

futur

VISION | INNOVATION | REALISIERUNG



MENSCH UND MASCHINE

Wenn aus Zellen Linien werden

Eine neue Technologie zur Modularisierung in der Montage hilft Herstellern, ihre Prozesse zukunftsicher zu machen. Dabei gilt es, den Menschen optimal einzubinden.

S. 42

Kollege Cobot schraubt

Ein Projektteam von BMW Motorrad und Fraunhofer IPK hat eine prototypische Lösung zur automatisierten Verschraubung entwickelt.

S. 22

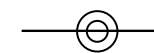
Usability und UX im Gleichgewicht

In der Mensch-Maschine-Interaktion braucht es Empathie und Ideenreichtum, um die Anforderungen und Bedürfnisse der Nutzenden zu befriedigen.

S. 44



**Könnte dieser
freundliche Zeitgenosse
bald Ihr Kollege sein?**



Produktionstechnisches Zentrum (PTZ) Berlin

KURZPROFIL Das Produktionstechnische Zentrum (PTZ) Berlin beherbergt zwei Forschungseinrichtungen: das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF der TU Berlin und das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK. Als produktionstechnische Forschungs- und Entwicklungspartner mit ausgeprägter IT-Kompetenz sind beide Institute international gefragt. Ihre enge Kooperation im PTZ versetzt sie in die einzigartige Lage, die gesamte wissenschaftliche Innovationskette von der Grundlagenforschung über anwendungsorientierte Expertise bis hin zur Einsatzreife abdecken zu können.

Dabei unterstützen wir Unternehmen umfassend entlang der gesamten Wertschöpfung: In enger Zusammenarbeit mit Industriekunden und öffentlichen Auftraggebern entwickeln wir Systemlösungen, Einzeltechnologien und Dienstleistungen für die gesamte Prozesskette produzierender Unternehmen – von der Produktentwicklung, von der Planung und Steuerung der Maschinen und Anlagen, inklusive der Technologien für die Teilefertigung bis hin zur umfassenden Automatisierung und dem Management von Fabrikbetrieben. Zudem übertragen wir produktionstechnische Lösungen in Anwendungsgebiete außerhalb der Industrie, etwa in die Bereiche Verkehr und Sicherheit.

**LIEBE LESERINNEN,
LIEBE LESER,**

Menschen und Maschinen sind zusammen weit gekommen. Machten die ersten Dampfmaschinen zu Anfang des 18. Jahrhunderts die erste industrielle Revolution möglich, waren ihre Elektrifizierung, Automatisierung und Digitalisierung prägend für die zweite und dritte Welle der Industrialisierung. Heute kommen wir dem am Produktionstechnischen Zentrum (PTZ) Berlin entwickelten Leitbild einer digital integrierten Produktion immer näher.

In dieser nächsten Phase werden durch die zunehmende Vernetzung ganzer Produktionssysteme die Interaktionsmöglichkeiten zwischen Menschen und Maschinen sowie zwischen Maschinen untereinander komplexer denn je. Viele Fabriken produzieren heute hochgradig individuelle, beliebig konfigurierbare Produkte und müssen Werkzeugmaschinen, Roboter, mobile Anlagen oder Handarbeitsplätze mit Bedienungsführung flexibel in immer neue Prozesse einbinden können. Um die Schnittstellen zwischen diesen Elementen einer Produktionsumgebung mit ihren unterschiedlichen Logiken möglichst reibungslos zu gestalten, braucht es kreative Lösungen aus der Wissenschaft sowie einen zielgerichteten Transfer in die Industrie. Mit unserem Forschungsschwerpunkt der humanzentrierten Automatisierung, den wir bereits in den 80er Jahren einführten, sind wir am PTZ Berlin hierzu ideal positioniert.

Auf welche ethischen, legalen und sozialen Implikationen es bei der Konzeption dieser Lösungen ankommt, war das Thema einer Diskussion im Rahmen der Reihe »Wissenschaft und Kultur im Gespräch« des Fraunhofer IPK in Kooperation mit dem Österreichischen Kulturforum. Wir haben das Gespräch für FUTUR zusammengefasst.



In dieser Ausgabe erfahren Sie außerdem, wie mobile Roboter das »Sehen« lernen, um ihre Umgebung sicher navigieren zu können – auch wenn Menschen mit ihren schwer berechenbaren, oft spontanen Bewegungsabläufen anwesend sind. Um Visuelles geht es auch in unserer Bilderstrecke, in der wir zeigen, wie ein von Fraunhofer IPK und CONTACT Software entwickeltes digitales Assistenzsystem für reibungslose Abläufe in der Wartung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen sorgt. Der Frage, wie man den Menschen optimal in die Automatisierung besonders komplexer Montageabläufe einbindet, widmet sich am Fraunhofer IPK ein interdisziplinäres Team mit Automatisierungs- und Managementexpertise. Mit der neu entwickelten modularen Technologie lassen sich Rüstzeiten in der Montage auf einen Bruchteil ihrer bisherigen Dauer senken.

Kurzum: Mit dieser FUTUR-Ausgabe wollen wir Ihnen einen tieferen Einblick in die facettenreiche Welt der Kollaboration, Kooperation und Kommunikation zwischen Menschen und Maschinen geben.

Viel Freude bei der Lektüre wünscht

Ihr

Eckart Uhlmann

Inhalt

08 Shortcuts

10 Schnittstellen

Von der tragbaren Robotik bis zur Virtuellen Realität – Menschen und Maschinen kollaborieren auf immer mehr Arten miteinander. Dabei verschmelzen reale und digitale Welt.

16 Die Angst des Menschen vor dem Roboter

Ein Gespräch zwischen Museumskuratorin Marlies Wirth und Automatisierungsexperte Prof. Dr. Jörg Krüger.

22 Kollege Cobot schraubt

Ein Projektteam von BMW Motorrad und Fraunhofer IPK hat eine prototypische Lösung zur automatisierten Verschraubung entwickelt.

26 Mit den Augen eines Roboters

Flexibles Robotersystem und autonomes Fahrzeug in einem: Der Tend-O-Bot löst starre Automatisierungslösungen in der Produktion ab. Das gelingt jedoch nur mithilfe eines Perspektivenwechsels.



Digitale Wartungsunterstützung wird smarter
↪ Mehr dazu ab Seite 30

30 Ein Navi für die Produktion

Das Fraunhofer IPK entwickelt Lösungen für digitale Assistenzsysteme, mit denen Nutzenden eine individuelle und anpassbare Unterstützung an die Hand gegeben wird.

36 Rundum runde Anlagenplanung in Virtual Reality

Die Integration neuer Anlagen in eine Fertigungsumgebung wird durch virtuelle Inbetriebnahme enorm vereinfacht. Noch übersichtlicher wird die Simulation, wenn dabei Techniken der Virtuellen Realität zum Einsatz kommen.

38 Brennstoffzellen smart gefertigt

Wie wird die Fertigung von Brennstoffzellen wirtschaftlich? Im Applikationslabor »Digital Integrierte Produktion« sollen Lösungen für die Einzel- und Kleinserienfertigung entstehen.

42 Wenn aus Zellen Linien werden

Eine neue Technologie zur Modularisierung in der Montage hilft Herstellern, ihre Prozesse zukunftssicher zu machen. Dabei gilt es, den Menschen optimal einzubinden.

Noch müssen Menschen Hand anlegen – doch das wird bequemer
↪ Mehr dazu ab Seite 42

»Wurde bis vor einiger Zeit noch von »Benutzerfehlern« gesprochen, setzt sich insbesondere seit der Etablierung mensch-zentrierter Entwicklungsprozesse die Einsicht durch, dass »Fehlbedienungen« ihren Ursprung in ungenügend gestalteten User Interfaces haben.«

↪ Mehr dazu ab Seite 44

44 Usability und UX im Gleichgewicht

Ein Gastbeitrag von Johann Habakuk Israel, Professor für Angewandte Informatik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

KI-unterstützt in der additiven Fertigung mit Metallen
↪ Mehr dazu ab Seite 46



© GEFERTEC GmbH

46 Das Beste aus beiden Welten

Forschende des IWF der TU Berlin entwickeln eine Lösung für die automatisierte Qualitätskontrolle und Steuerung in der additiven Fertigung, die die Vorteile von KI und Mensch vereint.

50 Der Robotik ein Gesicht geben

Interview mit Matthias Krinke, pi4_robotics GmbH

54 Über die Plattformökonomie zur Kreislaufwirtschaft

Ein neues Labor soll den Forschenden am PTZ Berlin ermöglichen, mit Technologien für eine plattformbasierte Produktionstechnik zu experimentieren. Das Ziel: eine resiliente Kreislaufwirtschaft.

56 Ereignisse und Termine

57 Mehr Können

58 Impressum



»Ganz relevant ist die Cui Bono-Frage: Wofür wird Automatisierung eingesetzt und wem dient sie?«

↪ Mehr dazu ab Seite 16



DIE ZAHL DER AUSGABE

70%

der Befragten einer Studie des Fraunhofer IAO gaben an, körperlich anstrengende Tätigkeiten vorwiegend Robotern überlassen zu wollen.

↳ Welche Tätigkeiten die Befragten weiterhin nur Menschen zutrauen, erfahren Sie ab Seite 10.

DIGITAL INTEGRIERTE PRODUKTION –
FRAUNHOFER IPK PRÄSENTIERT TRENDS
FÜR FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Das Fraunhofer IPK hat Industrievertreterinnen und -vertreter gefragt, welche Herausforderungen und Bedarfe Fertigungsunternehmen in den nächsten Jahren beschäftigen werden. Das Ergebnis: Fünf technologische Themenfelder haben branchenübergreifend oberste Priorität, damit Hersteller nicht nur alltägliche Kundenerwartungen erfüllen, sondern auch Krisensituationen bewältigen können. Digitalisierung und Vernetzung werden unverzichtbare Schlüssel zum Erfolg.

↳ Lesen Sie jetzt kostenlos unseren Trendreport 2022 / 2023 unter www.ipk.fraunhofer.de/trendreport-dip



IM DETAIL



© BMW Motorrad

Wer hier mit wem zusammenarbeitet, sehen Sie

↳ ab Seite 22.

AUFBRUCH INS WASSERSTOFFZEITALTER
DER LASTENMOBILITÄT

Mit rund 80 Mio. € fördert das Bundesministerium für Digitales und Verkehr das Projekt »H2GO – Nationaler Aktionsplan Brennstoffzellen-Produktion«. H2GO bündelt die Aktivitäten von 19 Fraunhofer-Instituten, darunter das Fraunhofer IPK, mit dem Ziel einer signifikanten CO₂-Reduzierung in der Lastenmobilität.



↳ Weitere Informationen unter www.ipk.fraunhofer.de/h2go

GUT GESAGT



»Solange wir eine Lücke zwischen Grundlagenforschung und Anwendung haben, haben wir ein großes Problem, die Potenziale der KI in der Produktion zu nutzen. Wir müssten mindestens so viel in die Befähigung der Menschen stecken, die diese KI anwenden, wie in die Methoden der Grundlagenforschung.«

Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger

↳ Mehr dazu ab Seite 16

NEUE GENERATION VON NACHHALTIGEN BATTERIEN IN EUROPA

Das Projekt »Battery Pass« ist ein neues, von Deutschland finanziertes Forschungs- und Entwicklungsprojekt für einen europäischen Zielmarkt – aber mit globaler Ausrichtung. Es dient der Entwicklung von Datenspezifikationen, technischen Standards und deren Verbreitung zur Realisierung des »EU-Batteriepasses«. Das Projekt schafft die Grundlagen für eine interoperable, auf offenen Standards basierende, skalierbare Datenplattform. Der Battery Pass soll Europa unterstützen, eine führende Rolle bei der Digitalisierung der Batterielieferkette und der Elektromobilität zu übernehmen und einen deutlichen Beitrag zum Klimaschutz, zur sozialen Verantwortung sowie zur Energie- und Kreislaufwirtschaft zu leisten – für mehr Ressourcenunabhängigkeit und Wettbewerbsfähigkeit im Energiesektor.

↳ Mehr zum Battery Pass unter www.ipk.fraunhofer.de/batterypass



Schnittstellen

Von der tragbaren Robotik bis zur
Virtuellen Realität – Menschen
und Maschinen kollaborieren auf
immer mehr Arten miteinander.
Dabei verschmelzen reale und
digitale Welt.

1. Ein Roboter darf kein menschliches Wesen (wissentlich) verletzen oder durch Untätigkeit (wissentlich) zulassen, dass einem menschlichen Wesen Schaden zugefügt wird.
2. Ein Roboter muss den ihm von einem Menschen gegebenen Befehlen gehorchen – es sei denn, ein solcher Befehl würde mit Regel eins kollidieren.
3. Ein Roboter muss seine Existenz beschützen, solange dieser Schutz nicht mit Regel eins oder zwei kollidiert.

Die drei Gesetze der Robotik nach Isaac Asimov mögen zwar einer fiktiven Geschichte entstammen – in Zeiten, in denen Menschen und Maschinen enger als je zuvor miteinander kooperieren, wirken sie jedoch aktueller denn je. Industrieunternehmen müssen die Sicherheit ihrer Mitarbeitenden und gleichzeitig den bestmöglichen Betrieb ihrer Anlagen garantieren. Für beides ist eine möglichst reibungslose Verständigung über die Systemgrenzen hinweg – also zwischen Menschen und Maschinen – essentiell.

Während Asimov die Interaktion mit Robotern als physische Gebilde ins Zentrum seiner Science-Fiction-Erzählungen stellte, sind heute noch wesentlich mehr Aspekte dieser Verständigung hinzugekommen. Denn sie spielt sich nicht mehr nur im materiellen Raum ab, sondern auch im virtuellen Raum, auch Cyberspace genannt, in dem digitale Daten die Grundlage der Kommunikation bilden.

Natürlich stehen diese beiden Systeme nicht strikt abgegrenzt nebeneinander. Die reale und die digitale Welt sind kein dualer Gegensatz, sondern sind vielfach durch Schnittstellen miteinander verbunden: durch das Dashboard einer Werkzeugmaschine, über das eine Fachkraft einen Bearbeitungsprozess anstößt. Durch den Sensor, der realweltliche Einflüsse als elektronisches Signal weitergibt, das dann zum Datenpunkt eines Digitalen Zwillinges wird und so Aufschluss über den Zustand einer Anlage gibt. Oder durch die VR-Brille, die digitale Modelle visualisiert und so die virtuelle Welt für menschliche Sinne wahrnehmbar macht. Das alles sind Beispiele für Grenzüberschrei-

tungen, in denen Menschen direkt mit Maschinen in Austausch treten. Den Raum, in dem dieser Austausch durch das Zusammenwirken von virtueller, erweiterter und physischer Realität möglich wird, nennt man heute auch Metaversum.

UNFLEXIBEL UND RÜCKSICHTSLOS – DAS ALTE BILD DES INDUSTRIEROBOTERS

Industrielle Roboter waren lange Zeit vor allem als stählerne Bewegungsautomaten in der Automobilindustrie bekannt. Doch Fortschritte in der Sensorik und Algorithmik ermöglichen heute zunehmend neue und flexiblere Anwendungen. So erschließen sich für die Robotik neue Prozesse und sogar ganze Domänen. Entgegen vieler Vorurteile steht dabei häufig aber nicht der Ersatz, sondern die Kollaboration mit dem Menschen im Vordergrund.

Herkömmliche Industrieroboter zeichnen sich durch ihren unermüdlichen Fleiß und eine gleichmäßige Qualität der Arbeit aus. Gleichzeitig sind sie im Grunde genommen starre Systeme, die kontinuierlich eine vordefinierte Liste von Anweisungen abarbeiten. Entsprechend ist eine gut strukturierte Umgebung notwendig, damit Roboter ihre Fähigkeiten entfalten können. Der Mensch bringt dabei nicht nur Unruhe in ein sorgfältig austariertes System, er muss häufig auch zu seiner eigenen Sicherheit außen vor bleiben. Schließlich sind Roboter grundsätzlich erst einmal blind und haben weder die Möglichkeit, die Präsenz des Menschen zu bemerken, noch die kognitiven Kapazitäten, um sicher um diesen herum zu manövrieren.

STÄRKER GEMEINSAM

Neue Sensorsysteme und intelligente Ansätze der Datenverarbeitung bieten die Grundlage dafür, diese sensorischen und kognitiven Defizite von Robotern zu adressieren. Neue Entwicklungen in der Kraftregelung sowie Steuerungs- und Sicherheitstechnik ermöglichen es zudem, dass sie ihre Schutzzäune verlassen können, ohne eine

Gefahr für den Menschen darzustellen. Das Zusammenspiel von intelligenten Robotern und moderner Sicherheitstechnik ermöglicht ganz neue Arten der Arbeitsteilung, welche parallele Tätigkeiten von Menschen und Robotern in engerer räumlicher und zeitlicher Nähe erlauben.

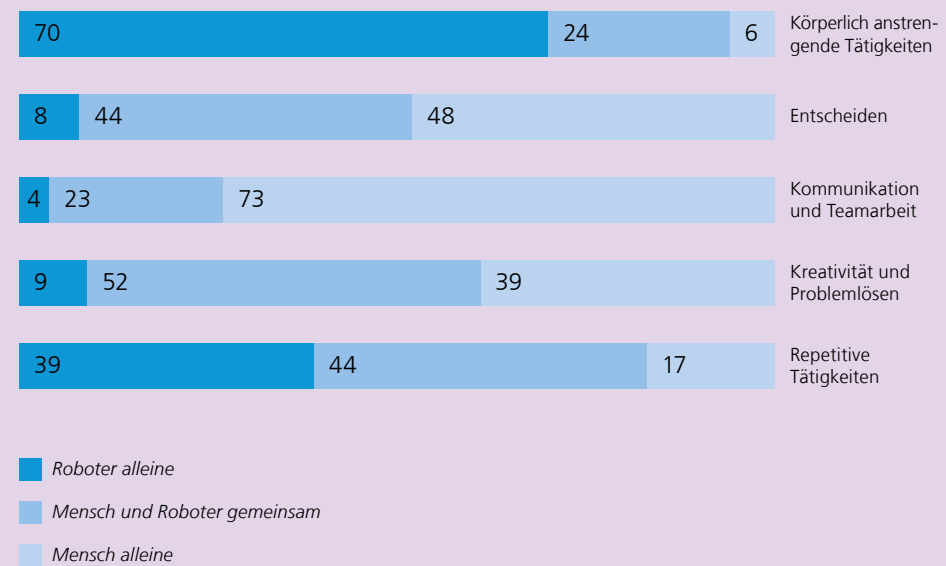
So können vormals manuelle Tätigkeiten teilautomatisiert werden, ohne dass wertvoller Platz durch eine zusätzliche Sicher-

Fortschritte in der Sensorik und Algorithmik ermöglichen heute zunehmend neue und flexiblere Anwendungen.

heitzelle beansprucht wird. Der größte Vorteil derartiger Ansätze liegt darin, dass Mensch und Roboter so ihre unterschiedlichen Stärken einbringen können. Während der Roboter auch weiterhin maßgeblich Stärke und Ausdauer beisteuert, kann der Mensch mit seiner Problemlösungskompetenz und feinmotorischen Fertigkeit die

Wie sollen Mensch und Roboter in Zukunft verschiedene Tätigkeitsbereiche bearbeiten?

