

# TRENDS FÜR INDUSTRIE 4.0



## INHALT

»Der Mensch steht auch bei der Industrie 4.0 im Mittelpunkt« – Interview mit Prof. Dr. Michael Schenk	4
Sicher produzieren in der Industrie 4.0	8
Produktionsprozesse in Echtzeit anpassen	10
Produktion ohne starre Pläne	12
Mit dem Presswerk 4.0 Stillstandszeiten halbieren	14
Hightech-Technologien für die Fabrik der Zukunft	16
Digitaler Schulterchluss von Mensch und Maschine – Interview mit Prof. Wilhelm Bauer	20
Radar mit Rundumblick	24
Das Unerwartete wird planbar	25
»Internet der Dinge« für die Industrie der Zukunft	26
Logistik: Taktile Servolenkung für Kommissionierwagen	28
Kontakt   Impressum	30
Bildquellen	31

## SICHER, FLEXIBEL, INTUITIV



Die drei Adjektive – sicher, flexibel, intuitiv – beschreiben sehr gut, wie sich Unternehmen die Produktion der Zukunft wünschen: Individuelle Fertigung bis hin zu Losgröße 1. Vernetzt produzieren, konsumieren, arbeiten, kommunizieren und partizipieren – von der Produktion bis hin zur Energieversorgung werden digitale Lösungen über alle Branchen hinweg angewandt. Das beeinflusst bestehende Geschäftsmodelle, verändert etablierte Marktstrukturen und sorgt für eine Neuverteilung der Anteile am Weltmarkt. Fraunhofer kann für eine Vielzahl dieser Herausforderungen, denen sich Unternehmen im Kontext Industrie 4.0 stellen müssen, Lösungen liefern. Unsere Kompetenz beruht auf langjähriger Forschung und Entwicklung zu Themen wie Fabrikautomatisierung, Logistik, Sensorik, IuK und vielem mehr, was heute unerlässlich ist: Cyber-Physische Systeme nehmen Sensordaten auf, mit deren Hilfe sie Material-, Güter- und Informationsflüsse regeln. Starre Fabrikstraßen werden zu modularen und effizienten Systemen und schonen Ressourcen. Der Mensch wird durch Assistenzsysteme unterstützt,

neue Formen der Mensch-Technik-Interaktion entstehen. Das volkswirtschaftliche Potenzial ist immens. Durch Industrie 4.0 sind allein in sechs volkswirtschaftlich wichtigen Branchen bis zum Jahr 2025 Produktivitätssteigerungen in Höhe von rund 78 Milliarden Euro möglich. Zu diesem Ergebnis kommt eine aktuelle Studie des Fraunhofer IAO und der BITKOM.

Anwendungsbeispiele zeigen wir in dieser Broschüre: Durch die gezielte Vernetzung von Produktionsdaten erkennen Mitarbeiter Fehler schneller, Stillstandszeiten werden so halbiert. Neue Funkkommunikationstechnologie ermöglicht die Anbindung an IoT-Plattformen; hochkomplexe Kleinserienfertigungen gelingen durch eine ausgeklügelte Robotersteuerung. Mit der »StemCellFactory« demonstrieren Fraunhofer-Forscher, dass die umfassende Vernetzung von Maschinen und Produkten auch in der Biotechnologie Einzug hält.

Prof. Dr. Reimund Neugebauer



## »DER MENSCH STEHT AUCH BEI DER INDUSTRIE 4.0 IM MITTELPUNKT«

Ein Interview mit Prof. Michael Schenk vom Fraunhofer-Verbund Produktion zu Chancen und Herausforderungen der Industrie 4.0.

**Herr Prof. Schenk, wie sehr wird Industrie 4.0 die Art und Weise, wie Industrieunternehmen bisher gearbeitet und gedacht haben, verändern?**

Zum einen werden Konsumenten und Produzenten sich in Zukunft noch enger digital vernetzen und dadurch eine hohe Produktindividualisierung erreichen. Andererseits werden Produkte nur noch kombiniert mit produktionsnahen, digitalisierten Dienstleistungen nachgefragt. Der digitale Mehrwert übertrifft den reinen Produktwert, und es verschmelzen die Kreativ- und Arbeitsprozesse in Produktentwurf, Entwicklung und Produktion. Diese Entwicklung wird rasch und umfassend stattfinden sowie zunehmend von Werkzeugen der Künstlichen Intelligenz

begleitet. Wenn man alle Daten in der Wertschöpfungskette, also Big Data, zeitnah und zielgerecht erfasst und ausgewertet, lässt sich eine hohe Arbeits- und Energieproduktivität erreichen.

**Mit Hilfe Cyber-Physischer Systeme wollen Unternehmen die Individualisierung der Produkte vorantreiben. Maßgeschneiderte kundenspezifische Produkte lassen sich günstiger fertigen. Wo liegen die wesentlichen technologischen Hürden, wo ist Forschungsbedarf?**

Die Sicherheit im Umgang mit individuellen Daten von Kunden und Mitarbeitern, also Cyber Security, wird eine große Rolle spielen und muss zukünftig sorgfältig be-

trachtet und begleitet werden. Als problematisch erachte ich, dass der Breitbandatlas in Deutschland immer noch Lücken aufweist, insbesondere in den neuen Bundesländern. Dort ist die Breitbandverfügbarkeit sehr heterogen. Hier müssen rasch Maßnahmen zur Abhilfe getroffen werden. In diesem Zusammenhang will ich auch auf den Industrial Data Space hinweisen, eine von der Fraunhofer-Gesellschaft gegründete Initiative. In einem Förderprojekt arbeiten Forscher an einer Referenzarchitektur für den sicheren Datenraum und dessen Umsetzung. Denn Voraussetzung für Industrie 4.0 ist, dass Unternehmen die Hoheit über ihre Daten behalten. Eine Hürde ganz anderer Art: Sollen Produkte individualisiert auf Anlagen gefertigt werden, die von verschiedenen Herstellern kommen, so müssen die Maschinen untereinander kommunizieren können. Selbst für diese unterste Schicht einer »intelligenten Vernetzung« fehlen derzeit

*Prof. Dr.-Ing. Michael Schenk, Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Produktion, Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF*

noch allgemein akzeptierte Standards. Zumindest hat Industrie 4.0 den Diskussionsprozess darüber in Gang gesetzt. Noch komplexer wird es, wenn neben der reinen Datenübertragung ein semantisches »Verstehen« und die selbstständige Ableitung von Folgerungen, zum Beispiel für den weiteren Fertigungsprozess, gefordert werden. Hier stehen wir erst ganz am Anfang einer Entwicklung, die noch viel Forschungsbedarf erfordert.

