

futur

VISION | INNOVATION | REALISIERUNG

Personal- engpässe meistern

Intelligente Assistenzsysteme können mögliche Störungen durch kurzfristige Ausfälle von Mitarbeitenden in Schlüsselpositionen verhindern.

S. 16

Resilienz ins Unternehmen!

Schlüssel zum Erfolg ganzheitlicher Produktionssysteme sind intelligentes Informationsmanagement und Flexibilität.

S. 22



Aufatmen dank Open Source?

Könnten offene Entwicklungsprozesse lebensrettende Beatmungsgeräte frei verfügbar machen?

S. 32

Mit Innovationen Chancen sichern

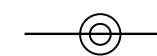
Institutsdirektor Prof. Dr. Dr. Eckart Uhlmann im Gespräch mit Roland Bent, CTO des »Innovators to Watch«-Unternehmens Phoenix Contact.

S. 34

**RESILIENTE
PRODUKTION**



**»Die Zukunft kann man am besten
voraussagen, wenn man sie
selbst gestaltet.«**



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,

seit fast einem Jahr leben wir nun mit dem neuartigen Coronavirus SARS-CoV-2, das in dieser Zeit vieles verändert hat. Von unserem privaten Umgang mit Menschen und unserem auch kulturellen Konsumverhalten über die Art, wie wir arbeiten und produzieren, bis hin zu ganzen volkswirtschaftlichen Prozessen und globalen Liefer- und Wertschöpfungsketten – alle Bereiche unserer Gesellschaft sind in der ein oder anderen Form betroffen. Die Bundesregierung hat mit beeindruckender Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit einen Schutzschirm aufgespannt, unter dem Unternehmen, Freiberuflerinnen und Künstler Förderungen und Sonderkredite beantragen können. Dabei gibt es durchaus auch andere Wege, um aktiv aus der Rolle der »Betroffenen« herauszutreten und vielmehr zu »Gestaltenden« zu werden. Wie das geht, zeigen wir Ihnen anhand verschiedener Erfolgsgeschichten und Lösungsansätze in dieser Ausgabe der FUTUR zum Thema »Resiliente Produktion«.

Eine wichtige Rolle kommt dabei – wie könnte es anders sein – dem deutschen Mittelstand zu. In unserem Leitartikel erfahren Sie, wie es mittelständischen Unternehmen in den letzten Monaten ergangen ist und wie sie sich flexibel und robust zukunftsfähig aufstellen können. Das richtige Unternehmensmanagement ist essentiell, um für Krisenzeiten gewappnet zu sein oder sogar gestärkt daraus hervorzugehen. Ein Tool, um neue Routinen für ungewisse Zeiten zu entwickeln, geben wir Ihnen mit dem unternehmerischen Lagebild an die Hand. Wie Robotik und Künstliche Intelligenz unterstützen können, wenn aufgrund von Sicherheitsvorkehrungen und krankheitsbedingten Ausfällen nicht auf die vollständige Belegschaft zurückgegriffen werden kann, lesen Sie ebenfalls in diesem Heft.



Um Ressourcen sinnvoll einzusetzen, müssen Manager und Ingenieurinnen das Rad nicht neu erfinden. Wir haben für diese Ausgabe mehrere Thought Leader befragt, die aus eigener Erfahrung berichten, wie sie ihre Unternehmen sicher durch die aktuelle Krise steuern. Für Prof. Dr. Helmut Schramm, Leiter des BMW Group Werks Berlin, ist sein Team der wichtigste Erfolgsfaktor. Unser Alumnus Dr. Mark Krieg berichtet aus seiner Sicht als Vice President Development Industrial Hydraulics bei Bosch Rexroth, welche Umstellungen im Betrieb Erfolg versprechen. Und mit Roland Bent, CTO des deutschen »Top 100 Global Innovators«-Aspiranten Phoenix Contact, habe ich mich über die Bedeutung von Innovationen für eine resiliente Produktion unterhalten.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen gute Gesundheit, Zuversicht und viel Freude bei der Lektüre,

Ihr

Eckart Uhlmann

Inhalt

08 Shortcuts

10 Flexibel und robust

Zur unternehmerischen Resilienz gehört es, vorhandene Ressourcen und technologische Innovationen intelligent und agil zu verknüpfen.

12 Der größte Resilienz-faktor ist unser Team

Interview mit Prof. Dr. Helmut Schramm, BMW Group

16 Personalengpässe meistern

Intelligente Assistenzsysteme können Störungen durch kurzfristige Ausfälle von Mitarbeitenden in Schlüsselpositionen verhindern.

18 Der schmale Grat zwischen Sparen und Schaden

Mit PoWer lassen sich Wendschneidplatten automatisiert prüfen und wechseln.

© stock.adobe.com/littlewolf1989



Um trotz Corona die Produktion am Laufen zu halten, braucht es neue Konzepte. Eines davon ist das resiliente Lagebild.

↪ Mehr dazu ab Seite 26

22 Resilienz ins Unternehmen!

Ganzheitliche Produktionssysteme sind eine exzellente Basis, um Unternehmen krisenfest aufzustellen.

26 Mit Routine durch die Krise

KMU stehen momentan vor enormen Herausforderungen. Das von Einsatzkräften bekannte gemeinsame Lagebild bietet Orientierung.

30 Mit modularen und digitalen Lösungen optimistisch in die Zukunft

Ein Gastbeitrag von Dr. Mark Krieg, Bosch Rexroth AG

32 Aufatmen dank Open Source?

Könnten offene Entwicklungsprozesse lebensrettende Beatmungsgeräte frei verfügbar machen?

34 Mit Innovationen Chancen sichern

Expertengespräch zwischen Roland Bent, Phoenix Contact und Prof. Dr. Dr. Eckart Uhlmann, Fraunhofer IPK

Wie BMW Motorrad in Berlin einen schnellen Ramp-up schaffte, lesen Sie im Interview mit Prof. Dr. Helmut Schramm
↪ Mehr dazu ab Seite 12

© BMW Group



Wann ist der ideale Zeitpunkt, um Wendschneidplatten auszutauschen?

↪ Mehr dazu ab Seite 18



Der Tend-O-Bot-Demonstrator kann vollautomatisch Werkzeugmaschinen beladen. Welche Anforderungen haben Sie in Ihrem Unternehmen an einen solchen mobilen Helfer?

↪ Mehr dazu ab Seite 40

40 Maschinen beladen mit Sinn und Verstand

Tend-O-Bot erforscht den Einsatz mobiler Roboter und intelligenter Software bei der autonomen Maschinenbeladung.

42 Vorsprung durch Energieeffizienz

Wer die Energieeffizienz schon bei der Produktentwicklung mitdenkt, sichert sich einen Vorsprung.

46 Sind Sie bereit?

Digitale Zwillinge sind die Zukunft, darin sind sich Unternehmen einig. Doch wie sieht es mit der Gegenwart aus?

48 Aufbruch in die kreislauforientierte Möbelindustrie

Möbelindustrie und Design haben auf New Work reagiert und bieten flexible Arbeitswelten an.

52 Software-defined 5G Factory

Ab Ende 2020 können Unternehmen im PTZ-Versuchsfeld Fabrikprozesse in einer 5G-Infrastruktur testen.

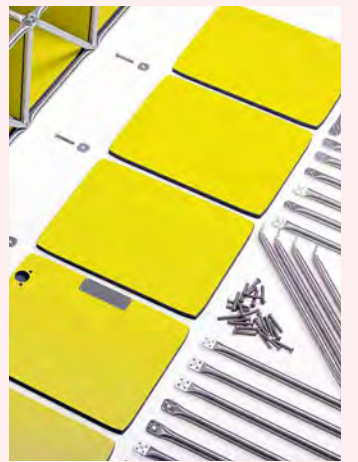
54 Ereignisse und Termine

55 Mehr Können

56 Impressum

Lassen sich Modelle der Wiederverwendung durch Miete, Leasing oder Abonnement auch auf Möbel übertragen?

↪ Mehr dazu ab Seite 48



©System 180 GmbH

© CReA, Institut für Kunstgeschichte, Universität Wien



Im Auge des Betrachters: Wie Menschen und Maschinen Kunst sehen

↪ Mehr dazu auf Seite 54

DIE ZAHL DER AUSGABE

50%

der Unternehmen gaben im Juni 2020 an, »dass sie nicht länger als 6 Monate überleben werden, wenn die Einschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie längere Zeit aufrechterhalten werden.«

↳ Mehr dazu ab Seite 22

IM DETAIL



Welche Technologie wir hier unter die Lupe nehmen, erfahren Sie

↳ ab Seite 18

MITMACHEN!

Wie weit ist Ihr Unternehmen in Sachen Digitalisierung? Mit uns finden Sie es in nur 15 Minuten heraus. Im Rahmen einer Studie zur Digitalen Transformation laden wir Sie zu einem kostenlosen Selbsttest ein. Dabei erhalten Sie ein plastisches Bild vom Status Ihrer Digitalisierung – eine solide Ausgangsbasis, um bisherige Geschäftspraktiken und Strategien sowie die eigenen Prozesse, Strukturen und Produkte auf den Prüfstand zu stellen.

↳ Mehr dazu unter

<https://s.fhg.de/digital-transformation-assessment>



DAS DING



© phonlamaiphot / Adobe Stock

Open Source-Geräte können Engpässe bei der Bereitstellung von medizinischer Ausrüstung effizient mildern, da sie direkt am Einsatzort hergestellt, gewartet und modifiziert werden können. Das gilt sogar für unter COVID-19 dringend benötigte Beatmungsgeräte. Das Projekt OPEN.Effect untersucht, wie die Open Source Community zur Bereitstellung solcher Geräte beitragen kann, unter Einhaltung notwendiger medizinischer Regularien und Gewährleistung einer sicheren Herstellung.

↳ Mehr dazu ab Seite 32

GUT GESAGT

»Eine Energiewende, eine Mobilitätswende wird ohne Digitalisierung nicht gelingen. In der Corona-Krise lernen wir gerade, wie Digitalisierung auch helfen kann, unsere Unternehmen und unsere Wertschöpfungsketten resilienter zu machen. Angefangen beim Home-Office bis hin zur Möglichkeit, Produktion wieder in Hochlohnländer zurückzuholen, indem man intelligent automatisiert und dadurch die Fragilität von globalen Wertschöpfungsketten relativiert.«

© Phoenix Contact



Roland Bent, CTO von Phoenix Contact, zu der Frage, in welchem Bereich er das größte Potenzial für Digitalisierungslösungen sieht.

↳ Mehr dazu ab Seite 34

Flexibel und robust

Zur unternehmerischen Resilienz gehört es, vorhandene Ressourcen und technologische Innovationen intelligent und agil miteinander zu verknüpfen.

Zukunftsfähigkeit heißt für produzierende Unternehmen, auf veränderliche Marktanforderungen agil zu reagieren, effizient neue Produkte und Fertigungskonzepte zu adressieren und technologische wie personelle Ressourcen nachhaltig auszubauen. Die deutsche Industrielandschaft mit ihrem großen Anteil mittelständischer Betriebe und ihrer hohen Fertigungstiefe ist geradezu dazu prädestiniert, eine resiliente Wertschöpfung zu gewährleisten.

Wie man dieses einzigartige Potenzial nutzt, um turbulente Zeiten zu überstehen, darüber machen sich nicht nur mittelständische Unternehmen Gedanken. Auch die wissenschaftliche Forschung entwickelt gezielte Strategien für die Produktionsprozesse der Zukunft. Welche der so gewonnenen Erkenntnisse können wir als produktionstechnische Expertinnen und Experten also an die Industrie weitergeben?

»Die Zukunft kann man am besten voraussagen, wenn man sie selbst gestaltet.«

Alan Kay

QUO VADIS, MITTELSTAND?

Die im Mai 2020 erschienene McKinsey-Studie »How the German Mittelstand is mastering the COVID-19 crisis« zeichnet angesichts der aktuellen Disruptionen das Bild eines zuversichtlichen und resilienten Mittelstands. 77 Prozent der Befragten sehen optimistisch in die Zukunft, 79 Prozent geben an, sich antizyklisch zu verhalten. Allerdings haben nur 17 Prozent der befragten KMU tatsächlich Maßnahmen ergriffen, die über das operative Krisenmanagement hinausgehen. Aus den Ergebnissen erarbeitet die Studie einen Maßnahmenkatalog, mit dem sich der deutsche Mittelstand widerstandsfähig gegen kommende Krisen aufstellen kann. Die Schlüsselkomponenten: hohe Wandlungsfähigkeit und Flexibilität.

Konkret empfiehlt McKinsey, die Wettbewerbsverhältnisse neu zu beurteilen, neue Beziehungsverhältnisse mit Kunden einzugehen, antizyklisches Verhalten aktiv

durchzusetzen und Beschaffungs- und Lieferketten neu zu bewerten. Für produzierende Unternehmen sind die erfolgversprechendsten Ansätze eine individuellere Fertigung, die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und digitaler Services sowie robuster aufgestellte Lieferketten mit höherer Gewichtung lokaler und regionaler Zulieferer.

Eine zweite repräsentative Sonderbefragung auf Basis des KfW-Mittelstandspanels von Anfang Juni 2020 bestätigt und ergänzt diese Erkenntnisse. Rund 2,3 Millionen oder 60 Prozent aller kleinen und mittleren Unternehmen gehen davon aus, dass sie die Folgen der Krise noch lange spüren werden. Dabei sind die Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes besonders betroffen. Sie bewerten ihre Geschäftslage »deutlich schlechter als die Mittelständler aller anderen Wirtschaftsbereiche«. Doch auch diese Umfrage sieht Lichtblicke. Denn die Befragten setzen nicht nur auf Kostenreduktion, Kurzarbeit oder Kündigung, sondern auch auf Innovationen: 43 Prozent aller Unternehmen haben trotz der negativen wirtschaftlichen Auswirkungen durch die Pandemie Produkte, Prozesse oder Geschäftsmodelle optimiert oder planen entsprechende Maßnahmen. Zum Vergleich: Zwischen 2016 und 2018 hatten lediglich 19 Prozent der mittelständischen Unternehmen Produkt- oder Prozessinnovationen etabliert.

Zusammengefasst sind sich mittelständische Unternehmen aus Deutschland darüber im Klaren, dass sie disruptiven Veränderungen am besten durch eine resiliente Wertschöpfung und eine digital integrierte Produktion zuvorkommen. Wie können sie das in der Praxis gestalten?

NEUE TECHNOLOGIEN FÜR AGILITÄT ...

Neue Wege der Wertschöpfung für das verarbeitende Gewerbe liegen in digital integrierten und werkzeug-

Bild:
Additive Verfahren wie das hier gezeigte Direkte Metall-Laser-Sintern (DMLS) eröffnen neue Wege der Wertschöpfung für mittelständische Betriebe der Fertigungsindustrie.
© Protolabs



losen Produktionsprozessen mittels additiver Fertigung. So ermöglicht beispielsweise eine digitale Rohteilerfassung in Verbindung mit einer automatisierten Ableitung von geeigneten Nacharbeitsschritten für additive Fertigungsprozesse eine effiziente, bauteilindividuelle Reparatur von Turbinenschaufeln. Auf Machine Learning basierendes Prozesswissen zur Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile lässt sich schnell auf neue Produktklassen und Fertigungstechnologien übertragen. Dadurch erübrigen sich aufwendige und ergebnisoffene Parameterstudien mit begrenzter Transferierbarkeit.

... ETABLIERTE TECHNOLOGIEN FÜR STABILITÄT

Die beste Grundlage für mehr Flexibilität ist ein breiter, technologischer Erfahrungsschatz. Deshalb sollte auch die Bedeutung etablierter Fertigungstechnologien für die resiliente Wertschöpfung nicht unterschätzt werden. Der Vorteil dieser auf Expertenwissen basierenden Prozesstechnologien: Sie lassen sich auf neue Fertigungsaufgaben übertragen, ohne aufwendige Parameterstudien durchführen zu müssen. Oft bleiben technologische Potenziale leider ungenutzt, weil im Tagesgeschäft der industriellen Fertigung kein Fokus auf Prozessanalyse und Prozessoptimierung gelegt wird. Eine Reaktion auf plötzlich auftretende Veränderungen ist dann nur mit großem zeitlichen und finanziellen Aufwand möglich. Auch Unternehmen in hochanspruchsvollen Technologiefeldern können nachhaltig

ihre Resilienz steigern, indem sie die Konzepte und Technologien der digital integrierten Produktion konsequent umsetzen. Mit Ansätzen wie der Zusammenfassung des Expertenwissens in digitalen Prozesswillingen und der Umsetzung selbstkompensierender Closed-loop-Prozesse kann selbst in einem Technologiefeld wie der Ultrapräzisionszerspanung zur Fertigung von Kleinst- und Kleinserien ein anpassungsfähiges Produktionsumfeld gestaltet werden.

Diese Beispiele zeigen, dass Wandel möglich ist, ohne dass der deutsche Mittelstand seine Kernkompetenzen verlagern muss. Eine resiliente Wertschöpfung erfordert es, Entscheidungen für oder gegen ein Fertigungsverfahren nicht mehr auf subjektives Expertenwissen zu stützen. Starre Fertigungsverfahren haben damit ausgedient. Um sich wandelnden Anforderungen und Auslastungen gerecht zu werden, sind stattdessen faktenbezogenes Domänenwissen und flexible Fertigungsoptionen die Devise. ♦

IHRE ANSPRECHPARTNER

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

Christoph Hein | +49 30 39006-405
christoph.hein@ipk.fraunhofer.de

Der größte Resilienzfaktor ist unser Team

Interview mit Prof. Dr. Helmut Schramm,
Leiter BMW Group Werk Berlin



© BMW Group

| futur | Herr Professor Schramm, BMW hat im Juli deutschlandweit über 50 Prozent mehr Motorräder verkauft als im Vorjahresmonat, weltweit sogar so viele wie nie zuvor. Und das, obwohl Sie aufgrund der Corona-Pandemie im Berliner Werk erst Anfang Mai nach einem sechswöchigen Stopp die Produktion wieder aufgenommen haben. Wie ist Ihnen der schnelle Ramp-up gelungen?

/ Schramm / Das ist uns in erster Linie mit den Leuten gelungen, die wir hier an Bord haben. Wir haben ein extrem motiviertes, sehr kompetentes und schlagkräftiges Team, auf das ich wirklich stolz bin. Dieses Team hat innerhalb kürzester Zeit sämtli-

che Produktionsbereiche im Werk umgestellt, damit wir COVID-19-sicher arbeiten können. Wir haben nicht nur Schichten entkoppelt oder Bänder anders getaktet, sondern auch hunderte Plexiglas-Trennwände gebaut und Türgriffe im 3D-Druck hergestellt – das alles mit unseren eigenen Technologien. Hinzu kommen die pragmatischen und professionellen Handlungsempfehlungen unseres BMW Corona-Handbuchs. Damit waren wir in der Lage, nach dem knapp sechswöchigen Shutdown wieder direkt im Zwei-Schichtbetrieb zu starten und sind jetzt in der glücklichen Situation, dass wir am Kapazitätslimit produzieren.

| futur | Welche Elemente in Ihrer Wertschöpfungskette erleben Sie derzeit als kritisch und wie reagieren Sie darauf?

