

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA

Jahresbericht 2023



**Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA**



Jahresbericht 2023

Inhaltsverzeichnis

Editorial	6	<i>Vernetzte Produktion</i>	
Instituts- und Bereichsleitung	8	Digitale Werkzeuge in der Produktion	37
Produktionsforschung in Stuttgart	10	Fabrikplanung und Produktionsmanagement	37
Das Institut in Zahlen	11	Unternehmensstrategie und -entwicklung	38
Organisationsstruktur	12	<i>Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnik</i>	
Highlights	14	Bild- und Signalverarbeitung	38
Auszeichnungen	16	Cyber Cognitive Intelligence	39
Kuratorium	18	Reinst- und Mikroproduktion	39
Titel:		Roboter- und Assistenzsysteme	40
50 Jahre Robotik am IPA –		<i>Medizin- und Bioproduktionstechnik</i>	
Erfolgreicher Technologietransfer für		Biomechatronische Systeme	40
die Robotik der Zukunft	20	Laborautomatisierung und	
		Bioproduktionstechnik	41
Geschäftsfelder		<i>Oberflächen- und Materialtechnik</i>	
Automotive	31	Beschichtungssystem- und Lackiertechnik	41
Elektronik und Mikrosystemtechnik	31	Funktionale Materialien	42
Energie	32	Galvanotechnik	42
Gesundheitsindustrie	32	<i>Fertigungs- und Prozesstechnik</i>	
Maschinen- und Anlagenbau	33	Additive Fertigung	43
Prozessindustrie	33	Leichtbautechnologien	43
Abteilungen		Industry on Campus	
<i>Ressourceneffiziente Produktion</i>		ARENA2036	45
Biointelligente Produktion	35	Future Work Lab	45
Energiotechnologien	35	Lab Flexible Blechfertigung	46
Industrielle Energiesysteme	36	nICLAS Innovation Center für	
Nachhaltige Produktion und Qualität	36	Laborautomatisierung	46
		Transferzentrum 5G4KMU	47
		Zentrum für Dispergiertechnik	47
		Zentrum für Partikeltechnik	48

S-TEC – Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus

KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik«	49
Leistungszentrum Mass Personalization	49
Zentrum für Additive Produktion	50
Zentrum für Biointelligente Produktion	50
Zentrum für Cyberphysische Systeme	51
Zentrum für Digitalisierte Batteriezellproduktion	51
Zentrum für Frugale Produkte und Produktionssysteme	52
Zentrum für Klimaneutrale Produktion und Ganzheitliche Bilanzierung	52
Zentrum für Leichtbautechnologien	53
Zentrum für Ultraeffizienz	53

Weitere Standorte

Arbeitsgruppe KI-noW – Künstliche Intelligenz für eine nachhaltig optimierte Wertschöpfung	55
EPIC – Centre of Excellence in Production Informatics and Control	55
Fraunhofer Austria Research GmbH – Center für Nachhaltige Produktion und Logistik	56
Fraunhofer Innovation Platform for Smart Manufacturing	56
Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation	57
Klinische Gesundheitstechnologien	57
Reutlinger Zentrum Industrie 4.0	58

Lehre 60

Impressum 64





Prof. Dr.-Ing.
Thomas Bauernhansl



Prof. Dr.-Ing.
Alexander Sauer

Editorial

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Leserschaft,

50 Jahre Robotikforschung am IPA ist für uns Anlass, zurück, insbesondere aber nach vorne zu schauen. In unserer Titelstory lesen Sie ganz konkret, was unsere Forschungsteams in Sachen Robotik im Portfolio haben, welche Pläne darauf warten, realisiert zu werden, und welche Veranstaltungen dazu Sie besuchen können.

Wir berichten über die Themen Wasserstoff, KI, Biointelligenz, Ultraeffizienz, Circular Economy, die uns dauerhaft beschäftigen. Sie standen auch 2023 im Fokus. Lesen Sie mehr dazu gerne in den Highlights ab S. 14.

Die Unterstützung von Ausgründungen oder auch die Übertragung von Nutzungsrechten sollen am IPA, eines der gründungsstärksten Fraunhofer-Institute, noch weiter ausgebaut werden. Übrigens: Nicht nur die Start-up-Kultur am IPA wurde im vergangenen Jahr ausgezeichnet, den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern wurden auch industrienaher Preise wie der AiF-Otto-von-Guericke-Preis, zahlreiche Best Paper Awards und viele andere Preise verliehen (S. 16) und die Anzahl der am IPA betreuten Dissertationen ist auf einem erfreulich hohen Niveau.

Im Juli 2023 war das Fraunhofer IPA Aussteller auf der Stallwächterparty in Berlin und präsentierte Ministerpräsident Kretschmann mit dem Test- und Entwicklungszentrum für Digitale Patientenaufnahmesysteme eine wesentliche Grundlage für das digitale Krankenhaus.

Fraunhofer-Präsident Holger Hanselka machte auf seiner Dialogtour Halt bei uns im Institutszentrum, tauschte sich intensiv mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus und informierte sich über unsere Forschung.

Was hat uns sonst noch bewegt im vergangenen Jahr? Die Lernreise »Fabrik der Zukunft – Lean, Green, Digital« war zweifellos ein Höhepunkt des Jahres und hat uns noch enger mit der Industrie verbunden.

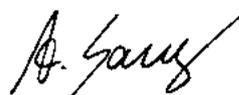
Wichtig war außerdem: Im Berichtsjahr 2023 wurde am IPA partizipativ eine neue Organisationsstruktur, das NOM (New Operating Model), entwickelt. Es ist mit Erscheinen dieses Jahresberichts in der Umsetzung. Unser Ziel ist es, mit NOM flexibler zu werden und über die Einbindung von kaufmännischen Funktionen die End-to-End-Prozessperformance zu verbessern.

Wir freuen uns, wenn Ihnen dieser Jahresbericht Lust auf gemeinsame Projekte macht. Melden Sie sich gerne bei uns.

Mit den besten Grüßen
Ihr



Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl



Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer

Instituts- und Bereichsleitung



Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Institutsleiter
Bereichsleiter Vernetzte Produktion

Telefon +49 711 970-1100
thomas.bauernhansl@ipa.fraunhofer.de



Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer
Institutsleiter
Bereichsleiter Ressourceneffiziente Produktion

Telefon +49 711 970-3600
alexander.sauer@ipa.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Michael Hilt
Stellvertretender Institutsleiter
Bereichsleiter Oberflächen- und Materialtechnik

Telefon +49 711 970-3820
michael.hilt@ipa.fraunhofer.de



Volker Kübler
Kaufmännische Leitung

Telefon +49 711 970-3800
volker.kuebler@ipa.fraunhofer.de



Dr.-Ing. Udo Gommel
Bereichsleiter Intelligente Automatisierung
und Reinheitstechnik

Telefon +49 711 970-1633
udo.gommel@ipa.fraunhofer.de



Dr. med. Urs Schneider
Bereichsleiter Medizin- und Bioproduktionstechnik

Telefon +49 711 970-3630
urs.schneider@ipa.fraunhofer.de



Prof. Dr.-Ing. Frank Döpper
Bereichsleiter Fertigungs- und Prozesstechnik

Telefon +49 921 78516-100
frank.doepper@ipa.fraunhofer.de

Produktionsforschung in Stuttgart

Das Fraunhofer IPA – eines der größten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft – wurde 1959 gegründet und beschäftigt annähernd 1200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Organisatorische und technologische Aufgabenstellungen aus der Produktion machen unsere Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte aus. Methoden, Komponenten und Geräte bis hin zu kompletten Maschinen und Anlagen werden von uns entwickelt, erprobt und exemplarisch eingesetzt. Die 19 Fachabteilungen des Fraunhofer IPA decken den gesamten Bereich der Produktionstechnik ab. Sie werden koordiniert durch sechs Geschäftsfelder und arbeiten interdisziplinär mit Industrieunternehmen der Branchen Automotive, Maschinen- und Anlagenbau, Elektronik und Mikrosystemtechnik, Energie, Medizin- und Biotechnik sowie Prozessindustrie zusammen.

Wir produzieren Zukunft: nachhaltig, personalisiert, smart

Leit- und Zukunftsthemen

Seit dem Jahr 2020 haben wir unsere Leit- und Zukunftsthemen auf zwölf Forschungsbereiche fokussiert:

- Batterieproduktion
- Biointelligente Wertschöpfung
- Digitale Transformation
- Frugale Produktionssysteme
- Kreislaufwirtschaft und klimaneutrale Produktion
- Künstliche Intelligenz für die Produktion
- Leichtbau und funktionale Beschichtungen
- Mass Personalization
- Reinheit in der Produktion
- Resiliente Wertschöpfung
- Robotertechnologien und Services
- Technologien für die menschenzentrierte Produktion

Wir produzieren Zukunft: nachhaltig, personalisiert und smart

Unsere Forschung und Entwicklung orientieren wir daran, nachhaltige und personalisierte Produkte wirtschaftlich zu produzieren. Zwei strategische Initiativen sind dafür wichtig: »Mass Sustainability« soll einen möglichst niedrigen Ressourcenverbrauch mit möglichst hohem Wohlstand verbinden. Durch »Mass Personalization« wollen wir die Kostenvorteile, die sich durch Massenproduktion ergeben (»Economies of Scale«), mit denen, die sich durch Flexibilisierung ergeben (»Economies of Scope«), vereinen. So versprechen wir uns individualisierte Produkte in Losgröße 1 zu Kosten der Massenfertigung.

S-TEC vernetzt Unternehmen mit Forschung und Politik

Um zukunftsrelevante Forschungsthemen voranzutreiben und schnell auf den Markt zu bringen, haben Fraunhofer, die Universität Stuttgart und die Landesregierung Baden-Württemberg gemeinsam S-TEC initiiert. Auf dem Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus koexistieren Leuchtturmfor schung, Industry-on-Campus-Projekte und Gründungen. S-TEC vernetzt Unternehmen mit der thematisch breit gefächerten Forschungslandschaft am Standort Stuttgart. Der Campus wird nach zukunftsrelevanten Forschungsthemen mit hohem technischem Innovationscharakter wie additive und klimaneutrale Produktion, cyberphysische Systeme, digitalisierte Batterie zellenproduktion sowie frugale Produkte und Produktionssysteme in Zentren organisiert.

Von der digitalen zur biologischen Transformation

Was kommt nach der Digitalisierung der Wertschöpfung? Das Fraunhofer IPA nimmt in der Entwicklung der biointelligenten Wertschöpfungssysteme bereits heute eine Schlüsselrolle ein. Die biologische Transformation wird in Zukunft Natur und Technik, also die Bio- und die Technosphäre, zusammenführen. Die durch die Evolution in 3,5 Milliarden Jahren optimierten Prinzipien, Prozesse und Organismen werden immer stärker in die industrielle Wertschöpfung Einzug halten. Durch Innovationen aus der Bio- und Informationstechnik können sie kultiviert und für zahlreiche industrielle Prozesse genutzt werden. So wird die Wertschöpfung effektiver, effizienter und nachhaltiger – zum Wohl der Menschen und ganz besonders der Umwelt.

Das Institut in Zahlen

Haushalt

(in Mio. €) ¹	2019	2020	2021	2022	2023
Haushalt gesamt	76	74	82	90	94
Betriebshaushalt	72	70 ²	77 ²	82 ²	89 ²
Investitionshaushalt	4	4	5	8	5
Wirtschaftserträge	29	21	23	24	26

¹ Alle Werte inkl. Fraunhofer Austria Research GmbH, Wien, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement

² Angepasste Betriebshaushalte 2020–2023: jeweils erhöht um kostenentlastende interne Leistungsverrechnungen mit IPA-Wertschöpfung i. H. v. rd. € 2 Mio. (2020–2021), € 3 Mio. (2022) und € 1 Mio. (2023)

Anzahl der Mitarbeitenden

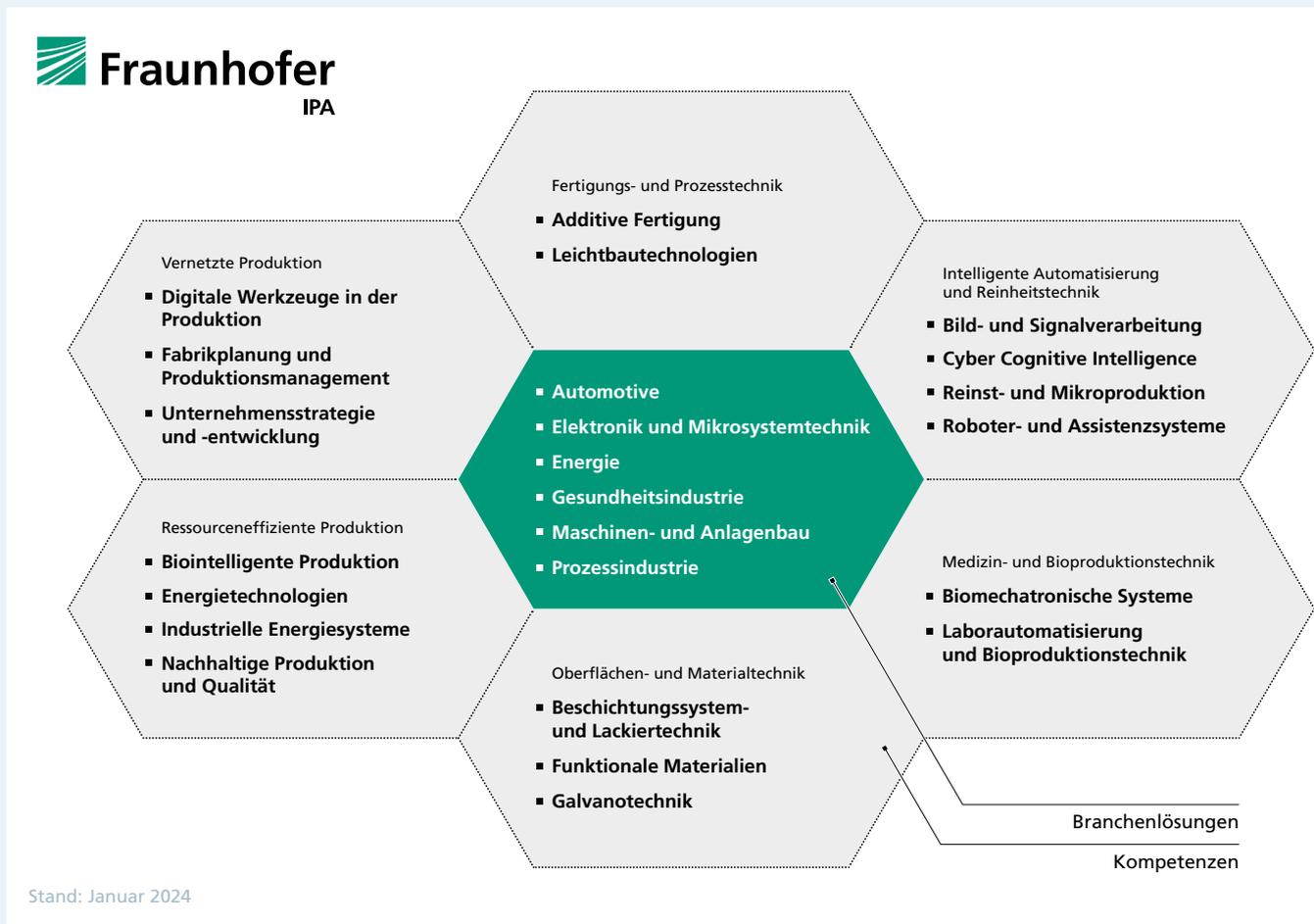
Fraunhofer IPA (ohne Austria und EPIC)	723
Fraunhofer IPA, Wissenschaftliche Hilfskräfte und Praktikanten (ohne Austria und EPIC)	370
Fraunhofer Austria Research GmbH Center für Nachhaltige Produktion und Logistik (NPL)	101
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)	44
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF)	73

Stand 31.12.2023

Weitere Kennzahlen

	2021	2022	2023
Erteilte Patente	24	23	28
davon in Deutschland	5	10	10
international	19	13	18
Abgeschlossene Lizenzverträge	11	5	6
Eingetragene Ausgründungen (GmbHs)	1	1	1
Start-ups im Company-Builder AHEAD	9	11	15
Dissertationen	16	20	21
Habilitationen	–	–	1
Veröffentlichungen	870	855	835

Organisationsstruktur



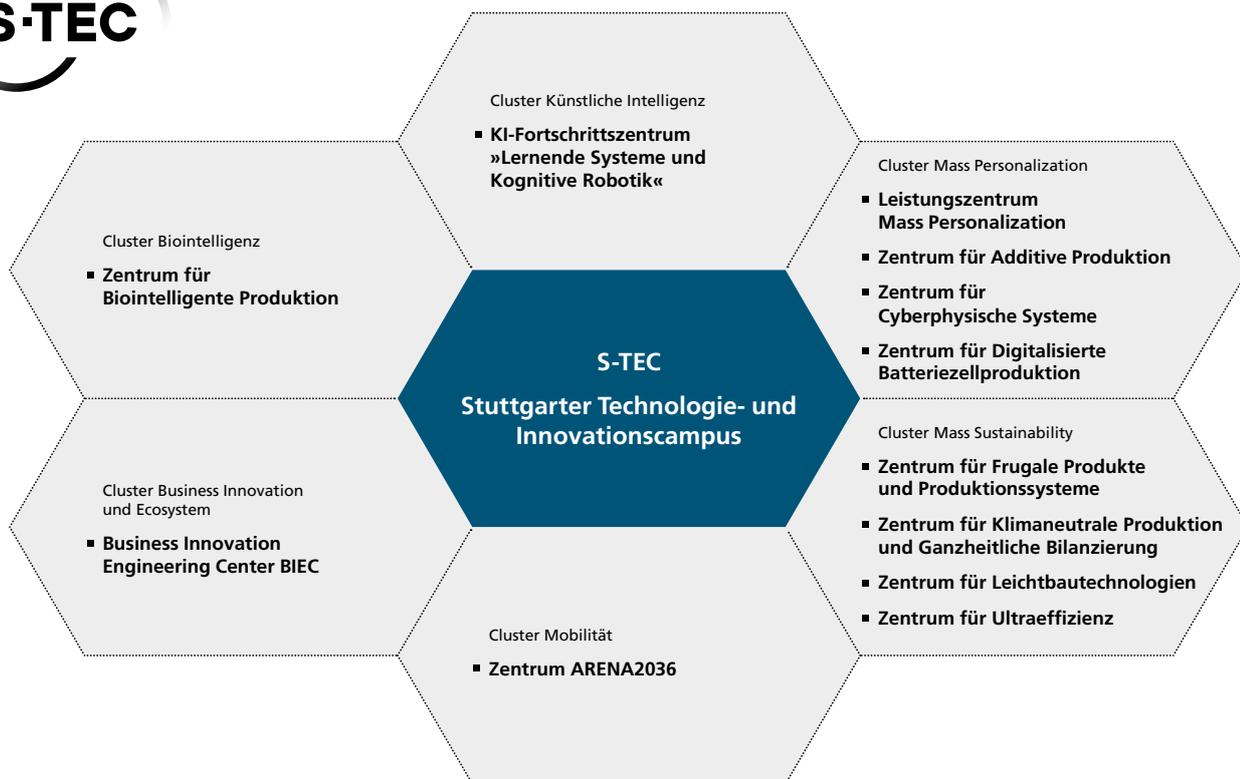
Fraunhofer IPA Stuttgart

- **Institutsleiter**
Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer
- **Stellvertretender Institutsleiter**
Dr. rer. nat. Michael Hilt MBA

Weitere Standorte

- **Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation**
Bayreuth
- **Klinische Gesundheitstechnologien**
Mannheim
- **Reutlinger Zentrum Industrie 4.0**
Reutlingen
- **Arbeitsgruppe KI-noW – Künstliche Intelligenz für eine nachhaltig optimierte Wertschöpfung**
Schweinfurt
- **EPIC – Center of Excellence in Production, Informatics and Control**
Budapest
- **Fraunhofer Project Center for Electroactive Polymers at AIST**
Kansai
- **Project Center for Smart Manufacturing**
Shanghai
- **Fraunhofer Austria Research GmbH**
Wien

19 Fachabteilungen decken den gesamten Bereich der Produktionstechnik ab. Sie werden koordiniert durch sechs Geschäftsfelder und arbeiten interdisziplinär mit Industrieunternehmen unterschiedlicher Branchen zusammen.



Stand: Januar 2024

Das Fraunhofer IPA arbeitet nicht nur interdisziplinär über Fachabteilungen und Geschäftsfelder zusammen, sondern forscht und entwickelt auch in diversen Zentren im Rahmen der Initiative S-TEC, des Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus.

Highlights



Ministerpräsident Kretschmann besucht S-TEC

Nachhaltigkeit und Klimaschutz stehen ganz oben auf der Agenda von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Um sich ein Bild davon zu machen, mit welchen Innovationen ressourceneffizientes Wirtschaften gelingt, besuchte Ministerpräsident Winfried Kretschmann am **31. Januar** den Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus S-TEC im Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart. »Wir haben in Baden-Württemberg eine herausragende

Forschungslandschaft zu sehr innovativen und zukunftsrelevanten Technologien und Themen mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Orte wie der S-TEC-Campus hier in Stuttgart sind Leuchttürme mit internationaler Strahlkraft in Forschung und Transfer in die Wirtschaft – und das macht Baden-Württemberg so besonders: Wirtschaft und Forschung arbeiten Hand in Hand«, sagte Ministerpräsident Winfried Kretschmann.



Testzentrum für KI in der Produktion gefördert

Am **20. April** übergab Wirtschaftsministerin Dr. Hoffmeister-Kraut den Bescheid: Das Fraunhofer IPA, das Institut für Elektrische Energiewandlung, die ARENA2036 der Universität Stuttgart sowie die Physikalisch-Technische Bundesanstalt kooperieren für eine in Deutschland einmalige Infrastruktur, mit

der Unternehmen bei der Einführung von KI begleitet werden. Das Netzwerk »AI Matters« soll ab Mitte 2024 insbesondere auch kleine und mittlere Unternehmen unterstützen und beim Einsatz von KI, Robotik und Automatisierung beraten.



