriebs spielen individuelle Vorgeschichten wie Temperatur und Betriebsprofile eine erhebliche Rolle. Bei all diesen Szenarien kann man nicht warten, bis man Zellen 10 bis 15 Jahre getestet hat, man muss sich also auf ein Modell, eine Simulation verlassen: Und hier kommt der Digitale Zwilling ins Spiel.

## Simulation durch den Digitalen Zwilling

Was unterscheidet nun den Digitalen Zwilling überhaupt von einem Modell der Batteriezelle? Ein elektrisches Ersatzschaltbild einer Batteriezelle, das aus elektrischen Bauteilen wie Widerständen, Kondensatoren etc. besteht, kann beispielsweise dann eine Vorhersagekraft (z. B. für die Zellalterung) entwickeln, wenn es gelingt, die elektrischen Bauteile

zu parametrieren. Das bedeutet, die einzelnen Kenngrößen mit konkreten Werten zu versehen, Widerstände, Kondensatoren beispielsweise mit bestimmten Initialwerten und diese abhängig von der Alterung der Batteriezellen anzupassen. Das ist der Stand der Technik.

Ein Digitaler Zwilling kann mehr. Er ist echtzeitfähig und kann durch Kommunikation mit dem Batteriemanagementsystem durch stets aktuelle Daten präziser nachgeführt werden. Man kann sich das wie mit regelmäßigen Updates eines Computerprogramms vorstellen. Je präziser die Vorhersage ausfällt, desto sicherer funktioniert die Batterie. Außerdem können Batterien exakter gebaut werden. Man kann ihnen genau die Kapazität geben, die tatsächlich für eine Anwendung optimalerweise benötigt wird und muss nicht mit Überkapazitäten von 10 bis 20 Prozent arbeiten, die nur als Sicherheitspuffer eine schlechte Vorhersage des Gesundheitszustands kompensieren. Das spart wiederum Gewicht und Kosten. Außerdem werden auf diese Weise weniger Zellen gebraucht.

Digitale Zwillinge von Batteriezellen könnten eines Tages auch zur Konstruktion von Batterien dienen. Letzen Endes könnte man auch eine ganze Batteriezellfertigung virtuell entwerfen und zunächst im Computer simulieren. Das kann viele teure Schleifen sparen. Im Automobilbau der 1980er Jahre wurden solche Simulationen immer weiter entwickelt. Heute sind sie selbstverständlich. Die Digitalisierung ist also noch weit mehr als eine Optimierung der Produktion von Batteriezellen: Durch den Digitalen Zwilling wird die Produktion selbst immer wieder upgedatet.

Die aktuellen Batteriezellproduktionen immer weiter zu digitalisieren, ist aber ein guter und konsequenter Start, da so viel Ausschuss und Kosten gespart und die Langzeitstabilität und Qualität von Batteriezellen noch erheblich gesteigert werden können.

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Kai Peter Birke  
Telefon +49 711 970-3621 | kai.peter.birke@ipa.fraunhofer.de

**Handbook** on Smart Battery Cell Manufacturing.  
The Power of Digitalization, 488 Seiten  
<https://www.worldscientific.com/worldsczbooks/10.1142/12511#t=aboutBookQuelle>

# Energie – das Schmiermittel unserer Gesellschaft

Seit Anbeginn der Menschheit manifestiert sich jede Art von Fortschritt in der Nutzbarmachung von Energie. Man schätzt, dass unsere Vorfahren vor gut einer Million Jahren zum ersten Mal den Gebrauch des Feuers entdeckten. Keine drei Tage später wurde dann die Grillsaison erfunden. Außerdem war man damit erstmals in der Lage, die Höhlen zu heizen und sich vor wilden Tieren zu schützen.

Ein energiegeladenes Plädoyer von unserem Zukunftsforscher Vince Ebert

## Klar ist: Die Energiedichte verdichtet sich

Der nächste spektakuläre »energetische« Schritt war die Entdeckung des Erdöls. Damit konnte man plötzlich große Maschinen, Automobile, ja sogar riesige Schiffe betreiben. Man entwickelte Dieselmotoren, die rund um die Uhr und kostengünstig Elektrizität erzeugten.

Bis zum heutigen Tag basiert die Welt maßgeblich auf Erdöl. Dies liegt jedoch nicht an dem diabolischen Einfluss von Exxon und BP, sondern an grundlegender Physik. In Erdöl sind nämlich Unmengen an nutzbarer Energie gespeichert. Selbst die leistungsfähigsten Batterien liefern nur etwa ein Prozent der Energie, die dieselbe Menge Benzin liefert.

Was die Energiedichte angeht, wird Öl nur noch von einem kommerziell verwendeten Rohstoff geschlagen: Uran. Die Energiedichte von Uran ist so enorm, dass man sie sich kaum vorstellen kann: Etwa zwei Millionen Mal höher als die von Kohle und eine Million Mal höher als die von Öl. Würde der gesamte Energiebedarf meines ganzen Lebens durch die Spaltung von Uran abgedeckt, würde dabei eine Menge Atommüll anfallen, die locker in eine Getränkedose passt. Natürlich nur, wenn ich zuvor den Energydrink abgekippt habe.

Dass heutzutage große Teile der Weltbevölkerung Zugang zu bezahlbarer und permanenter Energie haben, dass immer mehr Menschen weltweit am allgemeinen Wohlstand teilnehmen können, liegt also vor allem an der Tatsache, dass ineffiziente Technologien und Energieträger durch effizientere ersetzt wurden: Das Pferd durch die Dampfmaschine, der Holzofen durch die Ölheizung, das Segelboot durch das Containerschiff, das Kohlekraftwerk durch den Kernreaktor.

Wohlstand und Fortschritt gingen schon immer mit Effizienzsteigerungen einher. Und genau das ist das große Dilemma der »erneuerbaren Energien«. Denn Wind und Sonnenenergie können von ihrer Energieausbeute her nicht mit konventio-

nellen Energieträgern konkurrieren. Natürlich arbeiten die Forscher weiter an Effizienzsteigerungen. Trotzdem liegt der begrenzende Faktor von Wind- und Sonnenkraft weniger in der Technologie, sondern an ihrer katastrophal schlechten Energiedichte. Und mit den Gesetzen der Physik kann man nicht verhandeln.

## Wie so oft: Der Mix macht's – und logischer Menschenverstand

Das soll keineswegs heißen, auf Erneuerbare zu verzichten. Wind und Sonne allein können eine Industrienation nicht dauerhaft mit Energie versorgen. Es muss also in der Energiediskussion um einen sinnvollen und realistischen Mix von allen verfügbaren Energieträgern gehen. Denn die Wahrheit ist schmerzhaft aber simpel: Wenn wir Kernkraftwerke abschalten, müssen wir an wind- und sonnenarmen Tagen Kohlekraftwerke unter Volllast laufen lassen. Möchte wir beides nicht, müssen Gaskraftwerke einspringen, was derzeit aus bekannten Gründen schwer bis unmöglich ist.

Wir brauchen wieder eine rationale Herangehensweise unserer Energieversorgung. Mit ökologischer Naivität haben wir uns in eine Sackgasse manövriert. Unser energiepolitischer Tunnelblick gefährdet unsere Versorgungssicherheit. Und selbst, wenn wir einigermaßen glimpflich durch diesen Winter kommen, wird die Energiekrise ja nicht vorbei sein, nur, weil es im Frühling wieder wärmer wird.

Günstige und allzeit verfügbare Energie ist für eine Volkswirtschaft buchstäblich der Treibstoff für jede Art von Wohlstand und Fortschritt. Und nicht zuletzt ist günstige Energie das Schmiermittel für sozialen Zusammenhalt. Ist der Preis dauerhaft zu hoch, dann steigen die Produktionskosten sukzessive an, sodass unsere Exportgüter zu teuer werden, um global konkurrenzfähig zu sein.