/ Schramm / Bei sehr komplexen Produkten wie unseren Motorrädern passiert natürlich eine große Wertschöpfung auf der Lieferantenseite. Wir haben weltweit 900 aktive Lieferanten, unter anderem in Indien, China, Mexiko und Spanien, die alle mehr oder weniger stark von der Corona-Krise betroffen sind. Insofern muss unser Produktionssystem in Summe funktionieren. Und das ist im Moment, das gebe ich offen zu, eine große Herausforderung, weil die Voraussetzungen in den einzelnen Ländern so unterschiedlich sind. Und

dennoch: Unseren neusten und wichtigsten Anlauf in diesem Jahr, die sogenannte R18 haben wir pünktlich zum SOP, also zum Start of Production gelauncht. Trotz Corona, trotzdem wir kein Vorgängerfahrzeug hatten und trotz der hohen Komplexität des Fahrzeugs. Das hat dank unserer robusten Technologien – ob Motorenbau, Lackierereien, Rahmenbau oder Karosserie – bestens funktioniert, uns aber auch viel Arbeit und viel Kraft gekostet.

| futur | Resilienz gilt als Indikator dafür, ob und wie Unternehmen oder Organisationen schwierige Situationen technologisch, sozial und wirtschaftlich meistern. Was macht BMW widerstandsfähig?

/ Schramm / Das größte Gut unseres Werkes sind die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Hier setzen wir auf enge Kommunikationswege, auf Vertrauen, Offenheit, Verantwortung und Wertschätzung. So motivieren wir unser Team, im Fall solcher Katastrophen schnell und bedacht zu re-

agieren und trotzdem kreative Lösungen zu finden. Das zweite ist unser Geschäftsmodell im Zusammenspiel mit den Lieferanten. Obwohl die Pandemie nicht vorbei ist, zeichnet sich in unserer Lieferkette bereits eine leichte Stabilisierung ab, aber wir sind hier noch lange nicht über den Berg. Deshalb stärken wir unsere Ressourcen in den einzelnen Regionen in Asien, Amerika und Europa, damit wir bei Bedarf sofort lokal eingreifen können. Im Werk Berlin haben wir bereits in den letzten Jahren unsere Prozesse und Technologien dahingehend gestärkt, dass sie stabil und nicht störungsanfällig sind. Auch in puncto Flexibilität und Fertigungstiefe sind wir gut vorbereitet. Wir haben Arbeitszeitmodelle, die es uns erlauben in verschiedenen Schichten sieben Tage die Woche, 24 Stunden am Tag zu arbeiten. Das gibt uns ein hohes Maß an Flexibilität, die wir im Übrigen auch mit der Arbeitnehmervertretung abgesichert haben. Hinzu kommt unsere technische Flexibilität: Wir können

gemeinsam mit unseren Lieferanten auf Bedarfsschwankungen leicht reagieren, ohne große Redundanzen erzeugen zu müssen. All diese Aspekte erhöhen in Summe die Resilienz von BMW.

| futur | Stichwort Digitalisierung: Im Motorradwerk Berlin nutzen Sie Industrie-4.0-Technologien bereits sehr intensiv. Wo sehen Sie noch Potenzial für die Zukunft?

/ Schramm / In Data Analytics steckt ein Potenzial, das wir vielleicht noch gar nicht so richtig kennen. Ich bin mir sicher, dass man hier erst einen gewissen Professionalisierungsgrad erreichen muss, damit man das tatsächlich ausschöpfen kann. Es ist richtig, dass wir viele Industrie-4.0-Standardtechnologien schon nutzen – von der virtuellen Inbetriebnahme von Anlagen über autonom fahrende Roboter bis hin zu einer präventiven Instandhaltung. Wir setzen auch KI-Modelle ein und trainieren unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

PROF. DR.-ING. HELMUT-JOSEPH SCHRAMM

leitet seit 2017 die weltweite Produktion von BMW Motorrad sowie das BMW Motorradwerk in Berlin-Spandau. Der promovierte Wirtschaftsingenieur begann seine berufliche Laufbahn als Assistent der Geschäftsführung bei einem mittelständischen Logistikunternehmen in Berlin. Anschließend war er in verschiedenen Fach- und Führungsfunktionen bei der Daimler AG tätig, bevor er 2003 zur BMW Group kam. Hier durchlief er mehrere Stationen in den Bereichen Produktion, Qualitätsmanagement, Logistik, Strategie und Werksstrukturplanung an den Standorten München, Dingolfing und Leipzig. Seit 2004 ist er Honorarprofessor für das Fachgebiet Logistik- und Produktionswirtschaft an der Technischen Hochschule Wildau.



© BMW Group

»Unseren neusten und wichtigsten Anlauf in diesem Jahr, die sogenannte R18 haben wir pünktlich zum SOP gelauncht. Trotz Corona, trotzdem wir kein Vorgängerfahrzeug hatten und trotz der hohen Komplexität des Fahrzeugs.«

Prof. Dr. Helmut Schramm

mit 3D-Brillen. Mit Data Analytics, glaube ich, kann man aber noch wesentlich mehr machen. Und wir können, auch im Verbund mit Fraunhofer, bereits etablierte 4.0-Technologien noch einen deutlichen Schritt weiter nach vorne bringen. Ich denke da an unsere Mensch-Maschine-Roboter-Kollaboration in der Montage oder an die Oberflächengestaltung im Feindruck. Das sind Technologien, die wir hier in Berlin entwickeln, zur Serienreife bringen und dann auch in den Pkw-Bereich unseres Konzerns hineinragen.

| futur | BMW baut seit 1969 in Berlin-Spandau Motorräder – als einzigem Stand-

ort in Deutschland. Welche Rolle hat das Berliner Werk im internationalen Produktionsnetzwerk von BMW?

/ Schramm / Im Produktionsnetzwerk BMW Motorrad ist BMW in Spandau das sogenannte Leitwerk, also das führende Werk, sicherlich auch das größte. Zu unserer Organisation gehört ein weiteres Werk in Brasilien und ein Werk in Thailand. Beide sind zwar kleiner, aber sehr flexibel, sehr innovativ und stellen ein breites Spektrum an Motorrädern her. Dann haben wir noch zwei Produktionspartner in Indien und China, die jeweils Einsteigermodelle produzieren. Diese Werke und Partner führen wir von Spandau aus als Produkti-

onsnetzwerk und steuern auch die gesamte Distribution aller Fahrzeuge. Hinzu kommt unsere Rolle im BMW Konzern. Hier stellen wir als Produktionsstandort ein Bindeglied zwischen allen Werken im Produktionsnetzwerk der BMW Group dar. Wir übernehmen zum Beispiel wie schon erwähnt Technologie- und Forschungsprojekte, von denen der ganze Konzern profitiert. Und wir stellen Ressourcen für das Netzwerk bereit. Dazu gehört auch, dass wir bei BMW eine gemeinsame Personalentwicklung betreiben. Darüber haben wir Zugang zu einer Kompetenz, die ist phänomenal. Das ist auch einer unserer Wettbewerbsvorteile.

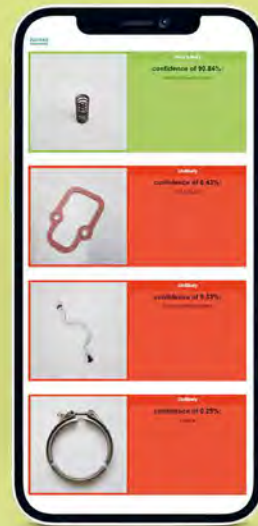
| futur | Welche Erwartungen verbinden Sie mit Berlin als Wirtschaftsstandort für die Zukunft?

/ Schramm / Wir sind sehr froh und stolz seit über 50 Jahren hier in Berlin sein zu dürfen. Wir spüren, dass wir ein sehr geschätzter Partner in Berlin sind. Ich sage das mit allem Respekt, denn so etwas muss man sich ja auch erarbeiten und die Stadt ist anspruchsvoll. Die Stadt gibt aber auch sehr, sehr viel und bietet extrem viele Möglichkeiten. Nehmen Sie die Hochschul- und Forschungslandschaft, die ihres Gleichen sucht. Berlin hat auch eine, so finde ich, logistische Attraktivität. Und wir arbeiten sehr konstruktiv mit der Span-

dauer Lokalpolitik und der Berliner Landespolitik zusammen. Das schätze ich sehr und dafür möchte ich mich auch an dieser Stelle bedanken. Das Wichtigste sind aber auch hier die Menschen, das sind der Style, die Herzlichkeit, die Ehrlichkeit, die Bodenständigkeit, die Kompetenz der Berlinerinnen und Berliner und der Brandenburgerinnen und Brandenburger. Viele von ihnen arbeiten ja bei uns und machen uns als BMW Motorrad aus. Deshalb freut es mich sehr, dass wir die legendären BMW Motorrad Days im nächsten Jahr von Bayern nach Berlin und Brandenburg holen und damit ein weiteres Commitment zur Region abgeben. ♦

Personalengpässe meistern

Kurzfristige Ausfälle von Mitarbeitenden in Schlüsselpositionen gefährden komplexe Produktionsprozesse. Intelligente Assistenzsysteme können mögliche Störungen verhindern.



Die Frage, wie der Personaleinsatz in der Produktion durch intelligente Assistenzsysteme optimiert werden kann, war lange Zeit eher ein Nischenthema der Forschung. Waren in der Vergangenheit vornehmlich der Fachkräftemangel und beschleunigter Wissensaustausch Treiber von Entwicklungen in diesem Bereich, so hat diese Frage aber mit der COVID-19-Pandemie eine neue Dringlichkeit bekommen. Betriebliche Hygienekonzepte, vermehrt auftretende Krankheitsfälle und Quarantäneanordnungen verlangen schleunigst nach neuen Lösungen.

EXPERTENWISSEN AUF ABRUF

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz bieten immer bessere Methoden, um Prozesse oder Situationen auf der Grundlage von Daten vorherzusagen oder zu bewerten. Werden sie als Assistenzsysteme genutzt, vereinfacht die KI komplexe Vorgänge im Hintergrund und stellt sie prozessentsprechend für die Anwender dar. Mitarbeitende bekommen somit nur relevante Information dargestellt und können Prozesse schneller und sicherer erfassen und bewerten. Anders gesagt: KI-Methoden können Expertenwissen digitalisieren und abrufbar machen. Laufen die maschinellen Lernprozesse, die zur Verbesserung der KI erforderlich sind, parallel zur Anwendung, kann die KI anhand der neuen Daten den Prozess immer besser verstehen. So kann sie ihn flexibel an ein sich änderndes Produktionsumfeld und an verschiedene Nutzer oder Nutzerinnen anpassen. Diese datengetriebenen Systeme sind in der Lage, auf die Umwelt zu reagieren und somit dynamischer und leistungsfähiger als konventionelle Systeme mit festen Programmabläufen.

HERAUSFORDERUNG WARENEINGANGSKONTROLLE

Solche Assistenzsysteme können Unternehmen bei

Prozessen in den unterschiedlichsten Bereichen unterstützen und damit auch die Qualität des Prozessergebnisses absichern. In der Wertschöpfungskette der operativen Produktion können sie direkt zu Beginn der Wareneingangsprozesse ansetzen. Ist das für den Wareneingang geschulte Personal nicht verfügbar, hat das weitreichende Konsequenzen für die nachfolgenden Prozesse, etwa für die Verarbeitung oder Montage. Das hohe Maß an Qualifikation und Erfahrung, das von Mitarbeitenden im Wareneingang verlangt wird, macht den kurzfristigen Einsatz von Arbeitskapazitäten aus anderen Abteilungen oder Bereichen nahezu unmöglich. Bei genauerer Betrachtung des Wareneingangsprozesses wird jedoch klar, wie hier ein Assistenzsystem die Flexibilität erhöhen und damit die Folgen eines Personalausfalls mindern kann.

Grundsätzlich enthält ein Wareneingangsprozess mindestens eine Prüfung, ob ein geliefertes Objekt dem bestellten Objekt entspricht. Im Falle von Großhändlern für B- oder C-Bauteile oder eines Montagedienstleisters kann die Anzahl der täglich gelieferten Objekte schnell sehr groß werden. Oft wird der Prüfprozess manuell durch geschulte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter durchgeführt. Dabei müssen nicht nur viele Bauteile visuell unterschieden werden – auch eine Schadensprüfung kann Bestandteil der Tätigkeit sein. Trotz großen Fachwissens kommt es oft vor, dass Bauteile nicht direkt identifiziert werden können. Es folgen eine zeitintensive manuelle Katalogsuche oder Datenbankrecherchen. Fallen eine oder sogar mehrere der geschulten Wareneingangsexpertinnen oder -experten durch nicht planbare Ereignisse aus, kann das sogar den kompletten Ausfall der nachgelagerten Produktion zur Folge haben. Ähnlich schwierig wird es, wenn es zu plötzlichen Produktionsspitzen kommt. Denn ferti-

gende Unternehmen können dem gestiegenen Personalbedarf beim Wareneingang oft wegen des hohen Einarbeitungsaufwands nicht einfach mit Umstrukturierungen oder Einstellungen begegnen.

Intelligente Assistenzsysteme können dabei helfen, den Warenprüfungsvorgang zu vereinfachen und dadurch die Einarbeitungszeit zu minimieren. Im Fall der Wareneingangskontrolle bietet eine bildverarbeitende Wiedererkennung einen vielversprechenden Ansatz. Die Anwenderin oder der Anwender erfasst das zu prüfende Bauteil mit einem Kamerasystem. Die so erfassten Bilder werden mit Methoden der KI verarbeitet und das Ergebnis wird beispielsweise in Form einer Vorschlagsliste präsentiert. Die Vorschlagsliste enthält Wahrscheinlichkeiten der Übereinstimmung mit gesuchten Bauteilen, aus denen die Nutzerin oder der Nutzer dann wählen kann. So muss nur noch aus einer kleinen Menge an Möglichkeiten das richtige Objekt ermittelt werden. Die Sortierung bietet dabei einen zusätzlichen Indikator, jedoch hat der Mensch weiterhin die Entscheidungshoheit und kann damit jederzeit korrigierend reagieren. Die detaillierte Dokumentation der Prozesse im Assistenzsystem macht diese auch besser nachvollziehbar. Während Mitarbeitende im klassischen Wareneingangsprozess ein hohes Maß an fachlicher und methodischer Qualifikation benötigen, übernimmt das Assistenzsystem die Rolle einer zweiten fachlichen Kontrollinstanz entsprechend des 4-Augen-Prinzips und reduziert durch seine einfache Handhabung die Anforderungen an die methodische Kompetenz immens. Das Anlernen eines neuen Mitarbeitenden beschränkt sich nun auf den Abgleich eines Bauteils mit den vorgeschlagenen Objekten und auf die Interaktion mit dem Assistenzsystem. Wenn gewünscht, besteht auch die Option, ein Eskalationsmanagement in das Assistenzsystem zu integrieren.

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ ALS HANDLUNGSHILFE

Aktuelle Technologien und Methoden aus der Künstlichen Intelligenz können somit sicherstellen, dass Prozesse unter schwierigen Bedingungen ausführbar bleiben. Das Assistenzsystem übernimmt teilautomatisiert die Informationsverarbeitung und liefert Nutzerinnen und Nutzern ausschließlich die aufbereiteten relevanten Ergebnisse. Auf diese Weise wird die Entscheidungsfindung vereinfacht und stark verkürzt. Zum anderen wird der benötigte Aufwand, um neues Personal anzulernen, reduziert. Die Entscheidungen werden durch die Interaktionen mit dem System protokolliert und somit reproduzierbar. Ein interdisziplinäres Team am Fraunhofer IPK widmet sich neben der Verbesserung der KI-gestützten Methoden auch der sinnvollen Kombination unterschiedlicher Daten für die Entscheidungsfindung mit Fokus auf die jeweiligen Anwender. So können in Zukunft beim Wareneingang neben den Bilddaten zum Beispiel auch Liefer- und Kundendaten genutzt werden. Zudem untersuchen die Forscherinnen und Forscher die Verbindung von Prozess- und Bilddaten bei der Qualitätskontrolle. Ihr Ziel ist es, ein anwendungsspezifisches System zu entwickeln, in das eine ganzheitliche Analyse der vorhandenen Daten einfließt. ♦

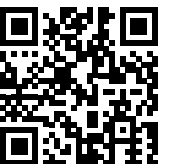
IHRE ANSPRECHPERSONEN

Johannes Hügle | +49 30 39006-198
johannes.huegle@ipk.fraunhofer.de

Natalie Petrusch | +49 30 39006-310
natalie.petrusch@ipk.fraunhofer.de

Bilder:
1 Detektion für mehrere Bauteile
2 Bauteilwiedererkennung via mobiles Endgerät
3 KI-Assistenz für den Wareneingang

Weitere Informationen:
www.ipk.fraunhofer.de/logic



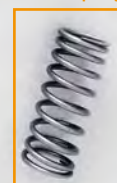
00: Reducer 6X4



01: Relief valve X5



02: Coil spring N065



Der schmale Grat zwischen Sparen und Schaden

Beim Fräsen sind das Werkzeugs substrat, die Beschichtung und die Geometrie der Werkzeugschneide entscheidend für eine hohe Bearbeitungsqualität mit geringen Zerspankräften. Werkzeugverschleiß führt zu instabilen Prozessen, die Fehler im Bauteil verursachen oder gar das Bauteil aus seiner Aufspannung heben und Maschinenschäden zur Folge haben können. Dennoch werden Wendeschneidplatten bisher ausschließlich analog geprüft und gewechselt, wobei unnötiger Ausschuss entsteht.

Am Fraunhofer IPK entsteht daher PoWer, ein digitales automatisiertes Prüf- und Wechselsystem für Wendeschneidplatten, das nicht nur den Zustand der Werkzeuge bewertet, sondern auch den Wechselvorgang vornimmt.

IHR ANSPRECHPARTNER
Mario Epping | +49 30 39006-298
 mario.epping@ipk.fraunhofer.de



01

Werkzeug(e) mit Wendeschneidplatten: Bisher bewerten Maschinenbediener den Zustand der Schneiden visuell. Die Folge: Die Platten werden oft zu früh ausgesondert, da Maschinenschäden teurer sein können als der vorzeitige Austausch von Schneiden, die am Ende eines Arbeitstages in Summe noch tausende Betriebsstunden leisten könnten.

02

Maschinen-Add-on: Das PoWer-System lässt sich direkt mit einer Werkzeugmaschine koppeln. Alternativ kann es als dezentrales System für mehrere Anlagen genutzt werden. Zu prüfende Werkzeuge werden per RFID identifiziert. Dabei werden auch der aktuelle Schneidplattentyp sowie die Positionen der einzelnen Wendeschneidplatten abgefragt.



03

Automatisierte Inspektion: Ein Roboter führt das Werkzeug zu einer Scanstation, wo jede Schneide als 3D-Punktwolke und als Schwarz-Weiß-Bild erfasst wird. Der verwendete Sensor ist in der Lage, Schneiden mit einer Raumgenauigkeit von 6 µm zu scannen. Dabei wird nicht nur der Verschleiß erfasst, sondern auch andere Indizien, die auf spontanes Versagen hindeuten.



04

Verschleiß im Blick: Die ermittelten Verschleißdaten geben nicht nur Auskunft über den Zustand der Schneide. Sie ermöglichen es auch, Prozesse zu optimieren. Egal ob schnellere Bearbeitungen bei gleichbleibendem Verschleiß oder besonders verschleißarme Prozesse, mit PoWer ist die Einstellung für die wirtschaftlichsten Bearbeitungsparameter möglich.

05

Eingriff erforderlich: Bei Hartmetallwerkzeugen sollte der Freiflächenverschleiß 0,2 mm nicht überschreiten. Aber ob ein Kratzer 0,1 mm oder 0,2 mm misst, ist mit bloßem Auge nicht erkennbar. Erfasst Power eine Überschreitung der Verschleißgrenze, nimmt das System selbstständig die nötigen Maßnahmen vor. An einer Schraubstation mit Bitwechsler wird die betroffene Platte zunächst gelöst.

