

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung IPA

---

Jahresbericht 2021



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



**Jahresbericht 2021**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Editorial</b> .....	6	<i>Intelligente Automatisierung und Reinheitstechnik</i>	
<b>Instituts- und Bereichsleitung</b> .....	8	Bild- und Signalverarbeitung .....	42
<b>Produktionsforschung in Stuttgart</b> .....	10	Cyber Cognitive Intelligence .....	43
<b>Das Institut in Zahlen</b> .....	11	Reinst- und Mikroproduktion .....	43
<b>Organisationsstruktur</b> .....	12	Roboter- und Assistenzsysteme .....	44
<b>Highlights</b> .....	14	<i>Medizin- und Bioproduktionstechnik</i>	
<b>Studien und Auszeichnungen</b> .....	16	Biomechatronische Systeme .....	44
<b>Kuratorium</b> .....	18	Laborautomatisierung und Bioproduktionstechnik .....	45
<b>Batterieproduktion am Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion</b> .....	20	<i>Oberflächen- und Materialtechnik</i>	
<b>Geschäftsfelder</b>		Beschichtungssystem- und Lackiertechnik .....	45
Automotive .....	35	Funktionale Materialien .....	46
Elektronik und Mikrosystemtechnik .....	35	Galvanotechnik .....	46
Energie .....	36	<i>Fertigungs- und Prozesstechnik</i>	
Maschinen- und Anlagenbau .....	36	Additive Fertigung .....	47
Medizin- und Biotechnik .....	37	Leichtbautechnologien .....	47
Prozessindustrie .....	37	<b>Industry on Campus</b>	
<b>Abteilungen</b>		ARENA2036 .....	49
<i>Ressourceneffiziente Produktion</i>		Future Work Lab .....	49
Biointelligente Produktion .....	39	Lab elektronische Funktionsintegration in additiv gefertigte Bauteile .....	50
Digitalisierte Batteriezellenproduktion .....	39	Lab Flexible Blechfertigung .....	50
Industrielle Energiesysteme .....	40	nICLAS Innovation Center für Laborautomatisierung .....	51
Nachhaltige Produktion und Qualität .....	40	Transferzentrum 5G4KMU .....	51
<i>Vernetzte Produktion</i>		Zentrum für Dispergiertechnik .....	52
Digitale Werkzeuge in der Produktion .....	41	Zentrum für Partikeltechnik .....	52
Fabrikplanung und Produktionsmanagement .....	41		
Unternehmensstrategie und -entwicklung .....	42		

## **S-TEC – Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus**

KI-Fortschrittszentrum Lernende Systeme und Kognitive Robotik .....	53
Leistungszentrum Mass Personalization .....	53
Zentrum für Additive Produktion .....	54
Zentrum für Biointelligente Produktion .....	54
Zentrum für Cyber Cognitive Intelligence .....	55
Zentrum für Cyberphysische Systeme .....	55
Zentrum für Digitalisierte Batteriezellen- produktion .....	56
Zentrum für Frugale Produkte und Produktions- systeme .....	56
Zentrum für Leichtbautechnologien .....	57
Zentrum für Ultraeffizienz .....	57

## **Weitere Standorte**

Arbeitsgruppe Künstliche Intelligenz für eine nachhaltig optimierte Wertschöpfung .....	59
EPIC – Centre of Excellence in Production Informatics and Control .....	59
Fraunhofer Austria Research GmbH – Center für nachhaltige Produktion und Logistik .....	60
Fraunhofer Project Center for Smart Manufacturing .....	60
Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation .....	61
Klinische Gesundheitstechnologien .....	61
Reutlinger Zentrum Industrie 4.0 .....	62

## **Lehre, Aus- und Weiterbildung**

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart .....	65
Institut für Energieeffizienz in der Produktion der Universität Stuttgart .....	65

<b>Impressum</b> .....	<b>66</b>
------------------------	-----------



# Editorial

---

## **Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Freundinnen und Freunde des IPA,**

das Jahr 2021 war ein weiteres Mal geprägt von viel Homeoffice, wenig Reisen und Kontakten, aber dennoch einer enormen Effektivität. Wir sind abermals gewachsen, personell und budgetär. Die einzelnen IPA-Teams haben in sogenannten »Chartas« fixiert, wie das Arbeiten künftig für sie aussehen soll. Das bedeutet, dass viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auch weiterhin und dauerhaft nicht vor Ort arbeiten werden, sondern, losgelöst vom Institutscampus, irgendwo in Deutschland. Ein innovativer Ansatz, um den uns viele beneiden, geboren aus den guten Erfahrungen, die wir in den letzten beiden Jahren gemacht haben.

»Kognitive Robotik« im KI-Fortschrittszentrum, die zweite Lernreise Industrie 4.0, die Eröffnung des Zentrums für Digitalisierte Batteriezellenproduktion und zehn Jahre »Klinische Gesundheitstechnologien« sind einige der Highlights, über die in diesem Jahresbericht ausführlicher berichtet wird. Daneben finden Sie wie immer in aller Kürze aktuelle Zahlen, Daten und Fakten des IPA.

Am 27. September 2021 hat die baden-württembergische Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut wieder einmal den Spaten für den ersten Stich zu einem IPA-Neubau geführt. Er soll einer radikal nutzerorientierten Wertschöpfung Raum bieten. Mit dem Gebäude für »Personalisierte Produktion« haben unsere Erweiterungsaktivitäten einen


neuen Höhepunkt erreicht. Wir freuen uns schon jetzt darauf, wenn der Bau mit Leben erfüllt sein wird. Die Zusammenarbeit vor Ort wird auch bei uns nicht entfallen, dazu ist der menschliche Umgang viel zu wertvoll. Außerdem erfordern Labors und Versuchsfelder nach wie vor die Anwesenheit unserer kompetenten Mitarbeitenden.

Für 2022 wünschen wir Ihnen und uns viele gemeinsame interessante Projekte und deren gutes Gelingen.

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



**Dr.-Ing. Marco Schneider**  
Bereichsleiter Fertigungs- und Prozesstechnik

---

Telefon +49 711 970-1535  
marco.schneider@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 Leuchtturmforschung, 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 Produktion, »cybercognitive Intelligence«, cyberphysische Systeme, digitalisierte Batteriezellenproduktion 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 €)<sup>1</sup>

	2017	2018	2019	2020	2021
Haushalt gesamt	67	74	76	74	82
Betriebshaushalt	63	68	72	70 <sup>2</sup>	77 <sup>2</sup>
Investitionshaushalt	4	6	4	4	5
Wirtschaftserträge	24	28	29	21	23

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

<sup>2</sup> Angepasste Betriebshaushalte 2020 und 2021: jeweils erhöht um kostenentlastende interne Leistungsverrechnungen i. H. v. jeweils rd. € 2 Mio mit IPA-Wertschöpfung

## Anzahl der Mitarbeitenden

Fraunhofer IPA (ohne Austria und EPIC)	636
Fraunhofer IPA, Wissenschaftliche Hilfskräfte (ohne Austria und EPIC)	343
Fraunhofer Austria Research GmbH   Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement	94
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)	31
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF)	60

Stand 31.12.2021

## Weitere Kennzahlen

Erteilte Patente	24 (5 in Deutschland, 19 international)
Abgeschlossene Lizenzverträge	11
Eingetragene Ausgründungen (GmbHs)	1
Start-ups im Company-Builder AHEAD	9
Dissertationen	16
Veröffentlichungen	870

# Organisationsstruktur



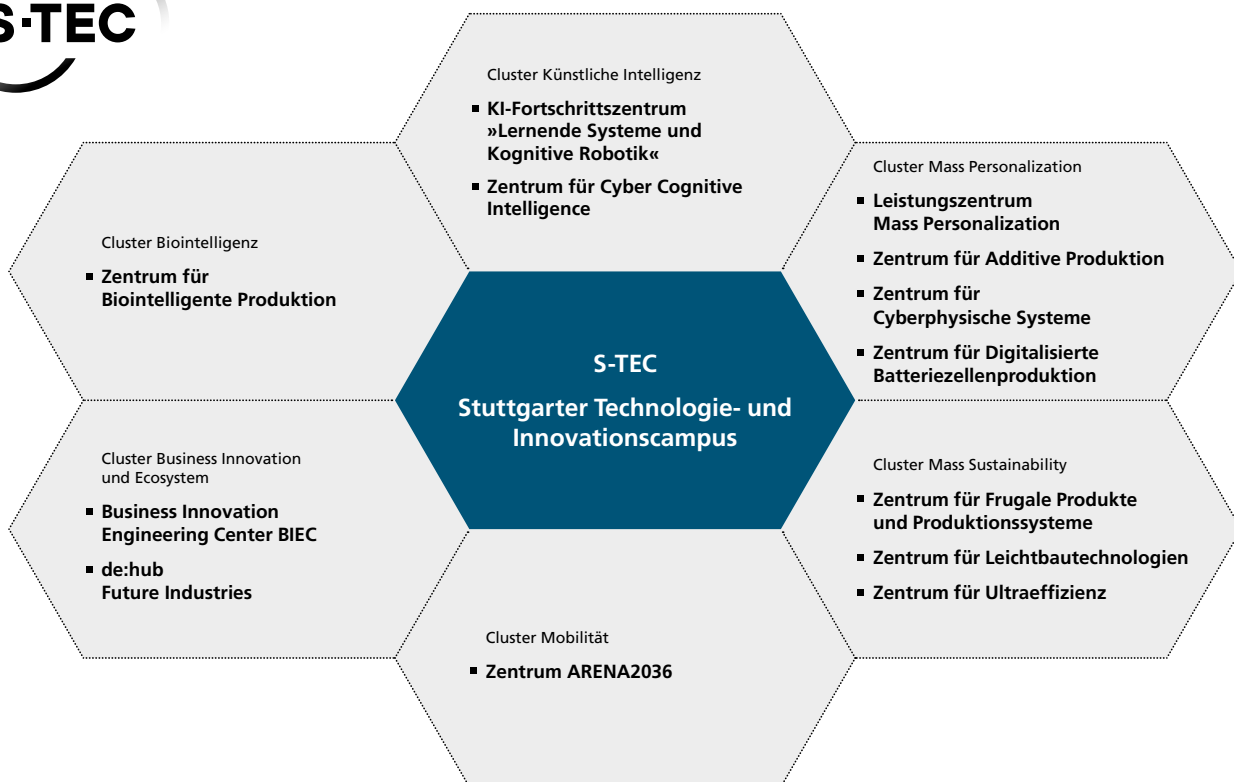
## Fraunhofer IPA Stuttgart

- **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: April 2022

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



## Zehn Jahre »Klinische Gesundheitstechnologien«

**2021** | Glückwunsch zum zehnjährigen Jubiläum! Aus der ehemaligen »Projektgruppe für Automatisierung in der Medizin und Biotechnologie (PAMB)« ist nach zehn Jahren »Klinische Gesundheitstechnologien« des Fraunhofer IPA, Mannheim, geworden. Die Umbenennung drückt aus, wie sich der Fokus des 20-köpfigen interdisziplinären Teams von Forschenden in dieser Zeit verschoben hat: weg von der reinen Laborautomatisierung

hin zu einer sehr engen Zusammenarbeit mit Ärztinnen und Ärzten direkt in der Klinik. Die Außenstelle wird seit Juli von Dr. Jens Langejürgen geleitet. Die Abteilung hat ihre Forschung und Entwicklung auf drei Schwerpunktthemen ausgerichtet: Intelligente OP-Assistenzsysteme, Patient Data Collection and Analysis und Connected Healthcare. Als weiteres Forschungsthema wird die Einzelzellerzeugung und Verwertung vorangetrieben.

Weitere Informationen: <https://gesundheitstechnologien.ipa.fraunhofer.de>



## »Kognitive Robotik« erweitert das KI-Fortschrittszentrums »Lernende Systeme«

**25. Februar** | Das KI-Fortschrittszentrum des Fraunhofer IAO sowie des Fraunhofer IPA unterstützt als Teil des Cyber Valley Firmen dabei, die wirtschaftlichen Chancen von KI für sich zu nutzen. Im Rahmen des virtuellen S-TEC-Spitzen Treffens »KI – Made im Ländle« hat Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut die weitere Förderung des KI-Fortschrittszentrums mit insgesamt 23 Mio € bekannt gegeben. Unter dem neuen Namen

KI-Fortschrittszentrum »Lernende Systeme und Kognitive Robotik« unterstützt es Unternehmen auch dabei, die Potenziale der Service- und Industrierobotik auszuschöpfen. Im Zentrum entstehen Technologieentwicklungen aus vier Forschungsfeldern: Mensch-Maschine-Interaktion, Cyberphysische Robotersysteme, Vernetzte Robotik sowie Wahrnehmung und Interaktion.



## 2. Lernreise Industrie 4.0 live: Wissenstransfer für Praktiker auch virtuell ein Hit

**18. Mai** | Um Unternehmen bei der Umsetzung der Digitalen Transformation zu unterstützen, bietet das Fraunhofer IPA gemeinsam mit der Robert Bosch GmbH und der macils. management-centrum gmbh die Lernreise »Industrie 4.0 live« an. Die zweite Auflage startete Mitte 2018 und endete im Sommer 2021. Aufgrund der Corona-Pandemie wurde ein Teil der insgesamt 15

Management-Sitzungen und 7 Transfer-Workshops mit Firmen aus Deutschland, Österreich, Belgien und Slowenien von Präsenz auf virtuell umgestellt. Dem intensiven Austausch zwischen den Unternehmen hat dies keinen Abbruch getan. Am 18. und 19. Mai präsentierten mehr als 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IPA im Live-Stream ihre aktuellen Forschungsprojekte.

