

# interaktiv

The background of the cover is a photograph of a car's undercarriage. A large, dark, cylindrical component, likely a catalytic converter or part of the exhaust system, is shown with a spray of water and numerous blue bubbles emerging from its lower opening. The scene is set outdoors on a grassy area, with several colorful tulips in the foreground. The overall aesthetic is clean and modern, with a focus on automotive technology and environmental themes.

DAS KUNDENMAGAZIN DES FRAUNHOFER IPA | AUSGABE 1.2022

Mit Wasserstoff zur Energiewende

KI optimiert End-of-Line-Prozesse

Roboter für die Wischdesinfektion

# Alle Nachrichten auf einen Klick

# interaktiv online

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

## Sehr geehrte Damen und Herren,

schon auf den ersten Blick bietet diese Ausgabe des Interaktiv wieder etwas ganz Besonderes. Die Professorin und Künstlerin Friederike Groß – manche werden sich noch an ihre Karikaturen in der Stuttgarter Zeitung erinnern – hat sich erneut thematisch mit dem IPA befasst und unser Heft mit zwei Zeichnungen illustriert. Wir genießen diesen Austausch und empfinden die Begegnung mit anderen Fachkulturen als genauso fruchtbar und wertvoll wie die Forschung mit anderen wissenschaftlichen Disziplinen.

Diese Ausgabe ist zunächst dem Wasserstoff gewidmet. Nicht ohne Grund, denn eines der größten Drittmittelprojekte der Universität Stuttgart wurde kürzlich unserem Schwester-Institut, dem EEP, für den Aufbau einer Wasserstoff-Forschungsplattform genehmigt – das IPA arbeitet eng auf der Plattform mit dem EEP zusammen.



Alexander Sauer

Thomas Bauernhansl

Das interaktiv-Redaktionsteam hat wieder einmal eine ganz bunte Mischung an Formaten und Themen für Sie zusammengetragen. Besonders freuen wir uns darüber, dass – langsam aber sicher – immer mehr Wissenschaftlerinnen am IPA arbeiten und dementsprechend auch im Heft vertreten sind, zum Beispiel in der Reportage über Yagmur Dakur ab S. 21.

KI und Digitalisierung sind ein weiterer Schwerpunkt im Heft und werden uns wahrscheinlich noch lange begleiten. Wir zeigen mit dem Projekt »Smart Retrofit« (ab S. 41), wie etwa KMU schnell und kostengünstig in die Digitalisierung ihrer Maschinen und Arbeitsprozesse einsteigen können und wie sie damit ihre Produktion effizienter machen.

Auch das Thema Viren und Keimfreiheit hat uns noch fest im Griff. Ab S. 45 stellen wir Ihnen den »DeKonbot 2« vor. Er kann autonom durch ein Gebäude fahren, Türklinken, Lichtschalter erkennen, mit einem Bürstensystem putzen und Desinfektionsmittel aufbringen. Dieser Wischroboter ist demnächst im praktischen Einsatz und sorgt für Sicherheit und Sauberkeit, zum Beispiel in Kliniken und Büros.

Nun wünschen wir Ihnen allen, liebe Leserinnen und Leser, viel Freude mit diesem Heft und einen befreiten, leichten und gesunden Sommer.

Mit herzlichen Grüßen  
Thomas Bauernhansl und Alexander Sauer





10

## Mit Wasserstoff zur Energiewende

Wasserstoff ist der Energieträger des 21. Jahrhunderts. Denn Wasserstoff ist klimaneutral – zumindest, wenn er mit grüner Energie gewonnen wird. Und er bietet alle Vorzüge fossiler Energieträger: Er lässt sich sowohl speichern als auch transportieren, er kann als Brennstoff herkömmliche Kohle und Öl ersetzen und über eine Brennstoffzelle Strom erzeugen. Doch noch erschweren technische Herausforderungen den Durchbruch der Wasserstofftechnologie.



40

## Toolbox Digitalisierungsbaukasten

Der Baukasten zeigt, wie KMU schnell und kostengünstig in die Digitalisierung ihrer Maschinen und Arbeitsprozesse einsteigen, um die eigene Produktion effizienter zu machen.



26

## Schlau prüfen und verpacken: KI optimiert End-of-Line-Prozesse

Die Qualitätssicherung und das Verpacken von Bauteilen am Ende der Produktion sind bisher ein aufwendiger, manueller Prozess. Die gemeinsamen Arbeiten vom Fraunhofer IPA und der Witzemann GmbH aus Pforzheim zeigen, wie Künstliche Intelligenz (KI) diese Arbeitsschritte automatisieren kann..



44

## Roboter für die Wischdesinfektion von Oberflächen

Serviceroboter haben das Potenzial, das Reinigungspersonal in öffentlichen Gebäuden, Labors oder Produktionsstätten zu entlasten, indem sie einen Teil der durchzuführenden Aufgaben übernehmen. Desinfektionsroboter »DeKonbot 2« kann nach einmaligem Einlernen autonom durch ein Gebäude fahren, zu reinigende Objekte wie Türklinken, Lichtschalter oder künftig auch Griffleisten erkennen und diese mit einem Bürstensystem von grobem Schmutz befreien sowie Desinfektionsmittel aufbringen.

## Editorial

von Thomas Bauernhansl und Alexander Sauer

3

## Plattform

Nachrichten und Notizen

6

## Titel

Mit Wasserstoff zur Energiewende

10

## #WasserstoffamIPA

Elektrolyseure sollen Massenware werden

13

Biowasserstoff aus Holzabfällen

15

Grünen Wasserstoff durch PEM-Wasserelektrolyse produzieren

17

## Reportage

Ein Tag mit Yağmur Damla Dokur

20

## #WasserstoffamIPA

Brennstoffzellen machen künftig Dieselgeneratoren überflüssig

23

Grüner Wasserstoff macht Industriestandorte resilient

24

## Blickpunkt

Schlau prüfen und verpacken: KI optimiert End-of-Line-Prozesse

26

## Interview

mit Angelika Bittner und Christian Fries:

»Um wettbewerbsfähig zu bleiben, muss man Strukturen anpassen«

28

## FuE

Qualitätsprognose durch virtuellen Zusammenbau

32

»HoloLayouts« macht Fabrikplanung virtuell erlebbar

34

Lean in der Informationsversorgung

38

Toolbox Digitalisierungsbaukasten

40

White-Paper – Anforderungen an ein Betriebssystem für die Produktion

43

## Im Gespräch

Roboter für die Wischdesinfektion von Oberflächen

44

Interview mit Dr. Andreas Bley – Potenziale von Desinfektionsrobotern

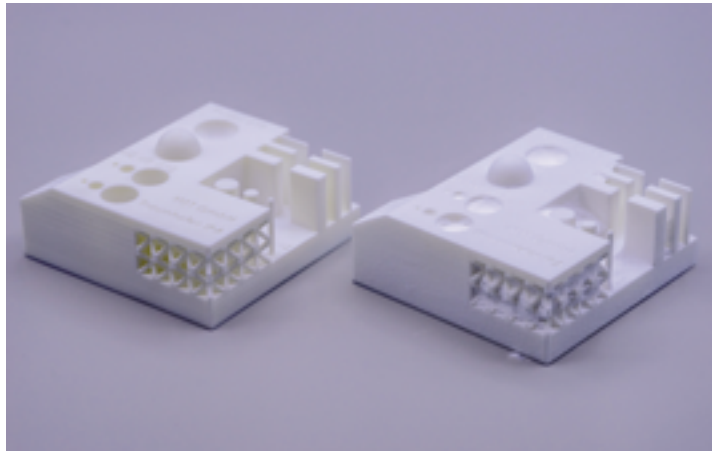
48

## Impressum

50

3D-Druck

## Bestrahlung von Bauteilen



Zwei Testbauteile aus PA12, die mittels selektivem Lasersintern hergestellt wurden: links nach der Bestrahlung mit Kunststoffgranulat, rechts ohne Strahlbehandlung.

Wenn additiv gefertigte Kunststoffbauteile frisch aus dem 3D-Drucker kommen, wirken sie meist grob und unfertig. Sie sind rau, man erkennt Schichttrillen und speziell beim Lasersintern haften ihnen Pulverreste an. Um die Bauteile zu reinigen und die Oberflächen zu glätten, wird die Strahltechnik, speziell die Druckluftstrahltechnik, eingesetzt. Dabei wird ein festes Strahlmittel, meist mineralischer, metallischer oder synthetischer Basis, mittels Druckluft beschleunigt und auf die Bauteiloberfläche gelenkt, sodass diese bearbeitet wird. Welches Strahlmittel für welchen Werkstoff am besten geeignet ist und mit welchen Prozessparametern die besten Ergebnisse erzielt werden, blieb bisher dem Erfahrungswissen der Anwender überlassen. Nun haben das Fraunhofer IPA und die Microstrahltechnik-Vertriebs GmbH in einer wissenschaftlichen Versuchsanordnung geklärt, welches Strahlmittel mit welchen Prozessparametern sich am besten für einen bestimmten Werkstoff eignet.

[www.ipa.fraunhofer.de/bauteile\\_unter\\_beschuss](http://www.ipa.fraunhofer.de/bauteile_unter_beschuss)

Energieeffiziente Produktion

## Verfahren zur Auswahl von cloudbasierten Softwarelösungen



Unternehmen, die von niedrigen Strompreisen profitieren möchten, benötigen Transparenz in der Produktion und zuverlässige Vorhersagen über ihren Stromverbrauch. Doch der Markt für Software in der Produktion verlagert sich immer mehr in den Bereich von cloudbasierten Lösungen und ist dementsprechend unübersichtlicher geworden. Um dennoch die richtige Software zu finden, haben Forscher nun ein vierstufiges Auswahlverfahren entwickelt.

[www.ipa.fraunhofer.de/auswahl\\_softwareloesungen](http://www.ipa.fraunhofer.de/auswahl_softwareloesungen)

SurfaceTechnology GERMANY

## Die Digitalisierung hält Einzug in die Galvanotechnik

Die Digitalisierung der Galvanotechnik und die Suche nach alternativen Beschichtungen bei der Hartverchromung – das sind die beiden großen Themen, mit denen das Fraunhofer IPA von 21. bis 23. Juni auf der Messe »SurfaceTechnology GERMANY« in Stuttgart vertreten ist: Halle 1, Stand H10.

Des Weiteren wird am 21. Juni ab 13 Uhr auf dem Fachforum der SurfaceTechnology GERMANY der Stuttgarter Obeflächentechnik-Preis »DIE OBERFLÄCHE« verliehen. Prämiert werden innovative Anwendungen und Technologien innerhalb aller Disziplinen der Oberflächentechnik.

Auf dem Fachforum der Messe gibt es außerdem Vorträge zu hören. Von der Abteilung Galvanotechnik des Fraunhofer IPA spricht am 22. Juni um 13.40 Uhr Peter Schwanzer über die »SmARtPlaS-Lerngalvanik: Entwicklungsumgebung für Industrie 4.0 in der Galvanik am Fraunhofer IPA«. Um »Energie- und Ressourceneffizienz in der Galvanotechnik« geht es um 15.30 Uhr im Vortrag von Stefan Kölle.

[www.ipa.fraunhofer.de/digitalisierung\\_in\\_galvanotechnik](http://www.ipa.fraunhofer.de/digitalisierung_in_galvanotechnik)



Die Lerngalvanik am Fraunhofer IPA dient als Demonstrator und Versuchsplattform für die Digitalisierung der Galvanotechnik.

Lackieranlagen

## Künstliche Intelligenz soll Qualität und Effizienz steigern

Die Lackierung gilt bis heute als ein nicht durchgängig beherrschbarer Prozess. Es drohen Ausschuss, Anlagenausfälle und Nacharbeit, weil zum Beispiel sehr häufig die vorgegebene Lackschichtdicke nicht überall eingehalten werden kann. Mit Künstlicher Intelligenz (KI) will ein Forschungsteam vom Fraunhofer IPA die Lackierung von Kunststoffteilen im Automobil- und Nutzfahrzeugbau effizienter gestalten. Dazu sollen intelligente Algorithmen sämtliche Daten, die während des Lackierprozesses anfallen, auswerten und frühzeitig vor Fehlern warnen.

[www.ipa.fraunhofer.de/ki\\_im\\_lackierprozess](http://www.ipa.fraunhofer.de/ki_im_lackierprozess)





## EXOWORKATHLON 2022 auf dem Elbcampus

Life-Studie für die Gesundheitsprävention Von Hanns-J. Neubert



**In der Nähe des Bahnhofs Hamburg-Harburg liegt der architektonisch beeindruckende Elbcampus, das Bildungs- und Kompetenzzentrum der Handwerkskammer Hamburg. Zum Campus gehört auch die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Nord (SLV-Nord).**

Hier fand vom 21. bis 25. Februar 2022 zum dritten Mal das sogenannte EXOWORKATHLON statt. Das erste wurde im Oktober vorigen Jahres auf der Exoskelett-Konferenz WearRAcon Europe in Stuttgart organisiert.

Ein EXOWORKATHLON ist eine wissenschaftliche Life-Studie, in der die Ingenieure Ines und Marco Schalk den gesundheitlichen und vorbeugenden Nutzen von Exoskeletten für schwere körperliche Arbeit untersucht. Für ihre Datengewinnung nutzen sie medizinische Methoden zur Diagnostik der Herzparameter, die für diesen Zweck bisher noch nicht üblich waren. Die beiden arbeiten in den Abteilungen Biomechatronische Systeme des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und Mensch-Technik-Interaktion des Instituts für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart.

### Exoskelette sollen Muskel- und Skeletterkrankungen vorbeugen

»Unser Ziel ist es, den Nachweis zu erbringen, dass ein Exoskelett während einer schweren körperlichen Tätigkeit auch wirklich eine Entlastung bringt«, erklärte Marco Schalk während der Harburger Studie. Exoskelette sollen schließlich der gesundheitlichen Prävention dienen. »Das gilt vor allem für die frühzeitige Vorbeugung von Muskel- und Skeletterkrankungen schon bei jungen Menschen. Solche Erkrankungen nehmen im Alter bei Berufsgruppen zu, bei denen schwere körperliche Arbeit alltäglich ist, die zu einem frühen Ausscheiden aus dem Berufsleben führt.«

Um das zu messen, nutzt Schalk eine Methode aus der medizinischen Diagnostik des Herz-Kreislauf-Systems. Denn konventionelle Verfahren zur Bestimmung von Leistungen wie Muskelaktivität und Lungenfunktion sind im Betriebsablauf nicht anwendbar. Stattdessen misst der Medizintechnik-Ingenieur bei seinen Probanden während der Probearbeiten laufend die Blutfluss beschreibenden Parameter und die Änderungen der Reiz-



leitung des Herzens. Dazu bringt er auf der Haut der Testteilnehmer Elektrodenpaare an Hals und Rippenbogen an. Dünne Drähte leiten die Impulse zur Datensammlung auf Laptops, damit sie später im Labor in Stuttgart ausgewertet werden können.

### Man muss ein Exoskelett tragen wollen

Ines Schalk dagegen legt ihren Schwerpunkt auf die kognitiven und psychischen Effekte bei schwerer körperlicher Arbeit. »Ein Exoskelett kann noch so viel Erleichterung bringen – wenn die Personen, die es tragen sollen, es aber nicht gut finden, dann nützt es nichts«, sagte die Sportwissenschaftlerin mit Fokus auf Biomechanik. »Die Menschen müssen so ein Exoskelett akzeptieren und nutzen wollen. Da zählt eben das subjektive Befinden.« Das erfährt sie aus Antworten auf Fragebögen. Darin beschreiben die Probanden, wo sie beispielsweise Druckstellen empfanden, was an dem Gerät für sie angenehm war oder welche Verbesserungsvorschläge sie hätten.

### Tests an drei Schweißsimulatoren

In Hamburg-Harburg hatten sich 28 Auszubildende aus großen metallverarbeitenden Unternehmen für die Forschung zur Verfügung gestellt. An drei Schweißsimulatoren, virtuellen Schweißtrainern, konnten sie verschiedene Exoskelette während schwieriger Schweißarbeiten anwenden.

Statt durch eine Sichtscheibe in ihrem Schutzschild, schauten die jungen Schweißer jedoch auf einen integrierten Bildschirm, der ihnen sehr genau das Schweißgerät und die Naht zeigte, an der sie arbeiteten. Wie beim echten Schweißen sahen sie, wie die Schweißnaht wuchs, aber auch jeden Fehler und jede Abweichung von der Idealnaht. Anschließend glätteten sie ihre Schweißnaht ebenfalls an einem vom Fraunhofer IPA entwickelten Prüfstand, der die beim Schleifen auftretenden Belastungen mit einem präparierten Winkelschleifer simuliert.

In Wirklichkeit hielten die Auszubildenden aber eine nachempfundene MAG-Schweißpistole in der Hand, mit der sie sich langsam entlang einer senkrechten Rille in einem einfachen, blauen Kunststoffbrett bewegten. Auf die Platte und den Handgriff des Schweißgeräts waren QR-Codes aufgedruckt, die dem Rechner für die virtuelle Realität als Navigation diente. Den nur mit einer Kunststoffscheibe ausgestatteten, präparierten Winkelschleifer bewegten sie auf dem genannten Prüfstand daneben.

An den virtuellen Schweißständen mussten die Probanden eine Stunde lang in durchaus unbequemen, anstrengenden

Positionen arbeiten: direkt vor dem Gesicht und über Kopf. Sie absolvierten zwei Runden: Einmal mit einem Exoskelett, einem Gurtsystem, das wie ein Rucksack umgeschnallt wurde und die Arme unterstützte, das zweite Mal ohne diese Unterstützung. Zwischen den beiden Runden gab es eine Stunde Pause.

Am Ende eines jeden Durchgangs füllten die Versuchsteilnehmer einen Fragebogen aus, in dem sie beschrieben, wie sie die Belastungen oder Erleichterungen empfanden und welchen Einfluss das Exoskelett auf ihr subjektives Befinden hatte.

### Erste Eindrücke

Tom, Jan Niklas und Lukas waren drei von ihnen. Tom war regelrecht begeistert: »Mit so einem Exoskelett könnte ich einfach noch drei Stunden weiter schweißen.« Auch Jan Niklas meinte: »Ich finde, das Exoskelett ist eine gute Sache. Wenn man kopf-über schweißt, entlastet das die Arme schon sehr.« Nicht ganz so zufrieden war er jedoch mit der virtuellen Umgebung. »Wenn man durch eine normale Schutzscheibe guckt, kann man den Abstand der Elektrode von der Schweißnaht besser einschätzen.«

Das fand auch Lukas: »Der Abstand ist nicht klar.« Aber er war auch nicht besonders glücklich mit seinem Exoskelett: »Es war zwar ein bisschen leichter, die Arme hoch zu halten, aber über dem Kopf zu arbeiten war nicht unbedingt einfacher.«

Warum das EXOWORKATHLON im vergangenen Februar ausgerechnet in Hamburg-Harburg stattfand, erklärte André Quedzuweit, Leiter der Aus- und Weiterbildung bei SLV-Nord: »Wir sehen es als unseren klaren Auftrag, uns an Forschung und Weiterentwicklung zu beteiligen. Zumal wir aufgrund unserer Vernetzung hier in Hamburg sehr gute Kontakte haben und die Forschung deshalb mit vielen Probanden unterstützen können.« Hinzu käme, dass gerade große Firmen auch an der Technik des virtuellen Schweißens sehr interessiert seien, genauso wie an der Gesundheit ihrer Mitarbeiter. Denn gerade ihnen sollen ja die Exoskelette helfen, gesund zu bleiben.

### Weitere Informationen:

<https://www.slv-nord.de>  
[https://ipa.fraunhofer.de/biomechatronische\\_systeme](https://ipa.fraunhofer.de/biomechatronische_systeme)

### Kontakt

Marco Schalk	Ines Schalk
Telefon +49 711 970-1577	Telefon +49 711 970-1421
<a href="mailto:marco.schalk@ipa.fraunhofer.de">marco.schalk@ipa.fraunhofer.de</a>	<a href="mailto:ines.schalk@ipa.fraunhofer.de">ines.schalk@ipa.fraunhofer.de</a>



# Mit Wasserstoff zur Energiewende

»Wasserstoff ist der Energieträger des 21. Jahrhunderts«, da ist sich Friedrich-Wilhelm Speckmann mit fast allen Experten einig. Der Fachmann für Energiespeichersysteme, der am IPA die Wasserstoff-Projekte koordiniert, weiß, dass die Energiewende ohne das leichte Gas nicht gelingen kann. Denn Wasserstoff ist klimaneutral – zumindest, wenn er mit grüner Energie gewonnen wird. Und er bietet alle Vorzüge fossiler Energieträger: Er lässt sich sowohl speichern als auch transportieren, er kann als Brennstoff herkömmliche Kohle und Öl ersetzen und über eine Brennstoffzelle Strom erzeugen. Doch noch erschweren technische Herausforderungen den Durchbruch der Wasserstofftechnologie. Das wird vor allem am relativ hohen Preis für Wasserstoff deutlich. Der muss fallen, um der Wende Schwung zu geben und den hohen Bedarf, der künftig zu erwarten ist, decken zu können.