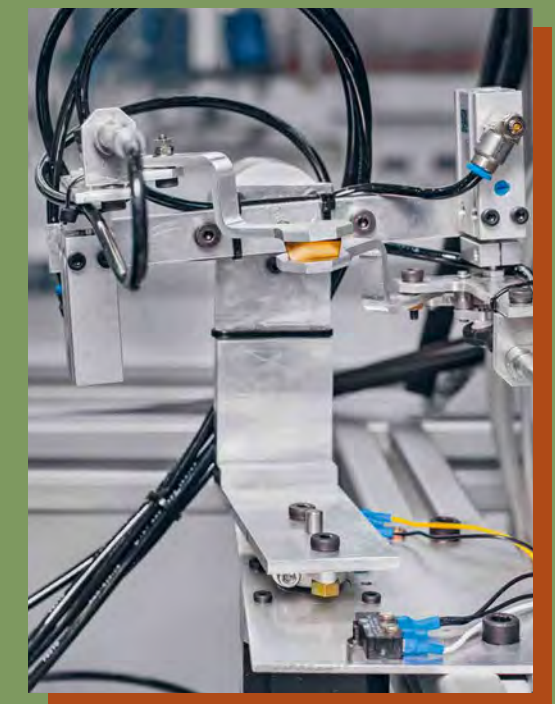


06

Automatische Korrektur: Eine magnetische Vorrichtung nimmt die Wendeschneidplatte vom Werkzeug ab, um sie zu drehen oder zu tauschen. Die Automatisierung des Vorgangs spart dem Maschinenbediener Arbeitszeit, die eigentlich genutzt werden sollte, um den Prozess für das nächste Teil vorzubereiten oder die Maschine zu überwachen. So werden Nebenzeiten reduziert.

07

Rotationsprinzip: Nicht immer muss eine Wendeschneidplatte komplett getauscht werden, wenn eine Seite verschlissen ist. Als erste Maßnahme dreht das System an der Wendestation die Wendeschneidplatte auf eine ungenutzte Stelle oder wendet sie komplett.



08

Neue Platte erforderlich: Nur wenn eine Wendeschneidplatte ihr End of Life erreicht hat, wird das Werkzeug über ein wechselbares Wendeschneidplatten-Magazin neu besetzt. So ermöglicht es das PoWer-System, Werkzeugschneiden vor der Mülltonne zu retten und gleichzeitig das Versagen von Schneiden zu verhindern. Diese Vorteile rechnen sich für viele Firmen schon nach wenigen Monaten.



Resilienz ins Unternehmen!

Ganzheitliche Produktionssysteme sind eine exzellente Basis, um Unternehmen krisenfest aufzustellen. Der Schlüssel zum Erfolg sind intelligentes Informationsmanagement und Flexibilität.

Corona versus die deutsche Wirtschaft: Der Ausgang dieses Spiels ist derzeit noch offen. Gewiss ist, dass die Pandemie der Ökonomie schwer zugesetzt hat. Nach Umfragen des Online-Portals Statista erwarteten im Juni 2020 rund 77 Prozent der inländischen Unternehmen für das Jahr 2020 einen Umsatzrückgang. Mehr als 50 Prozent der Unternehmen gaben an, »dass sie nicht länger als sechs Monate überleben werden, wenn die Einschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie noch für längere Zeit aufrechterhalten werden.« Die Herausforderungen sind vielfältig. Sie reichen von abgerissenen und unverlässlichen Lieferketten und Distributionswegen zum Kunden bis zum Ausfall der gesamten Geschäftsbasis, etwa im Veranstaltungsbereich.

Doch die Pandemie schreibt auch andere Geschichten. Etwa die eines mittelständischen Anlagenbauers aus Thüringen, der es im Frühjahr 2020 schaffte, binnen sechs Wochen sein Portfolio um eine Anlage zur Herstellung von medizinischen Schutzmasken zu ergänzen. Bis zu diesem Zeitpunkt war das Unternehmen auf Bereiche fokussiert, die besonders von der Krise getroffen waren. Die neue Anlage konnte Einnahmenverluste in diesem Bereich teilweise kompensieren und Kurzarbeit deutlich reduzieren.

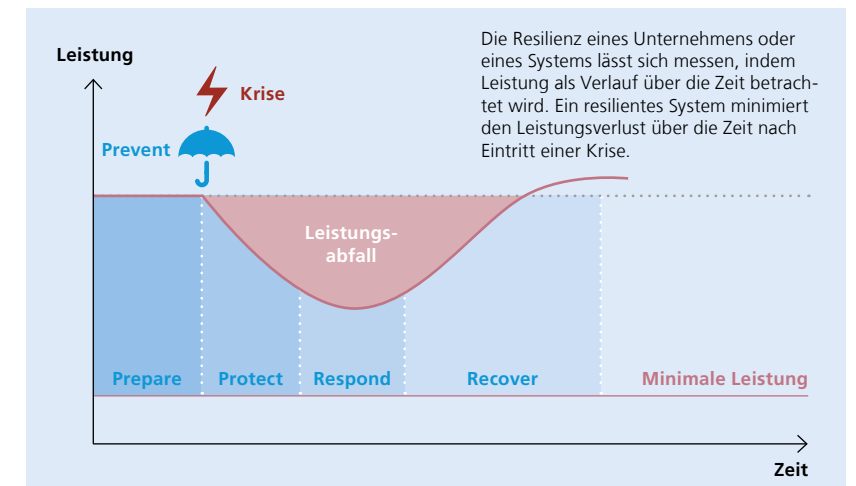
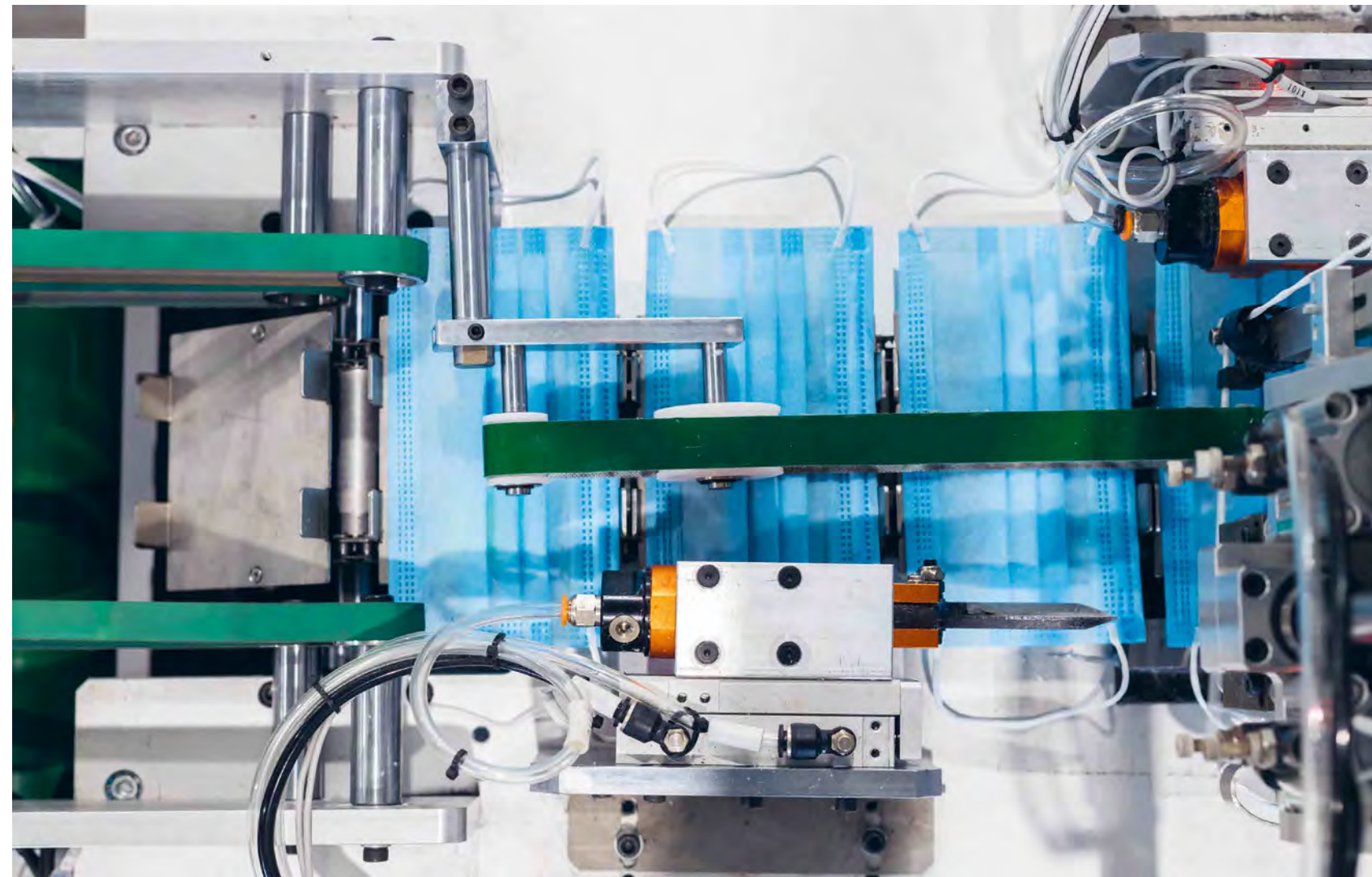
Sechs Wochen von der Konzeption bis zur ersten Auslieferung: Betrachtet man solche Ergebnisse, stellt man fest, dass die Erfolgsrezepte neben einer exzellenten Führung oft darin liegen, dass ein ganzheitliches Produktionssystem (GPS) konsequent hinsichtlich Resilienz gelebt wird – auch wenn den betroffenen Unternehmen nicht immer bewusst ist, dass sie Resilienzprinzipien anwenden. Was aber bedeutet es eigentlich, ein GPS auf Resilienz zu trimmen?

Ein ganzheitliches Produktionssystem strebt an, alle Unternehmensbereiche, die nahe an der Produktion oder in diese involviert sind, nach gleichen Grundsätzen zu organisieren und die Abläufe mit denselben Methoden und Systemen zu steuern. Unter »Resilienz« verstehen wir die Fähigkeit, Krisen und Rückschläge – egal, ob durch interne oder externe Störfaktoren verursacht – als Individuum oder Verbund nicht nur unbeschadet zu überstehen, sondern auch gestärkt daraus hervorzugehen. Anders als klassisches Risikomanagement, das sich auf die Identifikation und den Umgang mit spezifischen Risiken innerhalb der Prozesse eines Unternehmens konzentriert, wählt das Resilienzmanagement einen ganzheitlicheren Ansatz. Statt nur zu fragen, welche Faktoren die eigene Wirtschaftsleistung negativ beeinflussen könnten, beleuchtet es, welche Maßnahmen die Leistungsfähigkeit vor, während und nach der Krise erhalten oder verbessern. Die Krisenbewältigung wird

in fünf Phasen eingeteilt, die in der Grafik rechts dargestellt sind. Für sie werden unterschiedliche Instrumente, Verantwortlichkeiten und Vorgehensweisen definiert.

VIELE WEGE FÜHREN ZUM ZIEL

Aber wie integriert man die Resilienz ins Produktionssystem? Dazu gibt es diverse Ansätze. Zunächst könnte man versuchen, ein Managementsystem neu aufzubauen und dabei ein nach Resilienzphasen orientiertes Konzept anzuwenden. Allerdings zeigt die mittlerweile rund dreißigjährige Erfahrung mit der Einführung von Lean Management, dass der Einführungsprozess aufwändig und langwierig ist und keine schnellen Erfolge erwarten lässt. Zudem wäre dieses Vorgehen nicht sinnvoll, wie auch das Beispiel von Unternehmen zeigt, die bereits über ein nach Lean-Prinzipien organisiertes GPS verfügen. Diese könnten versuchen, die Resilienzphasen als zusätzliche Aspekte in die Ziele und Gestaltungs-



© Fraunhofer EMI

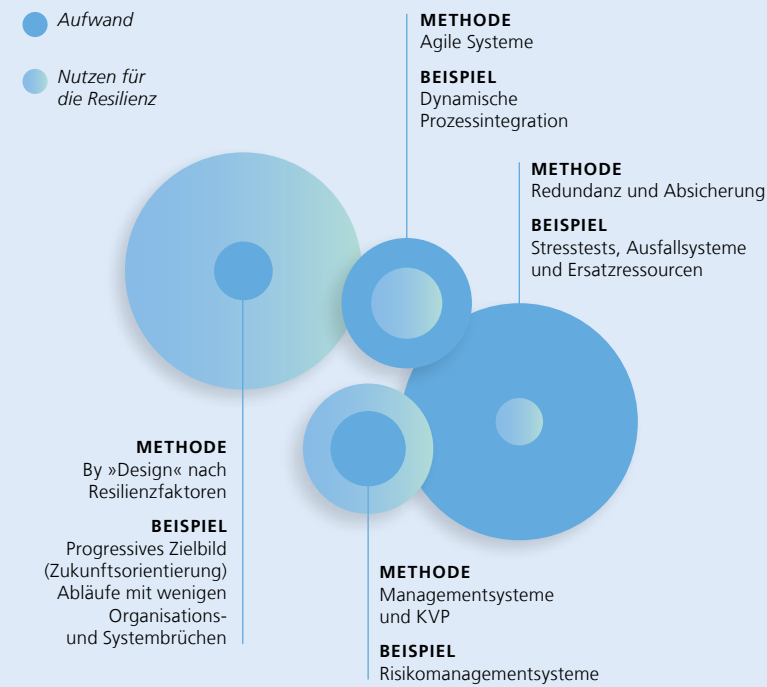
prinzipien des Produktionssystems aufzunehmen. Damit steigt jedoch die Komplexität des Gesamtsystems, womit das gesamte GPS schwerfälliger wird.

Ein Beispiel: Produktionssysteme können durchaus definieren, wie mit externen Störungen umzugehen ist. Die Störungstypen, die dabei festgelegt werden, sind jedoch bisher meist relativ einfache Lieferkettenbrüche oder Ereignisse, die dazu führen könnten, dass der Kunde unzufrieden reagiert. Größere Disruptionen, wie der Ausfall des gesamten Zuliefernetzes durch Grenzschießung oder der Abbruch einer Kundenbeziehung durch unerwartete Zahlungsunfähigkeit des Abnehmers, sind nicht vorgesehen. Das ist auch gut so, denn der Ansatz, für alle denkbaren Störfälle Verfahren zur Abwehr zu entwickeln und diese in ein GPS zu integrieren, hätte einen immensen Aufwand und auch eine erhebliche Trägheit des gesamten Systems zur Folge.

RESILIENTE ABLÄUFE VORBEREITEN

Die Lösung sollte eher sein, die Resilienz in die Anwendung des Produktionssystems zu bringen. Oder noch besser: Das ganze Unternehmen von vornherein so aufzustellen, dass alle Abläufe Resilienz fördern. Dazu sollten die Abläufe wenige Organisations- und Systembrüche enthalten. Und: Bei der Umsetzung der Prozesse in Krisenphasen sollte ein erhöhtes Maß an Flexibilität zugelassen werden. Hier können Unternehmen vom Sicherheits- und Schutzbereich lernen. Dort werden Verfahren angewendet, die unabhängig von der spezifischen Lageursache die gleichen Mechanismen zur Vorbereitung, Vermeidung und Abwehr negativer Einflüsse beinhalten. So ist die Aufbau- und Ablauforganisation eines Krisenlagezentrums bei Polizei oder

Bild:
Ein resilientes Unternehmen aus Thüringen konnte in Rekordzeit eine Anlage zur Produktion medizinischer Masken auf den Markt bringen.
© Barcelona Dreams / Adobe Stock



»Statt nur zu fragen, welche Faktoren die eigene Wirtschaftsleistung negativ beeinflussen könnten, beleuchtet das Resilienzmanagement, mit welchen Maßnahmen die Leistungsfähigkeit vor, während und nach der Krise erhalten oder verbessert werden kann.«

Prof. Dr. Thomas Knothe

1

Feuerwehr immer selbständig, egal ob eine Naturkatastrophe oder eine Pandemie die Krise verursacht. Im Unternehmenskontext bedeutet das, bereits im Normalbetrieb Resilienzprinzipien standardisiert anzuwenden, den Umgang mit Ausnahmesituationen zu trainieren und für die Einrichtung eines Krisenstabs vorzusorgen. Der Umgang mit kritischen Situationen kann beispielsweise regelmäßig in Simulationen geprobt werden, ähnlich wie an Schulen der Feuersalarm. Wenn Rollen und Verantwortlichkeiten verinnerlicht sind, können im Krisenfall unabhängig vom Anlass flexibel Maßnahmen zum Umgang mit der Störung ergriffen werden. Dazu muss zunächst das externe Umfeld in Verbindung mit den internen Prozessen und Fähigkeiten beurteilt werden. Dabei hilft ein Lagebild, das bereits im Normalbetrieb eine fundierte Entscheidungsfindung und Optimierung von Abläufen gewährleistet. Seine volle Schlagkraft entfaltet das Lagebild in einer Ausnahmesituation, wenn der Gebrauch im regulären Betriebsalltag regelmäßig geübt wurde – dann sind Unternehmen auch fähig, unvorhergesehene Ereignisse, sogenannte »Black Swan Events«, erfolgreich zu bewältigen.

Eine weitere sinnvolle Erweiterung von GPS bietet die inverse Risikoanalyse. Anstatt nur zu schauen, wie Gefahren abgewendet werden können, die möglicherweise nicht zu beeinflussen sind – etwa eine Naturkatastrophe – wird die Betrachtungsperspektive gedreht: Es werden Strategien entwickelt, wie bei Ausfall von

Grafiken:
1
Aufwand und Nutzen verschiedener Resilienzprinzipien im Vergleich
2
Erweiterung des IPK-Referenzmodells für ganzheitliche Produktionssysteme

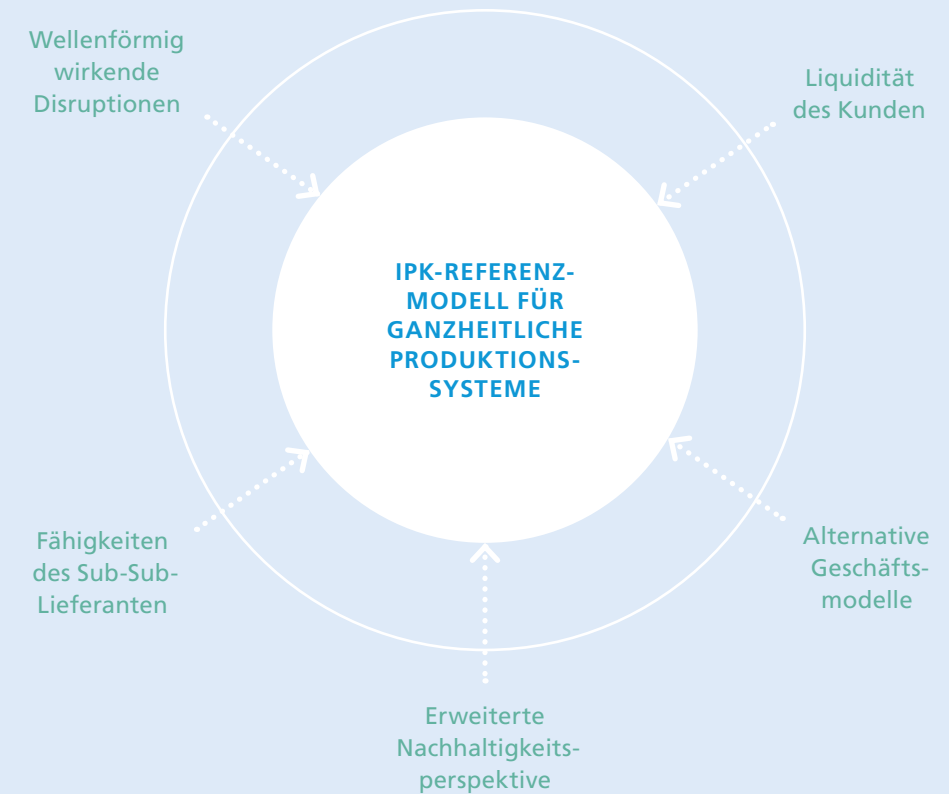
Ressourcen, Prozessen oder Geschäftsbeziehungen ein gewünschter Leistungszustand erreicht werden kann. Solche Betrachtungen führen zu Resilienz durch Flexibilität. Produktionsanlagen und Prozesse können zum Beispiel so ausgelegt werden, dass eine Umstellung der eigenen Fertigungstiefe in einem definierten Zeitfenster erreicht wird, wenn die Lieferkette abbricht.