## Eröffnung des Zentrums für Digitalisierte Batteriezellenproduktion (ZDB)

**20. September** | »Mit dem Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion wurde im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW ein in Deutschland einmaliges Forschungszentrum aufgebaut. Dieses leistet einen maßgeblichen Beitrag, damit Wissenschaft und Wirtschaft im Land weitere Entwicklungen vorantreiben können. Wir müssen unser führendes Know-how im Bereich Industrie 4.0 nutzen, um uns auch bei diesem so wichtigen Zukunftsbereich in eine gute Position zu bringen«, betonte

Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut bei der Eröffnung. Im ZDB arbeiten Forscherinnen und Forscher zusammen mit dem Batteriehersteller VARTA daran, die industrielle Produktion von Batteriezellen soweit zu optimieren, dass deutsche und europäische Hersteller im Wettbewerb mit Produzenten aus Asien mithalten können. In den vergangenen knapp drei Jahren wurde das ZDB in enger Zusammenarbeit mit der VARTA AG auf dem Fraunhofer-Campus in Stuttgart aufgebaut. (s. S. 20–33)



## Spatenstich Bauteil V »Personalisierte Produktion«: Neubau für eine radikal nutzerorientierte Wertschöpfung

**27. September** | In gesättigten Märkten werden die Individualisierung und Personalisierung von Produkten weiter an Bedeutung zunehmen. Unternehmen stehen vor der Herausforderung, diese Produkte mit neuen Technologien und Prozessen wirtschaftlich zu produzieren. Mit dem Bauvorhaben ermöglichen die Landesregierung Baden-Württemberg, das Bundesministerium für Bildung und Forschung und Fraunhofer den Ausbau der Forschung des Fraunhofer IPA auf diesem

Themenfeld. Drei Forschungszentren und ein Tagungsbereich werden auf dem Birkhof-Areal in Stuttgart-Vaihingen im neuen Gebäude versammelt. Im Zentrum für Cyber Cognitive Intelligence (CCI), im Zentrum für Cyberphysische Systeme (ZCPS) und im Zentrum für Additive Produktion (ZAP) werden die Schlüsselkompetenzen der Personalisierten Produktion gemeinsam mit der Industrie erforscht und umgesetzt.



## EXOWORKATHLON® 2021

**5. bis 7. Oktober** | Exoskelette sind Stützkonstruktionen für Arme, Beine und Rumpf, die über der Arbeitskleidung getragen werden. Um wissenschaftlich zu evaluieren, inwieweit diese die Muskel- und Skelettbelastung verringern und die Leistungsfähigkeit erhöhen, hat das Fraunhofer IPA zusammen mit der Universität Stuttgart ein Live-Forschungsevent organisiert: Beim

EXOWORKATHLON®, der zeitgleich mit der WearRAcon-Konferenz in Kooperation mit der Wearable Robotics Association stattfand, stellten sich mehrere Dutzend Auszubildende zur Verfügung: An vier Teststationen schweißten, schraubten und lackierten die Probanden unter medizinischer Aufsicht und trugen Lasten. Im Einsatz waren dabei sechs Exoskelette verschiedener Bauart.



# Studien und Auszeichnungen (Auswahl)



Die Studienreihe »Lernende Systeme« des KI-Fortschrittszentrums gibt Einblick in die Potenziale und die praktischen Einsatzmöglichkeiten von KI. Dabei werden übergreifende Themen wie Zuverlässigkeit, Erklärbarkeit (xAI), cloudbasierte Plattformen, Technologien und Einführungsstrategien diskutiert. Zudem werden einzelne Anwendungsbereiche in der Wissensarbeit, Bauwirtschaft, Produktion und dem Kundenservice im Detail beleuchtet.

Folgende Studien sind unter Mitarbeit des Fraunhofer IPA entstanden:

**Cloudbasierte KI-Plattformen** – Chancen und Grenzen von Diensten für »Machine-Learning-as-a-Service«

**Zuverlässige KI** – KI in sicherheitskritischen industriellen Anwendungen einsetzen

**Erklärbare KI in der Praxis** – Anwendungsorientierte Evaluation von xAI-Verfahren

Download: [www.ki-fortschrittszentrum.de/de/studien.html](http://www.ki-fortschrittszentrum.de/de/studien.html)



Digital, lean und menschenzentriert: Zehn Richtlinien für die Gestaltung zukunftsfähiger Produktionssysteme haben Wissenschaftler des Fraunhofer IPA in der Studie »**Ganzheitliche Produktionssysteme 4.0**« entworfen. Ihre praktischen Anforderungen an die Gestaltung von Methoden und Werkzeugen bieten einen konkreten Handlungsrahmen für Manager und Fabrikbetreiber.

Download: [www.ipa.fraunhofer.de/GPSStudie](http://www.ipa.fraunhofer.de/GPSStudie)



Die Studie »**INFORM**« des Fraunhofer IPA zeigt, warum viele kleine und mittelständische Unternehmen besonders unter der Corona-Krise gelitten haben. Eine Reihe von Maßnahmen kann helfen, künftig die Resilienz zu steigern. Gefördert wurde die Studie durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg.

Download: [www.ipa.fraunhofer.de/inform](http://www.ipa.fraunhofer.de/inform)



## Forschungszentrum für H2BlackForest

Gemeinsam mit dem Campus Schwarzwald haben das IFF und das EEP der Universität Stuttgart und das Fraunhofer IPA das Forschungszentrum für biointelligente Wasserstoff-Kreislaufwirtschaft im Rahmen von RegioWIN 2030 beantragt – und am 26. April den Zuschlag bekommen. H2BlackForest wurde von drei Ministerien prämiert und ist eines der drei Leuchtturmprojekte der Region Nordschwarzwald.



## Fraunhofer-Preis für Forscherteam aus dem FEP, IPA und IZI

Ein interdisziplinäres Forscherteam der Fraunhofer-Institute FEP, IPA und IZI wurde mit dem Fraunhofer-Preis »Technik für den Menschen und seine Umwelt« geehrt. Auf der Fraunhofer-Jahrestagung am 5. Mai 2021 nahmen **Martin Thoma** und Gewinner der anderen Institute, stellvertretend für ihre Teams, den mit 50 000 Euro dotierten Preis entgegen. Die Jury betonte insbesondere »die einfache und effiziente Methode, die für die Impfstoffwirkung wichtigen Strukturen weitgehend zu erhalten und auf sonst notwendige chemische Zusätze vollständig zu verzichten«. Mit dem neuen Verfahren zur Herstellung inaktiver »Tot-Impfstoffe« lassen sich Vakzine künftig nicht nur schneller, sondern auch umweltfreundlicher, effizienter und kostengünstiger herstellen als bisher. Die Technologie wurde bereits an ein Unternehmen auslizenziert, das nun die Entwicklungen in Zusammenarbeit mit Fraunhofer für die Serienüberführung übernimmt und zukünftig die Produktionsanlagen vertreiben wird.



## Ausgezeichnet: KI-Anwendungen für den baden-württembergischen Mittelstand

Gleich drei Mal war das Fraunhofer IPA an Projekten beteiligt, die beim »KI-Innovationswettbewerb« des Landes Baden-Württemberg gewonnen haben. Ziel des Wettbewerbs und der Projekte war es, technologische Hürden bei der Kommerzialisierung von KI zu überwinden und deren Methoden in die Anwendung zu bringen. Entsprechend erarbeiteten die Projektpartner bis zum Ende des Jahres 2021 KI-basierte Anwendungen, die die Themen Prozessüberwachung, Maschinenbedienung und Getränke Logistik adressierten:



- »**Luka-Beverage** – Mobiler Handhabungsassistent für die Getränke Logistik«, **Richard Bormann**
- »**ViSKI** – Virtuelle Sensorik für smarte Prozessüberwachung am Beispiel der Holzspannung«, **Simon Kleinhenz**
- »**SLEM** – Selbstlernende und selbsterklärende Maschine zur Unterstützung und einfachen Automatisierung der Maschinenbedienung«, **Christian Jauch**

## Außerdem

Mit »Lorbeeren für die Innovation 2020« ist Anfang Januar 2021 das CORNET-Projekt »Eine neue Generation von Zinkprimern mit verbesserten Korrosionsschutz-, Einsatz- und ökologischen Eigenschaften« im »Wettbewerb des Stanislaw Staszic für die besten innovativen Produkte« von der Federacja Stowarzyszen Naukowo-Technicznych Naczelna Organizacja Techniczna (Polnischer Verband der Ingenieurverbände) geehrt worden.

Die mobile Lernwelt »linc« im Future Work Lab hat am 23. Juni 2021 auf der Fachmesse LEARNTEC xChange den Innovationspreis für digitale Bildung »delina« erhalten.

# Kuratorium

---



## **Vorsitzender des Kuratoriums**

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber**  
Ehem. Daimler AG  
Vorstand Konzernforschung  
Mercedes-Benz Cars Entwicklung



## **Stellv. Vorsitzender des Kuratoriums**

**Dr.-Ing. Jürgen Geißinger**  
JMG Business Consulting  
Geschäftsführer



**Ulrich Dietz**  
GFT Technologies SE  
Chairman of the Board



**Dr.-Ing. e. h. Peter Drexel**  
Ehem. Siemens Dematic AG  
Mitglied des Vorstands



**Prof. Dr.-Ing. Heinrich Flegel**  
Ehem. Daimler AG  
Leiter Forschung Produktionstechnik



**Dr.-Ing. Stefan Hartung**  
Robert Bosch GmbH  
Vorsitzender der Geschäftsführung



**MinDirig Dr. Markus Heß**  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Klimaschutz  
Leiter der Unterabteilung Industrie  
und Mobilität der Zukunft



**Dr.-Ing. Mathias Kammüller**  
TRUMPF GmbH + Co. KG  
Chief Digital Officer (CDO)



**Dr.-Ing. Bernhard Klumpp**  
Continental Teves AG & Co. oHG  
Executive Vice President



**Dr. Anke Kovar**  
Deutsches Zentrum für  
Luft- und Raumfahrt e. V.  
Leiterin der Standorte Stuttgart  
und Lampoldshausen



**MinDirig Günther Leßnerkraus**  
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit  
und Tourismus Baden-Württemberg  
Leiter der Abteilung 3 – Industrie, Inno-  
vation, wirtschaftsnahe Forschungs-  
einrichtungen und Digitalisierung



**Dr. e. h. Dipl.-Math. (Univ.)  
Bernd Liepert**  
Bernd Liepert more\_about\_robots GmbH  
Chief Executive Officer (CEO)



**Dr. Dirk Erik Loebermann**  
Ehem. Festo AG & Co. KG  
Vorstand Operations



**Dr. Lorenz Mayr**  
ETH Zürich



**Dr.-Ing. Kai-Udo Modrich**  
Carl Zeiss Automated Inspection  
GmbH & Co. KG  
Geschäftsführer



**Ralf Münchow**  
Bundesministerium für Bildung  
und Forschung



**Hartmut Rauert**  
Verband Deutscher Maschinen- und  
Anlagenbau e. V. (VDMA)  
Mitglied der Hauptgeschäftsführung



**Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel**  
Universität Stuttgart  
Rektor



**Herbert Schein**  
VARTA AG  
Chief Executive Officer (CEO)



**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult.  
Rolf Dieter Schraft**  
Ehem. Fraunhofer IPA  
Institutsleiter



**Dr.-Ing. Karl-Heinz Stellnberger**  
voestalpine Stahl GmbH  
F&E Prozessleitung für Korrosionsschutz  
und Dünnschichtbeschichtungen



**Dr.-Ing. Karl Tragl**  
Diehl Stiftung & Co. KG  
Vorstandssprecher



**Dr.-Ing. Eberhard Veit**  
4.0-Veit GbR  
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



**Dr.-Ing. Anna-Katharina Wittenstein**  
WITTENSTEIN SE  
Mitglied des Vorstandes



**Prof. em. Dr. rer. pol. Erich Zahn**  
Ehem. Universität Stuttgart  
Lehrstuhl für Allg. BWL und  
Strategisches Management



Batterieproduktion am Zentrum für Digitalisierte  
Batteriezellenproduktion

---

Prozesskette bis ins  
Fabriklayout digitalisiert

Die industrielle Produktion von Batteriezellen soll hierzulande wieder Zukunft haben. Ein Faktor dafür ist die digitale Vernetzung der Batteriezellenproduktion über die gesamte Prozesskette hinweg. Gleichzeitig sollen Batterien in wandlungsfähigen Fabriken produziert werden. Denn in wenigen Jahren wird anders gefertigt werden als heute. Daran und an weiteren Erfolgsfaktoren arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion (ZDB) zusammen mit dem Batteriehersteller VARTA.

Schlüsseltechnologie der Elektromobilität ist die Batteriezelle – und die kommt bisher überwiegend aus China, Südkorea, Japan und den Vereinigten Staaten. Für den Leiter des Zentrums für Digitalisierte Batteriezellenproduktion, Kai Peter Birke, kein Grund zur Resignation, vielmehr zeigt sich der Professor für Elektrische Energiespeichersysteme an der Universität Stuttgart optimistisch: »Der Aussage, der Zug für Batteriezellfertigung sei abgefahren, kann man keinesfalls zustimmen. Im Gegenteil: Gerade weil zukünftig viele Gigawattstunden an Batteriekapazität benötigt werden, ist Spielraum für neue Akteure und verbesserte Ansätze vorhanden.« Die Notwendigkeit, diesen Spielraum auszunutzen, betont Professor Alexander Sauer, der Leiter des Fraunhofer IPA und des Uni-Instituts für Energieeffizienz in der Produktion (EEP): »Wenn die deutsche Industrie künftig nicht mehr von asiatischen Batteriezellenproduzenten abhängig sein soll, müssen wir