## Ich sag nur: Umdenken in unserer Energiepolitik

Den hiesigen Unternehmen bleiben nur zwei Alternativen: Entweder sie melden Konkurs an oder sie verlagern ihre Produktionsstätten ins Ausland. Beides schwächt das Land und führt zu einer kontinuierlichen Abwärtsspirale. Mit zunehmender Deindustrialisierung sinken die Steuereinnahmen, der Staat hat immer weniger Geld für Bildungs-, Sozial- und

Gesundheitsleistungen übrig, das Land wird ärmer. Gut ausgebildete Fachkräfte wandern ab, weil sie im Ausland bessere Perspektiven sehen, was den heimischen Standort noch weiter schwächt.

Wir brauchen daher dringend ein Umdenken in unserer Energiepolitik. Weg mit zu viel Wunschdenken, hin zu mehr Pragmatismus. Lichtblick statt Blackout!

Vince Ebert ist Diplom-Physiker und Kabarettist. Seit über 20 Jahren begeistert er mit seinen Bühnenshows tausende Zuschauer. In der ARD moderiert er die Sendung »Wissen vor Acht«. Er ist einer der gefragtesten Vortragenden des Landes. In seinem neuesten Buch »Lichtblick statt Blackout!« hinterfragt Ebert den aktuellen Zustand Deutschlands und hält uns als »heiterer Aufklärer« mit vielen überraschenden Fakten den Spiegel vor.



Quellen: dtv, Frank Eidel

Mehr über Vince Ebert: <https://www.vince-ebert.de/>

Mehr zur gemeinsamen Erklär-Video-Reihe: <https://www.ipa.fraunhofer.de/de/zukunftsforscher-trifft-zukunftsforschung.html>

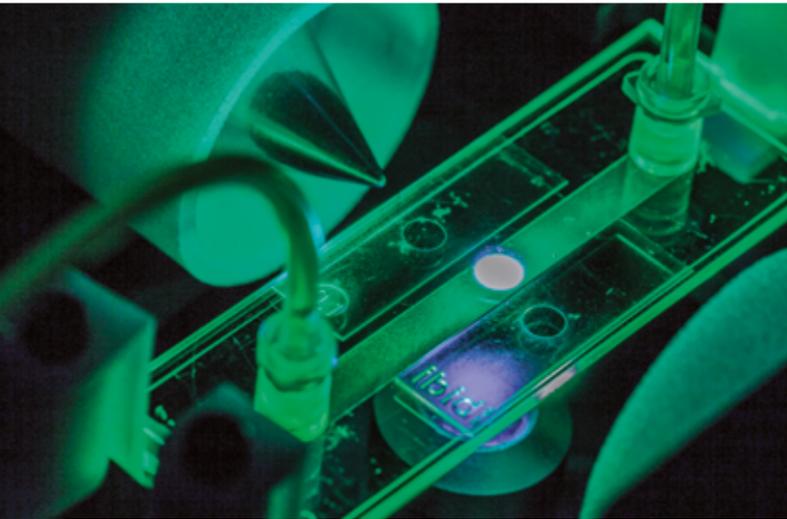


Lange Zeit war Holz – heute neudeutsch »Biomasse« genannt – der fast einzige Energielieferant. Bereits im vorindustriellen Zeitalter rodeten Menschen ein Drittel des Baumbestandes von Europa, um den steigenden Energiebedarf zu stillen. Die Auswirkungen auf die Umwelt waren gewaltig. Die ersten Windmühlen entstanden vor etwa 4000 Jahren. Mit ihnen malte man Getreide oder verwendete sie als Wasserpumpen. Auch Solarenergie wurde in dieser Zeit genutzt, indem man zum Beispiel die Häuser so baute, dass durch die Fenster möglichst viel Sonnenwärme eindringen konnte.

Die Versorgungssituation mit Energie änderte sich drastisch, als man die Kohle entdeckte. Zum einen besitzt Kohle im Vergleich zu Wind und Sonne eine wesentlich höhere Energiedichte. Zum anderen war sie im Gegensatz zu dem langsam nachwachsenden Rohstoff Holz in rauen Mengen vorhanden. Das entscheidende Fundament der Industriellen Revolution war nicht nur die Erfindung der Dampfmaschine, sondern vor allem die Nutzbarmachung von Kohle als Energieträger.

# Biointelligenter Sensor misst virale Aktivität

Genom-Editierung ist heute fast so einfach wie das Programmieren einer Software. Doch die Erzeugung von viralen Vektoren als Anfangsmaterial ist immer noch mit vielen teuren und fehleranfälligen Handhabungen verbunden. Viren werden über komplexe biologische Verfahren erzeugt, die virusspezifisch optimiert werden müssen, um qualitativ hochwertige Therapeutika herzustellen. Benötigt wird ein neues Verfahren, das diese Prozesse vereinfacht und optimiert.



Viren werden durch komplexe biologische Herstellungsverfahren erzeugt, die umfangreiche Qualitätskontrollen erfordern, um qualitativ hochwertige Präparate herzustellen. Im Projekt BioProS wird eine neuartige biohybride Sensortechnologie entwickelt, die zellbasierte Virusinfektionszyklen in Echtzeit überwacht, um hocheffiziente Produktionsprozesse mit Inline-Qualitätskontrolle zu realisieren. Dabei wird optische Sensortechnologie in Kombination mit zellbasierten Messprinzipien eingesetzt.

Das Fraunhofer IPA ist Gesamtkoordinator des europäischen Biointelligenz-Projekts BioProS, das im Rahmen des HORIZON-Europe-Programms mit über 6 Millionen Euro gefördert wird. Erforscht wird ein biointelligenter Sensor zur Messung von Virenaktivität für die Produktion von Therapeutika. Das Projekt ist am 1. Juli 2022 gestartet und läuft über 48 Monate.

Ziel von BioProS ist es, die Produktionsprozesse für therapeutische Viren über eine bessere Qualitätskontrolle zu optimieren. Eine biohybride Sensortechnologie überwacht dabei in Echtzeit zellbasierte Virusinfektionszyklen. Dafür wird die optische Sensortechnologie mit zellbasierten Messprinzipien kombiniert.

Im Teilprojekt des Fraunhofer IPA wird u.a. eine Plattformtechnologie entwickelt, die an mehrere spezifische Substanzen

und Virenarten angepasst werden kann. Damit wird die Anwendung in verschiedenen Branchen und Produktionsumgebungen möglich. Da eine solche Plattformtechnologie komplex ist, werden zahlreiche europäische Partner aus unterschiedlichen Disziplinen wie der Biologie, den Ingenieurwissenschaften und dem Maschinenbau oder der Informatik einbezogen. Die Digitalisierung muss sich über die gesamte Fertigungskette erstrecken und alle Fortschritte nutzen, die in den letzten Jahren in der intelligenten personalisierten Produktion erzielt wurden.

Die enge Verflechtung von technischen, informationstechnischen und biologischen Systemen sind Grundlage von Biointelligenz. Dieses neue Paradigma eröffnet global einen riesigen Innovationsraum. Weil Europa im Bereich der Fertigungsexzellenz führend ist, wird BioProS einen bedeutenden Beitrag zu nachhaltigen und resilienten Herstellprozessen in der EU leisten. Digitale und biobasierte Prozessketten haben dabei das Potenzial, viele Industriezweige zu revolutionieren und deren Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

Im BioProS-Konsortium sind sieben Partner aus fünf Ländern vertreten: Bico (Schweden), Necstgen (Niederlande), die Fraunhofer-Gesellschaft mit dem IGB und dem IPA, die Tübinger Eberhard-Karls-Universität sowie die Eura aus Deutschland, die Elvelys (Frankreich) und die Politenico di Milano (Italien).

Das Projekt wurde mit Mitteln aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm »Horizon Europe« der Europäischen Union gefördert (HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-27: Entwicklung von Technologien/Geräten für die biointelligente Fertigung (RIA)) unter der Fördervereinbarungsnummer 101070120.