Noch einen Schritt weiter geht das sogenannte »MacGyver-Prinzip«, besser bekannt unter dem Begriff »Bricolage«. Dabei werden Mitarbeiter trainiert nicht darauf zu warten, dass alle für die Erfüllung ihrer Aufgaben notwendigen Ressourcen zur Verfügung stehen. Stattdessen lernen sie, in einer Ausnahmesituation mit aktuell zur Verfügung stehenden Mitteln Lösungen zu finden. Dieses Prinzip sollte jedoch mit Vorsicht angewandt werden, damit im Normalbetrieb die optimierten Prozessabläufe nicht gefährdet werden.

IM NETZWERK ERFOLGREICHER

Last but not least steigert institutionelle Vernetzung die Resilienz von Unternehmen. Beobachtungen zeigen, dass Unternehmen, die in der aktuellen Pandemie auf viele verschiedene Partner zurückgreifen können – sei es zum Erfahrungsaustausch oder in Technologie- und Lieferbeziehungen – den Herausforderungen sehr viel besser begegnen als andere. Zu den Erfolgsrezepten des eingangs erwähnten thüringischen Anlagenbauers gehört zum Beispiel, dass sein Netzwerk auch Partner

2



umfasst, die a priori keinen Bezug zu seinem Kerngeschäft hatten. Erst in der Pandemie entfaltete sich deren Wert für die Weiterführung des Betriebs. Vernetzung ermöglicht es unter anderem, auf strukturelle und operative Aufwendungen zu verzichten, wie sie mit der Schaffung von Redundanz und intensiven Vorsorgemaßnahmen für die Abwehr von Krisen einhergehen.

Wie sich unterschiedliche Herangehensweisen an Resilienz in Aufwand und Nutzen unterscheiden, verdeutlicht die Abbildung links. Weitere exemplarische Lösungen zur Resilienzsteigerung für produzierende Unternehmen finden sich rechts. Um die genannten Strategien zur Erhöhung der Resilienz in Unternehmen, insbesondere aus dem Produktionssektor zu verankern, erweitert das Fraunhofer IPK das Referenzmodell für ganzheitliche Produktionssysteme um wichtige Resilienz Aspekte. Wesentliche Merkmale sind die Integration von Liquidität sowie der dynamischen Konfiguration des Produktionssystems entlang der Phasen eines Ereignisses. So wird es zum Beispiel möglich, Wertschöpfungsanteile entsprechend der Fähigkeiten von Partnern ad hoc und sicher so zu verschieben, dass Ende-zu-Ende-Prozesse nicht abbrechen. ♦

IHR ANSPRECHPARTNER

Prof. Dr.-Ing. Thomas Knothe | +49 30 39006-195
thomas.knothe@ipk.fraunhofer.de

LÖSUNGEN ZUR RESILIENZSTEIGERUNG IN UNTERNEHMEN

Permanenter Anlauf und temporäre Serienproduktion: Skalierbare Pilotfertigung über den gesamten Prozess unter Verwendung unterschiedlicher Automatisierungsgrade

Liquiditätsorientierung: Schnittstellen und Anlagen so gestalten, dass erst mit Auftreten einer neuen Variante definierte Kosten entstehen (Respond und Recover)

Effizientes Monitoring von sich ändernden Umfeld- und Black-Swan-Effekten: Adaptives interaktives Lagebild, KI-basierte Mustererkennung von Prozessanomalien

Entwicklung anlassunabhängiger Krisenorganisation: Adaptives virtuelles Lagezentrum in Anlehnung an Prinzipien des Sicherheitsbereichs, jedoch mit Liquiditätsgesichtspunkten

Dynamische und sichere Verschiebung von Wertschöpfungsanteilen: Reifegradbasierte organisationsübergreifende Technologiekettenenerzeugung (inklusive Verteilung und Integration) sowie -absicherung (Zertifizierung)

Organisationsübergreifende Integration von Geschäftsmodell-, Produkt-, Produktions- und Distributionsentwicklung in regulierten Märkten: Vernetzung unterschiedlicher Modelle mithilfe von Adaptoren und Synchronisationssystemen wie der High Level Architecture (HLA), virtuell assistierte Ertüchtigung von Partnern



Mit Routine durch die Krise

Plötzliche Ausfälle von Zulieferern und Kunden, kurzfristige Änderungen von Regularien – KMU stehen momentan vor enormen Herausforderungen. Das von Einsatzkräften bekannte gemeinsame Lagebild bietet Orientierung.

März 2020: Von einem Tag auf den anderen ist nichts mehr wie zuvor. Auf einmal gelten strenge Mindestabstände zwischen Menschen, nicht nur auf der Straße, sondern auch in der Werkstatt, im Büro, in Geschäften. Ein großer Teil der Einzelhandels- und Dienstleistungsbetriebe muss schließen, Hygienevorschriften für Handwerk und produzierendes Gewerbe werden binnen kürzester Zeit radikal umgestrickt. Dann schließen die Landesgrenzen, der Luftverkehr kommt quasi zum Erliegen, die internationalen Frachtrouten, Förderbänder eines globalen Wirtschaftssystems, geraten ins Stocken. Und als würde all das nicht reichen, ändern sich sämtliche Empfehlungen, Bedingungen, Vorschriften quasi im Wochenrhythmus.

Die beispiellose Ausnahmesituation, in die der Coronavirus SARS-CoV-2 die Welt Anfang des Jahres gestoßen hat, hat selbst produktivste, bestorganisierte und profitabelste Unternehmen in Schieflage gebracht – und dies in atemberaubender Geschwindigkeit. Dabei war es häufig vor allem das »Was dürfen wir denn jetzt überhaupt noch, und wie?«, das die unternehmerischen Prozesse ins Schlingern brachte. Rechtliche Unsicherheiten trafen auf abreißende Lieferketten, die die weit verbreitete Just-in-Sequence-Produktion teilweise unmöglich machten.

Bild:
Um trotz Corona die Produktion am Laufen zu halten, braucht es neue Konzepte.
© stock.adobe.com/
littlewolf1989

Neben Krisenmanagement-Konzepten, die sich planen und vorbereiten lassen, sind insbesondere die bedarfsgerechte Beschaffung relevanter Informationen und deren Bewertung ein Kernelement für die Bewältigung von unternehmenskritischen Ausnahmesituationen.

Um unter solch außergewöhnlichen Umständen Herr der Lage zu bleiben, benötigen Unternehmen strukturierte und systematische Strategien. Neben Krisenmanagement-Konzepten, die sich planen und vorbereiten lassen, sind insbesondere die bedarfsgerechte Beschaffung relevanter Informationen und deren Bewertung Kernelemente für die Bewältigung von unternehmenskritischen Ausnahmesituationen. Denn selbst die beste Vorbereitung kann nicht jede mögliche kritische Situation vorhersehen. Dann hilft nur, schnell zu verstehen, welche Faktoren sich wie auf die Unternehmenssituation auswirken.

VOM TAGESGESCHÄFT IN DEN KRISENMODUS PER KNOPFDRUCK

Betrachtet man Organisationen, die nahezu täglich mit Ausnahmesituationen umgehen müssen – wie zum Beispiel Katastrophenschutz und Sicherheitskräfte – wird schnell klar, dass Unternehmen viel von ihnen lernen können. Dies gilt insbesondere in puncto Zugang zu und Umgang mit Informationen. Die genannten Organisationen verfügen über etablierte Methoden, um in kürzester Zeit alle notwendigen Informationen zusammenzutragen und geeignet zu verknüpfen. Sie arbeiten mit »Lagebildern«, die georeferenzierte echtzeitnahe Daten und Informationen verschiedener

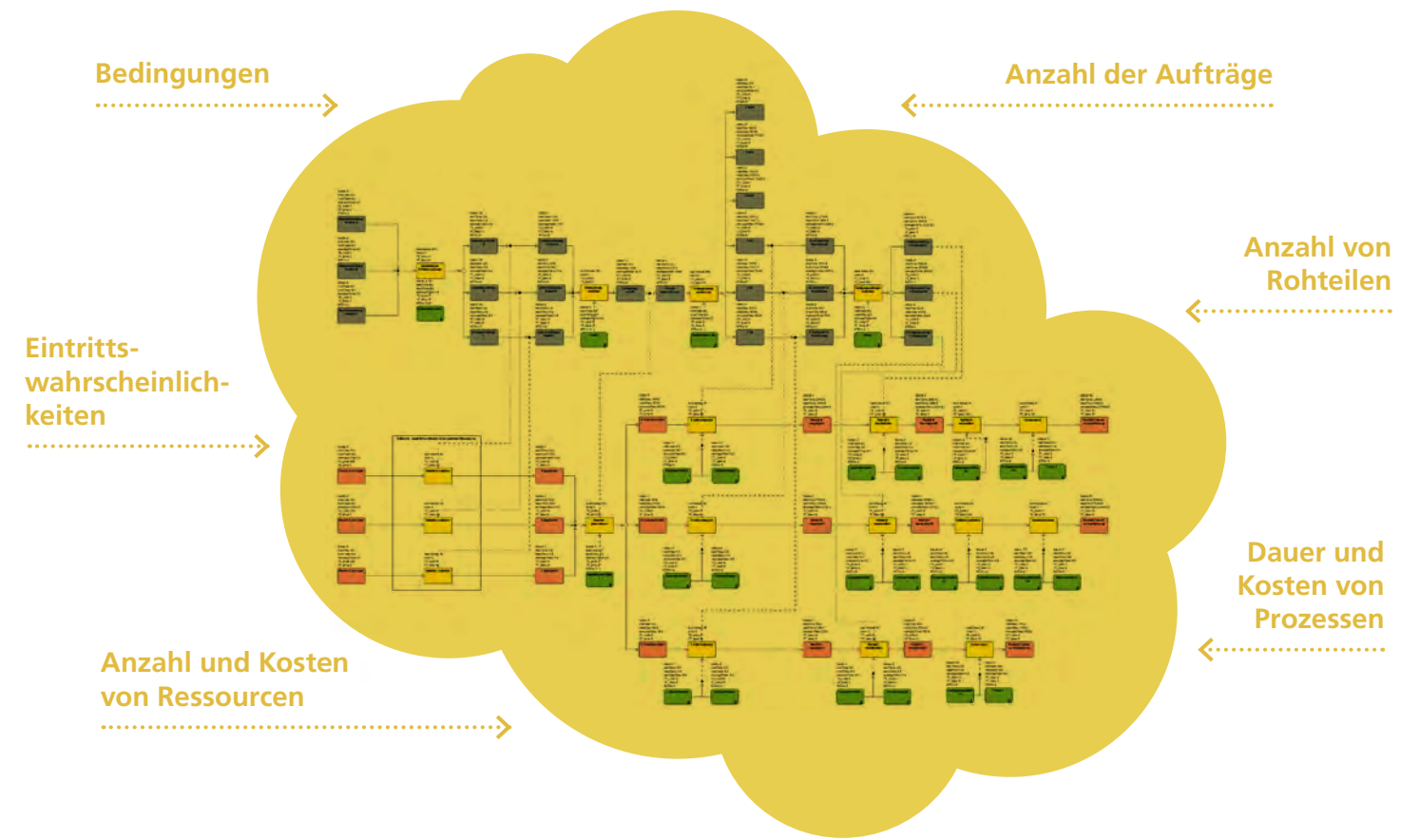
Behörden, Plattformen, Sensoren und anderer Quellen bündeln und dem jeweiligen Krisenstab zur Entscheidungsunterstützung bereitstellen.

Doch wie müsste man das Lagebild-Konzept für den Unternehmenskontext anpassen und wie kann man die schnelle Erstellung von Lagebildern für Unternehmen unterstützen? Zunächst liegt es im Interesse jedes Unternehmens, eine Krise mit minimalen Verlusten zu überstehen und in deren Verlauf die eigene Geschäfts-

Bild:
Mit dem interaktiven Lagebild werden schnell und zielorientiert Handlungsalternativen entwickelt.



Mithilfe des modellbasierten Ansatzes lassen sich interne und externe Informationen unternehmensspezifisch schnell vernetzen und im Verlauf der Krise iterativ verfeinern und ausbauen.



fähigkeit aufrechtzuerhalten. Die Geschäftsfähigkeit wiederum ergibt sich aus der Durchführbarkeit der Unternehmensprozesse. Im Falle eines disruptiven Ereignisses muss also schnell klar sein, welche Unternehmensprozesse kritischen Einflüssen unterliegen und wie sie mit dem Liefergefüge zusammenhängen. Erst dann sind Unternehmen in der Lage, Alternativen aufzustellen und zu bewerten, um am Ende gezielte Maßnahmen abzuleiten und deren Umsetzung und Wirksamkeit zu überwachen.

DAS LAGEBILD GIBT DIE RICHTUNG AN

Das interaktive Lagebild des Fraunhofer IPK macht solche Zusammenhänge sichtbar. Eine wichtige Grundlage des Systems ist die ebenfalls im Institut entwickelte Prozessmanagement-Suite. Dabei handelt es sich um ein etabliertes Toolset, mit dem sich Unternehmensprozesse erfassen, modellieren und übersichtlich darstellen lassen.

Für das Lagebild wird mit der Prozessmanagement-Suite zunächst ein Modell des Unternehmensgefüges erstellt. Dieses wird mit den im Unternehmen verfügb-

aren operativen Systemen verknüpft, sodass sich erforderliche Daten fallorientiert kombinieren lassen. Das Modell sollte möglichst ganzheitlich gestrickt sein – neben den kritischen internen Prozessstrukturen muss es auch Kunden, Lieferanten, Ressourcen und Produkte mitbetrachten. Das schafft umfassende Transparenz, welche Fähigkeiten und Abläufe im Unternehmen wie von welchen externen Entwicklungen beeinflusst werden. Die betroffenen Prozesse werden in der Folge kontinuierlich hinsichtlich ihres Zustandes überwacht.

Zum Schutz der krisengeschüttelten Abläufe ist es unabdingbar, in der weiteren Entwicklung der Krise über »was-wäre-wenn«-Kombinationen Transparenz zu schaffen und mögliche Auswirkungen alternativer Szenarien zu beurteilen. Hier verfügt das interaktive Lagebild über modellbasierte Simulationsinstrumente, die die Konsequenzen bestimmter Entscheidungen oder Entwicklungen für die Geschäftsfähigkeit, wie zum Beispiel die Liquidität, aufzeigen. Um diese Konsequenzen abzdämpfen, müssen Maßnahmen

Weitere Informationen:
www.ipk.fraunhofer.de/
lagebild



Grafik:
Wenn das Prozessgefüge eines Unternehmens im Modell abgebildet wird, macht das Lagebild sichtbar, welche Faktoren die Prozesslandschaft beeinflussen.

für das kritische Prozessgefüge getroffen werden, deren Umsetzung und Wirksamkeit ebenfalls kontinuierlich überwacht werden muss.

Mithilfe des modellbasierten Ansatzes lassen sich interne und externe Informationen unternehmensspezifisch schnell vernetzen und im Verlauf der Krise iterativ verfeinern und ausbauen. So gelingt es innerhalb weniger Tage, ein transparentes Steuerungsinstrument für die Arbeit des Krisenstabes zu etablieren. Darin werden kurzfristige Ziele, kritische Prozesse und Ressourcen, mögliche Entwicklungen und das Maßnahmenmanagement konsequent verknüpft und für alle Mitglieder online abrufbar zusammengestellt. Und das System kann noch mehr: Es kann als Prozessassistent in das integrierte Managementsystem eines Unternehmens eingreifen, um Prozessdefinitionen temporär anzupassen. So wird auch die tägliche Arbeit aller Mitarbeitenden unterstützt. Dabei werden vor allem die prozessualen Änderungen durch die Krise und die erforderlichen Dokumente und Verantwortlichkeiten kurzfristig berücksichtigt.

ÜBERLEBEN DANK STETIGER HANDLUNGSFÄHIGKEIT

Das Fraunhofer IPK-Lagebild bildet das informationstechnische Zentrum der Unternehmensleitung im Krisenfall. Kritische Situationen werden schnell erkannt und deren Auswirkungen analysiert. Selbst bei der Ersteinrichtung kann innerhalb von drei Tagen das Lagebild so aufgesetzt werden, dass eine initiale Orientierung und Handlungsfähigkeit abgesichert werden kann. Somit wird das fragile Gleichgewicht zwischen Aufwand und Nutzen im Ausnahmefall gehalten – auch bei Unternehmen, die bisher nicht mit Prozessunterstützungssystemen arbeiten. ♦

IHRE ANSPRECHPARTNERIN

Nicole Oertwig | +49 30 39006-176
nicole.oertwig@ipk.fraunhofer.de

Mit modularen und digitalen Lösungen optimistisch in die Zukunft

Ein Gastbeitrag von Dr. Mark Krieg,
Bosch Rexroth AG

»Es gibt Grund zur Hoffnung, dass wir bei den Aufträgen den Tiefpunkt überwunden haben, auch wenn wir im Vorjahresvergleich noch einige Zeit Minusraten sehen werden«, sagte VDMA-Chefvolkswirt Dr. Ralph Wiechers Anfang September über den Auftragseingang im deutschen Maschinen- und Anlagenbau. Aktuelle Zahlen bei Bosch Rexroth Industriehydraulik bestätigen diese Aussage noch nicht, aber Anlass zu Optimismus gibt sie für einen Zulieferer des Maschinen- und Anlagenbaus allemal.

Die Corona-Krise hat bei Bosch Rexroth zu einem starken Einbruch von Umsatz und Auftragseingang geführt. Was sie aber auch gezeigt hat, ist, dass das mobile Arbeiten besser funktioniert als erwartet und dass flexible Arbeitszeiten und Kurzarbeit gut geeignet sind, um solche hoffentlich zeitlich begrenzten und unerwarteten Krisen zu meistern. Auf Herausforderungen wie den globalen Wettbewerbs- und Kostendruck, Handelsbarrieren oder den technologischen Wandel nicht nur in der Automobilindustrie werden wir uns weiterhin einstellen müssen – und das langfristig. Hierfür eine Strategie nach dem Prinzip Hoffnung zu haben, wäre fahrlässig. In der Entwicklung der Bosch Rexroth Industriehydraulik verfolgen wir deshalb drei Schwerpunkte.



Local for Local

Das beinhaltet nicht nur die Lokalisierung unserer Produktion und Zulieferernetzwerke, sondern auch die Entwicklung auf lokale Marktanforderungen abgestimmter Produkte.



Baukastensysteme

Entwicklung von Produkten in modularen Baukästen, um schnell und ohne steigende Komplexität in Fertigung und Einkauf auf die individuellen und sich immer schneller verändernden Bedürfnisse der Kunden reagieren zu können.