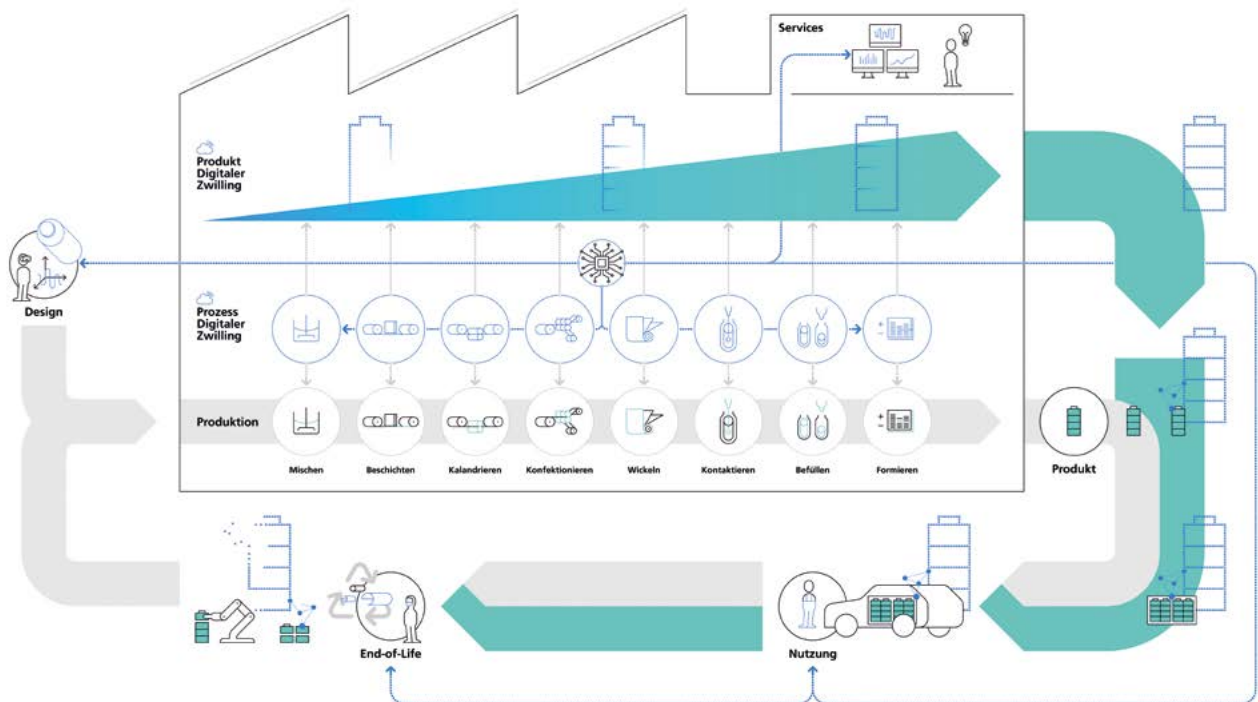
in Deutschland und Europa nicht nur unseren Rückstand aufholen, sondern die Technologieführerschaft übernehmen.«

### Digital vernetzte Prozesskette

Einen der Schlüssel zur Technologieführerschaft sehen Sauer und Birke in der Digitalisierung der Batteriezellenproduktion. Genau das haben sich Forscherinnen und Forscher vom Fraunhofer IPA vorgenommen. Mit der Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg ist am Fraunhofer IPA das Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion (ZDB) entstanden. In enger Zusammenarbeit mit VARTA haben sie dort wesentliche Teile der Prozesskette der Batteriezellenproduktion im Labormaßstab nachgebaut und die einzelnen Stationen digital miteinander vernetzt.



(V. l. n. r.) Zentrumsleiter Professor Kai Peter Birke, Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut, IPA-Institutsleiter Professor Alexander Sauer und Edward Pytlik, General Manager und Head of Powercaps Division der VARTA Microbattery GmbH, bei der Eröffnung des Zentrums für Digitalisierte Batteriezellenproduktion (ZDB) am 20. September 2021.



Die Vernetzung über die gesamte Prozesskette hinweg generiert riesige Datenmengen. Diese werden im ZDB gesammelt, zusammengeführt und ausgewertet. In Zukunft soll die lückenlose Nachverfolgbarkeit der Produktion in Echtzeit geschehen – mit einem sogenannten Digitalen Zwilling.

### Die gläserne Produktion

Diese Vernetzung über die gesamte Prozesskette hinweg generiert riesige Datenmengen, die das Forschungsteam sammelt, zusammenführt und auswertet. Eine solche lückenlose Nachverfolgbarkeit der Produktion soll künftig mit einem sogenannten Digitalen Zwilling in Echtzeit geschehen. Mit dem virtuellen Abbild der Produktion kommen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ineffizienten Prozessen auf die Spur und können sie optimieren und automatisieren. So wird zum Beispiel die Elektrolytbefüllung, einer der wichtigsten Arbeitsschritte während der Montage, immer präziser ausgeführt, was sich positiv auf die Performance der fertigen Batteriezelle auswirkt.

### Die wandlungsfähige Fabrik

Ein weiterer Schlüssel zur Technologieführerschaft liegt in der Planung von wandlungsfähigen Fabriken für die Batteriezellenproduktion. Denn es ist sehr wahrscheinlich, dass Batteriezellen schon in wenigen Jahren anders gefertigt werden als heute. Wer diese potenziellen Veränderungen schon bei der Planung einer Batteriezellenfabrik mitberücksichtigt, erspart sich in der Zukunft kostspielige und zeitraubende Um- oder Neubauten. Wissenschaft-

lerinnen und Wissenschaftler vom Fraunhofer IPA berücksichtigen deshalb neben den Material- und Energie- auch die Informationsflüsse in der Batteriezellenproduktion und setzen sie zueinander in Beziehung. Dazu entwickeln sie dann ein ideales und ein reales Fabriklayout.

### Eine Batterieproduktion der nächsten Generation entsteht

»Industrie und Forschung gehen im Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion eine Symbiose ein, die beide Seiten weiterbringt«, sagt Joachim Monnacher, der am Fraunhofer IPA das Geschäftsfeld Energie leitet. So habe VARTA seit Beginn der Zusammenarbeit seine Technologieführerschaft bei Lithium-Ionen-Batterien weiter ausgebaut und das Fraunhofer IPA habe sich zu einer der führenden Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der digitalisierten Batteriezellenproduktion entwickelt. Eines der nächsten gemeinsamen Ziele ist es, einsatzfähige Festkörperbatterien zu produzieren. Sie werden eine wesentlich höhere Energiedichte aufweisen als bisherige Batteriezellen.

Auf den folgenden Seiten stellen wir die oben skizzierten zentralen Themen der Digitalisierten Batteriezellenproduktion im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte vor.

Forschungsprojekt »DigibattPro4.0«

# Digitalisierungskonzepte für die Batteriezellenproduktion

DigiBattPro4.0 steht für Digitalisierte Batteriezellenproduktion mit Industrie-4.0-Technologien. Das Ziel des Projekts lässt sich freilich nicht im Labor erreichen. Für belastbare Ergebnisse braucht es eine reale Fertigung mit hohen Stückzahlen. Das ermöglicht der baden-württembergische Batterie Konzern VARTA, der täglich zehntausende Batterien produziert. Hier werden die Fraunhofer-Experten zunächst alle Maschinen vernetzen und ein Computermodell erstellen. Der gesamte Produktionsprozess läuft dann nicht nur real ab, sondern auch virtuell. Das Modell soll zeigen, wie die Prozessgrößen die Produkteigenschaften beeinflussen, wo sich also Verbesserungen erreichen lassen – die Vorstufe zur selbstregelnden Fabrikation.



## Fertigungsprozess passt sich selbstlernend an

Was in der Bestandsproduktionslinie gelingt, soll im nächsten Schritt auf Lithium-Ionen-Batterien übertragen werden, wie sie etwa in Elektroautos stecken. Die Standardzellen sind zylinderförmig und messen 70 Millimeter in der Höhe und 21 Millimeter im Durchmesser. Experten sprechen vom 21700-Format. Das Projekt soll am Ende seiner Laufzeit die Voraussetzungen schaffen, um solche Zellen vollautomatisch mithilfe selbstregelnder störungsfreier Prozesse zu fertigen und damit Durchlaufzeiten zu verkürzen und Ausschuss zu reduzieren.

## Entwicklung umweltfreundlicher leistungsfähiger Materialien

Die Zellen sollen auch durch neue Materialien leistungsfähiger und der Herstellungsprozess umweltschonender werden. Ein wässriges Kathodenmaterial ersetzt das umweltschädliche Lösungsmittel, außerdem erhöht ein angereicherter Nickelanteil die Energiedichte.

## Technologische Souveränität sichern und Konkurrenzfähigkeit erhalten

Die Verknüpfung von Digitalisierung und Materialentwicklung, an der neben dem Fraunhofer IPA und VARTA auch das Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg ZSW beteiligt ist, gewährleistet rasche Ergebnisse. »Langfristig werden die entwickelten Digitalisierungslösungen die Wirtschaftlichkeit der Batteriezellenproduktion fördern und den Produktionsstandort Deutschland sichern«, ist IPA-Institutsleiter Professor Alexander Sauer überzeugt. Das Projekt ist am 1. März 2021 gestartet und läuft vier Jahre.

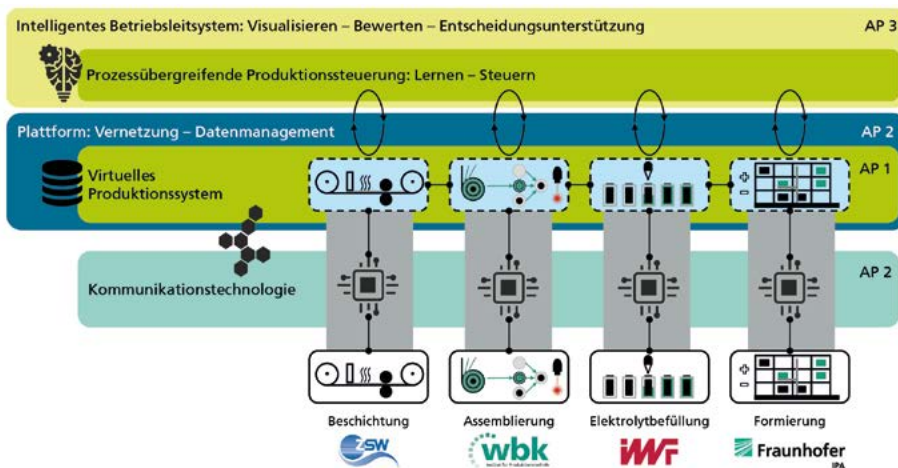
*Batteriezellfertigung bei VARTA.*

# Virtuelles Produktionssystem für die Batteriezellenfertigung

Im Projekt »Virtuelle Produktionssysteme in der Batteriezellfertigung zur prozessübergreifenden Produktionssteuerung«, kurz ViPro, baut das Fraunhofer IPA zusammen mit seinen Partnern, dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW), dem KIT – Institut für Produktionstechnik (wbk) und der TU Braunschweig – Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) ein

## Vernetzung des virtuellen Produktionssystems in der virtuellen und realen Welt

Aufgabe des Fraunhofer IPA ist die Entwicklung und prototypische Umsetzung der Vernetzung der Komponenten der ViPro-Architektur. Dies geschieht sowohl in der virtuellen als auch in der realen Welt. Bei der Kopplung der Komponenten herrschen vielfältige Herausforderungen, wie beispielsweise vielseitige Simulationsmodelle in unterschiedlichen Modellierungsumgebungen, heterogene Maschinensteuerungen oder die standortübergreifende Kooperation mit unterschiedlichen IT-Systemen. Als zentrale Elemente auf der virtuellen Ebene nutzen die IPA-Experten die Cloud-IoT-Plattform Virtual Fort Knox (VFK) mit der Kommunikationsmiddleware Manufacturing Service Bus (MSB). Für die Persistenz und flexible Abfrage von Daten werden Datenbankkonzepte aus der Kombination einer Semantic Database Query Engine (SDQE) mit Zeitreihen- und Graphdatenbanken eingesetzt und realisiert. Für die geplante Anbindung von realen Anlagen und Sensoren entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Maschinenanbindungstechnologie StationConnector weiter. Das Zusammenspiel der Komponenten kann vorab mit virtuellen Emulatoren überprüft und validiert werden. Auf diese Weise kann das Fraunhofer IPA das Gesamtkonzept eines virtuellen Produktionssystems zu einer prozessübergreifenden Steuerung umsetzen.



Gesamtvorhaben des Projekts ViPro.

virtuelles Produktionssystem für die Batteriezellenfertigung zur prozessübergreifenden Steuerung auf. ViPro dient der Analyse und Quantifizierung komplexer Zusammenhänge von Ursache und Wirkung entlang der Prozesskette einer Batteriezellenfertigung. Optimierungsansätze können im virtuellen Produktionssystem vor der Umsetzung in den realen Prozessen und Anlagen realitätsnah und risikoarm erprobt werden. Mit den Erkenntnissen soll zukünftig die Produktivität in der Batteriezellenfertigung signifikant gesteigert werden.

## Digitaler Zwilling der Formierungsanlage

Zudem hat das Fraunhofer IPA die Aufgabe, die Komponenten des Prozessschritts Formierung auf virtueller und realer Ebene so weit zu entwickeln, dass sie in der ViPro-Architektur eingesetzt werden können. Dies geschieht durch die Anbindung der Formierungsrealanlage und eine Abbildung des Prozesses



als Simulationsmodell mit Anbindung an den MSB. Sehr herausfordernd bei der Digitalisierung der Realanlage ist der Aufbau einer bidirektionalen Datenschnittstelle an der Formierungsanlage. Diese soll ebenso eine echtzeitnahe Übergabe von Maschinenparametern an die Datenbank enthalten wie die Rückkopplung von Steuerungsparametern in die Formierungsanlage. Zudem ist die gekoppelte Entwicklung und Anbindung des Modells für die Formierungsanlage entscheidend. Die Komplexität beim Aufbau und der

Befähigung des Formierungsmodells liegt in der Kopplung der Modellumgebung mit der ViPro-Architektur und später in der Ausgabe einer ausreichend hohen Qualität der Prädiktionsergebnisse.

ViPro wird durch das BMBF im Rahmen des Dachkonzepts »Forschungsfabrik Batterie« im Batterie Kompetenzcluster »Intelligente Batteriezellproduktion« (InZePro) gefördert. Das Projekt endet am 30.9.2023.

## Montage von Batteriezellen

Ein modernes Batteriesystem koppelt mehrere Batteriemodule, in denen eine Vielzahl von Batteriezellen verbaut sind. Je nach Hersteller weisen diese Zellen ein unterschiedliches Format auf. Die Pilotanlage im ZDB ist auf zylindrische Zellformate ausgelegt. Im Innern einer Batteriezelle befinden sich die Elektroden. Sie bestehen aus hauchdünnen beschichteten Folien, die zusammen mit einem Separator zu einem Wickel aufgerollt werden. Schon ein kleiner Defekt oder ein Staubkorn,

das ins Innere gelangt, kann die Leistungsfähigkeit erheblich schwächen oder gar zu einem Kurzschluss und damit zu einem Brand führen. Am Fraunhofer IPA entstand daher, unterstützt durch die Förderung des Landes Baden-Württemberg, ein Labor mit besonderen Rein- und Trockenraumbedingungen. Es ist mit einer Anlagentechnik ausgestattet, die eine vollständige Montage von Batteriezellen ermöglicht. Wesentlich dabei ist die Digitalisierung und Vernetzung aller Prozessschritte.