**Kleine und mittelständische deutsche Unternehmen haben häufig noch Probleme, das Potenzial von Industrie 4.0 zu identifizieren. Wie kann es gelingen, die Chancen aufzuzeigen und den Anschluss an die weltweite Entwicklung nicht zu verpassen?**

KMU haben oft nicht die personelle Ausstattung, insbesondere im Blick auf Fach-



kräfte, um diesen Paradigmenwechsel intensiv und nachhaltig zu begleiten. Der Auf- und Ausbau von staatlich kofinanzierten Modellfabriken und Lernplattformen kann hier wertvolle Unterstützung leisten. Ein besonderes Augenmerk ist aber auf das Handwerk zu legen. Der Begriff Handwerk 4.0 ist nicht eingeführt, spielt aber in der Umsetzung im System- und Zulieferverbund eine wichtige Rolle. Nur wenn alle an der Gesamt-Wertschöpfung beteiligten Institutionen an »4.0« teilhaben und teilnehmen können, entsteht der angestrebte Paradigmenwechsel.

---

### **Der Wandel bringt zahlreiche Herausforderungen für den Menschen mit sich. Welche Aspekte stehen dabei im Zentrum?**

---

Der Mensch steht auch bei der Industrie 4.0 im Mittelpunkt. Indem man systematisch digitale Lern- und Assistenzsysteme einführt und individuelle Trainings- und Coaching-Programme erschließt, kann man die Kompetenzen der Mitarbeitenden stei-

gern. Wir benötigen zunehmend digitale Hilfsmittel. Physische Belastungen können beispielsweise durch Mensch-Roboter-Kollaboration abgebaut werden. Psychische Belastungen hingegen lassen sich etwa durch die adaptive und visualisierbare Handhabung von Datenströmen mindern.

---

### **Welche Forschungsprojekte verfolgt der Fraunhofer-Verbund Produktion, um den Menschen so in die Produktion zu integrieren, dass eine gesund-erhaltende Arbeit in allen Phasen des Berufslebens unter der fortschreitenden Automatisierung möglich ist?**

---

Gegenwärtig konzipieren wir im Verbund soziotechnische Produktionssysteme, die den Anforderungen und Bedürfnissen des Menschen in der Industrie 4.0 Rechnung tragen, insbesondere unter den Aspekten des demografischen Wandels. Die Entwicklung und Einführung von Methoden, Modellen und Verfahren zum technologie-unterstützten Lernen bei datenintensiven Prozessen findet bereits umfangreich statt.

Das erfordert eine neue Qualität in der Mensch-Maschine-Kommunikation sowie von erweiterten Formen des maschinellen Lernens. Hierzu gibt es in allen Instituten des Verbunds Projekte mit Industriepartnern.

---

### **Welche Maßnahmen ergreift der Fraunhofer-Verbund Produktion, um die Arbeitsplätze der Zukunft zu gestalten?**

---

Die Aktivitäten hierzu sind vielfältig und richten sich auf Produktionssysteme mit spezifischen Arbeitsplätzen. Im Mittelpunkt stehen dabei kollaborative Mensch-Roboter-Systeme, Bediener-schnittstellen zu unterschiedlichen Betriebsmitteln als auch vielfältige Formen von Assistenzsystemen.

---

### **Wie unterstützt Fraunhofer Unternehmen beim Umstieg auf Industrie 4.0?**

---

Wir unterstützen Unternehmen auf mannigfaltige Weise. Das geht über »Industrie 4.0-Check-ups« in Firmen, Gestaltung

von Industrieforen gemeinsam mit Verbänden und Kammern bis hin zum Aufbau von Demonstratoren wie Modellfabriken und Lernplattformen. Natürlich werden bereits gemeinsam mit vielen Partnern Projekte bearbeitet.

---

### **»Made in Germany« steht für Qualität deutscher Ingenieurleistungen. Wo stehen deutsche Industriebetriebe im Hinblick auf Industrie 4.0 im internationalen Wettbewerb?**

---

Durch die Einführung von Industrie 4.0 können Industriebetriebe die vergleichsweise hohen Lohnstückkosten und Energiekosten im anlagenintensiven Geschäft kompensieren. Ein Begriff dafür könnte die »Digitalproduktivität« sein. Das beschreibt, wie effizient ein Unternehmen mit eigenen und fremden Daten in seinen Kreativ- und Wertschöpfungsprozessen umgeht. Mit Industrie 4.0 werden wir unsere Positionen im Maschinen- und Anlagenbau im internationalen Wettbewerb stärken und ausbauen.



## SICHER PRODUZIEREN IN DER INDUSTRIE 4.0

IT-Sicherheit ist eine der zentralen Voraussetzungen für das Gelingen von Industrie 4.0. Durch das Verschmelzen von Produktion und Dienstleistung mit dem Internet eröffnen sich neue Angriffspunkte für Cyberkriminalität und Wirtschaftsspionage. Verlässliche Lösungen von Fraunhofer-Forschern schützen die vernetzte Produktion vor Attacken.

Industrie 4.0-Netze benötigen besondere Schutzmaßnahmen, ausgefeilte Netztechnik und effektive Prüfmethode, die Sicherheitslücken aufdecken und zuverlässig schließen. Mit einem speziell für Produktions- und Automatisierungstechnik ausgestatteten IT-Sicherheitslabor bietet das Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe eine gesicherte Testumgebung, um potenzielle Angriffe auf Produktionsnetze nachzustellen, die Auswirkungen zu untersuchen und so neue Strategien und geeignete Abwehrmaßnahmen abzuleiten.

Das IT-Sicherheitslabor verfügt über eine eigene Modellfabrik mit realen Automatisie-

rungskomponenten, die einen simulierten Fertigungsprozess steuern und überwachen. In dem speziell für Produktions- und Automatisierungstechnik ausgestatteten Labor lässt sich die gesamte hierarchische IT-Infrastruktur einer Fabrik mit Büronetz sowie Netzen für Produktionsplanung, -überwachung und -steuerung nachbilden. Eine eigene Private Cloud erlaubt es den Experten des IOSB, unterschiedliche Konfigurationen flexibel einzurichten und die Modellfabrik auf verschiedene Szenarien einzustellen. »In der Cloud sind unsere Forscher in der Lage, ohne den Kauf von Komponenten und ohne das Verlegen von Leitungen andere Fabriksituationen aufzubauen und Cyber-Angriffen zu simulie-

ren«, erklärt Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyerer, Institutsleiter des IOSB.

### Nationales Referenzprojekt für IT-Sicherheit

Im »Nationalen Referenzprojekt für IT-Sicherheit in der Industrie 4.0«, kurz IUNO, bringen drei Fraunhofer-Institute ihre Expertise ein: das Fraunhofer-Institut für Angewandte und integrierte Sicherheit AISEC, für Sichere Informationstechnologie SIT und für Experimentelles Software Engineering IESE. Das Vorhaben fokussiert sich speziell darauf, vernetzte Industrieanlagen effektiv vor Cyber-Angriffen und Spionage zu schützen. Denn etablierte Sicherheitskonzepte lassen sich nicht einfach übernehmen. Während bei der Business-IT die Vertraulichkeit oberste Priorität hat, stellt in Produktionsanlagen die Verfügbarkeit die wichtigste Anforderung an IT-Systeme dar. Existierende IT-Security-Lösungen schränken bei Gefahr der Vertraulichkeit automatisch die Verfügbarkeit der zu schützenden Systeme ein. Bei Produktionsanlagen würde ein solcher

Mechanismus Produktionsstillstände bewirken. Gemeinsam mit 18 Partnern aus Industrie und Forschung etablieren die Fraunhofer-Wissenschaftler praxistaugliche IT-Sicherheitslösungen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF fördert das Projekt.