Technologien für mehr Effizienz in der Produktion auf der Hannover Messe 2023

Nachhaltigkeit und Digitalisierung mit KI waren die zentralen Themen der Hannover Messe vom **17.–21. April**. Weil die Digitalisierung der Produktion in vielen Bereichen die

Effizienz steigert und Effizienz der Schlüssel zu mehr Nachhaltigkeit ist, zeigte das Fraunhofer IPA Technologien, die Energie und Ressourcen sparen.



RemanLab in Bayreuth feierlich eröffnet

Am **24. Mai** wurde die neue Lernfabrik für Remanufacturing in der IPA-Außenstelle in Bayreuth eröffnet. Das Team um Jan Koller zeigt Unternehmen, wie digitale Technologien und Automatisierung die Refabrikation von Elektromotoren, Elektrokleingeräten und weiteren Produkten revolutionieren können.

Das Wissen über die Komplexität des Remanufacturingprozesses – von der Eingangskontrolle über die Demontage, Reinigung, Prüfung, Aufarbeitung, Remontage und Endkontrolle – wird anwendungsnah mithilfe von Demonstratoren vermittelt.

Netzwerken am MIT und in Ohio

Mit einer fünfköpfigen Delegation hat Prof. Thomas Bauernhansl **Anfang Juni** mehrere Professoren des Massachusetts Institute of Technology, kurz MIT, zum Austausch in Cambridge getroffen. Das IPA plant, die Zusammenarbeit mit der Leitinitiative Manufacturing@MIT in den Themenbereichen Work of the Future, Automatisierung und biologische Transformation auszubauen. Während ihres

Aufenthalts eröffneten Prof. Bauernhansl und Prof. Daniel Palm gemeinsam mit Prof. John Paul MacDuffie die Industry Studies Association Annual Conference in Columbus, Ohio, mit einer Special Session zur Transformation der Automobilproduktion. In einer weiteren Session präsentierten Simon Schumacher, Roland Hall und Luisa Staneker Forschungsthemen aus der gemeinsamen MIT-Kooperation.



automatica 2023

»Von der Idee bis zur Anwendung: Automatisierungspotenziale richtig einschätzen, tragfähige Konzepte erstellen, technische Machbarkeit absichern und Konzepte in der Produktion implementieren« war das programmatische Motto des Fraunhofer IPA auf der Messe automatica 2023. Vom **27.–30. Juni** präsentierten die Wissenschaftler in München, wie Unternehmen ihre Produktion optimieren und für

künftige Herausforderungen resilient machen können. Die Exponate rund um Robotik, Automatisierung, Künstliche Intelligenz sowie Raumtechnologien versprechen einen klaren Wettbewerbsvorteil und richten sich sowohl an Unternehmen, die diesen mit bestehenden Anwendungen erreichen wollen, als auch an solche, die ganz neue Anwendungen umzusetzen beabsichtigen.



Vorstand vor Ort

Der neue Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, Professor Holger Hanselka, nutzte den Beginn seiner Amtszeit, um mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in einen intensiven Dialog zu treten. Aus diesem Grund sind Hanselka und Dr. Sandra Krey, im Fraunhofer-Vorstand verantwortlich für Finanzen und Controlling, am **4. Oktober** ins Institutszentrum Stuttgart gekommen und haben mit den dortigen Wissenschaftlern und Verwaltungsangestellten gesprochen. Hanselka ist seit

dem 15. August im Amt. Als elfter Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft möchte er die Rolle von Fraunhofer im Wissenschaftssystem weiter stärken, ihre Position als essenzieller Innovationslieferant für kleine, mittelständische und große Unternehmen ausbauen und die Fraunhofer-Mission zur Stärkung der Wirtschaft vorantreiben. Vor seinem Wechsel zu Fraunhofer war Hanselka zehn Jahre lang Präsident des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).



CyberLänd – Baden-Württemberg auf dem Weg ins Metaverse

Welche Potenziale bietet das Metaverse für Unternehmen in Baden-Württemberg? Dieser Frage nahmen sich das Fraunhofer IAO gemeinsam mit dem Fraunhofer IPA und dem Virtual Dimension Center im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus an. Im Rahmen des »Innovationsforums

Metaverse« am **23. November** veröffentlichten sie zusammen mit Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut die Studie »CyberLänd« und präsentierten den »Metaverse-Kompetenzatlas« für Baden-Württemberg.



Auszeichnungen



Thomas Bauernhansl für Start-up-Förderung ausgezeichnet

Die Initiative UNIPRENEURS zeichnete 20 herausragende Professorinnen und Professoren für ihr Engagement bei Ausgründungen und Unternehmertum an Hochschulen aus. **Professor Thomas Bauernhansl**, der Leiter des Fraunhofer IPA und des IFF der Universität Stuttgart, war einer von ihnen. Die Preise wurden am Nachmittag des 6. September 2023 von der Bundesministerin für Bildung und Forschung Bettina Stark-Watzinger und Dr. Anna Christmann, der Beauftragten für Digitale Wirtschaft und Startups im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, im Berliner Allianz Forum am Brandenburger Tor übergeben.



Otto-von-Guericke-Preis 2023 geht ans Fraunhofer IPA

Franz Balluff (li.) und **Thomas Hess** (re.) von der Abteilung Beschichtungssystem- und Lackiertechnik am Fraunhofer IPA sind am 15. November in Berlin mit dem Otto-von-Guericke-Preis 2023 ausgezeichnet worden. Die beiden Wissenschaftler hatten sich für den Preis mit einer Arbeit zur »Ermittlung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Lacken für die Applikation mit oversprayfreier und selektiver Lackiertechnik« beworben. Im Forschungsprojekt »DigitalPainting« untersuchten Hess und Balluff Lackeigenschaften zur Tropfenerzeugung und erarbeiteten Vorgaben für Lacke und Düsen. Mit ihren Erkenntnissen lässt sich der sogenannte Overspray vollständig vermeiden.

Außerdem werden manuelle Prozessschritte wie das schützende Abdecken (Maskieren) überflüssig und Lackierkabinen kompakter und flexibler.

»Unser Ziel war es, die Physik – von der Tropfenbildung und Applikation bis hin zur Schichtbildung – mit der Chemie, also der Zusammensetzung der Beschichtungsstoffe, zu verbinden und ein wissenschaftliches Fundament in Form von Kennlinien, Lackeigenschaftenprofilen, Düsengeometrien und Prozessparametern zu erarbeiten«, fasst Balluff zusammen. »All das zusammen konnten wir in ein Simulationsmodell überführen, das uns ermöglichte, die Einzeleinflüsse von Lack, Lösemittel, Pigment und Additiv herauszuarbeiten«, sagt Hess. Das Ergebnis ist eine umfassende Toolbox für Hersteller von Lacken und Applikationstechnik sowie für Anwender in Lackierbetrieben. Der Otto-von-Guericke-Preis wird seit 1997 vergeben und ist mit 10 000 Euro dotiert.

Außerdem

Robert Mieke, Erwin Groß, Thomas Ackermann, Edgar Gameroa und **Yannick Baumgarten** sind am 10. Mai im Rahmen der 13. Conference on Learning Factories in Reutlingen mit dem Best Paper Award ausgezeichnet worden. Das Thema ihres Papers hieß: »Lernende Fabriken für biointelligente Produktion – Gestaltungsaspekte und erforderliche Kompetenzen«.

Dr. Darian Andreas Schaab erhielt für seine Dissertation »Auslegung von Regelungssystemen industrieller Gleichspannungs-Mikronetze« den mit 2 500 Euro dotierten diesjährigen Preis des Vereins zur Förderung produktions-technischer Forschung (FpF). Überreicht wurde die offizielle Urkunde am 16. Juni vom FpF-Vorstand im Warnecke-Auditorium im Rahmen der FpF-Mitgliederversammlung.

Lukas Baur, Vincent Bezold, Philipp Pelger, Christian Schneider und **Daniel Umgelter** haben nach Abschluss eines erfolgreichen Bootcamps im Rahmen des AHEAD-Programms eine Förderung für das Projekt »EnergyAI« erhalten. Darin sollen durch Energie-Algorithmen Energiekosten und Emissionen in Unternehmen signifikant reduziert werden.

Gleich zweimal ausgezeichnet wurde **Veronika Hofmann**: Für ihre Masterarbeit: »Entwicklung und Evaluation eines passiven lower-body Exoskeletts für die Landwirtschaft« erhielt sie den 3. Platz des Vera-Dammann-Preises. Den Best Poster Award – WearRAcon Europe 2023 gewann sie mit ihrem Poster »Development and evaluation of a passive lower body exoskeleton for agriculture«.

Im September ist das Fraunhofer IPA mit dem Fraunhofer-internen Qualitätssiegel ausgezeichnet worden. Das sogenannte **Fraunhofer FamilienLogo** prämiiert Institute, die ihren Mitarbeitenden hervorragende familien- und lebensphasenorientierte Arbeitsbedingungen anbieten.

Erfolgreicher Technologietransfer: Um Schweiß-Cobots einfacher programmieren zu können, hat das Fraunhofer IPA ein Sensor-Add-on samt zugehöriger Software entwickelt. Die Firmen Trumpf und Lorch Schweißtechnik haben hierfür bereits die Lizenzen erworben. Am 8. November ist die Trumpf-Anwendung auf der Fachmesse »Blech-expo« mit dem »best-Award 2023« ausgezeichnet worden.

Für sein Paper »Cut Interruption Detection in the Laser Cutting Process Using ROCKET on Audio Signals« ist **Prof. Dr. Marco Huber** mit dem Best Paper Award INDIN 2023 ausgezeichnet worden.

Philipp Schleicher hat zusammen mit der Schindler Handhabetechnik GmbH, Vision & Control GmbH eine Lösung entwickelt, thermoplastische Verbindungen zu recyceln. Dafür wurde ihre Entwicklung »CIRC – Complete Inhouse Recycling of thermoplastic Compounds« von der AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V. mit dem 2. Platz des AVK-Innovationspreises 2023 ausgezeichnet.

Kuratorium

Vorsitzende des Kuratoriums

Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber



Ehem. Daimler AG
Vorstand Konzernfor-
schung Mercedes-Benz
Cars Entwicklung

**Vorsitzender des
Kuratoriums**

Dr.-Ing. Jürgen Geißinger



JMG Business
Consulting
Geschäftsführer

**Stellv. Vorsitzender
des Kuratoriums**

Mitglieder des Kuratoriums

Ulrich Dietz



GFT Technologies SE
Chairman of the Board

Dr.-Ing. Bernhard Klumpp



Ehem. Continental
Teves AG & Co. oHG

Dr.-Ing. Stefan Hartung



Robert Bosch GmbH
Vorsitzender der
Geschäftsführung

Dr. Anke Kovar



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt
e. V.
Leiterin der Standorte
Stuttgart und Lampolds-
hausen

MinDirig Sibylle Hepting-Hug



Ministerium für Umwelt,
Klima und Energiewirt-
schaft Baden-Württemberg
Leiterin der Abteilung
Grundsatz, Nachhaltig-
keit, Klimaschutz,
Ressourceneffizienz,
Kreislaufwirtschaft

Dr. Dirk Eric Loebermann



DELTECON GmbH
Geschäftsführer

MinDirig Markus Heß



Bundesministerium für
Wirtschaft und Klima-
schutz
Leiter der Unterabtei-
lung Industrie und
Mobilität der Zukunft

Dr. Lorenz Mayr



Vector BioPharma AG
Basel, CH
CEO

Dr.-Ing. Mathias Kammüller



TRUMPF SE + Co. KG
Mitglied des Vorstands
und geschäftsführender
Gesellschafter

Dr.-Ing. Kai-Udo Modrich



Carl Zeiss Automated
Inspection GmbH &
Co. KG
Geschäftsführer

Ralf Münchow



Bundesministerium für
Bildung und Forschung

Dr.-Ing. Karl-Heinz Stellberger



voestalpine Stahl GmbH
F&E Prozessleitung
für Korrosionsschutz
und Dünnschichtbeschich-
tungen

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult.
Rolf Dieter Schraft**



Ehem. Fraunhofer IPA
Institutsleiter

Marie Niehaus-Langer



EOS GmbH
CEO
EOS AG
Executive Board
Member

Dr. Christoph Theis



P3 group GmbH
Geschäftsführer

**Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Dr.-Ing. e. h.
Dr. h. c. mult. Engelbert Westkämper**



Ehem. Fraunhofer IPA
und IFF der Universität
Stuttgart
Institutsleiter

Hartmut Rauen



Verband Deutscher
Maschinen- und
Anlagenbau e. V.
(VDMA)
Mitglied der Haupt-
geschäftsführung

Prof. Dr.-Ing. Heike Vallery



RWTH Aachen
University
Institutsleiterin Institut
für Regelungstechnik

Prof. em. Dr. rer. pol. Erich Zahn



Ehem. Universität Stutt-
gart
Lehrstuhl für Allg. BWL
und Strategisches
Management

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel



Universität Stuttgart
Rektor

Dr.-Ing. Eberhard Veit



Geschäftsführender Ge-
sellschafter der Robert
Bosch Industrietreuhand
KG und Gesellschafter
der 4.0-VeIT GbR

Dr. rer. nat. Claudia Roth



Vetter Pharma-Fertigung
GmbH & Co. KG
Executive Expert Innova-
tion & Change Pharma-
ceutical Ecosystem

Dr.-Ing. Anna-Katharina Wittenstein



WITTENSTEIN SE
Mitglied des Aufsichts-
rats

Ehrengäste des Kuratoriums

Aktueller Stand des Kuratoriums:

https://www.ipa.fraunhofer.de/de/ueber_uns/institutsprofil/kuratorium.html



50 Jahre Robotik am IPA

Erfolgreicher Technologietransfer für die Robotik der Zukunft

Produzierende Unternehmen stehen vor zahlreichen gesellschaftlichen Herausforderungen wie dem Arbeitskräftemangel, denen sie mit Robotik begegnen können. In diesem Kontext entwickelt das Fraunhofer IPA seit 50 Jahren Roboteranwendungen für die Produktion und zur Unterstützung des Menschen. Das Portfolio reicht von der Automatisierungs-Potenzialanalyse bis hin zur Anwendungsentwicklung, basierend auf aktuellen Trends wie Künstlicher Intelligenz (KI) und der »Automatisierung der Automatisierung«.

4 Tage, 11 Veranstaltungen und rund 500 Gäste aus Industrie, Forschung, Politik und breiter Öffentlichkeit: Das ist die Bilanz einer erfolgreichen Robotikwoche von Abteilungsleiter Dr. Werner Kraus und seinem Team anlässlich des Jubiläums »50 Jahre Robotik am IPA«. Die Woche fand vom 26. bis 29. September 2023 an verschiedenen Orten in Stuttgart statt. Unter dem Motto #whatsonextrobotics ging es in den Veranstaltungen

zwar auch um den Blick zurück auf eine sehr erfolgreiche Robotikforschung seit 1973. Viel mehr ging es aber um den Blick nach vorne: Was tut sich aktuell in der IPA-Forschung, um schon heute die Weichen für einen erfolgreichen Technologietransfer rund um die Robotik von morgen in vielfältigen Anwendungen zu stellen? Diese Fragen wurden beim »Open Lab Day« beantwortet, an dem rund 50 Robotik-Exponate für Anwendungen in Produktion,



Logistik, Gesundheitswirtschaft, Laborautomatisierung, Reinraum, Lackiertechnik und vielen weiteren Bereichen erlebbar waren. Und auch beim »Application Day« drehte sich alles um diese Frage. Letzterer bot in sechs Veranstaltungen Einblicke in industrielle Anwendungen wie auch in neueste Entwicklungen rund um die Robotik am Fraunhofer IPA.

Allen IPA-Entwicklungen gemein ist, dass sie den Robotereinsatz auch oder insbesondere abseits der am Markt verfügbaren Entwicklungen möglich gemacht haben. Wenn es noch keine zufriedenstellende Lösung gibt, wenn die technologische oder wirtschaftliche Herausforderung mit dem bestehenden Angebot zu groß erscheint, dann kommt das

Fraunhofer IPA ins Spiel. Bereits heute stellen wir die Weichen dafür, Roboter morgen in ganz neuen Anwendungen und Branchen einsetzen zu können. Denn das Institut ist der festen Überzeugung, dass Robotik eine Schlüsseltechnologie ist, um den aktuellen gesellschaftlichen Entwicklungen sinnvoll begegnen zu können. Dafür muss die Robotik aber einfacher einsetzbar werden. Die Aufwände für die Entwicklung und Inbetriebnahme einer Anwendung müssen deutlich gesenkt werden und es gilt, dass die Anwenderinnen und Anwender bestmöglich auch ohne Fachwissen Robotik gewinnbringend für sich nutzen können. So kann insbesondere auch der Mittelstand mit seinen kleineren Losgrößen zunehmend von Robotik profitieren.

Steckbriefe der Robotik-Demonstratoren



Robotereinsatz kein Selbstläufer

Trotz des immensen Kosten- und Automatisierungsdrucks sind Produktionen an Hochlohnstandorten wie Deutschland abgesehen von spezifischen Gewerken wie dem Karosseriebau noch immer von manuellen Tätigkeiten geprägt. Obwohl Roboter bereits seit Jahrzehnten als das Produktionswerkzeug der Zukunft gelten, sind sie längst nicht in der Lage, die in der Produktion vorherrschenden Prozesse vollständig qualifiziert und wirtschaftlich durchzuführen. Das Gleiche gilt für die KI, die insbesondere mit dem Aufkommen der generativen KI ganze Branchen durchrüttelt und vermehrt Anwendung im Produktionsumfeld finden wird.

Generell ist die Einführung neuer Technologien in Produktionen besonders sensibel, da Anlaufschwierigkeiten zu Produktionsstopps

führen können und somit die Lieferfähigkeit der Unternehmen gefährden. Schnell verfügbare, belastbare Informationen und Zahlen zur Verwendung der Automatisierung sind deshalb eine elementare Basis für einen zügigen Entscheidungsprozess und Planungssicherheit in der Produktion. An dieser Stelle setzt die Automatisierungs-Potenzialanalyse an.

Automatisierungspotenziale systematisch ermitteln

Um diese Basis zu erhalten und damit zwischen Chancen und Risiken für spezifische Prozesse, z. B. in der Montage, abwägen zu können, bedarf es einer strukturierten Vorgehensweise, die von der Potenzialanalyse über ein wirtschaftliches und technisches Konzept bis hin zur Realisierung des Robotersystems reicht. Das Fraunhofer IPA setzt

Technologieforum »Fahrerlose Transportfahrzeuge und mobile Roboter«

Seminarleiter: **Tobias Rainer Schäfle, Ph.D.**
tobias.rainer.schaefle@ipa.fraunhofer.de

Mobile Systeme in Produktion, Intralogistik oder auch öffentlichen Umfeldern wie Restaurants oder Krankenhäusern sind der stärkste Wachstumsmarkt in der Servicerobotik. So gab es hier 2022 ein Plus von weltweit 44 Prozent mehr verkauften Systemen. Gerade in Zeiten von Arbeitskräftemangel können sie zeitaufwendige Transportaufgaben übernehmen und für Entlastung sorgen. In der Veranstaltung erhielten die Gäste Einblicke in den aktuellen Stand der Technik. Besonders intensiv wurden Einsatzmöglichkeiten von KI diskutiert und welche Auswirkungen diese auf Themen wie Robustheit und Sicherheit hat. Denn tatsächlich ist KI auch hier zwar in aller Munde, die Einführung dauert aber länger, als manche hofften, was beispielsweise an nicht ausreichend guten Sensordaten der Kameras liegt. Ein weiterer Trend ist die Outdoor-Navigation, die am Fraunhofer IPA u. a. für intralogistische Abläufe zwischen Werk- oder Lagerhallen oder auch für den landwirtschaftlichen Einsatz entwickelt wird. Die Umfeldern sind nur teilweise oder gar nicht strukturiert und zudem auch Einflüssen wie dem Wetter ausgesetzt, sodass hier besondere Anforderungen an die Software und Hardware bestehen.



Die Veranstaltung fand bereits zum zehnten Mal statt. Wer Neues aus Forschung und Entwicklung erfahren will, ist auf dem Branchentreffen genau richtig. Eindrücke davon gibt es hier:



Nächste Termine rund um mobile Robotik:

- **Entscheidungskompetenz FTS und AMR:** 2. Juli 2024
- **11. Technologieforum »Fahrerlose Transportsysteme und mobile Roboter«:** September 2025

Mehr Informationen:



Seminar: »APA-Erfahrungsaustausch«

Seminarleiter: **Dr.-Ing. Lorenz Halt**
 lorenz.halt@ipa.fraunhofer.de

In der Robotikwoche erhielten Interessenten im Rahmen eines halbtägigen Seminars fundierte Einblicke in die Automatisierungs-Potenzialanalyse. Um die fachlichen Informationen zu veranschaulichen, berichteten zudem Industriepartner aus vergangenen APA-Projekten. Während eines Großteils der Veranstaltung hieß es dann »hands on«: Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden selbst zu Automatisierungsexperten und konnten die APA an einem Demonstrator mit dem Entwicklungsteam vom IPA durchführen. Die APA selbst wie auch das praxisnahe Format kamen bei den Gästen sehr gut an. Künftig können Unternehmen die APA auch selbst mithilfe einer App durchführen, die über den Vertriebspartner Evia angeboten wird.

Nächster Termin für den »APA-Erfahrungsaustausch«:
 14. Mai 2024



Mehr Informationen:



hierfür bereits seit Jahren erfolgreich einen »Fahrplan« ein – entsprechend dem Planungsstadium und Vorwissen beim Kunden. Dieser umfasst vier Schritte: Man beginnt mit der Automatisierungs-Potenzialanalyse (APA), bei der wirtschaftlich und technisch sinnvoll automatisierbare Prozessschritte ermittelt werden. Es folgt die Konzeption einer Lösung, die auch Amortisierungszeiten berücksichtigt und mögliche Umsetzungen zeigt. In der Machbarkeitsuntersuchung werden kritische Prozessschritte per Simulation oder Experiment untersucht und abgesichert sowie Fragen der Personensicherheit (»Safety«) geklärt. Im vierten Schritt wird die Planung umgesetzt und das Robotersystem realisiert.