#### Kontakt

Yannick Baumgarten | Telefon +49 711 970-1957  
yannick.baumgarten@ipa.fraunhofer.de

Landwirtschaft der Zukunft:

# Roboter CURT beackert die Felder

Was heute noch meist chemisch oder in zeit- und kostenintensiver manueller Arbeit erreicht wird, sollen künftig Landwirtschaftsroboter auf neue Art und Weise erledigen: nämlich Beikraut autonom und rein mechanisch entfernen und so eine nachhaltige und ökologische Landwirtschaft möglich machen.

Der erste Eindruck von CURT: Der große Outdoor-Roboter reicht einem Erwachsenen bis etwas über Bauchhöhe und besteht aus einem Antriebssystem mit robusten Rädern, deren Profile speziell für unwegsames Gelände ausgelegt sind. Der eigentliche »Körper« des Roboters fängt erst bei einer Höhe von einem Meter über dem Boden an. Darin und daran ist jede Menge modernste Technik verbaut. Dazu gehören beispielsweise verschiedene Kamerasysteme, die das Beikraut erkennen und die Umgebung wahrnehmen können, 3D-Laserscanner für die autonome Navigation und Outdoor-Sicherheitslaserscanner für das Sicherheitskonzept. Und schließlich sind für die Auswertung der Bilddaten viele Recheneinheiten nötig, die die Sensordaten mithilfe eigens entwickelter Algorithmen in Echtzeit aufbereiten und somit die autonomen Fähigkeiten des Roboters ermöglichen.

Unterhalb der Plattform befinden sich austauschbare Akkus für die Energieversorgung und der sogenannte Manipulator, der zielgerichtet die Aufgaben des Roboters während der Fahrt abarbeiten kann. Je nach zu erledigender Aufgabe lassen sich daran unterschiedliche Werkzeuge befestigen, wie beispielsweise ein Greifer oder ein Schneidwerkzeug zum Entfernen von Beikräutern auf dem Feld.

#### Landwirtschaftsrobotik Kernthema im COGNAC-Projekt

CURT ist bereit für den Einsatz auf Feldern, um einen biologischen, pestizidfreien und zugleich ertragreichen Anbau von Nutzpflanzen wie beispielsweise Kartoffeln zu ermöglichen. Der Name steht für »crops under regular treatment«, also »regelmäßig behandelte Pflanzen« und soll dies auf aus-



schließlich ökologisch verträgliche Art erledigen. Er ist jedoch noch kein fertiges Produkt. Er ist ein Prototyp, der bereits viele Versuche auf dem Feld durchlaufen hat, und Teil des großen Fraunhofer-Leitprojekts COGNAC (»Cognitive Agriculture«), das im September 2022 zu Ende gegangen ist.

Acht Fraunhofer-Institute erforschten darin Grundlagen, mit denen landwirtschaftliche Betriebe in einer digitalisierten Welt hohe Erträge mit weiteren Zielen wie Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit und Produktqualität in Einklang bringen können. Das Projekt bearbeitete drei große Themen: 1. Den »Agricultural Data Space«, also ein digitales Ökosystem speziell für die Landwirtschaft. 2. Neuartige Sensorik zur Erfassung hochaufgelöster Messdaten und 3. Autonome Feldrobotik, zu diesem Themenkomplex gehört CURT.

#### Weitere Informationen:

[https://www.youtube.com/watch?v=pRboGT\\_w42w](https://www.youtube.com/watch?v=pRboGT_w42w)  
<https://www.biointelligenz.de>  
<https://www.ipa.fraunhofer.de/landwirtschaftsrobotik>

#### Kontakt

Kevin Bregler  
Telefon +49 711 970-1371  
kevin.bregler@ipa.fraunhofer.de

# KI unter Kontrolle

Produkte, die Künstliche Intelligenz (KI) nutzen, sollen gesetzeskonform entwickelt werden und nachvollziehbare Ergebnisse liefern. Dies stärkt das Vertrauen in die Technologie und macht sie breiter einsetzbar. Ein Audit des Fraunhofer IPA hat nun einem Produkt der Firma Experian – dem »Transaction Miner« als Teil einer Betrugspräventionslösung – diese Eigenschaften bestätigt.

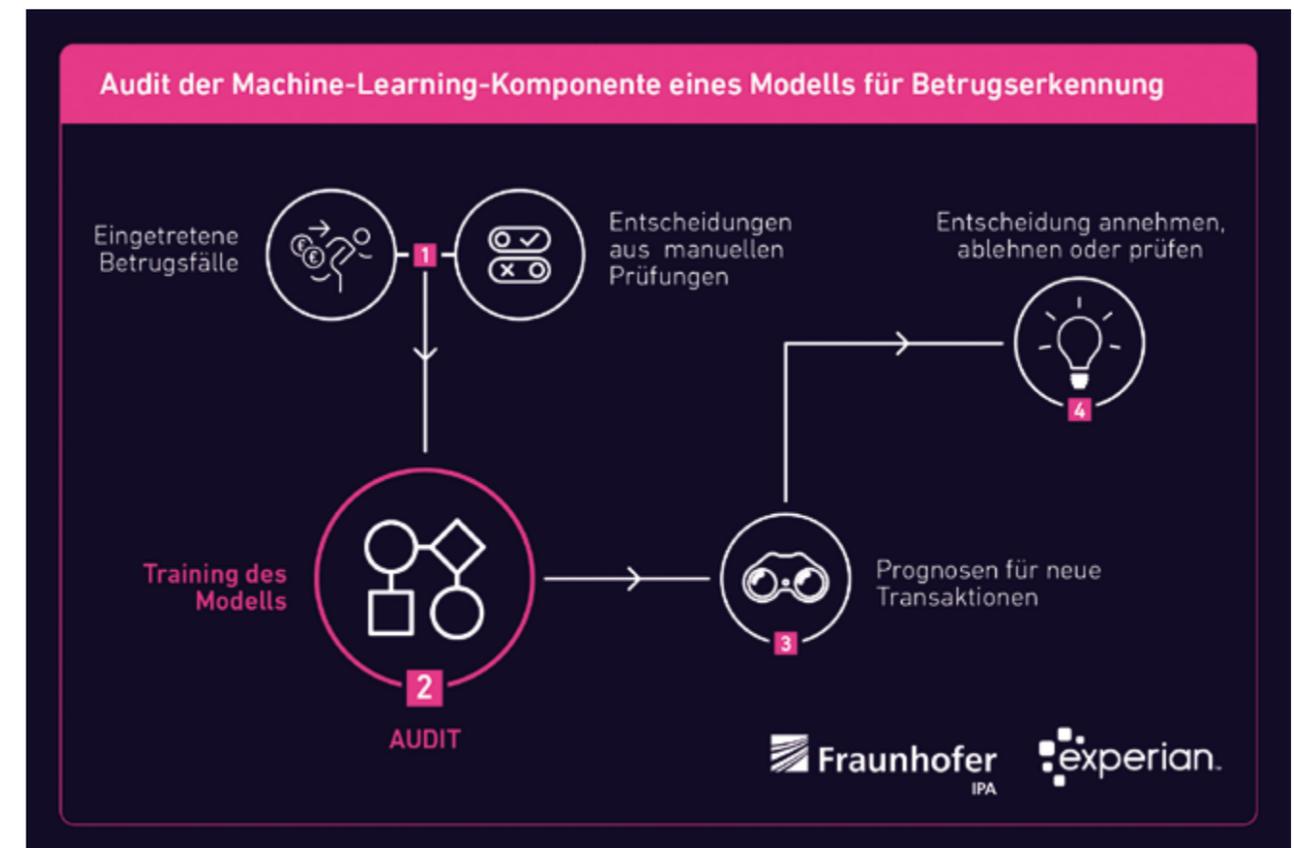
KI in der Datenanalyse eröffnet in vielen Branchen neue Möglichkeiten. Gleichzeitig kann die Technologie verunsichern und ethisch relevante Fragen aufwerfen. Besonders im Fokus sind das Maschinelle Lernen (ML) und die dabei verwendeten Algorithmen. Weil ML-Systeme weitgehend eigenständig anhand von Daten lernen und bei vielen Algorithmen die Wirkungszusammenhänge in den resultierenden Modellen nicht offensichtlich sind, spricht man häufig von einer »Black Box«, denn es ist oft nicht nachvollziehbar, wie ein Algorithmus zu einem bestimmten Ergebnis kommt.