### Industrial Data Space für sicheren Austausch von Daten

Die am häufigsten geäußerte Befürchtung ist, dass bei Industrie 4.0 die Daten nicht sicher seien, Geschäftsgeheimnisse verloren gehen und Firmeninterna der Konkurrenz offenbart würden. Vor diesem Hintergrund entwickelt die von der Fraunhofer-Gesellschaft ins Leben gerufene Initiative Industrial Data Space ein »Network of Trusted Data«, das als sicherer Datenraum den Unternehmen verschiedener Branchen und aller Größen ermöglicht, ihre Daten souverän zu vernetzen. Siehe Interview mit Prof. Dr.-Ing. Michael Schenk, Seite 4.

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

<http://s.fhg.de/it-sicherheitslabor>



## PRODUKTIONSPROZESSE IN ECHTZEIT ANPASSEN

Die Industrie 4.0 erfordert eine durchgehende Datenerfassung, um hochautomatisierte Prozessabfolgen in komplexen Produktionsumgebungen zu steuern. Ein Beispiel dafür ist die Kultivierung lebendiger Zellen. Mit einer vollautomatischen Anlage zum Generieren von Stammzellen ist es Fraunhofer-Forschern gelungen, die Prozesssteuerung an das Wachstum der Zellen anzupassen. Damit haben sie ein adaptives System entwickelt, das sich für viele Branchen eignet.

Den Begriff Industrie 4.0 verbindet man mit der Fertigung von Autos, Maschinen oder Industriegütern. Wie die Kooperationspartner aus dem Verbundprojekt »StemCellFactory« zeigen, hält die umfassende Vernetzung von Maschinen und Produkten aber auch in der Biotechnologie Einzug. Das ist eine besondere Herausforderung, denn hier hat man es nicht mit fixen Bauteilen, sondern mit lebenden Objekten zu tun, die sich verändern und vermehren. Eine vernetzte Steuerung muss damit zurechtkommen und den Prozess in Echtzeit anpassen können.

Die Partner haben im Projekt StemCellFactory eine vollautomatische Produktionslinie aufgebaut, um Stammzellen, die sich zu jedem Zelltyp des Körpers entwickeln können, zu vermehren. Experten nennen diese Zellen »induziert pluripotente Stammzellen«. Solche Zellen werden für die Entwicklung von Medikamenten in der individualisierten Medizin benötigt. Man gewinnt sie aus adulten Körperzellen wie Hautzellen des Menschen. »Wir gehen davon aus, dass die mit derartigen Zellsystemen erzeugten Daten wesentlich bessere Vorhersagen im Hinblick auf die

Wirksamkeit einzelner Medikamente zu lassen«, sagt Simone Haupt, Leiterin des Bioengineering-Segments der Life & Brain GmbH und Partner im Projekt.

### Modulare Produktionsplattform

Ziel des Projekts war es, eine vollautomatische und modular aufgebaute Anlage zu entwickeln, die einen hohen Durchsatz bei gleichbleibend hoher Stammzell-Qualität erreicht. Die Entwicklung und Steuerung dieser Anlage war Aufgabe der Experten des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT. Da es zu Projektbeginn keine einheitlichen Schnittstellen für Laborautomatisierungsgeräte gab, mussten die Forscher einen eigenen Standard etablieren, um die verwendeten Geräte zu vernetzen und es der Leittechnik und den Geräten zu ermöglichen, Informationen auszutauschen. Das war die Voraussetzung dafür, dass sich die Anlage sehr flexibel an die biologischen Vorgänge anpassen kann. Entscheidend ist vor allem das Wachstum der Zellen. Wachsen diese in den Zellkulturgefäßen heran, teilen sie sich nach und nach.

Das am IPT entwickelte Mikroskop prüft hierzu in regelmäßigen Abständen die Wachstumsdichte in den Zellkulturgefäßen. Ist eine kritische Dichte erreicht, gibt das Mikroskop den Befehl, die Zellen zu versetzen. »Damit entscheidet das Produkt, also die wachsenden Stammzellen, über den Ablauf des Gesamtprozesses«, sagt Michael Kulik, Wissenschaftler am IPT.

Die im Projekt StemCellFactory entwickelte Technologie lässt sich auch auf andere Anwendungen übertragen, etwa das Tissue-Engineering und damit die Produktion von Gewebemodellen. Möglich wäre auch die vollautomatisierte Fertigung von Zahnrädern, Schrauben, Motoren etc. Da die Programmierung sehr flexibel ist, lässt sich die Steuerungstechnik auch auf jede andere Produktionsanlage übertragen, bei der eine adaptive Steuerung auf Basis aktueller Messdaten gefragt ist. Am Projekt StemCellFactory arbeiten neben dem IPT die Universitätskliniken Aachen und Bonn, die HiTec Zang GmbH, die Life & Brain GmbH sowie das Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin.



## PRODUKTION OHNE STARRE PLÄNE

Wie sich eine flexible Produktion zu den Kosten und mit dem Tempo einer Linienfertigung erreichen lässt, darüber gehen die Meinungen auseinander. Das Fraunhofer IPK organisiert eine Produktion ohne feste Verkettungen, die das menschliche Koordinations- und Entscheidungsvermögen zu einem zentralen Bestandteil der Ablaufsteuerung macht.

Hinter dem Begriff Industrie 4.0 steckt die Idee, dass in der Fabrik der Zukunft Maschinen direkt miteinander, mit Werkstücken und mit dem Menschen kommunizieren – mit dem Ziel, dass die Produktion sich selbst organisiert. Dieses Ziel will das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK erreichen, indem es den Menschen in den Mittelpunkt stellt. Die Entscheidungsgewalt über den Fertigungsablauf liegt bei den Mitarbeitenden. Dabei unterstützen sie leistungsfähige Werkzeuge. Beispiel Getriebefertigung: Zahnräder werden bisher in fest verketteten Linien gefertigt, bei denen etwa Fräs- und Drehmaschinen miteinander

verbunden sind. Fällt eine Maschine aus, steht die ganze Linie still. Zudem ist es aufwändig bis unmöglich, mehrere Getriebefamilien gleichzeitig herzustellen. »Will man hier flexibler werden, muss die konventionelle Verkettung aufgehoben werden«, sagt Dr. Benjamin Kuhrke, Projektleiter von der Adam Opel AG im gemeinsamen Forschungsprojekt iWePro, kurz für Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion.