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

**Mithilfe des Digitalen Zwillings wird es möglich, den Produktionsablauf immer weiter zu optimieren und Fehlerquellen schneller als bisher zu beseitigen.**

Damit steht den Forscherinnen und Forschern eine europaweit einzigartige Fertigungslinie zur Verfügung, mit der sie sowohl potenzielle Zellhersteller als auch Maschinen- und Anlagenbauer bei der Entwicklung und Automatisierung von Prozessen sowie der Optimierung der Montage hinsichtlich Zuverlässigkeit und Durchsatz unterstützen können. Das Spektrum reicht dabei von der Analyse und Untersuchung kritischer Prozessschritte über die Anwendung digitaler Werkzeuge bis hin zum Bau von Prototypen.

### **Beschichten – wickeln – zusammenbauen – befüllen**

Rund ein Dutzend Arbeitsschritte sind nötig, bis eine Zelle einsatzbereit ist und jeder dieser Schritte ist entscheidend für deren Qualität und für die des gesamten Batteriesystems. Am Anfang steht die Beschichtung der positiven und negativen Elektrode, die anschließend zusammen mit einem Separator zu einem Wickel, der sogenannten »Jelly Roll«, aufgerollt werden.

Dann folgt der Zusammenbau, die sogenannte Assemblierung. Dazu muss die Jelly Roll hochpräzise und möglichst ohne Berührung der Becherwand geführt werden. Anschließend wird über eine durch das mittige Loch des Wickels eingeführte Stabelektrode der Wickel mit dem Becherboden verschweißt. Um zu verhindern, dass sich der Wickel verschiebt oder löst, wird an einer definierten Stelle eine ringförmige Vertiefung eingearbeitet, eine in Form und Tiefe bestimmte Sicke.

Der folgende Arbeitsschritt, das Einfüllen des flüssigen Elektrolyts, ist besonders heikel und erfordert eine Umgebung ohne Sauerstoff und mit möglichst geringer Feuchtigkeit. Die notwendigen Geräte stehen deshalb in einer hermetisch abgeschlossenen Box, einer sogenannten »Glovebox«, in der man von außen mit eingearbeiteten Handschuhen hantieren kann. Schließlich wird noch ein Deckelelement mit definierter Fügekraft eingelegt, das durch ein Umformen der Becherkante fixiert wird und damit die Zelle verschließt. Durch die angestrebte Zuverlässigkeit der Prozesse sollte sich an der Außenseite kein sicherheitskritisches Elektrolyt befinden, trotzdem wird

die montierte Zelle vor der Fertigstellung noch gereinigt. Abschließend erfolgt noch die Umhüllung mit einem Schutzschlauch und das Beschriften.

### **Für jede Batteriezelle einen Digitalen Zwilling**

Um den Ausschuss zu minimieren und die Qualität zu erhöhen, ist der gesamte Produktionsprozess digitalisiert und vernetzt. Dafür sammeln zahlreiche Sensoren an allen Geräten Daten, die in Echtzeit in der Cloud zusammenlaufen. Am Fraunhofer IPA entwickelte Traceability-Technologien ermöglichen es, dass die gesammelten Daten den produzierten Batteriezellen zugeordnet werden können. Der Clou: Jede einzelne Batteriezelle, die hergestellt wird, steht als Digitaler Zwilling für Datenanalysen und das Trainieren einer Künstlichen Intelligenz bereit. So lässt sich zurückverfolgen, unter welchen Bedingungen sie gefertigt wurde und wie sie in Relation zur erreichten Produktqualität steht. Die Daten werden zur Entwicklung von Services mit Überwachungs-, Analyse- und Vorhersagefähigkeiten genutzt. Damit wird es möglich, den Produktionsablauf immer weiter zu optimieren und Fehlerquellen schneller als bisher zu beseitigen. Darüber hinaus helfen die in der Produktion erhobenen Daten auch dabei, bessere Vorhersagemodelle für das Alterungsverhalten der Batteriezellen bei der Nutzung zu erarbeiten, weitere Einsatzmöglichkeiten für gebrauchte Batteriezellen zu bewerten und die Effizienz von Recyclingverfahren zu verbessern.

Weitere Ansätze, die Batteriezellenproduktion zu digitalisieren und datengetrieben zu optimieren, fassten die beteiligten Wissenschaftler im »Handbook on Smart Battery Cell Manufacturing« zusammen. Es erscheint im Frühjahr 2022.

# Mixed-Reality-Fabrikplanung im Praxistest

Für die Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen bestehen in der Fabrikplanung besondere Anforderungen an die Flächeneffizienz der entwickelten Layouts. Zu den regulären Flächenkosten kommen hier hohe Kosten für Rein- und Trockenräume. Außerdem herrscht ein unsicheres Marktumfeld vor und es finden stetig produkt- sowie produktionstechnische Innovationen statt. Layouts müssen demnach nicht nur flächeneffizient, sondern gleichzeitig wandlungsfähig gestaltet werden. Aufgrund der oftmals knapp bemessenen Platzverhältnisse, insbesondere in den Rein- und Trockenräumen, besteht in der Planung zudem ein erhöhtes Risiko für Kollisionen zwischen Anlagen, technischer Gebäudeausrüstung und Gebäude.



## Kollaborieren mit Mixed Reality

Um den Herausforderungen gerecht zu werden, bietet sich eine Planung in 3D an. Bei einer herkömmlichen 3D-Planung am Computer ist jedoch neben der geringen Interaktivität die Einbindung von Mitarbeitenden aus der Produktion schwierig. Für die Planung flächeneffizienter und wandlungsfähiger Detaillayouts ist deren Produktionsfachwissen jedoch essenziell. Deswegen entwickelte das Fraunhofer IPA im Rahmen des Forschungsprojekts Digi-battPro4.0 die Anwendung »HoloLayouts« zur Mixed-Reality-(MR-)Fabriklayoutplanung.

Mithilfe der Anwendung können in einer MR-Umgebung effizient Detaillayouts geplant werden. Dem Anwender stehen für die Planung verschiedene Funktionen wie das Verschieben bestehender oder das Einfügen neuer Objekte ins Layout zur Verfügung. Die Darstellung erfolgt mithilfe der Microsoft HoloLens 2 und kann sowohl in einem Miniatur- als auch in einem 1:1-Modus erfolgen. Dabei können mehrere Anwender synchron an einem Modell arbeiten.

## HoloLayouts in der Anwendung

Zur Erprobung der Anwendung wurde im Projekt gemeinsam mit VARTA ein praktischer Anwendungsfall definiert. Dabei handelte es sich um die Neuplanung von zwei Rohstoffaufgabestationen für Bigbags sowie verschiedene zugehörige Peripheriegeräte wie beispielsweise Staubfilter. Die Objekte sind dabei in ein Modell der entsprechenden Halle eingebunden.

Die Anwendung wurde am oben genannten Beispiel gemeinsam mit verschiedenen Mitarbeitern von VARTA erprobt. Dabei zeigte sich, dass sie zu einem erheblich besseren räumlichen Verständnis des Planungsobjekts beiträgt. Als großer Vorteil wurde zudem die Möglichkeit zur Arbeit mit mehreren Personen im sogenannten Co-Located-Modus an einem Modell identifiziert. Die Anwender beurteilten die Bedienung mit natürlichen Gesten als sehr intuitiv. Sie stellte auch für Personen ohne Erfahrung im Bereich Mixed Reality kein Problem dar. Damit steht mit »HoloLayouts« eine anwenderfreundliche Lösung zur Verfügung, die bei schwierigen Layoutfragen effektiv unterstützt und gleichzeitig durch ihre intuitive Bedienbarkeit und ihre gute graphische Darstellung überzeugt.

*Anwendungsbeispiel Rohstoffaufgabesystem bei der VARTA Consumer Batteries GmbH & Co. KGaA im Überblick.*

Forschungsprojekt »SOLIST«

# Entwicklung einer Festkörperbatterie samt Produktionskonzept

Batterien mit möglichst viel Energie sind vor allem für Elektrofahrzeuge gefragt. Das Fraunhofer IPA arbeitet im Rahmen des Forschungsprojekts »SOLIST – Solid state rechargeable accumulator launch« an Festkörperbatterien (FKB), die mit 700 Wattstunden pro Kilogramm eine fast doppelt so große Energiedichte haben sollen wie heutige Lithium-Ionen-Batterien.

Die gegenüber herkömmlichen Zellen erhöhte Energiedichte wäre ein Meilenstein in der Elektromobilität der nächsten Generation. Darüber hinaus soll ein massentaugliches, kostengünstiges Produktionskonzept für FKB-Zellen entwickelt werden, um eine schnelle Umsetzung und Skalierung der Ergebnisse in eine industrielle Serienfertigung zu ermöglichen. Digitale Zwillinge helfen dabei, bestehende Hürden für die Massenproduktion aus dem Weg zu räumen.

Ein Ziel von SOLIST ist es, diese Industrialisierung mit den Konsortialpartnern in Baden-Württemberg vorzubereiten bzw. die erforderlichen Kompetenzen aufzubauen. Damit kann Baden-Württemberg durch die Umsetzung des Projekts eine führende Rolle in dieser

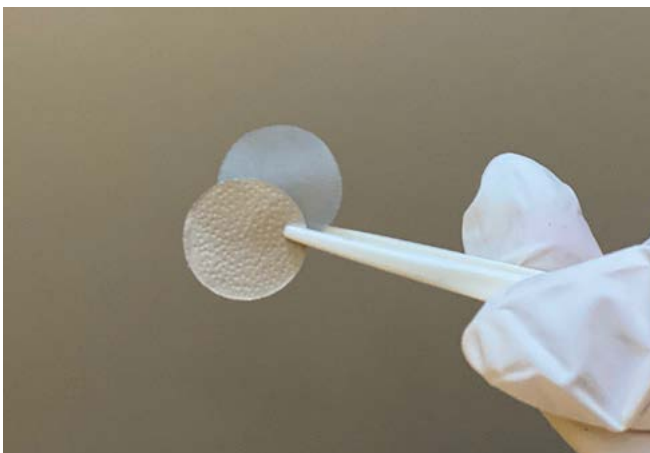
hochinnovativen zukunftsweisenden Technologie erreichen.

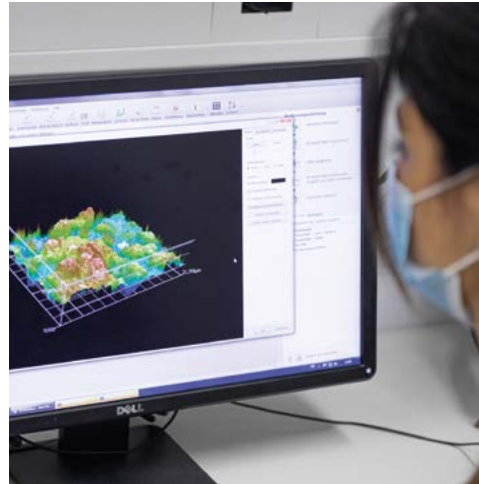
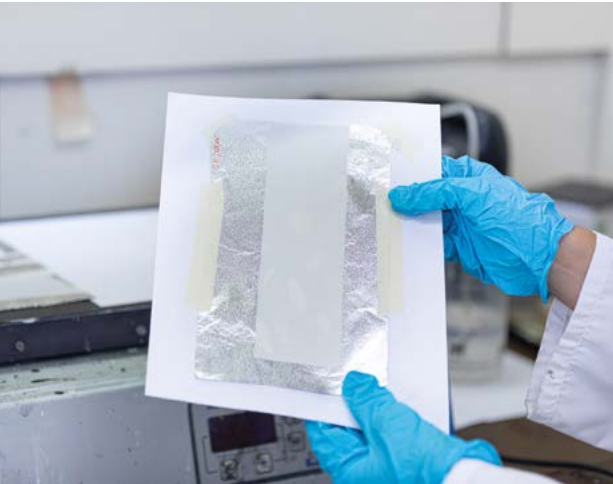
## Lithium-basierter Festkörperelektrolyt

Festkörperbatteriezellen enthalten im Gegensatz zu einer Lithium-Ionen-Batterie keine Flüssigkeit als Elektrolyt, sondern einen keramischen oder sulfidischen, also schwefelhaltigen Festkörperelektrolyt. Auch Polymerelektrolyte sind eine Option. Heutzutage werden Festkörperbatterien überwiegend mit Lithium als Anode aufgebaut, was besondere Herausforderungen an die Montageumgebung mit sich bringt. Damit das Material nicht mit dem Sauerstoff oder der Feuchtigkeit aus der Luft reagiert, sind neben einer kostspieligen Trockenraumbedingung teils sogar zusätzliche gekapselte Produktionsbereiche mit einem Schutzgas wie Argon notwendig. Forscherinnen und Forscher vom Fraunhofer IPA untersuchen deshalb, wie Festkörperbatterien unter moderaten Bedingungen gefertigt werden können. Ein vielversprechender Ansatz ist dabei die In-situ-Abscheidung des Lithiummetalls. Dabei bilden die in der Kathode vor-

*Mit Festelektrolyt beschichteter Stromableiter im Knopfzellenformat (links).*

*Erste Wickelversuche der Festelektrolytbeschichtung zur Charakterisierung der Beschichtungsqualität (rechts).*





*Festkörperelektrolyt nach der Beschichtung über den Stromableiter (links).*

*Morphologische Charakterisierung des Festkörperelektrolyts und der Komposit-Kathode (rechts).*

handenen Lithium-Ionen beim ersten Ladevorgang eine Schicht auf dem Ableiter der negativen Elektrode. Versuche sollen zeigen, mit welchem Ableitermaterial die In-situ-Anodenbildung am besten gelingt.

### Digitaler Zwilling simuliert Fertigung

Um herauszufinden, welche der vielen Parameter für die Fertigung am geeignetsten sind, ist es bisher erforderlich, umfangreiche Versuchsreihen durchzuführen – und zwar nicht nur im Labor, sondern auch unter skalierbaren industriellen Produktionsbedingungen. Der Materialverbrauch wäre dabei erheblich und jede Modifikation würde sich auf weitere Schritte in der Prozesskette auswirken.