## Elektrolyseure für grünen Wasserstoff

Derzeit wird der weitaus größte Teil des Wasserstoffs aus Erdgas gewonnen, was nicht klimafreundlich ist. Nur gut fünf Prozent verdienen das Prädikat nachhaltig. Ziel muss es sein, das Gas über die Elektrolyse aus grünem Strom zu erzeugen. Dafür sind viele Windräder und Solaranlagen nötig – so viele, wie Deutschland in absehbarer Zeit nicht vorweisen können. Die Bundesregierung will deshalb einen Teil der benötigten Menge im sonnenreichen Ausland gewinnen und importieren, sei es mit einer Pipeline oder – in flüssiger Form – per Frachtschiff. Auf jeden Fall sind für die Wende große Elektrolyse-Anlagen nötig, die Wasserstoff zu einem vertretbaren Preis aus Wasser herstellen. Das ist auch erklärtes Ziel der Bundesregierung. Dafür müssen Elektrolyseure zu einem erschwinglichen Preis auf dem Markt verfügbar sein. Es müssen also Fabriken entstehen, die hochwertige Elektrolyseure vollautomatisiert und in hoher Stückzahl – und damit preiswert – produzieren.

Mehr auf Seite 13:  
»Elektrolyseure sollen  
Massenware werden«

## Automatisierung durch Roboter

Davon kann derzeit nicht die Rede sein. Die Produktionsstätten gleichen zum Großteil Manufakturen, die für manchen Arbeitsschritt Handarbeit benötigen. Im Schulunterricht lernt man, dass für die Elektrolyse eine Spannung, zwei Elektroden und eine permeable Membran erforderlich sind. Klingt recht einfach. Doch großtechnische Anlagen haben nicht nur andere

Dimensionen als ein Schulversuch, sondern auch einen anderen Aufbau. Dünne Membranen und Bipolarplatten werden hier zu Hunderten aufeinandergelegt, sodass dicke Stapel entstehen. Das vervielfacht die Ausbeute. Die biegsamen Gebilde werden derzeit weitgehend von Hand zusammengelegt. Experten des Fraunhofer IPA wollen diese Arbeit – wie auch alle anderen Arbeitsschritte – Robotern übertragen. Eine heikle Aufgabe, denn die Roboter müssen die weichen Folien sicher handhaben und obendrein möglichst schnell arbeiten, um auf die angepeilten Stückzahlen zu kommen. Die Erfahrungen, die man dabei sammelt, helfen auch bei der Produktion von Brennstoffzellen. Denn auch hier sind Stapel dünner Bauteile nötig. (Siehe Interaktiv 2, 2021, S. 35: »Massenproduktion von Brennstoffzellen wird möglich«)

## Simulation und KI optimieren die Produktion

Neben der Automatisierung sind noch andere Optimierungen möglich, um einen hochwertigen und kostengünstigen Elektrolyseur herstellen zu können. So kann man die Schichtdicke der Folien variieren, die Taktzeiten verändern, andere Materialien für die Katalysatoren verwenden, die Porosität der Schichten ändern und vieles mehr. Alle Möglichkeiten in praktischen Versuchen durchzutesten, würde viel Geld und Zeit verschlingen. Effektiver ist es, mit einer virtuellen Simulation zu arbeiten. Alle Prozessdaten, die ohnehin digital vorliegen, werden dazu in eine Software für elektrochemische Simulationen eingespeist – und mit Hilfe komplexer Modelle generiert der Computer die optimale Lösung für den Aufbau der Fabrik oder die anzustrebenden Produkteigenschaften. Außerdem ist es sinnvoll, von vornherein auf Künstliche Intelligenz zu setzen. So kann die Fabrikationsanlage den gesamten Prozess selbstständig optimieren. Dazu sammeln zahlreiche Sensoren ständig Daten, und ein Algorithmus gleicht sie mit dem erzielten Ergebnis ab. So lernt die Maschine ständig dazu, bis sie die optimalen Parameter gefunden hat.

## Auf dem Weg zur optimalen Fabrik

Die konsequente Digitalisierung macht es auch möglich, einzelne Bauteile an unterschiedlichen Orten zu fertigen – als wäre es eine einzige Fabrik. Dabei sorgt eine digitale Plattform für die nötige Kooperation, sodass es nirgendwo zu einem Stau und einem Engpass an Bauteilen kommt. Sogar der Quantencomputer kann bei Planung der optimalen Fabrik bzw. der Produktoptimierung helfen, denn er löst manche Aufgaben eleganter und schneller als ein herkömmlicher Rechner. Allerdings sind die Geräte noch in der Entwicklung und teuer. Das Fraunhofer IPA hat deshalb Rechenzeit bei IBM





gemietet, um Erfahrungen zu sammeln. Die Experten wollen damit etwa das Alterungsverhalten eines Elektrolyseurs untersuchen. Denn jede Komponente nutzt sich in einem anderen Tempo ab, wobei viele Parameter hineinspielen: von den Kräften, die auf das jeweilige Bauteil einwirken, bis zur Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Bei solchen komplexen Berechnungen kann der Quantencomputer glänzen. Die ersten Ergebnisse werden in den nächsten zwei Jahren erwartet.

Mehr auf Seite 15:  
H<sub>2</sub>Wood – BlackForest:  
Biowasserstoff aus Holzabfällen«

#### Wasserstoff aus Biogas

Grüner Wasserstoff lässt sich nicht nur mit Hilfe der Elektrolyse gewinnen. Auch organische Abfälle können einen Beitrag leisten. Schon heute produzieren Biogasanlagen Methan, aus dem Wasserstoff extrahiert werden kann. Hoffnungen ruhen auch auf Holzabfällen, die in Sägewerken und Papierfabriken oder bei der Verarbeitung zu Möbeln und Baustoffen, aber auch beim Abbruch von Gebäuden anfallen. Auch darin steckt Methan – und letztlich Wasserstoff. Das IPA arbeitet hier mit dem Campus Schwarzwald zusammen, einem Zentrum für Lehre, Forschung und Technologietransfer.

#### Der Verbraucher

Aber wer soll und kann den erzeugten Wasserstoff letztlich nutzen? Das Gas eignet sich nicht für jede Anwendung. So hat sich beim elektrischen Antrieb des PKW die Batterie als Energieträger durchgesetzt, weil sie effizienter arbeitet als eine Brennstoffzelle. Anders sieht es bei Lastwagen aus, deren Hersteller derzeit unterschiedliche Wege einschlagen. Brennstoffzellen für die elektrischen Antriebe könnten hier durchaus eine Alternative sein. Die Industrie, das ist keine Frage, kommt künftig nicht ohne Wasserstoff aus, wenn sie klimaneutral arbeiten will. Vor allem Stahlwerke und die chemische Industrie haben schon einen hohen Bedarf, aber zukünftig werden auch noch andere Branchen hinzukommen.

Auch kleine und mittelständische Betriebe werden um das leichte Gas nicht herumkommen, wenn sie ihre Klimaziele erreichen wollen. »Der Mittelstand kann die Innovationen oft sogar schneller umsetzen als die Großkonzerne«, meint Speckmann. Denn ein großes Stahlwerk muss für die Umrüstung Milliarden investieren und viel Zeit einplanen. Bei kleinen Betrieben genügen überschaubare Lösungen, um Wasserstoff in ihren Fertigungsprozess zu integrieren. Experten des IPA stehen ihnen dabei zur Seite. Denkbar sind viele Möglichkeiten. Wasserstoff kann etwa als Energiepuffer dienen, wenn Schwankungen im Fertigungsprozess die Regel sind. Mit überschüssiger Energie, etwa Abwärme, wird die Wasserstoffgewinnung unterstützt und kann über eine Brennstoffzelle reelektrifiziert werden. Der gewonnene Wasserstoff lässt sich aber auch direkt nutzen, etwa als Treibstoff für Flurförderfahrzeuge, Lastwagen oder als Brenngas.

Sogar Notstromaggregate könnten künftig grün werden. Derzeit dient meist Diesel als Kraftstoff. Warum nicht auf Wasserstoff umsteigen und eine Brennstoffzelle einsetzen? Die Internet-Pioniere Google und Microsoft haben es bereits vorgemacht.

#### Kontakt

Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Speckmann  
Telefon +49 711 970-3690  
friedrich-wilhelm.speckmann@ipa.fraunhofer.de

Mehr auf Seite 17:  
»Grünen Wasserstoff durch  
PEM-Wasserelektrolyse produzieren«

#### Mehr zu #WasserstoffamIPA:

<https://ipa.fraunhofer.de/wasserstoff>

# Elektrolyseure sollen Massenware werden



Elektrolyseur in Haurup bei Flensburg.

**Wer Wasserstoff als Energiequelle nutzen will, braucht Elektrolyseure. Doch die sind rar und teuer, weil sie bisher noch weitgehend von Hand gefertigt werden. Damit sie künftig im industriellen Maßstab produziert werden können, entwickelt ein Forschungsteam am Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion (ZDB) eine durchgängig automatisierte Elektrolyseurfabrik.**

Wasserstoff ist auf der Erde reichlich vorhanden. Allerdings ist er sehr reaktionsfreudig und daher in Molekülen gebunden, in Wasser (H<sub>2</sub>O) zum Beispiel. Wer das gasförmige Element als emissionsfreie Energiequelle nutzen möchte, muss den Wasserstoff also zunächst aus dem Wassermolekül herauslösen. Dafür gibt es sogenannte Elektrolyseure. Sie spalten Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O) auf. Brennstoffzellen können den Wasserstoff wieder in elektrischen Strom umwandeln, der dann Motoren antreibt. Oder der Wasserstoff wird in Hochöfen direkt verbrannt.

Da Wasserstoff bei der Energie- und Verkehrswende eine wichtige Rolle spielt, braucht die Welt in absehbarer Zeit massenhaft neue Elektrolyseure. Doch die werden bisher noch weitgehend in Handarbeit gefertigt, was sehr viel Zeit braucht, teuer und





fehleranfällig ist. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA wollen deshalb zusammen mit Partnern aus Forschung und Industrie die Fertigung von Elektrolyseuren durchgängig automatisieren. »Ziel ist eine automatisierte Elektrolyseurfabrik im Gigawatt-Maßstab«, sagt Friedrich-Wilhelm Speckmann vom Zentrum für digitalisierte Batterie-zellenproduktion (ZDB) am Fraunhofer IPA. »Die hier innerhalb eines Jahres produzierten Elektrolyseure sollen also eine aufaddierte Nominalleistung von mindestens einem Gigawatt haben.«

#### Roboter sollen künftig das Stacking übernehmen

Ein Elektrolyseur besteht aus zwei Elektroden – der positiv geladenen Anode und der negativ geladenen Kathode – und einem Separator, in diesem Fall einer Protonen-Austausch-Membran (PEM). Um die Leistung zu erhöhen, werden viele Elektrolysezellen zu einem sogenannten Stack gestapelt. Dieses Stacking geschieht bisher noch größtenteils in Handarbeit, könnte in Zukunft aber von Robotern erledigt werden.

Weil aber nicht nur das Stacking, sondern die gesamte Produktionslinie automatisiert werden soll, müssen die Forscher auch sämtliche vor- und nachgelagerte Prozesse, bis zum Einfahren der Gesamtsysteme, berücksichtigen. Dabei reichen die Aufgaben von der Fabrik- und Produktionsplanung, über die Bauteiltests bis hin zu den End-of-Line-Prüfständen. Zusätzlich werden im Konsortium auch neuartige Stackdesigns entwickelt, die zukünftige Produktionsverfahren vereinfachen und somit beschleunigen.

#### Fertigungssystemplanung, Roboter und Sensoren für die Elektrolyseurfabrik

Um die automatisierte Elektrolyseurfabrik verwirklichen zu können, bauen die Projektpartner zunächst eine Fertigungsline nach dem aktuellen Stand der Technik auf. Diese wird dann Stück für Stück modular angepasst und erweitert, damit die einzelnen Prozesse besser als bisher ineinandergreifen und automatisiert ablaufen. Dabei klären die Wissenschaftler eine ganze Reihe offener Fragen, zum Beispiel: Welche Robotertopologie eignet sich für das Stacking am besten? Wie muss ein Roboter die Bauteile greifen und wie schnell darf er sich dabei maximal bewegen, um die sensiblen Komponenten nicht zu beschädigen? Welche optischen Sensoren sollen zur Qualitätssicherung in die Anlage integriert werden? Welche Fertigungstechnologien ermöglichen eine Skalierung der Elektrolyseurproduktion? Wie muss eine vollkommen automatisierte Elektrolyseurfabrik aussehen und aufgebaut sein?

Antworten auf diese und viele weitere Fragen will das Forschungsteam bis 31. März 2025 gefunden haben. Dann nämlich läuft das Forschungsprojekt »Industrialisierung der PEM-Elektrolyse-Produktion« (PEPIN) aus, welches das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit über 20 Millionen Euro fördert. Beteiligt sind an dem Verbundprojekt neben dem Fraunhofer IPA auch das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, die MAN Energy Solutions SE, die H-TEC Systems GmbH, die Audi AG, die VAF GmbH, das Zentrum für Brennstoffzellen-Technik GmbH und das Forschungszentrum Jülich GmbH. PEP.IN ist Teil des Leitprojekts »H<sub>2</sub>Giga«, einem von drei Wasserstoff-Leitprojekten, die einen zentralen Beitrag des BMBF zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie bilden.

#### Kontakt

Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Speckmann  
Telefon +49 711 970-3690  
friedrich-wilhelm.speckmann@ipa.fraunhofer.de



## H<sub>2</sub>Wood – BlackForest: Biowasserstoff aus Holzabfällen

**Eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft auf der Basis von Holz ist das Ziel des Verbundprojekts »H<sub>2</sub>Wood – BlackForest«, das vom BMBF mit 12 Millionen Euro gefördert wird. Hierfür entwickelt das Fraunhofer IGB ein biotechnologisches Verfahren, um aus Holzabfällen Wasserstoff und biobasierte Koppelprodukte herzustellen. Beim Projektpartner Campus Schwarzwald in Freudenstadt wird das Verfahren in einer eigens dafür ausgelegten Anlage demonstriert. Um aufzuzeigen, wie der regenerative Energieträger durch lokale Betriebe und Energieversorger genutzt werden kann, erstellen Fraunhofer IPA und die Universität Stuttgart im Projekt eine Wasserstoff-Roadmap für die Schwarzwaldregion.**

Holz ist das wichtigste Wirtschaftsgut des Schwarzwalds. Bei der Verarbeitung zu Möbeln und Baustoffen, aber auch beim Abbruch von Gebäuden fallen regional beachtliche Mengen an Holzabfällen an. Diese werden derzeit zum Teil kostenintensiv entsorgt und in Holzverbrennungsanlagen allenfalls energetisch genutzt.

Auf der anderen Seite gilt grüner Wasserstoff (H<sub>2</sub>), der mittels Elektrolyse von Wasser mit erneuerbaren Energien hergestellt wird, als Schlüsselement der Energiewende. Der Bedarf an regenerativ erzeugtem Wasserstoff für eine klimafreundliche Wirtschaft in Industrie, Verkehr und Wärmeversorgung ist enorm. Deutschland und Europa setzen daher vor allem auf Wasserstoffimporte aus südlichen Ländern mit ganzjährig ausreichender Sonneneinstrahlung.





Seit August 2021 schlägt die Region Schwarzwald einen neuen Weg ein, der die Nutzung regionaler Holzabfälle mit der Herstellung von regenerativem Wasserstoff verbindet. »Nach dem Ansatz der Bioökonomie wollen wir mithilfe biotechnologischer Prozesse klimaneutralen Biowasserstoff sowie zusätzlich verwertbare Stoffe wie Carotinoide oder Proteine aus Altholz und Holzabfällen herstellen«, erläutert Dr. Ursula Schließmann vom Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, die das Bundvorhaben »H<sub>2</sub>Wood – BlackForest« koordiniert. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das Projekt zur Kreislaufwirtschaft regionaler Ressourcen in der Region Schwarzwald bis Mitte 2024 mit rund 12 Millionen Euro.

Partner im Forschungsverbund sind neben dem Fraunhofer IGB auch das Fraunhofer IPA, das Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb IFF der Universität Stuttgart sowie das Centrum für Digitalisierung, Führung und Nachhaltigkeit Schwarzwald gGmbH (Campus Schwarzwald).

#### Kaskadennutzung von Holz ermöglicht Klimaneutralität

»Ziel der Initiative ist es, mithilfe eines umfassenden Konzepts für eine nachhaltige und innovative Versorgung des Schwarzwalds mit Biowasserstoff CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen und die Region bei der Erreichung ihrer Klimaziele zu unterstützen«, führt Stefan Bogenrieder, Geschäftsführer von Campus Schwarzwald, aus. Kohlenstoffdioxid wird dabei auf zweierlei Wegen eingespart: Zum einen ersetzt der regenerative Biowasserstoff bisherige fossile Energieträger, zum anderen werden Rest- und Altholz nicht nur Wasserstoff liefern. Durch den neuen biotechnologischen Ansatz wird die energetische Verwertung der Holzabfälle zu Wasserstoff mit einer stofflichen Nutzung verknüpft. »Das aus dem Holz freigesetzte CO<sub>2</sub> wird in Form von kohlenstoffbasierten Koppelprodukten gebunden und damit zurück in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf geführt«, erläutert Umweltpertin Schließmann.

#### Eine Wasserstoff-Roadmap für die Region Schwarzwald

Welche Mengen an Rest- und Altholz fallen im Holzverarbeitenden Gewerbe und den Kommunen überhaupt an, wieviel Wasserstoff ließe sich daraus erzeugen und wie groß wäre das Einsparpotenzial an CO<sub>2</sub>-Emissionen? Diesen Fragen geht das Projektteam in Potenzialanalysen auf den Grund. Zugleich untersuchen die Partner, wie der erzeugte Wasserstoff am besten gespeichert, transportiert und genutzt werden kann. Denn Wasserstoff ist nicht nur flexibler Energiespeicher, sondern auch als Kraftstoff für Fahrzeuge, Brennstoff für Hochöfen

und Brennstoffzellen sowie als Grundstoff für zahlreiche industrielle Prozesse und chemische Folgeprodukte einsetzbar.

»Hierzu analysieren und bewerten wir den Energieverbrauch der Industrie, der Haushalte sowie des Nah- und Fernverkehrs und leiten daraus Potenziale einer dezentralen Wasserstoff-erzeugung und -nutzung innerhalb der Region Schwarzwald ab«, sagt Dr. Erwin Groß vom Fraunhofer IPA. »Die Ergebnisse aller Erhebungen und Berechnungen fassen wir in einer Wasserstoff-Roadmap für die Region Schwarzwald zusammen«, so Groß.

#### Verfahren und Demonstrationsanlage zur Produktion von Biowasserstoff

Bislang existiert keine Anlage, die Biowasserstoff in größerem Maßstab herstellt. Am Fraunhofer IGB werden daher die dazu notwendigen Prozesse entwickelt und experimentell untersucht, bevor sie in einer integrierten Anlage am Campus Schwarzwald in Freudenstadt umgesetzt werden können. Der erste Schritt und Voraussetzung für die biotechnologische Umwandlung ist die Vorbehandlung des Alt- und Restholzes.

»Wir stehen hier vor einer ziemlichen Herausforderung, denn Holzabfälle aus Hausabbruch, Möbelbau und Baustoffproduktion, darunter Span- oder MDF-Platten, enthalten Klebstoffe wie Harze und Phenole oder auch Lacke. Diese chemischen Bestandteile müssen wir zunächst entfernen, damit die Bakterien und Mikroalgen, also die Akteure der biotechnologischen Wasserstoffproduktion, ihre Arbeit erledigen können«, erläutert Schließmann. Zudem muss das Holz noch in seine Bausteine zerlegt und die hierbei gewonnene Cellulose in einzelne Zuckermoleküle gespalten werden, welche den wasserstoffproduzierenden Mikroorganismen als Futter dienen.