Dies kann rechtlich problematisch werden, weil KI durch nationale und europäische Vorhaben stärker reguliert werden wird. Und es mindert das Vertrauen in die Technologie. Um dies zu verbessern, können objektive Methoden sicherstellen, dass ML-Systeme fair, erklärbar und nachvollziehbar arbeiten. Wie das geht, zeigt ein Projekt des Fraunhofer IPA mit dem Informationsdienstleister Experian. Das Institut hat dessen ML-Komponente »Transaction Miner« eines Datenverarbeitungsprodukts für den Online-Handel hinsichtlich einer gesetzeskonformen Entwicklung und der Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse untersucht. Die eingesetzte Methodik ist für nahezu alle Branchen und KI-basierten Produkte anwendbar.

## Maschinelles Lernen in der Betrugsprävention

Der Transaction Miner hat das Ziel, Betrugsversuche im Internet zuverlässig zu erkennen. Bisher genutzte Systeme erkennen meist zu viele Betrugsversuche, die sich am Ende als »False Positive« herausstellen, also fälschlicherweise als Betrug deklariert wurden. Laut der Payment-Beratung CMSPI lagen 2020 die Umsatzverluste durch tatsächlichen Kartenbetrug in Europa bei etwa 2 Milliarden Euro, die Verluste durch False Positives und hierdurch erforderliche manuelle Kontrollen hingegen bei rund 23 Milliarden Euro.

Experian hat darum in Deutschland die Betrugspräventionslösung AI:drian entwickelt, deren Machine-Learning-Komponente, der Transaction Miner, Betrug zuverlässiger erkennen und die Anzahl von False Positives so signifikant reduzieren soll. Um sicherzustellen, dass die Lösung gesetzeskonform ist und nachvollziehbare Ergebnisse liefert, wollte Experian den Transaction Miner einem unabhängigen Audit unterziehen. Mit diesem Anliegen trat das Unternehmen 2021 an das Fraunhofer IPA heran.



Ein Audit des Fraunhofer IPA (zweiter Schritt in der Grafik) bestätigt der ML-Komponente für die Betrugserkennungslösung von Experian eine korrekte Entwicklung und nachvollziehbare Ergebnisse.

### Wie prüfen?

Noch gibt es keine genauen Vorgaben für die Überprüfung eines ML-Systems oder gar offizielle Standards. Die wichtigsten Ansätze für die Entwicklung eines verbindlichen Regelwerks kommen vom TÜV Austria, dem Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS und der Europäischen Kommission. Letztere versucht aktuell, mit ihrem Entwurf für ein »Gesetz über Künstliche Intelligenz« Leitlinien für die Entwicklung von KI-Anwendungen zu schaffen. Diese sind jedoch oftmals zu abstrakt und enthalten kaum konkrete Anforderungen an Unternehmen und Fachkräfte.

Der TÜV Austria stellt zusammen mit der Universität Linz in einem White Paper Ansätze zur Zertifizierung von ML-Systemen vor. Ein wesentlicher Teil ist ein Katalog zur Auditierung eines ML-Systems, der bestehende Kriterien aus der Softwareentwicklung einfließen lässt und auch ethische Fragen adressiert. Der Katalog beschränkt sich zwar auf Problembereiche wie überwachte Lernverfahren und weitgehend unkritische Anwendungen, legt aber einen Grundstein für weitere Zertifizierungsbemühungen.

Der zurzeit ausführlichste Vorschlag für das Audit eines ML-Systems ist der »Leitfaden zur Gestaltung vertrauenswürdiger Künstlicher Intelligenz« des Fraunhofer IAIS. Er beinhaltet u. a. Vorgaben für die strukturierte Identifikation KI-spezifischer Risiken in Hinblick auf die sechs Dimensionen der Vertrauenswürdigkeit: Fairness, Autonomie und Kontrolle, Transparenz, Verlässlichkeit, Sicherheit und Datenschutz. Darüber hinaus bietet er eine Anleitung zur strukturierten Dokumentation von technischen und organisatorischen Maßnahmen entlang des Lebenszyklus einer KI-Anwendung, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Alle drei genannten Werke gaben wichtige Orientierungspunkte für das Audit des Transaction Miners.

### Technische Erklärbarkeit

Technische Verfahren können aufzeigen, ob ein System wie der Transaction Miner nachvollziehbare und faire Entscheidungen trifft. So hat sich beispielsweise die Anwendung sogenannter Surrogatmodelle bewährt, einer Simulation des ursprünglichen Modells. Eine andere Methode besteht in kontrafaktischen Erklärungen. Diese zeigt auf, wie die Ergebnisse von den Eingabedaten abhängen. Darüber hinaus ist der SHAP-Ansatz (Shapley Additive exPlanations) zu nennen, der Konzepte aus der Spieltheorie nutzt. Mit diesem wird beispielsweise die Vorhersage eines bestimmten Wertes erklärt,

indem der gerechte Beitrag jedes Merkmals zur Vorhersage berechnet wird. Empfehlenswert ist rund um die Erklärbarkeit auch, zwei Blickwinkel anzusetzen: die globale Erklärbarkeit eines Modells zur Darstellung der wichtigsten Treiber und Wirkungszusammenhänge sowie die lokale Erklärbarkeit, die zu dem Ergebnis in einem bestimmten Fall führt.

Derartige Methoden reichen in der Praxis aber oft nicht, weil sie immer nur Aussagen für ein bestimmtes Modell treffen können. Bei einem Produkt wie dem Transaction Miner kommen aber je nach Kunden unterschiedliche Modelle zum Einsatz. Darüber hinaus müssen die Modelle beim Transaction Miner regelmäßig erneuert werden, um sie an die sich schnell verändernden Vorgehensweisen der Betrüger anzupassen. Das Audit des Transaction Miners hat sich deshalb auf vier Komponenten konzentriert, die der eigentlichen Modellentwicklung zugrunde liegen.

### Komponente 1: Feature Engineering

Bei der Beurteilung des Feature Engineering geht es vor allem darum, gängige Fehlerquellen auszuschließen. Gängige Fehlerquellen sind Target Leaks oder Trainingsdaten, die versehentlich im Testset vorhanden sind, oder undurchsichtige Feature-Transformationen. Bei einem Target Leak sind Informationen der Zielvariable bereits in den Features vorhanden: Beispielsweise soll die Lebensdauer einer Batterie in Jahren berechnet werden, die Features enthalten allerdings schon die Lebensdauer in Wochen. Das Fraunhofer IPA sah in diesem Fall weder eine Gefahr von Target Leaks noch die Gefahr von Leaks der Trainingsdaten ins Testset. Auch die angewendeten Feature-Transformationen wurden als transparent bewertet.

### Komponente 2: Modellauswahl und Training

Wie erwähnt stehen beim Transaction Miner regelmäßig die Auswahl, das Training und die Kalibrierung eines aktualisierten Modells an, damit das System die neuesten Betrugsmuster zuverlässig erkennt. Bei der Modellauswahl standen ursprünglich drei Modelle zur Auswahl, deren Hyperparameter durch einen evolutionären Algorithmus bestimmt werden. Hyperparameter sind die Parameter des Modells, die zur Steuerung des Trainingsalgorithmus verwendet werden und deren Werte im Gegensatz zu anderen Parametern vor dem eigentlichen Training des Modells festgelegt werden müssen. Hyperparameter können also beispielsweise die Anzahl der Schichten in einem neuronalen Netz sein oder die Tiefe eines Entscheidungsbaumes. Am Ende der Modellauswahl wird die Hyperparametereinstellung weiterverwendet, die die genauesten

Ergebnisse liefert. Im Anschluss finden das Training des finalen Modells mit den ermittelten Hyperparametern sowie eine Kalibrierung statt.