Grafik:
Alle Angaben in Prozent.
Quelle: Eigene Darstellung nach Fraunhofer IAO, »Homo Digitalis«, 2018.



Bilder:
Mensch-Roboter-Kollaboration in Aktion: Neben einem Sauggreifer und einem Kraftsensor ist der Roboter auch mit einer Sicherheitshaut ausgestattet, die die direkte Zusammenarbeit im Kontakt mit Menschen ermöglicht. So können 35 kg schwere Pakete mit Solarpanelen mühelos durch den Raum bewegt werden – mit robotischen Kollegen.



Schwächen der herkömmlichen Automatisierungssysteme ausgleichen. Auch die Ergonomie von Arbeitsplätzen kann oft durch die Umrüstung auf eine Mensch-Roboter-Kollaboration deutlich verbessert werden.

Zu einer vergleichbaren Einschätzung kam 2018 auch das Fraunhofer IAO in der Studie »Homo Digitalis«. Hier gaben 70 Prozent der Befragten an, körperlich anstrengende Tätigkeiten vorwiegend Robotern überlassen zu wollen. Umgekehrt trauten jedoch nur wenige Robotern die notwendige Entscheidungs- und Problemlösungskompetenz zu, um eigenständig zu agieren. Eine gemeinsame Interaktion von Menschen und Robotern konnte sich jedoch jeder Zweite gut vorstellen.

ROBOTISCHE ASSISTENZSYSTEME

Eine Möglichkeit dieses Potenzial zu heben, liegt in der direkten physischen Interaktion von Menschen und Robotern. Am Fraunhofer IPK entstehen neue Generationen robotischer Systeme, die in einer Mensch-Roboter-Kollaboration Lasten wie etwa 35 kg schwere Pakete mit Solarpanelen sicher transportieren können. Die Kommunikation zwischen den Partnern erfolgt dabei durch den direkten Kontakt. Sensorik ermittelt die vom Menschen auf das Paket ausgeübte Kraft, intelligente Algorithmen errechnen daraus die intendierte Bewegung. Durch eine tiefe Integration des Systems in die Steuerung des Roboters erfolgen die Prozesse innerhalb eines Regeltakts, so dass sich für den Menschen das Gefühl ergibt, das Paket hinge an einer Führung, entlang derer es mühelos bewegt werden kann. Im Projekt SHERLOCK entwickeln die Forschenden zudem Verfahren, die mit ähnlichen Methoden eine einfache Interaktion mit Robotern erlauben, um Bauteile ergonomisch günstig auszurichten.

Robotische Unterstützung kann aber auch viel dezentler sein: Mit einem Akkuschrubber über Kopf Bauteile zu verschrauben,

lässt auf Dauer die Armmuskulatur ermüden. Der aktive Exosuit PowerGrasp stärkt und stützt mittels Druckluft Bewegungen und entlastet so beispielsweise Werkerinnen und Werker in der Montage. Das System ist als textile Weste designt und schränkt die Bewegungsfreiheit nicht ein. Dank Methoden der Künstlichen Intelligenz erkennt PowerGrasp sowohl die Art der Bewegung als auch den Grad der Ermüdung und kann gezielt unterstützen.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ FÜR MEHR FLEXIBILITÄT

Die Mensch-Roboter-Kollaboration bringt auch neue Herausforderungen mit sich. So müssen Roboter lernen, mit von Menschen initiierten und damit für ihn nicht vorhersehbaren Veränderungen in seiner Umgebung umzugehen. Sie müssen also in der Lage sein, Abweichungen des Sollzustandes zu erkennen und anschließend dynamisch auf diese zu reagieren. Menschen und Roboter müssen außerdem die aktuelle (Bewegungs-)Absicht ihres Gegenübers einschätzen können.

Dazu müssen die Maschinen intelligent werden: So ermöglichen etwa Algorithmen der Bildverarbeitung, eine ungenau positionierte Schraube zu identifizieren und den Prozess trotz Abweichung vom Planungszustand erfolgreich umzusetzen. Nicht nur Bilder und Videos können durch KI verarbeitet werden, sondern auch Bewegungen. So enthält beispielsweise die oben beschriebene PowerGrasp-Weste Beschleunigungs- und Gyrometer-Sensoren, die Bewegungen messen und klassifizieren. Um die Künstliche Intelligenz des Exosuits zu trainieren, erfassen die Forschenden zunächst einen Datensatz von typischen Handgriffen und Tätigkeiten aus dem Bereich des Maschinenbaus in sechs-dimensionalen Bewegungsdaten. Neuronale Netze mit Zeitkomponenten können hierin nicht nur die Tätigkeit erkennen, sondern auch Ermüdungsstände bewerten.

IN ZUKUNFT LIEBER GEMEINSAM

KI spielt eine wichtige Rolle, damit technische Systeme sich nach dem Menschen richten können. In der industriellen Produktion gibt es zahlreiche und mitunter sehr komplexe Aufgaben, die automatisiert werden können. Nicht jedes Szenario und jede menschliche Bewegung können vorherge-

Roboter müssen lernen hinzuschauen, zu hören, zu fühlen und sich so in die Arbeitswelt der Menschen einzubringen.

sehen und entsprechende Maßnahmen programmiert werden. Stattdessen müssen Roboter lernen hinzuschauen, zu hören, zu fühlen und sich so in die Arbeitswelt der Menschen einzubringen. Je mehr Echtzeitinformationen über ihre Arbeitsumgebung

dabei zur Verfügung stehen, desto besser. Um ein möglichst umfassendes Bild über ihre Umgebung zu bekommen, brauchen Roboter »Sinnesorgane« und ein »Gehirn«: geeignete Sensorik und ein fortschrittliches Daten- und Informationsmanagement.

Umgekehrt braucht auch der Mensch Unterstützung dabei, mit Maschinen zu kommunizieren. Digitale Assistenzsysteme überbrücken dabei die Grenze zwischen der physischen und der digitalen Welt und führen zu einem immer tiefergehenden Einzug des Metaversums in produktionsspezifische Vorgänge. Diese Revolution des kollaborativen Arbeitens, die den Menschen und dessen Stärken, seine schier unbegrenzte Kreativität, aber auch gewisse feinmotorische Fähigkeiten in den Mittelpunkt stellen, helfen dabei, den Herausforderungen der heutigen Zeit zu begegnen. So sorgt beispielsweise der demographische Wandel für eine zunehmende Verstärkung des Fachkräftemangels, welcher insbesondere im technischen Bereich eklatant ist. Alternde Arbeitskräfte und ihre unschätzbare Expertise werden den Unternehmen bald fehlen. Virtuelle Assistenzsysteme haben das Potenzial, sowohl bei der qualifizierenden Einarbeitung neuer Mitarbeitender zu unterstützen, als auch menschliche Aufwände insgesamt zu reduzieren.

Von der kleinsten Einheit der einzelnen Mensch-Maschine-Interaktion bis hin zu den großen cyber-physischen Systemen – am Fraunhofer IPK werden diese Themen in vielen Forschungs- und Entwicklungsprojekten vorangetrieben. Dabei beleuchten unsere Forschenden wichtige Aspekte, die bisher im industriellen Alltag häufig noch zu kurz kommen. Denn klassische Automatisierungsexpertise geht bei ihnen Hand in Hand mit Softwareentwicklung, Datenmanagement, Fabrikplanung und anderen wichtigen Disziplinen. So können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das in der Industrie bis jetzt noch weit verbreitete »Blockdenken« zwischen physi-



Die Revolution des kollaborativen Arbeitens stellt den Menschen und dessen Stärken in den Mittelpunkt.

Bild:
PowerGrasp stärkt und stützt mittels Druckluft Bewegungen und entlastet so beispielsweise in der Montage.

scher und virtueller Welt überschreiten und damit beispielsweise im Bereich der Assistenzsysteme bestmögliche Lösungen entwickeln. So sorgt Forschung und Entwicklung dafür, dass Menschen in Robotern und anderen Maschinen auf lange Sicht nachhaltige und nützliche Helfer haben. ♦

IHRE ANSPRECHPERSONEN
Prof. Dr.-Ing. Julian Polte
+49 30 39006-433
julian.polte@ipk.fraunhofer.de

Gregor Thiele | +49 30 39006-394
gregor.thiele@ipk.fraunhofer.de



Die Angst des Menschen vor dem Roboter

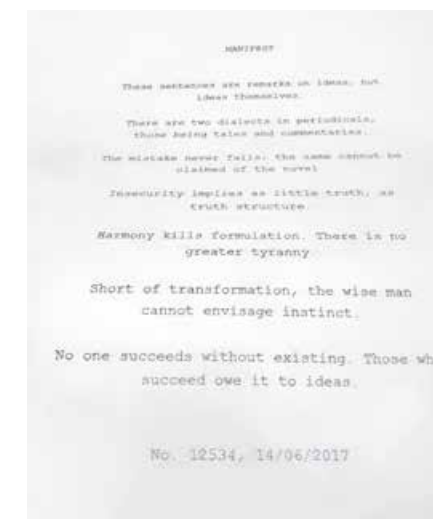
Roboter sind aus unserer Arbeitswelt nicht mehr wegzudenken. Welche ethischen und kulturellen Fragestellungen sich daraus ergeben, diskutieren Museumskuratorin Marlies Wirth und Automatisierungsexperte Prof. Dr. Jörg Krüger.

Dies ist die stark gekürzte und redigierte Fassung des vierten Salongesprächs aus der Reihe »Wissenschaft und Kultur im Gespräch«, die das Österreichische Kulturforum Berlin und das Fraunhofer IPK veranstalten. Das Gespräch zum Thema »Humanzentrierte Automatisierung« fand am 14. September 2022 am PTZ Berlin statt, moderiert von Dr. Bertram Nickolay, Experte für maschinelles Sehen und ehemaliger Abteilungsleiter am Fraunhofer IPK. Die Aufzeichnung der gesamten Veranstaltung gibt es hier als Video: s.fhg.de/humanzentrierte-automatisierung

| Nickolay | **Frau Wirth, Sie untersuchen am Museum für angewandte Kunst in Wien bereits seit Jahren die Auswirkung von Automatisierung und Digitalisierung auf die menschliche Arbeit. Wie fließen diese Themen heute in Kunstprojekte ein?**

/ WIRTH / In der Ausstellung »Uncanny Values« im Jahr 2019 waren verschiedene Kunstwerke versammelt, die diese Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen oder auch Künstlicher Intelligenz beleuchten. Wir wollten uns damit anschauen, wie Künstlerinnen und Künstler mit KI arbeiten und so diese Themen für unser Publikum aufbereiten, sie vielleicht etwas greifbarer machen als in einem Fachartikel. Der Titel kommt vom »Uncanny Valley«, dem »Unheimlichen Tal« der Akzeptanz von Technologie. Je ähnlicher etwas dem Menschen ist, desto unheimlicher finden wir es, zum Beispiel prothetische Arme, Zombies oder eben sehr humanoid aussehende Roboter. Dagegen haben humanoide Roboter, die noch als Maschine erkennbar sind, gute Akzeptanzwerte.

Ein sehr interessantes Thema ist die Frage, warum automatisiert wird und für wen. In



der Ausstellung »Hello, Robot. Design zwischen Mensch und Maschine« in Kooperation mit dem Vitra Design Museum hatten wir 2017 einen KUKA-Arm, der nicht das getan hat, wofür er eigentlich gedacht ist, sondern Manifeste geschrieben hat. Natürlich standen da auch Künstler dahinter, die einschlägiges Vokabular gefüttert haben. Wir fanden das sehr schön,



dass unsere Besucher*innen da auch etwas mitnehmen konnten. Aus einem der Manifeste: »No one succeeds without existing. Those who succeed owe it to ideas.« Die Thematik der Ausstellung hat das sehr gut getroffen: Wenn menschliche Arbeit automatisiert wird, welche bleibt dann? Und welche möchten wir gerne machen?

Bilder:

Das Manifest (links) wurde im Rahmen der Ausstellung »Hello, Robot« von einer KI mithilfe eines Roboterarms (rechts) verfasst. *robotlab. manifest, 2008*
Ausstellungsansicht »Hello, Robot«, MAK 2017
© MAK Wien



Bild:
In der Automobilbranche herrschen teilweise hohe Automatisierungsgrade.

/ KRÜGER / Das Thema »humanzentrierte Automatisierung« hat bei uns am PTZ einen besonderen Stellenwert, auch im Kontext des digitalen Humanismus und ethischer Fragen. Beim Karoserieschweißen haben wir mit dem Bahnschweißverfahren Automatisierungsgrade von 96 bis 98 Prozent erreicht. Da kontrollieren Menschen eigentlich nur noch. Auf der anderen Seite finden wir aber auch gerade im asiatischen Raum insbesondere in der Montage häufig noch Prozesse, bei denen Menschen rein manuell arbeiten. Komplexe feinmotorische Vorgänge, für die auch taktile Fähigkeiten benötigt werden, wie zum Beispiel beim Einfügen von Bauteilen. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es einen ganz großen Bereich, das sogenannte »automatisierungstechnische Kontinuum«, das von der Forschung bisher kaum erschlossen ist. Hier braucht es besondere Formen von Künstlicher Intelligenz, mit denen wir Roboter flexibler machen kön-

nen als sie es heute sind. Beispielsweise sprechen wir häufig von der High-Mix-Low-Volume-Produktion: Wir können Autos heute in 10¹⁴ oder sogar 10²⁴ Kombinationen bauen. Theoretisch könnte man wahrscheinlich mehr verschiedene Autos bauen, als man Sandkörner auf der Erde hat. Bei so vielen individuellen Konfigurationen funktioniert ein fest programmierter Ablauf nicht mehr ohne Weiteres, gerade in der Montage. Hier ist der Mensch durch seine Flexibilität unersetzlich, den wir mit unseren technischen Lösungen bestmöglich unterstützen. Ein Beispiel für eine solche Entwicklung ist ein Roboter, mit dem man Windschutzscheiben montieren kann, ohne große Kräfte aufwenden zu müssen. Oder auch der softrobotische Exosuit PowerGrasp, der Unterstützung bei Tätigkeiten wie dem Schrauben über Kopf bietet. Mithilfe von Beschleunigungssensoren kann der darin verbaute Roboter die intendierte Bewe-

gung und auch den Ermüdungsgrad erfassen und so die eingebaute Pneumatik steuern, um mithilfe von Druckluft eine ergonomische Kraftunterstützung zu aktivieren. Wir glauben, dass solche Softrobotik am besten zum Menschen passt.

Wir versuchen also, das Kontinuum zwischen rein manueller Arbeit und Vollautomatisierung mit intelligenten Lösungen zu füllen, sodass der Mensch die Kontrolle behält und durch den Roboter unterstützt wird. Die Form der Intelligenz, die wir heute bei kollaborativen Robotern finden, würde ich auf einen IQ von 60 schätzen. Da haben wir also noch viel Arbeit – denn will man mit einem Kollegen zusammenarbeiten, der einen IQ von 60 hat? Hier kommen auch psychologische Effekte ins Spiel, wie zum Beispiel die verständliche Angst der Werkerinnen und Werker vor einem sich schnell bewegenden Roboter.

| Nickolay | **Frau Wirth, in Ihren Projekten stellen sich auch ethische Fragen zur Automatisierung, zum Beispiel in der maschinellen Gesichtserkennung. Wird hier eine Linie überschritten?**

/ WIRTH / Ganz relevant ist hier die Cui Bono-Frage: Wofür wird etwas eingesetzt und wem dient es? Dient die Automatisierung dem arbeitenden Menschen, der länger fit bleiben und seine Freizeit mit seiner Familie genießen kann? Die Industriezweige, in denen viel automatisiert wird, sind vorwiegend die wachstumsorientierten Zweige. Mit welchen Werten wird diese Technologie hier eingesetzt? Um auf Ihr Beispiel einzugehen: Gesichtserkennung kann natürlich super hilfreich sein, etwa für Zugangssysteme in Gebäuden. Aber sobald sie, wie man bei der chinesischen Regierung gesehen hat, bei Protesten vom Staat gegen seine eigenen Mitmenschen eingesetzt wird, wird es problematisch. Die Technologie per se ist niemals schlecht. Die Frage ist, in wessen Händen ist sie, wie gehen wir damit um und wo wollen wir damit hin?

/ KRÜGER / Wir kommen in keinem unserer Forschungsprojekte um die sogenannten ELSI-Themen herum: ethische, legale und soziale Implikationen. Gerade wenn wir Roboter und deren Sensoren so dicht am Körper haben, erfassen wir ja auch personenbezogene Daten. Wie wollen wir damit umgehen? Sind Werkerinnen und Werker bereit, diese Daten erfassen zu lassen für den Nutzen, der dadurch erzielt werden kann? Wenn wir zum Beispiel durch Beschleunigungssensoren Müdigkeit erfassen und so einem Werker potenziell helfen könnten, potenziell aber auch Erkenntnisse über seine Leistungsfähigkeit insgesamt ableiten könnten. Da wird es dann schon kritisch.

In der Grundlagenforschung zur KI werden rasante Fortschritte gemacht, unter anderem durch die Riesensmenge an Daten, die uns durch Soziale Medien und Ähnliches zur Verfügung stehen. Was wir aber gleich-

zeitig beobachten ist, dass die Lücke zwischen dem, was in der Grundlagenforschung erreicht wird, und dem, was in der Industrie angewendet wird, täglich größer wird. Das Problem ist, wenn eine Fabrik KI-gesteuert produzieren soll – wer übernimmt die Verantwortung? Diejenigen, die das tun könnten, sind meist Männer in meinem Alter ohne tieferes Wissen zu KI-Methoden. Jetzt sollen sie unterschreiben, dass ihre Fertigungslinie unter KI-Einsatz verlässlich tausend Autos pro Tag produziert – wie sollen sie das beurteilen können? Solange wir diese Lücke haben, haben wir ein großes Problem, die Potenziale der KI in der Produktion zu nutzen. Wir müssten mindestens so viel in die Befähigung der Menschen stecken, die diese KI anwenden, wie in die Methoden der Grundlagenforschung. Da können Experimente, wie sie Künstlerinnen und Künstler machen, eine andere Perspektive darauf geben, wie KI funktioniert.