Für die biotechnologische Umwandlung der Holzzucker werden am Fraunhofer IGB zwei Fermentationsverfahren etabliert und miteinander verknüpft. Das eine setzt auf wasserstoffproduzierende Bakterien, welche die Zuckerarten zu CO<sub>2</sub>, organischen Säuren und Ethanol verstoffwechseln. Die Stoffwechselprodukte der Bakterien stellen die Nahrung für die Mikroalgen dar. Diese synthetisieren daraus Carotinoide oder Proteine als Koppel- oder Coprodukte und setzen dabei ebenfalls Wasserstoff frei.

#### Kontakt

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

# Grünen Wasserstoff durch PEM-Wasserelektrolyse produzieren



Grüner Wasserstoff bringt uns einen großen Schritt weiter, um unsere Energieversorgung nachhaltig und unabhängig zu machen. Er wird durch Elektrolyse mit Strom aus volatilen Energieträgern gewonnen. Die gegen Lastwechsel robuste Protonenaustauschmembranelektrolyse (PEM) eignet sich zwar bestens für die Wasserstoffproduktion aus nachhaltigen Energiequellen, hat aber einen gravierenden Nachteil: Die Anoden sind mit Iridium beschichtet – einem der seltensten Elemente überhaupt. Im Forschungsprojekt IREKA arbeitet das Fraunhofer IPA deshalb an galvanischen Abscheidungsverfahren zur Erzeugung von Schichten mit möglichst geringem Iridiumgehalt.

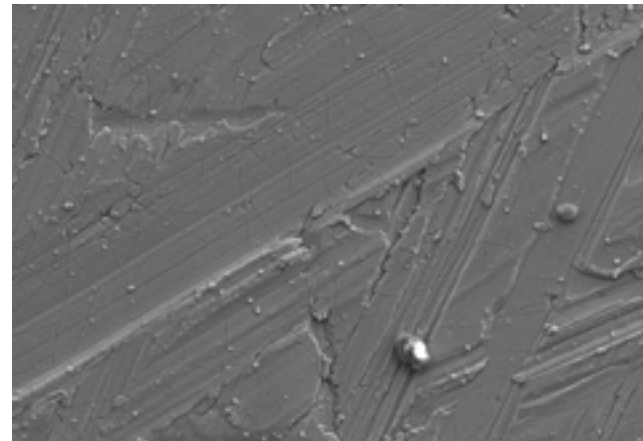
Versuchsaufbau zur Abscheidung von Iridium-haltigen Schichten.

Die EU plant, den Ausstoß an Kohlenstoffdioxid bis 2030 um 55 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren. Dafür muss der Ausbau der erneuerbaren Energien in den nächsten Jahren deutlich beschleunigt werden. Als Folge steigt allerdings die Spannbreite der elektrischen Leistung: Je nachdem, ob die Sonne scheint oder wie der Wind bläst, steht sie unbeständig schwankend zur Verfügung. Das Fraunhofer IPA identifiziert und entwickelt Technologien, mit denen die Energieversorgung durch eine volatile Stromerzeugung möglich wird. Die Erzeugung von grünem Wasserstoff als Speicher für erneuerbare Energie ist ein wichtiger Baustein, um auch zukünftig eine sichere Energieversorgung gewährleisten zu können.

### Lastwechsel als Kriterium für das Elektrolyseverfahren

Mit der alkalischen Elektrolyse (AEL) und der Protonenaustauschmembranelektrolyse stehen kommerziell zwei Niedertemperaturelektrolyseverfahren für die Erzeugung von grünem Wasserstoff zur Verfügung. AEL ist eine etablierte Technologie, um Wasserstoff aus elektrischer Energie zu gewinnen. AEL-Anlagen können großtechnisch angewendet werden und sind häufig für den Dauerbetrieb ausgelegt. Sie haben allerdings den Nachteil, dass sie aktuell weniger gut mit den Lastwechseln und der volatilen Dynamik von erneuerbaren Energieträgern zurechtkommen. Häufige Laständerungen führen zu geringeren Gasqualitäten des Wasserstoffs und mindern die Lebensdauer der Elektrolysezellen, in denen der Elektrolyseprozess in einer wässrigen Kalium-Hydroxid-Lösung stattfindet.

**Die Farbterminologie** von Wasserstoff (grüner, blauer, grauer, blauer, türkiser oder roter Wasserstoff) hängt bei dem farblosen Gas von seiner Herkunft und Erzeugertechnologie ab. Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser erzeugt. Dabei werden Wassermoleküle ( $H_2O$ ) in ihre beiden Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Kommt der dabei eingesetzte Strom aus erneuerbaren Energien ist kein  $CO_2$  entstanden. Der auf diese Weise hergestellte Wasserstoff ist klimaneutral und wird als grüner Wasserstoff bezeichnet. (Quelle: Grüner Wasserstoff mit Offshore-Windenergie – Hintergrundpapier zu den Herstellungsmethoden von Wasserstoff, [www.offshore-stiftung.de](http://www.offshore-stiftung.de))



REM-Aufnahme einer anodisch abgeschiedenen Iridiumoxidschicht.

### Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse

Die Protonenaustauschmembranelektrolyse oder Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (englisch Proton Exchange Membrane Elektrolyse), kurz PEMEL oder PEM, nutzt Zellen mit fester, saurer Protonenaustauschmembran zwischen Elektroden aus Edelmetallen. PEM befindet sich bisher kaum im großtechnischen Einsatz und steht erst am Anfang der Kommerzialisierung. Einzelne Module erreichen derzeit Leistungen bis zu fünf Megawatt – im Vergleich: große Windkraftanlagen erreichen derzeit eine Nennleistung von drei bis neun Megawatt. PEM-Module können aber zu Anlagen mit größerer Gesamtleistung kombiniert werden können.

PEM-Elektrolyseure besitzen eine gute Teillastfähigkeit und können mit hohen Stromdichten bei guten Wirkungsgraden betrieben werden. Sie sind unempfindlich gegenüber Lastwechseln. Insofern eignen sie sich besonders für die Produktion von Wasserstoff mit Strom aus volatilen erneuerbaren Energieträgern. Ein weiterer Vorteil ist der vergleichsweise geringe Platzbedarf von PEM zu AEL.

Die energetischen Wirkungsgrade liegen aktuell bei 60 bis 64 Prozent auf den Heizwert bezogen, bei 71 bis 75 Prozent auf den Brennwert bezogen (Quelle: Grüner Wasserstoff mit Offshore-Windenergie – Hintergrundpapier zu den Herstellungsmethoden von Wasserstoff). Um den Nutzungsgrad der elektrischen Energie zu erhöhen, kann die entstehende Abwärme zum Beispiel in Wärmenetzen genutzt werden. Die Technologie ist jedoch sowohl auf der Kathoden- als auch auf der Anodenseite von Edelmetallen abhängig. Für die Anodenseite weist Iridiumoxid das beste Eigenschaftsprofil aus elektrochemischer Aktivität und Beständigkeit auf. Iridium ist allerdings mit einem Vorkommen in der Erdkruste von 0,000003 Parts per million (ppm) und einer jährlichen Fördermenge von sieben Tonnen (2016) eines der seltensten Elemente überhaupt. Derzeit werden pro Kilowatt Leistung für einen PEM-Elektrolyseur etwa 0,67 Gramm Iridium benötigt, wodurch sehr hohe Materialkosten entstehen. (vgl. Studie IndWEDe)

### Galvanische Verfahren reduzieren Iridium

Um die PEM-Elektrolysetechnik großtechnisch erfolgreich in den Markt bringen zu können, muss der Iridiumeininsatz signifikant reduziert werden. Im Forschungsprojekt »IREKA – Iridium-reduzierte Anodenkatalysatoren für die PEM-Wasserelektrolyse« arbeitet die Abteilung Galvanotechnik des Fraunhofer IPA an der Entwicklung von galvanischen Abscheidungsverfahren zur Erzeugung von Katalysatorschichten: Das Ziel dabei ist, Katalysatormaterialien und -schichten mit einem möglichst geringen Iridiumgehalt zu erhalten. Galvanische Verfahren sind dabei für einen sparsamen Materialeinsatz prädestiniert. Schichten können sehr dünn bis hin zu nur einzelnen Keimen abgeschieden werden, zudem kann die Abscheidung selektiv nur auf den Funktionsflächen erfolgen. Im Projekt sollen drei verschiedene Routen untersucht werden, um den Einsatz von Iridium auf den Anoden zu reduzieren. Dazu gehören die direkte Abscheidung von dünnen Iridium(legierungs-)schichten, die

## Das Forschungsprojekt

IREKA – IRIDIUM-REDUZIERT ANODENKATALYSATOREN FÜR DIE PEM-WASSERELEKTROLYSE

IREKA (Förderkennzeichen: 03HY107B) ist ein Teil des Leitprojekts  $H_2$ Giga, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird.  $H_2$ Giga hat das Ziel, Elektrolyseure technologieoffen zur Serienreife zu bringen. Dabei entwickeln gemeinsam etablierte Elektrolyseurhersteller, Zulieferer aus verschiedenen Technologiebereichen – darunter viele kleine und mittlere Unternehmen – sowie Forschungseinrichtungen und Universitäten bestehende Elektrolysetechnologien weiter.



Makroaufnahmen von iridiumoxidbeschichteten Blechen.

direkte anodische Abscheidung von Iridiumoxid und die Herstellung kleinstskaliger Katalysatorpartikel durch Mikrogalvanoformung.

### Test der Proben und Skalierungskonzept

Die so am Fraunhofer IPA erzeugten Proben werden zur Untersuchung dem Projektpartner vom Leibniz-Institut für Katalyse e. V. übergeben, das diese hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit mit dem geringstmöglichen benötigten Anodenpotenzial zur Erreichung der Arbeitsstromdichte und Langzeitstabilität testet. Eignet sich das Verfahren zur Abscheidung von iridium-reduzierten Katalysatorschichten, erarbeitet das Fraunhofer IPA ein Konzept zur Hochskalierung des Prozesses.

### Kontakt

Dr.-Ing. Stefan Kölle  
Telefon +49 711 970-1786  
[stefan.koelle@ipa.fraunhofer.de](mailto:stefan.koelle@ipa.fraunhofer.de)

**Weitere Informationen** zur Studie IndWEDe – Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland:  
<https://ipa.fraunhofer.de/IndWEDe>



# Ein Tag mit...

*Yağmur Damla Dokur*

**Im Zentrum für Biointelligente Produktion bilanziert Yağmur Damla Dokur den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Produkten, spürt vermeidbare Emissionen im gesamten Produktlebenszyklus auf und sucht nach Wegen, wie sich Wasserstoff aus biologischen Quellen gewinnen lässt. Dass sie privat fürs Auto brennt, ist dabei kein Widerspruch, sondern ihr Antrieb.**

Es sieht aus wie ein Schaltplan, was Yağmur Damla Dokurs Bildschirm anzeigt. Doch mit Elektronik haben all die Linien und Kästchen nichts zu tun. »Das ist die Ökobilanz eines bivalenten Tiegelofens«, sagt die Forscherin vom Zentrum für biointelligente Produktion am Fraunhofer IPA. Ein solcher Ofen kann in Metallgiebereien nicht nur mit verschiedenen Energieformen, etwa Strom und Erdgas, angefeuert werden, sondern er kann auch Schwankungen im Netz ausgleichen.

Dokur kann also berechnen, wie viel CO<sub>2</sub> oder andere Emissionen ein Produkt über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg verursacht. Ihre Mission ist es, den Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren, indem sie vermeidbare Emissionen aufspürt und diese dann ganz oder teilweise beseitigt. So könnten Tiegelöfen in Zukunft mit Wasserstoff betrieben werden. Überhaupt hält Dokur grünen Wasserstoff für eines der großen Zukunftsthemen. Denn das gasförmige Element

könnte überall dort zum Einsatz kommen, wo der Energieverbrauch und damit auch der Ausstoß von Treibhausgasen besonders groß ist: in der Schwerindustrie und im Schwerlastverkehr.

## Früh zeigte sich ihre Vorliebe fürs Auto

Dokur sieht den Klimawandel und andere drängende Umweltprobleme als Ursache für soziale Ungerechtigkeiten – nicht nur über Kontinente, sondern auch über Generationen hinweg. Mit ihrer Arbeit möchte sie dazu beitragen diese Ungerechtigkeiten zu beseitigen. Dieses Bewusstsein für Nachhaltigkeit ist in den vergangenen Jahren in ihr erwacht. Denn in ihrer Kindheit und Jugend machte sie sich über die Umwelt noch keine Sorgen. »Das war damals in der Türkei einfach kein Thema«, erinnert sie sich.

Schon als Dreijährige kannte sie alle Automarken und -modelle mit Namen, die sie in den Straßen Istanbuls sah. Wo sie ihre Vorliebe für das Automobil herhat, ist ihr allerdings nicht bekannt. »Es gibt in meiner Verwandtschaft keine Autoverrückten«, sagt sie.





Dokur spielte als Kind lieber mit Autos als mit Puppen und verbrachte in ihrer Jugend anfangs viel Zeit auf der Kartbahn. Doch ihr Engagement dort ließ mit der Zeit nach. »Ich merkte damals, dass ich lieber mit dem Kopf arbeite, dass es mir mehr Freude macht, Autos zu entwickeln, als mit ihnen im Kreis herumzufahren«, sagt sie heute.

Einmal verbrachte sie ihre Sommerferien in Deutschland, mit der Begründung dort eine Sprachschule besuchen zu wollen. In Wirklichkeit reiste sie mehrere Wochen lang durch die Republik, besuchte Automobilmuseen und Formel-1-Rennen. Dabei kam sie mit anderen Zuschauern ins Gespräch – und so bekam sie schließlich ein zweiwöchiges Schülerpraktikum bei Daimler in Sindelfingen vermittelt.



#### Engagement beim Konstruktionswettbewerb Formula Student Germany

Im Herbst 2013 kam Dokur mit einem Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes wieder nach Deutschland und begann ihr Studium des Wirtschaftsingenieurwesens am Karlsruher Institut für Technologie. Nebenher engagierte sie sich bald beim Konstruktionswettbewerb Formula Student Germany. Im ersten Jahr war sie selbst an der Konstruktion und Fertigung der Rennwagen des Teams »KA-Racelng« beteiligt. Dann übernahm sie dessen Leitung, war unter anderem zuständig für das Projektmanagement und Ansprechpartnerin für Sponsoren und die Universität. Unter Dokurs Führung erlangte KA-Racelng mehrere Teilsiege und den Gesamtsieg mit einem autonom fahrenden Rennfahrzeug.

Ihre ersten Erfahrungen mit wissenschaftlicher Arbeit zu Energie- und Nachhaltigkeitsthemen sammelte sie als studentische Hilfskraft beim Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe. Ihre Masterarbeit schrieb sie schließlich beim Porsche-Entwicklungszentrum in Weissach, wo sie sich mit der Nachhaltigkeit der additiven Fertigung beschäftigte. Dabei erstellte sie ihre erste Ökobilanz. Das machte ihr Spaß und deshalb wechselte sie im Dezember 2021 zum Fraunhofer IPA.

#### Mobilität soll umweltfreundlicher werden

Wendet sie sich also allmählich ab vom Auto? Nicht wirklich. »Ich kann mich nach wie vor für Autos begeistern«, sagt Dokur, »und ich fände es schade, wenn wir uns in Zukunft hinsichtlich unserer Mobilität einschränken müssten. Genau deshalb arbeite ich daran, sie über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg umweltfreundlicher zu gestalten.« Mit einer energieeffizienten Produktion zum Beispiel.

Oder mit klimaneutralen Antrieben wie Wasserstoff. Das nämlich ist ihr zweites großes Forschungsthema am Fraunhofer IPA. Unter der Leitung ihres Kollegen Johannes Full und zusammen mit weiteren Forscherinnen und Forschern vom benachbarten Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB sucht sie nach Wegen, wie sich Wasserstoff durch Bakterien und aus Holzabfällen oder Industrieabwasser gewinnen lässt. Mehrere dieser Verfahren, mit denen sich dieser sogenannte Biowasserstoff produzieren lässt, konzipiert und bewertet Dokur derzeit zusammen mit ihren Kolleginnen und Kollegen. Das vielversprechendste Verfahren soll dann in einer Demonstratoranlage umgesetzt werden.

Die Fähre, die Dokur als Schülerin über den Bosphorus zur Schule brachte und dabei eine rußig-schwarze Rauchwolke hinter sich herzog, könnte dann in Zukunft mit sauberem Biowasserstoff angetrieben werden.

# Brennstoffzellen machen künftig Dieselgeneratoren überflüssig

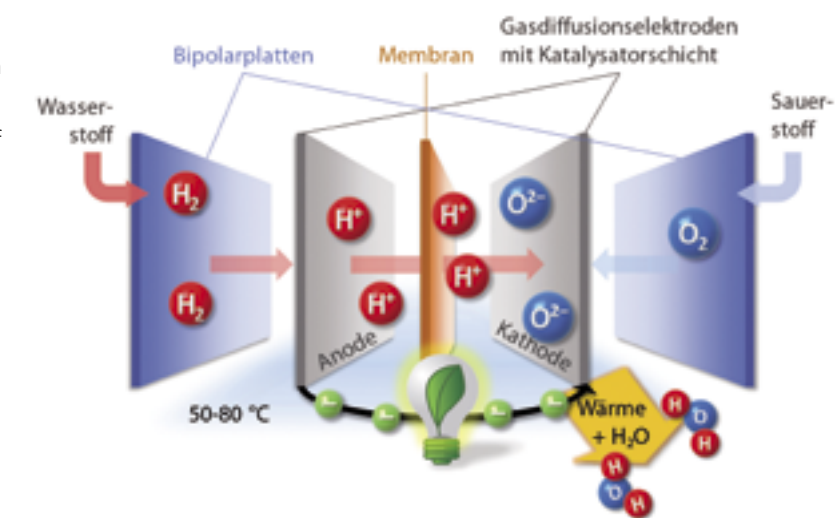
**Dieselgeneratoren übernehmen in Entwicklungs- und Schwellenländern oft die lokale Stromversorgung – und pusten Millionen Tonnen Treibhausgase in die Atmosphäre. Um diese Emissionen künftig einzusparen, entwickelt ein Forschungsteam am Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion (ZDB) einen Stromgenerator, der mit Wasserstoff betrieben wird.**

Dass jeder Haushalt an das Stromnetz angeschlossen ist und Stromausfälle die absolute Ausnahme sind, ist in Deutschland eine Selbstverständlichkeit. Doch in weiten Teilen der Welt sieht es ganz anders aus: Eine flächendeckende Stromversorgung gibt es oft nicht, sondern allenfalls instabile regionale Netze. Allein in Indien sind noch immer 100 Millionen Menschen gar nicht an das Stromnetz angeschlossen. Viele Unternehmen werden dort nicht von Kraftwerken, sondern von Dieselgeneratoren mit Strom versorgt. Zusammen verursachen sie ungefähr 940 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>, stellen mit 140 Gigawatt aber nur 30 Prozent der Elektrizität bereit. Weil Kraftstoff in Indien mancherorts Mangelware ist und häufig entwendet wird, gibt es täglich Stromausfälle, die acht Stunden oder länger dauern.

Langfristig müssen die Dieselgeneratoren durch emissionsfreie Alternativen ersetzt werden. Dafür kommen insbesondere Brennstoffzellen in Frage. Technisch und wirtschaftlich bieten Brennstoffzellen aufgrund ihrer Systemeigenschaften eine sinnvolle Alternative zu Batteriesystemen, insbesondere in der Not- und Ersatzstromversorgung. Ein Forschungsteam vom Fraunhofer IPA sowie vom Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Universität Bayreuth will deshalb gemeinsam mit der CBC GmbH & Co. KG aus Ibbenbüren in den kommenden drei Jahren einen dezentral arbeitenden Stromgenerator auf Brennstoffzellenbasis entwickeln und im Praxiseinsatz testen.

#### Kreislaufkonzept verlängert Nutzungsphase

Die Brennstoffzelle müssen die Wissenschaftler dafür natürlich nicht neu entwickeln, wohl aber die gesamte Peripherie wie beispielsweise Wärmetauscher, Luftfilter oder Pufferzelle. Größe und Kapazität der einzelnen Komponenten müssen sie so aufeinander abstimmen, dass der Generator zuverlässig Strom erzeugt. Dazu braucht es auch eine Batterie. »Sie muss immer dann einspringen, wenn mehr Strom nachgefragt wird als die Brennstoffzelle liefern kann«, erklärt Friedrich-Wilhelm Speckmann vom ZDB am Fraunhofer IPA. »In ruhigeren Phasen wird der Batteriespeicher mit überschüssigem Strom wieder aufgeladen.«



So ist eine Brennstoffzelle aufgebaut: Über die beiden Bipolarplatten werden Wasserstoff und Sauerstoff eingeleitet, in der Membran-Elektrodeneinheit reagieren die beiden Gase miteinander zu Wasser. Bei dieser chemischen Reaktion wird Energie in Form von elektrischem Strom und Wärme frei.