Beim Training und der Modellauswahl ist zu beachten, dass nach Möglichkeit aktuelle, bekannte Frameworks verwendet werden und die Optimierung bzgl. sinnvoller Metriken stattfindet. Der Einsatz solcher Frameworks sorgt für die notwendige Transparenz und Nachvollziehbarkeit in diesem Schritt. Beim Transaction Miner wurde festgestellt, dass es sich bei allen eingesetzten Methoden um etablierte Verfahren und Frameworks handelt, abgesehen von einer eigens von Experian entwickelten Teilkomponente. Bei deren Einsatz ist eine Dokumentation und Begründung für die Wahl der Methode besonders wichtig. Diese wurden im Audit geliefert.

### Komponente 3: Modellevaluation

Nach allen Trainings- und Kalibrierungsschritten erfolgt eine abschließende Evaluation des fertigen Modells auf dem Testdatenset. Am Ende eines vollständigen Trainingszyklus wird die »Konfusionsmatrix« für das jeweilige Klassifikationsproblem erstellt. Aus dieser Matrix lässt sich beispielsweise die False-Positive-Rate ablesen. Zudem wird ein Kalibrierungsreport erzeugt. Dieser liefert wirtschaftliche Kennzahlen wie bspw. die Märkte und Anwendungsszenarien des jeweiligen Kunden mit Gewinn- und Verlustrechnungen. Darüber hinaus ist der Report wichtig, weil er Fairness in Form von Fehlerraten bzgl. sensibler Gruppen berücksichtigt.

### Komponente 4: Menschliche Kontrolle

Das Unbehagen gegenüber KI und Maschinellem Lernen beruht auch auf der Vorstellung, technische Systeme würden sich in permanenten Selbstoptimierungsschleifen weiterentwickeln. Die Experten des Fraunhofer IPA sahen in diesem Fall jedoch keine Probleme. Bei der Modellentwicklung und Modellevaluation sind menschliche Experten und Risikoprüfer beteiligt und prüfen das Modell auf die Plausibilität der Ausgaben. Ebenso obliegt die finale Entscheidung immer einem Menschen.

### Fazit

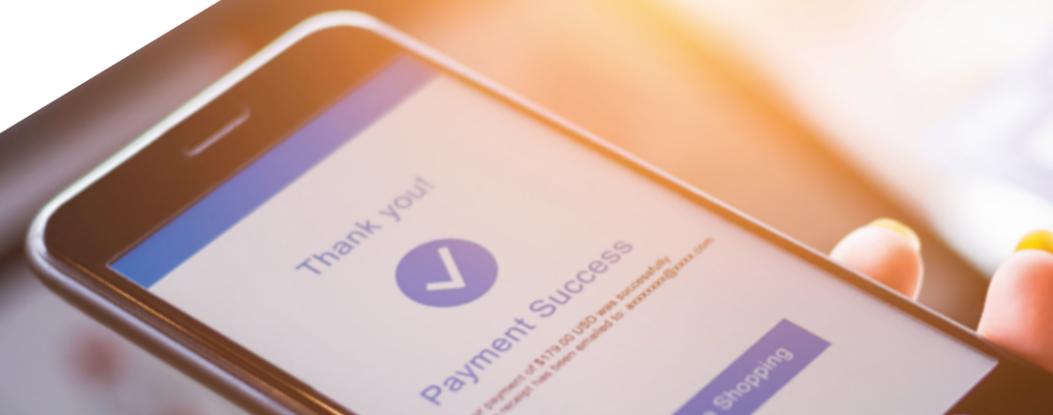
Das Fraunhofer IPA bestätigte dem Transaction Miner sehr hohe Qualität während des gesamten Entwicklungsprozesses und in der Bewertung von Transaktionen. Das System trifft zuverlässige und für Experten nachvollziehbare Vorhersagen, die zu verbesserten Entscheidungen führen. Weil momentan noch allgemein etablierte Standards für die Zertifizierung von ML-Systemen fehlen, können Fairness und Nachvollziehbarkeit der Resultate des Transaction Miner noch nicht offiziell zertifiziert werden. Das Audit kommt einer solchen Zertifizierung aber möglichst nahe und hat die Grundlage für die Entwicklung standardisierter Prüfverfahren geschaffen.

Arbeiten wie diese sind Teil des Forschungsschwerpunkts »Zuverlässige KI« der IPA-Abteilung Cyber Cognitive Intelligence (CCI), in dessen Kontext die Forscher Unternehmen rund um KI-Entwicklungen beraten und unterstützen sowie KI-Anwendungen umsetzen. Ein Audit wie das beschriebene ist branchenübergreifend für nahezu alle KI-basierten Anwendungen umsetzbar.

**Weitere Informationen:** [https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/Transaction\\_Miner\\_Audit\\_Experian.html](https://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/Transaction_Miner_Audit_Experian.html)

### Kontakt

Prof. Dr. Marco Huber  
Telefon +49 711 970-1960  
[marco.huber@ipa.fraunhofer.de](mailto:marco.huber@ipa.fraunhofer.de)



# »Durch Maschinelles Lernen stehen uns neue Werkzeuge zur Verfügung«

Herr Baumann, Sie sind Director Analytics bei Experian DACH. Welche Potenziale sehen Sie in KI und genauer dem Maschinellen Lernen allgemein und speziell für Ihr Unternehmen?

Selbst wenn wir von Künstlicher Intelligenz, wie Hollywood sie präsentiert, noch weit entfernt sind, beeindrucken schon heute die Möglichkeiten, die KI und Maschinelles Lernen eröffnen. Denken wir zum Beispiel an sprechende Geräte oder die Gesichtserkennung beim Smartphone sowie an Prozessautomatisierung im Posteingang oder das Erkennen von Auffälligkeiten in der Sensorik. Diese Anwendungen haben in den Alltag von Privatpersonen und Unternehmen Einzug gehalten und sind nicht mehr wegzudenken. Die weitere Digitalisierung wird zu noch mehr verfügbaren Daten führen, auf die KI und ML aufsetzen. Es gibt Prognosen, die ein zweistelliges Wachstum des weltweiten Bruttoinlandsprodukts bis 2030 allein auf die Nutzung intelligenter Systeme zurückführen. Für Experian ist es insbesondere Maschinelles Lernen, mithilfe dessen wir neue Potenziale erschließen. Unseren Data-Scientists stehen bildlich gesprochen neue Werkzeuge zur Verfügung. Damit können wir etwa zusätzliche Datentypen berücksichtigen, Lösungen noch kundenindividueller ausgestalten, komplexere Wirkungszusammenhänge erkennen und in Prognosemodellen abbilden. Operativ betrachtet können wir darüber hinaus effizienter arbeiten. Der im Beitrag »KI unter Kontrolle« angesprochene Transaction Miner ist ein gutes Beispiel dafür.

Wie haben Sie den Prozess des Audits erlebt und welche Aufwände waren damit verbunden?

Die Mitarbeiter vom Fraunhofer IPA haben das Audit sehr professionell durchgeführt. Dem Fehlen genauer Vorgaben für die Überprüfung eines ML-Systems zum Trotz war das Zusammenführen der drei genannten Leitfäden zu einem Prüfprogramm für uns geräuschlos. Zielgerichtet wurde zunächst der genaue Scope vereinbart. Nach einer allgemeinen Einführung zu Experian und dem Anwendungsfall des Transaction Miners



Martin Baumann, Director Analytics bei Experian

gab es jeweils einen Fokus-Workshop zu den vier Komponenten, in denen die Modellentwickler von Experian als erstes den Prüfern von Fraunhofer das Vorgehen teils bis auf Code-Ebene vorgestellt und dann Rede und Antwort gestanden haben. Falls notwendig, gab es einen Zweitermin oder schriftlichen Austausch, in dem weitere Rückfragen behandelt wurden. Da es sich um eine komplexe Materie handelt, haben wir

erwartet, dass ein nennenswerter Aufwand entsteht. Nichtsdestotrotz blieb es Dank der strukturierten Vorgehensweise bei einer überschaubaren Anzahl an Terminen. Hervorzuheben ist, dass die Atmosphäre durchgehend wenig von einer Prüfer-Prüflings-Situation hatte, sondern Gespräche von Experten mit Experten auf Augenhöhe geführt wurden.