/ WIRTH / Um noch einmal auf die Frage der Verwendung der gesammelten Daten zurückzukommen: In der Ausstellung »Hello, Robot« haben wir ein Projekt des Londoner Studios Superflux gezeigt, die Care Tools entworfen haben – fiktionale in diesem Fall, manche davon könnten aber durchaus Realität sein. Zum Beispiel einen smarten Gehstock, der den Nutzer daran erinnert, seinen abendlichen Spaziergang zu unternehmen. Eine smarte Gabel, die ihn daran erinnert, sich anständig zu ernähren. Eine smarte Pille, die die Medikamentengabe überwacht. Sie haben dazu ein Video gedreht, in dem man sieht, wie dieser Mann auf allerlei Ideen kommt, um dieser Überwachung zu entgehen. Seine Familie ruft ihn an: »Du bist heute noch nicht um den Block gelaufen! Du hast Bratwurst statt Zucchini gegessen! Was ist los?« Also gibt er dem Nachbarsjungen ein bisschen Cash und



lässt ihn mit dem Stock gehen. Er steckt die smarte Gabel in die Zucchini, während er weiter die Bratwurst isst. Und zu der Pillendose gibt es im Abspann einen Hinweis, dass Versicherungen Medikamente nur noch gegen Nachweis übernehmen, dass sie für den richtigen Zweck eingesetzt werden. Es ist wieder die Frage: Wer bekommt diese Information, warum braucht man sie? Im Falle des Fabrikarbeiters ist das vielleicht nur das System, nicht aber die Vorgesetzte oder der Kollege.

| Nickolay | **Ein sehr interessantes Feld wird auch die Nutzung von Robotern in der Pflege sein. Es besteht ein enormer Bedarf. Auf der anderen Seite liest man, dass die Menschen das Taktile, die Emotion vermissen.**

/ KRÜGER / Im Gegensatz zum maschinellen Sehen ist das maschinelle Fühlen noch ganz am Anfang. Wie halten Roboter einen älteren Menschen am Brustkorb, ohne ihm die Rippen zu brechen? Wir sind da noch ganz weit von entfernt, diese taktilen Fähigkeiten zu übertragen.

/ WIRTH / Die Unterstützung bei der schweren körperlichen Arbeit in der Pflege ist absolut relevant, aber die Empathie der pflegenden Menschen ist nicht zu ersetzen. Eines meiner Ausstellungsprojekte im Jahr 2017 hieß »Artificial Tears«. Es gibt mittlerweile künstliche Tränen zur Befeuchtung der Augen. Echte Tränen dienen allerdings nicht nur diesem Zweck, sondern beim Weinen werden auch Opiode ausgeschüttet, um den Menschen zu beruhigen. Das Weinen ist ein hochkom-

Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger

ist Geschäftsführender Direktor des IWF der TU Berlin sowie Leiter des Geschäftsfeldes Automatisierungstechnik am Fraunhofer IPK. Seine Forschungsschwerpunkte sind die humanzentrierte und bildgestützte Automatisierung. Mit seinen Teams entwickelt er Steuerungs- und Robotersysteme zur Mensch-Roboter-Kollaboration und medizinischen Rehabilitation sowie Methoden und Anwendungen des maschinellen Sehens zur Objekt- und Lageerkennung in der Produktion.



»Wir versuchen, das Kontinuum zwischen rein manueller Arbeit und Vollautomatisierung mit intelligenten Lösungen zu füllen, sodass der Mensch die Kontrolle behält und durch den Roboter unterstützt wird.«

Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger



»Ganz relevant ist die Cui Bono-Frage: Wofür wird Automatisierung eingesetzt und wem dient sie?«

Marlies Wirth

Marlies Wirth

kuratiert am MAK – Museum für angewandte Kunst in Wien Ausstellungen in den Bereichen Kunst, Design, Architektur und Technologie, u. a. die Gruppenausstellungen »Artificial Tears« und »Uncanny Values«. Sie ist Teil des kuratorischen Teams der internationalen Wanderausstellung »Hello, Robot. Design zwischen Mensch und Maschine« und war Co-Direktorin des Global Art Forum 2018 »I Am Not a Robot« in Dubai und Singapur.

plexer Vorgang, der nicht automatisiert werden kann. Im alten Griechenland gab es Klageweiber, die man zum öffentlichen Trauern anheuern konnte, aber die eigene Trauerarbeit kann einem nicht abgenommen werden. Ich nehme das immer gerne als Vergleich, wenn man überlegt, was automatisiert werden kann und was ich trotzdem weiterhin machen, denken und fühlen muss, auch wenn ich mir dabei Unterstützung hole.

/ KRÜGER / Das Ganze ist auch eine kulturelle Frage. Wir wissen, dass Japan zum Beispiel sehr Roboter-affin ist. Die Nutzung von Robotertieren zur Unterhaltung von Menschen in Pflegeeinrichtungen hat dort sehr viel besser funktioniert. Auf der anderen Seite hat Toyota in seiner Montage nur noch einen Automatisierungsgrad von acht Prozent, weil es dort kluge Menschen gibt, die die Automatisierung teilweise auch wieder zurückgebaut haben. Einer dieser klugen Menschen ist Mitsuru Kawai, der den Satz gesagt hat, dass nur

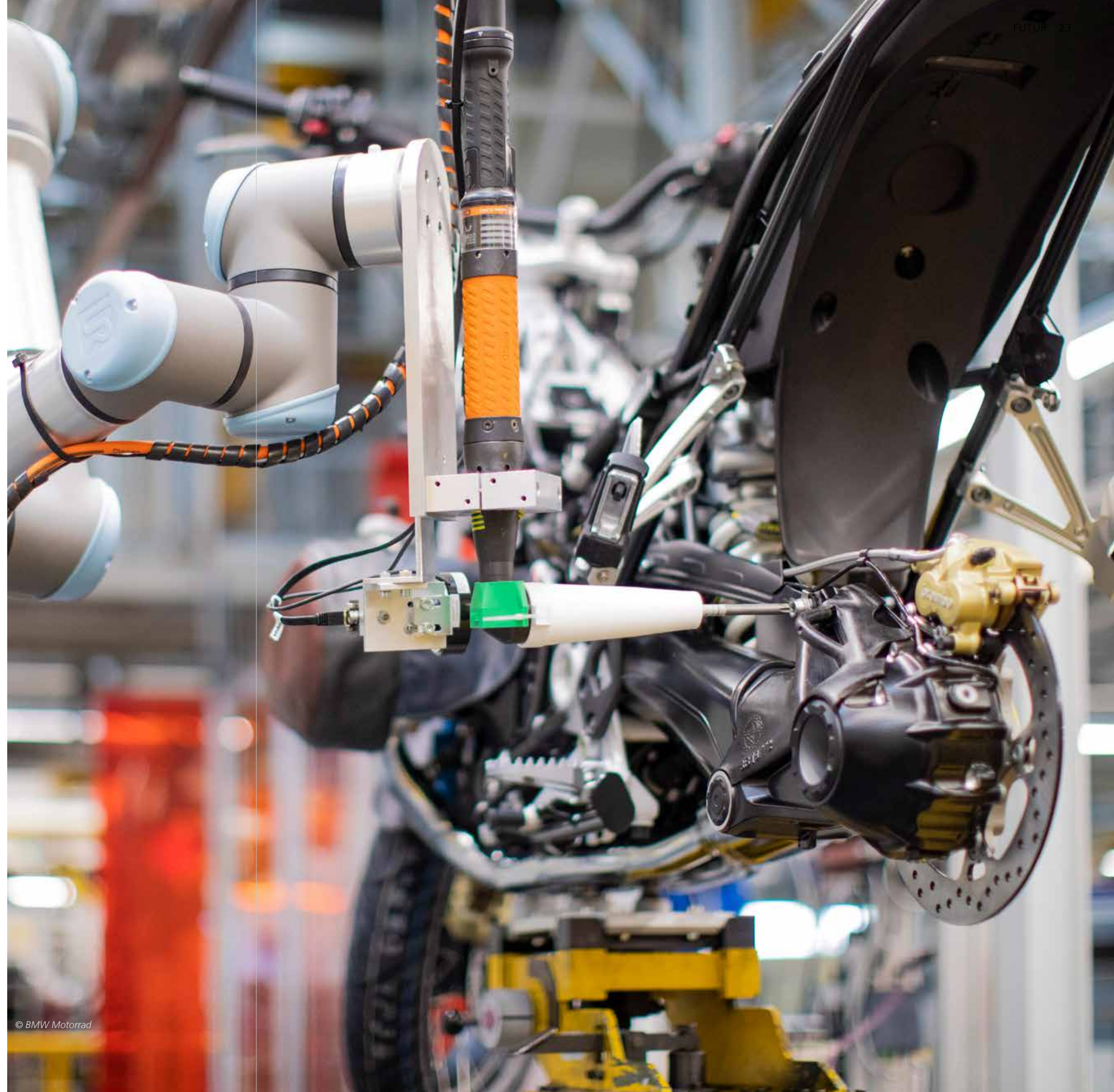
Menschen Prozesse verbessern können. Deswegen stehen die Menschen bei Toyota im Fokus. Denn Prozesse verbessern ist ein kreativer Lernprozess, den wir vielleicht irgendwann automatisieren können. Aber ich glaube auf absehbare Zeit nicht daran.

/ WIRTH / Ich glaube das auch nicht. Und ich glaube auch, dass wir über den Kreativitätsbegriff noch einmal sprechen sollten, der ja gerne uns Kultur-Leuten umgehängt wird. Aber er trifft auf alle Lebensbereiche zu, in jedem Unternehmen, in jedem Arbeitsablauf braucht man Kreativität. Jeder von uns hat sie, es kommt nur auf die Aufgabenstellung an. Unternehmensberaterinnen und -berater weisen in den letzten Jahren immer wieder darauf hin, dass möglichst diverse Teams besser darin sind, Prozesse zu verbessern und Probleme zu lösen. Das finde ich einen sehr interessanten Input für den Zeitgeist – auch im Hinblick auf die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Robotern. ♦

Kollege Cobot schraubt

Das Motorradwerk der BMW Group in Berlin-Spandau steht gleichzeitig für traditionsreichen Maschinenbau und Hightech-Innovationen.

Ein Projektteam von BMW Motorrad und Fraunhofer IPK hat in den vergangenen Monaten eine prototypische Lösung zur automatisierten Verschraubung entwickelt.





Die Automatisierung von Montageprozessen bei BMW Motorrad stellt aufgrund des hochdynamischen Umfelds eine große Herausforderung dar. Bei Montageaufgaben müssen kleine Teile flexibel und feinmotorisch verbaut werden. Das wird am Beispiel der Schraubmontage besonders deutlich: Die Position einer Schraube am Motorrad identifizieren, den Elektroschrauber korrekt ansetzen, die Schraube mit dem erforderlichen Drehmoment fest anziehen – das verlangt einem Roboter komplexe Sensorik und motorische Fertigkeiten ab.

Weil außerdem ständig Menschen im Produktionsumfeld anwesend sind, ist BMW an einem flexiblen Automatisierungsansatz interessiert, der möglichst viel Interaktion mit dem Menschen zulässt. Konventionelle Roboterzellen haben dagegen einen zu großen Platzbedarf, und während des Betriebs ist die Anwesenheit von Menschen im Roboterumfeld nicht erlaubt.

MENSCH UND MASCHINE IM GLEICHEN ARBEITSRAUM

Motiviert durch diese Ausgangssituation wandte sich BMW Motorrad auf der Suche nach einer flexiblen Automatisierungslösung an die Robotik-Experten des Fraunhofer IPK. Gemeinsam wurde eine Lösung erarbeitet, die einen kooperativen Roboter (auch Cobot genannt) mit einer Kombination von Kraftregelung, Bilderkennung und Steuerungstechnik verbindet. Diese Kombination ermöglicht die flexible Integration in eine dynamische Umgebung.

Cobots sind ausgelegt für eine enge Interaktion zwischen Mensch und Roboter. Der Roboter verfügt über ein internes Sensorysystem, das es Entwicklern von Roboteranwendungen erleichtert, alle relevanten Normen in Bezug auf die Sicherheit bei der Interaktion mit dem kollaborierenden Roboter einzuhalten. So kann auf traditionelle Sicherheitsmaßnahmen wie Maschinenschutzgitter oder Lichtschranken verzichtet werden, Mensch und Maschine können

im gleichen Arbeitsraum zusammenarbeiten. Auf diese Art kann der Roboter im BMW Anwendungsfall die Verschraubung vollautomatisiert durchführen, während menschliche Mitarbeitende in unmittelbarer Nähe weitere Arbeitsschritte durchführen – beispielsweise eine Qualitätssicherung weiterer Montageschritte am selben Produkt.

SCHRAUBEN ZUVERLÄSSIG MONTIEREN

Roboterapplikationen mit Kamerasystemen und Algorithmen des Maschinellen Lernens ermöglichen flexibles kraftgeregeltes Verschrauben in einer Umgebung, die nicht vollständig vorhersehbar ist, ob im Fließ- oder Taktbetrieb. Das Bildverarbeitungsmodul lokalisiert das Werkstück im Arbeitsraum, auch wenn dessen Position variabel ist. Die Steuerung des Robotersystems verwendet Kraftregelung, um zu erkennen, dass ein Kontakt zwischen Schrauber und Schraubenkopf hergestellt wurde, sowie um die Kopplung von Schrauber und Schraube aufrechtzuerhalten, bis die Schraube vollständig eingefädelt ist.

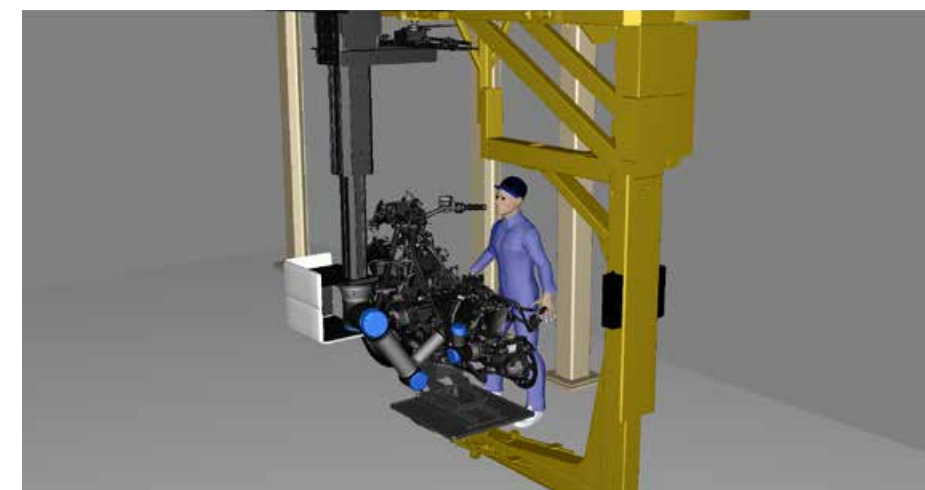


Bild:
Prozesssimulation der MRK-Schraubanwendung

MEHRWERTE DURCH MENSCH-ROBOTER-KOLLABORATION

Auf Seiten von BMW Motorrad haben Mitarbeitende der technischen Planung die prototypische Umsetzung des Konzepts begleitet. Die technische Machbarkeit konnte direkt in der laufenden Montage im Werk Berlin getestet werden. Die Fachleute von BMW konstatieren: »Dank der Vorerfahrung des Fraunhofer IPK zur Kombination von Kraftregelung, Bilderkennung und Steuerungstechnik konnten wir die gemeinsamen Ideen zügig in die bestehende Anlage integrieren, sogar während der Serienfertigung. So können wir genau abschätzen, welche Technologien sich in unserer Fertigung verwenden lassen und einen Mehrwert bringen.«

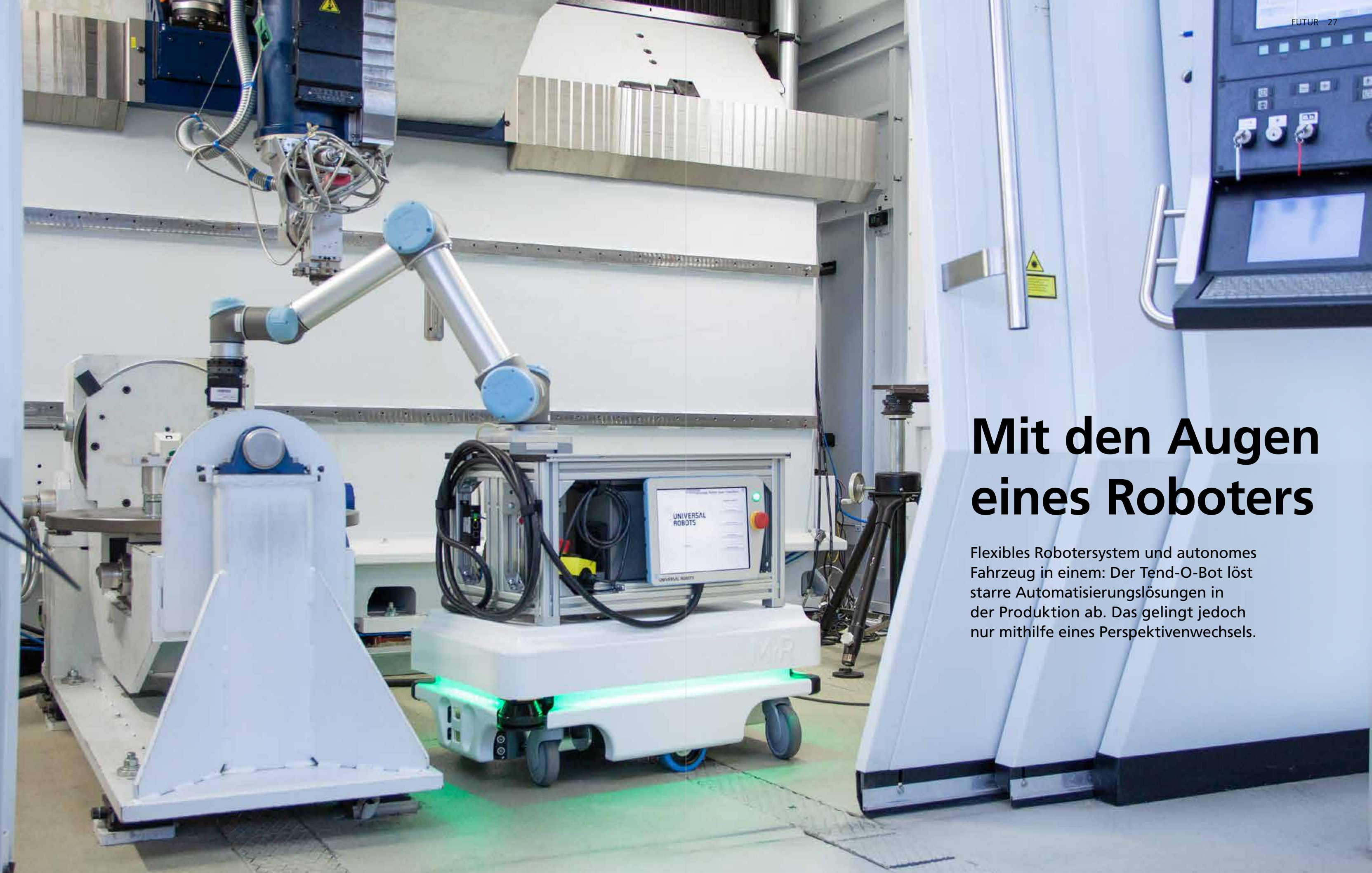
Dieser Mehrwert ist für den Mitarbeitenden und für den Arbeitsablauf nicht zu unterschätzen. Automatisierung mit Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) erleichtert körperlich strapaziöse Arbeiten und schafft Freiraum für anderweitige Aufgaben und Herausforderungen in der Fertigung. Sie trägt zur Prozessverbesserung und Effizienzsteigerung bei – wodurch die Fabrik zu einem reibungsloseren und humaneren Arbeitsumfeld wird. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

Arturo Bastidas Cruz | +49 30 39006-142
arturo.bastidas-cruz@ipk.fraunhofer.de

Mit den Augen eines Roboters

Flexibles Robotersystem und autonomes Fahrzeug in einem: Der Tend-O-Bot löst starre Automatisierungslösungen in der Produktion ab. Das gelingt jedoch nur mithilfe eines Perspektivenwechsels.