Digitalisierung

Schaffen digitaler Mehrwerte für unsere Kunden entlang des Produktlebenszyklus sowie Optimierung der eigenen Produktion mithilfe eines sinnvollen Datenmanagements.

Produktivitätssteigerungen sind in verschiedenen Teilen des Produktlebenszyklus möglich und beginnen bei der Maschinenauslegung bzw. -konstruktion. Bei Bosch Rexroth unterstützen wir unsere Kunden bereits bei der Auswahl und Konfiguration unserer Hydrauliksysteme.

Aktuell arbeiten wir daran, sowohl statische als auch dynamische Modelle unserer Produkte und Systeme nahtlos in gängige Softwaretools und Engineering Suites zu integrieren. Wenn der Konstrukteur in seiner gewohnten Engineering Suite direkten Zugriff auf Hydraulikkomponenten hat und diese einfach in seinen Schaltplan, seinen Fluidplan, seine mechanische Konstruktion oder auch 1D-Dynamikmodelle zur Vorab-Simulation einbinden kann, ist das ein großer Vorteil. Solche digitalen Zwillinge sowohl von Komponenten als auch Systemen ermöglichen – je nach Detaillierungsgrad – vielfältige Mehrwerte entlang des Lebenszyklus, zum Beispiel die virtuelle Inbetriebnahme von Maschinen. Denn wenn das Produkt im virtuellen Raum konfiguriert und in Betrieb genommen ist, steht dem »Plug and Produce« in der Realität nichts mehr im Weg. Mit der Inbetriebnahme erfolgt der Übergang vom OEM, d. h. vom Maschinen- und Anlagenbauer, zum Maschinenbetreiber, also dem Endkunden.

Beim Kunden steht letztlich die effiziente Nutzung einer Maschine in der Produktion im Fokus. Auch hierfür können wir Mehrwerte anbieten. So ist es mit digitalen On-Board-Elektroniken mit Zugriff über standardisierte Kommunikationsschnittstellen wie IO-Link, verschiedene Industrial-Ethernet-Feldbusse, Bluetooth, aber zukünftig auch via OPC UA möglich, auf Störgrößen besser zu reagieren. Bei Material- bzw. Formwechsel, z. B. im Kunststoffspritzguss, können Regelparameter während des Betriebes angepasst oder neue Parameter, die mithilfe eines digitalen Zwillings definiert und erprobt wurden, auf die Maschine übertragen werden. Nicht-produktive Nebenzeiten werden so reduziert. Auch die digitale Zustandsüberwachung und die vorausschauende Wartung bieten Mehrwerte für den Endkunden, indem sie die Voraussetzung dafür schaffen, ungeplante Stillstandzeiten zu vermeiden. Wird ein Ersatzteil benötigt, kann dieses rechtzeitig vorkonfiguriert und beschafft werden. ♦



© privat

Dr.-Ing. Mark Krieg

verantwortet seit 2018 als Vice President Development der Bosch Rexroth AG die Entwicklung der Business Unit Industrial Hydraulics und ist Mitglied der Geschäftsleitung der Business Unit. Zuvor war er in verschiedenen Positionen für den Antriebs- und Steuerungstechnologiehersteller Parker Hannifin tätig. Zum Fraunhofer IPK, wo Krieg 2008 im Bereich Produktionstechnik promovierte und zuletzt stellvertretender Leiter des Geschäftsfeldes Produktionssysteme war, hält der Alumnus immer noch engen Kontakt. »Hier werden im Industrie 4.0 Transferzentrum ganz ähnliche Ansätze wie bei uns verfolgt, um digitale Mehrwerte entlang des Produktlebenszyklus zu schaffen«, sagt er und ist überzeugt: »Forschung und Entwicklung bleiben bei allem Kostendruck unverzichtbar, wenn Unternehmen kurzzeitige wie langfristige Herausforderungen meistern wollen.«

Aufatmen dank Open Source?

In der COVID-19-Pandemie sind lebensrettende Beatmungsgeräte Mangelware. Könnten offene Entwicklungsprozesse sie frei verfügbar machen?

Zu Beginn der COVID-19-Pandemie wurde deutlich, dass weltweit ein Mangel an lebensnotwendigen Beatmungsgeräten herrscht – auch in Deutschland. Auf die erhöhte Nachfrage reagierten nicht nur die etablierten großen Hersteller. Auch andere Unternehmen, Forschungseinrichtungen und private Personen begannen, improvisierte Geräte zu entwickeln und zu produzieren. So hat sich eine aktive Bewegung herausgebildet, die mithilfe von Open-Source-Hardware eine Antwort auf die Lieferengpässe finden möchte. Im Projekt OPEN.Effect evaluieren Expertinnen und Experten des Fraunhofer IPK seit Mai 2020 die Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit der Open-Source-Community für die Entwicklung und Fertigung von Beatmungsgeräten.

OPEN-SOURCE-HARDWARE IN DER MEDIZINTECHNIK

Offene Entwicklungsprozesse erlauben die Reduktion von Entwicklungszeit und -aufwand durch die Wiederverwendung von Konstruktionen und verteilter Entwicklung. Damit kann Engpässen während und nach der Herstellung vorgebeugt werden, selbst während einer Ausnahmesituation wie der COVID-19-Pandemie. So haben die freiwilligen Mitarbeiter der NGO Open Source Medical Supplies (OSMS) von April bis Mai

2020 rund 7 Millionen Artikel in über 50 Ländern hergestellt und verteilt – darunter Masken, Schutzbekleidung und medizinische Geräte. Dank des kollaborativen Charakters von Open-Source-Projekten sind, anders als bei proprietären Lösungen, die Ergebnisse breit nutz- und anwendbar. Die gemeinsam gesammelten Daten werden offengelegt und dienen als Grundlage zur Weiterentwicklung der Projektergebnisse durch Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Die Wissenschaftler des Projekts OPEN.Effect zeigen dabei Wege zur schnellen Erschließung der Potenziale der Open-Source-Community für die Entwicklung und Fertigung von Beatmungsgeräten auf.

GEMEINSAME QUALITÄTSSTANDARDS

Ein fundiertes Verständnis für die Stärken und Herausforderungen von Open-Source-Hardware-Projekten erleichtert die Entwicklung nachhaltiger Lösungen und gemeinsamer Best Practices. Deswegen erhebt das Fraunhofer IPK gemeinsam mit der etablierten Open-Source-Community Public Inven-

tion Projektdaten. Public Invention evaluierte bereits Open-Source-Lösungen für Beatmungsgeräte im Rahmen seines Ventilator Verification Project. Das als Spreadsheet veröffentlichte Projekt bewertet 137 Konstruktionen von Beatmungsgeräten nach ausgewählten Kriterien wie Herstellbarkeit, Funktion, Zuverlässigkeit, Nutzerfreundlichkeit sowie behördlicher Zulassung. Für die Bewertung der Leistungsfähigkeit von Open-Source-Lösungen wurde die Kriterienliste in enger Zusammenarbeit zwischen Public Invention und dem Fraunhofer IPK erweitert. Gegenwärtig befindet sich das Projekt in einer Interviewphase, um die praktischen Erfahrungen und Einblicke der Community zu dokumentieren und für weiterführende Forschungsprojekte verfügbar zu machen. Die Ergebnisse finden Sie auf der Webseite des Fraunhofer IPK als Open-Access-Bericht.

»Bereits jetzt wird deutlich, dass Open-Source-Hardware proprietäre Technologieentwicklungen wirkungsvoll ergänzen kann,

gerade auch um gemeinsam globale Krisen zu bewältigen«, sagt Sonika Gogineni, Projektkoordinatorin am Fraunhofer IPK. »Der große Vorteil ist, dass dringend benötigte Produkte direkt an den Einsatzorten hergestellt, gewartet und modifiziert werden können.« Dennoch stehen Open-Source-Produzenten vor vielfältigen Herausforderungen wie der Einrichtung von Lieferketten, der dezentralen Zertifizierung und der Integration von Feedback-Schleifen aller Beteiligten. Vor diesem Hintergrund stellt OPEN.Effect sicher, dass die entwickelten und produzierten Beatmungsgeräte alle notwendigen medizinischen Regularien einhalten und auch sicher hergestellt werden können. ♦

IHRE ANSPRECHPARTNERIN

Sonika Gogineni | +49 30 39006-175
sonika.gogineni@ipk.fraunhofer.de

»Bereits jetzt wird deutlich, dass Open-Source-Hardware proprietäre Technologieentwicklungen wirkungsvoll ergänzen kann, gerade auch um gemeinsam globale Krisen zu bewältigen.«

Sonika Gogineni

Weitere Informationen:
www.ipk.fraunhofer.de/open-effect



© phonlamaiphot / Adobe Stock

Mit Innovationen Chancen sichern

Die Erfahrungen aus zurückliegenden Konjunkturinbrüchen zeigen, dass Unternehmen, die auch in Krisenzeiten innovationsstark bleiben, deutlich widerstandsfähiger sind als andere. Roland Bent, CTO von Phoenix Contact und Eckart Uhlmann, Institutsleiter des Fraunhofer IPK diskutieren vor dem Hintergrund der aktuellen Pandemie, wie Unternehmen schwierige Phasen nicht nur meistern, sondern an ihnen wachsen können.

© Phoenix Contact



Roland Bent

ist seit 1984 bei Phoenix Contact in Blomberg tätig. Als CTO und Mitglied der Geschäftsführung ist er für Marketing und Produktentwicklung sowie Innovations- und Technologiemanagement zuständig.



Eckart Uhlmann

ist Institutsleiter des Fraunhofer IPK und Universitätsprofessor für das Fachgebiet Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik am IWF der Technischen Universität Berlin.

DERWENT TOP 100 GLOBAL INNOVATORS™ 2020

Das Ranking wird jährlich von Clarivate Analytics erstellt, um Unternehmen und Forschungseinrichtungen an der Spitze des Innovationsökosystems zu identifizieren. Gemessen werden die patentierten Ideen von über 14.000 Unternehmen hinsichtlich ihrer Investitionshöhe, Wirkung und Qualität. Phoenix Contact ist als einziges deutsches Unternehmen aktuell unter den Aspiranten auf die Top 100 gelistet. Fraunhofer hat in 2014 als einzige europäische Forschungsinstitution den Sprung in die Top 100 geschafft und sich seitdem dort behaupten können.

PHOENIX CONTACT

Ist als einziges deutsches Unternehmen aktuell unter den Aspiranten für die »Top Global 100 Innovators«. Das Familienunternehmen ist ein weltweit agierender Marktführer für Komponenten, Systeme und Lösungen im Bereich der Elektrotechnik, Elektronik und Automation mit Sitz im westfälischen Blomberg. Unternehmensgründer Hugo Knümann entwickelte 1928 zusammen mit den Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerken die erste modulare Reihenklemme und meldete sie zum Patent an.

2.860

Schutzrechte

17.600

Mitarbeiter weltweit

2,48 Mrd.

Euro Umsatz

18

Unternehmen in Deutschland

55

Vertriebsgesellschaften und ...

11

Produktionsstandorte weltweit

FRAUNHOFER

Ist seit sieben Jahren in Folge unter den »Top Global 100 Innovators«. Als weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung konzentriert sich die Fraunhofer-Gesellschaft auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie.

7.050

Patente

28.000

Mitarbeiter weltweit

2,8 Mrd.

Euro Forschungsvolumen

74

Institute in Deutschland

20

Standorte weltweit

| futur | **Herr Bent, Phoenix Contact ist als einziges deutsches Unternehmen laut Clarivate einer von weltweit 24 »Innovators to watch« für das Ranking der »Top 100 Global Innovators«. Was ist Ihr Erfolgsgeheimnis?**

/ BENT / Das ist, glaube ich, unser Wille, die Dinge immer noch ein bisschen besser zu machen. Wir haben den Anspruch, technologisch führend zu sein. Das liegt in der DNA von Phoenix Contact und wird von der Inhaberfamilie vorgelebt und prägend als Unternehmensphilosophie unseren Mitarbeitenden weitergegeben. Hinzu kommt: Wir haben unser Produktportfolio für ein Unternehmen unserer Größe außergewöhnlich breit aufgestellt. Wir decken die industrielle Automatisierungs- und Verbindungstechnik komplett ab und das mit einer hohen Wertschöpfungstiefe und dem Anspruch, die Technologien, die wir dazu benötigen, auch selbst zu beherrschen. Das reicht von der Reihenklemme, einem einfachen verbindungstechnischen Element bis hin zu Cybersecurity, Software und Cloud-Konnektivität. Wir wollen Trends nicht nur folgen, sondern sie auch setzen. Und wir wollen auf dem Treppchen stehen, wenn die Marktanteile verteilt werden.

| futur | **Herr Uhlmann, wie gelingt es Fraunhofer sich seit sieben Jahren im Ranking zu behaupten?**

/ UHLMANN / Das wurde uns quasi in die Wiege gelegt. Fraunhofer wurde ja 1949 gegründet, um der Wirtschaft nach dem Zweiten Weltkrieg wieder auf die Beine zu helfen. Und zwar mit anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung und dem Anspruch, neue Ideen und Technologien in Produkte umzusetzen, die sich im Markt durchsetzen können. Dieses zur Innovation verpflichtet sein ist auch das, was uns heute noch antreibt. Die Verwertung der Lösungen, die wir als Prototypen bis zur Anwendungsreife entwickeln, spielt

deshalb eine zentrale Rolle in unserem Innovationsprozess. Deshalb zählt Fraunhofer weltweit zu den aktivsten Patentanmeldern.

| futur | **Welche Rahmenbedingungen sind für eine erfolgreiche Innovationsstrategie notwendig?**

/ BENT / Zunächst einmal muss sie mit der Unternehmensstrategie verzahnt sein. Das klingt trivial, ist aber nicht immer der Fall. Und Sie brauchen vor allem eine Innovationskultur. Wir brauchen Mitarbeitende, die sich als Unternehmer fühlen und Verantwortung für den Erfolg des Unternehmens übernehmen. Wir brauchen Risikobereitschaft: Fehler gehören zu einem Erfolg dazu. Marktnähe: Ein Entwickler, der nie die Anwendung seiner Produkte sieht, schöpft sein Potenzial nicht aus. Vertrauen: Wenn jemand ständig um seinen Arbeitsplatz fürchtet, dann wird er auch nicht kreativ sein. Und Transparenz: also wirklich miteinander zu reden, statt über einander. Wenn man das beherzigt, entsteht Begeisterung bei den Mitarbeitenden – für ihr Unternehmen und für dessen Innovationen.

/ UHLMANN / Bei uns am IPK kommt hinzu: Wir benötigen ein breites Grundlagenwissen als Basis für unsere anwendungsorientierte Forschung. Unsere Innovationsstrategie heißt deshalb Allianz. Wir arbeiten sehr eng mit unserem Partnerinstitut an der TU Berlin und der Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung BAM zusammen und transformieren deren Ergebnisse aus Grundlagenprojekten in anwendungsreife Lösungen. Und das in Losgröße 1: Wir verkaufen nicht millionenfach eine Klemme, sondern wir verkaufen eine Technologie ein einziges Mal. Wir haben deshalb eine große Varianz an Kompetenzen und Methoden sowie eine hohe Interdisziplinarität, um nicht nur Einzelkomponenten, sondern Gesamtsysteme anbieten zu können.

| futur | **Eine im Mai erschienene McKinsey-Umfrage unter Mittelständlern hat ergeben: Je höher die Anstrengungen/Investitionen der Unternehmen in Digitalisierung desto besser schätzen sie ihre eigene Umsatzprognose ein. In welchem Bereich sehen Sie aktuell das größte Potenzial bzw. den größten Bedarf an Digitalisierungslösungen?**

/ BENT / Neben den Wertschöpfungsprozessen sind das vor allem die administrativen Prozesse. Wir haben heute fast in allen Unternehmen mehr oder weniger gut integrierte ERP-Systeme, aber ansonsten einen niedrigen Automatisierungsgrad in der Administration. Das gleiche gilt für die Produktentwicklung sowie Marketing- und Vertriebsbereiche. Momentan treiben uns auch sehr stark die großen gesellschaftlichen Probleme. Nehmen Sie die Sustainable Development Goals der UN. Die Lösungen, die man für diese Herausforderungen braucht, sind sehr stark technischer Natur. Eine Energiewende, eine Mobilitätswende wird ohne Digitalisierung nicht gelingen. In der Corona-Krise lernen wir gerade, wie Digitalisierung auch helfen kann, unsere Unternehmen und unsere Wertschöpfungsketten resilienter zu machen. Angefangen beim Home-Office bis hin zur Möglichkeit, Produktion wieder in Hochlohnländer zurückzuholen, indem man intelligent automatisiert und dadurch die Fragilität von globalen Wertschöpfungsketten relativiert.

/ UHLMANN / Ich denke, wir brauchen vor allem digital durchgängige Wertschöpfungsnetzwerke. Hier können wir an Dynamik gewinnen, auch bei der Integration von KMU als Systemlieferanten. Crowd Production hat als Konzept Potenzial für die digitale Vernetzung einzelner spezialisierter Firmen, die dann als One Face to the Customer agieren. Auch bei der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle – weg vom Verkauf eines Produkts hin zum



»Vollintegrierte Produktionssystemwelten sind nur mit modularer Digitalisierung zu bewältigen.«

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

Verkauf einer Verfügbarkeit, eines Nutzens – kann Digitalisierung noch mehr unterstützen. Und dann sehe ich großes Potenzial beim Übergang von digital vernetzten Produktionsformen in nachhaltige vollintegrierte Produktionssystemwelten. Das ist eine Riesenherausforderung, die nur mit modularer Digitalisierung zu bewältigen ist.

| futur | **Die aktuellen Wirtschaftszahlen zeigen, dass die Branchen besonders hart von der aktuellen Krise betroffen sind, deren internationale Lieferketten aufgrund der Epidemie zusammengebrochen sind. Welche Auswirkungen hat das Ihrer Meinung nach für die künftige Organisation der Produktion? Werden gesamte Wertschöpfungsketten näher an die Absatzmärkte rücken?**

/ BENT / Ich glaube das, ja. Solche Effekte werden als Learnings aus der Krise eintreten. Das ist kein Argument gegen Globalisierung, sondern eine sinnhafte Reaktion auf das, was wir gerade erleben. Wir selbst

verfolgen ein Local-for-Local-Konzept. Das heißt, wir ziehen an den Standorten, an denen wir produzieren, die Wertschöpfungsketten zusammen. Das geht nicht immer, das ist auch nicht immer sinnvoll, aber wenn, dann führt es zu wesentlich robusteren Systemen. Die Digitalisierung gibt uns hier neue Möglichkeiten, die Effizienz unserer Produktionsstätten und Wertschöpfungsketten zu erhöhen, um eine stärkere lokale Autonomie auch wirtschaftlich umzusetzen.