Eine elegantere Lösung ist der Digitale Zwilling. Er assistiert dem Mitarbeiter in der Produktion mithilfe seiner Überwachungs-, Analyse- und Vorhersagefähigkeiten. Beim Digitalen Zwilling handelt es sich um ein virtuelles Abbild einzelner Prozessschritte oder ganzer Fertigungslinien, das kontinuierlich mit zusätzlichen Betriebsdaten angereichert wird. Der Digitale Zwilling unterstützt Ingenieure dabei, das zukünftige Verhalten der Fertigung bei verschiedenen Parametrierungen zu simulieren und deren Auswirkungen im Voraus zu bewerten. Gefüttert mit umfangreichen Datenquellen aus der Produktion, trifft der Digitale Zwilling Aussagen über die Effizienz einzelner Prozessschritte, aber auch über die Auswirkungen unterschiedlicher

Verarbeitungsparameter auf die zu erreichende Qualität der Zwischenprodukte, Prozesszeiten und deren Stabilität. So lässt sich mit dem Digitalen Zwilling beispielsweise auf dem Computer des Bedieners bestimmen, wie die Bearbeitungsschritte für eine Elektrode aussehen müssten, damit sie am Ende elastisch genug ist, um sich wickeln zu lassen.

Nach der Implementierung ist der Digitale Zwilling mit dem Produktionsschritt synchronisiert und wird kontinuierlich mit aktuellen Daten aus der Fertigung gespeist. Er überwacht nun, wie stabil die Produktion läuft und wird zum integralen Bestandteil des Qualitätsmanagements.

### Rundzellen im Format 21700

Beim Fraunhofer IPA konzentriert man sich auf Technologien, bei denen das Upscaling vom Labormuster zur industriellen Großproduktion machbar erscheint. Entscheidend dafür ist, dass sich neuartige Batterien mit gewissen Modifikationen auch auf bestehenden Anlagen produzieren lassen. Als Endprodukt sollen dabei Rundzellen im gängigen Format 21700 vom Band rollen, die einen Durchmesser von 21 Millimetern haben und 70 Millimeter lang sind. Soweit das Produktionskonzept.

Hersteller wie VARTA haben sich nicht ohne Grund mit ihren Anlagen auf diese zylindrischen Zellen festgelegt. Einzelne solcher Zellen lassen sich in einem Batteriemodul leichter

**Der Digitale Zwilling assistiert dem Mitarbeiter in der Produktion mithilfe seiner Überwachungs-, Analyse- und Vorhersagefähigkeiten.**

überprüfen und bei einem möglichen Defekt austauschen. Über Hohlräume zwischen den Zellen kann Wärme abgeführt werden. Oft werden die Zellen noch als Energieträger in anderen Anwendungen weiter genutzt, nachdem die Autobatterie ausgemustert wurde. Ein Reparatur- und Recyclingkonzept für diese Festkörperbatterien arbeitet das IPA ebenfalls aus.

### Made in Baden-Württemberg

Das Institut für Photovoltaik – Elektrische Energiespeichersysteme der Universität Stuttgart (ipv-EES) ist verantwortlich für das Anodendesign und die Entwicklung der negativen Ableiterlektroden mit neuartigen sehr dünnen Keimschichten zur In-situ Abscheidung von metallischem Lithium beim ersten Laden. Außerdem erstellt ipv-EES ein Lastenheft für den Festelektrolyten in Abstimmung mit den Unternehmen Ionic Liquids Technologies und VARTA.

Die IoLiTec, Kurzform der Ionic Liquids Technologies GmbH, entwickelt einen Festkörperelektrolyten und bereitet dessen Markteinführung vor.

Das Unternehmen ACI systems GmbH entwickelt und baut die Produktionstools im Labormaßstab für die essenziellen Produktionsschritte der Festkörperbatterie. Außerdem arbeitet ACI an der Produktionstechnologie, die für die Umsetzung einer Großserienproduktion erforderlich ist. Dabei geht es vor allem um die Produktionsprozesse, die sich von einer konventionellen Lithium-Ionen-Batterieproduktion unterscheiden.

Die VARTA Microbattery GmbH ist der Endanwender. Er definiert das Anwendungsfeld für die Festkörperbatterie.



## Forschungsprojekt »EMSig«

# Produktionstechnik für Festkörperbatterien

Verglichen mit den heute gängigen Lithium-Ionen-Batterien haben Festkörperbatterien mehrere Vorteile: Die Sicherheit ist höher – weil kein flüssiger Elektrolyt benötigt wird, kann nichts auslaufen und sich entzünden. Hinzu kommen eine höhere Energiedichte und eine längere Lebensdauer.

### Vom Labor in die Produktion

Noch steckt die Technik in den Kinderschuhen. »Festkörperbatterien mit einer Elektrolytschicht aus Keramik beispielsweise wurden bisher nur im Labormaßstab gefertigt. Die Skalierbarkeit – also die Übertragung der Ergebnisse auf eine Produktion im großen Maßstab – ist noch völlig ungeklärt«, erklärt der Leiter des Zentrums für Digitalisierte Batteriezellenproduktion, Professor Kai Peter Birke.

Im Projekt »Erforschung neuer Misch- und Sintertechnologien für gradierte keramische Festkörperelektrolyte«, kurz EMSig, will das ZDB zusammen mit seinen Industriepartnern eine Prozesskette für die großtechnische Herstellung von Batterien mit keramischen Festkörperelektrolyten entwickeln und optimieren: »Wir haben am IPA durch das Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion viel Erfahrung mit der Automatisierung in der Batteriefertigung, und unsere Kooperationspartner verfügen über ein fundiertes Know-how, was die Herstellung und Funktionalisierung, das Handling und das Sintern von Pulvern betrifft«, ergänzt Joachim Montnacher, der Leiter des Geschäftsfelds Energie.

Dr. Fritsch GmbH & Co KG wird im Rahmen des Projekts das keramische Ausgangspulver bereitstellen und modifizieren, das für die Herstellung keramischer Elektrolyte benötigt wird. Der zweite Partner ist die Dr. Fritsch Sondermaschinen GmbH, ein international führender Hersteller von Maschinen zum Mischen,

Dosieren und Sinterpressen von Pulvern. Das Unternehmen hat eine lange Tradition beim Handling von Pulvern und in der Sintertechnik. So können neue Produktionsmethoden sofort in die benötigten Maschinen umgesetzt werden. Im Mittelpunkt des Produktionsprozesses wird dabei die Weiterentwicklung innovativer FAST-/SPS-Sinteranlagen stehen. Dr. Fritsch ist mit über 1000 installierten Sinteranlagen weltweit führender Hersteller solcher FAST-/SPS-Maschinen. Das Land Baden-Württemberg unterstützt das EMSig-Projekt mit 1,164 Millionen Euro.



*Mehrschichtige, keramische Festkörperkathode für erste Funktionstests.*

### Gradueller Übergang von einem Material zum anderen

Eine besondere Herausforderung bei der Fertigung von Festkörperbatterien sind die Materialübergänge: Scharfe Grenzen zwischen den einzelnen Schichten der Batterie können zu einer schlechten Ionenleitung führen. Durch

unterschiedliche thermische Ausdehnungen kann es sogar zum Bruch entlang der Grenzschichten kommen.

Die Lösung: fließende Grenzen. Die IPA-Experten wissen aus Laborversuchen, dass sich die Spannungen durch graduelle Übergänge zwischen dem keramischen Festkörperelektrolyten und den Elektroden verhindern lassen. Ungeklärt war bisher jedoch, wie sich diese spannungsverringernenden Übergänge prozesstechnisch realisieren lassen.

Ziel des EMSig-Projekts ist es, eine Demonstrator-Anlage zu bauen, in der Festkörperbatterien aus nur hauchdünnen, homogenen Pulverschichten Lage für Lage aufgebaut und gesintert werden, wobei sich die Zusammen-

setzung des Pulvers mit jeder Schicht verändert: Am Übergang zwischen Elektrode und Elektrolyt beispielsweise wird sukzessive mehr Keramikpulver beigemischt – 25, 50, 75 und schließlich 100 Prozent. In zwei Jahren soll der gesamte Produktionsprozess soweit ausgereift sein, dass er von der Industrie für die Batterieherstellung im großen Maßstab genutzt werden kann.

## Forschungsprojekt »DeMoBat«

# Roboter recycelt Batterien

## Aus genutzten Komponenten sollen Second-Life-Batterien entstehen.

Der Elektroantrieb gewinnt bei Autos immer mehr an Bedeutung. Dieser Trend schafft ein Recycling-Problem: Es fallen immer mehr Batterien an, die aufgearbeitet werden müssen. Da ein Akku im Schnitt rund zehn Jahre hält, wird das Problem von Jahr zu Jahr drängender. Das Forschungsprojekt »Industrielle Demontage von Batterien« (DeMoBat), koordiniert vom Fraunhofer IPA, soll eine universelle Lösung liefern, die sich für alle Arbeitsschritte und Batterietypen eignet.

### Second-Life-Batterien

Die Bestandteile einer Batteriezelle sollen sortenrein demontiert und anschließend geprüft werden, ob sie noch gut genug sind für eine direkte Wiederverwendung. So sollen dereinst Second-Life-Batterien aus genutzten Komponenten entstehen. Wenn sich die gebrauchten Komponenten dafür nicht mehr eignen, sollen wenigstens ihre chemischen Bestandteile

aufbereitet werden. Denn ausgediente Batterien enthalten viele weiterhin nutzbare Rohstoffe wie Nickel, Kobalt, Mangan oder Lithium. Um an sie heranzukommen, muss man das Bauteil zunächst auseinandernehmen: Leitungen, Kabel, Stecker, Dichtungen, Schrauben, Batteriezellen, elektronische Komponenten, Halterungen – das alles muss demontiert werden.

Die Herausforderung dabei: Kein Arbeiter, sondern ein Industrieroboter soll die Arbeiten übernehmen. Das ist umso schwieriger, als Autobatterien nicht genormt sind. In verschiedenen Automarken, sogar in verschiedenen Modellen, stecken jeweils andere Stromspeicher. Deshalb muss das Demontagesystem sehr flexibel sein. Eine Roboterzelle mit verschiedenen Werkzeugen soll alle nötigen Arbeitsschritte der Demontage ausführen können und sich für sämtliche Batterietypen eignen.





*Im Forschungsprojekt »DeMoBat« entwickelt ein Forschungsteam vom Fraunhofer IPA einen Industrieroboter, der die ausgedienten Batterien von Elektroautos sortenrein demontiert. Dazu muss er zunächst einmal das Gehäuse aufschrauben.*

### Roboter öffnen das Gehäuse

Als Arbeitsplatte dient ein zwei mal drei Meter großer Tisch mit einem flexiblen Spannsystem, das jeden Akku fest greifen kann. Dort öffnet der Roboter zunächst den Deckel, indem er die Schrauben aufdreht. Eine intelligente Bildverarbeitung weist ihm den Weg. Doch das klappt nicht immer, denn nach zehn Jahren bei Wind und Wetter ist manche Schraube korrodiert und lässt sich mit mehr lösen. Dank Maschinellern erkennt der Roboter

frühzeitig, ob er mit dem Schraubendreher ans Ziel kommt oder zur Fräse greifen muss. Die Zwischenbilanz des dreijährigen Forschungsprojekts DeMoBat ist vielversprechend: Ein physikalischer Demonstrator wird zurzeit aufgebaut und soll Mitte 2022 erprobt werden.

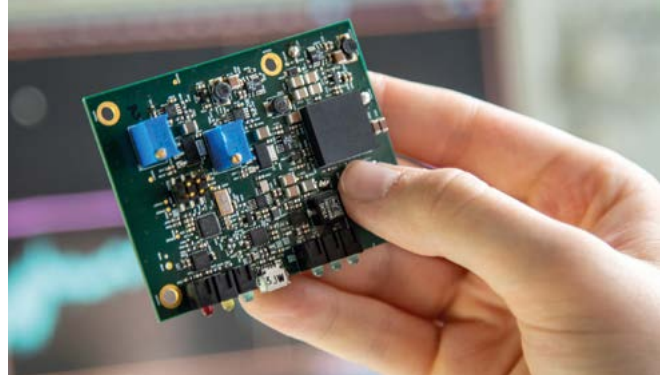
**Prof. Dr.-Ing. Kai Peter Birke**  
 Leiter Zentrum für digitalisierte Batteriezellenproduktion  
 Telefon +49 711 970-3621  
 kai.peter.birke@ipa.fraunhofer.de

**Joachim Montnacher**  
 Leiter Geschäftsfeld Energie  
 Telefon +49 711 970-3712  
 joachim.montnacher@ipa.fraunhofer.de

# Geschäftsfelder

---





## Automotive

Die automobilen Wertschöpfung am Produktionsstandort Deutschland befindet sich in einer Phase der Transformation. Diese beschleunigt sich zunehmend im Hinblick auf die Digitalisierung der Produkte und Prozesse, der Automatisierung und Vernetzung von Geschäftsprozessen auch über Unternehmensgrenzen hinaus bis hin zu neuen datengetriebenen Geschäftsmodellen, Dienstleistungen und Plattformen. Zum jetzigen Zeitpunkt ist nicht abzusehen, welches energetische Speicherkonzept und welche Antriebsvariante sich durchsetzen werden. Das macht eine hohe Flexibilität in den Produktions- und IT-Prozessen erforderlich, um bedarfsgerecht und schnell reagieren und die Produktionsmittel anpassen zu können. Die Transformation erfordert bereichsübergreifendes Fachwissen. Aus diesem Grund ist ein starker Forschungs- und Entwicklungspartner mit übergreifendem Know-how in allen technischen Gewerken der Produktionstechnik für die anstehende Transformation unabdingbar.

Die Schwerpunktthemen des Geschäftsfelds Automotive liegen auf einer durchgängigen Vernetzung der Produktion, smarten Datenservices unter Anwendung Künstlicher Intelligenz und der Entwicklung technologisch fortschrittlicher und nachhaltiger Produktionsprozesse. Unsere Branchenlösung »Automotive« umfasst die gesamte Wertschöpfungskette der Automobilproduktion von der Rohbau- und Oberflächentechnik bis hin zur Endmontage und Qualitätssicherung. Wir unterstützen produzierende Unternehmen dabei, Produktionslösungen ganzheitlich zu entwickeln und umzusetzen und begleiten sie von der ersten Idee bis zur Implementierung im Werk.

**Petra Foith-Förster**  
Geschäftsfeldleiterin  
Telefon +49 711 970-1978  
[petra.foith-foerster@ipa.fraunhofer.de](mailto:petra.foith-foerster@ipa.fraunhofer.de)

## 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. In 170 Projekten konnte das Geschäftsfeld Elektronik und Mikrosystemtechnik im Jahr 2021 jedem einzelnen Unternehmen die richtige Lösung anbieten.