Der Wunsch, Anlagen flexibel für unterschiedliche Produkte zu nutzen, bringt starke Automatisierungslösungen zunehmend an ihre Grenzen. Daraus ergeben sich neue Bedarfe: Einerseits müssen Robotersysteme befähigt werden, eigenständig mit Variationen in Form und Lage von Bauteilen umzugehen. Andererseits muss auch der Materialfluss innerhalb einer Fabrik vermehrt dynamisch auf Aufträge reagieren können. Eine Verkettung über Förderbänder steht dabei den schnellen Änderungen von Prozess- und Produktionslayout im Weg. An ihre Stelle treten autonome Fahrzeuge, die im Idealfall eine auftragsindividuelle Verkettung der Systeme ermöglichen.

SICH EINANDER ANPASSEN

Der am Fraunhofer IPK entwickelte Tend-O-Bot bedient diese Bedarfe wirkungsvoll: Das System kombiniert ein autonomes Fahrzeug und einen darauf integrierten Roboterarm. In Verbindung mit Algorithmen der Bildverarbeitung und Bahnplanung wird daraus ein System, welches eigenständig mit Maschinen interagieren und sie beladen kann. Doch so einschlägig diese Lösung auch erscheinen mag, stellt sie hohe Anforderungen an die sensorischen und kognitiven Fähigkeiten des Systems.

Übrigens: Der Name »Tend-O-Bot« ist vom englischen »machine tending« (zu Deutsch: Maschinenbeladung) abgeleitet.

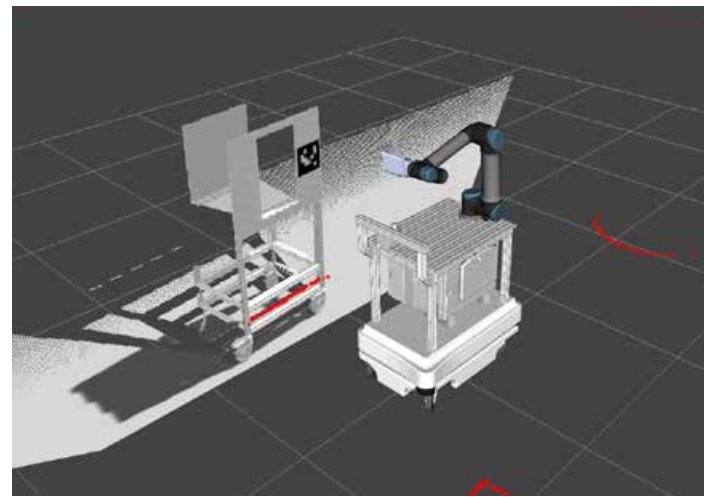
Umgebungen, in denen Menschen und Roboter zusammenarbeiten, weisen eine hohe Komplexität auf. Um in diesem Umfeld zu bestehen, muss ein Roboter lernen, sich an die dynamische menschliche Umgebung anzupassen: Beispielsweise kann ein Mensch ein Werkzeug nach einem Arbeitsschritt zur Seite legen anstatt zurück an den ursprünglichen Verwahrort, weil es so gerade bequemer ist. Für einen Roboter kann ein solches fehlplatziertes Objekt, aber auch der Mensch selbst zu einem Hindernis werden. Ohne »Augen« und Intelligenz kollidiert er im Zweifel damit oder greift ins Leere. Aber auch der Montageprozess stellt neue Herausforderungen an den Roboter. Angelehnt an menschliche Fähigkeiten, muss auch ein Roboter feinfühler und feinmotorischer werden, um die Montage komplexer Baugruppen robust ausführen zu können.

Eine derartige Erweiterung der Fähigkeiten des Roboters erfordert komplexe Algorithmen, die Modelle und Sensordaten auswerten, um über verschiedene Strategien geeignete Handlungsanweisungen an den Roboter zu senden. Um dieses komplexe

Zusammenspiel nachzuvollziehen, ist für die Entwicklerin oder den Entwickler zunächst eine Intuition über die Weltsicht des Roboters notwendig. Das Bild oben zeigt Einblicke in die Welt, wie der Roboter sie wahrnimmt. In Kombination mit Simulationen der Umgebung ermöglichen die im Rahmen des Projekts »Tend-O-Bot« erschlossenen Systeme, komplexe Aufgabenstellungen in einer digitalen Umgebung zu erproben und die Integration in den realen Prozess zu beschleunigen.

HOCH IN DIE CLOUD

Wie die Visualisierung der Daten zeigt, bauen die Algorithmen auf einer Vielzahl von komplexen Daten auf. Das Fahrzeug liefert über zwei Laserscanner Informationen über die Umgebung, eine Kamera am Roboter liefert ein Tiefenbild und eine weitere Kamera am Fahrzeug ein 2D-Bild in Fahrrichtung. All diese Informationen werden ausgewertet, um dem Roboter Rückschlüsse über die Situation zu erlauben. Eine solche Bandbreite an Algorithmen setzt eigentlich eine leistungsstarke Rechenhardware voraus. Da das System jedoch autonom und mobil operiert,



1

Bilder:

1
Die Weltsicht des Roboters: Die roten Punkte entsprechen der Wahrnehmung der zwei Laserscanner, die weißen Geometrien sind Teile einer Versuchsumgebung aus Sicht der Tiefenkamera am Roboterarm.

2
Der Tend-O-Bot vereint mobile Roboterplattform, Roboterarm und Funk- und Steuerungstechnik.



2

Angelehnt an menschliche Fähigkeiten, muss auch ein Roboter feinfühleriger und feinmotorischer werden, um die Montage komplexer Baugruppen robust ausführen zu können.

Weitere Informationen
www.ipk.fraunhofer.de/tend-o-bot



elle Ideen schnell umsetzen. Vorstellbar ist auch der Einsatz mehrerer Fahrzeuge, um Prozesse flexibel in einem Matrixverbund miteinander zu vernetzen. Durch den integrierten Manipulator erlaubt das System dabei auch die Interaktion mit Maschinen, welche schwer über klassische Transportsysteme erschlossen werden können. Der Tend-O-Bot greift in diesem Fall selbst ein und belädt die Maschine eigenständig.

Langfristig ermöglichen die Algorithmen zudem, dass die Robotik aus der industriellen Domäne ausbricht: Einsatzorte im Einzelhandel sowie in der Agrar- und Bauindustrie sind zukünftig möglich. Im Gegensatz zu den zumindest teilweise strukturierten Umgebungen industrieller MRK-Anwendungen wird es hier jedoch noch einmal höhere Anforderungen an die kognitiven Fähigkeiten der Roboter geben. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

Oliver Heimann | +49 30 39006-327
oliver.heimann@ipk.fraunhofer.de

wodurch Platz sowie Batteriekapazität beschränkt sind, wird die Ausführung der Rechenoperationen in die Cloud verlagert. Das System ist dafür komplett modular aufgebaut, sodass einzelne Anwendungen und Algorithmen annähernd beliebig im Netzwerk verschoben werden können. Eine leistungsstarke Funkverbindung übermittelt die Sensordaten dafür an die externen Server. Dort werden die Daten ausgewertet, das Weltverständnis des Roboters aktualisiert und anschließend neue Befehle an die Hardware übermittelt.

Die Fähigkeit des Tend-O-Bot-Systems, eigenständig und schnell auf neue Situationen zu reagieren, ist ein zentraler Baustein für jede flexible Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK). Durch den modularen Aufbau können einzelne Bildverarbeitungs- und Planungsalgorithmen auch getrennt voneinander verwendet werden. Die Kopplung der Systeme erfolgt über die digitale Zwischenebene, so dass auch neue Sensoren und Algorithmen mit geringem Aufwand in die bestehenden Lösungen integriert werden können. So lassen sich kundenindividuelle

Ein Navi für die Produktion

»In 500 Metern rechts abbiegen.« Auf Autofahrten verlassen wir uns gern auf digitale Assistenz in Form eines Navigationssystems. Wäre es nicht schön, wenn es solche einfachen Anweisungen auch in komplexen Produktionsprozessen geben könnte? Das Fraunhofer IPK entwickelt Lösungen für digitale Assistenzsysteme, mit denen Nutzenden eine individuelle und anpassbare Unterstützung an die Hand gegeben wird.



01

Ein mittelständischer Fertigungsbetrieb hat vor Kurzem seine Maschinenflotte und die damit verbundenen Geschäftsprozesse mithilfe von Fraunhofer IPK und CONTACT Software digitalisiert. Seitdem werden alle Maschinen digital abgebildet. Bearbeitungsprozesse werden konstant überwacht und sofort in Digitale Zwillinge überführt. Auf einem Dashboard kann das zuständige Fachpersonal die Maschinenzustände und Prozessfortschritte überwachen.



02

An den Maschinen sind Sensoren angebracht, deren Messwerte an ein lokales Edge Device übertragen und dort mittels am Fraunhofer IPK entwickelter Algorithmen ausgewertet werden. Der Maschinenzustand wird so konstant automatisch überwacht und beurteilt.



03

Die langfristigen Sensoraufzeichnungen zeigen, dass die Vibrationen im Maschinenbett immer größer werden. Gerade hat dieser Trend einen kritischen Schwellwert erreicht. Der Zustand der Maschine wird in Echtzeit digital an das Instandhaltungspersonal als »kritisch« gemeldet.

IHRE ANSPRECHPERSON

Manuel Bösing | +49 30 39006-186
manuel.boesing@ipk.fraunhofer.de



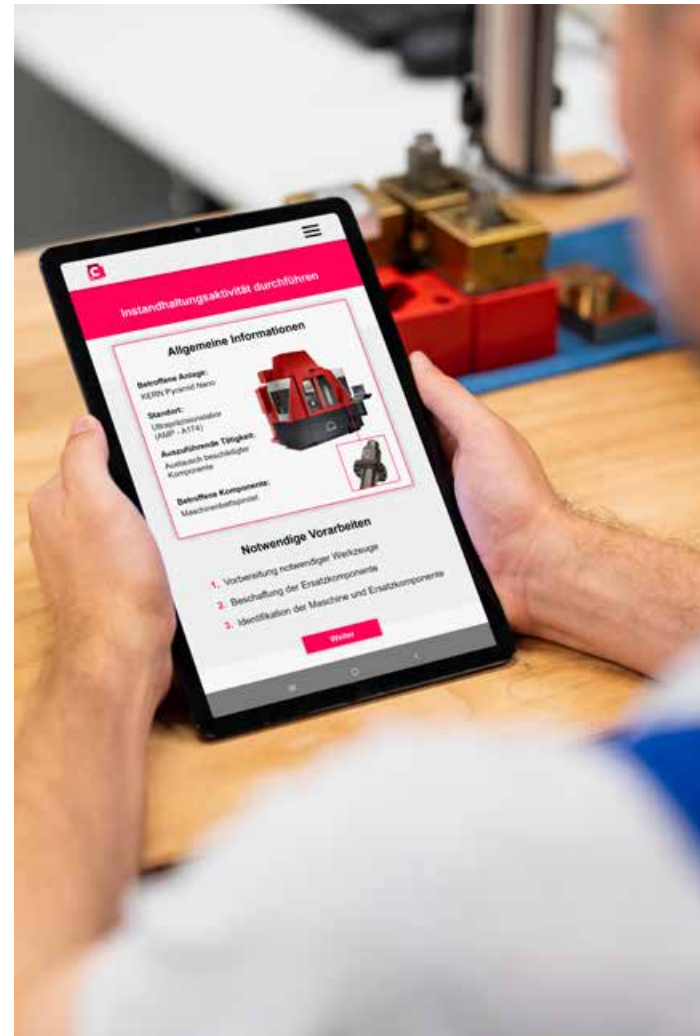
04

Durch die in der Software bereitgestellten Informationen zur Maschine und zur kritischen Komponente sieht die Instandhaltungsleitung sofort, welche Art von Servicetätigkeit auszuführen ist: In unserem Fall muss die Maschinenbettspindel ausgewechselt werden. So kann sie direkt per Smartphone einen Service-Call initiieren und einen entsprechend qualifizierten Techniker auswählen, der mit der Durchführung beauftragt wird.



05

Der als verantwortlich ausgewählte Servicetechniker erhält eine Push-Nachricht in einer Service-App, die von Fraunhofer IPK und CONTACT Software speziell für die Anwendung in dieser Firma entwickelt wurde.



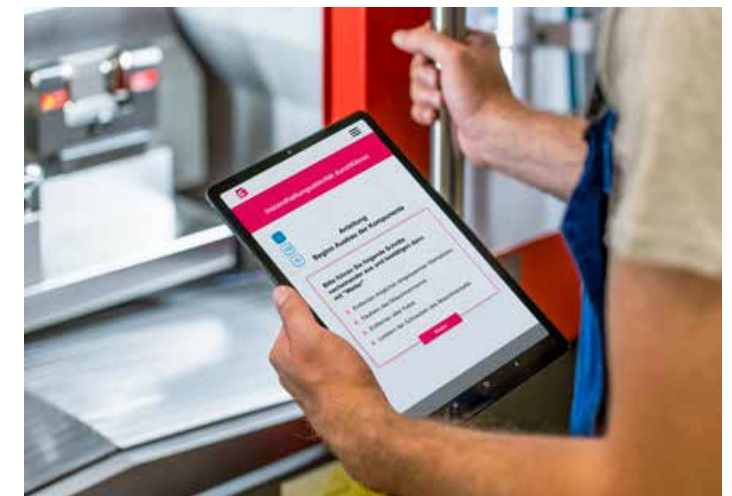
06

Die App rät zum Austausch der betreffenden Komponente. Die Software hat auf Grundlage der Kontextdaten automatisch errechnet, welche Arbeitsschritte durchzuführen sind, welches Werkzeug benötigt wird und ob eine Ersatzkomponente zur Verfügung steht. Dieses Wissen stellt sie dem designierten Techniker auf übersichtliche Weise dar.



07

Per QR-Code kann der Techniker die zu wartende Maschine und die fehlerhafte Komponente zweifelsfrei identifizieren. In der App erfährt er auch direkt, wo er die benötigte Neukomponente findet.



08

Für den Austauschprozess stellt die App eine Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Verfügung – je nach Belieben visuell, akustisch oder als Text. In unserem Fall beginnt die Anleitung zunächst mit dem Ausbau der kritischen Komponente.

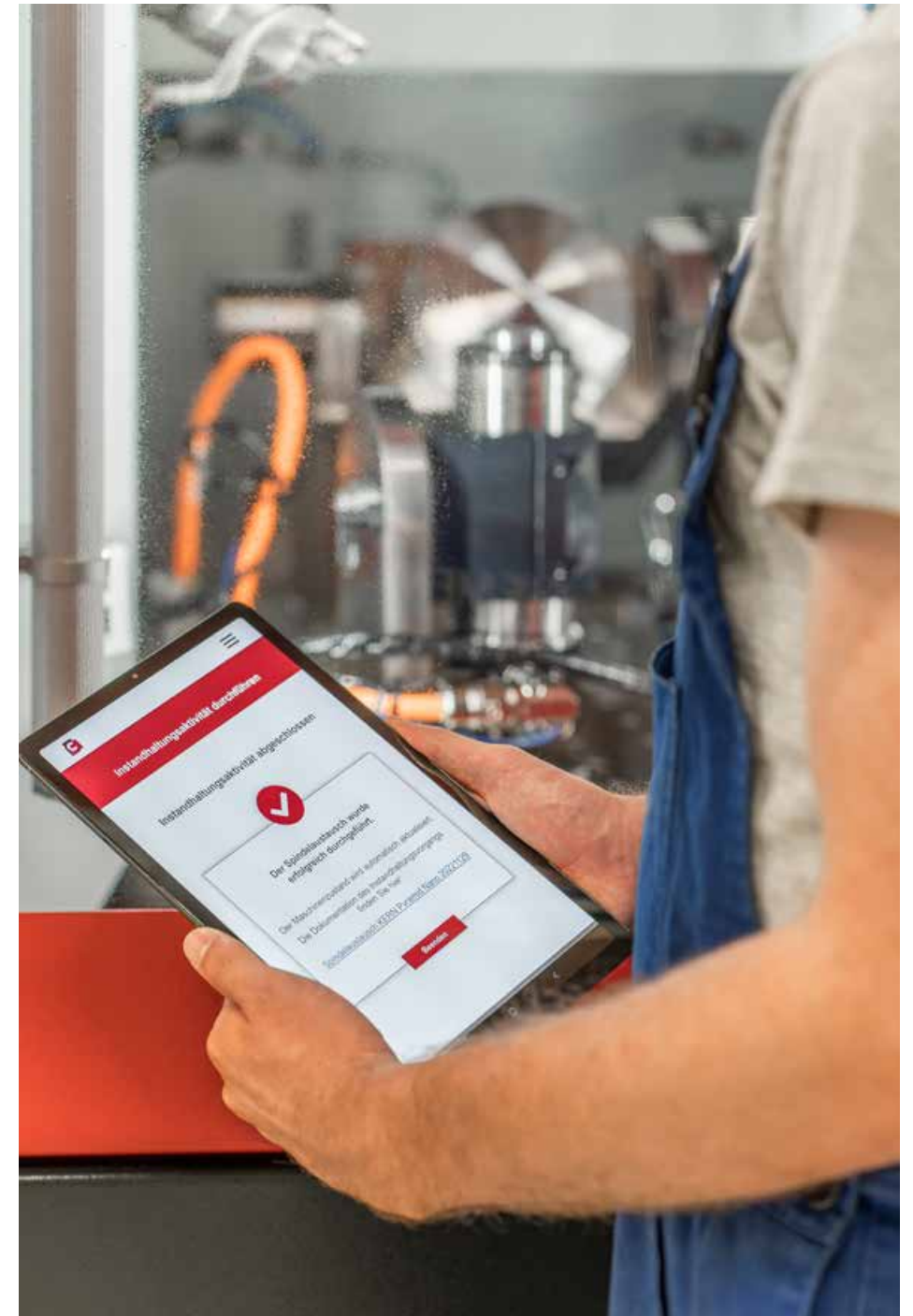


09

Der Servicetechniker arbeitet die entsprechenden Schritte ab: Zunächst wird der Maschinenraum gereinigt (oben links) und das eingespannte Werkstück entfernt (Mitte links). Danach werden erste Kabel und Schläuche gelöst (unten links), bevor mit dem Ausbau des Maschinentisches begonnen wird (rechts).