Welche Learnings haben Sie und Ihre Firma daraus gezogen?

Das primäre Ziel war die unabhängige Überprüfung des Transaction Miners. Da wir bei Finanzprozessen in einem sensiblen Umfeld agieren, ist es unser Selbstverständnis, dass wir höchsten Ansprüchen genügen müssen. Die Durchsicht durch einen Dritten rundet die langjährige Tätigkeit und hohe Expertise unserer Kollegen ab. Wir waren im Vorfeld der Prüfung schon überzeugt von der sehr hohen Qualität des Transaction Miners. Die Bestätigung im Prüfungsergebnis war dann trotzdem nochmals sehr erfreulich. Die eine oder andere Anregung aus den Fachdiskussionen nehmen wir gerne zukünftig in unsere Standards auf. Dies insbesondere im Hinblick auf das sekundäre Ziel. Es ist davon auszugehen, dass die laufenden Gesetzgebungsverfahren auf europäischer Ebene, etwa der angesprochene EU AI Act, generell für uns wie für viele andere Unternehmen neue Anforderungen bringen werden. Es ist hilfreich zu wissen, dass wir mit unseren Standards schon gut aufgestellt sind.

Herr Baumann, wir danken für das Gespräch.

White Paper

## Zuverlässige KI:

### KI in sicherheitskritischen industriellen Anwendungen einsetzen

Rund um Künstliche Intelligenz (KI) wurde in den letzten Jahren viel geforscht, denn die Technologie zeigt großes Potenzial zum Beispiel in Produktion, Medizin und autonomem Fahren. Allerdings ist der Einsatz im Labor oft nicht mit den Anforderungen im industriellen Umfeld gleichzusetzen, weil die KI-Modelle mitunter noch nicht zuverlässig genug sind. Hinzu kommt ihr sogenannter »Black-Box-Charakter«: Sie sind so komplex, dass selbst Fachleute die innere Funktionsweise und Entscheidungsfindung nicht mehr nachvollziehen können. Die getroffenen Vorhersagen basieren auf vorhandenen Daten, weswegen ungesehene Daten oder Anwendungssituationen oft zu unerwarteten Vorhersagen und Ergebnissen führen. In sicherheitskritischen Anwendungsfällen können derartige KI-Verfahren deswegen noch nicht eingesetzt werden. Die Autoren des White Papers haben aktuelle Methoden und Algorithmen des Designs und der Verifikation zuverlässiger KI-Modelle recherchiert, getestet und selbst entwickelt, um die Lücke zwischen Forschung und Industrie zu schließen.

### Weitere Informationen und die Studie zum Runterladen:

<http://www.ki-fortschrittszentrum.de/studien>

# Ersatzteile für Elektrofahrräder aus dem 3D-Drucker

**Für Bauteile von Elektrofahrrädern ist nicht immer Ersatz verfügbar. Eine Studie zeigt, dass beschädigte Teile additiv gefertigt werden können.**

Angesichts wachsender Verkehrsaufkommen und anspruchsvoller Klimaschutzziele gewinnt Elektromobilität immer größere Bedeutung. Insbesondere Elektrofahrräder bieten im Straßenverkehr alltagstaugliche Alternativen zum PKW. Bereits im Jahr 2021 erreichte der Absatz von Elektrofahrrädern in Deutschland die Marke von zwei Millionen verkauften Exemplaren. Experten gehen sogar davon aus, dass zukünftig jedes zweite verkaufte Fahrrad ein Elektrofahrrad sein wird. Durch die Vielzahl der Anbieter und die Weiterentwicklung der Modelle kann es jedoch passieren, dass Ersatzteile nicht verfügbar sind und das Elektrofahrrad durch den Ausfall eines Bauteils zum Totalschaden wird.

## Ersatzteile aus dem 3D-Drucker

Warum also nicht einfach Ersatzteile aus dem 3D-Drucker fertigen? Dieser Frage widmete sich »AddRE-Mo«. Das vom BMBF geförderte Forschungsprojekt steht für einen industriellen Prozess zur Aufarbeitung von Altteilen – die Additive Refabrikation in der Elektromobilität. Während der Projektlaufzeit von drei Jahren verfolgte ein Verbund aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen das Ziel, die technische Machbarkeit der Refabrikation von Elektrofahrradkomponenten zu demonstrieren und die gesamte Prozesskette – bestehend aus Demontage, Reinigung, Prüfung, Sortierung, Aufarbeitung, Ersatz und Remontage – in einem Werterhaltungsnetzwerk umzusetzen.

## Additive Refabrikation von Elektrofahrradkomponenten

Dazu hat das Fraunhofer IPA zusammen mit der Firma Electric Bike Solutions Komponenten von Elektrofahrradmotoren etablierter Hersteller genauer unter die Lupe genommen. Die Experten gingen die Stücklisten typischer Elektrofahrradmotoren durch und prüften die Teile auf ihre Ausfallwahrscheinlichkeit. Dann untersuchten sie, ob und unter welchen Bedingungen Ersatzteile wie beispielsweise Zahnräder und Drehmomentstützen additiv gefertigt werden können. Die notwendigen Daten

für die additive Fertigung, wie der 3D-Druck in der Fachsprache heißt, gewannen die Wissenschaftler abhängig von der Geometrie der Komponenten entweder durch 3D-Modellierung oder 3D-Digitalisierung. Im nächsten Schritt wählten sie Werkstoffe und additive Verfahren aus – je nachdem, ob sich Metalle oder Kunststoffe für die Fertigung und die Ersatzteile besser eignen. Zusammen mit dem Unternehmen cirp fertigte das Fraunhofer IPA schließlich die Komponenten und prüfte ihre Lebensdauer, Geräusentwicklung und Temperaturbeständigkeit in eigens entwickelten Prüfständen.

Mit der Remontage und dem Test unter realen Einsatzbedingungen konnten die technische Machbarkeit und Haltbarkeit nachgewiesen werden. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass einzelne Bauteile additiv gefertigt und nachhaltig eingesetzt werden können. Auch die Herausforderung der hohen Variantenvielfalt und mangelnden Standardisierung von Elektrofahrradkomponenten kann mit Hilfe additiver Refabrikation bewältigt werden. Damit bietet dieses Verfahren das Potenzial, die Kreislauffähigkeit in der Elektrofahrradbranche zu steigern und die Verschwendung von Ressourcen zu mindern.

Das Projekt wurde unter dem Förderkennzeichen 033R234A vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Maßnahme »Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)« im Rahmenprogramm »Forschung für Nachhaltige Entwicklung – FONAZ« gefördert.

**Der kostenlose Download der Studienbroschüre ist hier erhältlich:** <https://www.ipa.fraunhofer.de/ebike-refabrikation>

**Kontakt**  
Jan Koller  
Telefon +49 921 78516-434  
[jan.koller@ipa.fraunhofer.de](mailto:jan.koller@ipa.fraunhofer.de)



# »Qualitätssicherung in der additiven Materialextrusion«

Die Materialextrusion, kurz MEX, ist das meistgenutzte additive Fertigungs- oder 3D-Druckverfahren. Bei der MEX wird ein erwärmter Kunststoff durch eine Düse gefördert und schichtweise abgelegt. Die Energie, die durch die Erwärmung in den Kunststoff eingebracht wird, reicht aus, damit dieser nach dem Ablegen mit der darunterliegenden Schicht verschmilzt. Nach dem Abkühlen des Kunststoffes entsteht so eine dauerhafte Verbindung. Obwohl die Industrialisierung dieses Verfahrens in den Unternehmen vermehrt in den Fokus rückt, hemmt die fehlende standardisierte Qualitätssicherung in der additiven Prozesskette die industrielle Anwendung und Skalierung. Dies bedeutet, dass prozessspezifische Standards und Leitfäden nur bedingt aus anderen Fertigungsverfahren für die additive Fertigung adaptierbar sind und damit nicht etabliert sind. Dies führt zu nicht einheitlichen und nicht unternehmensübergreifend vergleichbaren Qualitätsstandards für Materialien, Prozesse und Bauteile der additiven Materialextrusion. Außerdem gibt es kein einheitliches Verständnis davon, welche Qualitätsmerkmale den größten Einfluss auf die Bauteilqualität haben und welche Prüfverfahren zur Messung dieser geeignet sind.