### Maschinen zu Inseln gruppieren

Alternativen zur Linie gibt es: Zum Beispiel die Werkstattfertigung. Dabei werden Maschinen für ähnliche

Fertigungsaufgaben zu Inseln zusammengestellt – etwa mehrere Drehmaschinen zu einer Drehmaschineninsel oder aber mehrere Fräsmaschinen zu einer Fräsmaschineninsel. »Dann aber braucht man Methoden, die gewährleisten, dass ein Produkt die Fertigung zügig und zuverlässig durchläuft. Sonst wird am Ende ein Bearbeitungsschritt vergessen, oder ein Auftrag bleibt auf halbem Weg durch die Produktion stecken, weil keiner weiß, wo er als nächstes hin soll«, bemerkt Eckhard Hohwieler, Leiter der Abteilung Produktionsmaschinen und Anlagenmanagement am IPK.

Genau dort setzen die Berliner mit ihren Forschungsarbeiten an. Mit einer neuartigen Prozessorganisation wollen sie die feste Verkettung überflüssig machen, ohne dass der zuverlässige Produktionsdurchlauf der Linie verloren geht. IT-getriebene Werkzeuge sorgen dafür, dass Mitarbeiter auf allen Hierarchieebenen zu jeder Zeit genau die Informationen erhalten, die sie benötigen, um ihren Teil zur termingerechten Fertigstellung des

Produkts beitragen zu können – vom Prozessmanagement über die Produktionsplanung bis zur Endmontage.

Um Werkstattaufträge situationsgerecht zu steuern, entwickeln die Forscher gemeinsam mit Industriepartnern ein Agentensystem, das die Umsetzung des Fertigungsplans überwacht. Die Agenten – Bestandteile der Agentensystem-Software – informieren die Mitarbeiter an den einzelnen Stationen der Werkstatt, welche Maschine für den nächsten Bearbeitungsschritt eines Auftrags vorgesehen ist – und assistieren, wenn Umplanungsbedarf entsteht, etwa weil eine Maschine ausfällt.

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

<http://s.fhg.de/ipk-industrie40>



## MIT DEM PRESSWERK 4.0 STILLSTANDSZEITEN HALBIEREN

Mit dem Presswerk 4.0 wollen Fraunhofer-Forscher unter anderem fehlerbedingte Stillstandszeiten um mindestens die Hälfte reduzieren. Durch die gezielte Vernetzung von Daten in der Produktion können Mitarbeitende Fehler schneller erkennen und beheben.

Angeliefert auf riesigen Rollen, werden Stahlbleche im Presswerk zunächst auf die benötigte Größe zugeschnitten. Anschließend durchlaufen sie mehrere Pressen und erhalten ihre gewünschte Form – beispielsweise die einer Autotür. Wird jedoch ein Riss im Bauteil entdeckt, müssen es die Mitarbeiter aussortieren, denn jeder weitere Prozessschritt kostet Geld. Knifflig wird es vor allem, wenn es sich nicht um einen Ausreißer handelt, sondern alle aus der Presse laufenden Bauteile den Fehler aufweisen. Dann heißt es: die Pressen anhalten und sich auf die Fehlersuche begeben. Liegt es am Werkstoff oder der Beölung? Fährt die Presse nicht ordnungsgemäß? Die zahlreichen Para-

meter und Fehlerszenarien zu überprüfen, nimmt Zeit in Anspruch, in der die Produktion stillsteht.

### Die richtige Information, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort

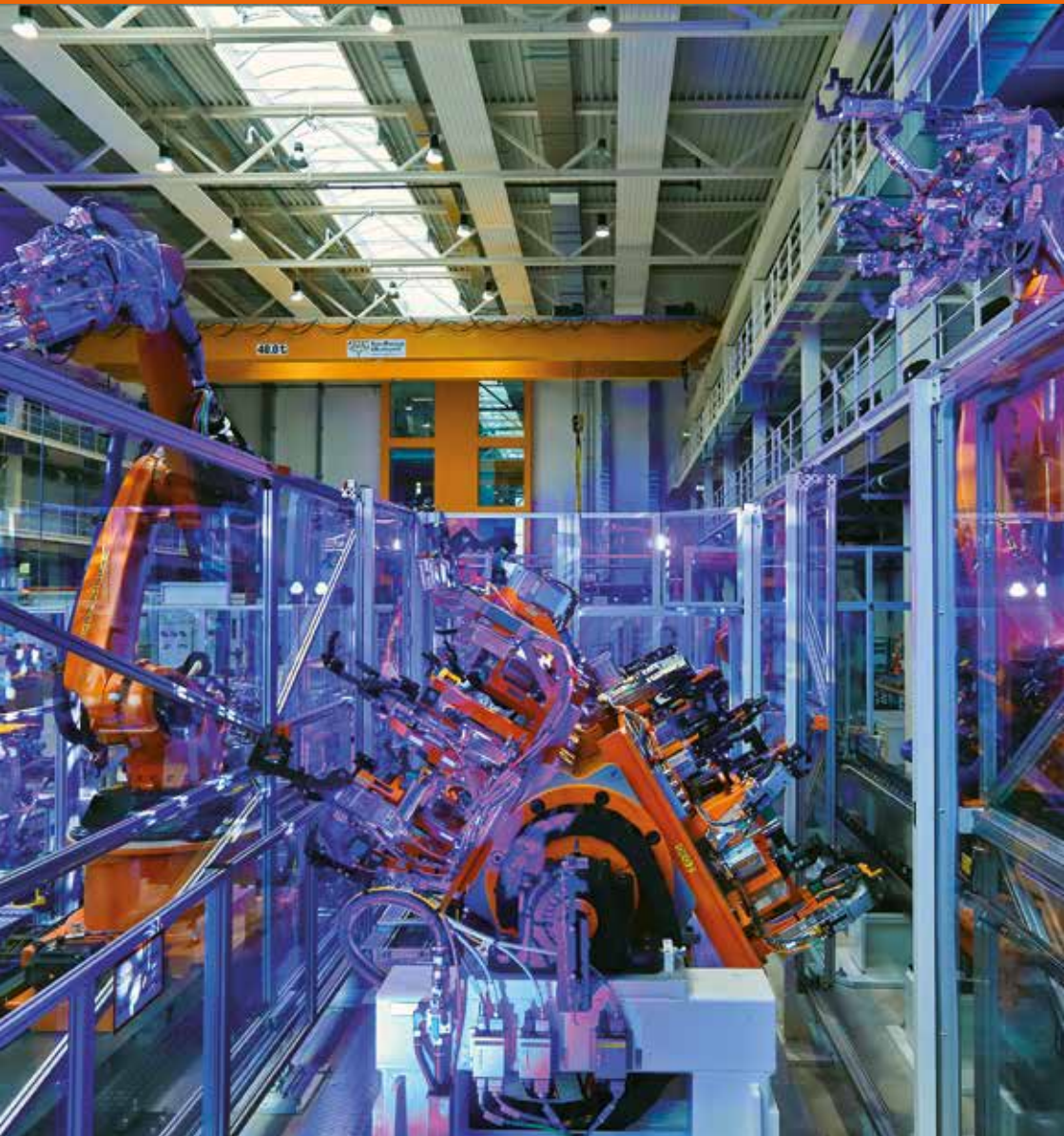
Forscher am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU haben sich das Thema Industrie 4.0 im Bereich des Maschinenbaus auf die Fahnen geschrieben – und widmen sich unter anderem dem Presswerk der Zukunft. Wie bei der E<sup>3</sup>-Forschungsfabrik Ressourceneffiziente Produktion (siehe Seite 17) wird das E<sup>3</sup>-Konzept angewandt: effiziente Technologie, emissionsneutrale Fabrik und