Überhaupt muss die gesamte Anlage den Verhältnissen in Indien angepasst werden. Dazu gehört neben extremen Umweltbedingungen mit Temperaturen bis zu 50 Grad Celsius auch eine möglichst lange und kostengünstige Nutzungsphase. Das Forschungsteam wird deshalb auch ein Kreislaufkonzept entwickeln, das auf die dezentrale Stromversorgung zugeschnitten ist. »Dazu gehören zunächst vorausschauende Wartungs- und Servicemaßnahmen«, sagt Jan Koller von der Projektgruppe Prozessinnovation in Bayreuth, die zum Fraunhofer IPA gehört. »Langfristig ist aber auch die Wiederverwendung und Refabrikation der einzelnen Bauteile wichtig.«

Für die Testphase sucht das Forschungsteam derzeit noch einen geeigneten Partner und Standort in Indien und wird dabei von der Deutsch-Indischen Handelskammer (AHK Indien) unterstützt. Zu Vergleichszwecken wird ein zweiter Prototyp bei der Firma CBC im nordrhein-westfälischen Ibbenbüren in Betrieb genommen.

#### Baukastenprinzip ermöglicht vielfältige Anwendungen

Die Demonstratoranlage wird nach dem Baukastenprinzip aufgebaut sein. Damit wird später auf einfache Art und Weise die Produktion skalierbarer und vielfältig verwendbarer, dezentraler Stromgeneratoren möglich. Dadurch sinken am Ende auch die Produktionskosten und die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Dieselgeneratoren steigt. Denn auf der Grundlage des Prototyps sollen später auch Notstromaggregate oder mobile Generatoren für humanitäre Hilfsaktionen entwickelt werden. Gleichzeitig wird der Prototyp auch als Basis für die Entwicklung von Schnellladestationen dienen, an denen batteriegetriebene Maschinen aufgeladen werden können. Damit ist ein umfassender Einsatz der Brennstoffzellentechnologie in Regionen mit fehlender oder instabiler Stromversorgung gewährleistet.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) fördert das Forschungsprojekt im Rahmen des Programms »Exportinitiative Umwelttechnologien« in den kommenden drei Jahren mit insgesamt rund 1,62 Millionen Euro.

#### Kontakt

Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Speckmann  
Telefon +49 711 970-3690  
friedrich-wilhelm.speckmann@ipa.fraunhofer.de

Jan Koller  
Telefon +49 921 78516-434  
jan.koller@ipa.fraunhofer.de

# Grüner Wasserstoff macht Industriestandorte resilient

## Grüner Wasserstoff, der dezentral mit Hilfe regenerativer Energiequellen erzeugt wird, hat das Potenzial, den Energiebedarf von Industrie und Schwerkraft regional zu decken. Zu diesem Ergebnis kommt eine Studie des Fraunhofer IPA, die jetzt veröffentlicht wurde.

»Die Nutzung von grünem Wasserstoff ist ökologisch und ökonomisch sinnvoll«, davon ist Dr. Jürgen Henke überzeugt: »Wasserstoff, der mit Hilfe regenerativer Energien gewonnen wird, lässt sich für verschiedene industrielle Prozesse nutzen, die Herstellung ist klimaneutral und verringert die Abhängigkeit von Gasimporten.«

In der jetzt erschienenen Studie »Industrielle Wasserstoff-Hubs in Baden-Württemberg«, kurz I-H<sub>2</sub>-Hub-BW, hat Henke zusammen mit seinem Team eine Fülle von Daten zusammengetragen und ausgewertet. Das Ergebnis: Dezentrale Wasserstoffherzeugung und Nutzung zahlt sich aus, wenn man die Verteilerzentren, englisch Hubs, richtig platziert.

#### Transportkosten sparen durch dezentrale Herstellung

»Das Ziel der Studie war es, Kriterien für die Standortauswahl zu erarbeiten«, erläutert der Forscher. An erster Stelle steht hier die Verfügbarkeit von Ökostrom, der vor Ort mit Photovoltaik, Wind- oder Wasserkraft gewonnen werden kann. Mit dem Ökostrom werden in den Hubs die Elektrolyseure betrieben, die Wasser in seine Bestandteile zerlegen. Um Transportkosten zu vermeiden, müssen die Hubs möglichst nahe bei den Verbrauchern stehen. Das zweite wichtige Kriterium für die Standortwahl ist daher der Bedarf der ortsansässigen Industrie an Prozesswärme, Hochtemperaturprozessen und Wasserstoffgas, beispielsweise für die Herstellung von Stickstoffdünger. Und auch die Infrastruktur ist wichtig: Ideale Standorte befinden sich in der Nähe stark befahrener Straßen mit Lkw-Betriebshöfen, an denen Wasserstoff-Tankstellen eingerichtet werden können.

Mit Hilfe der Standort-Kriterien konnte das Forscherteam in Baden-Württemberg mögliche Standorte identifizieren – allen voran die Metropolregion Rhein-Neckar sowie den Großraum Karlsruhe. Die Gewinnung der regenerativen Energie sei hier kein Problem, betont Henke: »Wir sind das sonnenreichste Bundesland. Wenn man die Freiflächen entlang der Bundesstraßen und Autobahnen und vielleicht auch noch die Dächer der Industriebetriebe mit Photovoltaik bestückt, kommt genügend zusammen.« Auch Abnehmer für den grünen Wasserstoff gibt es in den Modellregionen in großer Zahl: Logistikunternehmen, die große Lkw-Flotten betreiben, chemische Industriebetriebe und Papierfabriken könnten das Gas direkt oder indirekt für ihre Prozesse nutzen.

#### Eine Win-win-Situation für Unternehmen und Gesellschaft

Mit Hilfe von Computersimulationen konnten die Forscher am Fraunhofer IPA zeigen, dass sich mit regional erzeugtem grünem Wasserstoff innerhalb von zehn Jahren 30 Prozent der fossilen Energie ersetzen lassen, und das nur bei Nutzung der landeseigenen Freiflächen. »Die Investitionen würden sich also innerhalb weniger Jahre amortisieren. Wenn die Gaspreise weiter steigen, geht es noch schneller. Und wenn die Kosten für die Elektrolyseure, die bisher noch nicht in Groß-Serie hergestellt werden, durch eine künftige optimierte Produktion sinken, wird der Aufbau von Wasserstoff-Hubs noch schneller rentabel«, resümiert Henke.

Profitieren könnte von der dezentralen Versorgung mit grünem Wasserstoff nicht nur die Industrie, sondern auch die Gesellschaft als Ganze, betont der Forscher: Die Unternehmen würden unabhängiger von krisenbedingten Preissteigerungen und Engpässen bei der Energieversorgung – könnten also ihre Resilienz steigern; Arbeitsplätze würde damit sicherer; die Luft besser, weil weniger oder keine fossilen Rohstoffe mehr verbrannt würden; und auch die Emission von Treibhausgasen würde verringert.

In der Studie, die durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg gefördert wurde, wurden zwar nur Standorte innerhalb Baden-Württembergs untersucht. Doch das Modell könnte Schule machen. »Die Methodik, die wir entwickelt haben, lässt sich auf jedes andere Bundesland und jede andere Region Europas übertragen«, erklärt Henke.

#### Kontakt

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

#### Link zum Download der Studie:

<https://www.ipa.fraunhofer.de/de/Publikationen/studien/I-H2-Hub-BW.html>



Schlau prüfen und verpacken:

# KI optimiert End-of-Line-Prozesse

**Die Qualitätssicherung und das Verpacken von Bauteilen am Ende der Produktion sind bisher ein aufwendiger, manueller Prozess. Die gemeinsamen Arbeiten vom Fraunhofer IPA und der Witzemann GmbH aus Pforzheim zeigen, wie Künstliche Intelligenz (KI) diese Arbeitsschritte automatisieren kann.**

KI ist in aller Munde und das zu Recht, wie zahlreiche Studien belegen. Um nur ein Beispiel zu nennen: Das »McKinsey Global Institute« geht davon aus, dass das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland dank KI-Technologien bis 2030 jährlich um 1,3 Prozentpunkte steigen dürfte. Zum Vergleich: Andere Technologien sorgten für geringere Wachstumsschübe als KI, die Dampfmaschine beispielsweise für 0,3 Prozentpunkte oder die Industrierobotik für 0,4 Prozentpunkte. Damit diese Wachstumsschübe tatsächlich möglich werden, muss KI allerdings insbesondere im Mittelstand ankommen.

## KI in den Mittelstand bringen

Hierfür einen entscheidenden Beitrag zu leisten ist das Ziel des 2019 eröffneten KI-Fortschrittszentrums »Lernende Systeme und Kognitive Robotik« der Fraunhofer-Institute für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und IPA. Gefördert vom Land Baden-Württemberg bietet es verschiedene Formate zur Zusammenarbeit speziell für den Mittelstand in den Branchen Dienstleistung und Produktion an. Diese reichen von kurzen Machbarkeitsuntersuchungen oder »Quick Checks« bis zu Zusammenarbeiten über mehrere Monate, deren Ziel der Aufbau eines KI-basierten Demonstrators ist.

Die Witzemann GmbH bewarb sich zunächst um einen Quick Check mit dem Ziel, Möglichkeiten zur Automatisierung der End-of-Line-Prozesse mithilfe von KI aufgezeigt zu bekommen. Das Unternehmen ist ein weltweit agierender Hersteller von flexiblen, metallischen Elementen. Mit einigen Hochlohnstandorten im Produktionsnetz ist eine durchgängige Prozessautomatisierung entscheidend, um den wirtschaftlichen Betrieb zu sichern. Die Kontrolle und Verpackung von fertigen Bauteilen zum Beispiel wird allerdings momentan noch manuell und

somit kostenintensiv erledigt. Das bedeutet: End-of-Line verpackt der Mitarbeiter das Produkt sorgsam in der vorgegebenen Stückzahl in die Transportverpackung, zum Beispiel eine Gitterbox, und macht parallel auch eine finale Sichtprüfung.

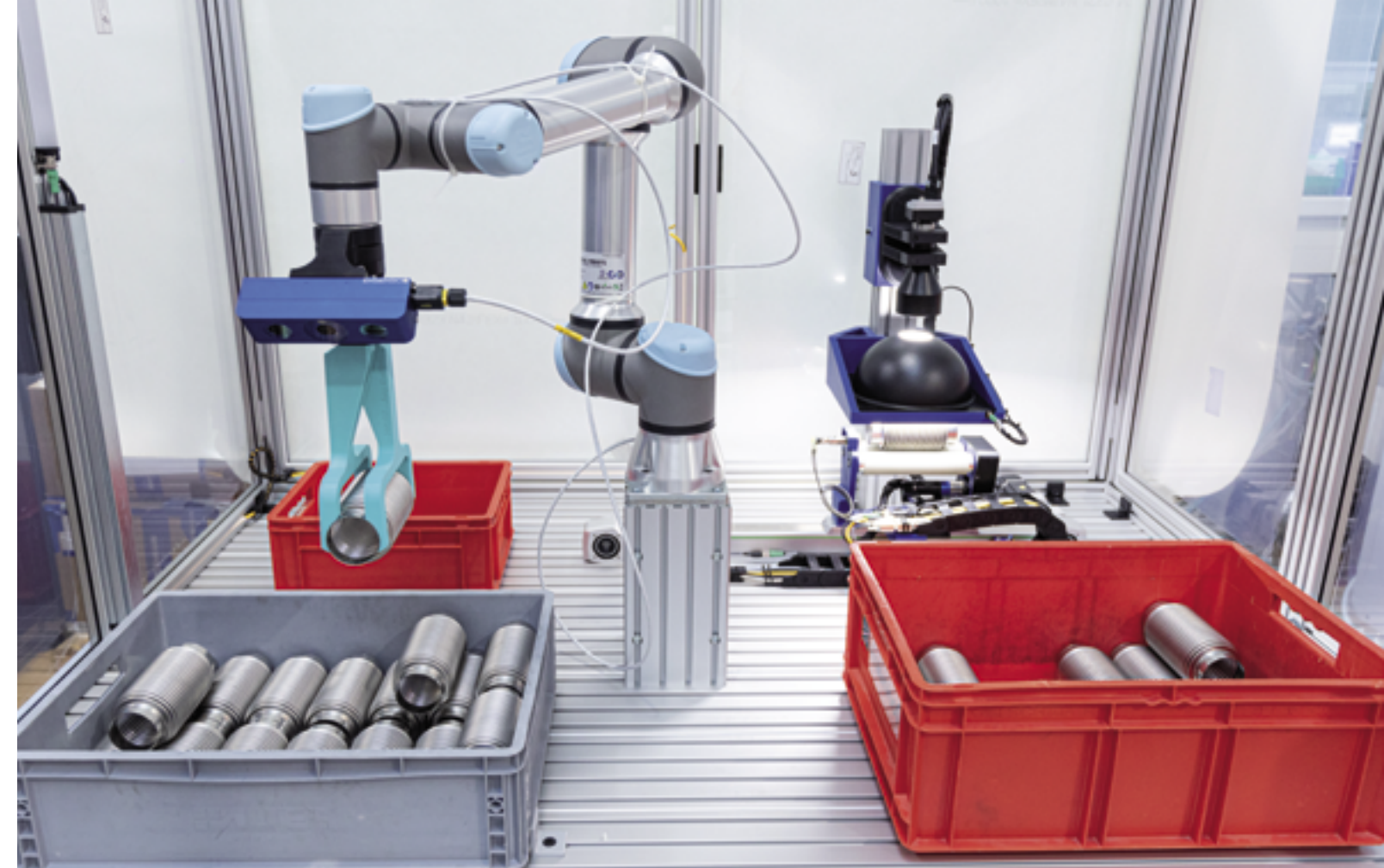
## Ansprüche an eine Automatisierung

Da dies die letzte Instanz vor dem Endkunden ist, ist es sehr wichtig, diesen Schritt präzise auszuführen. Entsprechende Automatisierungslösungen benötigen daher eine zuverlässige optische Qualitätskontrolle und Algorithmen zum Ablegen von Bauteilen in Gitterboxen. Herausfordernd dabei: Die Bauteile sind teilweise beweglich und nicht formstabil. Stand heute ist eine solche Automatisierungslösung nicht standardmäßig auf dem Markt verfügbar. Obwohl das wirtschaftliche Potenzial für eine Automatisierung des Prozesses auf den ersten Blick vorliegt, erfolgt der Verpackprozess End-of-Line daher in vielen Produktionen noch manuell.

Der Quick Check ergab, dass KI-Technologien eine automatisierte Qualitätskontrolle und das roboterbasierte Verpacken der Bauteile (»Bin Packing«) ermöglichen können. Forschungsbedarfe bestanden für die KI-gestützte Fehlerklassifizierung in Kombination mit automatisierten Bin-Packing-Applikationen und intelligenter Packbild-Generierung zur Roboterautomatisierung.

## KI-basierte Bildverarbeitung und Robotik

Da dieser Anwendung bei Witzemann und im produzierenden Gewerbe allgemein hohe Relevanz zugesprochen wurde, hat das Fraunhofer IPA die Anwendung in einem ebenfalls geförderten »Exploring Project« tiefer untersuchen und die



*Mithilfe von KI wird eine automatische Qualitätsprüfung und das roboterbasierte Einpacken der produzierten Güter möglich.*

genannten Forschungsbedarfe adressieren können. So wurden am Institut in einer Prüfvorrichtung für verschiedene Bauteile, etwa für Bälge, Aufnahmen mit einer Zeilenkamera gemacht und diese Aufnahmen dann annotiert. Um die für maschinelles Lernen erforderliche Datenmenge zu bekommen, ohne besonders viel Zeit investieren zu müssen, vergrößerten die Forscher den Datensatz mittels sogenanntem »Data Augmentation«, indem sie vorhandene Bilder automatisiert variierten, beispielsweise mittels Rotieren, Spiegeln oder dem Aufaddieren von Rauschen. Für die Auswertung der Bilder haben die Forscher ein neuronales Netz entwickelt und trainiert, das zwischen fehlerbehafteten und fehlerfreien Bauteilen unterscheiden kann. Mögliche Fehlertypen sind zum Beispiel Beschädigungen der Schweißnaht oder des Materials.

Für das Verpacken der Bauteile integrierte das Institut Module seiner Software »bp3™« in die Bin-Packing-Anwendung bei Witzemann. Die Software ist als Lizenz verfügbar und bereits in verschiedenen Produktionen im Dreischichtbetrieb für Griff-in-die-Kiste-Anwendungen, also das Gegenteil vom Verpacken, im Einsatz. Da es für das Verpacken der Bauteile kein vorgegebenes Muster gibt und auch die Variantenzahl hoch ist, soll ein KI-basierter »Lagengenerator« geeignete Ablage-

positionen in der Kiste für den Roboter ermitteln. Diese KI-basierte Software wird in einer Simulationsumgebung trainiert. Hierfür wird »Reinforcement Learning«, also ein Lernverfahren nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum, eingesetzt und die KI-basierte Software für erfolgreiches Ablegen »belohnt«.

Witzemann hat sich auch für das letzte Förderformat, die Entwicklung eines Demonstrators, beworben und eine Zusage erhalten. Der Demonstrator wird bei Witzemann in einer internen Ausstellungsumgebung aufgebaut, wo er interessierten Mitarbeitern zur Verfügung steht und zu Anschauungs- und Schulungszwecken genutzt werden kann. Die Zusammenarbeit des Mittelständlers mit dem Fraunhofer IPA ist somit schon jetzt ein gelungenes und eines von zahlreichen erfolgreichen Beispielen des KI-Fortschrittszentrums für den Transfer von KI-Technologien in die Praxis.