**Martin Schleef**  
Geschäftsfeldleiter  
Telefon +49 711 970-3900  
[martin.schleef@ipa.fraunhofer.de](mailto:martin.schleef@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 CO<sub>2</sub>-reduzierter. Transparenz in den Energieverbräuchen und neue Technologien ermöglichen diese Entwicklung.

Speicher, Wasserstofftechnologien, intelligente Energiesysteme und multivalente, vernetzte Produktionsprozesse gehören zu den Forschungsaufgaben am Fraunhofer IPA. Dabei kombinieren intelligente Energiesysteme diese Aufgaben vor dem Hintergrund einer nachhaltigen, energieflexiblen und energieeffizienten industriellen Produktion. Neuentwicklungen bei der Produktion, insbesondere die komplette Assemblierung von zylindrischen Batteriezellen, aber auch bei Re-use und Recycling von Batterien, versprechen vielfältige Einsatzmöglichkeiten in der Intralogistik, in der Mobilität und bei Consumerprodukten. 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 Schulterchluss von angewandter Forschung und Industrie besitzt das Land das erforderliche Potenzial, wettbewerbsfähig in die Serienproduktion von Batteriezellen, Komponenten für Brennstoffzellen und Elektrolyseuren einzusteigen. Dabei werden die Digitalisierung in der Produktion und insbesondere die Anwendung von Maschinellem Lernen den Schwerpunkt 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

## 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 oder Konkurrenz- und Kostendruck. Daraus leiten wir die strategischen Entwicklungsfelder ab, die den Weg zu einer »Smart Factory« ebnen:

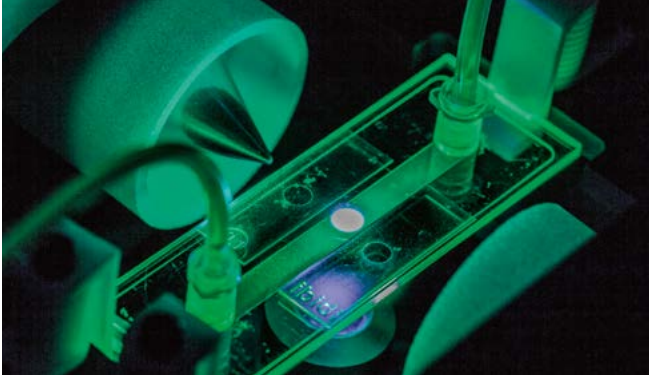
Die Entwicklung neuer Produktionstechnik zielt auf neue Materialien, das Heben von Automatisierungspotenzialen sowie die Automatisierung in neuen Anwendungsfeldern ab. Die Produktion und ihre Mitarbeiter werden dabei zunehmend durch technische Assistenzsysteme unterstützt.

Künstliche Intelligenz und Industrie 4.0 tragen dazu bei, die Intelligenz 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.

**Martin Schleef**  
Geschäftsfeldleiter  
Telefon +49 711 970-3900  
martin.schleef@ipa.fraunhofer.de



## Medizin- und Biotechnik

Die Effizienzsteigerung ist eine der Kernkompetenzen des Fraunhofer IPA. Im Bereich der Medizin- und Biotechnik 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 und 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.

Tobias Brode  
Geschäftsfeldleiter  
Telefon +49 711 970-1257  
tobias.brode@ipa.fraunhofer.de

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

Seit Januar 2022 bündelt die neue Abteilung 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 wird die Abteilung innovative und nachhaltige Verfahren, Strukturen, Technologien, Modelle und Systeme entwickeln, um biointelligente Systeme systematisch in die Industrie zu überführen. Die Abteilung startet mit zwei Gruppen, die jeweils unterschiedliche Fokusthemenfelder bedienen.

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

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



Ressourceneffiziente Produktion

## Digitalisierte Batteriezellenproduktion

Die Abteilung Digitalisierte Batteriezellenproduktion hat sich die Entwicklung und Produktion moderner Energiespeicher- und Wandlungstechnologien im Bereich Batterie und Wasserstoff zum Ziel gesetzt. Damit ist sie ein exzellenter strategischer Partner und Dienstleister für Unternehmen.

Mit der vorhandenen Infrastruktur bietet die Abteilung der Industrie in naher Zukunft die einzigartige Möglichkeit, Prototypen von Batteriezellen im Format 21700 für Entwicklungszwecke zu produzieren. Der Fokus liegt hierbei auf den Prozessschritten des Wickelns, Assemblierens sowie des Zell-Finishings, insbesondere bei der Elektrolytbefüllung und der Formierung.

Parallel zum Ausbau des Leistungsangebots der Prototypenfertigung für Batterierundzellen erfährt der Bereich Wasserstoff eine starke Wachstumsdynamik. Bereits heute befindet sich eine umfangreiche Infrastruktur zur Charakterisierung von Elektrolyseuren und Brennstoffzellensystemen sowie der dazugehörigen qualitätskritischen Fertigungsverfahren (z. B. Stacking-Prozess) im Aufbau.

Im Kontext Digitalisierung begleitet die Abteilung Unternehmen bei der Identifikation der Potenziale des Digitalen Zwillings. Der Bereich Circular Economy rundet das Forschungs- und Entwicklungsangebot der Abteilung ab.

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

Mit einer Steigerung der Energieeffizienz und Energieflexibilität in der Produktion können Unternehmen ihren Energieverbrauch senken und Kosten einsparen, die Produktivität erhöhen und sich somit einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. In produzierenden Unternehmen sind enorme Energiesparpotenziale vorhanden, die sich durch die passenden Technologien und Energieeffizienzmaßnahmen erschließen lassen. Zum Einsatz kommen dabei innovative Technologien, die eine verbesserte Nutzung der Energieinfrastruktur ermöglichen, die industrielle Produktion an das schwankende Energieangebot anpassen und die Produktionsanlagen in die Produktionsumgebung wie auch in das urbane Umfeld energetisch optimal einbinden. Vor dem Hintergrund einer zunehmend fluktuierenden Energiebereitstellung und schwankender Energiepreise gewinnt auch ein flexibler Energieträgerwechsel in der Produktion an Bedeutung.

Unsere Experten für industrielle Energiesysteme bieten unseren Kunden ein abgestimmtes Beratungsangebot, das von der Identifikation von Effizienz- und Flexibilitätspotenzialen in den Produktionsstätten bis zur Umsetzung maßgeschneiderter Konzepte für betriebliche Energiemanagementsysteme reicht.

**Dr.-Ing. Sebastian Weckmann**  
Abteilungsleiter  
Telefon +49 711 970-1955  
sebastian.weckmann@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 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](mailto:joachim.seidelmann@ipa.fraunhofer.de)



Vernetzte Produktion

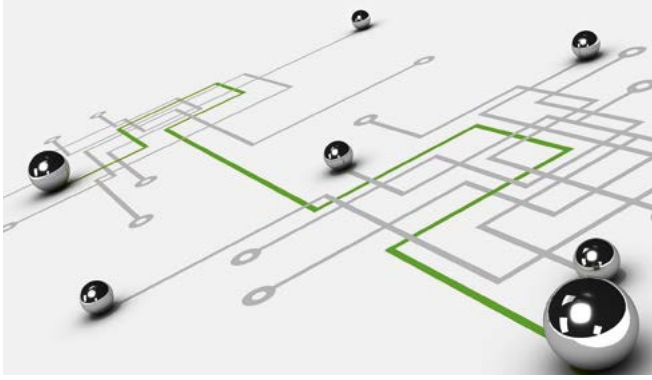
## Fabrikplanung und Produktionsmanagement

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](mailto:michael.lickefett@ipa.fraunhofer.de)



Vernetzte Produktion

## Unternehmensstrategie und -entwicklung

Kernaufgabe unserer Abteilung ist es, Unternehmen vom Front- bis zum Back-End ganzheitlich zu betrachten und zu optimieren. Dabei machen wir die Wirksamkeit technologischer und organisatorischer Veränderungen auf Unternehmen und ihre Prozesse sichtbar und sichern diese ab.

Neben der Entwicklung von strategischen Programmen, beispielsweise für die digitale Unternehmenstransformation, stehen für uns die methodische Weiterentwicklung der Themen Innovative Geschäftsmodelle, Business Ecosysteme und Smarte Organisation im Fokus. Zentrales Thema ist hierbei die Gestaltung einer pattformbasierten Wertschöpfung mit digitalisierten End-to-end-Prozessen.

Wir verstehen uns als Bindeglied zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen am Fraunhofer IPA. Eines der Abteilungsziele ist es, gemeinsam neue attraktive Wertangebote durch die Kombination von Technik und Organisation zu schaffen. Beispiele hierfür sind die Kooperationen in den Bereichen Additive Fertigung und Innovative Geschäftsmodelle oder Laborautomatisierung und Smarte Prozesse.

In Netzwerken und agilen Organisationsstrukturen zu arbeiten gehört zu unserem Selbstverständnis. 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 unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten stehen intelligente Mess- und Prüfsysteme, moderne Automatisierungslösungen sowie Altersassistenzsysteme.

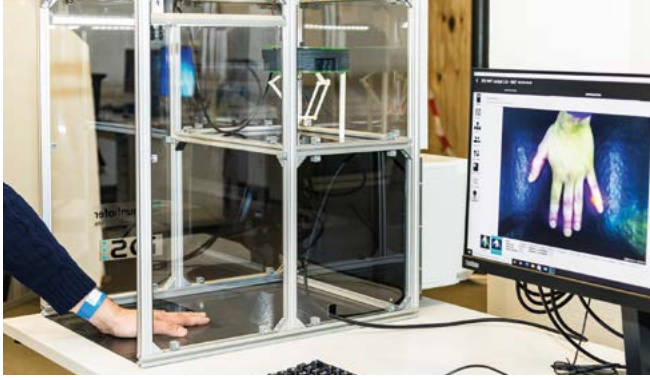
Die Kernkompetenzen der Abteilung konzentrieren sich auf die intelligente, automatisierte Interpretation von Bild- und Sensorinformationen zur Lösung komplexer Aufgabenstellungen. Das Anwendungsspektrum reicht von 2D-Mess- und Prüfsystemen über moderne 3D-Mess- und Prüftechnik mit Computertomographie und optischer 3D-Sensorik bis hin zur 3D-Objekterkennung und Szenenanalyse für die Automatisierungstechnik und für Assistenzsysteme beispielsweise im Montagebereich und zur automatischen Notfall- und Sturzerkennung. Weitere Anwendungen liegen im Bereich der Prozessüberwachung und Qualitätsprognose auf Basis von leicht zugänglichen Maschinen- und Prozessdaten.

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

Unsere Leistungen im Einzelnen:

- Qualitätssicherung mit 2D-Bildverarbeitung
- 3D-Messen und -Erkennen
- 3D-Objekterkennung
- Messen und Prüfen mit Computertomographie
- Qualitätssicherung mit Thermographie
- Qualitätsprognose mit Signalverarbeitung
- Prozessüberwachung mit Maschinellen Lernen
- Automatisierung
- Montageassistenz
- Sturz- und Notfallerkennung
- Messdienstleistungen

**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 datensparsame 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 reinster Arbeitsumgebungen beschäftigt uns seit über 30 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. Zudem steht uns auf insgesamt circa 650 m<sup>2</sup> 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.

Die rasante Ausbreitung von SARS-CoV-2, verbunden mit umfangreichen Veränderungen des gesellschaftlichen Lebens und des Arbeitsumfeldes, veranlasste die Baden-Württembergische Landesregierung 2021 das integrierte Beratungs- und Forschungsprogramm »Healthy Air Initiative (HAI)« ins Leben zu rufen. Untersucht und bewertet wurde die Effektivität von Luftreinigungstechnologien in einer eigens dafür konzipierten, reinheitstechnisch kontrollierten Referenzprüfungsgebung.

Darüber hinaus umfasst unser Leistungsportfolio:

- Entwicklung von Messtechnik, Prüf- und Bewertungsverfahren
- Planung bis Realisierung von kundenspezifischen Reinheitsumgebungen und Produktionsanlagen
- Präzisionsmontage- und Auftragstechnik
- Präzisionsreinigung
- Reinheitsspezifische Automatisierungssysteme
- Softwareentwicklungen und Digitalisierung von Maschinendaten
- Zertifizierung und Weiterentwicklung reinheitstauglicher Werkstoffe, Anlagen und Komponenten
- Schulungsangebote

**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.

Fast 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:

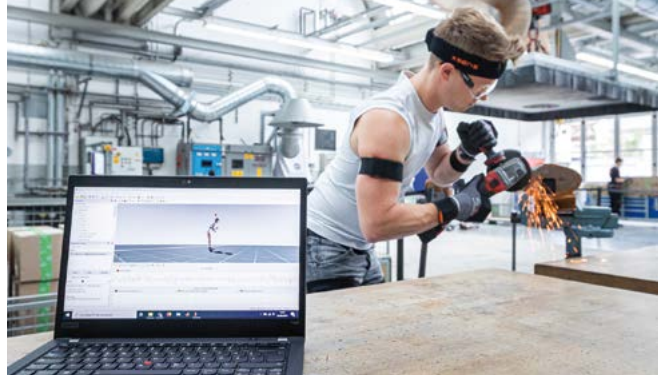
- Systemkonzeption
- Machbarkeitsstudien
- Simulation von Roboteranlagen und Komponenten
- Materialflusssimulation
- Entwicklung von Prototypen
- Erstellung von Lasten- und Pflichtenheften
- Vermessung von Robotern und Anlagen
- Optimierung bestehender Systeme

Unsere Schwerpunkte liegen auf folgenden Gebieten:

- Handhabung und Intralogistik
- Schweißen und Bearbeiten
- Montage-Automatisierung
- Roboterprogrammierung und -regelung
- Servicerobotik für Industrie und Gewerbe
- Haushalts- und Assistenzrobotik
- Software Engineering und Systemintegration

Wir unterstützen Anwender von Robotersystemen bei der Entwicklung und 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 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 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-Kooperations-Szenarien (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 die Möglichkeit, neue Technologien von der Idee bis zur Produktionseinführung zu begleiten.

In verschiedenen Forschungsprojekten haben wir folgende Lösungen entwickelt:

- Lithium-Schwefel-Batterien für die Luftfahrt
- Neuartige Beschichtung für robustere Wälzlagerringe
- Galvanische Beschichtung von biobasierten und biologisch abbaubaren Kunststoffen
- Vorausschauende Wartung von Prozess- und Anlagentechnik
- Prozesssichere Aluminiumlegierungsschichten für den umweltfreundlichen Korrosionsschutz in der Luftfahrt

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.