10

Der gesamte Wartungsprozess wird in Echtzeit dokumentiert und wieder in den Maschinenzwilling überführt. Nach erfolgreichem Vorgang wird der Status der Maschine aktualisiert. Zudem wird die neu eingebaute Komponente auch digital der Maschine zugeordnet.





Rundum runde Anlagenplanung in Virtual Reality

Die Integration neuer Anlagen in eine Fertigungsumgebung wird durch virtuelle Inbetriebnahme enorm vereinfacht. Noch übersichtlicher wird die Simulation, wenn dabei Techniken der Virtuellen Realität zum Einsatz kommen.

Passt die Anlage wirklich an den vorgesehenen Platz? Kann der Roboter das Bauteil tatsächlich so greifen und bearbeiten wie geplant? Um solche Fragen schon vor der Inbetriebnahme zu beantworten und ungeschöne Überraschungen zu vermeiden, können Produktionsanlagen vor einem realen Einsatz mittels industrieller Softwaretools virtuell in Betrieb genommen und getestet werden.

Dazu werden die bei der Konstruktion der Anlage erstellten CAD-Modelle verwendet und bereits vor der Inbetriebnahme wird eine virtuelle Version der Anlage programmiert, um deren Verhalten zum Beispiel mit einem Simulationsprogramm durchzuprüfen. Fehler oder Unzulänglichkeiten können so frühzeitig erkannt und der entwickelte Programmcode direkt auf die phy-

sische Anlage übertragen werden. Die Zeiteinsparungen, welche dadurch bei der Inbetriebnahme der realen Anlage erzielt werden, sind immens. Auch die Rekonfiguration einer Anlage wird enorm vereinfacht. Allerdings ist der Einsatz von Software zur virtuellen Inbetriebnahme komplex und erfordert einen hohen Schulungsaufwand für Mitarbeitende.

Virtual Reality (VR) Tools reduzieren diese Komplexität und bieten gleichzeitig die Möglichkeit verbesserter Designs. Virtual Reality ermöglicht es, Konstruktionsmodelle in einer 1:1-Skalierung zu visualisieren und mit ihnen in Echtzeit zu interagieren. Rasante Fortschritte in der Gerätetechnologie in den letzten Jahren unterstützen die Methodik: Moderne Head Mounted Displays, ergonomische Controller und Hand Tracking sind heute hoch qualitative Geräte, die sich hervorragend für eine realistische Visualisierung von Konstruktionsdaten sowie der Interaktion mit ihnen eignen.

Forschende am Fraunhofer IPK haben auf Basis einer virtuellen Inbetriebnahmesoftware und Virtual Reality ein System entwickelt, welches es ermöglicht, virtuelle Inbetriebnahmen in Virtual Reality durchzuführen. Das System befähigt Nutzende dazu, mit ihren eigenen Händen Roboter zu kontrollieren und den Pfad zu definieren, den ein Roboter abfahren soll. Die Simulationssoftware wertet die Interaktionen aus und überträgt sie in Softwarecode für die Roboter. Wenn die Nutzenden mit der Eingabe zufrieden sind, erfolgt eine Simulation der Pfadbewegung, um den Pfad auf Plausibilität und Kollisionen zu prüfen. Diese Simulation wird ebenfalls in Virtual Reality dargestellt. Anschließend kann der Code direkt auf einen realen Roboter übertragen werden. Das Verhalten des Roboters wird dann wiederum als Digitaler Zwilling in Echtzeit in Virtual Reality visualisiert. Dadurch kann das Roboterverhalten standortunabhängig, etwa von einem anderen Land aus, in Echtzeit beobachtet werden.

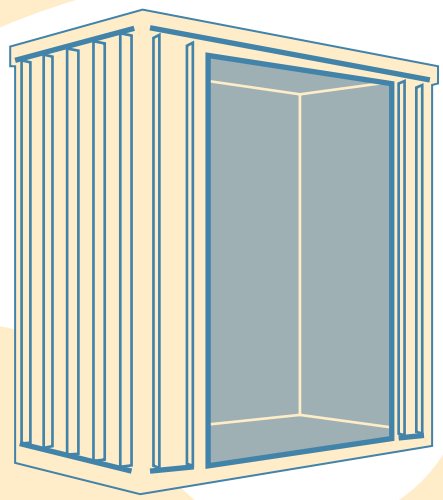
Neben echten virtuellen Inbetriebnahmen kann das System auch für VR-Trainings genutzt werden. Da die Simulationsumgebung das reale Verhalten vorhandener Anlagen abbildet, ist der Aufwand zum Erstellen der Trainings gering. Zudem können kritische Fehlerfälle trainiert werden, die an einer echten Anlage hohen Schaden oder Kosten verursachen würden. Trainings in Virtual Reality können durch ihre hohe Immersion die Trainees besonders gut vorbereiten. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

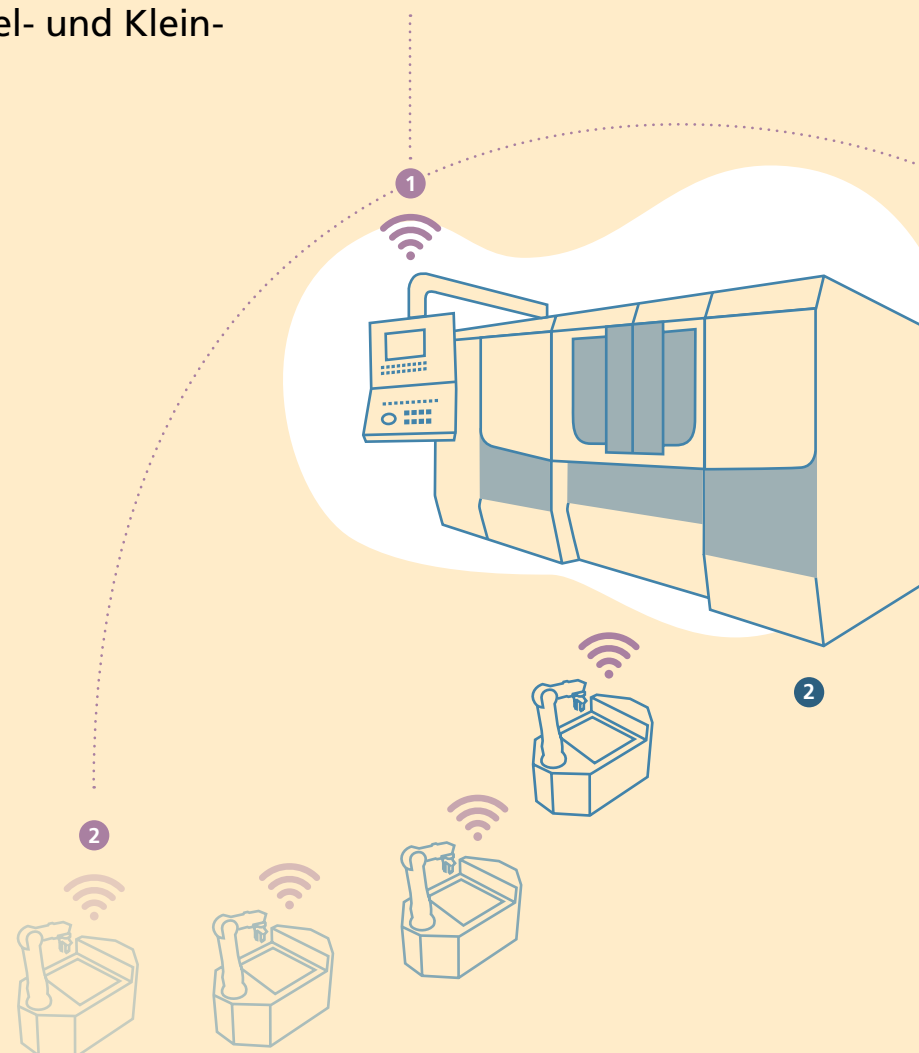
Kathrin Konkol | +49 30 39006-382
kathrin.konkol@ipk.fraunhofer.de

Brennstoffzellen smart gefertigt

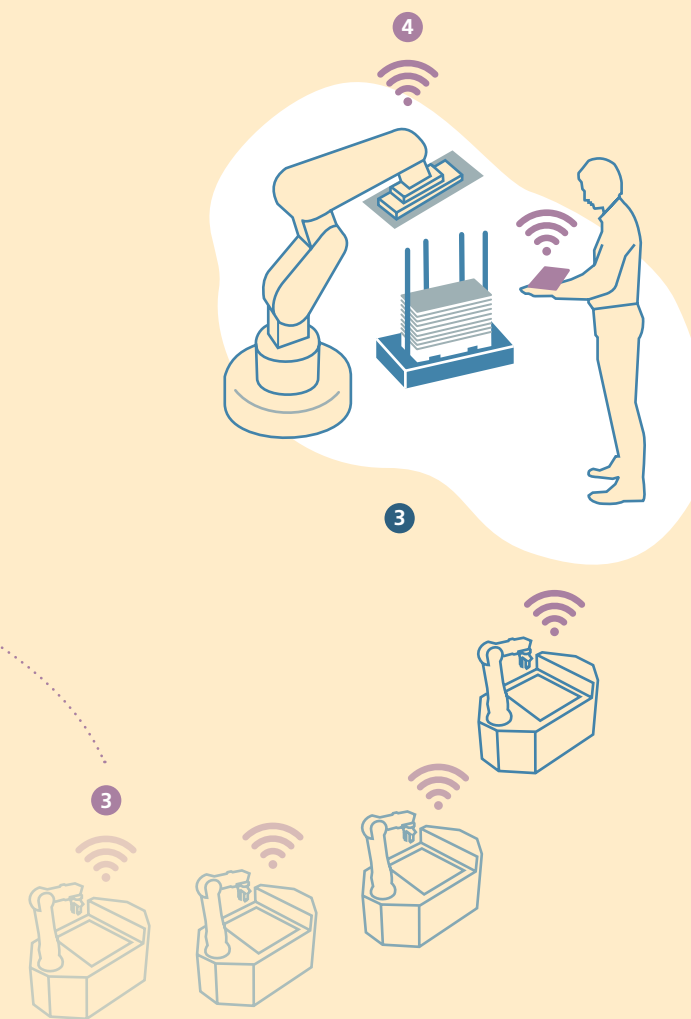
Wie wird die Fertigung von Brennstoffzellen wirtschaftlich? Im Applikationslabor »Digital Integrierte Produktion (dip)« sollen Lösungen für die Einzel- und Kleinserienfertigung entstehen.



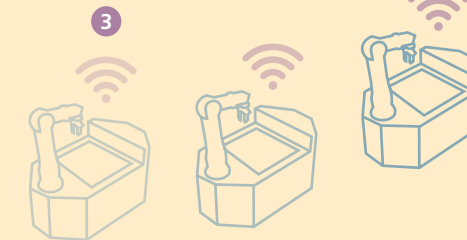
1



2



3



3

Energie und deren klimaneutrale Bereitstellung beschäftigen unsere Gesellschaft nicht erst seit den aktuellen umwelt- und weltpolitischen Ereignissen – doch diese haben das Potenzial, vielversprechende Ansätze zusätzlich zu befeuern. Eine der derzeit in den Medien und der Forschung stark beachtete Technologie zur klimaneutralen Energiegewinnung ist die Brennstoffzelle. Mit ihr ist es möglich, aus Wasser und Sauerstoff direkt elektrische Energie zu erzeugen. Bereits 1875 bezeichnete Jules Verne Wasser als »die Kohle der Zukunft« und bezog sich mit dieser Aussage auf das Prinzip der Brennstoffzelle.

Um das Prinzip für den wirtschaftlichen Masseneinsatz fit zu machen, erforschen zahlreiche Akteure Engineering von Brennstoffzellen sowie Lösungen für deren Produktion. Während viele von ihnen an der Serien- oder Massenfertigung arbeiten, konzentriert sich das Fraunhofer IPK auf die effiziente Einzel- und Kleinserien-

Brennstoffzellenfertigung

- 1 Das AGV bringt das benötigte Material aus dem Lager, transportiert es zur Werkzeugmaschine und übergibt es nach erfolgter Anmeldung der Maschine.
- 2 Das AGV holt das gefräste Werkstück ab, um es bei der Reinigungs- und Qualitätsprüfungsstation für die Montage vorzubereiten.
- 3 Das AGV bringt das Montage-Kit zum Montagearbeitsplatz, wo der Brennstoffzellen-Stack in einer Mensch-Roboter-Kollaboration zusammengesetzt wird.

Digitale Integration

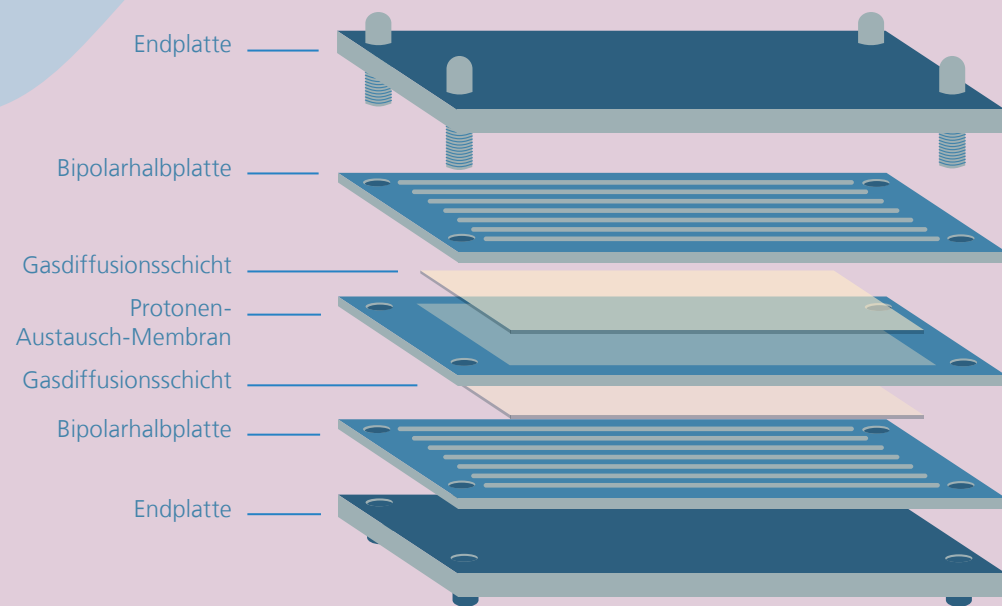
- 1 Aufträge werden per IoT-Kommunikation an die Fräsmaschine übermittelt.
- 2 AGV wird am Lager informiert, um die benötigten Materialien zu besorgen.
- 3 Nach der Fräsbearbeitung wird das AGV wieder informiert und holt das gefräste Werkstück ab.
- 4 Der Arbeiter erhält digitale Hilfestellung über ein kontextsensitives Assistenzsystem.

fertigung individualisierbarer Brennstoffzellen für Nischenmärkte. Denn hier muss aus Rentabilitätsgründen beim Bau der Brennstoffzelle noch viel Hand angelegt werden. Dabei kann eine digital integrierte Produktion die Effizienz massiv steigern. Darunter wird am Fraunhofer IPK das harmonische Zusammenspiel von Menschen, Maschinen und Prozessen unter Zuhilfenahme von Industrie-4.0-Technologien verstanden.

DIGITAL INTEGRIERTE PRODUKTION ZUM ANFASSEN

Mit Fördermitteln des Berliner Senats und unter Einbeziehung der am Produktionstechnischen Zentrum (PTZ) Berlin zur Verfügung stehenden Forschungsinfrastruktur baut ein Team am Fraunhofer IPK aktuell das Appli-

Aufbau einer Brennstoffzelle



Prozesskette bis hin zu Möglichkeiten, den Einsatz von Industrie-4.0-Technologien und Komponenten zu erproben.