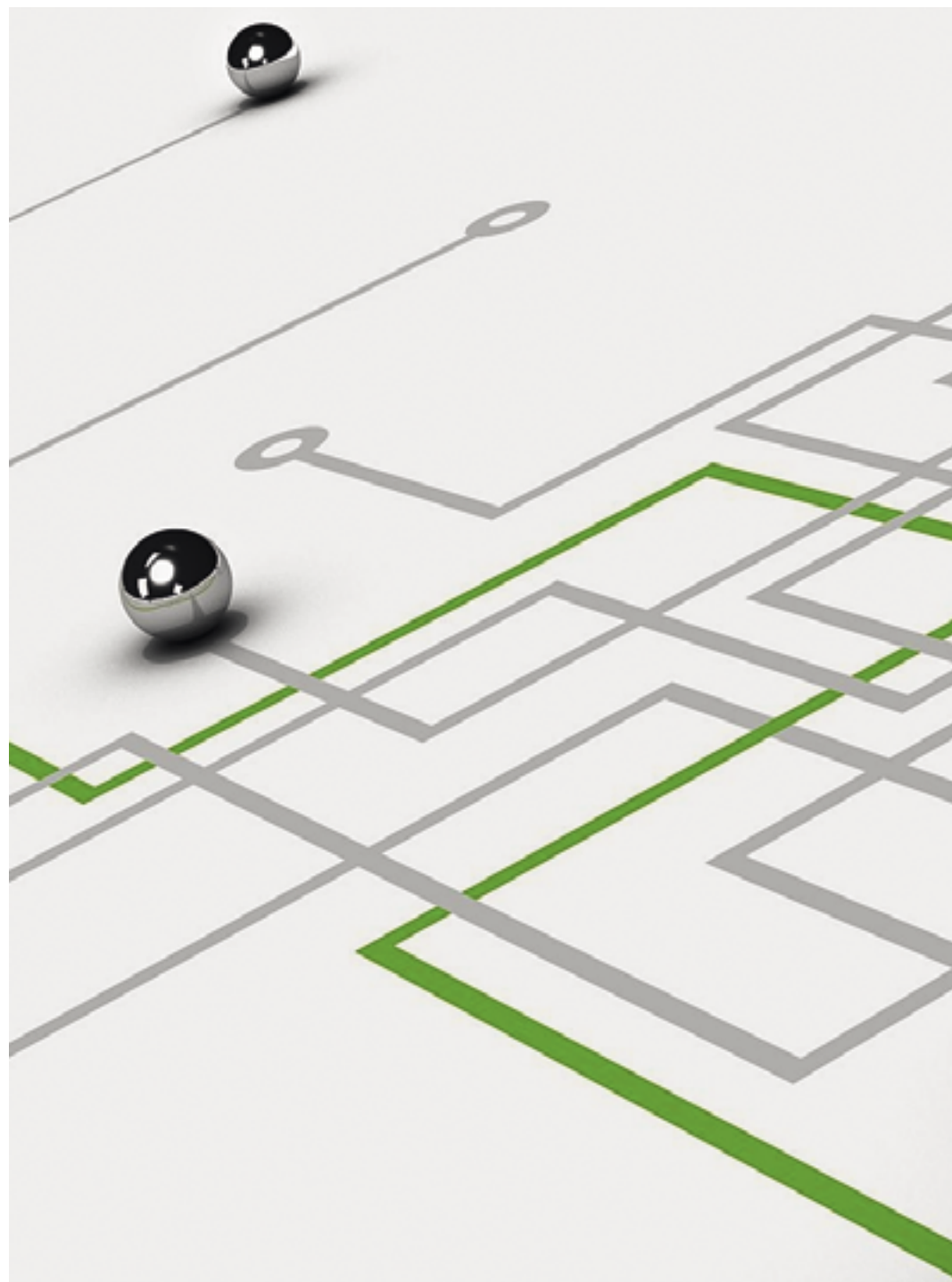
## Kontakt

Andreas Frommknecht  
Telefon +49 711 970-1818  
andreas.frommknecht@ipa.fraunhofer.de



# »Um wettbewerbsfähig zu bleiben, muss man Strukturen anpassen«

**Agile Supply Chain – Quo Vadis? Ist die Vision aus den 1990er Jahren bereits gelebte Realität? Wo stehen wir heute, wohin geht die Reise zukünftig? Interaktiv begibt sich auf Spurensuche, mit zwei Experten, die Antworten geben. Angelika Bittner von SEW-EURODRIVE schildert ihre Sicht auf die Dinge aus Einkaufssicht. Christian Fries vom Fraunhofer IPA nähert sich dem Thema aus wissenschaftlicher Perspektive. Ein Deep Dive für Vordenker und Mitgestalter.**



*Frau Bittner, was macht für Sie eine agile Supply Chain aus?*

*Angelika Bittner:* Eine durchgängig vernetzte Wertschöpfungskette – sowohl innerhalb des Unternehmens als auch mit allen externen Akteuren wie Lieferanten und Kunden. Im Zielbild geht es schließlich um das Zusammenspiel zwischen diesen Akteuren: ein starkes Netzwerk mit digital gesteuerten Prozessen und gleichzeitig einem hohen Grad an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit in der Supply Chain, um bei volatilen Marktbedingungen schnell agieren zu können, im besten Fall präventiv.

*Wie weit hat SEW-EURODRIVE dieses Zielbild umgesetzt?*

*Angelika Bittner:* Wir sind im Realisierungsmodus. Bereits sehr früh hat unsere Geschäftsführung mit der Einführung des Lean Managements und der Weiterentwicklung nach der Industrie-4.0-Philosophie die Voraussetzungen für eine agile Supply Chain geschaffen. Daran knüpfte 2019 die unternehmensweite digitale Transformationsstrategie an. Ziel ist es, eine »atmende« Wertschöpfung aufzubauen. In diesem Rahmen beschäftigt sich der bereichsübergreifende Think Tank für agiles Supply Chain Management mit Vertretern aus Fertigung, Intralogistik, Disposition, Einkauf und IT.

*Wie viel Struktur vs. Freiheit braucht eine »atmende« Wertschöpfung?*

*Angelika Bittner:* Strukturell gilt es aus Einkaufssicht, eine resiliente Lieferantenbasis aufzubauen. Das ist das Grundgerüst. Partnerschaften zu haben, auf die man schnell und flexibel zugreifen kann. Das gilt im Übrigen auch für die Fertigungs- und Montageprozesse. Als Dirigenten der Wertschöpfung haben sogenannte Smart Factory Units neben der gegebenen Struktur auch einen hohen Grad an Freiheit. Auftragschwankungen, Störungen oder Sonderausführungen werden durch in einer Matrix angeordnete, autonome Prozessmodule eigenständig von diesen Einheiten gesteuert und bilden somit einen sehr wandlungsfähigen Materialfluss.

**»Es gibt nie ein Ende bei der Optimierung der Prozesse«**



*Angelika Bittner ist Gruppenleiterin Analytik & Prozesse Einkauf bei SEW-EURODRIVE in Bruchsal. Zusammen mit dem VDMA und dem WBK (KIT) hat sie in einem bereichsübergreifenden Arbeitskreis bei dem Leitfaden Antriebstechnik 4.0 mitgewirkt. Als Mitglied im Think Tank Agiles Supply Chain Management, initiiert durch das Digital Transformation Office von SEW-EURODRIVE, geht sie weit über das Thema Lean Management hinaus. Ziel ist es, durch eine durchgängig vernetzte und wandlungsfähige Wertschöpfungskette kürzere Auslieferungszeiten zu realisieren.*

*Spielt Unternehmensgröße bei der Umsetzung einer agilen Supply Chain eine Rolle?*

*Angelika Bittner:* Nein, aus meiner Sicht nicht. Egal ob mit Großkonzern oder KMU: Mit einem professionellen Lieferanten-Management ist eine Zusammenarbeit auf Augenhöhe, unabhängig von Unternehmensgröße, möglich. Dass dies funktioniert, sieht man an der täglichen Arbeit des Facheinkaufs und dessen Schnittstellen.

Herr Fries, wie viel Dynamik steckt in diesem Thema?

*Christian Fries:* Grundsätzlich kann man sagen, dass das Lieferkettenthema durch Corona einen immensen Auftrieb erlebt hat. Auf Forschungsseite haben wir uns bereits vor der Pandemie intensiv mit dieser Thematik, auch unter Berücksichtigung von Flexibilitätsaspekten, auseinandergesetzt. Da lag auf Kunden- und Lieferantenseite eher der Fokus auf der Kostenminimierung, weniger auf der Steuerung und Flexibilität der Lieferkette. Aktuell liegt hier der Schwerpunkt. Es geht also nicht mehr nur primär darum, die Total Costs zu minimieren, sondern das Liefernetzwerk intelligent zu vernetzen, zu planen und zu steuern, um so zukünftig flexibler agieren zu können.

Die gesammelten Erfahrungen helfen also in der aktuellen Situation?

*Christian Fries:* In jedem Fall. Seit vielen Jahren analysieren wir in Kundenprojekten Lieferketten, nicht nur aus Struktursicht, sondern vor allem aus der Planungs- und Steuerungssicht. Dabei schauen wir auch, wie wir die Flexibilität abbilden und am Ende auch bepreisen können. Denn aus Kundensicht muss sich Flexibilität unterm Strich auch finanziell lohnen. Hinzu kommt, dass sich das Mindset anpassen muss. Flexible Konzepte rechnen sich nur dann, wenn die Flexibilitätsaspekte auch in den Business Cases abgebildet werden.

**»Intelligent planen und steuern, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern«**

Die Studie »Supply Chain Management 2040« skizziert Megatrends. SEW-EURODRIVE: mittendrin und voll dabei?

*Angelika Bittner:* Ja, in der Tat, wir sind mitten-

drin und uns dessen auch bewusst, was auf uns zukommt, und SEW versucht jetzt schon, diese Megatrends zu berücksichtigen. Beispiel: demografischer Wandel. Bei allen digitalen Projekten ist es unser Auftrag, die Menschen mitzunehmen, gedanklich wie prozessual. Hier gilt es, Ängste zu nehmen, Aufklärungsarbeit zu leisten und immer wieder die Vorteile in den Vordergrund zu rücken. Auf den Punkt gebracht: Durch eine Erhöhung der Automatismen soll die Arbeit des Einzelnen unterstützt werden, um sich für zukünftige neue Anforderungen wappnen zu können.



*Christian Fries ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fabrikplanung und Produktionsmanagement am Fraunhofer IPA. Dort beschäftigt er sich mit Themen aus den Bereichen Supply Chain Management, Logistik, Fabrikplanung sowie Produktionsplanung und -steuerung.*

Was genau meinen Sie mit Erhöhung der Automatismen?

*Angelika Bittner:* Aus Beschaffungssicht geht es zum einen um die werkübergreifende Standardisierung und Digitalisierung der Prozesse intern, end-to-end und bereichsübergreifend. Das stellt die Basis für den weiteren Ausbau der Automatisierung der Beschaffungsprozesse dar. Zusätzlich steht für uns im Einkauf der weitere Ausbau weltweit agierender strategischer Partnerschaften mit Zulieferern im Fokus. Damit schaffen wir ein elementares Grundgerüst für automatisierte Abläufe in der Supply Chain. Dafür ist es u. a. notwendig, das Lieferantenmanagement weltweit in der SEW-Gruppe zu vereinheitlichen.

War es bis dato nicht vereinheitlicht?

*Angelika Bittner:* Bislang erfolgte die Lieferantenperformance-Messung dezentral, in den Einkaufseinheiten der globalen Produktionsstandorte, teilweise nach unterschiedlichen länderspezifischen Parametern. In einem aktuell laufenden globalen

Projekt werden nicht nur die KPIs weltweit standardisiert, sondern in diesem Zuge erfolgt auch eine Datenharmonisierung. Damit leisten wir wesentliche Vorarbeiten, um nicht nur ein global ausgereiftes und präventives Risikomanagement zu installieren – im Sinne resilienter Lieferketten, sondern stellen auch die Weichen für die Weiterentwicklung der automatisierten Lieferantenkommunikation weltweit.

**»Expertise aus dem Einkauf ist mehr gefragt denn je«**

Was uns zum nächsten Megatrend, dem Dauerbrenner Globalisierung, bringt ...

*Angelika Bittner:* Durch die Corona-Pandemie haben wir gesehen, welche Abhängigkeiten zu Ländern wie beispielsweise China bestehen oder wie kurzfristig Lieferketten abreißen, wenn Ländergrenzen von heute auf morgen geschlossen werden. Daran hätte vor ein paar Jahren niemand gedacht. In Zukunft müssen wir uns neu ausrichten, auch im Hinblick auf steigende Transport- oder Energiekosten sowie die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Früher hieß es immer, der Absatzmarkt steuert die Supply Chain. Heute rückt die Beschaffungsseite stärker in den Fokus. Ich sehe darin eine große Chance, aber auch die Notwendigkeit, dass alle Fachbereiche eines Unternehmens noch verzahnter miteinander zusammenarbeiten – unter anderem auch deshalb, weil die Expertise aus dem Einkauf mehr denn je gefragt ist.

Braucht es bei so viel Weitblick überhaupt Unterstützung von Forschungsseite?

*Christian Fries:* Unabhängig davon, wie gut Unternehmen aufgestellt sind, dienen wir immer als guter Sparringpartner. Ohne uns auf die Schulter zu klopfen, haben wir das in unterschiedlichsten Projekten unter Beweis gestellt und bekommen das auch direkt als Feedback aus dem Markt zurückgespielt. Unsere Aufgabe ist es ja, zum einen neutral die Vogelperspektive einzunehmen, salopp gesagt dem Thema »Betriebsblindheit« entgegenzuwirken, um damit zum anderen neue Sichtweisen und Impulse zu liefern.

*Angelika Bittner:* Ich kann dem nur zustimmen. Expertise von außen zu bekommen, ist immer gut. Auch wir haben regen Austausch mit anderen Firmen und holen uns Inspirationen. Darüber hinaus arbeiten wir auch mit Institutionen wie dem

VDMA oder WBK zusammen, vor allem wenn es darum geht, Leitfäden aufzustellen und Werkzeugkästen für die Industrie zu definieren. Hier sind wir nicht nur Nutznießer, sondern auch Mitgestalter.

Es gibt also immer Stellen, die man optimieren kann?

*Christian Fries:* Ja, natürlich. Allein im letzten halben Jahr war das Thema Beschaffungsmanagement sehr präsent – auch in unseren Projekten. Unter anderem geht es dabei darum, wie möglichst flexible Einkaufsstrukturen geschaffen werden können und IT- und System-Roadmaps für eine zukunftsorientierte Beschaffung aussehen. Auch in der Forschung beschäftigen wir uns mit ähnlichen Fragestellungen, beispielsweise zum Thema Kreislaufwirtschaft in dem Projekt RESYST. Hier gibt es meines Erachtens noch viel Potenzial.

Es gibt viel zu tun, packen wir es an. Zeit für ein Schlussplädoyer.

*Angelika Bittner:* Deutschland nimmt eine Pionierrolle ein, steht im globalen Kontext oftmals großen Herausforderungen gegenüber. So wird beispielsweise ab dem Jahr 2023 das Lieferketten-Sorgfaltspflichtengesetz für deutsche Firmen wirksam, was absolut wichtig ist. Wir sind derzeit im entsprechenden Aufbau nachhaltiger Prozesse und in der konsequenten Einbindung dieser in unser Lieferantenmanagement. Nicht in allen Ländern stehen diese Anforderungen jedoch so stark im Vordergrund. So etwas erschwert eine globale Prozessgestaltung. Ganzheitliche Veränderung ist allerdings wichtig und gelingt meines Erachtens nur, wenn wir global Silos aufbrechen und interdisziplinär gemeinsam an pragmatischen Lösungen arbeiten. Nur damit können wir letztlich die Anforderungen erfüllen, wettbewerbsfähig zu bleiben oder gar Wettbewerbsvorteile zu schaffen.

*Christian Fries:* Am Ende stehen alle Unternehmen vor den gleichen Herausforderungen und Problemen. Zugespielt formuliert: Je kleiner Unternehmen sind, desto agiler sind sie. Je größer, desto schwerfälliger. Hier gilt es, Hierarchien und Führungsstrukturen aufzubrechen und alle Akteure mitzunehmen. Um zukünftig wettbewerbsfähig zu bleiben, muss man Strukturen anpassen. Einige machen das und sind bereits auf einem guten Weg.

Bestell-Link zur Studie »SCM2040 – Wie verändert sich die Logistik in der Zukunft?« von Fraunhofer IPA und Ginkgo Management Consulting, 2020: [www.ipa.fraunhofer.de/scm-2040](http://www.ipa.fraunhofer.de/scm-2040)



# Qualitätsprognose durch virtuellen Zusammenbau

Das Ziel des zweijährigen AiF-geförderten Forschungsprojekts »GeoFit« ist es, Algorithmen für den virtuellen Zusammenbau zu entwickeln, die auf geometrischen Messdaten von realen Bauteilen basieren. Die Forschungsarbeiten des Fraunhofer IPA werden von Unternehmen aus den Bereichen Konstruktionstechnik, Fertigungstechnik, Fertigungsmesstechnik und Messdienstleistung begleitet, um den vielfältigen, interdisziplinären Aspekten aus Sicht der industriellen Anwender gerecht zu werden.

Bauteiloberflächen können mittlerweile schnell und hochauflösend durch optische Messsysteme erfasst werden. In den dichten 3D-Messdaten des jeweiligen Bauteils sind auch die lokalen Formabweichungen zur Sollgeometrie enthalten. Im Zusammenbau akkumulieren sich dann diese geometrischen Abweichungen. Mit bisherigen Auswertemethoden werden diese lokalen Formabweichungen nicht oder nur unzureichend

metrische Prozesskette und geometriebasierte Qualitätsausagen entlang des gesamten Lebenszyklus eines technischen Produkts möglich.

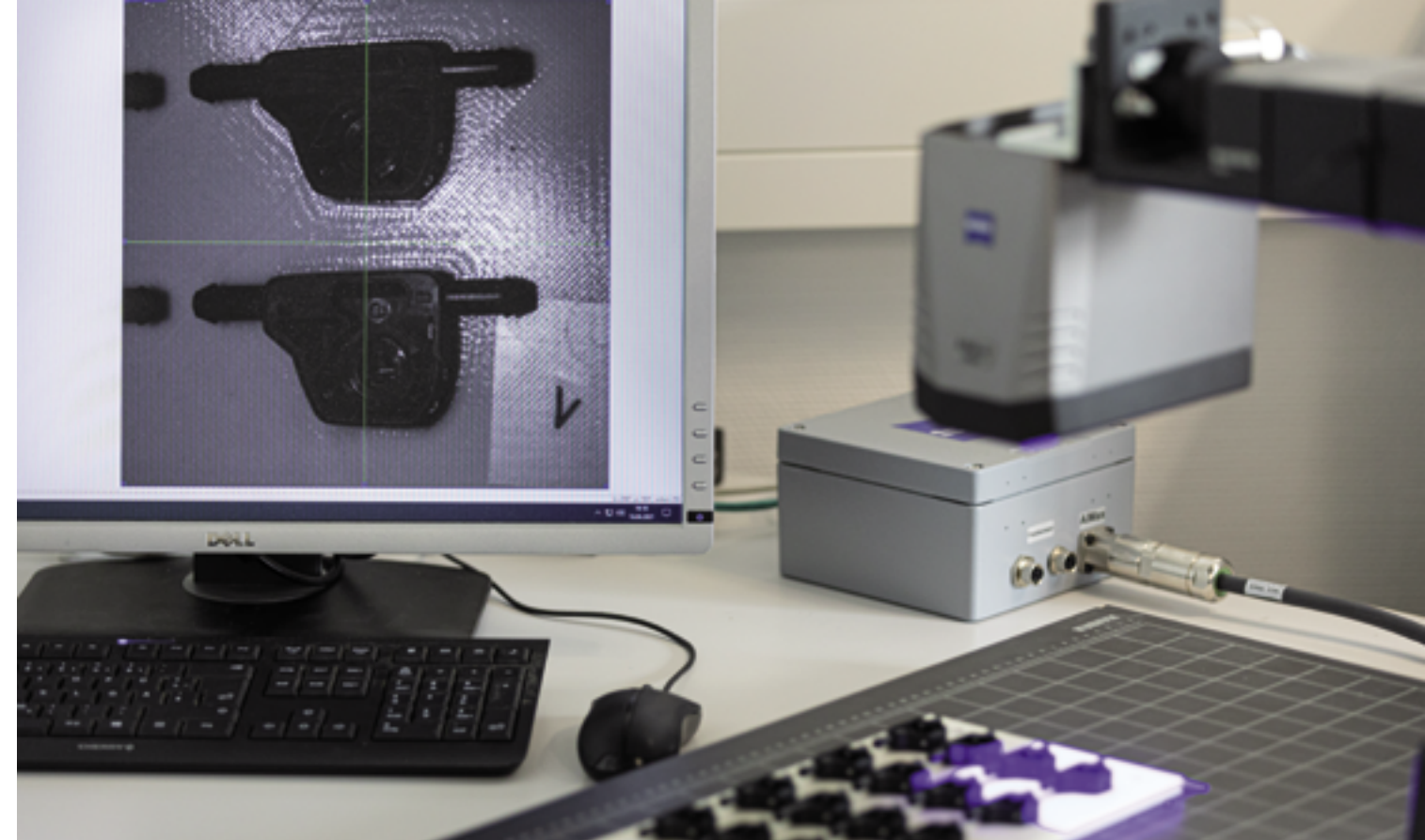
## Vorgehen

In einer systematischen Analyse von Zusammenbauten sollen für die Geometrie des Zusammenbaus relevante Eigenschaften identifiziert werden. Dafür werden zusammen mit den Industriepartnern aus dem projektbegleitenden Ausschuss Anwendungsfälle mit hohem Verbesserungspotenzial ermittelt. Zwei dieser Anwendungsfälle untersuchen die Wissenschaftler näher. An diesen soll die Vorgehensweise verdeutlicht werden, aber auch der wirtschaftliche Nutzen gezeigt werden, der durch die verbesserte Kenntnis des geometrischen Systems des Zusammenbaus entsteht.