/ UHLMANN / Lokale Netzwerke werden auch in unserer Region sehr stark forciert. Es geht ja heute nicht mehr nur um Qualität, Zeit und Kosten bei der Bewertung von Lieferketten, sondern um Dynamik und Flexibilität in der Zusammenarbeit. Gleichwohl werden die internationalen Netzwerke Bestand haben. Die Frage der Resilienz von Produktion ist gerade auch deshalb aktuell. Wie können wir schnell auf unerwartete Veränderungen reagieren, um unsere Produktionssysteme stabil zu halten? Dafür brauchen wir Lösungen. Fraunhofer hat des-

halb das Thema Resilienzforschung etabliert. Wandlungsfähigkeit und -geschwindigkeit, Robustheit, Sicherheit, Vorhersagbarkeit sind die Aspekte, die wir hier untersuchen.

| futur | **Wie wichtig ist es, nicht nur in der Fertigung, sondern auch in Forschung und Entwicklung international aufgestellt zu sein?**

/ BENT / Das ist extrem wichtig, auch für kleine und mittelständisch geprägte Unternehmen, wie wir das waren, als wir erste lokale Innovationsteams in den USA und China aufgebaut haben. Heute sind dort Teams von jeweils mehr als 100 Entwicklungsexperten aktiv. Es gehört einfach zu einer Globalisierungsstrategie dazu, vor Ort zu sein. Wir haben eine extrem hohe Konvergenz von Technologie und Wissen, und trotzdem sind die Anforderungen an Technologien in den Weltmarktregionen unterschiedlich ausgeprägt. Das können wirtschaftliche Gründe sein, andere Normen und Standards, das sind vor allem aber auch kulturelle Aspekte. Die Bedürf-

nisse eines Kunden erkennen und die Relevanz seines Problems verstehen, das funktioniert nicht über eine Distanz von 10.000 Kilometern. Und das funktioniert nicht mit dem deutschen Ingenieurverständnis, wenn es um Themen in Indien, China oder den USA geht. Deshalb engagieren wir uns nicht nur in der Produktion, sondern auch in der Forschung international.

/ UHLMANN / Die deutsche Wirtschaft ist sehr exportorientiert und auch als FuE-Dienstleister müssen wir dort sein, wo unsere Kunden sind. Für unser internationales Engagement gibt es klare Voraussetzungen: wissenschaftliche Wertschöpfung für unser Institut einerseits und positive Effekte sowohl für Deutschland als auch das jeweilige Partnerland andererseits. In São José dos Campos arbeiten wir zum Beispiel mit einer der top Engineering Universitäten Brasiliens sowie deutschen und brasilianischen Unternehmen verschiedener Branchen zusammen und unterstützen SENAI, den brasilianischen nationalen Dienst für industrielle Ausbildung bei der strategi-

schen Planung und landesweiten Implementierung von Forschungsinstituten.

| futur | **Welche Empfehlung geben Sie anderen Unternehmen wie Ihnen selbst, aber auch Mittelständlern, mit denen Sie zusammenarbeiten bis hin zu Start-ups, um im internationalen Wettbewerb in Zukunft die Nase vorn zu haben?**

/ BENT / Denken Sie visionär. Denken Sie an zukünftige Möglichkeiten und überlegen Sie, was nötig ist, um diese Ziele zu erreichen. Damit können Sie auch scheinbare Grenzen überwinden. Ich gebe Ihnen ein Beispiel: Wir sind heute einer der führenden Anbieter von Ladesteckersystemen für Elektromobilität. Vor zehn Jahren war E-Mobility fast nur ein Thema für Freaks. Wir haben uns damals entschieden, auf dieses Pferd zu setzen, weil wir bestimmte Annahmen und technologische Erkenntnisse hatten, weil wir auch gesagt haben, wir können das. Heute ist das ein sehr erfolgreiches Geschäftsfeld

für uns mit mehr als 300 Mitarbeitenden und einem Millionenumsatz im oberen zweistelligen Bereich. Das hätte auch schief gehen können. Aber wenn man nicht bereit ist, solche Risiken einzugehen, dann kommt man nicht über die normale inkrementelle Entwicklung eines Unternehmens hinaus. Ich glaube, wir müssen gerade jetzt auch den Mut haben, Unternehmen sprunghaft weiterzuentwickeln.

/ UHLMANN / In Punkto Geschäftsmodelle muss ein Umdenken erfolgen. Vor allem Mittelständler werden nicht überleben, wenn sie wie bisher einzelne Komponenten in möglichst großen Stückzahlen verkaufen. Wir erleben ja vielfach heute schon, dass nicht mehr ein Produkt verkauft wird, sondern eine Funktion. Und Unternehmen müssen sich öffnen, eine Kooperationsfähigkeit entwickeln, um gemeinsam mit anderen Systemangeboten zu entwickeln. Das ist meine Empfehlung für KMU ebenso wie für Start-ups. Gehen Sie strategische Allianzen ein, um langfristig wettbewerbsfähig zu sein. ♦

© Phoenix Contact

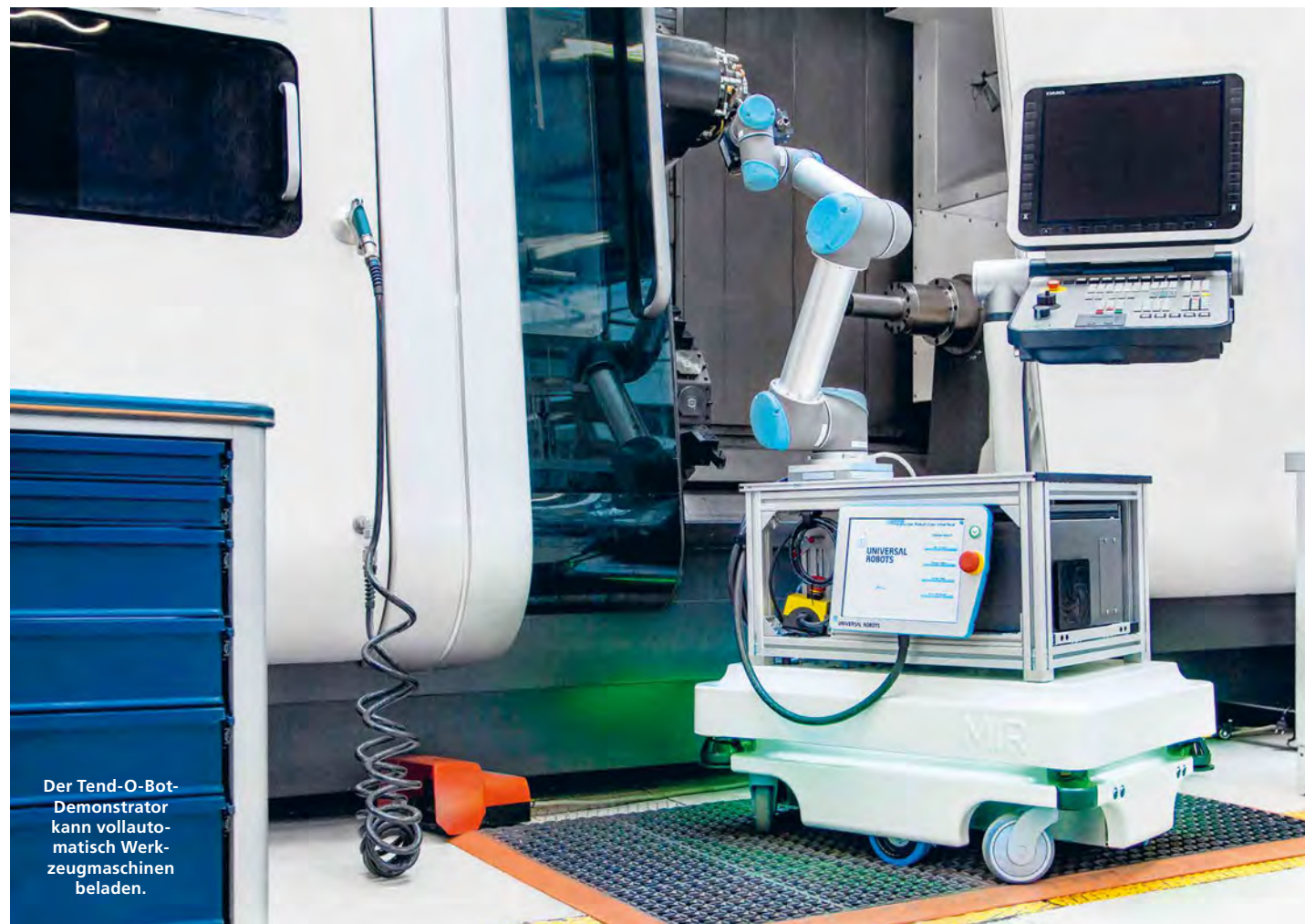


»Wenn man nicht bereit ist, Risiken einzugehen, dann kommt man nicht über die normale inkrementelle Entwicklung eines Unternehmens hinaus. Wir müssen gerade jetzt den Mut haben, Unternehmen sprunghaft weiterzuentwickeln.«

Roland Bent,
Chief Technology Officer von Phoenix Contact

Maschinen beladen mit Sinn und Verstand

Produktionsanlagen werden künftig noch flexibler verkettet sein. Tend-O-Bot erforscht den Einsatz mobiler Roboter und intelligenter Software bei der autonomen Maschinenbeladung.



Stellen Sie sich einmal die Fabrik der nahen Zukunft vor. Sicherlich sehen Sie komplexe, digital miteinander vernetzte Maschinen und Anlagen. Vermutlich ist der Automatisierungsgrad recht hoch, und die Arbeiterinnen und Arbeiter haben eher eine überwachende Funktion, als dass sie körperlich anstrengende Arbeiten verrichten müssten. Vielleicht werden die Werkzeugmaschinen

automatisiert von Transportfahrzeugen angefahren und beladen?

Die meisten dieser Vorstellungen sind heute schon mancherorts Realität. Nur die letzte Idee, die automatische mobile Beladung von Werkzeugmaschinen, gestaltet sich bisher in der Praxis schwierig. Tatsächlich bindet die Be- und Entladung

von Werkzeugmaschinen und Bearbeitungszentren bei vielen produzierenden Unternehmen heute Personalkapazitäten, die in anderen Tätigkeitsfeldern besser allokiert wären.

Erste am Markt erhältliche Systeme zur automatisierten Maschinenbeladung müssen aufwendig manuell eingerichtet werden

und vollführen dann meist starre, vorprogrammierte Bewegungsabläufe, die schrittweise abgespielt werden. Das Anfahren an die Maschinen geschieht meistens recht langsam und die Abläufe des Beladevorgangs werden erst nach der Ankunft des Transportsystems an der Maschine initiiert. Dieses schrittweise Vorgehen kostet viel Zeit, in der die Maschinen und Anlagen nicht arbeitsfähig sind. Das erzeugt Leerlauf und senkt so die Produktionseffizienz. Daneben sind die so eingerichteten Transportwege verhältnismäßig unflexibel, was die Bearbeitung kundenindividueller Aufträge erschwert.

Um den Systemen zusätzliche Bewegungsfreiheit zu verschaffen, untersucht ein Forschungsteam am Fraunhofer IPK neue Ansätze zur Kombination aus fahrerlosen Transportsystemen (FTS) und Industrierobotern. Im Rahmen des Projekts Tend-O-Bot (von engl. machine tending, Maschinenbeladung) sollen verschiedene Werkzeugmaschinen von einem mobilen Robotersystem mit möglichst unterschiedlichen Werkstücken beladen werden. Dabei soll der bislang manuell durchgeführte Einrichtungsprozess des Systems weitgehend automatisiert erfolgen.

SCHNELLER UND PRÄZISER

Das fahrerlose Transportsystem ist mit einem Roboterarm ausgestattet und hat darüber hinaus einige Mehrwertdienste und -komponenten mit an Bord. Dazu gehören eine cloudbasierte Bahnplanungskomponente sowie Kameratechnik und Wechselgreifer. Dieses System ermöglicht das automatische Beschicken von Werkzeugmaschinen mit unterschiedlichsten Werkstücken, ohne dass der Roboter manuell für jeden individuellen Auftrag programmiert werden muss. Selbst wenn das Werkstück unbekannt ist, kann der Roboter es mithilfe seiner smarten Sensorik korrekt platzieren.

Während der Fahrt können die Werkstücke mithilfe der Kameratechnik vermessen

und die Bahnplanung an der Zielmaschine vorbereitet werden. Die Bahnplanung hängt von der tatsächlichen Positionierung des fahrerlosen Transportsystems vor der Maschine sowie vom jeweiligen Innenraum und der Spannvorrichtung in der Maschine ab. Um das FTS relativ zur Maschine zu orten und den Maschineninnenraum zu vermessen, wird eine Kombination von 2D- und 3D-Kameratechnik verwendet.

Um die Kapazitätsanforderungen der mitgeführten Recheneinheit gering zu halten, wird die Berechnung der Roboterbewegungen ausgelagert. Sie findet auf leistungsfähigen Recheneinheiten wie zum Beispiel Edge-Clouds statt. Durch die zentralisierte Struktur der Robotersteuerung können mehrere Handhabungssysteme gleichzeitig bedient und auch die Fahrtplanung und das Flottenmanagement für die FTS ausgelagert werden. Die Bahnplanung des Roboterarms kann zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedliche Genauigkeitstoleranzen zulassen. So kann der Roboter bereits während der Fahrt des FTS beginnen, sich zu bewegen und korrekt zu positionieren. Während der Annäherung an den Zielpunkt steigen die Anforderungen an die Genauigkeit. Die Toleranzen werden

reduziert und die Positionierung des Roboters verfeinert.

Diese adaptive Ausrichtung während der Fahrt ersetzt das bisherige schrittweise Vorgehen »Programmierung – Anfahrt – Ausführung der programmierten Bewegung« und spart damit viel Zeit. Darüber hinaus kann die Fahrzeit des FTS auch dazu genutzt werden, das an Bord befindliche Werkstück mithilfe der eingebauten Kameratechnik zu analysieren und beispielsweise eine Qualitätskontrolle durchzuführen.

EIN DEMONSTRATOR FÜR DIE WERKHALLE

Im Rahmen des Projekts Tend-O-Bot entsteht ein funktionsfähiger Demonstrator, der die neuartige flexible Verkettung von unterschiedlichen Produktionsanlagen zeigt. Dabei sollen unterschiedliche Anforderungen ausgewählter Pilotkunden in die Gestaltung des Demonstrators mit einfließen. Aktuell läuft die Phase der Erfassung der Kundenanforderungen. ♦

IHR ANSPRECHPARTNER

Ole Kröger | +49 30 39006-464
ole.kroeger@ipk.fraunhofer.de

JETZT SIND SIE GEFRAGT!

Welche Anforderungen haben Sie in Ihrem Unternehmen an einen mobilen Roboter zur Maschinenbeladung? Erfahren Sie mehr über das Projekt Tend-O-Bot und beantworten Sie unsere kurze Umfrage, um Teil des Pilotprojekts zu werden!

→ www.ipk.fraunhofer.de/tend-o-bot



Vorsprung durch Energieeffizienz

Energieeffizienz in der Produktion ist entscheidend für den ökologischen Fußabdruck von Produkten. Wer sie schon bei der Produktentwicklung mitdenkt, sichert sich einen Vorsprung.

Modernes Energiemanagement ist für produzierende Unternehmen eine Mammutaufgabe. Steigende Preise für Energie auf dem Weltmarkt, drohende Ressourcenknappheit und die Einführung der CO₂-Abgabe machen energieeffiziente Fertigung immer wichtiger, zugleich aber komplexer. Konsumentinnen und Konsumenten wünschen sich explizit energiesparende Produkte und verhelfen diesen so zu einem stabilen, attraktiven Absatzmarkt. Höchste Zeit für Unternehmen unter Wettbewerbsdruck, sich Gedanken zu machen: Wie können sie sowohl ihre Produktion als auch ihre Produkte frühzeitig und ganzheitlich nach Energieeffizienzkriterien gestalten? Welche Rolle spielt die Produktentwicklung? Und welche neuen Lösungen können sinnvoll in ihre Produktionsprozesse integriert werden?

AM ANFANG WAR DIE PRODUKTENTWICKLUNG

Entscheidungen, die eine Produktentwicklerin oder ein Designer noch vor dem ersten Prototyp treffen, haben einen direkten Einfluss auf den ökologischen Fußabdruck eines Produktes. Am Fraunhofer IPK wird deshalb erforscht, wie die Nachhaltigkeit von Produkten entlang des gesamten Lebenszyklus verbessert werden kann. Um Produkte möglichst nachhaltig zu gestalten, muss das Produkt selbst nicht nur im Betrieb strom- oder kraftstoffsparend sein. Auch der Energieverbrauch bei der Herstellung muss möglichst klein gehalten werden. Laut Umweltbundesamt ist die Industrie der zweitgrößte Energieverbraucher Deutschlands, nach dem Verkehr und vor den Privathaushalten. Da der deutsche Strommix noch immer zu knapp zwei Drittel aus »konventionellen Energieträgern« (sprich fossile Brennstoffe plus ein schrumpfender Anteil an Kernenergie) besteht, bedeutet das eine Menge Treibhausgasemissionen. Der Energieverbrauch der deutschen Industrie ist im

Vergleich zu 1990 zurückgegangen und hat sich in den letzten Jahren auf einem stabilen Niveau eingependelt. Im Mobilitätssektor haben sich Energieeffizienzmaßnahmen in der industriellen Praxis etabliert und machen sowohl Autos als auch deren Produktion zunehmend energiesparend. So hat sich der Kraftstoffverbrauch eines Durchschnitts-PKW im gesamten Zeitraum von 1995 bis 2017 um 1,4 Liter pro 100 Kilometer verringert. Andererseits wirken Wirtschaftswachstum und Konsumsteigerung dem entgegen und verhindern, dass der Energieverbrauch weiter sinkt.

Ein Team vom Fraunhofer IPK erprobt nun, wie man bereits in der Produktentwicklung den Grundstein für eine energieeffizientere Produktion legt. Das Forschungsteam erarbeitet dafür ein unternehmensspezifisches Modell, anhand dessen Entscheidungen in der Produktentstehung und Prozessplanung und deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch in der Produktion qualitativ bewertet werden können: das sogenannte Design-Dependencies-Modell für energieeffiziente Entscheidungen in der Produktentstehung (DEEP). Ziel ist es, für die relevanten Entscheider schon in den früheren Phasen der Produktgestaltung Transparenz darüber zu schaffen, an welchen Stellen der werksinternen Produktion wie viel Energie verbraucht wird. Um das entwickelte Modell anhand realer Energiedaten nachzuvollziehen, wird zu Beginn der Einführung eines solchen Modells ein repräsentatives Beispielprodukt oder -system identifiziert. Geeignet sind insbesondere Produkte, die große Spielräume für Entscheidungen über Produktgestaltung und Produktionsprozesse in der Entwicklungsphase besitzen. Damit hat das Forschungsteam eine geeignete Grundlage, um Potenziale zur Optimierung des Energieverbrauchs zu identifizieren. Wenn Unternehmen ein solches Modell umsetzen und als Basis für Feedback-to-Design – die Rückführung von Informationen in die Design-Phase – einsetzen wollen, muss zunächst die methodische Grundlage für das Konzept einer Entscheidungsunterstützung gelegt werden. Dies erfolgt in drei Schritten:

Schritt 1: MODELLIERUNG DER ENTSCHEIDUNGSWEGE

Im ersten Schritt werden die relevanten Entscheidungen in der Produktentwicklung und Prozessplanung identifiziert und in einem von Fraunhofer IPK-Wissenschaftlerinnen entwickelten Tool modelliert. Dazu werden die Entscheidungen an die Aktivitäten im aufgenommenen Entscheidungsprozess geknüpft.



1

Bilder:

1

Produktion eines Nockenwellenrohrs

2

Das Team des Fraunhofer IPK gemeinsam mit Carsten Klemm, Mercedes-Benz AG (links im Bild) in der Produktion des Nockenwellenrohrs im Berliner Werk
© Mercedes-Benz Werk Berlin



2

Resultat ist ein Modell mit allen relevanten Entscheidungen, deren Lösungsraum und konkret gewähltem Lösungsergebnis. Zudem sind auch die Informationsflüsse im Unternehmen dargestellt: also die Daten und Modelle, die von der ersten Idee bis hin zum Produktionsstart erstellt werden. Der methodische Ansatz hinter dem Tool fußt auf der Theorie des ganzheitlichen Entwicklungsumfeldes (EOS). Dementsprechend werden auch die IT-Systeme und verantwortlichen Rollen als Teil dieser Entscheidungswege mit modelliert.