Die besondere Herausforderung beim Aufbau des Labors liegt bereits in der Formulierung der Lastenhefte für die zu integrierenden Produktionssysteme. Hintergrund ist, dass konkrete Anforderungen unter Digitalisierungsaspekten bislang bei Beschaffungen, wenn überhaupt, erst an zweiter Stelle stehen. Dies ist auch einer der Gründe, weshalb sich viele Unternehmen mit der Einführung von Industrie 4.0 schwertun. Der Aufwand, nachträglich zu analysieren, welche Informationen zwischen welchen Akteuren auf welchem Weg, zu welcher Zeit und mit welchen Softwaretools ausgetauscht werden müssen, ist erheblich. Im Applikationslabor »dip« werden daher Lösungen im Sinne von Best Practices entstehen, die nicht nur zeigen, was gehen kann, sondern auch, wie man es effektiv und effizient umsetzt.

kationslabor »Digital Integrierte Produktion (dip)« auf. Es adressiert die Herausforderung der Produktionsvernetzung am Beispiel einer intelligenten werkstattorientierten Brennstoffzellefertigung. Dabei wird das Applikationslabor »dip« als Entwicklungs- und Erprobungslabor an der Schnittstelle zwischen Industrieforschung und außeruniversitärer Forschung die Kooperation mit Unternehmen intensivieren und den Transfer von Ergebnissen in beide Richtungen unterstützen. Die Bandbreite reicht vom Wissens- und Technologietransfer zur Unterstützung des schnellen Einstiegs über die (Weiter-)Entwicklung von Technologien in einer modularen und flexiblen Entwicklungsumgebung entlang der

ARBEITSSCHRITTE EINER BRENNSTOFFZELLEN-FERTIGUNG

Die wesentlichen Komponenten eines Brennstoffzellen-Stack sind Bipolarplatten, eine Protonen-Austausch-Membran sowie Endplatten. Im praxisnahen Szenario werden im Labor individuell gestaltbare Bipolarplatten aus Metall oder Graphit auf einer hochmodernen CNC-Fräsmaschine selbst gefertigt. Dabei werden die Aufträge per Kommunikation über IoT (Internet of Things) an die Fräsmaschine übermittelt. Ein autonomes fahrerloses Transportsystem (engl. Autonomous Guided Vehicle, AGV) holt dazu das benötigte Material aus dem Lager, transportiert es zur Werkzeugmaschine und übergibt es nach erfolgter Anmeldung an die Maschine. Nach der Fräsbearbeitung wird das AGV informiert, dass das gefräste Werkstück abgeholt werden kann, um es bei der Reinigungs- und Qualitätsprüfungsstation für die

Montage vorzubereiten. Auch hier erfolgt die Kommunikation zwischen den Systemen IoT-basiert. Mit der gleichen Vorgehensweise werden auch die Endplatten gefertigt.

Damit die Komponenten jederzeit identifiziert werden können, erhält jede eine individuelle ID in Form eines QR-Codes per Lasergravur. Somit können auch in der Nutzungsphase den einzelnen Komponenten in einem Digitalen Produktzwilling wichtige Informationen zugeordnet werden. Für den letzten Produktionsschritt, die Montage, transportiert das AGV ein aus Bipolarplatten, Membranen, Endplatten und weiteren Komponenten bestehendes Montage-Kit zum Montagearbeitsplatz, wo der Brennstoffzellen-Stack in einer Mensch-Roboter-Kollaboration zusammengesetzt wird. Der Mensch wird dabei nicht nur physisch durch den Roboter unterstützt. Er erhält darüber hinaus digitale Hilfestellung über ein kontextsensitives Assistenzsystem. Mithilfe der durchgängigen Informationsvernetzung entsteht eine transparente Produktion, bei der Abweichungen vom Soll-Prozess in Echtzeit erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen im Sinne einer selbstorganisierenden Produktion eingeleitet werden können. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

Claudio Geisert | +49 30 39006-133
claudio.geisert@ipk.fraunhofer.de

Im Applikationslabor »dip« werden Lösungen im Sinne von Best Practices entstehen, die nicht nur zeigen, was gehen kann, sondern auch, wie man es effektiv und effizient umsetzt.



Kurze Innovationszyklen, individualisierte Produkte, fragile Lieferketten: Das Umfeld für produzierende Unternehmen wird immer anspruchsvoller. Nach wie vor hat die High-Mix-Low-Volume-Fertigung eine starke Bedeutung. Um am Markt bestehen zu können, sehen sich Hersteller gezwungen, immer mehr Produktvarianten in immer kleineren Chargen zu produzieren. Darüber hinaus gilt es, extreme Volumen- und Losgrößenschwankungen wirtschaftlich zu realisieren. Gerade in Krisenzeiten ist diese Fähigkeit überlebenswichtig.

AUTOMATISIERUNG NEU DENKEN

Doch wie gelingt es, trotz häufiger Produktwechsel, stark schwankender Losgrößen und kleinster Stückzahlen noch gewinnbringend zu produzieren? Die automatisierte Montagelinie rentiert sich in der Regel nur bei kontinuierlicher Produktion. Teuer und ineffizient ist – wenn überhaupt möglich – vor allem das stetige Umrüsten der Maschinen: Jede Umrüstung verursacht Kosten, da sie zum einen Ressourcen bindet, gleichzeitig aber keine Wertschöpfung gegenüber dem zahlenden Kunden generiert wird.

Die Herausforderung besteht somit darin, automatisierte Montagelösungen zu entwickeln, die mit minimalen Rüstzeiten und -aufwänden auskommen und sich skalierbaren Auftragsschwankungen anpassen. Ein Projektteam des Fraunhofer IPK hat sich dieser Aufgabe für einen Unternehmenskunden angenommen.

Die Ausgangslage: Der Hersteller fertigt hochwertige Elektrogeräte in verschiedenen Varianten für den weltweiten Markt. Bisher wurden die aus rund 100 Einzeltei-

len bestehenden Geräte auf produktspezifischen Montagelinien manuell montiert, dabei teilten sich die Produkte etwa 20 Linien. Früher lohnte sich keine Automatisierung, da die Stückzahlen – etwa im Vergleich zur Automobilindustrie – für die einzelnen Produkte zu gering waren. Aufgrund der stark gestiegenen Variantenzahl und der schwankenden Kundenabrufes stieg die Zahl der Rüstvorgänge jedoch von zunächst einmal in fünf Tagen auf bis zu einmal täglich. Mit Rüstzeiten von etwa zwei Stunden konnte die Produktion folg-

lich nicht mehr wirtschaftlich realisiert werden. Mittel- bis langfristig geht der Hersteller gar von zwei Rüstvorgängen pro Tag und einer temporär erforderlichen Kapazitätssteigerung von 500 Prozent im Vergleich zum Standard aus.

Entsprechend war eine Lösung gefragt, mit der sich die Rüstzeit auf etwa zehn Prozent der aktuellen Zeit senken ließ und die es ermöglichte, die Kapazität für einzelne Produktvarianten kurzfristig drastisch zu erhöhen.

NEUE MODULARISIERUNGSLÖSUNG

»Unser Ansatz war es, möglichst alle Arbeitsschritte zu automatisieren und mit mehreren flexibel konfigurierbaren – quasi universellen – Montagezellen umzusetzen«, erklärt Moritz Chemnitz, Automatisierungsexperte am Fraunhofer IPK. »Aus diesen Zellen lässt sich dann eine Montagelinie aufbauen, auf der viele verschiedene Produkte auftragsbezogen gefertigt werden können.« Mit einer derartigen Modularisierung werde es möglich, dass bei Bedarf mehrere Montagelinien auch genau ein Produkt parallel herstellen. Dadurch würden große Abnahmeschwankungen optimal abgedeckt. »Die zentrale Frage lautete daher, wie solch eine universelle Zelle beschaffen sein muss.«

Nach einer Analyse sämtlicher Abläufe beim Kunden entwickelten die Forschenden ein generisches modulares Zellenkonzept. Dieses fasst die Arbeitsschritte in Kategorien zusammen, welche später die Submodule bilden. Es ähnelt einem Baukastensystem und basiert auf wenigen Kernprinzipien, die das Projektteam modellbasiert umsetzen konnte: Für universell nutzbare Montagezellen sind nur wenige Zellkomponenten produktspezifisch vorzusehen, während produktspezifische Komponenten einfach austauschbar sein müssen. Einheitliche Schnittstellen – sowohl zwischen den Softwaresystemen als auch den Hardwarekomponenten – gewährleisten den schnel-

len Wechsel und die einfache Wiederverwendbarkeit von Submodulen. Damit sind die Produktionszellen auch vergleichsweise günstig in der Anschaffung.

ROBOTER IM EINSATZ FÜR DIE PILOTIERUNG

Basierend auf diesem neuartigen modularen Konzept folgten an einer roboterbasierten Pilotanlage am Fraunhofer IPK die Planungen für die Montagezelle. Hierfür bildeten die Forschenden mithilfe Digitaler Zwillinge einzelne Maschinen, komplexe Abläufe und ganze Wertschöpfungsketten virtuell so ab, dass sie flexibel miteinander vernetzt und synchronisiert werden konnten. Das Ergebnis: Zentrum der neuen Montagezelle ist ein Industrieroboter, der auf die verschiedenen Produktfamilien eingerüstet und leicht auf die unterschiedlichen Aufgaben konfiguriert werden kann.

Ebenfalls in der Versuchsanlage wurden anschließend die stabilen Prozessschritte für den Roboter entwickelt. Der Einsatz von 3D-Druck-Technologie ermöglichte es, einzelne Anlagenbauteile schnell produzieren und testen zu können. Auf diese Weise gelang es dem Forschungsteam, produktspezifische Vorrichtungen und die Greifer des Roboters bis zur Serienreife zu entwickeln. Ausgestattet wurde der Roboter zudem mit einem Kraftsensor, der ihm ein Gefühl für seine Umgebung vermittelt. Durch besondere Algorithmen ist er in der Lage, nahezu menschlich zu agieren und je nach Gegebenheit die richtigen Montageparameter zu nutzen. Damit wird die Montagezelle robust gegenüber Bauteiltoleranzen oder unvorhergesehenen Hindernissen.

DER MENSCH BLEIBT IM MITTELPUNKT

Blicken wir zurück zur Ausgangslage: Die Roboterzelle – also die Maschine – kombiniert die Individualität und Flexibilität einer manuellen Montagelinie mit der hohen Arbeitsteilung einer Serienfertigung. Für den Elektrogerätehersteller bedeutet das eine höhere Effizienz und bessere Produktquali-

tät im Zuge der High-Mix-Low-Volume-Fertigung sowie schwankender Losgrößen.

Was das Umrüsten der Roboterzelle betrifft, konnten die Forschenden bereits erste Tests absolvieren. Dabei wurden Verfahren und Schnittstellen ermittelt, die einen möglichst kurzen Rüstvorgang gewährleisten. Dennoch: »Der Vorgang des Umrüstens ist noch immer komplex und aufwendig und kann nicht gut automatisiert werden«, sagt Chemnitz. »Der Mensch ist hier noch unentbehrlich. Er muss aber bestmöglich eingebunden werden.«

Der Mensch kommt also nicht mehr bei der eigentlichen Produktion ins Spiel – sondern nur noch beim Umrüsten. Ist er damit doch weitgehend überflüssig? »Keineswegs«, widerspricht Chemnitz. »Für den Menschen bedeutet das, dass er einen komplexen Prozess orchestriert und überwacht – hierbei helfen zum Beispiel Visualisierungstechniken mit Digitalen Zwillingen, die wir in unserer Pilotanlage erproben. Dafür ist er weniger schädlichen Bewegungsabläufen, repetitiver oder gar gefährlicher Arbeit ausgesetzt.«

Der Produktionsprozess ist somit weitestgehend automatisiert. Der Mensch wird jedoch nicht ersetzt, sondern kann seine Stärken in der Entwicklung neuer Prozesse und Fertigungsmittel einbringen, und zwar optimal unterstützt: Mithilfe der Pilotanlage und des verbauten Kraftsensors konnte die Entwicklung der Fertigungsprozesse sechsmal schneller als bisher durchgeführt und deren Zuverlässigkeit um 30 Prozent gesteigert werden. ♦

IHRE ANSPRECHPERSONEN

Moritz Chemnitz | +49 30 39006-127
moritz.chemnitz@ipk.fraunhofer.de

Jan Torka | +49 30 39006-156
jan.torka@ipk.fraunhofer.de

Wenn aus Zellen Linien werden

Eine neue Technologie zur Modularisierung in der Montage hilft Herstellern, ihre Prozesse zukunftssicher zu machen. Dabei gilt es, den Menschen optimal einzubinden.

Usability und UX im Gleichgewicht

In der Mensch-Maschine-Interaktion braucht es Empathie und Ideenreichtum, um die Anforderungen und Bedürfnisse der Nutzenden zu befriedigen. Hierbei helfen Designmethoden, deren Einsatz aber nicht dazu führen darf, dass die Usability durch den Fokus auf User Experience an Bedeutung verliert.



Ein Gastbeitrag von Johann Habakuk Israel, Professor für Angewandte Informatik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Das Klagen über unzureichende Benutzungsschnittstellen digitaler Systeme ist so alt wie diese Systemgeneration selbst. Und es ist häufig berechtigt. Wurde bis vor einiger Zeit noch von »Benutzerfehlern« gesprochen und die Verantwortung für Fehlfunktionen auf die Benutzerinnen und Benutzer abgewälzt, setzt sich insbesondere seit der Etablierung menschenzentrierter Entwicklungsprozesse die Einsicht durch, dass »Fehlbedienungen« ihren Ursprung in ungenügend gestalteten User Interfaces haben – oft verursacht durch mangelndes Verständnis für die Nutzenden und fehlende konzeptionelle Arbeit. Hierfür zu sensibilisieren ist eine wichtige Aufgabe vor allem in der Ausbildung, und vermutlich gelingt dies keiner Disziplin besser als dem Design in seinen verschiedenen Facetten. Wie wichtig Geduld, Scheitern, Methodenreichtum, Empathie, Kreativität und Ästhetik bei der Suche nach passenden Interaktionskonzepten und Gestaltungslösungen sind,

wird hier am intensivsten vermittelt. Es war richtig, solche Perspektiven auch in die Curricula technischer Studiengänge aufzunehmen und es ist unabdingbar dies nachzuholen, wo es noch nicht geschehen ist.

Das Contextual Design nach Karen Holtzblatt gilt derzeit als das gründlichste aller Analyse- und Entwurfswerkzeuge im Rahmen der menschenzentrierten Entwicklung. Unter Einsatz ethnographischer Methoden werden hier Daten im Feld gesammelt und in mehreren Analyse-Schritten so verdichtet, dass effiziente Systeme entwickelt werden können, die sich an den tatsächlichen Anforderungen und Arbeitsabläufen von Nutzenden orientieren. Die Orientierung am Wohlbefinden der Nutzenden, welches im Konzept der User Experience (UX) betont wird, ist richtig und entspricht dem Zeitgeist. Sie darf jedoch nicht dahingehend umschlagen, dass die oft als zu sachlich wahrgenommenen Kriterien der Usability, de-



Bild:
Immersive Skizziertechnik »SelfSketch«, die im BMBF-Projekt ViTraS in einem menschenzentrierten Entwicklungsprozess entstanden ist
© Bilder: HTW Berlin / Alexander Rentsch

ren ISO-Norm 9241-110 im Jahr 2020 wesentliche Änderungen erfuhr, oder kognitions- sowie wahrnehmungspsychologische Aspekte weniger Beachtung finden oder gar als nicht zeitgemäß ignoriert werden. Um effiziente, ergonomische und mitwachsende User Interfaces zu entwerfen, die ihren Nutzenden möglichst viele Ressourcen für die Lösung der eigentlichen Aufgabe »übrig lassen«, statt diese für die Interaktion mit dem System zu »verbrauchen«, müssen entsprechende theoretische Kenntnisse vorhanden sein. Damit ist ein Plädoyer verbunden, solche Inhalte auch in den Curricula technischer Disziplinen zu verankern. Auch rein auf UX spezialisierte Designagenturen sollten dem sich insbesondere an Effizienz und Effektivität orientierenden Konzept der Usability eine wichtigere Rolle zugestehen.

Johann Habakuk Israel

... studierte Informatik an der TU Berlin und promovierte 2009 am Fraunhofer IPK zum Thema »Hybride Interaktionstechniken des immersiven Skizzierens«. Seit 2015 ist er Professor für Angewandte Informatik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin und war hier u. a. an der Gründung des Studiengangs »Informatik in Kultur und Gesundheit« beteiligt. »Im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion wird seit vielen Jahren ein Durchbruch der Virtual- beziehungsweise Extended-Reality-Technologie (VR, XR) erwartet«, sagt der Fraunhofer-Alumnus, dessen Forschungsschwerpunkt auf diesen Technologien liegt. »Dass sie sich bisher nicht in dem erwarteten Maß etabliert haben, liegt auch an Problemen der User Interfaces. Interaktionskonzepte und Einsatzpraxis liegen hier oft noch zu weit auseinander. Im BMBF-Projekt »Partizipation in Stadtplanungsprozessen in virtuellen und realen Räumen (INSPIRER)« entwickeln wir deshalb Virtual- und Augmented-Reality-Methoden in engem Kontakt mit den Nutzenden. Unser Ziel ist es hier, Stadtplanungsprozesse demokratischer zu gestalten.«

Das Beste aus beiden Welten

Forschende des IWF der TU Berlin entwickeln eine Lösung für die automatisierte Qualitätskontrolle und Steuerung in der additiven Fertigung, die die Vorteile von KI und Mensch vereint.

Menschliche Intelligenz vs. Künstliche Intelligenz – sie beide haben ihre Stärken und Schwächen. So zum Beispiel in der optischen Inspektion und Qualitätssicherung in der Fertigung: Menschen fällt es leichter, Zusammenhänge zu verstehen, etwa solche zwischen Qualitätsmerkmalen eines Produkts und verschiedenen Prozessparametern in der Fertigung. Künstliche Intelligenz hingegen, vor allem das »Deep Learning«, hat im Bereich der industriellen Bild- und Signalverarbeitung signifikante Vorteile hinsichtlich Skalierbarkeit und Zuverlässigkeit. In der Industrie wird sie bisher aber noch nicht flächendeckend eingesetzt, denn für das Training von KI sind große gelabelte Datensätze vonnöten, und die sind oft teuer und schwer zu beschaffen. Außerdem mangelt es gerade bei kleinen und mittelständischen Betrieben oft an der nötigen Inhouse-KI-Expertise.

Wäre da nicht ein hybrider Ansatz perfekt, der die Vorteile von Mensch und KI miteinander verbindet? Ein intelligentes Assistenzsystem, das Werkerinnen und Werker bei Vorgängen wie Produkt Ramp-up, Kalibrierungen, Prozessanpassungen oder Nach-

bearbeitungen unterstützt und dabei immer jeweils den ressourceneffizientesten Weg vorschlägt? Das umgekehrt vom Erfahrungswissen und den Entscheidungen der menschlichen Akteure entlang der Wertschöpfungsprozesse lernt, um selbstständig neue Produktmerkmale zu erkennen und diese mit Prozesseigenschaften zu verknüpfen und zu bewerten, um die Produktionsanlagen ressourceneffizienter zu steuern?