## Praxisnahe Handlungsempfehlungen zur Qualitätssicherung

Um diese Hemmnisse zu überwinden, hat das Fraunhofer IPA und der Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth den Anwenderleitfaden »Qualitätssicherung in der additiven Materialextrusion« verfasst. In diesem sind wesentliche Handlungsempfehlungen zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Qualität eines additiv gefertigten Bauteils zusammengestellt, die bei der Planung, Fertigung und Kontrolle in der additiven Prozesskette von Bedeutung sein können. Außerdem beschreiben die Verfasser des Leitfadens, welche Teilprozesse entlang der Prozesskette einen relevanten Einfluss auf die Bauteilqualität und Reproduzierbarkeit haben. Diese Teilprozesse bilden die Basis für ein universell anwendbares Vorgehensmodell zur Beurteilung der Bauteilqualität, das neben der Erfassung der Bauteilqualität



auch den Qualitätssicherungsprozess umfasst. Um die Vergleichbarkeit von Bauteilen sicherzustellen, haben die Experten ein Güteklassensystem entwickelt, das die objektive Quantifizierung der Bauteilqualität ermöglicht. Hierfür werden bereits existierende Normen und Richtlinien der additiven Fertigung herangezogen, die für MEX geeignet sind. Kern des Vorgehensmodells ist die Evaluierung geeigneter Qualitätsmerkmale und deren Prüfverfahren anhand geeigneter Prüfkörper und Referenzbauteile sowie deren quantitativer und qualitativer Bewertung mittels einer Qualitätsmatrix.

## Weitere Informationen:

[www.prozessinnovation.fraunhofer.de](http://www.prozessinnovation.fraunhofer.de)

## Die Studie ist kostenfrei bestellbar unter:

<https://s.fhg.de/3dqleitfaden>

## Kontakt

Dr.-Ing. Christian Bay  
Telefon +49 921 78516-226  
[christian.bay@ipa.fraunhofer.de](mailto:christian.bay@ipa.fraunhofer.de)

Dr.-Ing. Joachim Kleylein-Feuerstein  
Telefon +49 921 78516-200  
[joachim.kleylein-feuerstein@ipa.fraunhofer.de](mailto:joachim.kleylein-feuerstein@ipa.fraunhofer.de)

# »Meine Arbeit soll einen Impact haben«

Seit Juli 2021 leitet Dr. Jens Langejürgen die Mannheimer Außenstelle »Klinische Gesundheitstechnologien«. Der studierte Physiker wollte schon immer angewandt forschen und arbeiten. Mit seiner Diplomarbeit bei einer Lübecker Medizintechnik-Firma und der Promotion im Bereich Elektrotechnik in Hannover mit Fokus auf Sensorik und Messtechnik am Menschen legte er den Grundstein für seine berufliche Laufbahn. Am Fraunhofer IPA hat er Großes vor – und denkt dabei konsequent auch an die kleinen Dinge des operativen Geschäfts. Interaktiv sprach mit ihm über seine Arbeit.

*Interdisziplinäre Zusammenarbeit in Forschungsprojekten ist für dich ganz wichtig. Warum?*

*Jens Langejürgen:* Weil es absolut Sinn macht, die besten Köpfe eines bestimmten Themas an einen Tisch zu bringen und gemeinsam an einem Ziel zu arbeiten. Mit Wagemut und Hingabe. Gern gebe ich dazu ein Beispiel aus meiner Anfangszeit. Nach meiner Promotion wollte ich Auslandserfahrung sammeln und arbeitete in England als Quereinsteiger im Center of Analytical Science der Loughborough University, das sich im Schwerpunkt auf Analytische Chemie spezialisiert hatte. Dort gab es das Projekt »TOXI-triage«, das steht für Tools for detection, traceability, triage and individual monitoring of victims. Triage als Thema war gesellschaftlich noch nicht so bekannt wie es später durch die Corona-Pandemie wurde. Das Projekt befasste sich mit den operativen, technologischen, ethischen und gesellschaftlichen Fragestellungen rund um den Katastrophenschutz und das schnelle Screening bei Massenanfällen von Verletzten. Meine Quintessenz: Ich kann mich thematisch breit bewegen. Und dann die Frage, die ich mir abschließend stellte: Wie bekomme ich meine Erkenntnisse in die Anwendung mit einem Nutzen für die Praxis?

*Sprich: Egal, wie gut die Forschungsergebnisse sind, wenn später keiner ein Produkt daraus macht, hilft das niemandem.*

*Jens Langejürgen:* So lässt sich das auf den Punkt bringen. Meine Arbeit soll einen gesellschaftlichen Impact haben. Das war auch der Grund, warum ich beim Fraunhofer IPA anfang.



Hier konnte ich genau das miteinander verbinden, was ich wollte: die gewonnenen Erkenntnisse in einen echten Use Case überführen. Das können wir hier in Mannheim wunderbar machen, weil wir direkt an das Universitätsklinikum angeschlossen sind und dadurch den Zugang zu Menschen, Infrastruktur und Wissen haben. Auch hier sind wir interdisziplinär unterwegs, weil wir sowohl Technik als auch Anwendung mitdenken müssen.

*Wo muss man Technik und Anwendung mitdenken?*

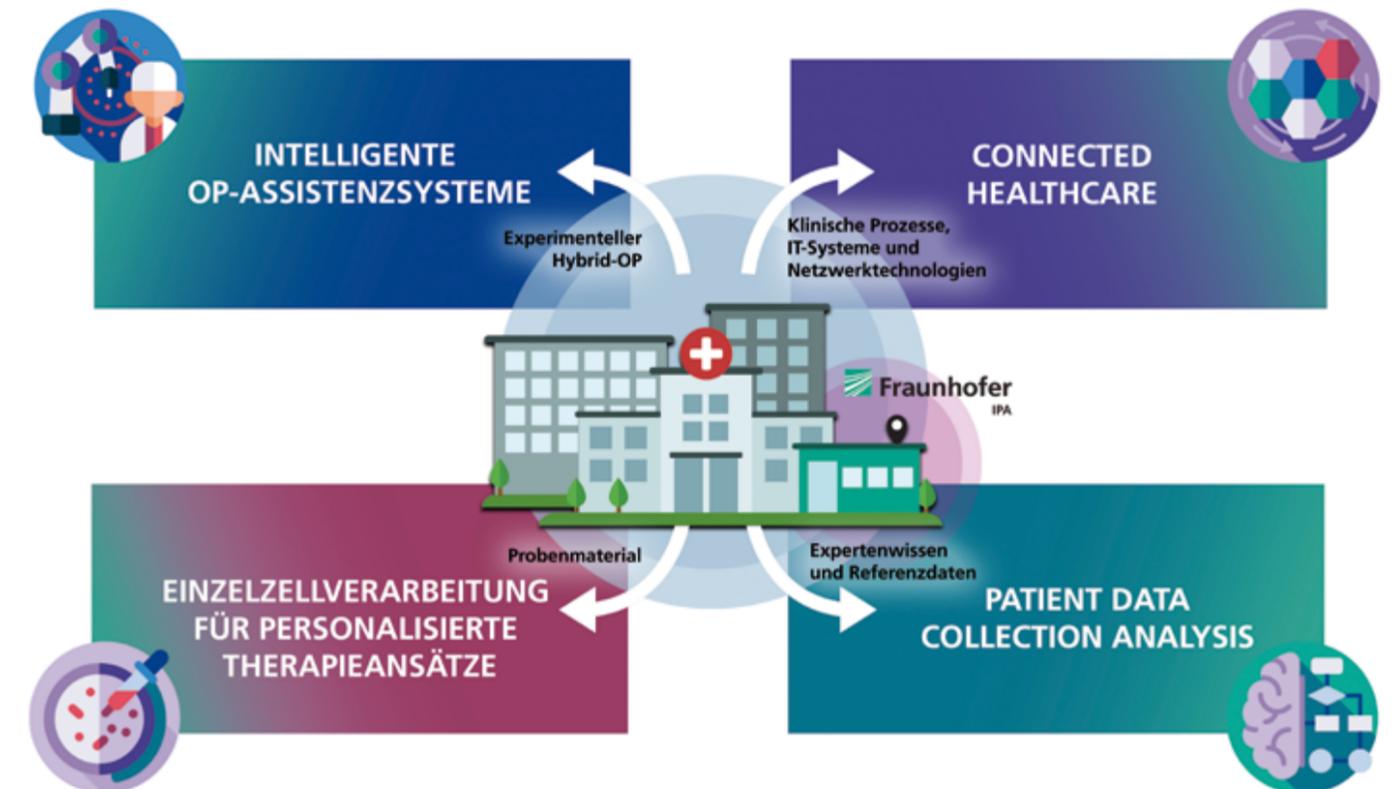
*Jens Langejürgen:* Ein schönes Beispiel ist der von uns entwickelte Thorax-Monitor. Das ist ein Sensorverfahren, mit dem es möglich ist, berührungslos und sicher Atemaktivität zu detektieren. Dies ist besonders bei der Beatmung von Frühgeborenen wichtig, bei denen ein Beatmungsgerät idealerweise die eigene Atmung des kleinen Patienten unterstützen