Einbindung des Menschen. »Wir führen die verschiedenen Daten in einer am Institut entwickelten Daten- und Dienstleistungsplattform, der »Linked Factory«, zusammen und generieren daraus neue Informationen, die wir den Mitarbeitern dann beispielsweise auf mobilen Endgeräten bereitstellen«, erläutert Sören Scheffler, Wissenschaftler am IWU. Auf der Grundlage dieser Daten können die Forscher die Fehlerquellen schneller eingrenzen und gezielt Lösungen zu deren schnellstmöglicher Behebung vorschlagen. Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und Wissenschaft arbeitet das Fraunhofer IWU daran, die fehlerbedingten Stillstandszeiten so um 50 Prozent zu reduzieren. Auch bei kurzfristigen Planänderungen sollen Werksbetreiber schneller und flexibler auf Marktanforderungen und Kundenwünsche reagieren können.

Zunächst setzen die Forscher auf Daten, die bereits erhoben werden, etwa durch Sensoren oder Kamerasysteme, denn das Problem ist selten in den Informationen selbst zu suchen. Künftig werden die

Daten von einer Software zentral gesammelt, zu Informationen verknüpft, und auf diese Weise wird neues Wissen generiert. Im Fall der fehlerhaften Tür vereint sie beispielsweise Sensordaten von Werkzeugen mit Informationen zur Beölung sowie Daten zum Ausgangsmaterial und überprüft, welche Werte außerhalb der jeweils vorher festgelegten Toleranzwerte liegen. Auf dieser Grundlage werden dem Mitarbeiter Szenarien vorgeschlagen, mit denen er das gemeldete Problem zielgerichtet lösen kann. Die Forscher am IWU denken hier aber noch ein Stück weiter: Intelligente, vernetzte Maschinen gleichen selbstständig Störeinflüsse aus, sodass Material verarbeitet werden kann, das im Ausschusscontainer landen würde.





## HIGHTECH-TECHNOLOGIEN FÜR DIE FABRIK DER ZUKUNFT

In Forschungsfabriken an den Standorten Chemnitz und Stuttgart-Vaihingen erproben Fraunhofer-Wissenschaftler gemeinsam mit der Industrie Lösungen für den Automobilbau der Zukunft.

Im Mai 2014 wurde die E<sup>3</sup>-Forschungsfabrik Ressourceneffiziente Produktion am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Chemnitz eröffnet. Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie forschen Wissenschaftler hier an Lösungen für die energie- und ressourceneffiziente Produktion von morgen.

Der Fokus der Chemnitzer Forschungsfabrik liegt auf zwei Technologiebereichen: dem Karosseriebau und der Herstellung von Antriebsstrangkomponenten. So wird etwa an Anlagen für den Karosseriebau geforscht, mit denen sich flexibel verschiedene Automodelle eines Herstellers zusammenbauen lassen. Bisher benötigt man für jedes Modell meist eine neue

Produktionsstrecke. Im aktuellen Forschungsprojekt mit VW, Audi, Phoenix Contact und Kuka werden die gerade benötigten Bauteile im Lager identifiziert und mittels einer vernetzten Logistik an der Anlage bereitgestellt. Mithilfe von Aktoren, also Antriebsselementen, stellen sich die Roboter und Greifer dann selbstständig auf das zu fertigende Modell ein.

Neben Energie, Material, Zeit und Kosten werden darüber hinaus Daten zu einer immer wichtigeren Produktionsressource. In der E<sup>3</sup>-Forschungsfabrik speisen über 1500 Datenquellen ein eigenes Informationssystem, etwa mit Betriebszuständen, Energieverbräuchen oder Wartungsterminen. Neue, umformbasierte Prozessketten



können so analysiert, optimiert und unter Fabrikbedingungen getestet werden.

### **ARENA2036: Forschungsfabrik auf 5000 Quadratmetern**

Auf dem Forschungscampus ARENA2036 arbeiten Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und der Universität Stuttgart gemeinsam mit Unternehmen wie Bosch, Daimler, Festo, Kuka und BASF in einer Forschungsfabrik daran, leichtere, umweltfreundliche Autos personalisiert in Stückzahl eins zu erschwinglichen Preisen zu entwickeln und zu produzieren.

In der rund 5000 Quadratmeter großen Werkstatt- und Fabrikationshalle auf dem Vaihinger Universitätscampus sollen Fahrzeugkonzepte und Produktionsverfahren der Zukunft praxisnah erforscht werden und die Fertigung am Fließband ersetzen. Der Grundstein der Forschungshalle wurde im Oktober 2015 gelegt, bereits Ende 2016 soll die Halle fertiggestellt sein. Die Projektpartner wollen die bislang

weitgehend starre Linienproduktion durch eine Produktion ersetzen, die weit weniger von Förderbändern und Taktzeiten abhängt. »Die Aufgabe von ARENA2036 ist die Entwicklung einer nachhaltigen Automobilproduktion und die Unterstützung eines Technologiewandels, der individuelle Mobilität mit niedrigem Ressourcenverbrauch ermöglicht. Den Schlüssel liefern wandlungsfähige, in Echtzeit vernetzte Produktionssysteme«, resümiert Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Institutsleiter des Fraunhofer IPA.

[www.e3-fabrik.de](http://www.e3-fabrik.de)  
[www.arena2036.de](http://www.arena2036.de)



## DIGITALER SCHULTERSCHLUSS VON MENSCH UND MASCHINE

Ein Interview mit Prof. Wilhelm Bauer, Institutsleiter am Fraunhofer IAO, über die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeitswelt.

**Herr Prof. Bauer, im vergangenen Jahr sind am Fraunhofer IAO einige richtungsweisende Forschungsprojekte zum Thema Digitalisierung der Arbeitswelt gestartet. Wo sehen Sie in den nächsten Jahren entscheidende Entwicklungen?**

Verfolgt man die aktuelle Diskussion in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft, wird deutlich, dass die Digitalisierung unsere Lebens- und Arbeitswelt massiv verändern wird. Aus meiner Sicht sind drei Elemente in diesem Zusammenhang maßgeblich: wir Menschen mit unseren modernen Bedürfnissen und Verhaltensweisen, neue – teilweise disruptive – Geschäftsmodelle und die Technologie, allem voran die Digital- und Informationstechnik.