Schritt 2: MODELLIERUNG DER ABHÄNGIGKEITEN VON ENERGIEVERBRAUCH UND DESIGNENTSCHEIDUNGEN

Anschließend werden die Entscheidungen, Lösungsräume und Resultate aus dem Modell extrahiert. Die Abhängigkeiten von Energieverbrauch und Designentscheidungen werden dann mithilfe des Design Dependencies Visualization Tool (DDVT), welches von der TU Berlin entwickelt wurde, modelliert.

Schritt 3: VERKNÜPFUNG UND IDENTIFIKATION VON ENERGIEEINSPARUNGSPOTENZIALEN

Zur Verknüpfung werden die in der Produktion erfassten Energiedaten ausgewertet, auf das einzelne Produkt rückgerechnet und mit den Designentscheidungen verknüpft. Dadurch können Transparenz für Entwicklung und Planung geschaffen und Energieeinsparungspotenziale identifiziert werden. Als konkretes Ergebnis

wollen die Wissenschaftlerinnen langfristig ein ganzheitliches Feedback-to-Design-Modell und ein Softwarewerkzeug entwickeln. In einem industriellen Anwendungsfall wurde diese Methode erprobt.

ANWENDUNGSFALL: AUTOMOBILPRODUKTION

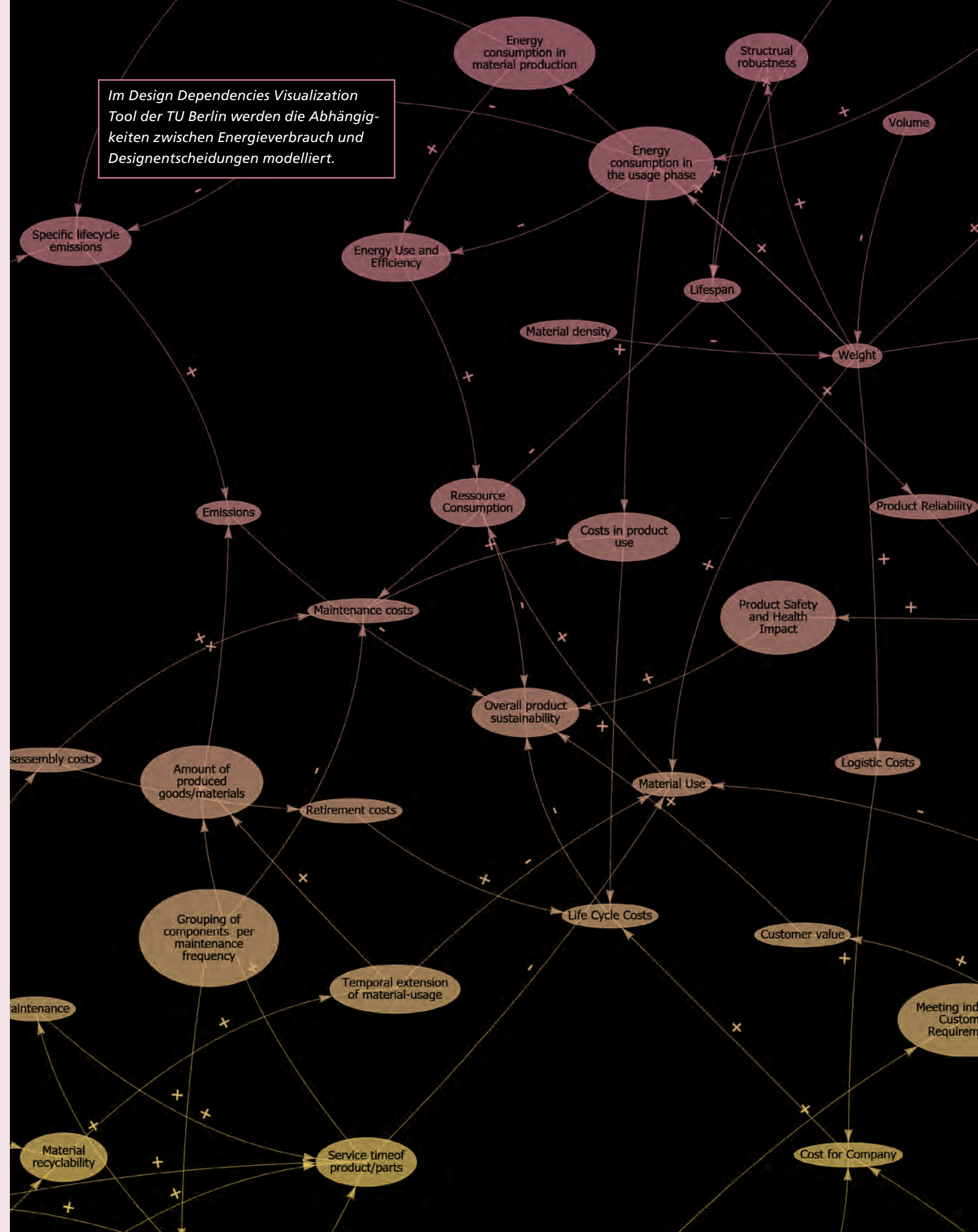
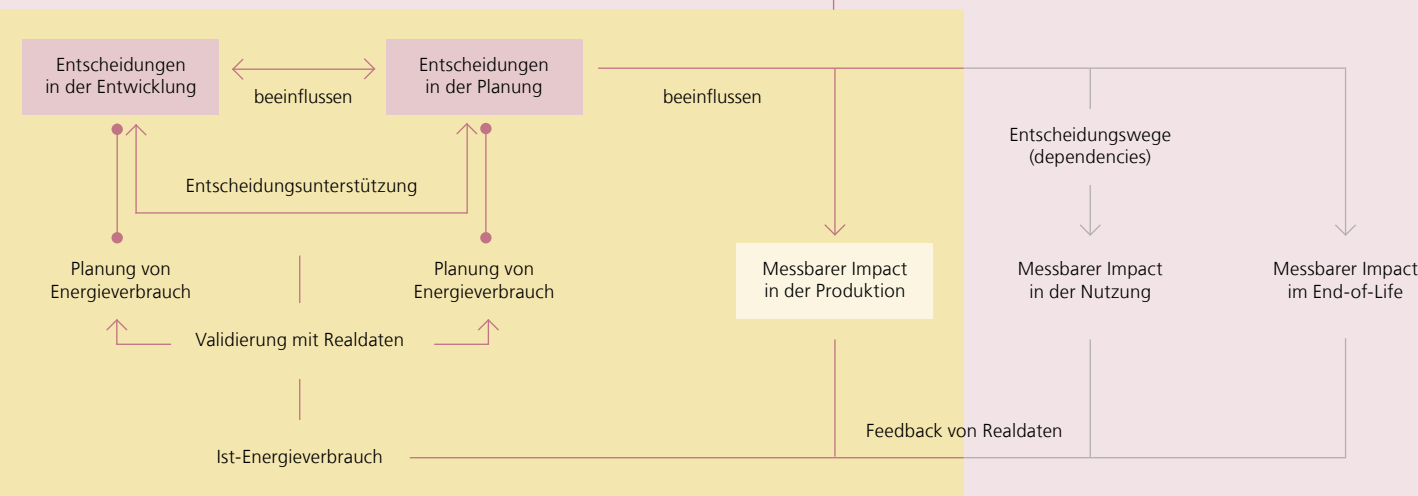
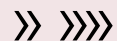
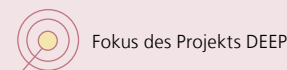
Die prototypische Erprobung wurde in Kooperation mit der Mercedes-Benz AG im Werk in Berlin-Marienfelde umgesetzt. Das unternehmensspezifische Modell bildet anhand des Beispielproduktes Nockenwellenrohr ab, wie die Entscheidungen im Rahmen der Produktentwicklung und der Produktionsplanung den Energieverbrauch in der Produktionsphase beeinflussen. Damit kann das Unternehmen seine Produktionsentscheidungen auf eine solide Datenbasis stellen und langfristig ein Empfehlungssystem für eine nachhaltige Produktion entwickeln. Die Energieverbrauchsdaten werden zukünftig kontinuierlich erhoben. Das Forschungsteam hofft, diese langfristig so auswerten zu können, dass daraus (teil)automatisiert Empfehlungen für Produkt- und Produktionsentscheidungen abgeleitet werden können. Die Erkenntnisse der Erprobung dienen so als Entscheidungsunterstützung für die nachhaltigere Gestaltung von Produkten und Produktionsprozessen. ♦

IHRE ANSPRECHPARTNERIN

Theresa Riedelsheimer | +49 30 39006-219
theresa.riedelsheimer@ipk.fraunhofer.de

PROJEKT DEEP

Qualitatives Design-Dependencies-Modell für energieeffiziente Entscheidungen in der Produktentstehung



Im Design Dependencies Visualization Tool der TU Berlin werden die Abhängigkeiten zwischen Energieverbrauch und Designentscheidungen modelliert.

Sind Sie bereit?

Digitale Zwillinge sind die Zukunft, darin sind sich Unternehmen einig. Doch wie sieht es mit der Gegenwart aus?

Mit dem Digital Twin Readiness Assessment haben wir eine innovative Vorgehensweise entwickelt, um den Reifegrad von Unternehmen auf dem Weg zum Digitalen Zwilling strukturiert zu ermitteln und zu bewerten. Dies hilft Unternehmen herauszufinden, wo sie stehen und unterstützt gleichzeitig die Entwicklung, Einführung und den Betrieb von Digitalen Zwillingen. In einer gemeinsamen Studie von Fraunhofer IPK und msg wurde das Reifegradmodell jetzt auf 26 Unternehmen der fertigen Industrie in der DACH-Region angewendet. Dabei konnten wir spannende Erkenntnisse dazu gewinnen, vor welche Herausforderungen Digitale Zwillinge Unternehmen stellen, welche Vorteile sie bringen, und wie sie sich schon in naher Zukunft auf Geschäftsmodelle und am Arbeitsmarkt gefragte Skills auswirken werden. Einen Vorgeschmack auf die Studie geben hier einige der Befragten, Herausgeber und Autorinnen der Studie.

↳ Die komplette Studie gibt es gratis zum Download unter www.ipk.fraunhofer.de/readiness



Andrea Denger
PROGRAM MANAGER INFORMATION MANAGEMENT BEI AVL LIST GMBH

»Der Digitale Zwilling bietet für AVL nicht nur einen Mehrwert in der virtuellen Abbildung aller relevanter Eigenschaften smarter IoT-Objekte entlang des Produktlebenszyklus, sondern vor allem in seiner Verwendung als fundamentale Grundlage für neue, digitale Angebote.«



Matthias Schultalbers
CHIEF DIGITAL OFFICER, IAV

»Dank des Digitalen Zwillings können wir unseren Kunden eine höhere Qualitätssicherung durch größere Testtiefe bieten. Zugleich sparen wir durch die digitale Simulation Ressourcen ein, erhöhen die Entwicklungsgeschwindigkeit und überführen Kundenprojekte damit schneller in die Serienreife.«



Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark
LEITER DES GESCHÄFTSFELDES VIRTUELLE PRODUKTENTSTEHUNG AM FRAUNHOFER IPK

»Erst durch die unternehmensübergreifende Kollaboration und eine Vernetzung der Digitalen Zwillinge entfaltet sich das ganze Potenzial des Ansatzes.«

Dr. Michael Hoffmeister
DIGITAL BUSINESS – EXECUTIVE EXPERT, FESTO

»Um ein Geschäftsmodell für den Digitalen Zwilling fit zu machen, müssen Angebote aus Hardware, Software und Service ganzheitlich gedacht und geeignete Abrechnungsmöglichkeiten gefunden werden. Eine Datenanbindung muss etabliert und der Vertrieb der Produkte adäquat gestaltet werden.«



Markus Samarajiwa
LEAD BUSINESS CONSULTANT, MSG

»Unternehmen müssen ihre Datensilos aufbrechen, um mit ihren Digitalen Zwillingen wettbewerbs- und zukunftsfähig zu sein.«



Heiko Witte
BUSINESS DEVELOPMENT MANAGER DIGITAL, ROLLS-ROYCE DEUTSCHLAND

»Für die Digitalen Zwillinge sind funktionsübergreifende Skills notwendig. Zusätzlich zu den nötigen digitalen Fähigkeiten der Dateninnovation und CyberSecurity werden die Fähigkeiten der »digital natives« aus den Fachabteilungen ebenso notwendig sein wie agiles Management und agile Prozessmethoden und entsprechende Prozessspezialisten.«

Thomas Seeger
PLM PROFESSIONAL / CAX SYSTEM MANAGER INFORMATION TECHNOLOGY, AUTO-KABEL MANAGEMENT

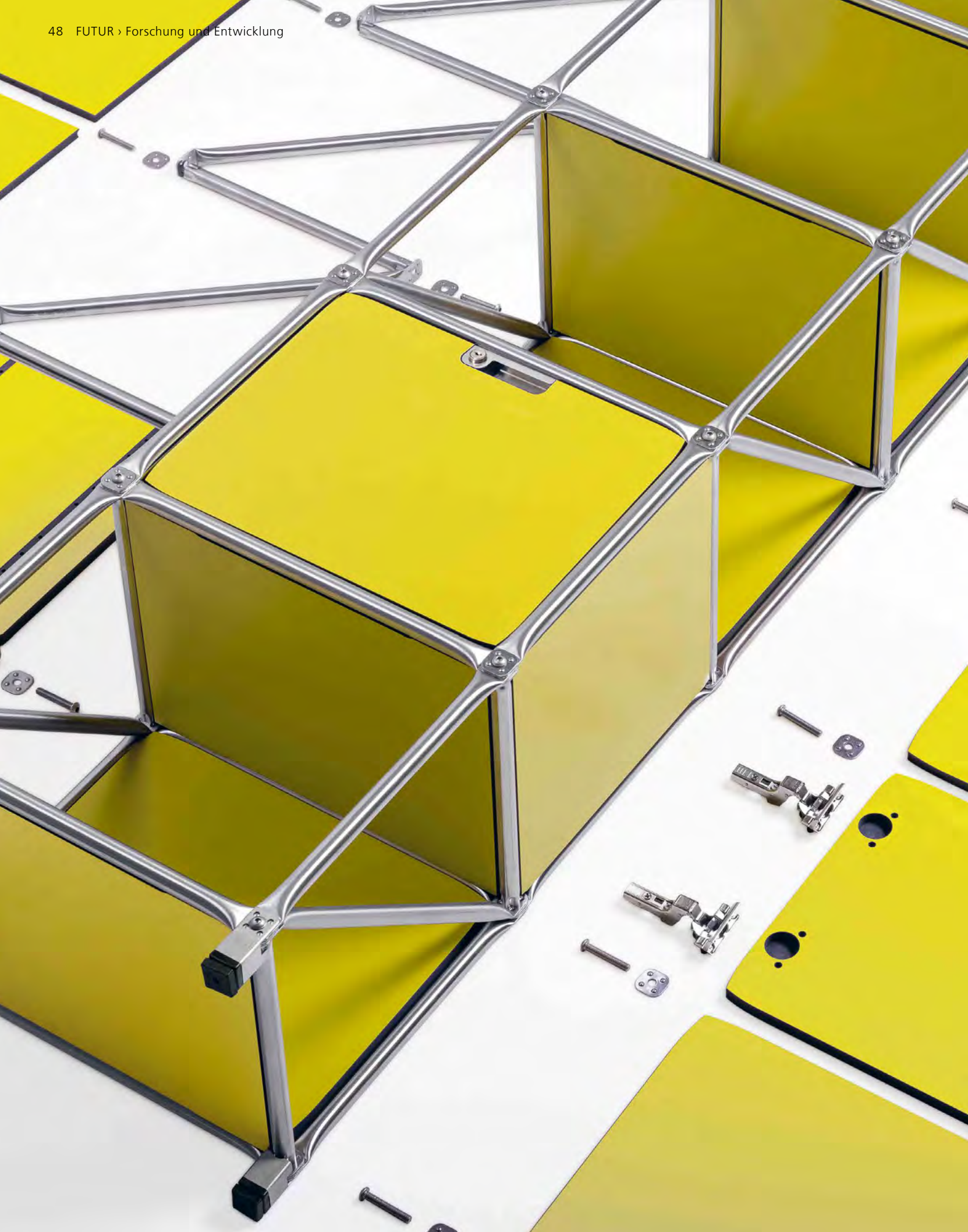
»Die größte Herausforderung für die Entwicklung Digitaler Zwillinge ist das Überwinden von Schnittstellenproblematiken. Der Digitale Zwilling benötigt Sensoren, Konnektivität und definierte Datenstrukturen.«



Theresa Riedelsheimer
STELLVERTRETENDE ABTEILUNGSLEITERIN INFORMATIONS- UND PROZESSSTEUERUNG AM FRAUNHOFER IPK

»Für unsere Forschung ist insbesondere interessant, dass viele Unternehmen Digitale Zwillinge auch für die Nachhaltigkeitsoptimierung einsetzen wollen – häufig zur Energieeffizienzsteigerung. Zudem werden wir die Themen Intelligenz und Vernetzung Digitaler Zwillinge in unseren zukünftigen Forschungstätigkeiten weiter fokussieren.«





Aufbruch in die kreislauforientierte Möbelindustrie

New Work revolutioniert die Anforderungen an den Arbeitsplatz: Das Umfeld muss sich an die Menschen anpassen. Möbelindustrie und Design haben darauf reagiert und bieten flexible Arbeitswelten an.

Möbel sind künftig zunehmend nicht mehr nur funktionale Einrichtungsgegenstände, sondern übernehmen zunehmend gestalterische Funktionen. Sowohl die Arbeit im Team mit offenen, kommunikationsfördernden Strukturen, als auch Ruheoasen, die Konzentration fördern, verlangen neuartige Raumkonzepte. Die dafür notwendige Flexibilität und Agilität stellen die Möbelbranche vor neue Herausforderungen. Während herkömmliche Büroeinrichtungen auf eine langfristige Nutzung innerhalb eines Unternehmens ausgelegt waren, müssen nun mehr Lösungen für variable und ressourceneffiziente Einrichtungskonzepte gefunden werden.

WAS TUN MIT AUSGESONDERTEN MÖBELN?

Branchen wie der Mobilitätssektor zeigen wie es geht: Die Einführung innovativer Sharing- und Leasingkonzepte führt zu einem Umdenken im Besitz von materiellen Konsumgütern und ermöglicht Anbietern, sich besser auf die neuen Kundenbedürfnisse einzustellen. Auch der Möbelsektor orientiert sich an etablierten Ideen verwandter Märkte. So strebt IKEA an, bis 2030 ein zirkuläres und klimafreundliches Unternehmen zu werden, indem sie Kunden dabei unterstützen, Material und Komponenten möglichst häufig wiederzuverwenden. Zudem unterstützt die Digitalisierung die Produktplatzierungen durch Plattformen wie Opendsk, einem Onlinemarktplatz, der Kunden mit unabhängigen lokalen Möbelbauern und -designern verbindet.

PLATTFORMÖKONOMIE TRIFFT KREISLAUFWIRTSCHAFT

Die Möbel aller Unternehmen und Organisationen, die nach dem ersten Gebrauchszyklus keine Verwendung mehr haben, brauchen eine ressourcenschonende Lösung. Lassen sich Modelle der Wiederverwendung durch Miete, Leasing oder Abonnement auch auf weitere Möbelhersteller übertragen? Was ist notwendig, um Einrichtung so effizient wie möglich zu verwenden? PERMA (Plattform zur effizienten Ressourcenauslastung in der Möbel- und Ausstattungsindustrie) ist ein

Lassen sich Modelle der Wiederverwendung durch Miete, Leasing oder Abonnement auch auf weitere Möbelhersteller übertragen?