## Identifizierte optimale Bauteilpaarungen erfüllen Produktfunktionen besser

Auf Basis der Ergebnisse des virtuellen Zusammenbaus können durch selektive Kombination der am Zusammenbau beteiligten, individuell gefertigten Bauteile optimale Bauteilpaarungen identifiziert werden. Bei diesen optimalen Paarungen gleichen sich idealerweise die lokalen Abweichungen der Bauteile aus, sodass ein Produkt mit optimierter Funktionserfüllung entsteht. Der entwickelte virtuelle Zusammenbau wird für alle möglichen Bauteilkombinationen berechnet und die optimale Kombination durch ein KI-basiertes Verfahren zur Auslesepaarung ermittelt.

berücksichtigt. Mit dem neuartigen Ansatz für den virtuellen Zusammenbau soll die Möglichkeit geschaffen werden, lokale Abweichungen der Bauteile in die Auswertung einfließen zu lassen. Außerdem erlaubt die verbesserte Kenntnis über die Fortpflanzung geometrischer Abweichungen präzisere Aussagen über Qualitätseigenschaften des Zusammenbaus. Somit schließt der Ansatz des virtuellen Zusammenbaus den »Missing Link« zwischen geometrischen Auswertungen auf Bauteilebene und der Ebene des Zusammenbaus, indem die geometrische Fehlerfortpflanzung, auch Fehlerpropagation genannt, berechnet wird. Dadurch werden eine durchgängige geo-



3D-Messung von Bauteilen mittels optischer Messverfahren (hier: Streifenprojektion).

## Digitaler Funktionsprototyp des realen Zusammenbaus

Perspektivisch ermöglicht der virtuelle Zusammenbau einen digitalen Funktionsprototyp des realen Zusammenbaus, bevor dieser überhaupt physikalisch vorliegt. Die bereits vorhandenen Messdaten der einzelnen Bauteile ermöglichen Auswertungen jeglicher Art für den virtuellen Zusammenbau ohne Mehraufwand durch zusätzliche Messungen. Bereits diskutierte Anwendungsfälle der Industriepartner umfassen Dichtheitsanalysen, Analysen von Kinematiken bezüglich Lauf- ruhe, Serviceintervallen und Lebensdauer und eine optimierte Toleranzvergabe. Denkbar sind Rückkopplungen vom virtuellen Zusammenbau in alle Phasen des Produktlebenszyklus von der Entstehung bis zur Nutzung. Diese erfordern jedoch weitere Arbeiten zu Qualitätsmodellen, um die geometrischen Eigenschaften der individuellen Zusammenbauten mit den betrachteten Qualitätsmerkmalen zu verknüpfen.

## Fazit

Der virtuelle Zusammenbau bietet somit breitflächig für alle Industrieunternehmen Vorteile, die bereits geometrische Abweichungen in ihrer Fertigung überwachen. Speziell für KMU kann der virtuelle Zusammenbau von Nutzen sein, da durch eine genauere Kenntnis des geometrischen Systems der gefertigten Bauteile gezieltere Maßnahmen zur Produktverbesserung getroffen werden können.

Die Wettbewerbsfähigkeit des Fertigungsstandorts Deutschland im internationalen Wettbewerb wird nicht zuletzt durch die Erzielung hoher Qualitätsstandards gesichert. Im Rahmen des Projekts GeoFit wird aktuell ein Software-Demonstrator für den virtuellen Zusammenbau entwickelt, der in enger Abstimmung mit den Industriepartnern deren Anforderungen aufnimmt. In der Softwareentwicklung werden wirtschaftliche Restriktionen berücksichtigt, beispielsweise durch die Eignung der Software für günstige 3D-Sensorik. Dies soll den beteiligten KMU perspektivisch nach Projektabschluss eine kostengünstige, fertigungsintegrierbare Nutzung der Lösung ermöglichen.

Das IGF-Vorhaben (Nr. 21759 N) der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS), August-Schanz-Straße 21A, 60433 Frankfurt am Main wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Weitere Informationen: [www.projekt-geofit.de](http://www.projekt-geofit.de)

## Kontakt

Dr.-Ing. Ira Effenberger  
Telefon +49 711 970-1853  
[ira.effenberger@ipa.fraunhofer.de](mailto:ira.effenberger@ipa.fraunhofer.de)



# »HoloLayouts« macht Fabrikplanung virtuell erlebbar

Interaktive Mixed-Reality-Fabrikplanung für flächeneffiziente Layouts



Wie wäre es, die Pläne eines neuen Fabriklayouts nicht nur am PC zu begutachten, sondern mittendrin zu stehen und Änderungen live zu sehen? Dann ziehen Sie Ihre MR-Brille an: Mit »HoloLayouts« steht am Fraunhofer IPA eine intuitiv bedienbare Anwendung zur Verfügung, mit der Layouts schnell und effektiv in Mixed Reality entwickelt und validiert werden können. Durch zwei Interaktionsmodi ist dabei zudem eine optimale Zusammenarbeit im Team möglich.

Bei knappen Flächen oder hohen Flächenkosten bestehen in der Fabrikplanung besondere Anforderungen an die Flächeneffizienz der entwickelten Layouts. Gleichzeitig dürfen jedoch auch weitere Zielgrößen wie die Wandlungsfähigkeit nicht aus den Augen verloren werden. In diesen Fällen kann die Verwendung von Mixed Reality die Fabrikplanung effektiv unterstützen.

## Detailplanung – Herausforderungen bei knappem und teurem Flächenangebot

Bei der Planung der Detaillayouts von Funktionseinheiten bestehen hohe Anforderungen an die Flächeneffizienz. In besonderem Maß treten diese Anforderungen beispielsweise im Umfeld der Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen hervor. Zu den regulären Flächenkosten kommen hier hohe Kosten für Rein- und Trockenräume. Gleichzeitig 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.

Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, bietet sich eine Planung in 3D an. Bei einer herkömmlichen 3D-Planung am Computer ist jedoch neben der allgemein geringen Interaktivität speziell die Einbindung von direkten Mitarbeitenden aus der Produktion schwierig. Für die Planung flächeneffizienter und wandlungsfähiger Detaillayouts ist deren Produktionsfachwissen jedoch essenziell.

## Mit Mixed Reality interaktiv zusammenarbeiten

Zur Bewältigung der genannten Herausforderungen entwickelten die Fraunhofer-Forscher der Abteilung für Fabrikplanung und Produktionsmanagement im Rahmen des Forschungsprojekts »DigiBattPro4.0 – BMBF« eine Anwendung zur Mixed-Reality-Fabriklayoutplanung. »Bei der Entwicklung wurde größter Wert auf eine gute Usability gelegt, um auch unerfahrenen Anwendern einen einfachen Einstieg in die Mixed-Reality-Anwendung zu ermöglichen. Zudem wurde mit der Microsoft HoloLens 2 und der Game Engine Unity auf leistungsfähige Hard- und Software zurückgegriffen, damit eine detaillierte, realitätsnahe Darstellung sichergestellt ist«, erklärt der Entwickler Markus Sasalovici.

Mixed Reality bietet bei der Durchführung von Planungsworkshops im Vergleich zu alternativen Technologien vielfältige Vorteile. Während bei einer klassischen 3D-Planung am Computer in der Regel lediglich eine Person durch die Planung führt, können bei der Verwendung von Mixed Reality Headsets mehrere Personen interaktiv zusammenarbeiten. Dabei wird den Nutzern die virtuelle Planungsumgebung mit Hilfe des Headsets direkt in ihr Blickfeld projiziert. Durch die gemeinsame Planung in Mixed Reality wird die Hemmschwelle, neue Ideen einzubringen und auszuprobieren, deutlich gesenkt. Im Gegensatz zu Virtual Reality ist hingegen auch eine Interaktion der Beteiligten außerhalb der digitalen Welt möglich, da die reale Welt zu jeder Zeit sichtbar bleibt.

## Planung und Validierung in einer Anwendung mit HoloLayouts

Die neu entwickelte Planungsanwendung HoloLayouts bietet einen Miniatur- sowie einen 1:1-Planungsmodus. Im Miniaturmodus kann der Anwender das zu planende Modell frei vor sich im Raum platzieren. Standardmäßig wird dieses im einem Maßstab von 1:25 angezeigt. Der Maßstab kann jedoch bei Bedarf nach Belieben zwischen 1:4 und 1:40 variiert werden. Der Miniaturmodus ist ideal, um einen Überblick über den zu planenden Bereich zu erhalten und Layoutvarianten zu entwerfen. Dabei können die Layoutvarianten entweder von Grund auf neu aufgebaut werden oder bereits am PC vorbereitet und in die Anwendung geladen werden. Neben dem Miniaturmodus steht ein 1:1-Modus zur Verfügung. Die im Miniaturmodus entwickelten Layouts können so im Anschluss direkt in realer Größe betrachtet werden.

Dies bietet in der Praxis große Vorteile, weiß der IPA-Fertigungssystemplaner Günther Riexinger: »Durch die Integration von Miniatur- und 1:1-Modus in einer Anwendung wird dem Nutzer die Möglichkeit eröffnet, Layouts in einer Anwendung zu planen und direkt zu validieren. So können Planungsfehler frühzeitig identifiziert werden und der Nutzer bekommt vor der Umsetzung einen realistischen Eindruck vom geplanten Bereich.«

Im 1:1-Modus können so beispielsweise die geplanten Wegbreiten oder Bewegungsräume realitätsnah überprüft werden. Der Anwender bewegt sich dabei entweder, indem er ganz natürlich durch das Modell läuft, oder sich mittels einer speziellen Geste »teleportiert«, also an die gewünschte Stelle im Modell springt.





Ansicht des Anwenders im 1:1-Modus.

In beiden Modi stehen im Wesentlichen dieselben Funktionen zur Verfügung. Die Modellelemente (»Assets«) wie beispielsweise Anlagen und Logistikausstattung können verschoben, skaliert und gelöscht werden. Zum Bewegen der virtuellen Objekte werden diese einfach mit der Hand gegriffen und verschoben. Dabei besteht zudem die Möglichkeit, das Verschieben auf bestimmte Achsen zu beschränken, um so die Feinpositionierung vorzunehmen. Zum Skalieren werden Objekte einfach mit beiden Händen gegriffen und auseinandergezogen beziehungsweise gestaucht.

Neben der Veränderung vorhandener Elemente können auch neue Elemente in das Modell eingefügt werden. Dazu ruft der Anwender mit einer Geste eine Bibliothek auf, aus der die einzufügenden Objekte gewählt werden können. Die Bibliothek kann unternehmensspezifisch mit eigenen Modellen oder Modellen aus CAD-Modelldatenbanken gefüllt werden. Das jeweils gewählte Objekt kann der Nutzer dann an der gewünschten Stelle im Modell platzieren.

#### Zusammenarbeit im Team – Co-Located oder Remote

In beiden Planungsmodi besteht die Möglichkeit zur Zusammenarbeit im Team. Dazu startet der Nutzer im Menü eine »Shared Session«. Daraufhin können weitere Nutzer der Session beitreten. Dies kann sowohl in einem Raum (»Co-Located«) als auch von unterschiedlichen Orten aus geschehen (»Remote«).

Bei der Zusammenarbeit im Co-Located-Modus werden die MR-Brillen so synchronisiert, dass alle Nutzer die Objekte an exakt derselben Stelle im Raum angezeigt bekommen. Dies ermöglicht eine optimale Zusammenarbeit aller Planungsbeteiligten im Raum. So kann beispielsweise in Diskussionen über bestimmte Aspekte einfach auf die betreffenden Stellen im Layout gedeutet werden und die Nutzer können effektiv kooperieren, wenn Anpassungen vorgenommen werden. Im Remote-Modus hingegen befinden sich die Nutzer an verschiedenen Orten, sehen jedoch auch in diesem Fall dasselbe Modell. Änderungen die ein Nutzer vornimmt werden dabei automatisch mit allen weiteren Nutzern synchronisiert.

Für IPA-Projektleiter Christian Kaucher stellt die Möglichkeit der Zusammenarbeit eine der wichtigsten Funktionen der Anwendung dar: »Erst durch die Möglichkeit zur Zusammenarbeit erreicht die Anwendung ihr volles Potenzial. Fabrikplanung ist immer ein kooperativer Prozess mit vielen Planungsbeteiligten. In den Kooperationsmodi sehen alle Beteiligten dasselbe Modell und können darüber diskutieren. Anpassungen können dann direkt in der virtuellen Umgebung vorgenommen und validiert werden.«

#### HoloLayouts überzeugt im Praxistest mit Varta

Zur Erprobung der Anwendung wurde im Projekt DigiBattPro4.0 gemeinsam mit der VARTA Consumer Batteries GmbH & Co. KGaA 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 Beispiel gemeinsam mit verschiedenen Mitarbeitern von Varta erprobt. Dabei zeigte sich, dass die Anwendung zu einem erheblich besseren räumlichen Verständnis des Planungsobjekts beiträgt. Als großer Vorteil wurde zudem die Möglichkeit zur Arbeit mit mehreren Personen im Co-Located-Modus an einem Modell identifiziert. Die Bedienung mit natürlichen Gesten wurde durch die Anwender als sehr intuitiv beurteilt und stellte auch für Personen ohne Erfahrung im Bereich Mixed Reality kein Problem dar.

Entsprechend zieht Michael Müller aus dem Bereich Entwicklung Verfahrenstechnik von Varta ein durchweg positives Fazit der Anwendungserprobung: »HoloLayouts stellt eine hervorragende Ergänzung zur üblichen Planung in 2D und 3D dar. Durch die Darstellung in Mixed Reality erlangt man einen sehr realistischen Eindruck des zu planenden Bereichs und kann bei Bedarf direkt in der Anwendung Anpassungen vornehmen.«

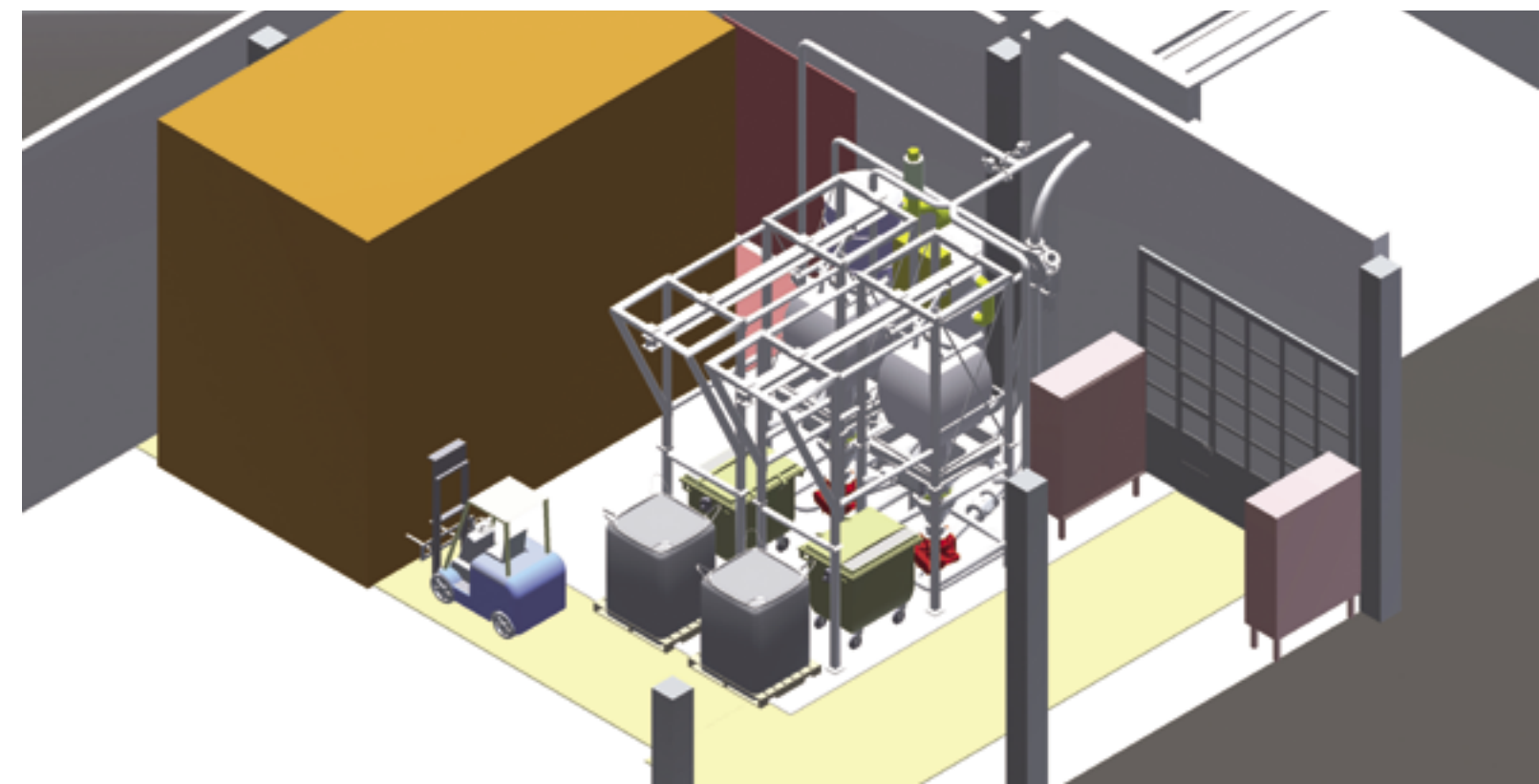
Mit HoloLayouts steht eine anwenderfreundliche Lösung zur Verfügung, die bei schwierigen Layoutfragen effektiv unterstützt und gleichzeitig durch ihre intuitive Bedienbarkeit und ihre gute grafische Darstellung überzeugt. So können Konzepte nicht nur entwickelt und validiert, sondern auch frühzeitig vor der Umsetzung realitätsnah dem Management präsentiert werden. Nach der erfolgreichen Erprobung steht HoloLayouts für die Anwendung in industriellen Planungsprojekten sowie weiteren Forschungsprojekten bereit.

#### Kontakt

Christian Kaucher  
Telefon +49 711 970-1865  
christian.kaucher@ipa.fraunhofer.de

Günther Riexinger  
Telefon +49 711 970-1945  
günther.riexinger@ipa.fraunhofer.de

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





# Lean in der Informationsversorgung

## Schlanke Informationslogistik für Mitarbeiter auf dem Shop Floor

Produktionsunternehmen sind mit einem zunehmend komplexer werdenden Umfeld konfrontiert, welches erhöhte Anforderungen an die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen stellt. Mit dem Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnik und der damit verbundenen Vernetzung technischer Systeme in Echtzeit soll diesen Herausforderungen begegnet werden. Dem Menschen als dem flexibelsten und intelligentesten Teil der Fabrik kommt hierbei eine entscheidende Rolle zu. Er soll gestärkt werden, indem eine durchgängige Verfügbarkeit aller notwendigen Informationen und somit eine vollständige Transparenz über das Produktionssystem geschaffen wird. Auf dieser Basis kann er seine kreative Problemlösungskompetenz zielgerichtet einsetzen.

Als Folge der fortschreitenden Digitalisierung in Produktionsunternehmen treten neue Herausforderungen in der Informationsversorgung von Mitarbeitern auf. Diese sind häufig darauf zurückzuführen, dass die Informationsbedarfe der Mitarbeiter steigen und sich entsprechend der auf eine variantenreiche Produktion ausgelegten Produktionssysteme stetig verändern. Auch die Menge der (digital) verfügbaren Informationen in den Unternehmen steigt und Informationssysteme werden zunehmend komplexer. Es kommt zu Verschwendung in der Informationsversorgung, die beispielsweise in Form von Wartezeit (warten auf Informationen) oder Bewegung (suchen nach Informationen) auftritt und einen negativen Einfluss auf die Wertschöpfung der Unternehmen hat.

Um Verschwendung zu vermeiden, muss die richtige Information zur richtigen Zeit in der richtigen Form am richtigen Ort vorliegen. Außerdem sollte auch die Logistik der Information als solche effizient sein. Um eine derartige schlanke Informationslogistik zu gewährleisten, wurde am Fraunhofer IPA eine Methode entwickelt, mit der ähnlich wie im Wertstromdesign schlanke Informationssysteme gestaltet werden können.

### Verschwendung in der Informationslogistik

Welche Verschwendungsarten können nun in der Informationsversorgung auftreten? In der Informationsversorgung von Mitarbeitern auf dem Shop Floor können die Verschwendungsarten Bewegung, Wartezeit und Fehlleistung auftreten, die einen negativen Einfluss auf den betrieblichen Leistungserstellungsprozess haben. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn ein Mitarbeiter der Logistik nach Bauteilen sucht, da ihm Informationen über deren Lagerort fehlen. Ein solcher Fall tritt in Fabriken auf, in denen angebrochene Chargen direkt weiterverwendet werden müssen und die Vorkommissionierung somit auf dem Shop Floor stattfindet.