Bereits der erste Schritt, die APA, befähigt Unternehmen, Entscheidungen darüber zu treffen, ob und für welche Prozessschritte Automatisierung infrage kommt. Die APA wurde weltweit bereits in hunderten von Kundenprojekten eingesetzt und ist ein kompaktes Verfahren, das Unternehmen innerhalb weniger Tage Informationen für Investitionsentscheidungen bereitstellt. Sie ist bereits seit Jahren für Montageprozesse und seit 2023 auch für den Einsatz von Schweißcobots und

für mobile Systeme in der Intralogistik verfügbar. Denn zu den beiden neuen Einsatzgebieten erhielt das APA-Team besonders viele Nachfragen.

Als Grundlage jeder APA werden während einer Produktionsbegehung alle relevanten Prozessschritte chronologisch aufgenommen und deren Charakteristika dokumentiert. Daraus resultiert für jeden Prozessschritt eine Bewertung bzgl. der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit einer Automatisierung. Diese Bewertungen werden in einer Matrix visualisiert und in drei Kategorien mit entsprechenden Handlungsoptionen klassifiziert: der Standardautomatisierung, der Spezialautomatisierung oder dem Design for Automation. Bei letzterem kommen Designregeln zum Einsatz mit dem Ziel, das Produkt automatisierungsfreundlicher zu gestalten.

Die APA spiegelt somit die Anforderungen der Produktion an die Robotersysteme wider im Vergleich zum Stand der Technik. Durch steigende Löhne auf der einen sowie fortschrittliche und zunehmend kostengünstigere Technologien auf der anderen Seite fallen zunehmend mehr Prozesse in die Kategorie

»Simulationen spielen für Anwendungen des Maschinellen Lernens eine große Rolle, denn je komplexer ein Modell wird, umso mehr Trainingsdaten braucht das neuronale Netz.«

der Spezialautomatisierung und im besten Fall in die der Standardautomatisierung. Es sind vier Trends, die diese Technologien aktuell stark beeinflussen und Roboter mehr und mehr in die Breite tragen.

Trend 1: KI und Digitalisierung

Industrie 4.0. und die Erschließung beeindruckender Deep-Learning-Anwendungen haben KI und Digitalisierung zu großer Aufmerksamkeit verholfen. Die Robotik profitiert von diesen Trends durch eine bessere Verfügbarkeit von Daten und besseren Modellen, mit denen Roboter bislang nicht automatisierbare Prozesse beherrschen können.

Flexible, biegeschlaffe, verhakende oder auch reflektierende und transparente Bauteile gelten allgemein als schwer automatisierbar. Beispielsweise funktionieren bei flexiblen oder biegeschlaffen Bauteilen Starrkörpermodelle und feste Roboterprogramme nicht mehr. Ebenfalls herausfordernd sind Werkstücke, die sich verhaken können. Die Verhakungen zu erkennen und insbesondere zu lösen, bedarf kognitiver, also wahrnehmender und lösungsorientierter, Fähigkeiten, die Roboter bisher nicht besaßen. Und schließlich sind transparente oder stark spiegelnde Werkstücke problematisch, da die Sensoren diese nicht mehr ausreichend gut erkennen können. Um mit diesen Bauteilen in der Produktion umzugehen, gab es bisher drei wesentliche Lösungsstrategien:

- Bauteile in einen definierten Zustand überführen, sodass der Roboter blind greifen kann, z. B. durch händisch bestückte Bauteilmagazine
- Design for Automation (siehe oben)
- Manuelle Montage, da der Robotereinsatz aufgrund der hohen Komplexität mit einhergehend hohem Programmieraufwand wirtschaftlich und technisch nicht machbar war

KI, oder genauer das Maschinelle Lernen, eröffnet eine neue, vierte Lösungsstrategie, mit der solch komplexe physikalische Zusammenhänge modelliert und so Roboter gesteuert werden können, um herausfordernde Prozesse zu automatisieren. Ein Beispiel für

den Umgang mit verhakten Bauteilen mittels KI ist der Demonstrator »AI Picking«, der 2023 auch auf der Fachmesse automatica gezeigt wurde. Hierbei entwickelt das Fraunhofer IPA eine Lösung, mit der ein Robotersystem für den Griff-in-die-Kiste erkennen kann, ob Bauteile verhakt sind und wenn ja, wie sich der Roboter bewegen muss, um diese zu enthaken. Bisherige Lösungen beruhten auf zusätzlicher Sensorik zur Erkennung verhakter Bauteile (sogenannte blinde Passagiere) oder Abschüttelbewegungen, die jedoch die Taktzeiten verlängern und die Bauteile schädigen können. Für das automatisierte Enthaken wurden in einer Physiksimulation tiefe neuronale Netze zur Erkennung und Auflösung von Verhakungen trainiert.

Auch Simulationen spielen für Anwendungen des Maschinellen Lernens eine große Rolle, denn je komplexer ein Modell wird, umso mehr Trainingsdaten braucht das neuronale Netz. Diese Trainingsdaten aus der realen Produktionsumgebung zu erhalten, wäre zu teuer: Die Produktion müsste unterbrochen werden, zudem wird die Hardware verschlissen. Üblicherweise greift man auf das Training in Simulationen zurück und transferiert das neuronale Netz dann in die reale Anwendung. Dafür werden die Daten so realistisch wie möglich aufbereitet und beispielsweise mit einem Rauschen unterlegt, um in der Realität vorkommende Sensorungenauigkeiten nachzubilden.

Modellfreie Packplanung für 3D-Freiformobjekte

Maschinelles Lernen hilft überdies nicht nur beim Greifen in eine Kiste, sondern auch beim Ablegen in eben diese. Hierfür ist 2023 eine modellfreie Packplanung für beliebige 3D-Freiformobjekte entwickelt worden. Sie ist für vielfältige Einsatzmöglichkeiten geeignet wie beispielsweise die Warenkommissionierung, das Palettieren, das End-of-Line-Packing oder auch das Beladen von LKW, Flugzeugen, Rollcontainern und vielem mehr.

In einer Physiksimulation können verschiedenste Anwendungsfälle visualisiert werden. Die Packplanung funktioniert ad hoc, basierend auf Tiefenbild-Aufnahmen der zu packenden Objekte, und ist in circa 50 Millisekunden erfolgt. Dabei benötigt

Seminar: »Roboter im Warenlager«

Seminarleiter: **Richard Bormann**
richard.bormann@ipa.fraunhofer.de

Kostendruck und Arbeitskräftemangel bei massiv steigendem E-Commerce sind nur einige Treiber für mehr Automatisierung in der Intralogistik. Dies spiegelt sich im seit Jahren boomenden Markt mobiler Roboter sowie in zahlreichen Innovationen rund um Bildverarbeitung, Greiftechnik und Manipulation vielfältiger Objekte wider. Einige davon waren Thema von Vorträgen im Seminar



»Roboter im Warenlager«, beispielsweise die KI-basierte Robotik, die Direktkommissionierung, die autonome Bestandserfassung oder auch das Vertriebsmodell »Robots as a service«. Bei einer Führung durch die Versuchsfelder des Fraunhofer IPA konnten die Seminargäste auch das Bin Packing live erleben. Indem sie spontan ein beliebiges Objekt in die Kiste warfen, konnten sie sich von der Flexibilität des Robotersystems überzeugen, denn es braucht für das geordnete Verpacken keinerlei Stammdaten oder vorberechnete Packungskonfigurationen. Das macht es insbesondere für große Warenlager oder Lager mit viel wechselndem Bestand sehr interessant.

Nächster Termin für das Seminar
»Roboter im Warenlager«: 6. Juni 2024

Mehr Informationen:



das Robotersystem keinerlei Vorwissen oder CAD-Modell und auch kein aufwendiges Training im Vorfeld, wie es oft bei vortrainierten Deep-Learning-Methoden der Fall ist. Die Planung erfolgt in sechs Freiheitsgraden und hat eine eingebaute Stabilitätsprüfung vor der geplanten Ablage. Es ist zudem möglich, ähnliche Teile in gemischten Kisten semantisch zu gruppieren. Und nicht zuletzt können individuelle oder gelernte Packregeln in die Lösung integriert werden.

Indem Produktionsunternehmen vermehrt auf Digitalisierung und KI-Technologien setzen, werden bisher nicht automatisierbare Prozesse nun wirtschaftlich mit Robotern umsetzbar. Sehr viele Projekte in diesem Kontext setzte das Fraunhofer IPA 2023 auch gemeinsam mit dem Fraunhofer IAO im KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik« um. Durch mehr als 250 Kooperationen mit Unternehmen vornehmlich aus Baden-Württemberg und gefördert vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg haben sich die Institute einen fundierten Überblick über die Potenziale, aber auch Hürden rund um den Einsatz von KI verschafft.

Trend 2: Demokratisierung der Robotik

Die Demokratisierung der Robotik beschreibt eine disruptive Entwicklung, bei der Endkunden in Eigenregie Roboter in Betrieb nehmen, ohne einen Systemintegrator zu benötigen. Das gelingt dank des »Do-it-yourself«-Prinzips. Im Fokus liegen Prozesse, die für Roboter einfach zu automatisieren sind. Für diese gibt es Standardlösungskomponenten, die gleichzeitig ein hohes Einsparungspotenzial besitzen (»low tech high profit«). Typische Beispiele sind das Palettieren, das Einlegen von Werkstücken in Bearbeitungsmaschinen oder einfache Montageaufgaben mit nur einer Bauteilvariante.

Katalysator dieser Entwicklung sind Onlineplattformen bzw. -konfiguratoren, die Apps oder Einrichtsoftware im Stile von »Baukästen« anbieten. Sie befähigen Endkunden, die Systemintegration ohne externe Fachleute durchzuführen. Da dieser Markt mit produzierenden kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sehr groß ist, bieten sich Plattformen mit digitalen Vertriebsprozessen und Vermittlungsfunktionen an. Es gibt einige



Seminar: »Schweiß-Cobots in der Anwendung«

Seminarleiter: **Dr.-Ing. Johannes Stoll**
johannes.stoll@ipa.fraunhofer.de

Roboterschweißen in der Großserie ist seit Langem etabliert und verbreitet, doch insbesondere für kleine und mittlere Losgrößen mischen Cobots seit Jahren den Markt auf. Das liegt u. a. am Mangel an Schweiß-Fachkräften. Mehr Automatisierung ist hier vor allem für Handwerk und Mittelstand eine entscheidende Stellschraube, um die Produktivität zu halten oder gar erhöhen zu können.

Im Seminar im Rahmen der Robotikwoche zeichneten sich bei der Schweißrobotik zwei Haupttrends ab – ganz nach dem Motto »Konkurrenz belebt das Geschäft«. Zum einen ist das die einfachere Programmierung der klassischen Industrieroboter. Früher musste für Industrieroboter zunächst jede Schweißnaht mittels Teach-in eingelernt werden, später kam zunehmend die Offline-Programmierung ins Spiel. Hier war jedoch oft aufwendiges Nachteachen erforderlich, bevor das Programm real ablaufen konnte. Aktuell entstehen Tools, die die Offlineprogrammierung deutlich vereinfachen und beschleunigen. So kann statt des mühsamen Nachteachens, des manuellen Überprüfens eines jeden Programmpunkts, die Gasdüse oder der Draht sensitiv gesteuert und für eine Anpassung des Programms genutzt werden.

Der zweite Trend ist das Aufrüsten der Cobots aufseiten der Hardware. In ihrer Standardausführung sind sie für bestimmte Schweißaufgaben mitunter klar limitiert. Mehr Sensorik, zusätzliche Achsen und generell eine bessere Konfigurierbarkeit sorgen dafür, dass Cobots für immer mehr Anwendungen die passende Lösung sein können.

Nächster Seminartermin: voraussichtlich 2025

Mehr Informationen:



Erfolgsfaktoren für diese Plattformen. Dazu gehört beispielsweise, dass Roboter und Peripherie zueinander kompatibel sind, dass die Komponenten modular sind und ihr Einsatz kein spezifisches Fachwissen voraussetzt oder auch, dass die Schnittstellen offen sind und eine freie Programmierung individuell benötigter Funktionen möglich ist.

In Summe wird dieser Trend zur Demokratisierung dafür sorgen, dass sich Roboter in Standardanwendungen stark verbreiten. Ein IPA-Beispiel für eine Erfolgsgeschichte in diesem Kontext ist ein Sensor-Add-on für Cobots, das deren Programmierung vereinfacht und eine Online-Bahnadaption ohne Robotik-Fachwissen ermöglicht. Mit der neuen Technologie können die beliebten Schweiß-Cobots noch schneller programmiert werden und beim Schweißen adaptiv auf Bauteilabweichungen reagieren. Die Schweißfachkraft muss den Cobot nur am Beginn der Schweißnaht positionieren. Dann folgt der Roboter der Schweißnaht dank des vorgeschalteten Lasertriangulationssensors selbstständig und automatisch. In Echtzeit berechnet die Software während des Prozesses die Schweißbahn sowie die gewünschte Brennerausrichtung entlang des Bauteils. Der Roboter kann innerhalb weniger Sekunden seine Aufgabe starten. Diese Entwicklung hat das Institut 2023 an die Firmen Trumpf und Lorch lizenziert, die damit ihre Schweiß-Cobots noch besser auf die Kundenbedarfe ausrichten können.

Trend 3: Automatisierung der Automatisierung

Roboter traten ab den 1970er Jahren ihren Siegeszug in der Massenproduktion (»low mix high volume«, LMHV) an. Einmal programmiert und eingerichtet, können Roboter hier oft über Jahrzehnte repetitiv ihre Dienste leisten. Der Trend geht jedoch zu einer zunehmend personalisierten Produktion mit sinkenden Losgrößen (»high mix low volume«, HMLV). Diese Individualisierung macht Fertigungsprozesse zunehmend schwerer und auch unwirtschaftlicher zu automatisieren, da die Aufwände zum Umprogrammieren massiv in die Nutzenrechnung einfließen. Einhergehend mit der Demokratisierung der Robotik sind zahlreiche Methoden für

die einfache Programmierung von Robotern durch Laien auf dem Markt verfügbar, doch muss typischerweise jedes Bauteil einzeln einprogrammiert werden. Was aber, wenn die Zahl unterschiedlicher Bauteile in die Hunderte oder gar Tausende geht? Dann ist das manuelle Programmieren zu aufwendig, denn neben der Ersteinrichtung werden das Umprogrammieren und Rekonfigurieren zu einem wesentlichen Kostenblock. Durch diesen Effekt wandert ein Prozess, der ursprünglich zur Kategorie der Standardautomatisierung gehörte, zur Kategorie der Spezialautomatisierung und somit in Richtung Unwirtschaftlichkeit.

Unter dem Motto »Automatisierung der Automatisierung« hat das Fraunhofer IPA zahlreiche Lösungen entwickelt, die auch diese Herausforderung lösbar machen: Muss

die Produktion auf ein neues Produkt umgestellt werden, unterstützen Assistenzsysteme das Programmieren oder das Programm wird gleich automatisiert erstellt. Dieses Konzept wirkt auf allen Ebenen einer Produktion und sorgt dafür, dass Aufwände bei Produktänderungen oder -wechseln deutlich kleiner werden oder sogar ganz entfallen.

Dies kann bei einer auslastungsoptimierten Matrixproduktion aus frei verketteten Stationen beginnen, die mithilfe prozessorientierter Planungsmethoden gesteuert werden. So ergeben sich neue Freiheitsgrade für die Gestaltung, Planung und Steuerung des Montagesystems, die algorithmisch gesteuert genutzt werden, um die Produktivitätsziele zu erreichen. IPA-Technologien ermöglichen auch, automatisch Fertigungszellen für den gegebenen Montageumfang zu generieren,

»Es ergeben sich neue Freiheitsgrade für die Gestaltung, Planung und Steuerung des Montagesystems.«

Forum: »Roboterunterstützte Montage«

Seminarleiter: **Anwar Al Assadi**
anwar.alassadi@ipa.fraunhofer.de

Mehrere Gründe erschweren aktuell noch den Einsatz von Automatisierungslösungen in der Montage. Dazu gehören beispielsweise die Vielzahl an mitunter sehr anspruchsvollen Fügeprozessen sowie die aufwendige Einrichtung und mangelnde Flexibilität bestehender Angebote. Bereits seit vielen Jahren entwickelt das Fraunhofer IPA deshalb Lösungen für die Montage und Demontage mit Robotern, die auf diese Anforderungen reagieren. Im Forum »Roboterunterstützte Montage« ist das Institut zudem regelmäßig im Austausch mit Lösungsanbietern und Endanwendern, um deren Bedarfe aus erster Hand zu kennen.

Dieses Mal zeigte sich als klarer Trend die Maschinenbedienung mit Robotern, die zunehmend nachgefragt wird, sowie die einfachere Programmierung und Inbetriebnahme neuer oder die einfachere Umrüstung bestehender Anwendungen. In diesem Kontext präsentierte sich auch das Spin-off des Fraunhofer IPA »Cellios« auf dem Forum. Es bietet eine durchgängige Gesamtlösung rund um roboterbasierte Zellen insbesondere für die wirtschaftliche Kabelmontage auch bei kleinen Losgrößen. Die Lösung nutzt zum Einstieg einen Online-Konfigurator, setzt sich fort in Machbarkeitsstudien und reicht bis zur Entwicklung vollständiger Roboterzellen, für die

auch Erweiterungsmöglichkeiten und Serviceangebote bestehen. Ein weiterer IPA-Beitrag drehte sich um die teilautomatisierte Planung von Roboter montagezellen, um mithilfe von Simulationen die Planung zu erleichtern und die Zelle noch vor der tatsächlichen Inbetriebnahme optimieren zu können.

Nächster Termin für das Forum **»Roboterunterstützte Montage«**: 21. November 2024

Mehr Informationen:



also entsprechende Ressourcen auszuwählen und das Layout anzuordnen. Und ebenso bei Änderungen können physikalische Modellierungstechniken unterstützen. Zudem kann mithilfe des »Computer-Aided Risk Assessment« (CARA) eine automatische Risiko- beurteilung erfolgen. Weitere Tools sind die autonome Verkettung von fahrerlosen Trans- portsystemen, die sich selbst konfigurierende Griff-in-die-Kiste-Anwendung und auch die Selbstoptimierung von Prozessparametern.

Im Ergebnis ermöglicht dieser Trend, dass auch individualisierte Produkte weiterhin

automatisiert produziert werden können und somit erschwinglich bleiben. Die Stückproduk- tionskosten sind trotz kleiner Losgrößen auf dem Niveau von hohen Stückzahlen.

Trend 4: Mensch-Roboter-Kollabora- tion mit Assistenzsystemen für effek- tives Arbeiten

Die Automatisierung wird sich zunehmend verbreiten, jedoch werden vor allem in der Montage einige Prozesse aufgrund von technischen oder wirtschaftlichen Hürden

Kongress: »Sichere Mensch-Roboter-Interaktion«

Seminarleiter: **Dr.-Ing. Theo Jacobs**
theo.jacobs@ipa.fraunhofer.de

Roboter im direkten Umfeld des Menschen zu betreiben eröffnet einerseits neue Einsatzmöglichkeiten, insbe- sondere wenn man an die kleinen, kompakten Cobots denkt. Andererseits ist die für den sicheren Betrieb erforderliche Risikobeurteilung noch vergleichsweise aufwen- dig. An sich sichere Roboter gibt es nicht, weshalb immer die ganze Anwendung betrachtet werden muss. Um hier die Aufwände zu reduzieren und Unternehmen beim sicheren Einsatz von Cobots zu unterstützen, entwickelt das Fraunhofer IPA Tools, die die Auslegung sicherer Roboter beschleunigen und auch automatisieren können. Zwei Beispiele wurden im Kongress »Sichere Mensch- Roboter-Interaktion« vorgestellt:

So bietet das »Computer-Aided Risk Assessment« (CARA) einen ganzheitlichen Einsatz, um mechanische Gefährdungen bei der Planung eines Robotersystems zu bewerten und die Risikobeurteilung transparenter zu machen. Ein weiteres Thema auf dem Kongress war die »RoboDashcam«: Das ist ein Plug-in für CARA, das Robotersysteme, die bereits im Einsatz sind, hinsichtlich ihrer KPIs verbessert. Hierfür wird das Nutzerverhalten datenschutzkonform erfasst und die Schutzvorrichtungen daran angepasst. Beide Tools zahlen auf die »Automati- sierung der Automatisierung« ein.

Nächster Termin für den Kongress
»Sichere Mensch-Roboter-Interaktion«:
25. September 2024

Mehr Informationen:



nicht voll automatisierbar sein. Aus dieser Motivation heraus wird seit vielen Jahren an der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) geforscht. Vor etwa zehn Jahren kamen die ersten kompakteren Roboter, die Cobots, auf den Markt. Da sie vor allem für den Einsatz an manuellen Arbeitsplätzen in der Montage gedacht sind, ähneln sie in Größe und Leistungsfähigkeit dem Menschen. Das Versprechen ist, dass Prozesse in der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter nun deutlich effizienter werden als es händisch oder auch durch alleinigen Robotereinsatz möglich wäre. Die seit 2019 von der »International Federation of Robotics« erfassten Verkaufszahlen von Cobots zeigen, dass 2022 bereits jeder zehnte verkaufte Roboter weltweit ein Cobot war.

Abseits des viel beachteten Cobot-Hypes unterstützen Assistenzsysteme im großen Umfang und mit viel Erfolg und Marktakzeptanz schon heute Menschen: Assistenzsysteme nutzen Automatisierungstechnologien in perfekter Symbiose mit dem Menschen. Ein Beispiel ist das Lastenfahrrad der Deutschen Post, das auf Elektroantrieb und Navigationssystem setzt. Es entlastet den Menschen und macht dieses Mensch-Maschine-Team den vollautonomen, aber schwer einsetzbaren Lieferrobotern gegenüber performanter. Wo Fahrräder nicht hinkommen, wurden Begleitroboter getestet. Sie folgen den Zustellern, tragen die Lasten und verringern so die körperliche Belastung.