**Wie wirkt sich die digitale Transformation auf unseren Arbeitsalltag aus?**

Das Internet und digitale Technologien verändern unseren Arbeitsalltag signifikant. In der Bürowelt ist digitales Arbeitsverhalten schon weit entwickelt. Wir können arbeiten wo, wann und wie wir wollen. Und der Einzug von Systemen mit künstlicher Intelligenz wird die Wissens- und Büroarbeit noch ganz erheblich verändern. Diese Entwicklungen halten nun auch in unseren Fabriken Einzug: Im Internet der Dinge kommunizieren intelligente, vernetzte Objekte untereinander sowie mit Menschen. Wir werden dadurch einen neuen Automatisierungsschub bekommen. Dies ist im Hinblick auf unsere demografische Situation gut.



*Prof. Wilhelm Bauer, Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO*

**Wird die oftmals beschriebene »digitale Kluft« angesichts dieser Entwicklungen nicht immer größer?**

Ja, die Gefahr besteht. Da sind zum einen die jungen Menschen der Generationen Y und Z, die mit hoher IT-Affinität digital sozialisiert und »always online« sind. Sie gehen mit Digitaltechnik – auch in der Arbeitswelt – ganz selbstverständlich um. Und auf der anderen Seite stehen die Anforderungen von älteren Menschen, die diesen Zugang so nicht selbstverständlich haben. Auch sie müssen wir mitnehmen in die zukünftige digitale Welt der Arbeit, denn wir wollen niemanden mit wertvoller Qualifikation dabei verlieren. Das erfordert entsprechende Weiterbildungsanstrengungen. Auch der Aufbau altersgemischter Teams ist eine gute Möglichkeit. Und wir brauchen Digitaltechnik, die so einfach zu nutzen ist, dass Menschen jeden Alters, jeder Kultur und jeder Qualifikation damit

ganz leicht umgehen können. Technik muss also »easy-to-use« sein.

**Schlagwort Industrie 4.0 – wie werden diese Entwicklungen Produktionsunternehmen vorantreiben?**

Wir befinden uns mit dem »Internet der Dinge und Dienste« am Beginn der nächsten industriellen Revolution, die wir Industrie 4.0 nennen. Das bedeutet konkret, dass produzierende Unternehmen auf der einen Seite digital angereicherte Produkte, wir sprechen hier von Cyber-Physical Systems, entwickeln werden. Und diese Produkte werden in smarten Fabriken produziert, in denen digitale und vernetzte Produktionssysteme die neuen Produkte immer intelligenter automatisiert herstellen. Digitalplattformen unterstützen die Produktion der smarten Produkte über den ganzen Wertschöpfungsprozess

# WACHSTUMSCHANCEN DURCH INDUSTRIE 4.0

Bruttowertschöpfung 2013 ausgewählter Branchen in Deutschland (Mrd. €)



Bruttowertschöpfung 2025\* ausgewählter Branchen in Deutschland (Mrd. €)



Jährliche Steigerung 1,7%

Gesamt 422,1

\* Prognose



Prognosen aus der Studie »Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland« © BITKOM, Fraunhofer IAO 2014

»end-to-end«, vom Kundenbedarf bis hin zum Kundennutzen.

## Welche volkswirtschaftlichen Potenziale sehen Sie für die Industrie 4.0?

Das ist natürlich eine entscheidende Frage, der wir schon im Jahr 2014 im Rahmen einer Studie mit der BITKOM nachgegangen

sind. Diese hat ergeben, dass Industrie 4.0 das Potenzial dazu hat, unsere industrielle Wertschöpfung so zu revolutionieren wie das Internet die Wissensarbeit. Um das volle Potenzial der Industrie 4.0 zu heben, müssen wir das »Ecosystem« aus Mensch, Technik und Organisation ganzheitlich gestalten. Und wir brauchen Standards auf der Technologie- und Anwendungsseite sowie Regeln für schnelle und schnittstel-

lenfreie Kommunikation, Datenschutz und Datensicherheit. Daran arbeiten wir beispielsweise auch mit der Fraunhofer-Initiative Industrial Data Space.

Das war schon immer unsere Stärke, hier haben wir sehr gute Chancen.

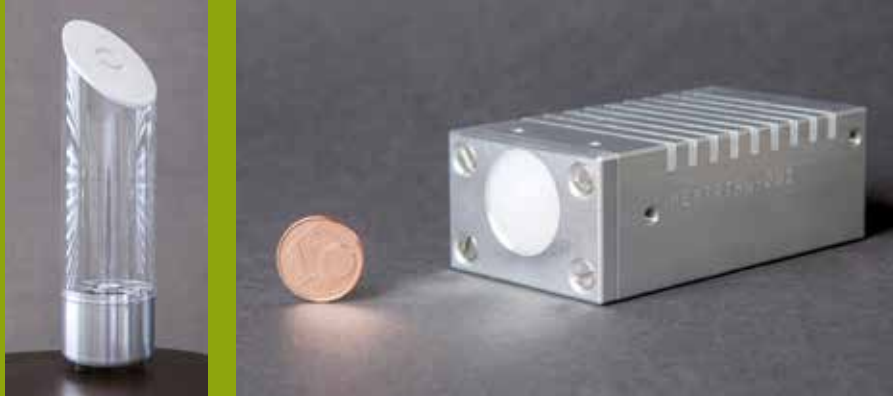
## Rückt der Mensch denn nun weiter in den Mittelpunkt der Mensch-Maschine-Interaktion?

## Wie wird aus der Industrie 4.0 Realität? Wo sehen Sie Herausforderungen bei der Umsetzung?

Industrie 4.0 muss schrittweise eingeführt werden. Hierzu sind Erfahrungen in der Forschung und Umsetzung zu sammeln. Gleichzeitig gilt es, die Menschen für digitale Arbeitsweisen zu qualifizieren. Hierzulande haben wir dafür sehr großes Potenzial, aber nur dann, wenn wir nicht nur als Markt, sondern auch als Anbieter von erforderlichen Technologien fungieren. Wir sind zwar Vorreiter im Maschinen- und Anlagenbau, hinken aber im Umgang mit Daten noch hinterher. Manche sagen, wir haben in Deutschland und Europa die erste Halbzeit der Digitalisierung verloren. Doch jetzt beginnt die zweite, und hier geht es um die reale Welt, um Grundbedürfnisse, um die Digitalisierung der »real economy«.