Ein Team von Wissenschaftlern am IWF der TU Berlin kommt dieser Wunschvorstellung näher: Sie entwickeln hybride Systeme, mit denen die Effizienz automatisierter Anlagen mit der Flexibilität des Menschen verbunden wird. Diese hybride Intelligenz erlaubt es menschlicher und Künstlicher Intelligenz so zusammen zu spielen, dass sie voneinander lernen und somit bessere Ergebnisse erzielen können. Gemeinsam können sie so komplexe Aufgaben in der Fertigung wie zum Beispiel die Qualitätssicherung bearbeiten. Der Ansatz ist besonders anpassungs- und wandlungsfähig und kommt damit vor allem kleinen und mittleren Unternehmen entgegen, denen geringe Stückzahlen und ein häufiger Wechsel von Produktionsab-

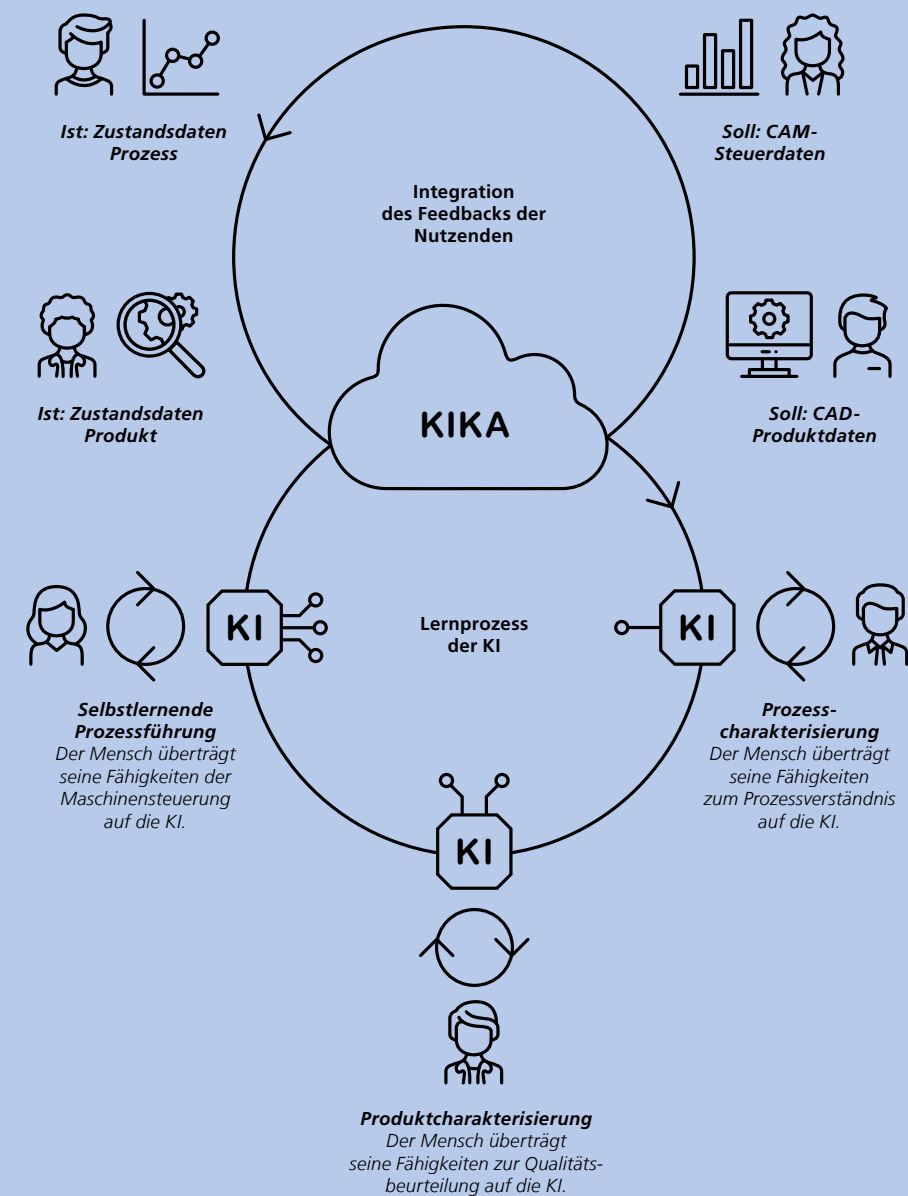
läufen bisher keine Vollautomatisierung erlauben. Gefördert wird das Vorhaben von der BMBF-Initiative »Lernende Produktionstechnik – Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktion« (ProLern) im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung.

Die Wissenschaftler beschäftigen sich mit der Skalierbarkeit der hybriden Intelligenz in Form von KI-Cloud-Diensten für die Assistenz bei der Inprozesskontrolle und der adaptiven Regelung von Produktionsanlagen. Um die KI zu trainieren, sollen Nutzerinnen und Nutzer des Assistenzsystems einfach per Plug-and-Play als Feedback zurückspielen können, wie sich ihre Entscheidungen über verschiedene Prozessparameter auf die Produktqualität auswirken.

»Im Ergebnis können wir es Unternehmen hoffentlich schon bald ermöglichen, auf eine hybride Intelligenz zuzugreifen, die Werkstücke noch während der Fertigung erkennt, charakterisiert und Maßnahmen vorschlägt. Auf diese Weise können Qualitätsabweichungen kompensiert und Prozesse auf neue Produktmerkmale hin angepasst werden – und das jeweils auf dem ressourceneffizientesten Weg auf Grundlage einer vergleichbar geringen Startinvestition und kaum Inhouse-KI-Expertise«, so Dr. Soner Emec, der das Projekt am IWF leitet. Durch die Verlagerung der Rechenoperationen in die vom Projektpartner PSI betriebenen Cloud Server müssen Unternehmen keine performancestarken Rechner vor Ort haben, um die KI-Modelle zu trainieren und die Dienste der KI-Assistenz in Anspruch zu nehmen.

Der Clou und gleichzeitig die Herausforderung des Forschungsvorhabens ist, Maschinen beizubringen, auch bei schlechter Datengrundlage zu guten Entscheidungen zu gelangen, so wie Menschen es können. Dazu müssen die Forschenden die Mensch-KI-Interaktion so weiterentwickeln, dass einerseits ein gegenseitiges Verstehen im Kontext der Fertigung entsteht. Anderer-

KI-Lernschleife



Piktogramme: flaticon.com

seits muss die KI perspektivisch eine »selbstlernende Korrelation« zwischen neuen Qualitätsmerkmalen von Produkten und Prozesseigenschaften durchführen. Mit anderen Worten: Die KI muss Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen für eine große Bandbreite an Parametern herstellen können.

Erste Projektergebnisse sind bereits vielversprechend: So ist die entwickelte KI beispielsweise bereits heute in der Lage, über die bildgestützte Bestimmung der Anzahl von Spritzern und der Schweißbadgeometrie beim Lichtbogenauftragschweißen auf Prozessgüte und -stabilität zu schließen und im Falle von Instabilität mögliche Gründe dafür vorzuschlagen.

Andererseits lernt die KI durch die direkte Integration von Nutzerfeedback auch, neue Prozesssignale und Merkmale wie ein Mensch zu interpretieren. Denn das Assistenzsystem enthält Softwarewerkzeuge, die den Bedienenden nicht nur die Datenmanipulation und das Datenstrommanagement erleichtern, sondern auch dem aktiven Antrainieren der KI dienen. So sind sie zum Beispiel beim Labeling und der Augmentierung von Daten behilflich und stellen die erkannten Merkmale – etwa Oberflächen-textur, Spritzeranzahl oder Schweißbadfläche – transparent über prozessspezifische Kennzahlen dar. Diese Kennzahlen unterstützen wiederum eine Überwachung von Prozess und Werkstück.

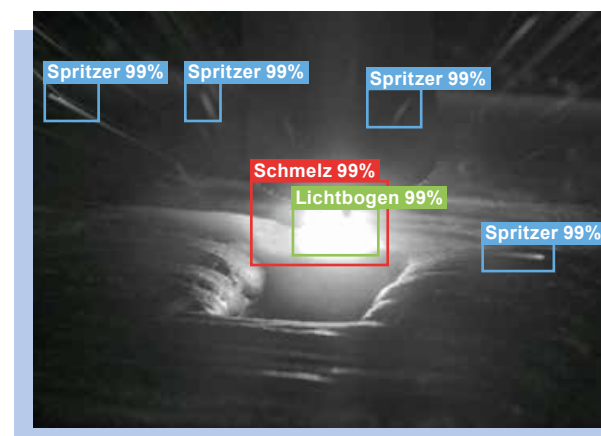


Bild: Die KI erkennt Schweißprozessmerkmale wie die Anzahl der Spritzer, den Durchmesser des Lichtbogens und die Schmelzbadlänge. So kann während der Fertigung eine Inprozesskontrolle durchgeführt werden.

Die Bild-, Prozess- und Sensor-Datenströme sowie das Feedback von Nutzenden werden während der Fertigung über das Modul »KI-kognitionsunterstützende Assistenzsystem (KIKa)« analysiert und die Ergebnisse den Nutzenden im Werk sowie der Maschinensteuerungssoftware nachvollziehbar in Echtzeit übermittelt. Eine Besonderheit des Ansatzes der IWF-Forschenden ist, dass das entwickelte KIKa-Modul mit seinen Assistenzwerkzeugen in die Datenstreammanagement-Umgebung »Kafka« integriert

3D-METALLDRUCK FÜR GROSSVOLUMIGE BAUTEILE

werden kann, die eine Echtzeitüberwachung im Idealfall von mehreren tausenden Sensordatenströmen sowie Videodatensequenzen ermöglicht. Um die Bedienung zusätzlich zu erleichtern und eine weitere Skalierung zu erreichen, kooperiert das Team mit dem Berlin Institute for the Foundations of Learning and Data (BIFOLD) und dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI). Gemeinsam integrieren die Forschenden die KI-Methoden sowie erforderliche Frameworks in die Datenstreammanagement-Umgebung »NebulaStream«, die vom BIFOLD entwickelt wird.

Auf diese Weise entsteht ein System, das aus visuellen Produktmerkmalen auf Prozesskenngrößen zurückschließen kann, die kaum messbar sind. Dadurch kann der Prozess wahlweise automatisiert oder manuell beim Bedienen der Maschine gezielt so geregelt werden, dass Qualitätsabweichungen während der Fertigung kompensiert und auf neue Produktmerkmale effizient angepasst werden. So versetzt KIKA auch Maschinenbedienende ohne KI-Kompetenz in die Lage, KI-Anwendungen für die Erkennung von Merkmalen einfach aus Sensordatenströmen und Bildsequenzen zu konfigurieren.

Das entwickelte System wird derzeit unter realen Industriebedingungen in zwei Szenarien der additiven Fertigung getestet, um ihr Ressourceneffizienzpotenzial zu beweisen:

- Druck von großvolumigen metallischen Bauteilen durch Lichtbogenauftragsschweißen (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) beim Projektpartner GEFERTEC GmbH und
- Druck von personalisierten Medikamenten durch sog. »Drop-on-Demand (DoD)« Verfahren beim Projektpartner DiHeSys GmbH.

Die Anwendungsfälle wurden deshalb aus dem Bereich der additiven Fertigung gewählt, weil sich durch die günstige und effizientere 3D-Druck-Technologie die Wertschöpfung hier immer stärker in Richtung Endkunden verlagert. So könnten mit dem KIKA-Modul in naher Zukunft beispielsweise

Monteurinnen Bauteile oder Apotheker Medikamente vor Ort in der Werkstatt oder der Apotheke fertigen. Oft fehlen ihnen jedoch die langjährigen prozess- und materialspezifischen Fachkenntnisse, um die für eine möglichst hohe Produktqualität nötigen Konfigurationen einzurichten. Diese Fach-

Die Herausforderung: Beim Drucken von großvolumigen metallischen Bauteilen müssen die Prozessparameter adaptiv gesteuert werden, um die erforderliche Prozessstabilität während der Fertigung und die daraus resultierende Bauteilqualität auch unter Einfluss unbekannter Störgrößen gewährleisten zu können. Jeder der zahlreichen verarbeitbaren Werkstoffe wie z. B. Baustahl, CrNi-Stahl, Werkzeugstahl, Aluminium oder Titan benötigt dabei unterschiedliche Aufbaustrategien und Prozessparameter, die dazu noch geometrieabhängig sind. So sind Aufbaustrategien für dünnwandige Strukturen meist nicht auf dickwandige Strukturen übertragbar. Unbekannte Störgrößen sind zum Beispiel variierende Umgebungsbedingungen (Luftfeuchtigkeit, Umgebungstemperatur, etc.) und eine schwankende Drahtqualität (Durchmesservarianz, Rückstände von Ziehfasern, etc.). Diese können zu überproportional starker Schlackebildung und potenziellen Schlackeeinschlüssen in den Bauteilkern, aber auch zu Bindefehlern, Porosität, Zündfehlern oder anderen Fehlerbildern führen, welche nur durch eine Inline-Videosequenzanalyse während der Fertigung erkennbar sind.

Der Ansatz: Das KIKA-Modul unterstützt Werkerinnen und Werker dabei, auch unter Einfluss unbekannter Störgrößen eine sichere Aussage über die Bauteilqualität und notwendige Entscheidungen zur Prozesskonfiguration treffen zu können.

Die Vision: eine vollständig selbstlernende und autonome Prozesssteuerung auf Basis eines Plug-and-Play-Ansatzes. Es wird kein technisch versiertes Fachpersonal mehr benötigt. Die Anlage erhält lediglich die CAD-Datei und den gewünschten Werkstoff sowie notwendige einzuhaltende Qualitätskriterien als Input und wählt vollständig autonom die Aufbaustrategie aus, führt das Slicing und an komplexen Bauteilstellen eine Bahnoptimierung



Bilder: © GEFERTEC GmbH

durch und erzeugt das Bauteil unter kontinuierlicher Kontrolle. Im Falle auftretender Unregelmäßigkeiten können diese durch das KIKA-Modul selbstständig detektiert, klassifiziert und bewertet werden, was schlussendlich zur Ausgabe eines Qualitätsprotokolls des gefertigten Bauteils unter Bewertung der geforderten Qualitätskriterien führt. Das Anlagensetup ermöglicht dabei kontinuierliche Verbesserungen in Sachen Prozessstabilität und Bauteilqualität und lernt selbstständig Korrelationen zwischen Einstellparametern und geforderten Output-Parametern. Somit verbessert sich mit jeder Bauteilfertigung das System selbstständig weiter bis schlussendlich 100 Prozent fehlerfreie Bauteile hergestellt werden.

MEDIKAMENTENDRUCK FÜR DIE PERSONALISIERTE MEDIZIN

Die Herausforderung: Mittels additiver Fertigung ist es möglich, ab Losgröße 1 Patientinnen und Patienten flexibel, vor Ort und individuell mit den benötigten Arzneimitteln zu versorgen. Die Herausforderung besteht jedoch in der patientenindividuellen Dosierung der verschiedenen Wirkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften in Nanolitern. Dies verlangt von der eingesetzten Technologie eine reproduzierbare und hochpräzise Applikation der Wirkstoffe. Zur Überprüfung des Herstellungsprozesses werden derzeit Offline-Stichproben entnommen und kostenintensiv nasschemisch auf deren Wirkstoffgehalt analysiert. Jedoch ist die nasschemische Analyse beim Endkunden für eine geringe Losgröße nicht marktauglich. Um die Hürde zur pharmakologischen Produktion zu überwinden muss eine 100-Prozent-äquivalente Prozesskontrolle sichergestellt werden.

Der Ansatz: Das KIKA-Modul soll jeden einzelnen Tropfen verfolgen, die physikalischen Eigenschaften während des Tropfenfluges bestimmen und die Druckkopfdüse adaptiv regeln. Anhand der Bilddaten werden die physikalischen Eigenschaften wie Volumen, Geschwindigkeit, Flugbahn, Form, Blasenbildung, Schwerpunkt und Rundheit der Tropfen abgeleitet. Des Weiteren wird festgestellt, ob nur ein einzelner Tropfen ausgestoßen wurde, oder ob es zur sogenannten Satellitenbildung kam. Hinzu kommt die Geometrieerfassung am Meniskus, der Fluidwölbung an der Düse.

Die Vision: Auf Basis der Bilddaten kalibriert das KIKA-Modul die Prozessparameter adaptiv und regelt diese während der Fertigung. Hierdurch könnte der Prozessablauf unter verschiedenen Bedingungen und mit verschiedenen Wirkstoffen optimiert werden, bei gleichzeitiger Steigerung der Prozessstabilität.



Bilder: © DiHeSys Digital-Health-Systems GmbH

kenntnisse können schon bald durch maschinelle Intelligenz substituiert werden. Durch den hybriden Ansatz des IWF der TU Berlin können Anlagenhersteller die maschinellen Fähigkeiten der Anlage und die Bedienungsschnittstellen so anpassen, dass ein vollautomatisches Kalibrieren und Dru-

cken durch eine einfache Verständigung zwischen Maschinen und Menschen möglich wird. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

Dr.-Ing. Soner Emec | +49 30 314-26276
s.emec@tu-berlin.de

Weitere Informationen
www.iat.tu-berlin.de/menue/forschung/projekte/kika_ipk/



Der Robotik ein Gesicht geben

Interview mit Matthias Krinke,
pi4_robotics GmbH

»Workerbot 1« hieß 2010 der erste Roboter der Berliner Firma pi4_robotics. Heute unterstützt die 8. Generation von Workerbots Industrieunternehmen bei Handling, Montage und Inspektion, aber auch für Gebäudeüberwachung, Concierge-Dienste, Catering oder den Pflegebereich sind die humanoiden Helfer im Einsatz. Gründer und Geschäftsführer Matthias Krinke erklärt im Interview mit FUTUR, dass gute Technik Emotionen braucht – gerade, wenn Mensch und Maschine zusammenarbeiten.





MATTHIAS KRINKE

GESCHÄFTSFÜHRER, PI4_ROBOTICS GMBH

... Matthias Krinke studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität München und ist seit 1994 Geschäftsführender Gesellschafter der von ihm gegründeten pi4_robotics GmbH. Die Firma mit Sitz im Berliner Stadtteil Wedding ist Technologieführer in den Bereichen Robotik und vollautomatische Bildverarbeitung. Seit 2016 ist der Diplom-Ingenieur auch Geschäftsführender Gesellschafter der Planet Claire GmbH, die im Bereich Künstliche Intelligenz forscht sowie seit 2018 der Robozän Deutschland GmbH, der weltweit ersten Zeitarbeitsfirma für humanoide Roboter. Krinke engagiert sich außerdem als stellvertretender Vorstandsvorsitzender im Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V..

| futur | Herr Krinke, Ihre Firma pi4_robotics ist besonders für ihre freundlich lächelnden Service-Roboter bekannt. Der Workerbot4 Concierge kann beispielsweise Gäste in Empfang nehmen, einweisen und informieren. Wie wichtig ist eine humanoide Gestalt für die direkte Interaktion mit Menschen?