Aber auch in der Informationslogistik als solcher kann Verschwendung auftreten. Schnittstellen und Medienbrüche sind hierfür ein gutes Beispiel. In einigen Produktionen werden beispielsweise Barcodes gedruckt und auf Komponenten geklebt, sodass Folgeprozesse über das Einscannen der Barcodes Informationen über die Komponenten erhalten. Hier findet

ein Medienbruch statt, der Verschwendung der Art Bewegung (drucken und kleben) darstellt. Das Drucken und Kleben eines Barcodes ist eine physische Bewegung, die vermieden werden kann, wenn der Code direkt auf eine bis zum Ende der Produktion sichtbare Komponente aufgebracht wird. Andere Verschwendungsarten in der Informationslogistik sind die Überproduktion von Informationen, z. B. eine zu detaillierte Erfassung, die unnötig aufwendige Bearbeitung von Informationen, messbar z. B. über die benötigte Rechenleistung, die Archivierung nicht weiter benötigter Informationen und der überflüssige Transport von Informationen.

### Gestaltung schlanker Informationslogistiksysteme in einem interdisziplinären Team

Die eigentliche Systemgestaltung eines schlanken Informationslogistiksystems zur bedarfsgerechten Informationsversorgung eines Shop-Floor-Mitarbeiters erfolgt mit Hilfe einer Methode, bestehend aus fünf Schritten. Insgesamt acht Gestaltungsrichtlinien (GR) geben bei den einzelnen Methodenschritten eine Handlungsanleitung und Entscheidungshilfen. Bei der Entwicklung der Methode wurde Wert darauf gelegt, dass die Lösung die Zusammenarbeit von Betriebsingenieuren und Informatikern stärkt. Bei der Gestaltung der schlanken Informationssysteme arbeiten sie gemeinsam in einem interdisziplinären Team. Die Anwendung der Methode hat gezeigt, dass sie für beide Berufsgruppen verständlich ist und somit eine funktionierende Arbeitsnahtstelle bildet. Indem die späteren Systemnutzer ebenfalls in den Gestaltungsprozess eingebunden werden, steigt außerdem die Akzeptanz des Systems.

### Methode zur Gestaltung schlanker Informationslogistiksysteme

In einem ersten Gestaltungsschritt werden Gestaltungsvorgaben für das zu gestaltende Informationssystem erhoben, die unter anderem aus der Unternehmensstrategie oder der Systemumgebung resultieren. Dies kann beispielsweise die Vorgabe sein, papierlos zu arbeiten. Auch gesetzliche Vorgaben zur Archivierung von Daten sind eine Gestaltungsvorgabe. Anschließend werden die Informationsbedarfe des Shop-Floor-Mitarbeiters erfasst. Dies kann beispielsweise über ein strukturiertes Interview erfolgen. Das zu gestaltende System sollte idealerweise alle Gestaltungsvorgaben erfüllen und den Informationsbedarf des Mitarbeiters decken. Nach diesen Vorarbeiten startet die eigentliche Gestaltung des Systems mit der Gestaltung des bedarfsorientierten Informationsflusses. Für diesen Schritt werden als Gestaltungsbausteine informationslogistische Prozesse und Informationsflüsse benötigt, die in

einem UML-Klassendiagramm modelliert und anhand von Attributen und Funktionen generisch beschrieben wurden. Durch die systematische Gestaltung informationslogistischer Prozesse, vom Informationsnutzer ausgehend gegen die Flussrichtung der Informationen, lässt sich automatisch ein bedarfsorientiertes System gestalten. In weiteren Schritten des Gestaltungsprozesses ist der Fluss der Informationen durch Archive zu entkoppeln und eine Informationsflusssteuerung zu gestalten, welche die Informationen zur richtigen Zeit dem Mitarbeiter bereitstellt. Abschließend wird der technische Lösungsraum für das gestaltete System festgelegt.

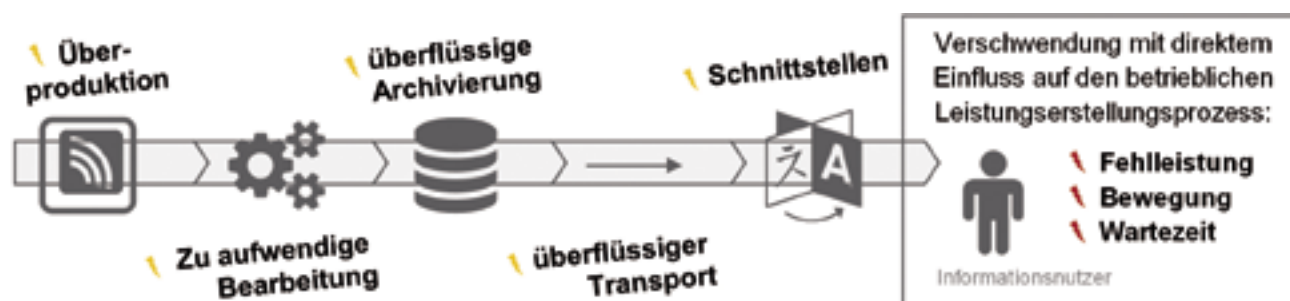
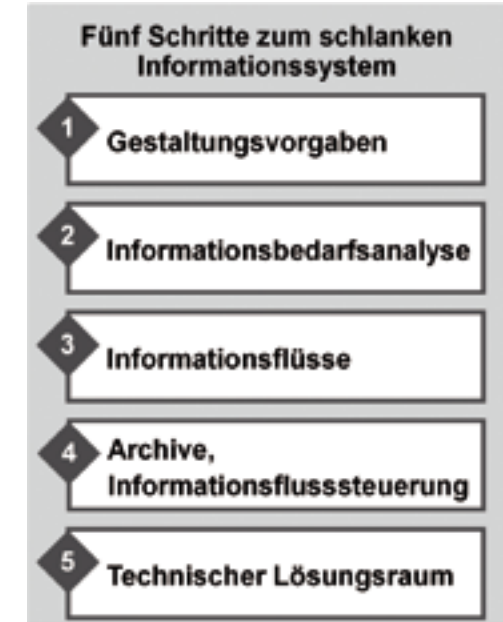
### Nutzen und Anwendung der Methode

Durch die Realisierung schlanker Informationssysteme werden sowohl Mitarbeiterkapazitäten als auch technische Ressourcen wie beispielsweise Speicherkapazitäten eingespart. Die Informationsnutzer erhalten die richtige Information zur richtigen Zeit in der richtigen Form an den richtigen Ort und können ihrer wertschöpfenden Tätigkeit nachgehen. Mitarbeiter, die für die Informationsbereitstellung verantwortlich sind, haben einen geringeren Aufwand für die Organisation von Daten und Informationen. Die Methode kann für jeden Shop-Floor-Mitarbeiter angewendet werden. Die Gestaltung eines schlanken Informationslogistiksystems erfolgt in 3 bis 4 Tagesworkshops in einem interdisziplinären Team aus späteren Anwendern und Betriebs- und Informatikern. Das konzeptuelle Ergebnis kann anschließend in ein technisches Konzept überführt, implementiert und entsprechend ausgerollt werden.

**Weitere Informationen:** Hartleif, Silke: Gestaltung einer schlanken Informationslogistik im komplexen Produktionsumfeld. Dissertation, Univ. Stuttgart (to be published in 2022)

### Kontakt

Silke Hartleif  
Telefon +49 1522 8833575  
silke.hartleif@ipa.fraunhofer.de





# Toolbox Digitalisierungsbaukasten



Sie planen, Ihre eigene Produktion zu digitalisieren, aber Ihnen sind die Investitionen in komplett neue Anlagen zu hoch? Dann setzen Sie doch auf Smart Retrofit. Im Workshop »Smart Retrofit – Wie Sie in wenigen Schritten alte Industrieanlagen in cyberphysische Systeme verwandeln« lernen Sie das konzeptionelle Vorgehen, die technischen Elemente und den Softwareaufbau zur Entwicklung eines Smart-Retrofit-Systems kennen.

Wir freuen uns auf Ihre Anmeldung:  
[https://www.ipa.fraunhofer.de/smart\\_retrofit](https://www.ipa.fraunhofer.de/smart_retrofit)

## Mit Smart Retrofit von alten Industrieanlagen zu cyberphysischen Systemen

**Der Baukasten zeigt, wie KMU schnell und kostengünstig in die Digitalisierung ihrer Maschinen und Arbeitsprozesse einsteigen, um die eigene Produktion effizienter zu machen.**

Die Digitale Transformation in produzierenden Unternehmen hat auch im Rahmen der Covid-19-Pandemie deutlich an Fahrt gewonnen. Allerdings haben viele KMU immer noch das gleiche Problem: Was tun mit einer vorhandenen Maschine in einer zunehmend vernetzten Produktion?

Die Digitalisierung und Vernetzung einer solchen Anlage kann über zwei Wege erfolgen. Der klassische Weg ist die Ersatzbeschaffung einer smarten Maschine, die in die vernetzte Produktion eingebunden wird. Da der Maschinenpark deutscher Unternehmen ein durchschnittliches Alter von 15–20 Jahren hat, ist das oftmals keine Option, da durch lange Restlaufzeiten die notwendigen Investitionen für neue Maschinen zu hoch wären. Der unkonventionelle Weg des Smart Retrofits von Maschinen, das bedeutet bestehende Fertigungsanlagen mit eingebetteten Systemen und Sensorik auszustatten, um sie digital anzubinden, kann hier Abhilfe schaffen. Mit Hilfe von geringen Investitionen kann eine noch vollständig intakte Anlage so zu einem cyberphysischen System weiterentwickelt werden.

### Toolbox Digitalisierungsbaukasten

Um die Potenziale des Smart Retrofit vollständig auszunutzen, muss ein systematischer Ansatz gewählt werden. Die Toolbox »Digitalisierungsbaukasten« orientiert sich am klassischen Dreiklang aus Problemidentifikation, Lösungsfindung und technischer Umsetzung.

Zur Definition des Problems wird die 5-Why-Methode, kurz 5W, aus dem Toyota Produktionssystem verwendet. Ziel dieser Anwendung ist es, solange nach einer Ursache eines Defekts oder Problems zu fragen, bis diese bestimmt ist.

Die 5-Times-How-Methode stellt den Sprung zur technischen Umsetzung der Lösung dar. Dazu wird die benötigte Funktion (Ergebnis von 5W oder 5 Times Why) in mehrere Lösungsbausteine zur Realisierung aufgeteilt. Dadurch erleichtert man die Wiederverwendung der Komponenten für weitere Problemstellungen.

Nach Aufteilung der benötigten Funktion in mehrere Lösungsbausteine werden Anforderungen an die technische Realisierung gesammelt und in eine Lösungsskizze überführt. Um die Lösung wirtschaftlich betreiben zu können, ist die Prüfung auf den Gebrauchsnutzen ein wichtiger Bestandteil dieser Methode. Digitalisierungslösungen müssen nicht nur eine Problemstellung lösen, sie müssen ebenfalls den User und dessen Arbeitsaufgabe zu einer wirtschaftlichen Lösung integrieren. Nach der Methodik für die konzeptionelle Entwicklung des Anwendungsfalls muss nun die technische und organisatorische Umsetzung im Rahmen von technischen Elementen sowie der Konzeption der notwendigen IT-Architektur betrachtet werden.

Um eine Maschine »smart« aufzurüsten, muss, bezogen auf die technischen Elemente, zunächst die Frage nach messbaren Größen gestellt werden. Diese Messgrößen dürfen nicht nach dem Gießkannenprinzip ermittelt werden, sondern zielgerichtet auf die Probleme der Ursachenanalyse der 5-W-Methode. Die hierdurch ermittelten Bedarfsdaten zur Analyse sind sensorisch abzubilden.

Für die Datenerfassung und Datenübertragung eignet sich ein Edge Device mit Gateway-Funktion und intelligenter Steuerung für höhere Ansprüche. Wichtig zu erwähnen ist auch die Skalierbarkeit des Systems. Sollen weitere Anwendungsfälle im Nachgang abgebildet werden, sollte das System jederzeit ohne große Mehraufwände und Kosten erweiterbar sein.

Die Grundvoraussetzung zum Datentransfer stellt eine Netzwerktopologie mit angepasstem Sicherheitskonzept dar. Dabei sind das Edge Device, das MES und ERP oder eine IoT-Plattform die Kernelemente. Das Edge Device übernimmt alle Tätigkeiten rund um die Maschine. Es erhält Aufträge vom MES und steuert die Maschine über eine integrierte SPS. Gleichzeitig erhält das Device die Daten aus der neu integrierten Sensorik und steuert aufgrund der dadurch gewonnenen Erkenntnisse eine entsprechende Aktorik an.

### Anwendung auf einen SMD-Lötofen

Beim SMD-Lötofen muss eine konstante Temperatur innerhalb des Ofens eingehalten werden. Die 5-Times-Why-Analyse hat ergeben, dass die Temperatur neben dem Heizelement maßgeblich durch einen Lüfter im Gehäuse reguliert wird. Ziel des





Die 5 Times How Methode.

Anwendungsfalls muss also sein, die Störung, z. B. der Ausfall oder die Vibration des Lüfters zu detektieren und eine Eskalation des Fehlers zu starten.

Für den vorliegenden Anwendungsfall konnten die IPA-Experten mit Hilfe der 5-How-Methode drei Lösungsbausteine separieren:

- Detektion einer Störung des Lüfters
- Eskalation des Fehlers
- Zurücksetzung des Fehlers nach Behebung des Problems

Die Analyse des Gebrauchsnutzen der Lösungsbausteine hat ergeben, dass das MES mit der isolierten Information des Sensor-

werts keine weiteren sinnvollen Aktionen triggern kann. Die Benachrichtigung wird daher mit Information über Maschinenname, Zeitstempel und Si-Einheit des gemessenen Wertes erweitert.

#### Mithilfe der Basistopologie und der Lösungsskizze kann nun der Aufbau realisiert werden.

Im gegebenen Anwendungsfall wird ein Auftrag mit Hilfe des Einlesens eines Data-Matrix-Codes gestartet. Das Edge Device gibt den Steuerungsbefehl an die Maschine und startet den Lüfter. Während der Auftrag bearbeitet wird, sammelt der Vibrationssensor Daten, die ausgelesen werden, um eine Störung des Lüfters zu detektieren (vgl. Lösungsbaustein 1). Wird ein Warn-Schwellwert überschritten, gibt das System automatisch über einen Node-Red Workflow ein Ticket im MES auf, um die Instandhaltung über die Fehlermeldung zu informieren. Ebenso kann über ein Ticket im ERP-System automatisch das notwendige Ersatzteil beschafft werden – in diesem Fall ein Lüfter. Die Software des Edge-Devices ist dabei so angepasst, dass die Fehlermeldung auch automatisiert zurückgenommen werden kann.

#### Kontakt

Tobias Eusterwiemann  
Telefon +49 711 970-1581  
tobias.eusterwiemann@ipa.fraunhofer.de

Kostenloser Download des White-Papers »Digitalisierungsbaukasten – Wie aus analogen Industrieanlagen in wenigen Schritten cyberphysische Systeme werden«:  
[www.ipa.fraunhofer.de/digitalisierungsbaukasten](http://www.ipa.fraunhofer.de/digitalisierungsbaukasten)



## White-Paper

# Anforderungen an ein Betriebssystem für die Produktion

Mit FabOS entwickeln Forscherinnen und Forscher ein Betriebssystem für die Produktion. Es soll die Erhebung von Produktionsdaten erleichtern und Künstliche Intelligenz (KI) in der Breite nutzbar machen. Welche Anforderungen an FabOS in der Praxis erfüllen muss, haben sie in einem Whitepaper zusammengetragen.

Werkzeugmaschinen laufen rund um die Uhr und haben häufig Lebenszeiten von über zehn Jahren. In welchen Intervallen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sinnvoll sind, ist hingegen schwer abzuschätzen. Es kommt deshalb immer wieder zu kostspieligen Ausfällen. Eine mögliche Lösung: Es könnten zusätzliche Sensoren in eine Werkzeugmaschine integriert werden. Sie würden ungewöhnliche Geräusche wahrnehmen und melden, die auf Verschleiß hindeuten und drohende Stillstände ankündigen. Intelligente Algorithmen könnten die Sensordaten automatisiert auswerten und Hinweise geben, welche Komponente ausgetauscht werden muss.

Leider ist es derzeit noch sehr aufwendig, ein solches Anwendungsszenario in die Tat umzusetzen. Erleichtern würde das ein offenes, verteiltes, echtzeitfähiges und sicheres Betriebssystem, das eine schnelle Integration von KI in die Produktion ermöglicht. Genau das soll FabOS können. Welche Anforderungen es in der Praxis erfüllen muss, haben die 26 Projektpartner, die FabOS entwickeln, ermittelt, indem sie sich mögliche Anwendungsfälle in der Industrie wie jene Werkzeugmaschine angeschaut haben.

#### Vier Anforderungen muss FabOS erfüllen

1. **Echtzeitfähigkeit** – Die Produktionsdaten müssen gleichzeitig gesammelt und ausgewertet werden. Nur so kann auf drohende Störungen reagiert werden, bevor sie den Betrieb lahmlegen.
2. **Datensicherheit** – Das Prozesswissen produzierender Unternehmen darf nicht in fremde Hände fallen. Denn sie könnten dieses Wissen für ihre Zwecke missbrauchen.
3. **Seamless Computing** – Die Computerressourcen eines Unternehmens müssen einheitlich angesprochen werden. So kann beispielsweise eine Software auf einem geeigneten Rechner ausgeführt werden, der gerade genügend Kapazitäten frei hat. Damit wird die gesamte Rechenleistung eines Unternehmens effektiver genutzt.
4. **Industrial Edge Networks** – Im lokalen Firmennetzwerk muss neben der gesamten IT auch der Maschinenpark integriert sein. Damit lassen sich Maschinendaten auslesen und automatisiert verarbeiten.

#### Kontakt

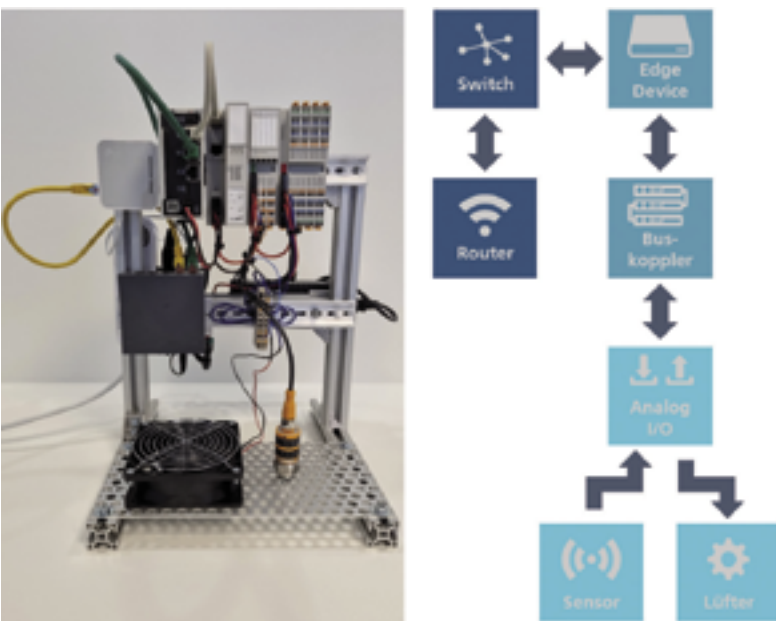
Matthias Schneider  
Telefon +49 711 970-1658  
matthias.schneider@ipa.fraunhofer.de

Benjamin Götz  
Telefon +49 711 970-1354  
benjamin.goetz@ipa.fraunhofer.de



Kostenloses Download des englischsprachigen White-Papers »Industrial Application Areas and Requirements for the FabOS Platform« unter:  
[www.ipa.fraunhofer.de/White-Paper-Reihe-FabOS](http://www.ipa.fraunhofer.de/White-Paper-Reihe-FabOS)  
Weitere Informationen: [www.fab-os.org](http://www.fab-os.org)

Physischer Aufbau der Smart-Retrofit-Lösung SMD-Lötöfen.