An Hörimplantaten, am Körper getragenen Sensoren oder kollaborativen Robotern sehen wir, dass sich lernfähige Maschinen immer mehr an individuelle Bedürfnisse und Fähigkeiten anpassen. Hier stehen wir aber erst am Anfang. Nun gilt es, Anwendungen menschengerecht zu gestalten und verschiedene Nutzergruppen beim Design und bei der Entwicklung mit einzubeziehen. Der Ansatz einer integrierten und interdisziplinären Forschung muss im Vordergrund stehen. Ethische, soziale und rechtliche Aspekte sollten gleichrangig zu wissenschaftlich-technischen und ökonomischen Fragen beleuchtet werden. Dazu brauchen wir eine neue sozioökonomische Forschung, die die Technik mit einbezieht.

<http://s.fhg.de/studie-iao-bitkom>



## RADAR MIT RUNDUMBLICK

Der Einsatz von Robotern in der Industrie ist nicht mehr wegzudenken. Ein neuer Hochfrequenz-Radarscanner von Fraunhofer-Forschern erfasst die Umgebung im 360-Grad-Radius und schützt Menschen vor Kollisionen mit Maschinen. Da das System auch nicht transparente Stoffe durchstrahlt, funktioniert es sogar bei schlechten Sichtverhältnissen.

In intelligent organisierten Industrie 4.0-Betrieben interagieren Mensch und Maschine mehr und mehr miteinander. Voraussetzung für die Zusammenarbeit: Der Mensch darf zu keinem Zeitpunkt gefährdet sein. Hier liegt die Achillesferse der Mensch-Roboter-Kollaboration: Laserscanner überwachen den Gefahrenbereich und stoppen die Maschine, sobald ein Mensch diesen betritt. Doch unter wechselnden Lichtbedingungen erzielen die optischen Sensoren nicht immer zuverlässige Ergebnisse. Auch funktionieren sie nicht, wenn Hindernisse die Sicht beeinträchtigen.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik IAF haben ei-

nen kompakten, modular aufgebauten 360-Grad-Radarscanner entwickelt, der optischen Sensoren in vielen Aspekten überlegen ist. Das Radar arbeitet mit Millimeterwellen bei 94 GHz und einer Bandbreite von 15 GHz. Im Gegensatz zu optischen Sensoren durchleuchten Millimeterwellen alle nichtmetallischen und optisch nicht transparenten Stoffe wie Kleidung und Kunststoffplatten, aber auch Staub und Nebel. Das Hochfrequenzmodul, Herzstück des Radarscanners, haben die IAF-Forscher in enger Zusammenarbeit mit den Fraunhofer-Instituten für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM und für Produktionstechnik und Automatisierung IPA entwickelt.

## DAS UNERWARTETE WIRD PLANBAR

In der Industrie 4.0 erhalten Roboter Fähigkeiten, um mit Menschen und anderen technischen Systemen zu kooperieren. Mit dem DUPLOcator zeigen Fraunhofer-Forscher, wie eine Maschine selbst erkennt, was zu tun ist.

Spezialanfertigungen und geringe Stückzahlen eines Produkts kosteneffizient zu erstellen – das ist eines der Ziele der vierten industriellen Revolution. Ständig wechselnde Konfigurationen erweisen sich dabei als eine große Herausforderung. Der DUPLOcator des Fraunhofer IGD ist in der Lage, mit dieser Unvorhersehbarkeit umzugehen.

In der Industrie 4.0 arbeiten Roboter verstärkt über Sensoren. Diesem Ansatz folgt auch der DUPLOcator: Er erfasst mittels Kameras eine aus modularen Bauteilen geformte Struktur und versteht, wie diese zusammengesetzt sein muss. Anschließend baut er die Struktur mit einem modernen Roboterarm und den zur Verfü-

gung gestellten Bauteilen nach. »Damit dies funktioniert, verbinden wir Erkennungsalgorithmen mit präziser selbstlernender Robotersteuerung,« erklärt Prof. André Stork vom Fraunhofer IGD. Entscheidend ist lediglich, dass der DUPLOcator die Struktur über sein Kameraauge gut sehen kann und über die gleichen Bauteile verfügt. »Gerade bei hochkomplexen Kleinserienfertigungen kann das Konzept eine Unterstützung für Monteure sein«, sagt Stork.

<http://s.fhg.de/de-duplocator>



## »INTERNET DER DINGE« FÜR DIE INDUSTRIE DER ZUKUNFT

Gegenstände werden intelligent: Sie wissen um ihren Zustand und kommunizieren mit anderen Objekten. Man spricht dabei auch vom »Internet der Dinge«. Wie die Industrie von dieser Vernetzung profitiert, zeigen Fraunhofer-Forscher am Beispiel einer neuen Funkkommunikationstechnologie und einer cloudgestützten Instandhaltung von Erntemaschinen.

Das »Internet der Dinge« lässt Gegenstände intelligent werden und sie miteinander »reden«. Die Basis dafür bilden Sensoren, die den Zustand von Objekten erfassen und die Daten an eine zentrale Stelle senden. Zwar könnte dies über Mobilfunk geschehen – allerdings ist das energieaufwändig und teuer. Zudem können die Nachrichten mitunter unvollständig sein. Die Alternative des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS: Die Funkkommunikationstechnologie MIOTY, über die sich bis zu einer Million Funkknoten vernetzen lassen. Die einzelnen Knoten benötigen im Vergleich zu Systemen auf der Basis konventioneller

Funkttechnik nur einen Bruchteil an Energie, die Batterie hält zehn bis fünfzehn Jahre. Die Sender können einen bis zu zehn Kilometer entfernten Empfänger erreichen. Statt die gesamte Information gebündelt zu verschicken, teilen die Forscher sie in kleine Pakete auf. Diese werden zeitlich versetzt auf unterschiedlichen Frequenzen gesendet. Das Ergebnis: Die Übertragung ist weniger störanfällig. Die Technologie lässt sich für Industrieanwendungen nutzen, etwa um Messdaten wie Feuchtigkeit, Bewegung, Licht, Druck und Temperatur zu messen. Die Überwachung großer Anlagen und die Anbindung an IoT-Plattformen wird damit möglich.

### Cloudgestützte Instandhaltung von Erntemaschinen

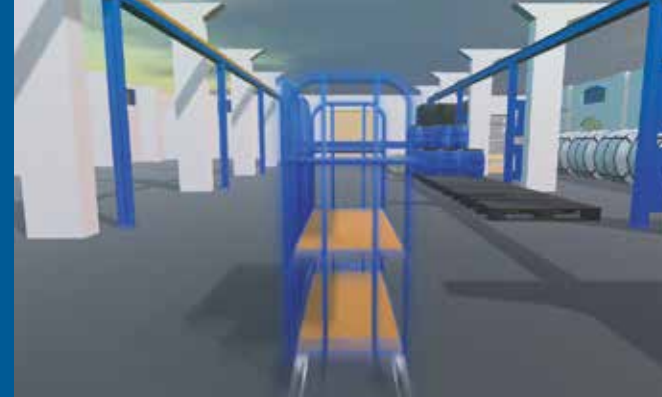
Wichtig ist die Intelligenz der Objekte auch bei Erntemaschinen – sind sie doch quasi Fabriken auf vier Rädern mit extrem hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit. Ist eine solche Maschine in der Erntezeit defekt, kann es einige Zeit dauern, bis die Ersatzteile besorgt sind und der entsprechende Experte aus einem anderen Erdteil eingeflogen ist. Für den Landwirt entsteht ein hoher finanzieller Schaden. Wie sich teure Stillstandszeiten künftig reduzieren oder gar vermeiden lassen, wissen Forscher des Fraunhofer-Instituts für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK.