/ Krinke / So wie ein Mensch, der einen freundlich anlächelt, den Tag positiv beeinflussen kann, gilt dies auch für Roboter. Denken Sie z. B. an einen Geldautomaten: Hier wird der Service in der Regel einfach, unkompliziert, aber auch emotionslos abgewickelt. Einige Firmen nutzen für den Empfang von Gästen bereits Check-In-Automaten. Aber welches Gefühl hat man als Besucher oder Besucherin, wenn man derart funktional und emotionslos empfangen wird? Auch wenn bei unseren Robotern die Freundlichkeit nur programmiert ist, hinterlässt sie ein angenehmes Gefühl. Und warum soll man einen Service nur funktional gestalten, wenn man ihn auch emotional ansprechend realisieren kann? Wird diese Freundlichkeit mit einer humanoiden Gestalt verknüpft, wirken Roboter überzeugender und werden vom menschlichen Gegenüber besser angenommen als ein Smiley, der einfach nur auf dem Bildschirm eines Geldautomaten erscheint.

| futur | Neben dem Kundenservice werden Ihre Workerbots auch im Fabrikbereich eingesetzt. Welche Unterschiede in der Interaktion zwischen Roboter und Mensch müssen Sie als Hersteller für diese verschiedenen Anwendungen berücksichtigen, zum Beispiel was Design und Bedienbarkeit angeht?

/ Krinke / Stationäre und mobile Roboter für Montage- und Logistikaufgaben in Fabriken werden von technisch geschultem Personal bedient, welches generell vorbehaltlos mit ihnen interagiert und z. B. auch selbst Parameter einstellt. Designaspekte spielen hier weniger eine Rolle als technische Funktionalitäten. In nicht-industri-

len Anwendungen ist dagegen ein sympathisches Design der Roboter von größerer Bedeutung. Hier steht auch eine selbsterklärende, möglichst sprachunabhängige Bedienung im Vordergrund. Bei unserer neuesten Produktentwicklung, einem Serviceroboter, der in der Pflege assistiert, haben wir deshalb sehr viel Engagement auf das Design, vor allem auf das Interfacedesign verwendet. Wir untersuchen in diesem Kontext auch vertrauensbildende Eigenschaften von Robotern und berücksichtigen ethische Fragen und Anforderungen des Datenschutzes. Solche Aspekte funktional und gestalterisch umzusetzen, ist gerade im Pflegebereich enorm wichtig.

| futur | Für ein KMU ist pi4_robotics außergewöhnlich stark in der Forschung. Das hat unter anderem die Zeitschrift »Capital« mit der Auszeichnung als eines der innovativsten Unternehmen Deutsch-

lands 2021 im Bereich Maschinen- und Anlagenbau sowie Zulieferer gewürdigt. Auf welche Ihrer Entwicklungen sind Sie besonders stolz?

/ Krinke / Jede unserer Entwicklungen hatte und hat ihre Herausforderungen für uns als Team. Eine davon herauszuheben, fällt mir schwer. Als Maschinenbauer stehen wir nicht nur deutschlandweit, sondern auch international im Wettbewerb und können unsere Marktposition nur mit innovativster Technik behaupten. Unter diesem Aspekt versuchen wir bei pi4 technologisch immer ganz vorn dabei zu sein. Technologie darf aber nicht nur Selbstzweck sein, sondern sollte auch immer im Dienst der Umwelt und Lebensqualität stehen. Ich bin besonders stolz darauf, dass wir sehr langlebige Maschinen und Roboter bauen. Die meisten unserer in 28 Jahren produzierten Anlagen sind heute noch im Dienst. Stolz macht mich auch, dass wir mit

unserer Technologie die Nutzung erneuerbarer Energien unterstützen und so einen Beitrag leisten, das Überleben unseres Planeten zu sichern. Wir entwickeln z. B. vollautomatische Inspektionssysteme, die die Qualität von Solarzellen, Brennstoffzellenkomponenten und Elektrolyseuren prüfen. Darüber hinaus helfen wir mit unseren Diagnostikrobotern seltene Krankheiten wie ALS frühzeitig zu erkennen, um sie optimal therapieren zu können.

| futur | Mit Robotics4Care erschließen Sie den vom Fachkräftemangel geplagten Pflegesektor. Gibt es Ihrer Meinung nach Grenzen für die denkbaren Anwendungsfelder von Servicerobotern?

/ Krinke / Die aktuell immer noch vorhandenen emotionalen und ethischen Bedenken werden durch den Fachkräftemangel zwangsläufig überwunden werden, davon bin ich überzeugt. Technologisch werden multimodale Sensorkonzepte, insbesondere integrierte Kraft-Feedback-Systeme den Einsatz von Robotern im Bereich körpernahe Pflegeaufgaben zukünftig noch stärker voranbringen. Größtes Hemmnis ist hier immer noch das Gewicht des Menschen im Verhältnis zum Eigengewicht des Roboters – beides z. B. bei roboterunterstützten Bewegungen behutsam und sicher auszutätigen, ist nicht trivial.

| futur | Künstliche Intelligenz und Machine Vision haben auch die Robotik in den letzten Jahren revolutioniert. Welche Technologien werden die Mensch-Maschine-Kollaboration in Zukunft prägen?

/ Krinke / VR- und XR-Technologien werden die Mensch-Roboter-Kollaboration nachhaltig verändern. Hierzu sind insbesondere leichte und angenehm zu tragende Brillen oder Kontaktlinsen sowie spezielle Wearables als Interfaces nötig, die bei einigen Tech-Unternehmen schon in der Entwicklung sind. ♦



Bild:
Concierge-Roboter
im Haus der Zukunft
in Berlin
© pi4_robotics GmbH

Über die Plattform- ökonomie zur Kreislaufwirtschaft

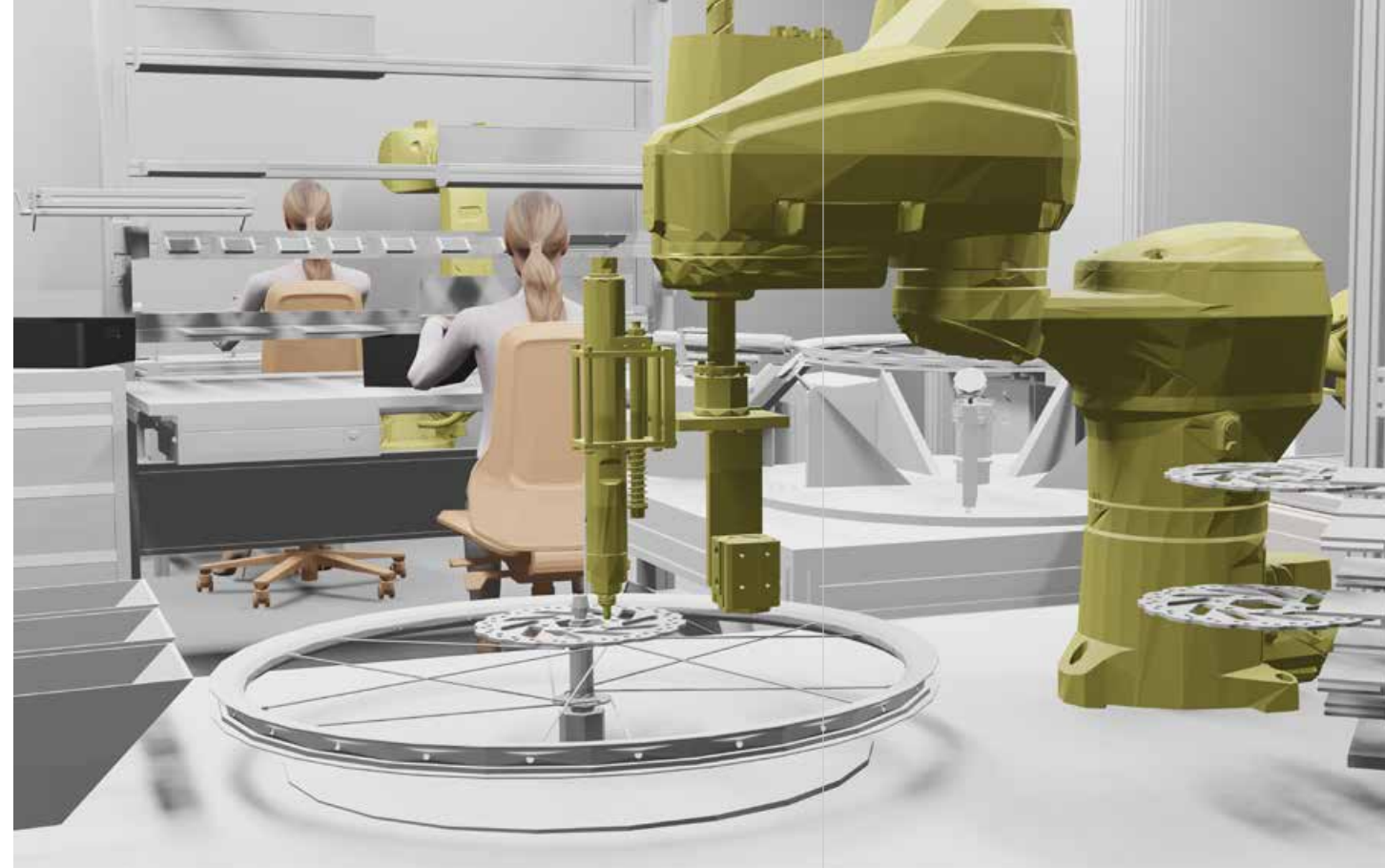
Ein neues Labor soll den Forschenden am PTZ Berlin ermöglichen, mit Technologien für eine plattformbasierte Produktionstechnik zu experimentieren. Das Ziel: eine resiliente Kreislaufwirtschaft.

Ob Mobilität, Wohnungssuche oder Lieferungen: Die Plattformökonomie hat in den letzten Jahren viele etablierte Wirtschaftssektoren disruptiv verändert. Bei diesem Prinzip werden Angebote von Waren oder Dienstleistungen über virtuelle Vermittlungs- und Kollaborationsplattformen direkt mit den Abnehmenden in Verbindung gebracht. Der Erfolg beruht auf dieser standardisierten Bündelung, der effizienten Verknüpfung von bisher verstreuten Teilnehmenden und der großen Reichweite von Plattformlösungen. Diese Art des Wirtschaftens hat viele Vorteile, etwa eine enorme Resilienz und Dynamik. Dennoch hat sich bis heute kein bemerkenswerter Spill-over-Effekt in die Produktionstechnik ergeben: Geschäftsmodelle, in der Produktionsaufträge plattformbasiert flexibel vergeben und kollaborativ bearbeitet werden, sind bisher eine Randerscheinung.

Was produktionstechnische Unternehmen davon abhält, diesen Weg zu beschreiten, sind vor allem der hohe erforderliche Absicherungsgrad und die Komplexität der zu erbringenden Leistungen. Auch die hohe Betriebsmittel-Intensität und das sehr spezielle Produktions-Know-how wirken bremsend. Schließlich setzt die plattformbasierte Bearbeitung von Produktionsaufträgen eine Granularisierung und auftragsspezifische Ad-hoc-Neuzusammenstellung von

Betriebsmitteln, Prozessen, Personal und Know-how voraus. Insbesondere für Produktionsabläufe, die komplexer sind als die Einzelteilfertigung nach Zeichnung, ist das in der Praxis noch weitgehend ungelöst.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Produktionstechnischen Zentrum (PTZ) Berlin wollen nun die erforderlichen Automatisierungstechnologien entwickeln, um eine resiliente Kreislaufwirtschaft auf Basis granular verteilter Produktionsressourcen zu ermöglichen. Dazu sollen Cloud Manufacturing, Handhabungs- und Montagetechno-



2

Bilder:

1, 2
So könnte die Auftragsarbeit im Urban CIRCLAS Lab bald aussehen.

3
Werkstattkonzept für die cloudgestützte urbane Produktion

logien sowie lebenszyklusbegleitende Services und End-of-Life-Prozesse miteinander verknüpft werden. Hierfür will das Forschungsteam die entsprechenden Hardware-, Software- und Datenarchitekturen sowie methodische Konventionen im hohen Maß generalisierbar, standardisierbar und automatisierbar gestalten. Dadurch sinken die Kosten für deren Implementierung bereits am ersten Standort, für jeden weiteren Standort sind sie dann sogar noch günstiger duplizierbar.

Das zu diesem Zweck entworfene »Urban Circular Cloud Assembly and Services Lab (Urban CIRCLAS Lab)« wird derzeit ausgestattet mit Industrierobotern, Cobots, Messtechnik und Safety-Sensorik. Shopfloor- und Cloud-IT mit entsprechenden Digitalisierungs- und Steuerungsschnittstellen runden das Konzept ab. Das Labor ergänzt damit am PTZ die bereits benachbarten produktions- und automatisierungstechnischen Versuchsstände und Maker Spaces. Für Industriekooperationen bietet das »Urban CIRCLAS Lab« eine Innovationsumgebung, bei der Automatisierungs- und Hand-

Im Urban CIRCLAS Lab sollen Automatisierungstechnologien entwickelt werden, um eine resiliente, dezentralisierte Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen.

habungstechnik mit passender Shopfloor-IT schnell konfiguriert werden können.

Anhand konkreter Case Studies in der realitätsnahen Umgebung des »Urban CIRCLAS Lab« arbeiten die Beteiligten an Forschungsergebnissen und industrialisierbaren Innovationen. Ein erstes konkretes Projektbeispiel ist eine zweijährige Kooperation mit der Formhand Automation GmbH zur Entwicklung eines kamerlosen Bin-Picking-Ansatz-

zes mittels Soft-Robotik-Greifern. Daneben planen die Forschenden in dem neuen Labor auch, automatisierte Wartungs- und End-of-Life-Demontageprozesse von Batteriesystemen für Elektroautos zu untersuchen. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

Prof. Dr.-Ing. Franz Dietrich

+49 30 314-22014

f.dietrich@tu-berlin.de

3



PTK 2023XVII. INTERNATIONALES
PRODUKTIONSTECHNISCHES
KOLLOQUIUM

RETHINKING PRODUCTION PRODUKTION ALS TREIBER FÜR EINE INDUSTRIEGESELLSCHAFT IM WANDEL

SAVE THE DATE
BERLIN, 14.–15.09.2023

Eine Veranstaltung von:

Fraunhofer
IPK
INSTITUT
PRODUKTIONSANLAGEN UND
KONSTRUKTIONSTECHNIK

In Kooperation mit:

INF
INSTITUT
WERKZEUGMASCHINEN UND FABRIKBETRIEB
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

IWF
e.V.

Weitere
Informationen
www.ptk.berlin



MEHR KÖNNEN

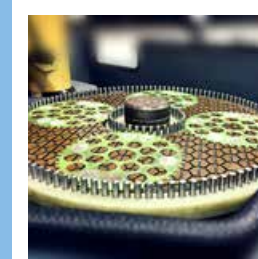
In unserem MEHR KÖNNEN-Programm tragen wir technologiebasiertes Know-how direkt in die unternehmerische Praxis. Mit der Teilnahme an einer unserer Weiterbildungsveranstaltungen investieren Sie in Ihre berufliche Entwicklung und fördern gleichzeitig den wirtschaftlichen Erfolg Ihres Unternehmens. Nutzen Sie die Gelegenheit, sich wissenschaftlich fundiert und umsetzungsorientiert fortzubilden. Knüpfen Sie Netzwerke zu anderen Expertinnen und Experten, auch über die eigenen Branchengrenzen hinweg.

Nächste Veranstaltungen:



PLM Professional
20.–24.03.2023,
24.–28.04.2023

© rclassen / photocase.de



**IAK
Keramikbearbeitung**
27.04.2023



Berliner Runde
25.–26.05.2023

© Adobe Stock



**Mastering Digital
Twins**
Online-Zertifikatskurs
im Selbststudium

© iStock_2019

Weitere Informationen
zu unserem Programm
finden Sie unter
[www.ipk.fraunhofer.de/
weiterbildung](http://www.ipk.fraunhofer.de/weiterbildung)



Messen

Merken Sie sich schon jetzt diese Termine vor und kommen Sie mit unseren Forscherinnen und Forschern ins Gespräch:

23.–26.01.2023 **All About Automation**
17.–21.04.2023 **Hannover Messe**
09.–15.05.2023 **Control**
28.–29.06.2023 **HUB.berlin**

IMPRESSUM

FUTUR 2 / 2022
24. Jahrgang
ISSN 1438-1125

HERAUSGEBER

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

MITHERAUSGEBER

Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl
Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger
Dr.-Ing. Kai Lindow
Prof. Dr.-Ing. Michael Rethmeier

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen
und Konstruktionstechnik IPK
Institut für Werkzeugmaschinen und
Fabrikbetrieb IWF der TU Berlin

KONTAKT

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen
und Konstruktionstechnik IPK
Claudia Engel
Pascalstraße 8–9
10587 Berlin
Telefon: +49 30 39006-140
Fax: +49 30 39006-392
pr@ipk.fraunhofer.de
www.ipk.fraunhofer.de

REDAKTION

Claudia Engel (V.i.S.d.P.):
S. 44/45, 50–53
Ruth Asan (Chefredaktion):
S. 10–15, 16–21, 30–35, 46–49, 54/55
Veronika Gorczynski:
S. 26–29
Katharina Strohmeier:
S. 22–25, 36/37, 38–41
Martina Rennschmid:
S. 42–43

GESTALTUNG

Larissa Klassen (Artdirektion)

FONT-GESTALTUNG FUTUR-LOGO

Elias Hanzer

FOTOGRAFIEN UND GRAFIKEN

Soweit nicht am Bild anders vermerkt:
© Adobe Stock:
S. 36, S. 56
© Fraunhofer IPK:
S. 13, S. 25, S. 28
© Fraunhofer IPK/Larissa Klassen:
S. 3, S. 6/7, S. 15/16, S. 19–21, S. 30–35,
S. 31, S. 42
© Fraunhofer IPK/Stefanie Lehner:
S. 47
© Fraunhofer IPK/Katharina Strohmeier:
S. 26/27, S. 29
© iStock/Kristine Semjonova:
S. 10
© IWF TU Berlin:
S. 47 unten, S. 54/55
© Unsplash:
S. 18

BILDBEARBEITUNG

Larissa Klassen

HERSTELLUNG

Druckstudio GmbH



**Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen
und Konstruktionstechnik IPK**

Pascalstraße 8–9 | 10587 Berlin | Telefon: +49 30 39006-140
pr@ipk.fraunhofer.de | www.ipk.fraunhofer.de



[instagram.com/fraunhofer_ipk](https://www.instagram.com/fraunhofer_ipk)
[linkedin.com/company/fraunhofer-ipk](https://www.linkedin.com/company/fraunhofer-ipk)
twitter.com/Fraunhofer_IPK
[youtube.com/FraunhoferIPK](https://www.youtube.com/FraunhoferIPK)