Ein weiteres Beispiel ist in einer Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IPA und der Firma Trumpf entstanden. Ursprüngliche Projektintention war die vollautonome Vereinzelung von geschnittenen Blechen mittels KI-gestütztem Griff-in-die Kiste. Machbarkeitsuntersuchungen zeigten einerseits das Potenzial, andererseits traten noch umfangreiche Entwicklungsfelder bis zur robusten Vereinzelung von Blechen zutage. Aus diesem Grund wurde mit der Bildverarbeitungstechnologie aus dem Griff-in-die-Kiste ein Assistenzsystem entwickelt, bei dem der Mensch den Griff macht. Dieser »Sorting Guide« unterstützt das Personal beim Absortieren lasergeschnittener Blechbauteile. Die KI-Lösung erkennt den Entnahmevergang und stellt den Mitarbeitenden automatisch alle notwendigen Informationen für die

Intralogistik zur Verfügung. Beispielsweise zeigt sie zusammengehörende Blechteile in verschiedenen Farben übersichtlich an. So ersetzt die Lösung Begleitpapiere, spart Zeit und hilft, Fehler zu vermeiden.

Auch wenn eine Vollautomatisierung oft das Fernziel ist, haben bei vielen Aufgaben Technologien zur Unterstützung des Menschen kurz- bis mittelfristig den größeren Impact.

Auf weitere 50 Jahre

In den letzten Jahren hat sich in der Automatisierungstechnik enorm viel getan. Innovationen rund um die Digitalisierung, wie leistungsstarke Sensoren, Vernetzung, zentrale Speicherlösungen, kostengünstige und hochperformante Rechenleistung und darauf aufbauend die KI-Technologien, sind aus der heutigen Produktion nicht mehr wegzudenken und ihr Potenzial wird entlang der vier Trends noch weiter gehoben werden.

Dass sich hier weltweit und insbesondere im Technologie-Hotspot Silicon Valley aktuell extrem viel tut, zeigte auch die Keynote von Professor Torsten Kroeger beim Bankett anlässlich der Robotikwoche, an dem rund 130 geladene Gäste teilnahmen. Zu seinen Kernbotschaften gehörte, dass generative Künstliche Intelligenz die Roboterwahrnehmung und -programmierung massiv verändern wird. Entwicklungsschritte wie die Planung, Programmierung und Inbetriebnahme von Robotersystemen werden zunehmend virtuell in physikalischen Simulationen erfolgen, die so wiederum ein Flaschenhals werden könnten. Und er beobachtet dreistellige Millioneninvestitionen in Start-ups rund um die Automatisierung in Logistik und Landwirtschaft.

Es bleibt also spannend, was die nächsten 50 Jahre Robotik weltweit und natürlich am IPA zu bieten haben werden.

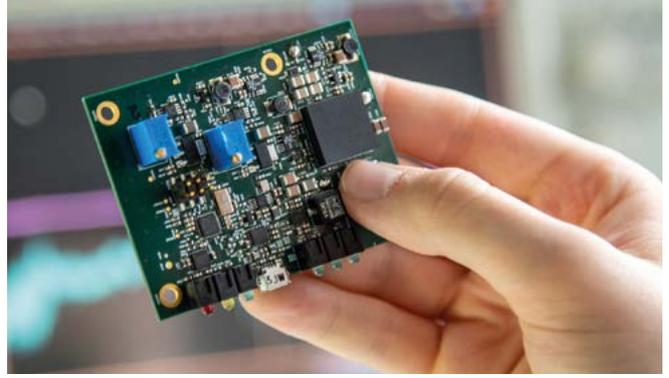
»Assistenzsysteme nutzen Automatisierungstechnologien in perfekter Symbiose mit dem Menschen.«

Kontakt

Dr.-Ing. Werner Kraus
 Telefon +49 711 970-1049
werner.kraus@ipa.fraunhofer.de

Geschäftsfelder





Automotive

Die Automobilproduktion befindet sich weltweit in einer vielgestaltigen Transformation. Beispiele dafür sind neue Antriebsformen, neue Möglichkeiten durch die Digitalisierung der Produkte und der Produktion, neue Wettbewerber oder neue Geschäftsmodelle. Neu ist nicht die Veränderung an sich, sondern die Häufung der Veränderungen. Sie ist mit der steten Gefahr verbunden, den Anschluss und damit langfristig die Wettbewerbsfähigkeit zu verlieren.

Wir im Geschäftsfeld Automotive unterstützen Sie bei dieser herausfordernden Aufgabe, indem wir die Synergien zwischen unseren Fachbereichen nutzen. Das beginnt bei der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und Dienstleistungen, geht über vielfältige Aspekte der Produktion und deren Optimierung und reicht bis zum ganzheitlichen Betriebssystem für die Fabrik, das – unter anderem – Anwendungen der Künstlichen Intelligenz für die Produktion einfach anwendbar machen wird. Wir decken dabei die gesamte Wertschöpfungskette der Automobilproduktion von der Rohbau- und Oberflächentechnik bis hin zur Endmontage und Qualitätssicherung ab. Wir unterstützen Sie dabei, neue und nachhaltige Produktionslösungen ganzheitlich zu entwickeln und umzusetzen und begleiten Sie von der ersten Idee bis zur Implementierung im Werk.

Elektronik und Mikrosystemtechnik

Vom Chip in Beatmungsgeräten bis hin zum Sensor in Bremsaggregaten – kaum ein Anwendungsfeld ist so vielfältig wie die Elektronik und Mikrosystemtechnik. Der Wunsch nach miniaturisierten Systemen und intelligenten Produkten verstärkt diese Entwicklung. Daraus ergeben sich neue Herausforderungen, aber auch Chancen für Unternehmen.

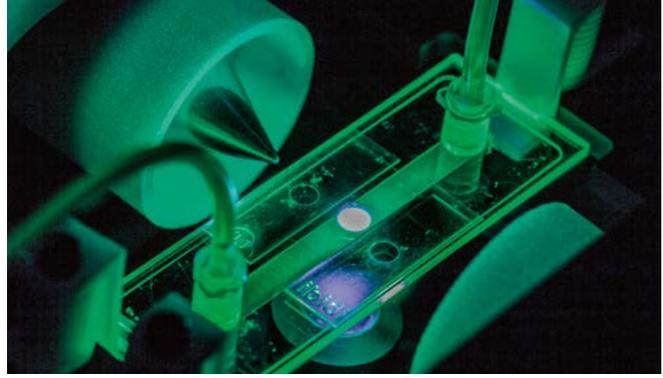
In der Halbleiterfertigung werden unter anderem Optiken zur Fertigung kleinster Strukturen eingesetzt. Diese Optiken werden mithilfe von tonnenschweren, hochpräzisen Robotern gefertigt. Die große Masse der Produktionsgeräte sorgt dafür, Schwingungen zu vermeiden und ermöglicht eine hohe Prozessstabilität. Die Komponenten der Fertigungsanlagen müssen auf ein Zehntel Haaresbreite genau positioniert werden.

Die Batterieproduktion erfordert extrem trockene Luft, stabile Temperatur und hohe Sauberkeit der Produktionsumgebung. Kleinste Abweichungen oder Verunreinigungen können zu Produktionsausfällen und Schäden an Produkten führen. Mit intelligenten Fertigungsmitteln können die Produktion überwacht sowie die Bearbeitungsprozesse und die Qualität kontrolliert werden.

Produzenten von elektronischen und mikrotechnischen Produkten stehen komplexen Fragestellungen gegenüber, die eine disziplinübergreifende Herangehensweise erfordern. Das Geschäftsfeld Elektronik und Mikrosystemtechnik vereint die IPA-Experten aus den Bereichen Materialien, Oberflächentechnik, Mikromontage, Prüftechnik, Automatisierung, Fertigungssteuerung, Digitalisierung und Künstliche Intelligenz, Additive Produktion sowie Reinraum- und Reinigungstechnik. Diese erarbeiten Lösungen zu allen Problemstellungen entlang der Wertschöpfungskette. Unter dem Titel »Die Chipknappheit – Herausforderungen und Chancen für den Maschinen- und Anlagenbau in Europa« konnte das Geschäftsfeld eine »Studie zur Entwicklung der europäischen Halbleiterindustrie bis zum Jahr 2030« im Auftrag des VDMA vorlegen. In ihr werden die Auswirkungen des Mangels an Mikrochips auf die Schlüsselbranche des Maschinen- und Anlagenbaus dargestellt und Handlungsempfehlungen für Industrie und Politik erarbeitet.

Dr.-Ing. Jürgen Henke
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 711 970-1881
juergen.henke@ipa.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Udo Gommel
Stv. Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 711 970-1633
udo.gommel@ipa.fraunhofer.de



Energie

Technische Entwicklungen und auch die Politik haben in den vergangenen Jahren die Energieerzeugung, Energieträger, Energienutzung und damit auch die technologische Entwicklung der Mobilität nachhaltig geprägt. Seit der Einleitung der Energiewende findet in Deutschland ein Umdenken statt. Wasserstoff als Energieträger der Zukunft wird das größte Potenzial zugeschrieben und die Verwendung von Energie bei industriellen Prozessen wird zunehmend CO₂-reduzierter. Transparenz in den Energieverbräuchen und neue Technologien ermöglichen diese Entwicklung.

Batteriesysteme, Wasserstofftechnologien, intelligente Energiesysteme und multivalente, vernetzte Produktionsprozesse sind aktuelle Forschungsthemen am Fraunhofer IPA. Dabei kombinieren intelligente Energiesysteme diese Aufgabenstellungen in diesen Themen vor dem Hintergrund einer nachhaltigen, energieflexiblen und energieeffizienten industriellen Produktion. Neuentwicklungen bei der Produktion von Batterien und Batteriezellen, aber auch bei Re-use und Recycling, versprechen vielfältige Einsatzmöglichkeiten in Intralogistik, Mobilität und Energietechnik. Projekte zur Herstellung, Verteilung, Speicherung und Verwendung von Wasserstoff bilden die Grundlagen für eine Vielzahl von technischen Entwicklungen für zukünftige Anwendungen.

Die Synergie von Produktion und Forschung verschafft Baden-Württemberg hier den erforderlichen technologischen Vorsprung für die wirtschaftliche Serienfertigung. Über den bewährten Schulterschluss von angewandter Forschung und Industrie unterstützt das Fraunhofer IPA die Industrie, wettbewerbsfähig in die Serienproduktion von Batterien, Brennstoffzellen und Elektrolyseuren einzusteigen. Dabei werden insbesondere die Digitalisierung in der Produktion und aber auch die Anwendung von Maschinellem Lernen Schwerpunkte bilden.

Das Fraunhofer IPA bearbeitet diese Themen und deren Verknüpfung mit Produktion, Automatisierung sowie Industrie-4.0-Technologien, gebündelt im Geschäftsfeld Energie.

Joachim Montnacher
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 711 970-3712
joachim.montnacher@ipa.fraunhofer.de

Gesundheitsindustrie

Die Effizienzsteigerung ist eine der Kernkompetenzen des Fraunhofer IPA. Im Bereich der Gesundheitsindustrie reicht die Expertise von der technischen Risikoanalyse des Produktentstehungsprozesses über die Automatisierung komplexer Laborprozesse wie »Pharma 4.0« bis hin zur Herstellung personalisierter Medizin wie Zelltherapeutika. Das Dienstleistungsportfolio umfasst folgende Gebiete:

Medizintechnik: Interdisziplinäre Teams entwickeln neue technische Lösungen im Bereich der interventionellen Medizin, der modernen Rehabilitation, der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung und der technischen Assistenzsysteme.

Assistenzsysteme mit ambienter Sensorik: Hierzu gehört die Entwicklung eines umfassenden und individuell anpassbaren Assistenzsystems, das automatisch über das Befinden des Einzelnen wacht, sei es im Alltag oder am Arbeitsplatz, und bei Bedarf die angemessenen Maßnahmen zur Hilfeleistung einleitet.

Biotech und Pharma: Automatisierungslösungen für höhere Reproduzierbarkeit, geringere Fremdeinflüsse, mehr Durchsatz bei gleichzeitigem Erhalt der Laborflexibilität sowie anspruchsvolle sterile und zertifizierte Umgebungsbedingungen.

Quality and Regulatory Affairs: Dazu zählen die gezielte Ableitung von Produktspezifikationen, die technische Risikoabsicherung in der Produkt- und Prozessentwicklung, die Risikobeurteilung nach DIN EN ISO 14971 sowie die Sicherstellung der Material Compliance der Produkte und Prozesse nach RoHS und REACH.

Diagnostik und Intervention in der Klinik: Automatisierungstechniken überwinden in der Diagnostik und Intervention mit neuen Instrumentensystemen die Grenzen des manuell Machbaren – vor allem in Zeiten der Pandemie.

Andreas Traube
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 711 970-1233
andreas.traube@ipa.fraunhofer.de

Michael Peter Langner
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 711 970-1198
michael.peter.langner@ipa.fraunhofer.de



Maschinen- und Anlagenbau

Der Maschinen- und Anlagenbau ist Deutschlands größter Arbeitgeber mit mittelständischen Strukturen und führender Innovationskraft. Doch die Branche muss sich aktuellen Herausforderungen stellen wie hoher Marktdynamik, neuen Technologien, Klimaneutralität, sowie Konkurrenz- und Kostendruck. Daraus leiten wir die strategischen Entwicklungsfelder ab, die den Weg zu einer »Smart Factory« ebnen:

Die Entwicklung neuer Produktionstechniken zielt auf neue Materialien, umwelt- und ressourcenschonende Prozesse, das Heben von Automatisierungspotenzialen sowie die Automatisierung in neuen Anwendungsfeldern ab. Die Produktion und ihre Mitarbeiter werden dabei zunehmend durch technische Assistenzsysteme unterstützt.

Künstliche Intelligenz und Industrie 4.0 tragen dazu bei, die Resilienz in Produktionssystemen zu erhöhen und Produkte sowie deren Produktion zu optimieren. Dies erfordert neue IT-Architekturen und -Services, wie auch neue Organisationsmethoden und -prozesse. Die Vision Industrie 4.0 wird durch die Vernetzung der physischen und digitalen Produktion sowie der durchgängigen (IT-)Integration der Wertschöpfungskette Realität.

Wir helfen Unternehmen, mit wandlungsfähigen Fabriken und modularen Produktionssystemen flexibel auf die Marktsituation reagieren zu können und ihre Produkte schnell auf den Markt zu bringen.

Seit über 60 Jahren arbeitet das Fraunhofer IPA mit Unternehmen aus der Branche partnerschaftlich zusammen. Das Geschäftsfeld Maschinen- und Anlagenbau ist der erste Ansprechpartner für Industrieunternehmen, die ihre Produktion, Technologien, Prozesse oder Produkte weiterentwickeln und optimieren möchten. Das rund 20-köpfige Kernteam rund um den Geschäftsfeldleiter bündelt Kompetenzen, stellt Projektteams zusammen und begleitet Kunden im Projektverlauf.

Dr. Volker Wegmann
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 711 970-1753
volker.wegmann@ipa.fraunhofer.de

Prozessindustrie

Dass Herstellungs- und Wertschöpfungsprozesse kontinuierlich und mit fließenden Materialien oder Medien ablaufen, charakterisiert die Prozessindustrie. Sie bildet das Gegenstück zur Stückgutindustrie. Oft folgen einzelne Produktionsschritte aufeinander, sodass die Produkte oder Zwischenprodukte aus Reaktoren oder in Rohrleitungen kontinuierlich von Station zu Station transportiert werden.

Das Geschäftsfeld Prozessindustrie am Fraunhofer IPA richtet sein Angebot an die Chemie-, Pharma-, Lebensmittel- und Stahlindustrie.

Unternehmen der chemischen Industrie setzen nicht nur auf die Produkt-, sondern verstärkt auch auf die Prozessentwicklung. Dabei spielt die Entwicklung individueller Lösungen bei Prozessinnovationen in den Bereichen Basischemikalien, Polymere sowie Fein- und Spezialchemikalien eine wichtige Rolle.

Die pharmazeutische Industrie wird immer wieder mit neuen Herausforderungen im Qualitäts- und Risikomanagement konfrontiert. »Mass Personalization« erfordert Produktinnovationen wie maßgeschneiderte Medikamente inklusive eines veränderten Produktions- und Logistikmanagements.

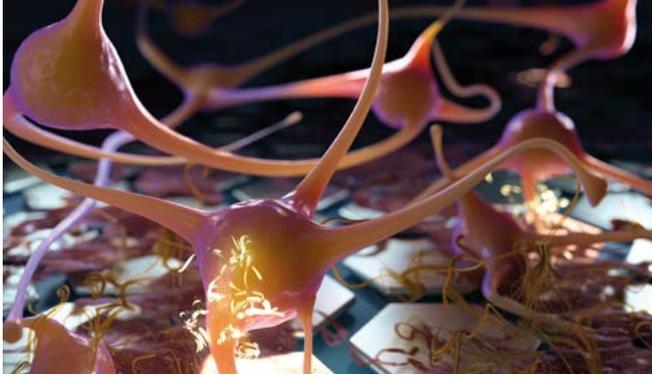
Metalle werden in Materialverbänden mit anderen Metallen, mit Keramik oder mit Polymeren eingesetzt. Sie müssen sowohl Funktionen wie Korrosionsschutz und höhere Standfestigkeit als auch Gewichtsreduktion erfüllen. Dabei hat die Optimierung der Produktionskosten bei gleichzeitiger Produkt- und Prozesssicherheit höchste Priorität.

Interdisziplinäre Teams aus zehn Fachabteilungen entwickeln Lösungen für spezifische Anforderungen über die gesamte Wertschöpfungskette – von der Planung über die Entwicklung und Validierung bis zur Qualitätssicherung.

Ivica Kolaric
Geschäftsfeldleiter
Telefon +49 711 970-3729
ivica.kolaric@ipa.fraunhofer.de

Abteilungen





Ressourceneffiziente Produktion

Biointelligente Produktion

Die Abteilung bündelt wesentliche Kompetenzen für den Transfer in eine nachhaltige Wirtschaftsweise. Ihr Ziel ist es, die technologische Konvergenz zwischen Lebens-, Ingenieur- und Informationswissenschaften voranzutreiben, um den Schritt von der Bioproduktion hin zur biointelligenten Produktion zu gehen. Dafür entwickelt die Abteilung innovative und nachhaltige Verfahren, Strukturen, Technologien, Modelle und Systeme, um biointelligente Systeme systematisch in die Industrie zu überführen.

Die Gruppe »Biointelligente Technologien« beschäftigt sich mit Basisarchitekturen biointelligenter Produktionssysteme, der regelungstechnischen Ausgestaltung von Biologie-Technik-Schnittstellen, der Entwicklung von Datenmodellen für biointelligente Systeme und der für die Biointelligenz notwendigen Sektorkopplung 2.0. Ihr Fokus liegt auf der Ausgestaltung biointelligenter Waste2X-Technologien, die eine wesentlich effizientere, dezentrale Schließung von Stoff- und Energiekreisläufen für die urbane Produktion ermöglichen soll.

Die Gruppe »Nachhaltige Systemgestaltung« fokussiert die Anwendung, Weiterentwicklung und Integration der Lebenszyklusanalyse für biointelligente Produktionssysteme. In ihr Aufgabenspektrum fallen Rohstoff- und Materialkritikalitätsanalysen, die Entwicklung von Kreislaufstrategien für unterschiedliche Anwendungsfälle, die Modellierung und mathematische Optimierung zellulärer Geschäftsmodelle und Organisationsstrukturen sowie die Entwicklung von Transformationsstrategien für Unternehmen, Quartiere und Regionen. Ihre Arbeit dient auch der Überprüfung des Nachhaltigkeitsbeitrags der entwickelten Technologien.

In einer umfassenden Studie wurden weltweit Aktivitäten im Bereich Biointelligenz analysiert. Die Ergebnisse bieten wichtige Erkenntnisse für Industrie und Forschung, zeigen die Rolle Deutschlands im globalen Wettbewerb auf und identifizieren Handlungsmöglichkeiten, damit Anbieter im Bereich Biointelligenz erfolgreich agieren.

Dr.-Ing. Robert Mieke
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1424
robert.mieke@ipa.fraunhofer.de



Ressourceneffiziente Produktion

Energietechnologien

Die Abteilung Energietechnologien hat sich die Entwicklung und Produktion moderner Energiespeicher- und Wandlungstechnologien im Bereich Batterie und Wasserstoff zum Ziel gesetzt.

Mit der vorhandenen Infrastruktur bietet die Abteilung der Industrie die einzigartige Möglichkeit, Prototypen von Batteriezellen im Format 21700 sowie von design- und formatflexiblen Wickeln für Entwicklungszwecke zu produzieren. Der Fokus liegt hierbei auf den Prozessschritten des Wickelns, Assemblierens sowie des Zellfinishings. Bei der Entwicklung von Batterietechnologien liegt der Schwerpunkt auf zukünftigen Batterietechnologien wie NIB und ASSB in Rundzellformat.

Parallel zum Ausbau des Leistungsangebots der Prototypenfertigung für Batterierundzellen wächst der Bereich Wasserstoff stark. Die umfangreiche Infrastruktur zur Charakterisierung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellensystemen sowie der dazugehörigen qualitätskritischen Fertigungsverfahren (z. B. Stacking-Prozess) wird weiter ausgebaut.

Bei der Identifikation der Potenziale des Digitalen Zwillings begleitet die Abteilung Unternehmen. Außerdem umfasst das Forschungs- und Entwicklungsangebot der Abteilung den Bereich Circular Economy mit Fokus auf direktem Recycling von Produktionsausschüssen.

Die Forschungsschwerpunkte und Dienstleistungsangebote zu modernen Energiespeicher- und Energiewandlungstechnologien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Entwicklung von Materialien und Gestaltung neuer Produkte
- Entwicklung und Optimierung flexibler Fertigungsprozesse und automatisierter Prozessketten
- Prototypenfertigung im Technikumsmaßstab
- Modellentwicklung im Kontext Digitaler Zwillinge
- Konzeption und Bewertung moderner Industrie-4.0-Architekturen
- Entwicklung und Bewertung von Recyclingstrategien

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



Ressourceneffiziente Produktion

Industrielle Energiesysteme

Das Fraunhofer IPA entwickelt maßgeschneiderte industrielle Energiesysteme, die den aktuellen und zukünftigen Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit gerecht werden. Das Know-how erstreckt sich von der Identifikation umsetzbarer Effizienz- und Flexibilitätshebel bis zur Entwicklung anbieterneutraler Lösungen für verschiedene Energieträger.