# Roboter für die Wischdesinfektion von Oberflächen



**Serviceroboter haben das Potenzial, das Reinigungspersonal in öffentlichen Gebäuden, Labors oder Produktionsstätten zu entlasten, indem sie einen Teil der durchzuführenden Aufgaben übernehmen. Der am Fraunhofer IPA entwickelte Desinfektionsroboter »DeKonBot 2« kann nach einmaligem Einlernen autonom durch ein Gebäude fahren, zu reinigende Objekte wie Türklinken, Lichtschalter oder künftig auch Griffleisten erkennen und diese mit einem Bürstensystem von grobem Schmutz befreien sowie Desinfektionsmittel aufbringen. In diesem Jahr soll der Roboter mit dem Unternehmen MetraLabs zur Produktreife gebracht und nächstes Jahr an erste Pilotkunden verkauft und in die Praxis gebracht werden.**

Reinigungs- und Desinfektionsaufgaben in Gebäuden stehen seit der Corona-Pandemie im Fokus, da sie dazu beitragen können, eine Ausbreitung des Virus zu verhindern. Auch außerhalb der Pandemie spielen diese Tätigkeiten eine wichtige Rolle, unter anderem in Einrichtungen des Gesundheitswesens, um das Übertragen von Krankenhauskeimen zu vermeiden. Neben der Bodenreinigung ist die Reinigung und Desinfektion von Oberflächen entscheidend. Für das Umfeld der »Krankenhausreinigung« definiert die neu eingeführte Hygienenorm DIN 13063 die auszuführenden Tätigkeiten. Die Norm sichert zwar die Qualität, sie steigert aber auch den Aufwand für das Reinigungspersonal. Immer mehr Aufgaben in kürzerer Zeit erhöhen das Risiko, dass die »Hygiene Compliance« leidet. Der Fachkräftemangel und der demographische Wandel verschärfen das Problem. Derzeit sind keine geeigneten Reinigungsroboter am Markt verfügbar, die eine automatisierte Reinigung und Desinfektion von Oberflächen technologisch und wirtschaftlich umsetzen können.

## Desinfektionsroboter DeKonBot 2

Im Projekt »MobDi – Mobile Desinfektion« entwickelten zwölf Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft neue Schlüsseltechnologien für die roboterbasierte mobile Reinigung und Desinfektion. Aktuelles Ergebnis ist der Desinfektionsroboter »DeKonBot 2« des Fraunhofer IPA. Auf der Basis des gleichnamigen Desinfektionsroboters, den das Fraunhofer IPA im Jahr 2020 in erster Generation vorgestellt hatte, entwickelten die Robotikexperten die Hardwarekomponenten weiter. Ziel war es, einen kompakteren, kostengünstigeren und leistungsfähigeren Roboter zu gestalten. Eine besondere Herausforderung bestand für die Forscher darin, das Reinigungswerkzeug flexibler, raumsparend und zugleich so zu gestalten, dass es unterschiedlichste Objekte effektiv desinfizieren kann.



*Mit seinen Reinigungsbürsten entfernt DeKonBot 2 groben Schmutz an der Türklinke und trägt gleichzeitig flächendeckend Desinfektionsmittel auf.*

## Kompakte Basis mit Reichweite

Als mobile Basis wird jetzt der Scitos X3 der Firma MetraLabs eingesetzt, eine Plattform, die ausreichend Platz für alle nötigen Aufbauten bietet, und gleichzeitig klein genug ist, um auch in engen Gängen sicher zum Ziel zu kommen. Der aktuell eingesetzte Roboterarm ist in der Lage, sich optimal um die zu desinfizierenden Objekte herumzubewegen, und kann dadurch alle relevanten Kontaktflächen erreichen. Neu ist auch das Bürstensystem, mit dem die Oberflächen sowohl von grobem Schmutz befreit als auch mit Desinfektionsmittel benetzt werden. Während der Fahrt taucht der Roboter die Bürsten in einen Tank mit Desinfektionsmittel. Dadurch desinfiziert er die Bürsten zwischen den einzelnen Reinigungsvorgängen und verhindert somit, dass Keime über das Reinigungswerkzeug verschleppt werden.

## Objekterkennung entscheidend

Dass die Software die zu desinfizierenden Objekte erkennt, ist eine Grundvoraussetzung für DeKonBot 2. Die Algorithmen müssen bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen, z. B. variierenden Beleuchtungsverhältnissen, zuverlässig funktionieren. Nur so kann der Roboter die zu reinigenden Türklinken, Lichtschalter oder Aufzugknöpfe in verschiedenen Formen und Ausprägungen erkennen und im Raum lokalisieren. Möglich machen dies maschinelle Lernverfahren. Sie erkennen die Objekte anhand von zweidimensionalen RGB-Bildern und klassifizieren sie in verschiedene Objekttypen, an die der Roboter



seine Reinigungsbewegung anpasst. Um die exakte Position und Kontur des zu reinigenden Objekts zu ermitteln, wird ein neu entwickeltes Sensorsystem eingesetzt. Dieses basiert auf einem Zeilenlaserscanner, der auch spiegelnde Oberflächen zuverlässig und präzise erfasst.



### Einmaliges Einlernen genügt

Um den autonomen Betrieb zu ermöglichen, muss die Reinigungskraft DeKonBot 2 in einer neuen Arbeitsumgebung einmalig einlernen. Dafür fährt sie ihn per Fernsteuerung durch diese Umgebung und der Roboter erstellt hiervon automatisch eine Karte. Während der Einlernfahrt markiert sie die Position aller zu reinigenden Objekte, indem sie den Roboter vor diese bewegt. Der Roboter prüft automatisch, ob er das Objekt erkennen kann, und speichert dann die Position in der Karte ab. Nach dem Einlernprozess kann die autonome Reinigung beginnen.



Während der Praxistests konnten Reinigungskräfte den Roboter über ein Tablet einlernen.

Quelle: Fraunhofer IMW/Foto: Agnes Vosen

DeKonBot 2 kann im Kamerabild Türklinken (links) und verschiedene Arten von Schaltern, bspw. Lichtschalter (rechts), zuverlässig erkennen.

### Selbstständiges Reinigen

Dabei fährt der Roboter selbstständig entweder einen vom Nutzer festgelegten Bereich ab und reinigt alle dort eingelernten Objekte. Oder es können sogenannte Routinen definiert werden, in denen der Roboter einzelne Bereiche zu bestimmten Zeiten reinigt. DeKonBot 2 bewegt sich zu der vorher eingelernten Position vor einem zu reinigenden Objekt und bewegt seinen Arm mit den Sensoren und dem Reinigungswerkzeug nach vorne. Dabei streift er die Bürsten an einem Gitter ab, um Tropfen zu vermeiden. Er vermisst das zu reinigende Objekt mit seinen Sensoren und plant dann anhand der Sensordaten die nötige Bewegung des Roboterarms, damit die Bürsten das Objekt vollständig desinfizieren. Nachfolgend beginnt der Roboter mit der Desinfektion. Ist diese beendet, positioniert er das Reinigungswerkzeug wieder sicher im Desinfektionsmittelbehälter und fährt zum nächsten Objekt.

### Praxistest zeigt hohe Nutzerakzeptanz

Ein wichtiges Ziel der Weiterentwicklung des DeKonBot war, die Produktnähe und Praxistauglichkeit zu verbessern. Um diese zu überprüfen, führten die Wissenschaftler des Fraunhofer IPA gemeinsam mit Forschern des Fraunhofer-Zentrums für Internationales Wissensmanagement und Wissensökonomie IMW eine Woche lang Tests auf einer Etage in einem Bürogebäude der EnBW in Stuttgart durch. Zu reinigen waren Lichtschalter, Türgriffe und -knäufe. Drei Führungskräfte der EnBW sowie drei Führungs- und vier Reinigungsfachkräfte vom Gebäudedienstleister Gegenbauer steuerten den Roboter, lernten neue Objekte ein und starteten und beobachteten den Regelbetrieb.

Dabei wurden relevante Leistungsdaten wie z. B. die Dauer einzelner Aufgaben gemessen und auftretende Fehler sowie deren Häufigkeit protokolliert. Sowohl die technische Zuverlässigkeit als auch die erzielten Leistungsdaten lieferten gute

Ergebnisse. Die autonome Navigation des Roboters in der Einsatzumgebung funktionierte ebenfalls fehlerfrei, genauso das Erkennen und Desinfizieren von Türklinken und Lichtschaltern. Nur bei den Türknaufen gab es gelegentlich Schwierigkeiten, welchen sich die Forscher im nächsten Schritt widmen werden. Die Nutzertests zeigten, dass die Akzeptanz des Roboters hoch ist: Der Roboter fand regen Anklang bei den Probanden. Sie konnten ihn nach der Einführung erfolgreich bedienen und alle könnten sich vorstellen, mit dem Roboter dauerhaft zusammenzuarbeiten.

### Wirtschaftlichkeit auf dem Prüfstand

Das Team des Fraunhofer IMW untersuchte darüber hinaus die Wirtschaftlichkeit des Roboters auf Basis einer Lebenszykluskostenrechnung. Dabei wurden alle Kosten betrachtet, die auf den gemessenen und zukünftig erreichbaren Leistungsdaten und den Kosten des Roboters von der Anschaffung bis zur Entsorgung anfallen. Als Vergleichswert dienten die Kosten einer Reinigungskraft, die ausschließlich die genannten Objekte desinfiziert. Bisher kann der Roboter unter Gegebenheiten wie im Test 30 Objekte pro Stunde reinigen. Die Berechnungen zeigten, dass ab einer Leistung von 45 Objekten pro Stunde ein wirtschaftlicher Einsatz gegeben ist. In diesem Szenario arbeitet der Roboter 24 Stunden am Tag inklusive Ladevorgängen; die Abschreibungsdauer läge bei acht Jahren.

### Geplanter Markteintritt

Mit den aktuell durchgeführten Weiterentwicklungen und Optimierungen soll diese Zielleistung erreicht werden. Dadurch soll der Roboter insbesondere schneller arbeiten. Zudem sollen einzelne Komponenten wie das Werkzeug und der Tank hinsichtlich ihrer Sicherheit und Hygiene verbessert werden. Das Fraunhofer IPA plant, den Roboter im laufenden Jahr mit der Firma MetraLabs zur Marktreife zu bringen, sodass dieser ab Anfang 2023 ausgeliefert werden kann. Vorbestellungen sind bereits jetzt möglich.

### Roboter soll Türen öffnen und Aufzug fahren können

Mittelfristig wollen die Forscher den Roboter mit weiteren u. a. für den Einsatz in Einrichtungen des Gesundheitswesens benötigten Fähigkeiten versehen. Er soll beispielsweise zusätzliche relevante Objekte wie Griffleisten oder Tische erkennen und reinigen können. Dafür sollen auch weitere Reinigungswerkzeuge, beispielsweise mit wechselbaren Reinigungstüchern, aufgebaut werden. Eine weitere wichtige Funktion wäre, dass er Türen öffnen kann. So erhielte er Zugang zu Bewohner-



Patienten- oder Behandlungszimmern und könnte auch dort Oberflächen reinigen und desinfizieren. Individuelle Anpassungen des Roboters für weitere Anwendungsfelder sind ebenfalls bereits in Planung.

### Weitere Informationen:

<https://www.youtube.com/watch?v=9oL-HBVpTVI>

[www.mobdi-projekt.de](http://www.mobdi-projekt.de)

<https://www.metralabs.com/dekonbot/>

### Kontakt

Dr.-Ing. Birgit Graf

Telefon +49 711 970-1910

[birgit.graf@ipa.fraunhofer.de](mailto:birgit.graf@ipa.fraunhofer.de)



# Potenziale von Desinfektionsrobotern

Interview mit Dr. Andreas Bley, Geschäftsführer, MetraLabs GmbH



*Die mobile Robotik wird stark nachgefragt. Welche Anwendungen sind hier im Kommen und was setzen Sie aktuell vielfach um?*

Wir sind mit der Vision gestartet, dass Roboter Kunden zum Produkt führen und Shoppingerlebnisse generieren. In der gerade für einen Roboter sehr anspruchsvollen Umgebung des Einzelhandels haben wir Navigationstechnologien entwickelt, die den Raum kartieren, die Position des Roboters bestimmen, Pfade zu beliebigen Zielpunkten planen und dabei Hindernissen effizient ausweichen. Bei der Umsetzung von Kundenapplikationen haben wir festgestellt, dass Roboter im Store wichtige Daten liefern, die Händler bei der Automatisierung ihrer Prozesse unterstützen. Damit haben wir den Roboter TORY entwickelt, der selbstständig Bestände und Artikelpositionen erfasst und zusammen mit tagesaktuellen Grundrissen, der Erfassung von Barcodes und der Erkennung von Einrichtungsgegenständen Schritt für Schritt einen digitalen Zwilling der Filiale erzeugt. Mittlerweile sind wir mit TORY in Rollouts bei Adler Modemärkte, Decathlon und Kmart Australia und haben uns mit über 500 Robotern im Feld zu einem international führenden Anbieter von Robotern im Einzelhandel entwickelt.



Allein in Deutschland könnten DeKonBots in über 15 000 Pflegeheimen und knapp 2000 Krankenhäusern tagtäglich Oberflächen desinfizieren.

*Mit dem DeKonBot nehmen Sie erstmals einen mobilen Manipulator in Ihr Produktportfolio auf. Welche Überlegungen und welche Motivation stecken hinter diesem Schritt?*

Wir beschäftigen uns schon seit einigen Jahren mit Technologien, die für die Robotisierung von Reinigungsmaschinen entscheidend sind. Unter anderem haben wir gemeinsam mit dem Fraunhofer IPA im Rahmen des vom BMWi (jetzt: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, kurz BMWK; Ergänzung der Redaktion) geförderten Forschungsprojekts »BakeR« an einem modularen Roboter für die Nass- und Trockenreinigung geforscht. Durch den Einsatz eines Manipulators ist man nicht mehr auf den Boden beschränkt, sondern kann nach Bedarf auch diverse Oberflächen reinigen und desinfizieren. Der bei DeKonBot verwendete kollaborierende Roboterarm und das zugrundeliegende Sicherheitskonzept ermöglichen es, diesen unbeaufsichtigt im öffentlichen Raum einzusetzen. Durch die automatische Desinfektion mit dem am Roboterarm angebrachten Bürstenwerkzeug ergeben sich noch viel mehr Einsatzmöglichkeiten als bei anderen Reinigungsrobotern. Darüber hinaus möchten wir Erfahrungen mit dem Einsatz von Manipulatoren auf mobilen Plattformen sammeln. Es gibt über die Desinfektion hinaus viele Anwendungsfälle in der Logistik oder beim Verräumen, bei denen das sehr interessant sein könnte. Wir freuen uns, dass wir hier auf die langjährige Expertise des Fraunhofer IPA aufsetzen und diese für die Entwicklung neuer, innovativer Produkte nutzen können.

*Wie schätzen Sie die Marktpotenziale des DeKonBot ein?*

Das Marktpotenzial von Desinfektionsrobotern ist heute schon groß: Entsprechend der Statistik aus dem Jahrbuch »World Robotics Service Robots« lag der Umsatz von Desinfektionsrobotern im Jahr 2020 bei über 50 Mio. Dollar. Gegenüber dem Jahr zuvor hatte sich der Wert nahezu verdoppelt. Die angespannte Personalsituation, der hohe Desinfektionsaufwand und die regelmäßige Qualitätskontrolle stellen Reinigungsdienstleister sowie Betreiber von Krankenhäusern und Pflegeheimen nicht nur in Pandemiezeiten vor enorme Herausforderungen. Da überrascht es nicht, dass alleine für den Markt von UV-C-Desinfektionsrobotern bis 2030 ein Umsatz von weltweit über 3,7 Mrd. Dollar bei zweistelligen jährlichen Wachstumsraten prognostiziert wird. Allein in Deutschland gibt es über 15 000 Pflegeheime und knapp 2000 Krankenhäuser, in denen DeKonBots tagtäglich regelmäßig und dokumentiert Türklinken, Lichtschalter, Handläufe und weitere relevante Oberflächen desinfizieren könnten.

Herr Bley, vielen Dank für das Gespräch!



## Taktgeber im digitalen Produktionszeitalter

Nachhaltig, autonom, intelligent, rein:

**Von selbstlernenden Robotern für Feld und Fabrik über modernste Reinraumtechnologien, Verfahren zur Erklärbarkeit von maschinellem Lernen bis hin zu Softwaretools für die optimierte Produktion – das Fraunhofer IPA zeigt auf der automatica vom 21. bis 24. Juni 2022 eine Fülle von Anwendungen und Services für die automatisierte Produktion.**

**Alle Exponate im Überblick und Terminvergabe:**  
<https://www.wir-produzieren-zukunft.de/de/automatica2022>

**automatica**  
 21.–24. Juni 2022, 9–16 Uhr  
 Messe München, Halle A4, Stand 429

## Vorschau interaktiv Ausgabe 2|2022

### Matrixproduktion – wandlungsfähige und resiliente Produktionssysteme

Eine hohe Produktvarianz, die während eines Produktlebenszyklus zunimmt, stellt die Produktion vor Herausforderungen. Hinzu kommen Änderungen im Materialmix oder die Weiterentwicklung des Produkts, die ständig zu neuen Kapazitäts- und Ressourcen-Anforderungen führen. Eine starre Konfiguration der Produktion erweist sich als nicht mehr effizient. Um darauf reagieren zu können, bedarf es wandlungsfähiger Produktionssysteme, die kurzfristig auf sich ändernde Gegebenheiten angepasst werden können. In diesem Zusammenhang etabliert sich die Matrixproduktion als neues Produktionsparadigma, um ein flexibles und effizientes Produzieren im turbulenten Marktumfeld zu ermöglichen. Mehr davon in der nächsten Ausgabe unseres Kundenmagazins Interaktiv.



Impressum

interaktiv Ausgabe 1|2022 | Das Kundenmagazin des Fraunhofer IPA

### Herausgeber:

Fraunhofer-Gesellschaft | Hansastraße 27c | 80686 München

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart | Deutschland

Marketing und Kommunikation | Leitung: Fred Nemitz | fred.nemitz@ipa.fraunhofer.de

Fred Nemitz, Dr. Karin Röhrich, Christine Sikora (Bild und Produktion), Dr. Birgit Spaeth, Jörg-Dieter Walz (Chefredaktion), Hannes Weik

Telefon +49 711 970-1667 | presse@ipa.fraunhofer.de

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

Seite 8: Verena Barth; Seite 10: Illustration, Friederike Groß, Seite 13: H-TEC SYSTEMS GmbH; Seite 13: Adobe Stock;

Seite 14: Adobe Stock; Seite 15: Nicola Wettmarshausen; Seite 23: Universität Bayreuth/Graphik: Andreas Rosin;

Seite 28: Olivier Le Moal – Fotolia; Seite 29: Quelle: privat; Seite 48: MetraLabs

**Titelbild:** Illustration, Friederike Groß

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

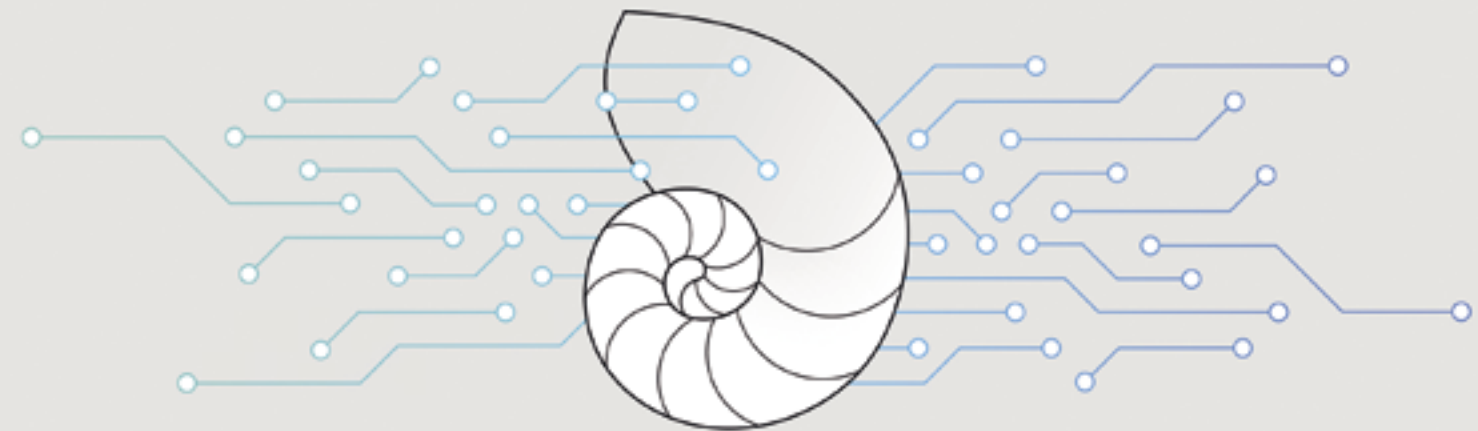
### Bestellservice:

Telefon +49 711 970-1932 | marketing@ipa.fraunhofer.de | www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/bestellservice.html



# Blog Biointelligenz

## Die nächste Transformation aktiv mitgestalten.



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