soll. Hierfür gab es bisher keine geeigneten Sensoren, denn es geht um sehr kleine Atemzüge und Klebesensoren eignen sich hier nicht. Daher haben wir ein Verfahren entwickelt, das zwei Antennen verwendet, die in der Nähe des Brustkorbs angebracht werden. Die eine sendet eine elektromagnetische Welle aus, die andere empfängt sie. Wir machen uns dabei zunutze, dass Muskeln, Fett und Gewebe andere elektrische Eigenschaften besitzen als die Atemluft in der Lunge. Klingt kompliziert, ist aber einfach zu realisieren und ein wunderbarer Anwendungsfall, der sich auch auf andere Bereiche wie beispielsweise Schlafapnoe übertragen lässt.

*Was steht auf deiner Agenda? Was wirst Du in nächster Zeit vorantreiben und warum?*

*Jens Langejürgen:* Zum einen haben wir uns neu aufgestellt. Dafür habe ich mit jedem Einzelnen gesprochen. Wir haben die thematischen Potenziale und Stärken identifiziert, um diese

weiter auszubauen. Zum anderen habe ich mir angeschaut, welche Kompetenzen wir weiter entwickeln möchten, um daraus mehr Projektgeschäft zu generieren, und welche Verwertungen sich auslizenzieren lassen, auch mit Blick auf Spin-offs und Start-ups. Thematisch setze ich auf Bestehendes auf und schaffe da Ergänzungen, wo es sinnvoll erscheint und eine industrielle Nachfrage gegeben ist. Folgende vier Kernthemen haben sich aus dieser Analyse herauskristallisiert: Intelligente klinische Assistenzsysteme, Zugang zu klinischen Informationssystemen und eigener Infrastruktur, Sensortechnik und Algorithmen sowie die Verarbeitung von biologischen Proben zu Einzelzellen für die personalisierte Therapie. Hier gibt es noch viel Entwicklungspotenzial, in erster Linie sicher langfristig. Die Quick Wins, die sich unterwegs auf tun, nehmen wir natürlich auch mit.



## Vorschau interaktiv Ausgabe 1|2023

Ziemlich genau 50 Jahre ist es her, dass am Fraunhofer IPA die ersten Technologien für Robotersysteme entwickelt wurden. Seitdem hat das Institut vielfältige und zugleich herausfordernde Anwendungen für zahlreiche Branchen und Unternehmen vom Start-up bis zum Konzern umgesetzt. Zum 50jährigen Jubiläum blicken wir zurück und zugleich nach vorn und stellen herausragende Projekte vor.



Impressum

interaktiv Ausgabe 2|2022 | Das Kundenmagazin des Fraunhofer IPA

**Herausgeber:**

Fraunhofer-Gesellschaft | Hansastraße 27c | 80686 München

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart | Deutschland

Marketing und Kommunikation | Leitung: Fred Nemitz | [fred.nemitz@ipa.fraunhofer.de](mailto:fred.nemitz@ipa.fraunhofer.de)

**Redaktion:** Klaus Jacob, Fred Nemitz, Dr. Karin Röhrich, Christine Sikora (Bild und Produktion), Dr. Birgit Spaeth, Anna Unseld, Jörg-Dieter Walz (Chefredaktion), Hannes Weik, Franziska Zeller

Telefon +49 711 970-1667 | [presse@ipa.fraunhofer.de](mailto:presse@ipa.fraunhofer.de)

**Fotos:** Rainer Bez, Fraunhofer IPA; alle weiteren Abbildungen stammen aus folgenden Quellen:

Seite 6 Mitte: Bildquelle: JOT – Journal für Oberflächentechnik; Seite 10: Grafik: Emir; Seite 12–15: Grafik: Andrine Theiss;

Seite 27: Braunes Langohr, Dietmar Nill; Seite 28–30: Foto: BMBF/Hans-Joachim Rickel; Seite 31–33: Simon Schuhmacher;

Seite 36: Frank Eidel; Seite 41: Quelle: Experian; Seite 43: AdobeStock;

**Titelbild:** ARENA2036

**Druck:** GO Druck Media GmbH & Co. KG, Kirchheim unter Teck

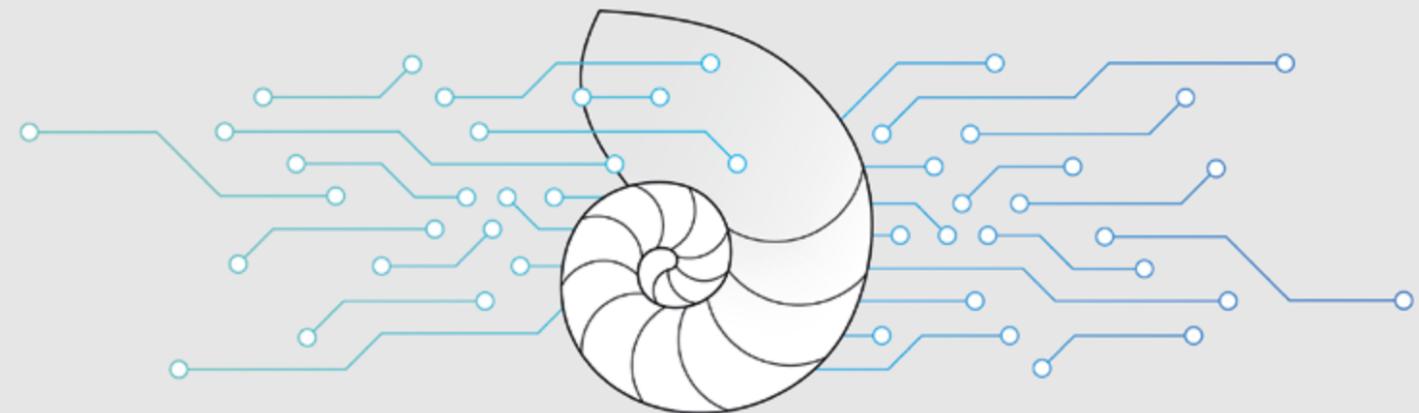
**Bestellservice:**

Telefon +49 711 970-1932 | [marketing@ipa.fraunhofer.de](mailto:marketing@ipa.fraunhofer.de) | [www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/bestellservice.html](http://www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/bestellservice.html)



# Blog Biointelligenz

## Die nächste Transformation aktiv mitgestalten.



[www.biointelligenz.de](http://www.biointelligenz.de)



12  
A

14  
A

Informational display board with text and graphics.