Die Forschungsschwerpunkte, Dienstleistungen und Lösungen von Fraunhofer IPA umfassen:

- *Energieeffizienz verbessern und Einsparungen erzielen:*
Identifikation und Behebung von Energieverschwendung in Fabriken, Integration sparsamer Energielösungen, datenbasierte Optimierung für eine effiziente Produktion.
- *Auf CO₂-freie Energieversorgung umstellen:*
Maßgeschneiderte Lösungen zur Reduzierung von CO₂-Emissionen, ganzheitliche Transformation zur Klimaneutralität, Energieflussoptimierung für maximale Eigenverbrauchs-optimierung regenerativer Energiequellen.
- *Sektorübergreifend Energien koppeln:*
Entwicklung wegweisender Lösungen für die effiziente Kopplung verschiedener Energieträger, Sicherstellung geringer Energieverschwendung, optimale Abstimmung der Energiesysteme.
- *Energieflexibilität steigern und Kosten senken:*
Identifikation und Bewertung von Energieflexibilisierungsmaßnahmen, Umsetzung von flexiblen, kostensparenden Energiesystemen.
- *Produktion intelligent und datenbasiert optimieren:*
Fortschrittliche Algorithmen für Transparenz und präzise Vorhersagen des Energieverbrauchs, Entwicklung individueller Entscheidungsmodelle, Einsatz von KI-Systemen zur Früherkennung von Anomalien im Energiesystem.
- *Unabhängig und resilient werden:*
Lösungen für den regionalen Energieaustausch, Zielsetzung: CO₂-Reduktion, Kostenreduktion, Förderung von Autarkie und Sicherheit durch innovative Energielösungen.

Dr.-Ing. Timm Kuhlmann
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1903
timm.kuhlmann@ipa.fraunhofer.de



Ressourceneffiziente Produktion

Nachhaltige Produktion und Qualität

Nachhaltiges Wirtschaften in Unternehmen bedeutet für das Fraunhofer IPA, gleichrangig ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte zu berücksichtigen, diese sowohl regional als auch global zu betrachten sowie Verantwortung für heutige und zukünftige Generationen zu übernehmen.

Dazu gehören für uns neben der Rohstoff- und Materialkritikalität auch die höchsten Ansprüche an die Qualität der Produkte und Prozesse unserer Kunden, die wir durch die Weiterentwicklung der bekannten Qualitätsmanagementmethoden und durch neue Ansätze sicherstellen.

Einen entscheidenden Erfolgsfaktor für Nachhaltigkeit in Industrieunternehmen stellen die Zuverlässigkeit, Robustheit und Verfügbarkeit von Produktionsanlagen dar, die wir durch ein wertschöpfungsorientiertes Instandhaltungsmanagement absichern. Darüber hinaus legen wir besonderen Wert auf ressourcenschonende und schadstofffreie Produktionsprozesse, Produkte und Technologien und betrachten im Rahmen dessen den gesamten Produktlebenszyklus wie auch spezifisch einzelne Lebensphasen.

Es ist unser Ziel, bestehende und geplante Unternehmensprozesse so zu gestalten, dass sie unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte bestmöglich die Anforderungen an Umwelt, Ressourceneffizienz, Qualität und Zuverlässigkeit erfüllen.

Dr.-Ing. Markus Kröll
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1280
markus.kroell@ipa.fraunhofer.de



Vernetzte Produktion

Digitale Werkzeuge in der Produktion

Der Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt der Abteilung liegt auf IT-Architekturen, Daten- und Anwendungsdiensten sowie Umsetzungsmethoden für die digitale Produktion. Wir unterstützen Unternehmen bei der Entwicklung und Integration von digitalen Werkzeugen in die Produktion.

Zu unseren Leistungen gehören neben der Beratung und Entwicklung von Lösungen rund um Computer- und Kommunikations-Infrastrukturen wie dem 5G-Transferzentrum und der sicheren Edge-Cloud-Plattform Virtual Fort Knox (VFK) auch Digitalisierungs- und Integrationslösungen wie der Manufacturing Service Bus (MSB) zur Anlagen- und Datenintegration. Von der Maschine auf dem Hallenboden über die Schnittstellen zu Produktionsdiensten bis hin zum Digitalen Zwilling auf Basis der Verwaltungsschale der gesamten Produktion besitzen wir das Know-how, Werkzeuge und Technologien für eine vernetzte intelligente Produktion mittels cyberphysischer Produktionssysteme zu entwickeln.

Unsere datengetriebenen Technologien und funktionalen IT-Lösungen für produzierende Unternehmen sind unter anderem die Bausteine für Leuchtturmprojekte wie unser vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördertes offenes, verteiltes, echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem für die Fabrik, FabOS.

Im Future Work Lab und den Industrie-4.0-Seminaren haben Unternehmen die Möglichkeit, gemeinsam mit unseren Expertinnen und Experten die neuesten Anwendungen rund um die digitale Produktion kennenzulernen und gemeinsam umzusetzen. In diesem Innovationslabor für Arbeit, Mensch und Technik wird die Produktion der Zukunft greifbar für und mit Unternehmen dargestellt. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen erhalten durch unser methodisches Know-how in der Umsetzung der digitalen Produktion Unterstützung, die Potenziale von Industrie 4.0 für sich zu erschließen.

Joachim Seidelmann
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1804
joachim.seidelmann@ipa.fraunhofer.de



Vernetzte Produktion

Fabrikplanung und Produktionsmanagement

Wettbewerbsfähige Unternehmen müssen ihre Fabriken und Produktionen im Grenzbereich der technischen, logistischen und organisatorischen Möglichkeiten betreiben. Dabei sind einerseits kontinuierliche Verbesserungen sowie andererseits grundlegende Anpassungen und Wandlungen die Voraussetzungen für den dauerhaften Erfolg einer Fabrik.

Mit unserem Leistungsangebot zu Fabrikplanung und Produktionsmanagement unterstützen wir Industrieunternehmen bei der Verfolgung ihrer wesentlichen Fabrikziele. Unsere Beratung reicht vom großen Ganzen bis ins Detail: So begleiten wir Unternehmen bei der strategischen Ausrichtung der Produktion und Festlegung von Standortrollen über die Planung schlanker und wandlungsfähiger Fabriken bis hin zur Auslegung des Produktionssystems. Gemeinsam mit unseren Kunden entwickeln wir die optimale Auftragsabwicklung mit dem richtigen Maß an IT. Ferner richten wir Produktionen nach den Prinzipien des Wertstromdesigns aus, planen, optimieren oder digitalisieren Fertigungs- und Montagesysteme und steigern datenbasiert die Gesamtanlageneffektivität.

Unsere Projekte in Forschung und industrieller Anwendung orientieren sich an Industrie 4.0 und Digitalisierung, Wandlungsfähigkeit und Automatisierung. Damit garantieren wir, dass Fabriken nach den neusten Erkenntnissen und methodischen Prinzipien gestaltet werden, um den Wettbewerbsvorsprung unserer Kunden in der Produktion nachhaltig zu sichern.

Michael Lickefett
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1993
michael.lickefett@ipa.fraunhofer.de



Vernetzte Produktion

Unternehmensstrategie und -entwicklung

Kernaufgabe unserer Abteilung ist es, Organisationen vom Front- bis zum Back-End ganzheitlich zu betrachten und zu optimieren. Innovation jeglicher Art führt zu technologischen und organisatorischen Veränderungen. Für unsere Auftraggeber aus Wirtschaft und öffentlicher Hand machen wir Veränderungen sichtbar und sichern ihren nachhaltigen Erfolg.

Technologische Innovationen beeinflussen Geschäftsmodelle und Prozesse. Wir sind Entwicklungs- und Realisierungspartner der richtigen Strategie und leistungsfähigen Organisation. Unser Ziel ist es, dass Technologien zielgerichtet eingesetzt werden, damit »Technological Business Excellence« entsteht. Mit unseren Kompetenzen sind wir schnell und bedarfsorientiert in der Lage, Technologietrends und -entwicklungen strategisch und transformatorisch zu denken, weiterzuentwickeln und umzusetzen.

Neben der Ausarbeitung von Programmen zur Value Transformation mittels strategischer und technologischer Werttreiber stehen für uns die methodische Weiterentwicklung der Themen »digitale Geschäftsmodelle« (XaaS), »Business Ecosysteme« und »Smarte Organisation« im Fokus. Zentrales Thema ist hierbei die Gestaltung einer plattformbasierten Wertschöpfung mit digitalisierten End-to-end-Prozessen.

Wir verstehen uns als Bindeglied zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen am Fraunhofer IPA. Durch die Kombination von Technik und Organisation schaffen wir gemeinsam attraktive Wertangebote. Zum Beispiel durch Transformationsstrategien im Bereich Biointelligente Systeme (Biointelligenznavigator), Innovative Geschäftsmodelle durch Additive Manufacturing (AM-Mehrwertdienste) oder Smarte Prozesse im Gesundheitswesen (Lean Laboratory/Digitales Gesundheitswesen).

Zu unserem Selbstverständnis gehört, in Netzwerken und agilen Organisationsstrukturen zu arbeiten. Wir wenden neue Formen der Organisation selbst an, gestalten sie aktiv mit und verstärken abteilungs- sowie institutsübergreifende Kooperationen.

Oliver Schöllhammer
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1947
oliver.schoellhammer@ipa.fraunhofer.de



Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnik

Bild- und Signalverarbeitung

Die Abteilung Bild- und Signalverarbeitung entwickelt und realisiert innovative System- und Applikationslösungen für die Informationsverarbeitung im Zusammenspiel mit technischen Prozessen. Im Fokus der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten stehen intelligente Mess- und Prüfsysteme – etwa für die Null-Fehler-Produktion – sowie hoch effektive Automatisierungs- und Prozessoptimierungslösungen.

Die Kernkompetenzen der Abteilung konzentrieren sich auf die intelligente, automatisierte Interpretation von Bild- und Sensorinformationen zur Lösung komplexer Aufgabenstellungen. Das Anwendungsspektrum umfasst:

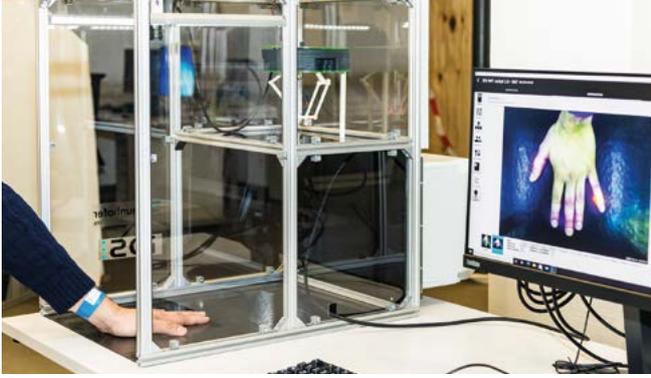
- 2D-Mess- und Prüfsysteme beispielsweise mittels industrieller Bildverarbeitung, Thermographie oder Ultraschall
- Effiziente 3D-Mess- und Prüftechnik mit industrieller Computertomographie und optischer 3D-Sensorik beispielsweise mittels Laserliniensensoren, 3D-Smartkameras oder Time-of-Flight-Kameras
- Automatisierte 3D-Objekterkennung und Szenenanalyse für die Automatisierungstechnik (Griff-in-die-Kiste, Griff-vom-Band) und für die Montage
- Condition Monitoring zur Qualitätsprognose sowie Bewegungsanalysen zur Prozessverbesserung und Bildsimulationen

Methoden des Maschinellen Lernens spielen in allen Anwendungsbereichen zunehmend eine entscheidende Rolle und werden erfolgreich in Projekten ein- und umgesetzt.

Unsere Leistungen im Einzelnen:

- KI für die Qualitätssicherung und Automatisierung
- Qualitätssicherung mit 2D-Bildverarbeitung
- 3D-Bildverarbeitung und Objekterkennung
- Zerstörungsfreie Prüfung
- Messen und Prüfen mit Thermographie und Computertomographie
- Bildsimulation und virtuelle Messplanung
- Condition Monitoring und Qualitätsprognose
- Bewegungsanalyse zur Prozessoptimierung

Prof. Dr.-Ing. Marco Huber
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1960
marco.huber@ipa.fraunhofer.de



Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnik

Cyber Cognitive Intelligence

Die Abteilung Cyber Cognitive Intelligence (CCI) unterstützt Unternehmen, insbesondere den Mittelstand, bei der Nutzung und Einführung von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Maschinellen Lernens (ML). Dabei deckt sie von der Identifikation und dem Roadmapping von KI-Anwendungsfällen im Unternehmen (AI Explorer) über die schnelle Machbarkeitsanalyse (Quick Check) bis hin zur Operationalisierung (AI Services) sowie Auditierung (AI Audit) von KI-Lösungen die komplette Bandbreite an Umsetzungsformaten ab.

Im Bereich der Forschung und Entwicklung liegt der Fokus der Abteilung CCI auf folgenden Themen:

- Zuverlässige, erklärbare, robuste und dateneffiziente KI-Verfahren
- Entwicklung von intelligenten, vorausschauenden Planungs- und Optimierungsalgorithmen zur Entscheidungsunterstützung und autonomen Entscheidungsfindung
- Einsatz von Quantencomputern in der Simulation, Optimierung und KI

Die Forschungsergebnisse finden Anwendung in zahlreichen Branchen, z. B. Maschinen- und Anlagenbau, Automotive, Financial Services, Materialforschung und Life Sciences. Zu den erfolgreichen Anwendungslösungen der Abteilung CCI zählen unter anderem intelligente Algorithmen für die Produktions- und Auftragsplanung, die Auditierung von Betrugserkennungsalgorithmen, Erklärbarkeitsverfahren für Zeitreihen- und Bilddaten oder selbstlernende KI-Regelungsalgorithmen.

Prof. Dr.-Ing. Marco Huber
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1960
marco.huber@ipa.fraunhofer.de



Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnik

Reinst- und Mikroproduktion

Die Erforschung sauberer und reiner Arbeitsumgebungen beschäftigt uns seit über 35 Jahren. In dieser Zeit haben wir ein umfangreiches Leistungsportfolio aufgebaut. Dazu zählen die Planung und Realisierung kundenspezifischer Reinheitsumgebungen und Produktionsanlagen, Präzisionsreinigungen und Softwareentwicklungen sowie die Digitalisierung von Maschinendaten. Unser Know-how führt nicht nur zu internationalen Standards, sondern mündet auch in verbindliche Normen.

Auf insgesamt 1300 m² steht uns eine einzigartige Infrastruktur mit dem reinsten Forschungsreinraum der Welt zur Verfügung. Dieser ist mindestens zehnmals sauberer, als es die Luftreinheitsklasse ISO 1 verlangt. Weitere Laboratorien und Trockenräume für die Batterie- und Brennstoffzellenfertigung wurden 2021 ergänzt und in diesem Jahr durch die Prozesstechnik zur Assemblierung von zylindrischen Lithium-Ionen-Batteriezellen erweitert.

2023 wurde in der neuen Außenstelle in Magstadt der Textilforschungsbereich deutlich erweitert. Zusätzlich entstanden dort neue Bereiche für die industrielle Präzisionsreinigung von kontaminationskritischen Fertigungsanlagen für Großanlagen.

Außerdem haben wir die Erforschung von Werkstoffsystemen in unser Portfolio aufgenommen. Mit diesem Forschungsgebiet können wir die Industrie bei ihrem großen Bedarf an trocken- und reinheitstechnisch kontrollierten Fertigungsumgebungen für die Elektromobilität umfassend unterstützen.

In unseren akkreditierten Labors führen wir erfolgreich zytotoxikologische Tests an Zellmodellen für die Gesundheitsindustrie durch.

Dr.-Ing. Udo Gommel
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1633
udo.gommel@ipa.fraunhofer.de



Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnik

Roboter- und Assistenzsysteme

Die Abteilung Roboter- und Assistenzsysteme gestaltet Roboter- und Automatisierungslösungen für industrielle Anwendungen und für den Dienstleistungsbereich. Schlüsseltechnologien werden entwickelt und in innovative Industrieroboter, Serviceroboter und intelligente Maschinen umgesetzt.

50 Jahre Erfahrung in der Robotik und Automatisierung, multidisziplinäre Teams, ein einzigartiges Netzwerk und umfassendes Know-how charakterisieren unsere Forschung. Bestens ausgestattete Labors und Werkstätten gehören zu unserem Arbeitsumfeld.

Spektrum unserer Dienstleistungen:

- Systemkonzeption
- Machbarkeitsstudien
- Simulation von Roboteranlagen und Komponenten
- Materialflusssimulation
- Entwicklung von Prototypen
- Erstellung von Lasten- und Pflichtenheften
- Vermessung von Robotern und Anlagen
- Optimierung bestehender Systeme

Unsere Schwerpunkte liegen auf folgenden Gebieten:

- Handhabung und Intralogistik
- Schweißen
- (De-)Montage-Automatisierung
- Roboterprogrammierung und -regelung
- Servicerobotik für Industrie und Gewerbe
- Haushalts- und Assistenzrobotik
- Software Engineering und Systemintegration
- Sichere Roboteranwendungen und Cobots

Wir unterstützen Anwender von Robotersystemen von der Entwicklung bis hin zur Implementierung ihrer Automatisierungslösung. Systemintegratoren oder Komponentenherstellern stehen wir als Entwicklungspartner für neue Technologien zur Seite.

Dr.-Ing. Werner Kraus
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1049
werner.kraus@ipa.fraunhofer.de



Medizin- und Bioproduktionstechnik

Biomechatronische Systeme

Die Abteilung Biomechatronische Systeme entwickelt Technik für Menschen. Die Vermeidung körperlicher Schäden bei schwerer Arbeit und die volle Funktionswiederherstellung bei Krankheiten des Bewegungsapparats sind unsere Vision. Unsere interdisziplinäre Abteilung forscht international und in enger Kooperation mit der Industrie an Technik für Menschen.

Viele Menschen erleiden jährlich ernsthafte Schäden am Arbeitsplatz. Allein 3,4 Millionen Arbeitsunfälle in Europa verzeichnet die Statistik [Eurostat 2019]. Die Prädiktion von und Prävention gegen körperliche Beeinträchtigungen und die Gesunderhaltung am Arbeitsplatz werden immer relevanter. 50 Prozent aller chronischen Erkrankungen betreffen in unserer Gesellschaft den Bewegungsapparat und mit einer geschätzten Verdoppelung der über 50-Jährigen werden diese in Zukunft noch stark zunehmen.

Wir wollen mit unseren Kunden neue Lösungen für eine mobile Gesellschaft im demographischen Wandel schaffen.

Unsere Kompetenzen umfassen:

- Muskuloskelettale Ergonomie
- Bewegungserfassung und Sensordatenfusion
- Exoskelette und medizinische Antriebssysteme
- Biomimetik und Medizintechnik
- Angewandte Biomechanik
- Virtual Orthopedic Lab

Dr. med. Urs Schneider
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-3630
urs.schneider@ipa.fraunhofer.de



Medizin- und Bioproduktionstechnik

Laborautomatisierung und Bioproduktionstechnik

Information und Wissen sind die wichtigsten Rohstoffe in modernen Ökosystemen. In den Lebenswissenschaften findet bereits heute ein großer Anteil der Wertschöpfung in den Entwicklungslabors, beispielsweise zur Entwicklung neuer Wirkstoffe, diagnostischer Biomarker oder in der Züchtung von Hochleistungsorganismen, statt. Labors sind daher hochkomplexe Datenfabriken, in denen der Rohstoff Wissen erzeugt und in Form von Qualitätsdaten sichergestellt wird. Automatisierung und Digitalisierung tragen erheblich zur ganzheitlichen Effizienzsteigerung in modernen Labors und Bioproduktionen bei.

Dieser Herausforderung hat sich die Abteilung Laborautomatisierung und Bioproduktionstechnik des Fraunhofer IPA mit einem interdisziplinären Team gestellt. Zunehmend wird die Synergie aus Bioverfahren, Automation und digitaler Vernetzung auch in dezentralen Bioproduktionen dringend benötigt.

Das Fraunhofer IPA entwickelt seit 2021 skalierbare, flexible und dezentral einsetzbare Minifabriken, die die Produktion von CAR-T-Zelltherapien effizienter, kostengünstiger und qualitätsgesicherter machen. Die personalisierten Therapien sollen damit für das Gesundheitssystem bezahlbar und bislang unheilbare Erkrankungen behandelt werden können.

Mit dem mobilen Laborroboter KEVIN werden automatisierte Prozesse in Labors und Produktionen eingesetzt, in denen das bislang unwirtschaftlich war.

Die Beispiele der automatisierten KI-gestützten Sortierung von Organoiden oder die Screeningplattform für riechende Zellen zeigen eindrücklich, wie Technik, Biologie und Information zusammenwachsen. Das Fraunhofer IPA ist für die biointelligente Zukunft gut aufgestellt.

Andreas Traube
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1233
andreas.traube@ipa.fraunhofer.de



Oberflächen- und Materialtechnik

Beschichtungssystem- und Lackiertechnik

Organische Beschichtungssysteme bilden die Basis der wirtschaftlich bedeutendsten Oberflächentechnik. Der Grund dafür liegt in der Flexibilität und Vielseitigkeit dieser Technologie.

Von der Entwicklung neuer Lacke und Lackkomponenten über die Lackapplikation bis zum Entwickeln, Modellieren und Simulieren von produktionsgerechten Prozessen reichen die inhaltlichen Forschungs- und Entwicklungsthemen der Abteilung.

In der Beschichtungssystem- und Lackiertechnik werden auch innovative Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten von Biomaterialien erforscht, beispielsweise ein bioabbaubares Beschichtungssystem auf Chitin-Basis für temporäre industrielle Schutzschichten. Des Weiteren finden smarte und bionische Prinzipien Anwendung. So wurde in einem Fraunhofer-internen Projekt eine bestimmte Kombination aus Applikationstechnik und Lacksystem entwickelt, mit der beliebige Muster von hydrophilen und hydrophoben Strukturen (in Analogie zum Stenocara-Käfer) erzeugt werden können.