Das Prinzip: Verschiedene Sensoren überwachen an jeder Maschine die zentralen Objekte des Antriebs und senden via Mobilfunknetz ihre Information an einen zentralen Instandhaltungsdienst in der Cloud. Dieser erkennt mit Hilfe von Online-Analyseverfahren Unregelmäßigkeiten sehr früh und schlägt Alarm. Das

### Leistungszentrum »Digitale Vernetzung«

Das Leistungszentrum »Digitale Vernetzung« ist eine Kooperation der vier Berliner Fraunhofer-Institute FOKUS, HHI, IPK und IZM. Hier entwickeln die Forscher Technologien und Lösungen, die der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung aller Lebensbereiche Rechnung tragen. Geforscht wird dabei sowohl an Basis- und Querschnittstechnologien als auch an Lösungen für die Anwendungsbereiche Gesundheit und Medizin, Mobilität und Zukunftstadt, Industrie und Produktion sowie Kritische Infrastrukturen.

Bauteil kann also bereits ausgetauscht werden, bevor die Maschine stillsteht – man spricht dabei auch von vorausschauender Instandhaltung oder »predictive maintenance«. Mit Industriepartnern hat das ESK eine cloudbasierte Lösung konzipiert, die dies für einen weltweit verteilten Maschinenpark ermöglicht.



## LOGISTIK: TAKTILE SERVOLENKUNG FÜR KOMMISSIONIERWAGEN

Fahrzeuge in Logistikzentren lassen sich künftig intuitiver lenken. Dies erleichtert den Mitarbeitern die Arbeit und erhöht zudem die Sicherheit. Möglich machen es »taktile« Griffe von Fraunhofer-Forschern: Sie erkennen mittels Drucksensoren, in welche Richtung der Nutzer den Wagen schiebt oder zieht.

In Logistikzentren befördern Gabelstapler, Flurförderzeuge und Handwagen mit Motor Lasten von A nach B. Bislang steuern die Mitarbeiter solche vollgepackten, bis zu 500 Kilogramm schweren Karren über eine Bedienleiste mit fünf bis zehn Knöpfen. Dank taktile Griffe, die Forscher am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und Automatisierung IFF in Magdeburg entwickeln, lenkt der Anwender die motorisierten Handwagen mit nur wenig Kraftaufwand allein durch den Druck seiner Hände. Möglich machen es im Griff integrierte Drucksensoren. Da die Griffe für beide Hände mit Sensoren bestückt sind, erkennt der Wagen nicht nur, ob er ge-

schoben oder gezogen wird. Indem die Software den Druck der rechten mit dem der linken Hand vergleicht, registriert der Wagen auch die jeweilige Richtung, die der Nutzer vorgibt.

Die per Druck erteilten Anweisungen werden an den Motor weitergeleitet. »Wir arbeiten mit unseren Kollegen der Cloud&Heat Technologies GmbH daran, alle Anweisungen von Mitarbeitern in eine Cloud zu überführen, zu sammeln und zu koordinieren«, sagt Prof. Dr.-Ing. Klaus Richter, Kompetenzfeldleiter am IFF. Biegt ein Mensch mit dem Gefährt um eine nicht einsehbare Kurve und droht ein Zusam-

menstoß mit einem weiteren Wagen, werden beide automatisch gestoppt. Das Signal braucht nur 10 Millisekunden, um vom taktilen Griff über die Cloud wieder zurück zur Motorsteuerung zu gelangen. »Die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine sollen erfühlbar werden – das ist das erklärte Ziel beim taktilen Internet.

Wir lassen diese Vision ein Stück weit Realität werden«, so Richter. »Der taktile Griff ist ein äußerst interessanter Anwendungsfall für die von uns adressierten neuen Formen des Cloudcomputings. Bei diesem innovativen Ansatz kommt es auf eine sehr geringe Latenzzeit hin zur Cloud an«, ergänzt Marius Feldmann, COO bei Cloud &Heat Technologies GmbH.

### Forschungsprojekt FAST Realtime

Der taktile Griff wird im Forschungsprojekt FAST Realtime entwickelt, das im Wesentlichen von der Mobilfunkindustrie vorangetrieben wird und Teil der Clusterstrategie 2020 ist. Das Ziel des Projekts, das insgesamt über 50 Millionen Euro

Fördergelder verfügt, liegt in der Entwicklung neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen. Sollen sich die einzelnen Objekte im »Internet der Dinge« miteinander vernetzen, geht es im taktilen Internet darum, die Schnittstellen zum Menschen zu definieren, um sie effektiver, intuitiver und zugleich sicherer zu machen.

[www.fast-zwanzig20.de](http://www.fast-zwanzig20.de)

## **Kontakt**

Fraunhofer-Gesellschaft  
Kommunikation  
Hansastraße 27c  
80686 München  
<http://s.fhg.de/pressekontakt>

© Fraunhofer-Gesellschaft 2016

## **Impressum**

Fraunhofer-Gesellschaft  
Kommunikation  
Hansastraße 27c  
80686 München

Konzept:  
Marion Horn,  
Britta Widmann

Redaktion:  
Kludia Kunze (V.i.S.d.P.),  
Beate Koch,  
Britta Widmann

Autoren:  
Janine van Ackeren,  
Tim Schröder

Graphik und Layout:  
Vierthaler & Braun

## **Bildquellen**

Cover: iStockphoto  
Seite 3: Fraunhofer | Stefanie Aumiller  
Seite 5: Fraunhofer IFF | Dirk Mahler  
Seite 6: Fraunhofer IFF | Daniela Martin  
Seite 9: Fraunhofer IOSB  
Seite 10: Bildschön GmbH  
Seite 11: Bildschön GmbH  
Seite 13: Fraunhofer IPK  
Seite 14: Fraunhofer IWU | Westsächsische Hochschule Zwickau  
Tobias Phielers, [www.lichtzelt.com](http://www.lichtzelt.com)  
Seite 15: Fraunhofer IWU  
Seite 16: Fraunhofer IWU  
Seite 18: ARENA2036  
Seite 19: ARENA2036  
Seite 21: Fraunhofer IAO  
Seite 22: Fraunhofer IAO | Bitkom  
Seite 24: Fraunhofer IAF  
Seite 25: Fraunhofer IGD  
Seite 26: Fraunhofer IIS | Kurt Fuchs  
Seite 29: Fraunhofer IFF