Bild:
Hochwertige lokal produzierte Systemmöbel können einfach in ihre Bauteilkomponenten zerlegt werden.
©System 180 GmbH

Verbund aus verschiedenen Akteuren aus Wissenschaft und Praxis und erforscht Lösungen für diese Herausforderungen. Potenziale liegen in der Verbindung zwischen Plattformökonomie und Kreislaufwirtschaft: Der Aufbau eines starken kreislaforientierten Ökosystems stellt die Basis für die Entwicklung neuer plattformorientierter Geschäftsmodelle in der Möbel- und Ausstattungsindustrie dar. Daraus ergeben sich neuartige Produktlebenszyklen und herstellerübergreifende Kompatibilitätsrichtlinien. Folglich können Unternehmen ihr Büro künftig nicht nur gemäß den Ansprüchen an moderne Arbeitsabläufe ausstatten, sondern gleichermaßen nachhaltige und flexible Wieder- und Weiternutzungen von Produkten in werterhaltender Form gewährleisten.

EINE PLATTFORM ALS ALLROUNDER

PERMA möchte einen Rahmen schaffen, der nicht nur Herstellende und Nutzende zusammenbringt, sondern zudem den Wissensaustausch zu Themen rund um Instandhaltung, Wiederverwendung, Aufarbeitung, und Recycling im Sinne der Lebensdauerverlängerung von Möbeln und Möbelteilen fördert. Die Plattform zielt dabei auf Geschäftskunden aus dem privaten und öffentlichen Sektor ab, mit der Motivation, Investitionen über das gesamte Produktleben zu verteilen und eine weitreichende funktionale Flexibilität zu erhalten. Hier sind Miet- oder Abonnementmodelle das Mittel der Wahl. Bewertungssysteme sollen zugleich den Kunden Orientierung bieten und andererseits die Hersteller dazu anregen, Möbel wiederverwendungsgerecht zu konstruieren. PERMA plant Vergleichs- und Bewertungsmöglichkeiten, einen Online-Marktplatz sowie Vermittlungsdienste anzubieten und damit maßgeblich zur Erhöhung der Ressourceneffizienz beizutragen. ♦

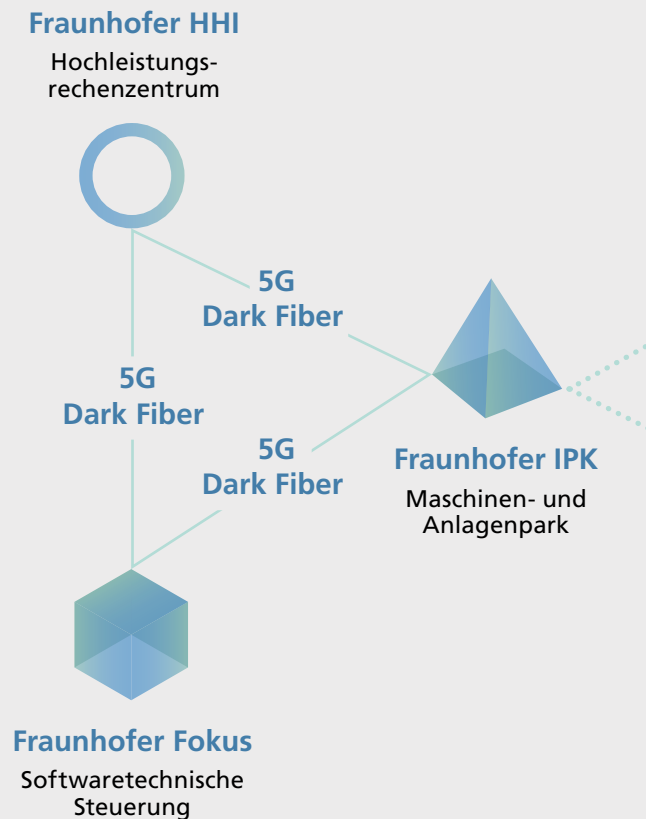
IHRE ANSPRECHPARTNERIN

Antje Klemichen | +49 30 39006-449
antje.klemichen@tu-berlin.de

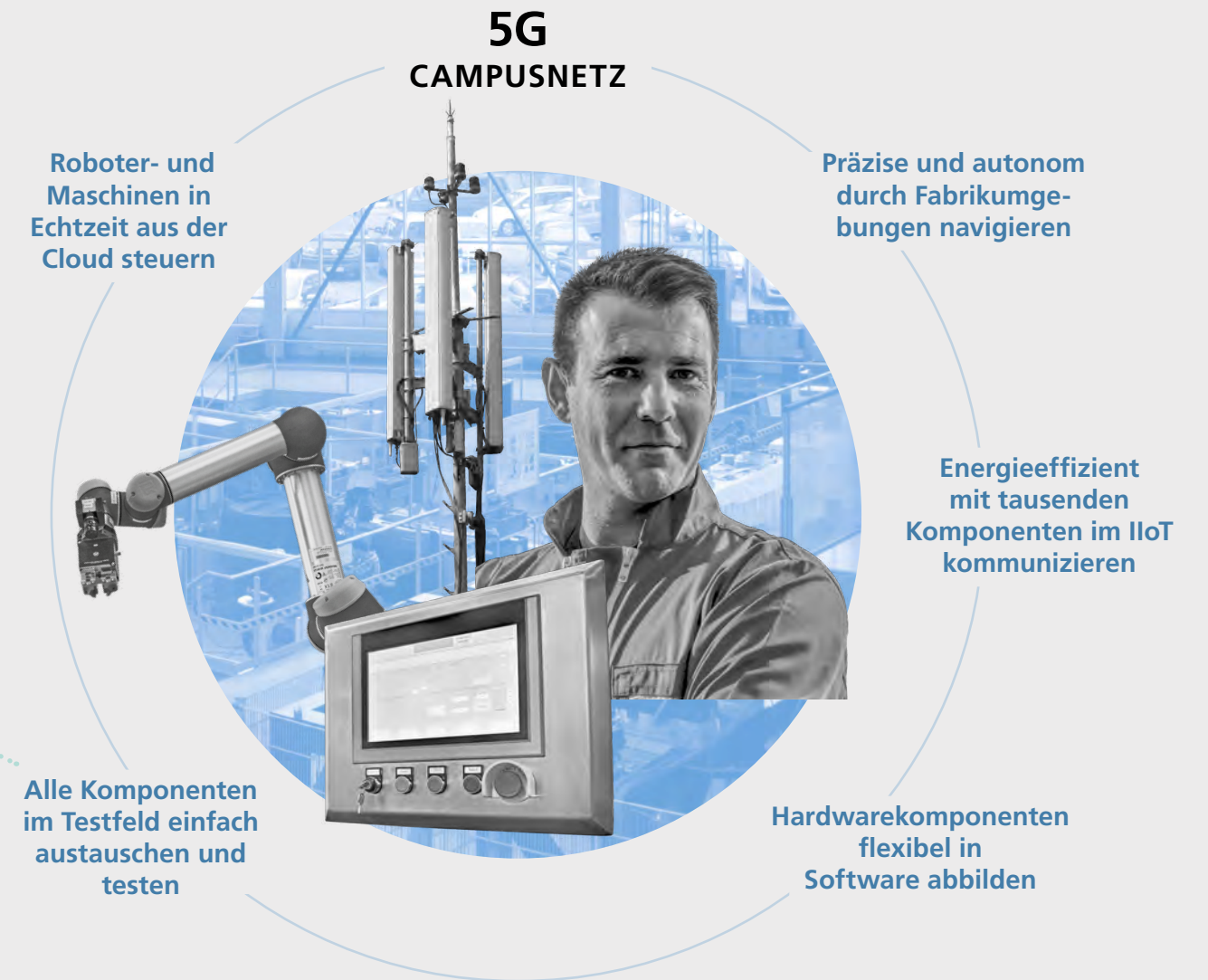


Software-defined 5G Factory

Ab Ende 2020 können Unternehmen im Versuchsfeld des Produktionstechnischen Zentrums Fabrikprozesse in einer 5G-Infrastruktur testen – dank des Fraunhofer-Leistungszentrums Digitale Vernetzung.



Gebündeltes Know-how
Für die 5G-vernetzte Zukunft kooperieren Berliner Fraunhofer-Institute mit den Forschungsschwerpunkten IoT, Cyber Physical Systems, Industrie 4.0 und 5G-Technologien im Leistungszentrum Digitale Vernetzung.



Gelebte Forschung im Campusnetz
An der 5G-Infrastruktur des Maschinenparks des Produktionstechnischen Zentrums werden industrielle Anwendungsszenarien umgesetzt, die Menschen, Maschinen und Prozesse in Echtzeit verbinden.
© Photojope, © Sergey Ryzhov - stock.adobe.com, © franck camhi-vision

Mit dem Mobilfunkstandard 5G sind hohe Erwartungen an eine umfassende Vernetzung von Menschen, Objekten und Prozessen in der industriellen Produktion verbunden. Eine größere Bandbreite bedeutet schnellere Übertragungsgeschwindigkeiten, um große Datenpakete in Echtzeit übertragen zu können. Damit ermöglicht 5G eine robuste, ausfallsichere Kommunikation zur Vernetzung von intelligenten Maschinen und Geräten im Internet der Dinge (IoT) und die Umsetzung einer verteilten Produktion. So können Produktions- und Serviceprozesse in der Industrie effektiver und effizienter durchgeführt werden.

ZUKÜNFTIGE TECHNOLOGIEN LIVE ERPROBEN

Im Leistungszentrum Digitale Vernetzung forschen die vier Berliner Fraunhofer-Institute gemeinsam an der Entwicklung zukünftiger Kommunikationstechnologien in unterschiedlichen Anwendungsfeldern. Fraunhofer FOKUS, HHI und IPK sind dafür über eine Dark-Fiber-Glasfaser und eine 5G-Funkstrecke vernetzt. Basierend auf dieser echtzeitfähigen Kommunikationsinfrastruktur wird bis Ende 2020 die Software-defined 5G Factory aufgebaut, in der alle Aspekte des Fabrikbetriebs umgesetzt werden.

PERFEKT VERNETZT UND IN ECHTZEIT OPTIMIERT

Das Fraunhofer IPK stellt dieser Infrastruktur die modernsten Maschinen und Roboter seines Versuchsfelds direkt zur Verfügung, während ältere Bestandsmaschinen über Sensorik und Kommunikationsmodule nachträglich eingebunden werden. Dieses Retrofitting entwickelt das Fraunhofer IZM. Die softwareseitige Steuerung der Anlagen kann sowohl lokal am Fraunhofer IPK, als auch remote vom Fraunhofer FOKUS aus erfolgen. Eine High-Performance-Computing-Einheit (HPC) des Fraunhofer HHI übernimmt rechenintensive

Aufgaben und stellt die Auswertung an der Steuerungssoftware in Echtzeit bereit. Gekoppelt mit Prozessmanagementsystemen entsteht so ein Echtzeitcockpit, das Produktionsabläufe situativ und variabel steuert. Die Software-defined 5G Factory des Leistungszentrums Digitale Vernetzung ist als Testfeld für die Industrie konzipiert. Jede Komponente der 5G-Infrastruktur kann ausgetauscht und durch eigenentwickelte Komponenten wie Antennen, Softwaremodule oder Sensorik ersetzt werden. Basierend auf bereits vordefinierten Fabrikprozessen können Unternehmen die Funktionalität ihrer Komponenten in einer

Realumgebung testen und ihren Einfluss auf die 5G-Infrastruktur überprüfen. ♦

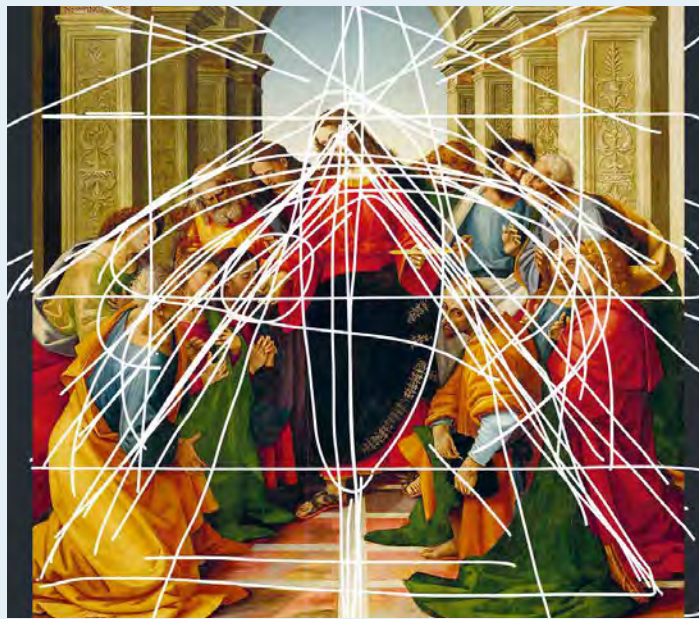
IHR ANSPRECHPARTNER
Felix Fehlhaber | +49 30 39006-226
felix.fehlhaber@ipk.fraunhofer.de

Das Leistungszentrum Digitale Vernetzung wird kofinanziert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).



WIR UNTERSTÜTZEN SIE BEI IHRER DIGITALEN TRANSFORMATION

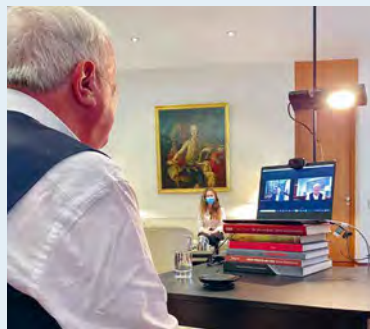
- Labtouren, Expertengespräche und Beratungsworkshops
- Wissens- und Technologietransfer
- Entwicklungs- und Projektkooperationen
- Umsetzung und Erprobung von Pilotlösungen
- Test- und Zertifizierungsunterstützung



© CReA, Institut für Kunstgeschichte, Universität Wien

Im Auge des Betrachters: Wie Menschen und Maschinen Kunst sehen

Die Frage, welche Möglichkeiten sich aus dem Spannungsfeld der Bereiche Digitalisierung, Kultur und Gesellschaft ergeben, steht im Mittelpunkt der neuen Salonreihe »Wissenschaft und Kultur im Gespräch« des Österreichischen Kulturforums Berlin und des Fraunhofer IPK. Eingeläutet wurde die Reihe am 13. November mit dem virtuellen Salon »Im Auge des Betrachters: Wie Menschen und Maschinen Kunst sehen«. Der Blick auf das Kunstwerk beschäftigt die Menschheit schon seit Jahrhunderten. Nun bieten neuartige Technologien wie das »Maschinelle Sehen« ganz neue Betrachtungsmöglichkeiten. Wie diese »andere Sichtweise« vergleichbar mit der menschlichen Wahrnehmung ist, erörterten Prof. Dr. Raphael Rosenberg, Professor für Mittlere und Neuere Kunstgeschichte an der Universität Wien, und Dr. Bertram Nickolay, Leiter der Abteilung Maschinelles Sehen am Fraunhofer IPK. ♦



© Österreichische Botschaft Berlin

Die Expertendiskussion können Sie ab jetzt online ansehen unter: www.ipk.fraunhofer.de/im-auge-des-betrachters



IHR ANSPRECHPARTNER
Dr. Bertram Nickolay | +49 30 39006-201
bertram.nickolay@ipk.fraunhofer.de

Forschen und Produzieren in Zeiten von Corona

Die COVID-19-Pandemie stellt produzierende Unternehmen vor tiefgreifende Veränderungen. Zahlreiche Faktoren bewirken, dass Firmen ihr bisheriges Portfolio nicht oder nur eingeschränkt bedienen können. Gleichzeitig steigt die Nachfrage nach Produkten, die ein Unternehmen bisher vielleicht nicht gefertigt hat – die aber bei geringer Anpassung der Produktionsabläufe eine interessante Ergänzung des Angebots darstellen können. Wir möchten Sie dabei unterstützen, sich schnell und effizient auf diese Rahmenbedingungen einzustellen. Unsere langjährigen Erfahrungen in der Produktionstechnik

und Prozessorganisation helfen Ihnen, mit geringen Reibungsverlusten Fertigungsabläufe anzupassen und neue Prozessoptionen einzuführen. So bleiben Sie auch in Ausnahmesituationen betriebsfähig. Treten Sie mit uns in Kontakt, wir finden auch für Ihr Unternehmen die geeignete Lösung! ♦

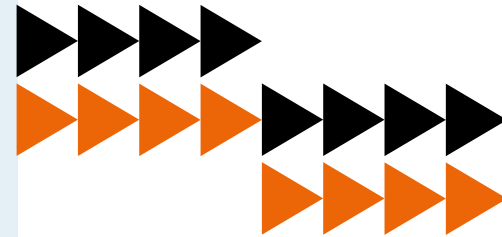


Beispiele für gelungene Projekte aus unserer Kampagne »Produzieren in Zeiten von Corona« finden Sie auf unserer Webseite: www.ipk.fraunhofer.de/produzieren-in-zeiten-von-corona



Das B-A-D-Siegel Arbeitsschutzstandard COVID-19 bestätigt, dass das Fraunhofer IPK den seit dem 16. April 2020 bundesweit geltenden Arbeitsschutzstandard COVID-19 erfüllt und zum Schutz seiner Mitarbeitenden, Kunden und des Institutsbetriebs vorbildlich einhält.

MEHR KÖNNEN 20 21



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.

NEU | PLM Professional eLearning-Kurs

Starten Sie, wann Sie wollen, wo Sie wollen: In Level 1 unseres englischsprachigen Formats erwerben Sie die wesentlichen Grundlagen des Product Lifecycle Managements im Selbststudium. Anspruchsvollere Fähigkeiten können Sie optional in Level 2 in einem 3-Tages-Workshop, inklusive Zertifizierungsprüfung erlernen.



Aktuelle Informationen zu unserem Programm finden Sie auf unserer Webseite www.ipk.fraunhofer.de/weiterbildung

IMPRESSUM

FUTUR 2/2020
22. Jahrgang
ISSN 1438-1125

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

MITHERAUSGEBER
Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl
Prof. Dr.-Ing. Jörg Krüger
Prof. Dr.-Ing. Michael Rethmeier
Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark

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

REDAKTION
Claudia Engel (V.i.S.d.P.)
Ruth Asan (Chefredaktion)
Katharina Strohmeier

REDAKTIONELLE MITARBEIT
Diana Kozachek
Anja Kunack

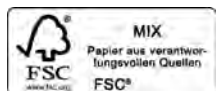
GESTALTUNG
Larissa Klassen (Artdirektion)
Andy King

FONT-GESTALTUNG FUTUR-LOGO
Elias Hanzer

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

HERSTELLUNG
Druckstudio GmbH

FOTOGRAFIEN UND GRAFIKEN
Soweit nicht am Bild anders vermerkt:
© Fraunhofer IPK / Andy King (S. 1; S. 8;
S. 19: Bild 1, 2; S. 20 / 21: Bild 4, 6, 7, 8;
S. 44; S. 52 / 53)
© Fraunhofer IPK / Larissa Klassen (S. 3;
S. 19: Bild 3; S. 20: Bild 5; S. 24 / 25; S. 29)
© Fraunhofer IPK / Katharina Strohmeier (S. 40)
© Fraunhofer IPK (S. 5; S. 16 / 17; S. 27; S. 38)
© TU Berlin (S. 45)



**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



facebook.com/**FraunhoferIPK**
instagram.com/**fraunhofer_ipk**
linkedin.com/company/**fraunhofer-ipk**
twitter.com/**Fraunhofer_IPK**
youtube.com/**FraunhoferIPK**