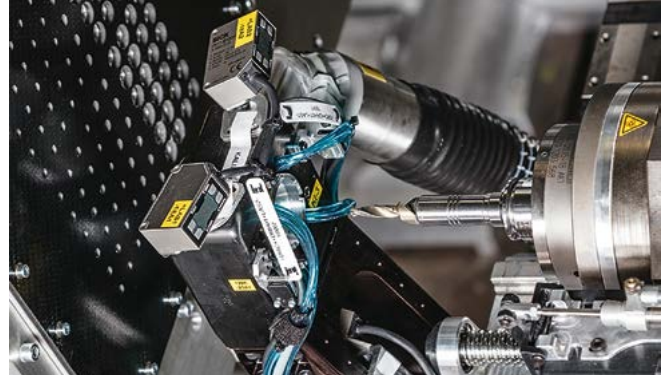
### *Hybride Prozessketten*

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 carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK), Kunststoffen oder auch Titan 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, Spannmittel und Qualitätsermittlung für moderne Leichtbauwerkstoffe. Neben den spannenden 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. Marco Schneider  
Abteilungsleiter  
Telefon +49 711 970-1535  
marco.schneider@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 Ideen und Technologien dienen sowie einen Motor für die Nachwuchsförderung, Weiterbildung und Chancengleichheit darstellen.

Das Forschungsprogramm der ARENA2036 konzentriert 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 hat die Projektleitung für die »Fluide Produktion«. In dieser werden die Grundlagen eines radikal neuen, ganzheitlichen Produktionskonzepts erarbeitet, das sich aus cyberphysischen Produktionsmodulen immer wieder neu rekonfiguriert. Ziel der Entwicklung ist eine Produktionsumgebung, die in ihrer Komplexität durch den Produktionsmitarbeiter beherrscht, schnell in Betrieb genommen und kontinuierlich verändert werden kann. Eine durchgängige datentechnische Integration aller Komponenten bietet Transparenz dient als Grundlage neuer datengetriebener Geschäftsmodelle für die Automobilproduktion der Zukunft.

## 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:

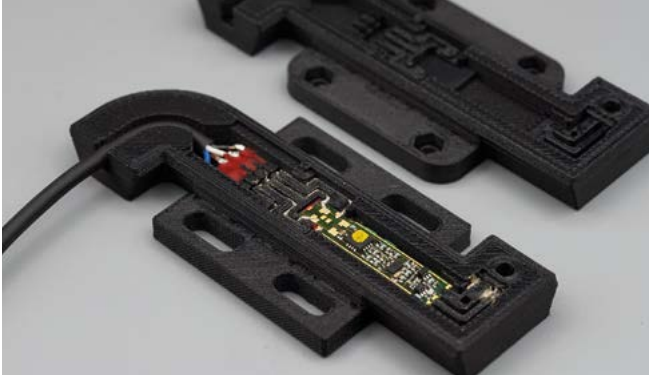
- Die Demonstrenwelt zur Arbeitswelt der Zukunft zeigt, welche Technologien und Anwendungen heute schon möglich sind und wie künftige Szenarien der Arbeitsteilung zwischen Mensch und Technik aussehen können.
- Die zukünftige Arbeitswelt erfordert ganz andere Kompetenzen als heute. Daher bietet die Lernwelt 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 wird im Zeitraum 2019 bis 2022 mit den Fokusthemen Künstliche Intelligenz und vernetztes Produktionssystem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Weitere Informationen zu den kostenfreien Open Lab Days: [www.futureworklab.de](http://www.futureworklab.de)

**Anwar Al Assadi**  
Leiter Fluide Produktion  
Telefon +49 711 970-1264  
[anwar.alassadi@ipa.fraunhofer.de](mailto:anwar.alassadi@ipa.fraunhofer.de)

**Simon Schumacher**  
Projektleiter  
Telefon +49 711 970-1747  
[simon.schumacher@ipa.fraunhofer.de](mailto:simon.schumacher@ipa.fraunhofer.de)



## Lab elektronische Funktionsintegration in additiv gefertigte Bauteile

Additive Fertigungsverfahren – auch bekannt unter dem Begriff 3D-Druck – verbreiten sich zunehmend auch im Umfeld der industriellen Fertigung: Die Prozesse werden stabiler und die Anzahl der verfügbaren Materialien wächst stetig. Mechanisch belastbare Bauteile können somit in bislang ungekannter Komplexität gefertigt werden und sind bereits in kleinsten Losgrößen wirtschaftlich realisierbar. Aber wie kann in derartige Bauteile elektrische oder sensorische Funktionalität integriert werden? Mit dieser Frage beschäftigen sich die Firmen Arburg und Balluff sowie das Fraunhofer IPA im »Lab elektronische Funktionsintegration in additiv gefertigte Bauteile«. Als Basis dient die von der Firma Arburg entwickelte 3D-Druck-Technologie »Arburg Kunststoff-Freiformen« (AKF), die im Projekt so erweitert wird, dass mit digitalen Druck- und Dispenstechnologien die Integration von Leiterbahnen im Inneren eines additiv hergestellten Bauteils ermöglicht wird. Somit können in das Bauteil eingelegte Serien-Elektronik- und Sensorelemente des Automatisierungsspezialisten Balluff funktional verbunden werden. Schlussendlich werden bislang nicht mit additiven Verfahren realisierbare individualisierte, mechatronische Komponenten ab Losgröße 1 in industrieller Qualität umsetzbar.

Neben dem zentralen Anwendungsfeld der Automatisierungstechnik sind ebenso Anwendungen im Sondermaschinenbau, der Energietechnik oder in der Medizintechnik möglich.



## 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.

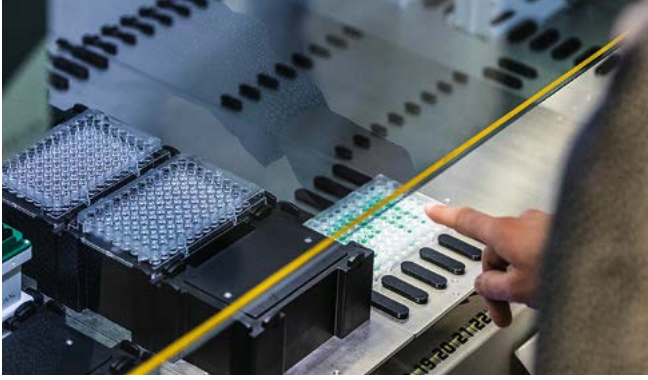
Im Lab Flexible Blechfertigung werden aktuell folgende Themenfelder betrachtet:

- 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.

Patrick Springer  
Telefon +49 711 970-1996  
patrick.springer@ipa.fraunhofer.de

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



## nCLAS Innovation Center für Laborautomatisierung

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.

Wir wollen mit nCLAS zeigen, 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 entwickeln können.

Drei nCLAS-Säulen bieten für jeden Bedarf ein maßgeschneidertes Beratungs- und Entwicklungsangebot:

- nCLAS Academy: eine solide Basis für Innovationen schaffen
- nCLAS Reference Lab: validierte Prozesse und das Risiko stets im Blick
- nCLAS Future Lab: kooperative Forschung und Entwicklung am Puls der Zeit

Auch im Corona-Jahr 2021 waren wir mit nCLAS aktiv. Unser neues Projektformat La.Z.e. (Laborzukunft erleben) ermöglicht es, verschiedene Technologien in unseren nCLAS-Labors zu erleben und auszuprobieren. La.Z.e. steigert somit die Akzeptanz von Digitalisierungs- und Automatisierungslösungen, indem es die Menschen dort abholt, wo es darauf ankommt – im Labor, im direkten Kontakt mit diesen neuen Technologien.

Auf dem Weg zum Labor der Zukunft müssen wir noch ein nachhaltiges Fundament setzen. Für dieses Ziel treiben wir auch 2022 Innovationen voran und freuen uns auf den gemeinsamen Austausch mit Ihnen.

**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 wird vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg gefördert.

**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.

Neu seit Herbst 2021 ist die Zusammenarbeit mit Sugino Machine Limited. Das japanische Maschinenbauunternehmen beschäftigt sich mit der Herstellung verschiedener mechanischer Geräte, verfügt über Fachwissen im Bereich der Wasserstrahltechnologien und deren Verarbeitungsprozess und beteiligt sich an der Entwicklung fortschrittlicher Materialien und der Technik der Dispersionsprozesse. 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 (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 Potential zur Personalisierung. Der Vorteil von personalisierten Produkten liegt darin, dass diese generell passfähiger sind und geringere Folgekosten haben.

Das LZMP bündelt hierzu die branchenübergreifenden Kompetenzen und Expertisen von vier Fraunhofer- (IAO, IBP, IGB, IPA) und neun Universitätsinstituten (IABP, IAT, IBBS, IEW, IFF, IFSW, IGVP, IMSB, ISW) am Standort Stuttgart sowie zahlreichen Industrieunternehmen. Es 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 Anwendungsforschung und den unmittelbaren Transfer aktuellster Forschungsergebnisse in die Praxis.

Hierzu werden im Leistungszentrum Mass Personalization drei wesentliche Themenlinien fokussiert, in denen personalisierte Produkte kosteneffizient und personalisiert hergestellt werden sollen:

- Produkte/Produktionssysteme
- Lebensräume inklusive Mobilität
- Gesundheit/Life Sciences

Die Fokussierung auf die drei 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) widmet sich der material- und anwendungsübergreifenden Weiterentwicklung additiver Verfahren für die Industrie – in der Öffentlichkeit besser bekannt als 3D-Druck. Hierzu werden gemeinsam mit der Industrie verschiedene Aspekte betrachtet. Dabei ist nicht nur der additive Aufbauprozess an sich, sondern die Gesamtprozesskette vom CAD-Datensatz bis zum fertigen Produkt Gegenstand der Entwicklungen.

Die Themen des ZAP im Einzelnen:

- Weiterentwicklung additiver Kernprozesse und Erweiterung der Materialvielfalt: Die Weiterentwicklung additiver Prozesse hin zu einer besseren Skalierbarkeit in Bezug auf Bauteilgröße, Prozessgeschwindigkeit und Materialvielfalt ist eine wesentliche Voraussetzung für einen breiteren Einsatz der Additiven Fertigung.
- Additive und hybride Prozessketten: Eine direkte Interaktion von additiven und konventionellen Prozessen zu neuen Gesamtprozessen birgt das Potenzial, bestehende technologische Grenzen zu überwinden.
- Integration additiver Verfahren in Fertigungsumgebungen: Der Aufbau marktverfügbarer additiver Fertigungsanlagen ist für manufakturähnliche Umgebungen ausgelegt. Der Übergang zur industriellen Massenfertigung bedarf neuer, auf den Anwendungsfall ausgerichteter Anlagenkonzepte.
- Entwicklung additiver Gesamtprozessketten auf industriellem Niveau: Die Integration additiver Fertigungsverfahren in industriellen, vollautomatisierten Umgebungen ist zentraler Forschungsgegenstand im Zentrum für Additive Produktion. Inbegriffen ist die Betrachtung aller Verfahrensschritte für die Herstellung eines kundentauglichen Endprodukts.

## 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 die additive Bioproduktion für Konsumgüter und Medizintechnik
- 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.

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

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

---

## Zentrum für Cyber Cognitive Intelligence

Auf dem Weg zu personalisierten Produkten zu Kosten der Massenproduktion sorgt Künstliche Intelligenz (KI) für einen enormen Produktivitätsschub. Denn Maschinen und Roboter können sich mithilfe von Algorithmen selbst an veränderte Gegebenheiten in der Produktion anpassen. Auf Basis von großen Datenmengen und deren Auswertung werden Produktionen durch KI effizienter, flexibler einsetzbar und fertigen hochwertigere Ware.

Ziel des Zentrums für Cyber Cognitive Intelligence, kurz CCI, ist es, die Forschung und den Technologietransfer von KI und Maschinellem Lernen (ML) voranzutreiben:

- Transfer neuester Methoden der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens wie etwa Deep Learning für die Anwendung in Produktion, Logistik und Automatisierung
- Nachvollziehbare und erklärbare Aufbereitung der Auswertungsergebnisse intelligenter Methoden
- Vorausschauende Instandhaltung zur Reduktion und Vermeidung von Stillstandszeiten in der Produktion
- Qualitätssicherung durch kontinuierliche Auswertung von Prozess- und Messgrößen
- Qualitätskontrolle durch den Einsatz Künstlicher Intelligenz in der Bild- und Signalverarbeitung
- Automatisierte Erkennung von Anomalien und Bestimmung von Fehlerursachen
- Datengetriebene Optimierung von Produktions- und Automatisierungsprozessen
- Intuitive und optimierte Instruktion von Robotern und sichere Mensch-Roboter-Interaktion

---

## Zentrum für Cyberphysische Systeme

Das Zentrum für Cyberphysische Systeme (ZCPS) ist ein industrienahe 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

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

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

## Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion

Das Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion (ZDB) fokussiert die durchgängige Digitalisierung der Wertschöpfungskette in der Batteriezellenproduktion. 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 Batteriezellenproduktion
- 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, Produktionssysteme, 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 sowie Produkt- und Organisationsstrategien auf Basis von Foresight- und Best-Practice-Beispielen.
- Entwicklung frugaler Lösungen: Das Zentrum entwickelt Lösungen zur Eliminierung von ökonomisch unvorteilhaften Produktfunktionen, bezogen auf internationale Kontexte mit traditionellen und agilen Entwicklungsmethoden.
- Aufbau frugaler Kompetenzen: Um auf dem Markt bestehen zu können, wird der Einsatz eines frugalen Mindsets immer wichtiger. Dieses wird anhand von Seminaren, einer Exponente-Ausstellung und praktischer Trainingsmodule geschult.
- Digitalisierung: Das Zentrum hilft Unternehmen dabei, Maschinen und Anlagen anforderungsgerecht auszuliegen. Dies kann zum Beispiel durch die Gestaltung digitaler Prozesse zur kundenorientierten Produktentwicklung, cyberphysische Systeme zur Nutzereinbindung und benutzerfreundlicher Bedienkonzepte (Human Machine Interfaces) erfolgen.
- Applikationsszenarien frugaler Lösungen: Best-Practice-Beispiele frugaler Innovationen in einer Laborumgebung dienen als Basis für die weitere Entwicklung bei den beteiligten Unternehmen und als Inspiration für weitere Unternehmen.