Auf der Projektseite werden neben geförderten angewandten Forschungsvorhaben Industrie-Entwicklungsaufträge, aber auch herausfordernde bilaterale oder konsortiale Industrie-Forschungsprojekte bearbeitet. In unseren Labors wenden wir akkreditierte Prüfverfahren nach DIN EN ISO 17025:2018 an. Darüber hinaus entwickeln wir neue Prüfverfahren und Qualitätssicherungskonzepte, die den speziellen Anforderungen unserer Kunden entsprechen.

Höhere Auftragswirkungsgrade, kürzere Durchlaufzeiten, Energie- und Materialeinsparung und neue Materialien sind Lösungen, die bei der Umsetzung und Integration in die betriebliche Praxis die Prozesseffizienz deutlich erhöhen.

Dr. rer. nat. Michael Hilt
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-3820
michael.hilt@ipa.fraunhofer.de



Oberflächen- und Materialtechnik

Funktionale Materialien

Oberflächen werden intelligent. Dank nanomodifizierter Werk- und Füllstoffe können textile, polymere und sogar elastisch-flexible Schichten und Oberflächen mit sensorischen und aktiven Funktionalitäten ausgestattet werden. Das Spektrum reicht von elektrisch leitfähigen Beschichtungen, elektrischen Widerstandsheizungen, gedruckter großflächiger Sensorik bis hin zu Technologien für eine echte Interaktion zwischen Mensch und Maschine mittels gedruckter Aktuatoren. Diese werden für zukünftige Soft-Robotic-Applikationen und sicherheitsrelevante Mensch-Roboter-Kooperationsszenarien (Sensorhaut für Roboter) benötigt. In diesem Bereich der elektroaktiven Polymere entwickelt die Abteilung neben Anwendungen wie Aktoren, sensorischen Oberflächen und Handhabungstechniken auch Fertigungsverfahren weiter.

Im Kontext der Bioökonomie fokussiert sich die Abteilung auf die konsequente Entwicklung und Umsetzung von Material- und Ressourceneffizienz. Um den wachsenden Anforderungen einer resilienten und defossilisierten Gesellschaft gerecht zu werden, werden synthetische Rohstoffe und Additive durch biobasierte Alternativen ersetzt.

Mit dem Ziel, Entwicklungszeiten zu verkürzen, Prozesse effizienter und sicherer zu gestalten und neue Geschäftsmodelle entwickeln zu können, werden alle Verfahren sukzessive digitalisiert und vernetzt. So können zum Beispiel bei der Pastenherstellung für die Elektrodenfertigung drei Anlagen erfolgreich in einen Prozess eingebunden und die Daten in Echtzeit aufgenommen und übertragen werden.

In modernen Produktionsanlagen und Robotikanwendungen werden zunehmend hochqualitative und multifunktionale Fügeverbindungen benötigt. In einem neu geschaffenen Themenfeld entwickelt die Abteilung füllstoffoptimierte Materialkombinationen und lösemittelfreie Beschichtungsverfahren für robuste, langzeitstabile, impermeable und gegebenenfalls elektrisch leitfähige Verbindungen.

Ivica Kolaric
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-3729
ivica.kolaric@ipa.fraunhofer.de



Oberflächen- und Materialtechnik

Galvanotechnik

Die Anwendung elektrochemischer (galvanischer) Verfahren fordert nicht nur immer präzisere werkstofftechnische und geometrische Eigenschaften, sondern auch prozesssichere und effiziente Anlagentechnologien. Dem tragen wir dadurch Rechnung, dass die gesamte Forschungs- und Entwicklungs-(FuE-)Kette von der Prozessentwicklung bis zu industriellen Anlagen durchgängig verfolgt wird.

Im Fokus unserer Arbeiten steht dabei immer die Galvanotechnik. Als einziger Dienstleister bieten wir unseren Kunden FuE-Leistungen entlang der gesamten industriellen Produktionskette an. Dies reicht von der Entwicklung neuer Schichtwerkstoffe über die dazugehörigen Elektrolyte und Prozesse bis hin zur Umsetzung in der industriellen Anlagentechnik.

In Verbindung mit unseren Dienstleistungen wie Schadensfallanalysen, Analyse der alternativen Stoffe zu Chrom-VI, Lieferantenbewertung oder Machbarkeitsstudien bieten wir unseren Kunden an, neue Technologien von der Idee bis zur Produktionseinführung zu begleiten.

In verschiedenen Projekten haben wir zum Beispiel folgende Lösungen entwickelt:

- Iridium-reduzierte Anodenkatalysatoren für die PEM-Wasserelektrolyse
- Sichere und ökonomische Entgasungswärmebehandlung für galvanisch beschichtete Bauteile
- Funktionale galvanische Beschichtung von CFK-Materialien für den Maschinen- und Anlagenbau

Dr.-Ing. Martin Metzner
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1041
martin.metzner@ipa.fraunhofer.de



Fertigungs- und Prozesstechnik

Additive Fertigung

Wissenschaftler des Fraunhofer IPA entwickeln, kombinieren und optimieren additive Herstellungsprozesse. Dabei konzentrieren sie sich auf Kunststoffe und neue, derzeit noch nicht verarbeitbare Materialien. Im Fokus stehen dabei stets die Erschließung neuer und die Verbesserung vorhandener Anwendungen mithilfe der Additiven Fertigung.

Prozessentwicklung additiver Verfahren

Die Verbesserung von Qualität, Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit sowie die Herstellung von Bauteilen aus neuen Materialien und mit bisher nicht erreichten Funktionalitäten sind der Antrieb zur Weiter- und Neuentwicklung von additiven Verfahren.

Automatisierung additiver Verfahren

Ein entscheidender Erfolgsfaktor für die industrielle Implementierung von additiven Verfahren ist die Automatisierung der gesamten additiven Prozesskette. Das Fraunhofer IPA liefert Technologien für alle Teilschritte der additiven Prozesskette und unterstützt bei der Umsetzung in der Praxis.

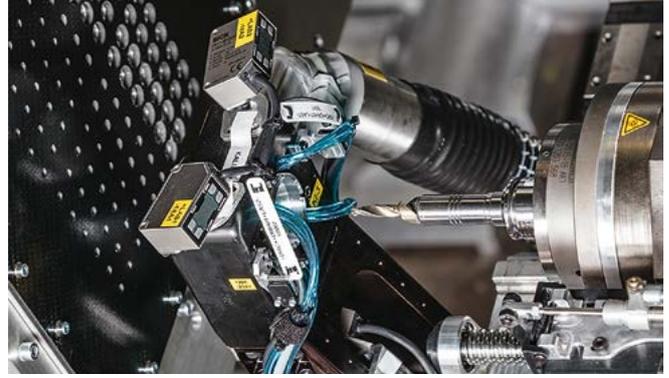
Hybride Prozessketten

Additive Verfahren bieten hohe Freiheitsgrade bei der Gestaltung komplexer Produkte. Dennoch sind den Verfahren Grenzen gesetzt – wie jedem anderen Fertigungsverfahren auch. Durch intelligente Kombination additiver und komplementärer Verfahren lassen sich Grenzen überwinden und neue Anwendungen schaffen.

Digitale Drucktechnologien

Inkjet-Druck und Elektrofotografie dienen zur Erzeugung komplexer Funktionsoberflächen für Anwendungen in der Elektronik, Bio-, Nano-, und Beschichtungstechnik sowie als Grundlage für zahlreich additive Fertigungsverfahren.

Oliver Refle
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1867
oliver.refle@ipa.fraunhofer.de



Fertigungs- und Prozesstechnik

Leichtbautechnologien

Leichtbau und die damit verbundenen Prinzipien sind für die Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit von Systemen entscheidend, beispielsweise zur Steigerung der Geschwindigkeit. Zugleich bedeutet Leichtbau Ressourcenschonung, da sowohl Energie als auch Rohstoffe eingespart werden können.

In diesem Spannungsfeld arbeitet und forscht die Abteilung Leichtbautechnologien. Wir entwickeln Lösungen für Kunden, die Leichtbauwerkstoffe in ihren Produkten einsetzen. Wir erarbeiten Konzepte zur prozesssicheren, wirtschaftlichen und nachhaltigen Bearbeitung und Zerspanung von Werkstoffen wie kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK), Kunststoffen oder auch Leichtmetalle sowie Multi-Material-Mixen. Und wir realisieren diese Lösungen gemeinsam mit unseren Kunden.

Um Leichtbauwerkstoffen ihre endgültige Form zu geben und so die gesetzten Ziele in Bezug auf Qualität, Kosten, Geschwindigkeit und Energieverbrauch zu erreichen, entwickeln wir Fräs-, Bohr- und Sägestrategien. Wir betrachten aber auch die Themenkomplexe Absaugung von Stäuben oder den Einsatz von Kühlschmierstoff, Verfahren zur Werkstückspannung und Qualitätsermittlung für moderne Leichtbauwerkstoffe. Neben den spanenden Verfahren stehen auch Fügeverbindungen im Fokus, denn die Materialvielfalt bei Leichtbauapplikationen zwingt hier zu neuen Technologien.

Außerdem beforscht die Abteilung Möglichkeiten, wie Leichtbauwerkstoffe in konstruktive Lösungen des Maschinen-, Anlagen- und Gerätebaus eingesetzt werden können, z. B. bei Handgeräten, bei Pick-and-Place-Applikationen in der Automatisierung oder beim Themengebiet der Ergonomie.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf dem Gebiet der Sägetechnik: Von der Maschine über die Sägewerkzeugeherstellung bis zur Prozessführung und Anpassung an die Werkstoffe, von CFK bis zu nanokristallinen Ringbandkernen werden alle Aspekte behandelt und alle Werkstoffe getrennt.

Dr.-Ing. Andreas Gebhardt
Abteilungsleiter
Telefon +49 711 970-1538
andreas.gebhardt@ipa.fraunhofer.de

Industry on campus





ARENA2036

Der kooperative Forschungscampus ARENA2036 entwickelt wettbewerbsfähige Produktionsmodelle für das Automobil der Zukunft. Wissenschaftler und Vertreter aus Unternehmen und Forschung arbeiten hierfür gemeinsam an neuen Methoden der Produktentwicklung und Produktionstechnik im Kontext der Automobilproduktion. Getreu dem Motto »Industry on Campus« soll der lokale Verbund als Marktplatz für Technologien dienen sowie einen Motor für die Nachwuchsförderung, Weiterbildung und Chancengleichheit darstellen.

Die ARENA2036 konzentrierte sich in der zweiten Phase auf vier Hauptbereiche im Kontext der Automobilwirtschaft:

- Digitaler Fingerabdruck – Ganzheitliche Datenakquisition und übergreifende Datensemantik für die automatisierte Bauteilevolution
- Fluide Produktion – Cyberphysische Produktionssysteme für eine menschenzentrierte, rekonfigurierbare Produktion ohne Band und Takt
- FlexCAR – Neue modulare Produktarchitekturen, Fertigungsverfahren und Werkstoffsysteme für das Fahrzeug der Zukunft
- Agiler InnovationsHub – Agile Formen der Zusammenarbeit durch neue Innovations- und Visualisierungswerkzeuge

Das Fraunhofer IPA leitete das Projekt zur Fluiden Produktion. Erfolgreich wurde die zweite Phase der ARENA2036 im September 2023 mit einer Projektschau abgeschlossen. Im Rahmen der Projektschau wurden Technologien zur Lokalisierung, Logistik, Produktionstechnik und Arbeitsorganisation dargestellt. Die präsentierten Technologien setzten auf das Prinzip der Verwaltungsschale und die daraus abgeleiteten Geschäftsmodelle.

Auch in der dritten Phase der ARENA ist das Fraunhofer IPA maßgeblich beteiligt. Im Rahmen des Projekts WELL-DEFINED wird ein nachhaltiges, kostengünstiges und selbstoptimiertes Produktionsnetzwerk aufgebaut. Ziel ist es, ein resilientes Wertschöpfungsnetzwerk aufzubauen, um zukünftige Herausforderungen wie beispielsweise die CO₂-Reduktion oder kontinuierliche Produktvarianz zu meistern. Das Fraunhofer IPA hat hierbei den Schwerpunkt auf die simulationsgetriebene Entwicklung von Roboterprogrammen für die Montage gelegt.

Anwar Al Assadi
Leiter Fluide Produktion
Telefon +49 711 970-1264
anwar.alassadi@ipa.fraunhofer.de

Future Work Lab

Digitalisierung und Industrie 4.0 verändern die Industriearbeit drastisch. Immer mehr innovative Lösungen werden technisch möglich. Doch wie sieht die Industriearbeit der Zukunft aus? Was passt zu Ihrem Unternehmen und wie implementieren Sie Anwendungen erfolgreich?

Die Fraunhofer-Institute IAO und IPA bieten mit dem Future Work Lab ein Innovationslabor, in dem Sie die Industriearbeit der Zukunft live erleben.

Mit Demonstratoren, Angeboten zur Kompetenzentwicklung und Weiterbildung sowie einer Plattform für den wissenschaftlichen Austausch richtet es sich an Industrie, Arbeitnehmerverbände, Politik und Wissenschaft. Unternehmen können die Leistungen des Future Work Lab über drei Wege nutzen:

- Die Demonstrenwelt zur Arbeitswelt der Zukunft zeigt, welche Technologien und Anwendungen heute schon möglich sind und wie künftige Szenarien der Arbeitsteilung zwischen Mensch und Technik aussehen können.
- Die zukünftige Arbeitswelt erfordert ganz andere Kompetenzen als heute. Daher bietet die Lernwelt Workshops und Weiterbildungsmöglichkeiten für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von produzierenden Unternehmen.
- Für den wissenschaftlichen Dialog und die weitere Forschung rund um die Produktionsarbeit bietet die Ideenwelt eine zentrale Plattform.

Das Future Work Lab wurde bis 2022 mit den Fokusthemen Künstliche Intelligenz und vernetztes Produktionssystem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert.

Weitere Informationen zu den kostenfreien Open Lab Days: www.futureworklab.de

Simon Schumacher
Projektleiter
Telefon +49 711 970-1747
simon.schumacher@ipa.fraunhofer.de



Lab Flexible Blechfertigung

Die Firma TRUMPF und das Fraunhofer IPA starteten 2015 eine strategische Kooperation über einen Zeitraum von fünf Jahren. Diese Kooperation wurde um weitere fünf Jahre verlängert, weiterhin mit dem gemeinsamen Ziel, Erkenntnisse aus der aktuellen Forschung zu Industrie 4.0 und Künstlicher Intelligenz in der Blechbearbeitung zu verankern.

Im Lab Flexible Blechfertigung arbeiten Mitarbeiter von TRUMPF und dem Fraunhofer IPA gemeinsam daran, mithilfe neuer Technologien aus der Forschung innovative Lösungen für die Fertigungstechnik der Zukunft zu entwickeln. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung von Assistenzsystemen für den Werker durch maschinelle Lernverfahren.

Im Lab Flexible Blechfertigung werden aktuell folgende Themenfelder betrachtet:

- Künstliche Intelligenz in der Produktion
- Werkerassistenzsysteme
- Selbststeuernde Produktion
- Intralogistik

Ein Beispiel für die erfolgreiche Zusammenarbeit der Werkerassistenzsysteme ist der Sorting Guide, den TRUMPF nun als Produkt anbietet. In der Kooperation wurde die Idee geboren, das Konzept entwickelt, ein Prototyp gebaut und die finale Produktentwicklung unterstützt.

nCLAS Innovation Center für Laborautomatisierung Stuttgart

Moderne Labors sind hochkomplexe Datenfabriken. Sie haben Schlüsselfunktionen in Unternehmen. Neue effiziente Lösungen durch nachhaltige Automatisierung und digitale Assistenzsysteme tragen dazu bei, dass die wachsende Komplexität auch in Zukunft noch beherrschbar bleibt.

Mit nCLAS zeigen wir, wie eine bedarfsgerechte Automatisierung im Labor gestaltet sein sollte, damit Sie auch morgen noch flexibel auf die Anforderungen Ihrer Kunden reagieren können. Unser »nCLAS Innovation Center für Laborautomatisierung Stuttgart« schafft einen einmaligen Innovationsraum, in dem Hersteller, Anwender und Forscher sich austauschen und gemeinsam Lösungen entwickeln können. Ganz im Sinne kooperativer Forschung und Entwicklung am Puls der Zeit.

Im Jahr 2023 erweiterten wir erfolgreich das La.Z.e.-Projektformat (Laborzukunft erleben) in nCLAS. Dabei wurden und werden die Teilnehmer auch 2024 aktiv an neuen Technologien geschult, wodurch nicht nur die Akzeptanz von Digitalisierung und Automatisierung gesteigert, sondern auch generell die Technologieoffenheit gefördert wird. Diese praxisnahe Herangehensweise ermöglicht es, den sich transformierenden Anforderungen und Arbeitsumfeld im Labor effektiv zu begegnen.

Ein herausragendes Ereignis war unser nCLAS-Forum, das hochwertige Vorträge, erstklassige Netzwerkmöglichkeiten sowie die Gelegenheit zum Kennenlernen und Ausprobieren neuer Technologien bot.

Im Jahr 2024 fokussieren wir uns auf die Nachhaltigkeit im Labor, erweitern unser Dienstleistungsangebot für einen reibungslosen Transfer in automatisierte und digitale Labors, optimieren die Nutzung von Labor-Daten und setzen weiter auf die Entwicklung neuer Technologien.

Christian Jauch
Projektleiter
Telefon +49 711 970-1816
christian.jauch@ipa.fraunhofer.de

Michael Peter Langner
Projektleiter
Telefon +49 711 970-1198
michael.peter.langner@ipa.fraunhofer.de



Transferzentrum 5G4KMU

Mit dem Transferzentrum 5G4KMU haben kleine und mittlere Unternehmen (KMU) die Möglichkeit, ihre Produkte, Anwendungen und Geschäftsmodelle mit dem neuen Mobilfunkstandard 5G weiterzuentwickeln. Neben der notwendigen 5G-Infrastruktur steht den Unternehmen Expertenwissen zu 5G zur Verfügung.

Unter Koordination des Fraunhofer IPA haben sich sechs Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg zusammengeschlossen, um ein breites Themenfeld aus den Bereichen Produktion, Logistik, Labor und Klinik abzudecken. Ihre Testumgebungen verfügen dabei über ein 5G-Standalone Campusnetz:

- Stuttgart: Fraunhofer IPA
- Stuttgart: Fraunhofer IAO
- Mannheim: Fraunhofer IPA, Abteilung Klinische Gesundheitstechnologien
- Freudenstadt: Campus Schwarzwald – Centrum für Digitalisierung, Führung und Nachhaltigkeit Schwarzwald gGmbH
- Reutlingen: Reutlinger Zentrum Industrie 4.0 der Hochschule Reutlingen
- Karlsruhe: wbk Institut für Produktionstechnik des KIT

Neben Seminaren und Workshops zur Wissensvermittlung bietet das Transferzentrum geförderte Projekte in Form sogenannter Quick Checks und Exploring Projects an. In Quick Checks werden von Unternehmen eingereichte Projektideen auf ihre Machbarkeit untersucht und erste Projektarbeiten durchgeführt. Anschließend kann in einem Exploring Project eine Anwendung entworfen und prototypisch in einer der 5G-Testumgebungen implementiert werden. Darüber hinaus steht eine mobile 5G-Zelle zur Verfügung. So lassen sich entwickelte Lösungen auch unter Realbedingungen bei Unternehmen vor Ort testen.

Das Projekt wurde vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg bis zum 31. Dezember 2023 gefördert. Die Forschungsarbeit wird in den Transferzentren fortgeführt und neue technologische Entwicklungen wie der Open-RAN-Ansatz werden integriert. Unternehmen haben weiterhin die Möglichkeit, die 5G-Testumgebungen zu nutzen.

Fabian Haag
Projektleiter
Telefon +49 711 970-1330
fabian.haag@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Dispergiertechnik

Die Stabilisierung von Nanopartikeln und die Dispergiertechnik spielen eine bedeutende Rolle im Entwicklungsprozess von funktionalen Materialien. Denn Nanopartikel neigen aufgrund der großen Oberfläche zur Bildung von Agglomeraten. Im agglomerierten Zustand sind sie ungeeignet für die Einarbeitung in andere Materialien, machen das Material inhomogen und verursachen Schwachstellen. Aus diesem Grund müssen Nanopartikel in einen agglomeratfreien, stabilen Zustand überführt werden. Im Zentrum für Dispergiertechnik beginnt deshalb die Entwicklung von Dispersionen schon bei der gezielten Funktionalisierung der Füllstoff- bzw. Pigmentoberflächen und nicht erst bei der Dispergierung und Stabilisierung von Partikeln in einer Formulierung eines Matrixpolymers.

Im Rahmen von Entwicklungsprojekten werden im Zentrum für Dispergiertechnik die Auswahl der richtigen Matrixmaterialien wie Bindemittel, Pigmente und Füllstoffe, deren Oberflächenfunktionalisierungen sowie erforderliche Additive, Stabilisatoren und Verarbeitungsprozesse erforscht. So entsteht die Expertise, für jede Anwendung die maßgeschneiderte Dispersion formulieren zu können. Das Fraunhofer IPA bildet im Zentrum die gesamte Prozesskette der Dispergiertechnik von der Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen bis zum Einsatz im industriellen Umfeld ab.

Mit der offiziellen Eröffnung des Zentrums beim Japanese-German-Opening-Symposium im Juli 2022 startete die strategische Zusammenarbeit mit mehreren Kooperationspartnern, darunter Sugino Machine Limited. Das japanische Maschinenbauunternehmen beschäftigt sich mit der Herstellung unterschiedlicher Dispergiereinrichtungen und der Technik der Dispersionsprozesse, verfügt über Fachwissen speziell im Bereich der Düsenstrahldispergiertechnologie und beteiligt sich an der Entwicklung fortschrittlicher Zwischenprodukte von Funktionsmaterialien. Sugino ergänzt als Kooperationspartner die Kompetenzen in der Oberflächentechnik, die bereits im Zentrum für Dispergiertechnik und im Zentrum für Partikeltechnik gebündelt werden.