**Dr.-Ing. Uwe Schleinkofer**  
Zentrumsleiter  
Telefon +49 711 970-1553  
uwe.schleinkofer@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 Absaug-, Spann- und Montagetechniken. Ein weiterer Fokus liegt auf der Entwicklung konstruktiver Leichtbaulösungen für Maschinen, Anlagen und Geräte, die durch »Radikalleichtbau« zur Gewichts-, Energie- und Kostenreduktion führen. Die Entwicklung erstreckt sich dabei von konstruktiven Konzeptstudien bis hin zur Begleitung der fertigungstechnischen Realisierung. Zudem widmet sich das ZLB der Füge-, Trenn- & Recyclingtechnik, indem Fügetechniken für innovative Werkstoffsysteme sowie Trenn- und Montagetechniken 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 bereits kurzfristig monetäre Mehrwerte erzielen.

**Dr.-Ing. Marco Schneider**  
Zentrumsleiter  
Telefon +49 711 970-1535  
marco.schneider@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. Das ZUE setzt schrittweise die Vision einer symbiotisch-verlustfreien Produktion um und gestaltet damit eine effektive und effiziente Wertschöpfungskette gestalten.

**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 Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt (FHWS) 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

**Prof. Dr.-Ing. Frank Döpfer**  
Leiter Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation  
Telefon +49 921 78516-100  
frank.doepper@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 Sihh. Rund 100 Mitarbeitende entwickeln innovative Lösungen in Produktion und Logistik mit dem Schwerpunkt Nachhaltigkeit u. a. in enger Zusammenarbeit mit der TU Wien.

Während sich das Team in Tirol mit Fragen der Industrial Data Science und Industrial Data Analytics beschäftigt, liegt der Fokus in Wien auf Fabrikplanung und Produktionsmanagement (FPM), Logistik und Supply Chain Management (LSCM) sowie Advanced Industrial Management (AIM). Diese Themen spiegeln sich in den Namen der jeweiligen Geschäftsbereiche wider.

Im Geschäftsbereich AIM dreht sich die Forschung unter anderem um Automatisierung und Digitalisierung, Mensch-Maschine-Interaktion, die Akzeptanz von Technologie in der Belegschaft sowie die Kompetenzentwicklung und Qualifizierung. Der Bereich LSCM beschäftigt sich mit datengetriebenen Lösungen in den Bereichen Intralogistik, Materialwirtschaft, Lagerlogistik und Transportlogistik bis hin zur Netzwerkplanung unter Einbeziehung von innovativen Ansätzen wie Physical Internet, Crowd Logistics, IoT in Logistics sowie Decarbonization in Logistics. Der Bereich FPM widmet sich dem Leitsatz »Wertschöpfung nachhaltig gestalten« und arbeitet an innovativen Lösungen für effiziente, agile, resiliente und ressourcenschonende Produktionssysteme mit Fokus auf Strukturen, Prozessen, Technologien und Organisation.

**Prof. Dr.-Ing. Wilfried Sihh**  
Geschäftsführer Fraunhofer Austria Research GmbH  
Telefon +43 1 504 69 06  
office@fraunhofer.at

## **Fraunhofer Innovation Platform for Smart Manufacturing, Shanghai**

Das Fraunhofer Project Center for Smart Manufacturing in Shanghai/Lingang ist eine Kooperation zwischen dem Fraunhofer IPA und der Shanghai Jiao Tong University (SJTU). Im Project Center werden anwendungsbezogene Lösungen im Bereich Produktionsmanagement, Mensch-Roboter-Kollaboration und Industrie 4.0 erforscht und entwickelt.

Ziel der Zusammenarbeit ist es, gemeinsam mit Industriepartnern 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. Das Project Center wird von Michael Lickefett, Abteilungsleiter Fabrikplanung und Produktionsmanagement am Fraunhofer IPA, und Prof. Hao Wang, Vizedekan der Fakultät für Maschinenbau an der SJTU, geleitet.

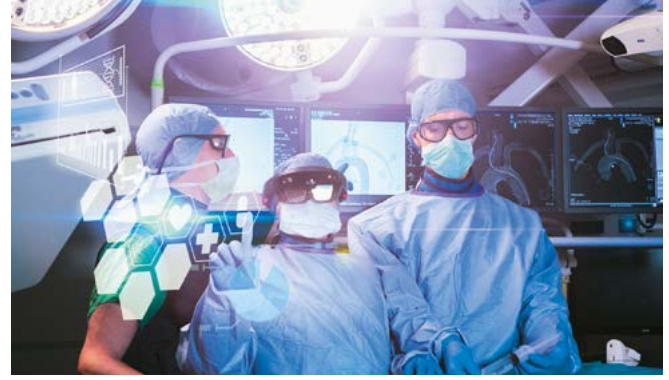
Den Schwerpunkt der Zusammenarbeit stellt die Etablierung einer Demonstratoren-Umgebung dar. Diese dient als Forschungs- und Anwendungszentrum zum Thema Industrie 4.0. Industrieunternehmen können sie als Testumgebung für eigene und gemeinsame Forschung und Entwicklungen nutzen.

Das Project Center befindet sich an dem neu gegründeten Standort Lingang, einer der führenden Wissenschafts- und Technologieregionen Chinas, an der Südküste von Shanghai.

Das Project Center unterstützt Unternehmen, die auf dem chinesischen Markt tätig sind und innovative Projektvorhaben zu folgenden Zukunftsthemen umsetzen möchten:

- Smart Factory
- Digitaler Schatten
- Cyberphysische 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 seit 2011 für Medizintechnikunternehmen, Kliniken, Biotechnologie- und Pharmaunternehmen Digitalisierungs- und Automatisierungslösungen für die industrielle Forschung und Anwendungen im Gesundheitssystem. In Industrie- und Forschungsprojekten unterstützt die Abteilung ihre Kunden erfolgreich mit durchgängigen Lösungen für die Prozessplanung in Klinik und Labor mit messtechnischen Lösungen, vernetzten und integrierten Steuerungsplattformen, Geräte- und Instrumentenentwicklung entlang der jeweiligen Prozesskette. Die Schwerpunkte liegen im Bereich der Vernetzung verschiedener Teilsysteme (Connected Healthcare), intelligenter OP-Assistenzsysteme und der Entwicklung von integrierten Messsystemen und Algorithmen zur Datenauswertung. Aufgrund der direkten Nähe zur klinischen Anwendung ist ein weiterer Fokus die schnelle Verarbeitung von biologischem Probenmaterial zu Einzelzellen und die nachgelagerte Analytik.

Ein professionelles Angebot wird durch die Lage der Abteilung Klinische Gesundheitstechnologien mit ihren Labors und Büros mitten auf dem Campus des Universitätsklinikums UMM in Mannheim ermöglicht. Die Vernetzung mit dem Universitätsklinikum und die enge Verbindung zur Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg eröffnet einen unmittelbaren Zugang zu den Prozessen, Informationen und Daten aus der Klinik oder allgemein aus dem Gesundheitswesen. Deshalb bringt das multidisziplinäre Team nicht nur die fachliche Kompetenz mit, sondern ist für die erfolgreiche Abwicklung der Projekte auch mit der Sprache der jeweiligen Fachwelt vertraut.

Dr.-Ing. Jens Langejürgen  
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. Die Kooperation mit der ESB Business School der Hochschule Reutlingen wird seit 2016 innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft als Außenstelle des Fraunhofer IPA geführt und finanziell vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg getragen.

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, realisierbare und realistische 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, Testumgebung für 5G-Campusnetze der Landes Baden-Württemberg und Fieldlab im deutsch-niederländischen Netzwerk Artificial Intelligence for Digital Twins (ai4dt).

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





# Lehre, Aus- und Weiterbildung

---







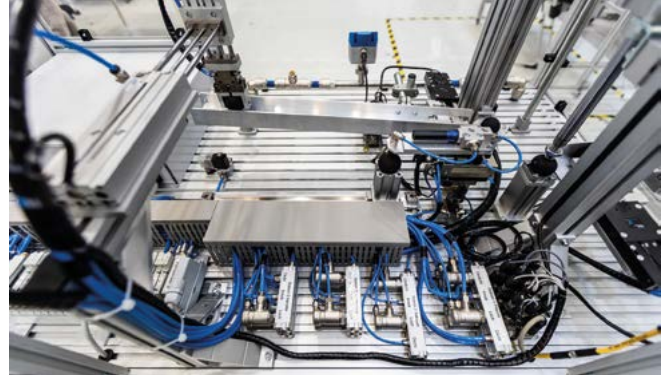
## Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

Die Forschungsschwerpunkte des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) umfassen im Bereich Fabrikbetrieb Fabrikplanung und Produktionsoptimierung, Auftragsmanagement und Wertschöpfungsnetze, Nachhaltige Produktion und Qualität, Produktionsinformatik, Industrie 4.0, Smart Factory sowie Personalisierte Produktion. Die Industrielle Fertigung wird am IFF mit dem Fokus auf Beschichtungssystem- und Lackiertechnik, Galvanotechnik, Fertigungsmesstechnik und Funktionale Materialien adressiert. Der Bereich Kognitive Produktionssysteme nutzt Methoden des Maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz, um zukünftige Produktionssysteme zu befähigen, sich eigenständig an neue Anforderungen anzupassen.

Das Lehrangebot am IFF ist sehr vielseitig. Studierenden der Studiengänge Autonome Systeme, Maschinenbau, Maschinenbau WPT, Technologiemanagement, Fahrzeug- und Motorentchnik, Mechatronik und technisch orientierte Betriebswirtschaftslehre bietet das Institut Vorlesungen, Seminare, Hauptfachpraktika und Exkursionen an.

Das IFF kooperiert eng mit dem Fraunhofer IPA. Interdisziplinär zusammengesetzte Forschergruppen mit langjähriger Erfahrung auf den genannten Arbeitsgebieten sind Garanten für eine erfolgreiche Projektabwicklung in der Auftragsforschung für öffentliche und industrielle Auftraggeber. Modern eingerichtete Fertigungsmess- und Versuchslabors, Versuchsfelder für Industrieroboter, CAD-Labor, Oberflächentechnik und das Auftragsmanagementlabor werden gemeinsam mit dem Fraunhofer IPA betrieben.

**Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl**  
Institutsleiter des IFF  
Telefon + 49 711 970-1100  
[thomas.bauernhansl@ipa.fraunhofer.de](mailto:thomas.bauernhansl@ipa.fraunhofer.de)



## Institut für Energieeffizienz in der Produktion der Universität Stuttgart

Die Gründung des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) geht auf eine Initiative der Stifter Heinz Dürr und Karl Schlecht zurück. Das EEP forscht zu Themen, die auf eine Verringerung des Energieverbrauchs in der produzierenden Industrie zielen – etwa durch die Anwendung energieeffizienter Technologien und eine intelligente Steuerung des Energieeinsatzes.

Schwerpunkte der Tätigkeiten des EEP sind die Optimierung der industriellen Wärme- und Kälteversorgung, die Entwicklung von industriellen Mikronetzen und die Integration von Energiespeichern sowie die Flexibilisierung des Energieverbrauchs der Produktion und die Energiedatenanalyse.

Das Institut hat neben einschlägiger Forschung und Lehre die Aufgabe, Gesellschaft, Politik und Unternehmen über Energieeffizienz in der Produktion aufzuklären und zu beraten. Hierfür erarbeitet das EEP in verschiedenen Gremien und Initiativen Entscheidungsgrundlagen. So erhebt das EEP beispielsweise unterjährig mittels des Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie Rahmendaten zur industriellen Energieeffizienz sowie weitere wichtige aktuelle Sachverhalte, wirkt in Gremien der EU-Kommission auf die Beachtung der Thematik hin und agiert zum Beispiel federführend bei der UN ECE Task Force on Industrial Energy Efficiency.

**Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer**  
Institutsleiter des EEP  
Telefon +49 711 970-3600  
[alexander.sauer@eep.uni-stuttgart.de](mailto:alexander.sauer@eep.uni-stuttgart.de)

# 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

GO Druck Media GmbH & Co. KG  
Kirchheim unter Teck

## Titelbild:

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

## Bildnachweise

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

Seite 4/5: Quelle: Adobe Stock/jjomathai

Seite 14, oben: Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Vanessa Stachel

Seite 14, unten: Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Fred Nemitz

Seite 17, oben: Quelle: IFF Universität Stuttgart; Visualisierung:  
Lutz Wahler

Seite 17, unten: Quelle: Mojin-Robotics; Foto: Felix Bezler

Seite 22: Quelle: Fraunhofer IPA

Seite 23: Quelle: VARTA Microbattery GmbH

Seite 24: Quelle: VARTA Microbattery GmbH

Seite 27: Quelle: Fraunhofer IPA

Seite 28, links und rechts: Quelle: Fraunhofer IPA/  
Foto: Duygu Kaus

Seite 30: Adobe Stock/jjomathai

Seite 31: Quelle: Fraunhofer IPA/Foto: Inga Landwehr

Seite 35, links: Quelle: Adobe Stock/Gunnar Assmy

Seite 37, rechts: Quelle: Shutterstock/Christian Langreck

Seite 39, links: Quelle: istockphoto/Antiv3D

Seite 39, ganz rechts: Quelle: Adobe Stock/Alexander Limbach

Seite 40, links: Quelle: unger-kreative strategien GmbH /  
fotolia.com, überführt in Adobe Stock

Seite 40, rechts: Quelle: Adobe Stock/acinqantadue

Seite 42, links: Quelle: Adobe Stock/Oliver Le Moal

Seite 52, rechts: Quelle: Fraunhofer IPA/Mark Becker

Seite 58: Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Werner Huthmacher,  
Berlin

Seite 59, rechts: Quelle: Adobe Stock/donfiore

Seite 60, links: Quelle: Adobe Stock/Sved Oliver

Seite 60, rechts: Quelle: Fraunhofer IPA,  
Foto: Nadine Schlotterer

Seite 61, rechts: Quelle: Fraunhofer IPA, Foto: Vanessa Stachel

Seite 62, links: Quelle: Hochschule Reutlingen

Seite 62/63: Quelle: Hochschule Reutlingen

Seite 65, oben links: Quelle: Universität Stuttgart/  
Fraunhofer IPA



Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung IPA

---

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

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