Dominik Nemeč
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-3668
dominik.nemec@ipa.fraunhofer.de



Zentrum für Partikeltechnik

Im Zentrum für Partikeltechnik bündelt das Fraunhofer IPA jahrzehntelange Erfahrung aus der Oberflächentechnik, Kompetenzen aus der Reinst- und Mikroproduktion sowie der Additiven Produktion. Das Zentrum ist somit in der Lage, von der Grundlagenforschung bis zum konkreten Einsatz in der Industrie die gesamte Prozesskette der Partikeltechnik abzubilden. Die Forschung bezieht sich auf relevante Problemstellungen bei der Herstellung und Verarbeitung von Partikeln und die damit verbundenen Fragen bezüglich des Arbeitsschutzes, der Energie- und Ressourceneffizienz sowie des Umweltschutzes.

Im Mittelpunkt des Zentrums für Partikeltechnik steht der interdisziplinäre Austausch von Herstellern, Anwendern und Forschern. Gemeinsam werden bereits bestehende Techniken verbessert und neue Techniken unter produktionsähnlichen Bedingungen in vorhandenen und neu aufzubauenden Labor- und Technikumseinrichtungen entwickelt. Das Fraunhofer IPA steht den Beteiligten während des gesamten Prozesses als unterstützende Forschungseinrichtung zur Seite.

Markus Cudazzo
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1761
markus.cudazzo@ipa.fraunhofer.de



KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik«

Mit dem KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik«, gegründet von den Fraunhofer-Instituten IPA und IAO, trat die Fraunhofer-Gesellschaft im Oktober 2019 dem Cyber Valley bei und stärkt damit die größte Forschungskoope-
ration Europas auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI).

Das KI-Fortschrittszentrum ist eine zentrale Anlaufstelle für anwendungsorientierte KI-Forschung für Unternehmen in Baden-Württemberg. Es führt Forschungsprojekte durch, die für Produktion, Handel, Logistik, Life Sciences oder den Dienstleistungssektor relevant sind. Es versteht sich als Schnittstelle zwischen Industrie und Grundlagenforschung innerhalb des bestehenden Cyber-Valley-Konsortiums und ermöglicht so den Technologietransfer in die Industrie. Neben Forschungseinrichtungen umfasst das Cyber-Valley-Konsortium auch mehrere Industriepartner.

Zentraler Schwerpunkt ist die direkte Kooperation mit Industrieunternehmen. Machbarkeitsstudien und Projekte zur Entwicklung erster Prototypen von KI- und Robotikanwendungen werden teilweise über das Budget des Fortschrittszentrums finanziert. Um strategische Partnerschaften aufzubauen, haben Industrieunternehmen die Möglichkeit, sogenannte Enterprise Labs zu betreiben und zu finanzieren. In diesen Labs können ein oder mehrere Forscher des KI-Fortschrittszentrums ihre ganze Aufmerksamkeit den spezifischen Fragestellungen des jeweiligen Industrieunternehmens widmen.

Durch Forschungsarbeiten zu Kognitiver Robotik unterstützt das Zentrum Unternehmen dabei, die Potenziale der Service- und Industrierobotik auszuschöpfen. Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung einer menschenzentrierten KI. Durch Themen wie Erklärbarkeit, Zertifizierung, Sicherheit oder Robustheit von KI-Technologien soll Vertrauen und Akzeptanz entstehen.

Prof. Dr.-Ing. Marco Huber
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1960
marco.huber@ipa.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Werner Kraus
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1049
werner.kraus@ipa.fraunhofer.de

Leistungszentrum Mass Personalization

Die Personalisierung von Produkten und Dienstleistungen rückt immer stärker in den Fokus. Das Leistungszentrum Mass Personalization, kurz LZMP, beschäftigt sich daher intensiv mit der Frage, wie Produkte in Losgröße 1 zu moderaten Kosten und dennoch auf den Einzelnen zugeschnitten hergestellt werden können. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Nutzerintegration von Anfang an. Damit umfasst Mass Personalization als Systemansatz wesentliche Ziele von Industrie 4.0. Zum Einsatz kommt Mass Personalization beispielsweise in Bereichen wie der Gesundheit oder der Medizin. So bieten Orthesen, Prothesen oder auch Medikamente ein erhebliches Potenzial zur Personalisierung. Der Vorteil von personalisierten Produkten liegt darin, dass diese generell passfähiger sind und geringere Folgekosten haben und so einen wesentlichen Beitrag für die Nachhaltigkeit von Produkten haben.

Das LZMP bündelt hierzu die branchenübergreifenden Kompetenzen und Expertisen von vier Fraunhofer- (IAO, IBP, IGB, IPA) und zehn Universitätsinstituten (IABP, IAT, IBBS, IEW, IFF, IFSW, IGVP, IMSB, INSPO, ISW) am Standort Stuttgart sowie zahlreichen Industrieunternehmen. Das Leistungszentrum Mass Personalization erforscht interdisziplinär und branchenübergreifend Methoden, Verfahren, Prozesse, Produktionssysteme und Geschäftsmodelle zur Herstellung personalisierter Produkte. Die direkte Anbindung an die Industrie gewährleistet hierbei eine bedarfsorientierte Grundlagen- und Anwendungsfor-
schung und den unmittelbaren Transfer aktueller Forschungsergebnisse in die Praxis.

Hierzu werden im Leistungszentrum Mass Personalization vier wesentliche Themenlinien fokussiert:

- Bauen und Lebensräume
- Gesundheit
- Mobilität und Lebensräume
- Produkte und Produktionssysteme

Die Fokussierung auf die vier Themenlinien soll produzierenden Unternehmen und deren Kunden aus dem Bereich Mass Personalization einen deutlichen Mehrwert in Bezug auf ihre Produkte und Dienstleistungen verschaffen und zu nachhaltigen Wettbewerbsvorteilen führen.

Dr.-Ing. Erwin Groß
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1931
erwin.gross@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Additive Produktion

Das Zentrum für Additive Produktion (ZAP) war von März 2018 bis Dezember 2022 auf die Weiterentwicklung additiver Verfahren (3D-Druck) und deren Implementierung im Industrieumfeld spezialisiert. In Kooperation mit Unternehmen konnte das ZAP innovative Lösungen entlang der gesamten additiven Prozesskette realisieren – vom CAD-Datensatz bis zum fertigen Produkt. Fortgeführt wird die Arbeit des ZAP nun in drittmittelgeförderten Projekten.

Die Arbeit des ZAP fokussierte sich auf vier Themenfelder: »Additive Prozesse«, »Hybride Prozesse«, »Anlagentechnik« und »Industrialisierung«. Im Bereich »Additive Prozesse« hat das Zentrum erforscht, wie die Materialvielfalt weiterentwickelt werden kann. Hierbei lag der Fokus auf polymerbasierten Materialsystemen und Technologien zur Herstellung von Multimaterialstrukturen. Bei dem Themenfeld »Hybride Prozesse« ging es in erster Linie um die Kombination von additiven Prozessen mit konventionellen Fertigungsverfahren. Im Forschungsfeld der »Anlagentechnik« hat sich das Zentrum für Additive Produktion mit der Integration von (AM-)Prozessen in Fertigungsumgebungen beschäftigt. Kern der »Industrialisierung« war die Betrachtung der Gesamtprozessketten von AM-Verfahren im industriellen Umfeld sowie die Entwicklung von Geschäftsmodellen.

Durch die Vernetzung mit weiteren Akteuren wurde das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klima geförderte Forschungsprojekt zur Automobilwirtschaft »DigitAutoFab« akquiriert, an dem neben dem Fraunhofer IPA als Konsortialführer auch das Fraunhofer IAO sowie das Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) und das Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart beteiligt sind.

Oliver Refle
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1867
oliver.refle@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Biointelligente Produktion

Das gemeinsam von Fraunhofer IPA, IGB und dem IBVT der Universität Stuttgart geplante S-TEC Zentrum für Biointelligente Produktion (ZBP) wird mit seiner Forschung die biologische Transformation vorantreiben und mitgestalten. Materialien, Strukturen und Prozesse aus der Natur sollen in der Technik genutzt werden, um so eine nachhaltige Produktion und Lebensweise zu ermöglichen. Die hier entstehende Technologiebasis soll durch eine synergistische Verknüpfung zu Modulen und Systemen nachhaltige biointelligente Produkte und Produktionsverfahren ermöglichen und diese systematisch in die Industrie überführen.

Vier Zukunftsthemenfelder sind dafür vorgesehen:

- Die (Weiter-)Entwicklung automatisierter Ansätze und Verfahren zur genetischen Optimierung von Zellen und Mikroorganismen sowie der Analyse der zugehörigen Produktionsprozesse, um die Zelle als Produktionsorganismus oder als Produkt in der industriellen Biotechnologie und der Medizintechnik zu nutzen
- Der Aufbau und die Weiterentwicklung von Technologieplattformen für biointelligente Waste2X-Systeme: Im Fokus liegt hier die innovative Inwertsetzung biologischer Rest- und Abfallströme, z. B. durch Biowasserstoffproduktion mit anschließender Speicherung und Nutzung von CO₂-Strömen oder Enzym- oder MyCEL-basierter additiver Fertigungsverfahren
- Die Entwicklung prädiktiver, maßgeschneiderter, systemischer Bewertungs- und Modellierungsansätze für die Gewährleistung einer nachhaltigen Ausgestaltung biointelligenter Produkte und Produktionssysteme in der industriellen Praxis
- Die Entwicklung von Transferstrategien und Dienstleistungen für lokale Unternehmen

Das ZBP kooperiert eng mit dem »Kompetenzzentrum Biointelligenz e. V.«. Dort haben sich u. a. die Fraunhofer-Gesellschaft, die Universität Hohenheim, das NMI, Festo und Zeiss zusammengeschlossen, um gemeinsam den Paradigmenwechsel der biologischen Transformation zu gestalten.

Dr.-Ing. Robert Mieke
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1424
robert.mieke@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Cyberphysische Systeme

Das Zentrum für Cyberphysische Systeme (ZCPS) ist ein industrienaher Forschungs- und Entwicklungszentrum für cyberphysische Systeme in Baden-Württemberg. Cyberphysische Systeme (CPS) sind durch die tiefe Integration virtueller und physischer Komponenten in ein gemeinsames System gekennzeichnet. Sie gelten als zentrales Konzept für zukünftige eingebettete und mechatronische Systeme unter anderem in der Produktion sowie dem Energie- und Automobilbereich. Die Forschungsarbeit am ZCPS gilt der Umsetzung der CPS-Konzepte in Technologien, Tools und Produkte.

Forschungsschwerpunkte am ZCPS:

- Vernetzung und Entwicklung von Produktionssystemen, eingebetteten Systemen und Diensten
- Intelligente Sensorik und Aktorik für die Befähigung zukünftiger Produktionssysteme
- Überführung bestehender Produktionen in agile cyberphysische Produktionssysteme auf Basis hybrider Edge-basierter Architekturen
- Innovative Lösungen für Anlagenintegration und Steuerung
- Funktionale Sicherheit autonomer Produktionssysteme
- Daten- und Informationssicherheit in der digitalisierten Produktion
- Konzeption neuartiger Dienstleistungen und Produkte
- Durchgängiges Engineering für den gesamten CPS-Lebenszyklus und Bereitstellung der Toolchain

Joachim Seidelmann
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1804
joachim.seidelmann@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Digitalisierte Batteriezellproduktion

Das Zentrum für Digitalisierte Batteriezellproduktion (ZDB) fokussiert die durchgängige Digitalisierung der Wertschöpfungskette in der Batteriezellproduktion. Sein Forschungsangebot unterstützt die Qualifizierung und Skalierung formflexibler (Lithium-Ionen-) und zukünftiger (Post-Lithium-Ionen-) Batteriezellkonzepte und Fertigungsverfahren. Die Wissenschaftler zielen auf die Steigerung und Stabilisierung der Produktqualität durch Optimierung einzelner Produktionsprozesse, verketteter Produktionslinien sowie der übergeordneten Prozess- und Gebäudeinfrastruktur. Dies soll die Eintrittshürden in eine großskalige industrielle Fertigung von Batteriezellen für industrielle Anwender senken. Zusätzlich hat im ZDB die Wasserstoffforschung stark zugenommen.

Das ZDB hat folgende Forschungsschwerpunkte:

- Digitalisierung der Batteriezellproduktion
- Simulationsgestützte Planung und Auslegung von Fabriken
- Qualitätssteigerung und Fehlerdetektion durch Online-Prozessüberwachung
- Prozessentwicklung und -optimierung für die Elektrodenbeschichtung (nass und trocken)
- Prozessentwicklung und -optimierung für die Zellassemblierung (Kontaktierung und Elektrolytbefüllung)
- Energieeffizienzsteigerung bei Nass- und Trockenbeschichtungsprozessen, bei Formierungsprozessen sowie in der Produktions- und Gebäudeinfrastruktur
- Modularisierung von Produktionslinien und Standardisierung von logistischen und informationstechnischen Schnittstellen
- Materialforschung für Anoden- und Kathodenmaterialien, Separatoren und Elektrolyte
- Labor- und Feldtests zur Evaluierung von Batteriezellen und -modulen in kundenspezifischen Zielanwendungen
- Ressourcenmanagement, Demontage und Recycling von Batteriezellen
- Entwicklung Digitaler Zwillinge in der Elektrolyseur- und Brennstoffzellenproduktion
- Verknüpfung von Fertigungsprozessmodellen und den elektrochemischen Produkteigenschaften
- Konzeptionierung und Modellierung von Brennstoffzellenanwendungen

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

Zentrum für Frugale Produkte und Produktionssysteme

Das Zentrum für Frugale Produkte und Produktionssysteme (ZFP) wird vom Fraunhofer IAO und IPA gemeinschaftlich geleitet und von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik unterstützt. Diese interdisziplinäre Bündelung von Kompetenzen hilft Unternehmen bei der Entwicklung frugaler Produkte, Produktionssystemen, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Das gemeinsame Ziel ist dabei, dass Unternehmen in den Wachstumsmärkten und im europäischen Einstiegs- und Standardsegment erfolgreich sind und ihre Positionen gegenüber Mitbewerbern aus dem Niedrigpreis-Segment verteidigen und ausbauen können.

Die Schwerpunkte des ZFP sind:

- *Frugale Innovationsstrategien:*
Das Zentrum unterstützt beim Aufbau frugaler Innovationsstrategien auf Basis von Foresight-Prozessen mit Zukunftsszenarien und Roadmaps.
- *Entwicklung frugaler Lösungen:*
Das Zentrum bietet methodische und technologische Unterstützung bei der Entwicklung kosteneffizienter und einfach zu nutzender Lösungen. Hierbei wird der Fokus auf die Entwicklung von modularen Produktstrukturen für eine kosteneffiziente Variantenbildung sowie die Eliminierung von ökonomisch unvorteilhaften Produktfunktionen gelegt.
- *Aufbau frugaler Kompetenzen:*
Um frugale Lösungen entwickeln zu können, ist es gerade für klassische High-End-Anbieter entscheidend, ein frugales Mindset aufzubauen.
- *Einbindung digitaler Instrumente:*
Das Zentrum nutzt digitale Instrumente, um bei der anforderungsgerechten Auslegung von Geräten, Maschinen und Anlagen zu begleiten.
- *Umsetzung beispielhafter Applikationsszenarien frugaler Lösungen:*
Das ZFP setzt gezielt beispielhafte Projekte rund um frugale Innovationen mit ausgewählten Unternehmen um, die anderen Firmen als Inspiration und Anleitung für eigene Vorhaben dienen. Die umfangreiche Laborumgebung des ZFP kommt hierbei als Arbeits-, Lern- und Demonstrationsfläche zum Einsatz.

Kevin Klöpfer
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1575
kevin.kloepfer@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Klimaneutrale Produktion und Ganzheitliche Bilanzierung

Das Zentrum für Klimaneutrale Produktion und Ganzheitliche Bilanzierung, kurz ZKP, bietet ein umfangreiches Angebot für Unternehmen in Baden-Württemberg (insb. KMU), um die Transformation zur Klimaneutralität zu meistern und eine Spitzenreiterrolle für Umwelt- und Klimatechnologien einzunehmen.

Forschungsschwerpunkte am ZKP:

- Innovative Lösungen für die Treibhausgasreduktion in Industrieunternehmen
- Effiziente Ansätze für die Erstellung von Nachhaltigkeitsnachweisen auf Unternehmens- und Produktebene wie Corporate Carbon Footprints (CCF), Umweltproduktdeklarationen (EPD), Life Cycle Assessment (LCA) oder Product Carbon Footprints (PCF)
- Digitale Lösungen und Tools für prozessintegrierte Nachhaltigkeit
- Etablierung von zielgerichteten Prozessen zu Sicherstellung von Material Compliance und nachhaltiger Materialbewirtschaftung

Das Zentrum bietet Potenzialeinschätzungen und einen Pool an bewährten Lösungen. Mit verschiedenen Projektformaten wie Quick Checks und Exploring Projects ermöglicht es eine effiziente Zusammenarbeit. Unternehmen können sich in allen fünf Themenschwerpunkten mit individuellen Fragestellungen bewerben, auch auf themenfeldspezifische Quick-Check-Ausschreibungen.

Steffen Kiemel
Stv. Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1436
steffen.kiemel@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Leichtbautechnologien

Das Zentrum für Leichtbautechnologien (ZLB) unterstützt Unternehmen aus dem Maschinen-, Anlagen- und Gerätebau bei der Entwicklung und Umsetzung praxisnaher Leichtbaulösungen.

Hierbei verfolgt das ZLB drei Schwerpunkte:

- Konstruktiver Leichtbau im Maschinen-, Anlagen- und Gerätebau
- Bearbeitungstechnologien im Leichtbau
- Füge-, Trenn- und Recyclingverfahren für Leichtbauwerkstoffe

Das ZLB entwickelt und erforscht sowohl mechanische Bearbeitungsverfahren (u. a. Bohren, Fräsen, Drehen, Sägen) für Leichtbauwerkstoffe, Multi-Materialsysteme und hybride Werkstoffe als auch die notwendigen begleitenden Prozesse wie Kühlung und Schmierung, Spänemanagement oder die prozessbegleitende Qualitätsüberwachung. Ein weiterer Fokus liegt auf der Entwicklung konstruktiver Leichtbaulösungen für Maschinen, Anlagen und Geräte, die durch Gewichtsreduktion letztlich zu einer Senkung der Energiekosten im Betrieb, aber auch im Transport führen. Die Entwicklung erstreckt sich dabei von konstruktiven Konzeptstudien bis hin zur Begleitung der fertigungstechnischen Realisierung. Zudem widmet sich das ZLB der Füge-, Trenn- und Recyclingtechnik, indem Fügetechniken für innovative Werkstoffsysteme und Kombinationen sowie Trenn- und Demontagetechniken für das Recycling entwickelt werden.

Mit unserer Hands-on-Mentalität schaffen wir zusammen mit den Unternehmen Lösungen, die schnell in innovative Produkte und Verfahren überführt werden können und so eine hohe Marktrelevanz besitzen.

Dr.-Ing. Andreas Gebhardt
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1538
andreas.gebhardt@ipa.fraunhofer.de

Zentrum für Ultraeffizienz

Das vom Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg geförderte Zentrum für Ultraeffizienz (ZUE) beabsichtigt, ultraeffiziente Fabriken zu schaffen. Dabei sollen nicht nur negative Effekte einer Produktion minimiert werden. Vielmehr soll die Fabrik einen positiven Beitrag leisten, indem sie eine Symbiose mit dem urbanen Umfeld eingeht.

Mit der Ultraeffizienzfabrik im urbanen Umfeld will das ZUE die Produktion nachhaltiger und effizienter machen. Damit der Maschinen- und Anlagenbau Ansätze der »Green Economy« einhalten kann, untersucht das Fraunhofer IPA gemeinsam mit Partnern aktuell verwendete Technologien, bewertet diese und koppelt sie mit nachhaltigen Technologieinnovationen. Das Ziel hierbei ist, Ressourcen bestmöglich zu nutzen: für eine höhere Nachhaltigkeit bei gleichzeitig geringerer Umweltbelastung und als wichtigen Beitrag auf dem Weg zur Klimaneutralität.

Das ZUE unterstützt Unternehmen dabei, ihre Wertschöpfungsprozesse effektiv und effizient zu gestalten, indem Material, Energie, Personal und Kapital optimal eingesetzt werden. Dadurch werden auch Abfall, Abluft und Abwasser weitestgehend eliminiert. Einige Teillösungen auf dem Weg zur Ultraeffizienzfabrik konnten bereits erfolgreich umgesetzt werden. Darunter ein Ultraeffizienz-Leitstand als digitale Lösung, der Use Cases zu Smart Maintenance, Plant Simulation, intelligente Druckluft, Gleichspannungsfabrik und Additive Fertigung erfolgreich anbindet.

Das ZUE setzt schrittweise die Vision einer symbiotisch-verlustfreien Produktion um und gestaltet damit eine effektive und effiziente Wertschöpfungskette.

Das Konzept der Ultraeffizienz bleibt aber nicht auf die einzelne Fabrik beschränkt. Es wird bereits erfolgreich auf ganze Gewerbegebiete, sogenannte ultraeffiziente Quartiere übertragen. Ziel ist die verlustfreie Produktion im urbanen Umfeld, indem bestehende und potenzielle industrielle sowie infrastrukturelle Symbiose-Beziehungen am Standort identifiziert und genutzt werden.

Dr.-Ing. Markus Kröll
Zentrumsleiter
Telefon +49 711 970-1280
markus.kroell@ipa.fraunhofer.de

Weitere Standorte





Arbeitsgruppe KI-noW – Künstliche Intelligenz für eine nachhaltig optimierte Wertschöpfung, Schweinfurt

Künstliche Intelligenz (KI) für eine nachhaltig optimierte Wertschöpfung, kurz »KI-noW« – unter dieser Überschrift überführt die Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation in Schweinfurt Erkenntnisse und Ergebnisse der angewandten Forschung in die industrielle Praxis.

Ziel ist es, den Unternehmen aufzuzeigen, wie sie durchgängige Szenarien entwickeln können, welchen Nutzen der Einsatz Künstlicher Intelligenz u. a. für das produzierende Gewerbe hat und wie eine Integration entsprechender Anwendungen in den laufenden Betrieb erfolgen kann. Im Zuge der ganzheitlichen Einführung soll gezeigt werden, wie KI, aufbauend auf einer umfassenden, vernetzten Datenbasis, in der modernen Produktion eingesetzt und dem Menschen als mächtiges Werkzeug bereitgestellt werden kann.

Im Zuge der datengetriebenen Prozessoptimierung durch Weiterentwicklung und Implementierung von Industrie-4.0-Schlüsseltechnologien wird der gesamte Prozess von der Datenerfassung, -generierung und -verarbeitung über die KI-gestützte Datenanalyse bis hin zur Bereitstellung und Nutzung der gewinnbringenden Informationen betrachtet, in Demonstratoren vor Ort veranschaulicht und in Projekten umgesetzt.

Die enge Vernetzung mit anderen bayerischen Fraunhofer-Einrichtungen, die überregionale Einbindung in das KI-Netzwerk Bayern sowie die Kooperation auf lokaler Ebene mit der Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS) schafft KI-noW optimale Voraussetzungen für eine Zusammenarbeit mit regionalen Unternehmen.

Christoph Hoffmann
Projektleiter KI-noW
Telefon +49 9721 533264-1
christoph.hoffmann@ipa.fraunhofer.de

EPIC – Centre of Excellence in Production Informatics and Control, Budapest

Innovationen beschleunigen, industrielle Lösungen umsetzen und hochqualifizierte Fachkräfte ausbilden sind drei der übergeordneten Ziele des Wissenszentrums für Produktionsinformatik und -steuerung (EPIC CoE). Damit unterstützt EPIC die Entwicklung eines nachhaltigen und wettbewerbsfähigen europäischen Produktionssystemes.

Eine der Hauptaufgaben des Fraunhofer IPA ist die Koordination von Kapazitäts- und Wissensaufbau/-austausch durch transnationale Workshops und Trainings, an denen Vertreter aller Konsortiumsmitglieder sowie interessierte Studierende teilnehmen.

Die wichtigsten strategischen Ziele von EPIC CoE sind:

- Initiierung, Fokussierung und Beschleunigung der Grundlagenforschung und anwendungsorientierten Entwicklung
- Wissenschaftliche Profilierung und Qualifizierung durch Soft-Skills der Mitarbeitenden und Institutionen, die an sieben ausgewählten Forschungsfeldern aus dem Bereich Industrie 4.0 und cyberphysische Systeme beteiligt sind
- Intensivierung des Technologietransfers und der industriellen Innovationen in Ungarn
- Stärkung der Beziehungen zwischen Industrie und regionaler Infrastruktur wie Universität und Politik
- Stärkung der Kommunikation und des Verständnisses zwischen Öffentlichkeit und Wissenschaft
- Ermöglichung der Teilnahme ungarischer kleiner und mittlerer Unternehmen an Forschungsprojekten

EPIC CoE besteht aus dem SZTAKI CoE, das Kompetenzen in der Grundlagenforschung vertieft, und dem EPIC Innolabs Ltd. Die eigenständige juristische Organisation wurde im Juni 2018 von Konsortialpartnern mit Beteiligung von Fraunhofer in Ungarn gegründet.

Andreas Kluth
Projektleiter Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Telefon +49 711 970-1942
andreas.kluth@ipa.fraunhofer.de



Fraunhofer Austria Research GmbH, Center für Nachhaltige Produktion und Logistik

Das Center für Nachhaltige Produktion und Logistik der Fraunhofer Austria Research GmbH mit den Standorten Wien und Wattens/Tirol entstand 2008 aus der Projektgruppe Wien des Fraunhofer IPA unter der Leitung von Prof. Dr. Wilfried Sihn. Rund 100 Mitarbeitende entwickeln innovative Lösungen in Produktion und Logistik mit dem Schwerpunkt Nachhaltigkeit u. a. in enger Zusammenarbeit mit der TU Wien.

Ziel des Centers ist es, einen Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschaft zu leisten. Hierfür stehen die zwei zentralen Leitthemen »Positive Impact Production« und »Shared Logistics« im Fokus der Center-Aktivitäten. Die Leitthemen werden in den Geschäftsbereichen Fabrikplanung und Produktionsmanagement (FPM), Logistik und Supply Chain Management (LSCM) sowie Arbeitsgestaltung und Digitalisierung (AGD) bearbeitet.

Im Geschäftsbereich AGD stehen die Arbeitsschwerpunkte digitale Assistenzsysteme in der Montage, Mensch-Roboter-Kollaboration sowie digitales Kompetenzmanagement im Fokus. Der Bereich LSCM beschäftigt sich mit datengetriebenen Lösungen in den Bereichen Intralogistik, Lager- und Transportlogistik sowie Materialwirtschaft und Netzwerkplanung. Im Bereich FPM werden vorrangig die Arbeitsschwerpunkte Fabrikplanung, Produktionsplanung und -steuerung sowie Instandhaltung behandelt.

Die Expertise der drei Geschäftsbereiche ist auch am Standort Tirol vertreten, wo sie mit ergänzenden Kompetenzen aus den Bereichen Data Science und KI verknüpft wird.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund
Geschäftsführer Fraunhofer Austria Research GmbH
Telefon +43 1 504 69 06
office@fraunhofer.at

Fraunhofer Innovation Platform for Smart Manufacturing, Shanghai

Die Fraunhofer Innovation Platform for Smart Manufacturing @ SJTU in Shanghai/Lingang ist eine Kooperation zwischen dem Fraunhofer IPA und der Shanghai Jiao Tong University (SJTU). Im Rahmen der Zusammenarbeit werden anwendungsbezogene Lösungen im Bereich der digitalen Transformation in produzierenden Unternehmen wie integriertes Produktionsmanagement, Mensch-Roboter-Kollaboration und Industrie 4.0 erforscht und entwickelt.

Ziel der Zusammenarbeit ist es, für Industriepartner innovative Forschungsprojekte zur digitalen Transformation und Smart Manufacturing im chinesischen Markt umzusetzen. Dies geschieht im Rahmen gemeinsamer Forschungsaktivitäten von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Deutschland und China.

Die Fraunhofer Innovation Platform verfügt dafür über ein 800 qm großes Labor mit modernster Ausstattung und einer umfangreichen Demonstratoren-Umgebung, welche als Forschungs- und Anwendungszentrum zum Thema digitale Transformation der Industrie dient. Industrieunternehmen können es als Testumgebung für eigene und gemeinsame Forschung und Entwicklungen nutzen.

Die Fraunhofer Innovation Platform befindet sich an dem neu gegründeten Standort Lingang, einer der führenden Wissenschafts- und Technologieregionen Chinas, an der Südküste von Shanghai.

Die Fraunhofer Innovation Platform unterstützt sowohl Unternehmen, die schon auf dem chinesischen Markt tätig sind als auch solche, die planen, dort mit innovativen Projektvorhaben zu folgenden Zukunftsthemen aktiv zu werden:

- Smart Factory
- Digitaler Zwilling
- Cyberphysische Wertschöpfungs-systeme
- Digitale Geschäftsmodelle

Joachim Seidelmann
Leiter Fraunhofer Innovation Platform
for Smart Manufacturing
Telefon +49 711 970-1804
joachim.seidelmann@ipa.fraunhofer.de



Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation, Bayreuth

Produktion.Besser.Machen.

Die Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation offeriert in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth wegweisende Leistungen u.a. auf den Feldern additive Innovationen, Datenwertschöpfung, nachhaltige Produktion und Kreislaufwirtschaft:

Innovative Prozesse

Die Industrialisierung der Additiven Fertigung bildet das Leitthema unserer Aktivitäten. Wir leisten Forschungs- und Entwicklungsarbeit sowie Wissens- und Technologietransfer, damit Sie die Potenziale der Additiven Fertigung optimal nutzen können. Dies reicht von der Durchführung von Potenzialanalysen und Bauteiloptimierungen über spezifische Entwicklungen auf Prozess- und Materialebene bis hin zur nachhaltigen Implementierung der Prozesse in Produktion und Management.

Intelligente Wertschöpfungsketten

Mit innovativen Lösungen, methodischer Exzellenz und Werkzeugen der Digitalisierung unterstützen wir Unternehmen insbesondere im Kontext der Produktion. Mit Data Analytics, Prozess- und IoT-Kompetenz optimieren und digitalisieren wir die Produktion und tragen so zur digitalen Transformation der Wertschöpfung bei. Wir unterstützen Sie gerne von der Konzeption bis hin zur Umsetzung.

Effiziente Wertschöpfungssysteme

Die ganzheitliche und nachhaltige Gestaltung von effizienten Wertschöpfungssystemen ist von zentraler Bedeutung für produzierende Unternehmen sowohl in der Neuteile- als auch in der Austauschteileproduktion (auch Refabrikation bzw. Remanufacturing). Mit innovativen, methodenbasierten Ansätzen steigern wir die Nachhaltigkeit, Produktivität, Flexibilität und Liefertreue und zeigen dabei Wege auf, Durchlaufzeiten, Bestände und Kosten zu optimieren.

Prof. Dr.-Ing. Frank Döpfer
Leiter Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation
Telefon +49 921 785 16-100
frank.doepper@ipa.fraunhofer.de

Klinische Gesundheitstechnologien, Mannheim

Die Abteilung Klinische Gesundheitstechnologien entwickelt und erprobt seit 2011 in enger Kooperation mit der Universitätsmedizin Mannheim Lösungen für die Klinik der Zukunft. Ein Schwerpunkt liegt dabei in der systematischen Digitalisierung von Prozessen und der Vernetzung in der Klinik (Connected Healthcare). Ein weiterer Fokus liegt auf den intelligenten Assistenzsystemen und der zugehörigen Messtechnik.

Das Ziel ist dabei eine effiziente Unterstützung von medizinischem Personal bei organisatorischen und fachlichen Tätigkeiten. Hierfür betreibt die Abteilung mehrere Reallabors, unter anderem einen experimentellen Hybrid-OP mit 5G-Netzwerk-ausstattung und ein Entwicklungszentrum für digitale Patientenaufnahmesysteme, und kooperiert mit der Klinik im Bereich der stationären Betreuung.

Die direkte Nähe zur klinischen Anwendung bietet weiterhin die Möglichkeit, Verfahren zur schnellen Vorbereitung und Analyse von Gewebeproben zu entwickeln. Hierfür betreibt die Abteilung zwei Biolabors mit einem Schwerpunkt im Bereich der Einzelzellerzeugung und Analyse mit neuartigen automatisierten Analyseverfahren.

Das stark interdisziplinäre Team bietet sowohl die systematische Erprobung und Vernetzung von Technologien in realen Anwendungssituationen als auch eigene Technologien im Bereich der Messtechnik, Probenvorbereitung, Analyse und Automatisierung an.

Dr.-Ing. Jens Langejürgen
Abteilungsleiter Klinische Gesundheitstechnologien
Telefon +49 621 17 207-187
jens.langejuergen@ipa.fraunhofer.de



Reutlinger Zentrum Industrie 4.0, Reutlingen

Das Reutlinger Zentrum Industrie 4.0 (RZI 4.0) ist ein Forschungs- und Transferzentrum für den Mittelstand in Baden-Württemberg. Es entwickelt Industrie-4.0-Konzepte und setzt Digitalisierung zusammen mit KMU um. Das RZI 4.0 kooperiert mit der ESB Business School der Hochschule Reutlingen und wird seit 2016 innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft als Außenstelle des Fraunhofer IPA geführt.

Aufgaben des RZI 4.0 liegen vor allem in folgenden Themenbereichen:

- Digitale Transformation und Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
- Smarte vernetzte Produktion und Logistik
- Industrie-4.0-Technologien
- Wertschöpfungsnetzwerke

Das RZI 4.0 greift auf die Forschungsinfrastruktur und das Know-how seiner Partner zurück. Dabei dient die Forschungs- und Entwicklungsumgebung »Werk150« der Hochschule Reutlingen als exemplarisches Produktionsunternehmen mit digitalem Abbild. Mit einer virtuellen dreidimensionalen Entwicklungsumgebung, additiven Fertigungsverfahren, modularen Montagesystemen, innovativer Fördertechnik, kollaborativen Robotern und visuellen Assistenzsystemen sowie modernsten Informations- und Kommunikationstechnologien können wissenschaftliche wie auch industrielle Aufgabenstellungen erforscht, gelöst und getestet werden. So ist es möglich, Industrie-4.0-Konzepte in Form von Demonstratoren aufzubauen, zu erproben und anschließend in Unternehmen zur Anwendung zu bringen. Das Werk150 ist Digital Innovation Hub der Europäischen Union und Testumgebung für 5G-Campusnetze des Landes Baden-Württemberg. Im Netzwerk AI-MATTERS der Europäischen Union, bestehend aus 25 Einrichtungen aus acht EU-Ländern, ist das Werk150 »Testing and Experimentation Facility« (TEF) für KI in der Produktion und bietet Beratungs- und Entwicklungsdienstleistungen rund um den Einsatz von KI-Technologien an.



Prof. Dr. techn. Daniel Palm
Leiter Reutlinger Zentrum Industrie 4.0
Telefon +49 7121 271-3105
daniel.palm@ipa.fraunhofer.de



Lehre



Das Fraunhofer IPA vermittelt als anwendungsorientiertes Forschungsinstitut das in den Projekten gewonnene Wissen an unterschiedliche Zielgruppen weiter. Nicht nur unsere Institutsleiter, die jeweils ein eigenes Universitätsinstitut leiten, sind als

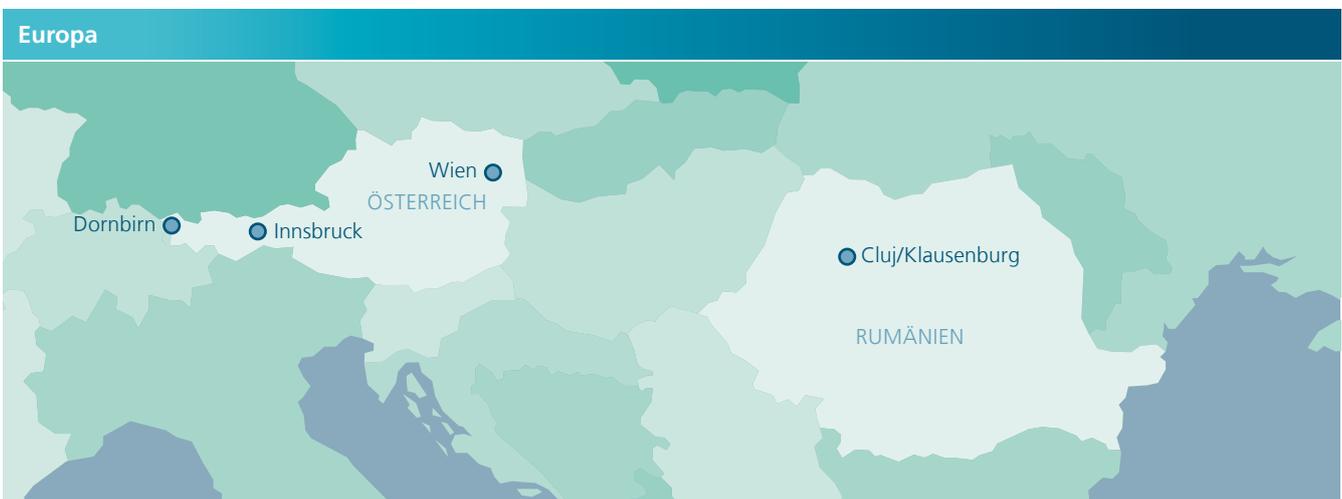
Dozenten tätig, auch zahlreiche wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter lehren an unterschiedlichen Hochschulen des Landes (und darüber hinaus) und tragen so zum Renommee und Erfolg des Fraunhofer IPA bei.

Institutsleiter/Lehrstuhlinhaber/Fachgebietsleiter an Universitäten	
Prof. Thomas Bauernhansl	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Prof. Alexander Sauer	Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart
Prof. Oliver Röhrle	Institute for Modelling and Simulation of Biomechanical Systems, University of Stuttgart
Prof. Marco Huber	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Prof. Frank Döpfer	Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth
Prof. Franz Konstantin Fuss	Lehrstuhl für Biomechanik der Universität Bayreuth
Prof. Kai Peter Birke	Institut für Photovoltaik (IPV) der Universität Stuttgart

Dauerhafte Professuren an weiteren Hochschulen	
Prof. Andreas Bildstein	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Villingen-Schwenningen
Prof. Dominik Lucke	Hochschule Reutlingen
Prof. Jörg Mandel	FOM Hochschule für Oekonomie & Management Stuttgart
Prof. Daniel Palm	Hochschule Reutlingen (als Lehrbeauftragter: Technische Universität Wien)

Lehrbeauftragte und Referenten an Universitäten, Hochschulen und Akademien	
Andreas Aichele	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart
Daniel Bargmann	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Moritz Barten	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Joshua Beck	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Marc-André Berchtold	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Richard Bormann	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart; Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart
Dr. Stefan Büttner	Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart
Urban Daub	IB Hochschule für Gesundheit und Soziales – Studienzentrum Stuttgart; Medizinische Akademie Stuttgart
Thomas Dobosz	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Dr. Klaus Erlach	Fachhochschule Vorarlberg
Dr. Leonardo Gizzi	Institute for Modelling and Simulation of Biomechanical Systems der Universität Stuttgart
Till Gramberg	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Dr. Michael Hilt	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Henry Himmelstoß	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart
Christoph Hoffmann	Lehrstuhl Umweltgerechte Produktion der Universität Bayreuth

Lehrbeauftragte und Referenten an Universitäten, Hochschulen und Akademien	
Mirjam Holl	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Johannes Horsch	Institut für Neurobiochemie und Institut für Allgemeinmedizin der Medizinischen Universität Innsbruck
Dr. Ahmad Issa	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart
Susann Kärcher	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Dr. Werner Kraus	Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart
Jonas Krebs	Dept. of Industrial Engineering (WIW) der Hochschule Albstadt-Sigmaringen
Christoph Leiboldt	Hochschule Albstadt-Sigmaringen
Michael Lickefett	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Oliver Manuß	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart
Dr. Martin Metzner	Chulalongkorn Universität Bangkok; Technische Universität Ilmenau; Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Dr. Robert Mieke	Hochschule Pforzheim; Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart; Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Tobias Heinrich Nagel	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Hans Reinert	Hochschule Ravensburg-Weingarten
Brandon Sai	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart; Hochschule Aalen
Daniel Schel	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Stefan Scheuermann	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Mannheim
Dr. Alexander Schloske	EBS Universität für Wirtschaft und Recht, Wiesbaden und Oestrich-Winkel; FOM Hochschule für Oekonomie & Management Stuttgart; Technische Universität Wien; Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Dr. Urs Schneider	Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart
Carolin Schulz	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Prof. Oliver Schwarz	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart; Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart; Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme der Universität Stuttgart
Christian Seidler	Hochschule Albstadt-Sigmaringen
Prof. Onorific Jörg Siegert	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart; Technische Universität Cluj-Napoca
Sascha Stribick	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Dr. Paul Thieme	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart
Dr. Oliver Tiedje	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Roman Ungern-Sternberg	Hochschule Albstadt-Sigmaringen
Philipp Wagner	Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Dr. Matthias Wanner	Technische Akademie Esslingen
Dr.-Ing. habil. Hans-Hermann Wiendahl	Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Stuttgart; Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart



Impressum

Herausgeber

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e. V.
Hansastraße 27c | 80686 München

Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer
Dr. rer. nat. Michael Hilt (stellv. Institutsleiter)

Leitung Marketing und Kommunikation

Fred Nemitz

Redaktion

Fred Nemitz, Dr. Karin Röhrich, Dr. Birgit Spaeth,
Jörg-Dieter Walz (Chefredaktion)

Bestellservice

Telefon +49 711 970-1607
marketing@ipa.fraunhofer.de

Layout

Michael Fuchs

Druck

Fraunhofer-Druckerei
Stuttgart

Titelbild:

*Beim AI Picking kann das Robotersystem dank maschineller
Lernverfahren verhakete Bauteile erkennen und diese so greifen,
dass sich die Bauteile enthaken.*

Bildnachweise

Alle Abbildungen, die im Folgenden nicht aufgeführt sind:
Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Rainer Bez

Seite 9 unten: Quelle: Fraunhofer IPA,
Foto: alexa kirsch fotografie

Seite 14, 2. Bild von oben: Quelle: Ministerium für Wirtschaft,
Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg

Seite 14, unten: Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Christian Bay

Seite 15, 2. Bild von oben: Quelle: Fraunhofer IPA,
Foto: Werner Kraus

Seite 15, 2. Bild von unten: Quelle: Fraunhofer,
Foto: Ludmilla Parsyak Photography

Seite 15, unten: Quelle: Fraunhofer,
Foto: Ludmilla Parsyak Photography

Seite 16, oben links: Quelle: UNIPRENEURS,
Foto: Jürgen Morgenroth

Seite 16, unten: Quelle: AiF e.V.

Seite 31, links: Quelle: Adobe Stock/Gunnar Assmy

Seite 32, links: Quelle: Adobe Stock/zapp2photo

Seite 33, rechts: Quelle: Shutterstock/Christian Langreck

Seite 35, links: Quelle: Vesela Stanoeva/KI generated

Seite 35, rechts: Quelle: Adobe Stock/woravut

Seite 36, links: Quelle: Adobe Stock/kbarzycki

Seite 36, rechts: Quelle: Fraunhofer IPA

Seite 38, links: Quelle: Adobe Stock/tippapatt

Seite 47, rechts: Quelle: Adobe Stock/visoot

Seite 48, links: Quelle: Fraunhofer IPA/Mark Becker

Seite 54: Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Werner Huthmacher,
Berlin

Seite 55, links: Quelle: Fraunhofer IPA

Seite 55, rechts: Quelle: Adobe Stock/donfiore

Seite 56, links: Quelle: Adobe Stock/Sved Oliver

Seite 56, rechts: Quelle: Fraunhofer IPA,
Foto: Nadine Schlotterer

Seite 57, rechts: Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Vanessa Stachel

Seite 58, links: Quelle: Hochschule Reutlingen

Seite 58/59: Quelle: Hochschule Reutlingen

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung IPA

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

www.ipa.fraunhofer.de