

# interaktiv

DAS KUNDENMAGAZIN DES FRAUNHOFER IPA | AUSGABE 2.2019



60 Jahre Innovationen  
Die Übermorgen-Macher



selbstporträts der IllustratorInnen als robots; konzept und umsetzung: raphaela klautke und khira niemeyer



Liebe Leserinnen und Leser, liebe Freunde und Kunden des IPA,

die Jugend ist im Kommen. Wurde sie in den letzten Jahren vor allem im Zusammenhang mit der Rentendiskussion als wichtig wahrgenommen, so gewinnt sie aktuell über soziale Medien, die Presse, vor allem aber auch durch Taten immer mehr Einfluss auf die Politik. Ja, sie sorgt sogar wieder für Aufregung. Greta und Rezo haben gezeigt, wie es geht. Wir finden: auch die Wissenschaft wäre ohne Initiativen der Jungen sehr viel ärmer.

Seit Jahren gibt es internationale Wettbewerbe für Studierende – auch zum Thema »Biointelligenz« – wie iGEM oder BIOMOD, initiiert in Harvard und in Boston. Sie fokussieren auf das Entwickeln und Designen von molekularen Sensoren oder Maschinen. Auch Mitarbeiter aus unserem Haus haben teilgenommen und eine, wie sie selbst sagen, »extrem bereichernde« Erfahrung gemacht. Nicht das Gewinnen, sondern »das Wissen, dass man selber gestalterisch tätig werden kann«, hat ihnen Freude bereitet und sie motiviert. Transdisziplinäre Ansätze, Teamwork, Kontakte überall in der Welt – davon profitieren sie noch heute. Für die Biologische Transformation wünschen wir uns im Raum Stuttgart etwas Ähnliches.

Wenn wir mit der Biointelligenz als Leitthema Erfolg haben wollen, brauchen wir die Jugend, und damit meinen wir nicht nur Doktoranden, sondern eine breite Bewegung in der Bevölkerung, motiviert und getrieben durch eine neue junge Graswurzelrevolution.

Sie haben es auf den ersten Blick gesehen. Dieses Interaktivheft ist anders als die anderen. Junge Art-und-Design-Studierende aus Hamburg haben ihren Ideen zu ein paar IPA-Themen freien Lauf gelassen. Wir haben sie nicht reglementiert, nichts zurechtgebürstet. Aus den Zeichnungen spricht daher manchmal auch Irritierendes. Viele Zeichnungen sind witzig andere ernsthaft – bedenkenswert sind sie alle.

Liebe Leserinnen und Leser, in diesem illustrierten Jubiläumsheft finden Sie auch ein Interview mit unserem neuen Kuratoriumsmitglied Lorenz Mayr. Er gibt Einblicke speziell in medizinische Anwendungen der Biointelligenz. Als CTO von GE Health ist Mayr ein weltweiter Experte auf einem der wichtigsten Gebiete der Biologischen Transformation – der Genom-Editierung. 5G und unser S-TEC Zentrum für Cyberphysische Systeme sind weitere Themen, die wir im aktuellen Heft beleuchten.

Nicht zuletzt wollen wir mit diesem besonderen Heft auch unser 60-jähriges Jubiläum begehen. Unter dem Titel »Die Übermorgen-Macher« blickt der Journalist Klaus Jacob von außen auf unser Institut. Wer Insider-Perspektiven schätzt, sollte sich die unterhaltsamen Statements und Anekdoten auf unserer Jubiläums-Website [www.die-uebermorgen-macher.de](http://www.die-uebermorgen-macher.de) nicht entgehen lassen.

Viele Freude beim Lesen und Blättern  
wünschen Ihnen Fritz Klocke und Thomas Bauernhansl

## Editorial

von Fritz Klocke und Thomas Bauernhansl

3

## Die Übermorgen-Macher

6

## Cyberphysische Systeme für die personalisierte Produktion

16

## Transferzentrum 5G4KMU

24

## Im Gespräch mit Lorenz Mayr

30

## Von der Natur lernen

37

## Wir danken!

41

## Impressum

42

illustration: sophie nyncke



# Die Übermorgen-Macher

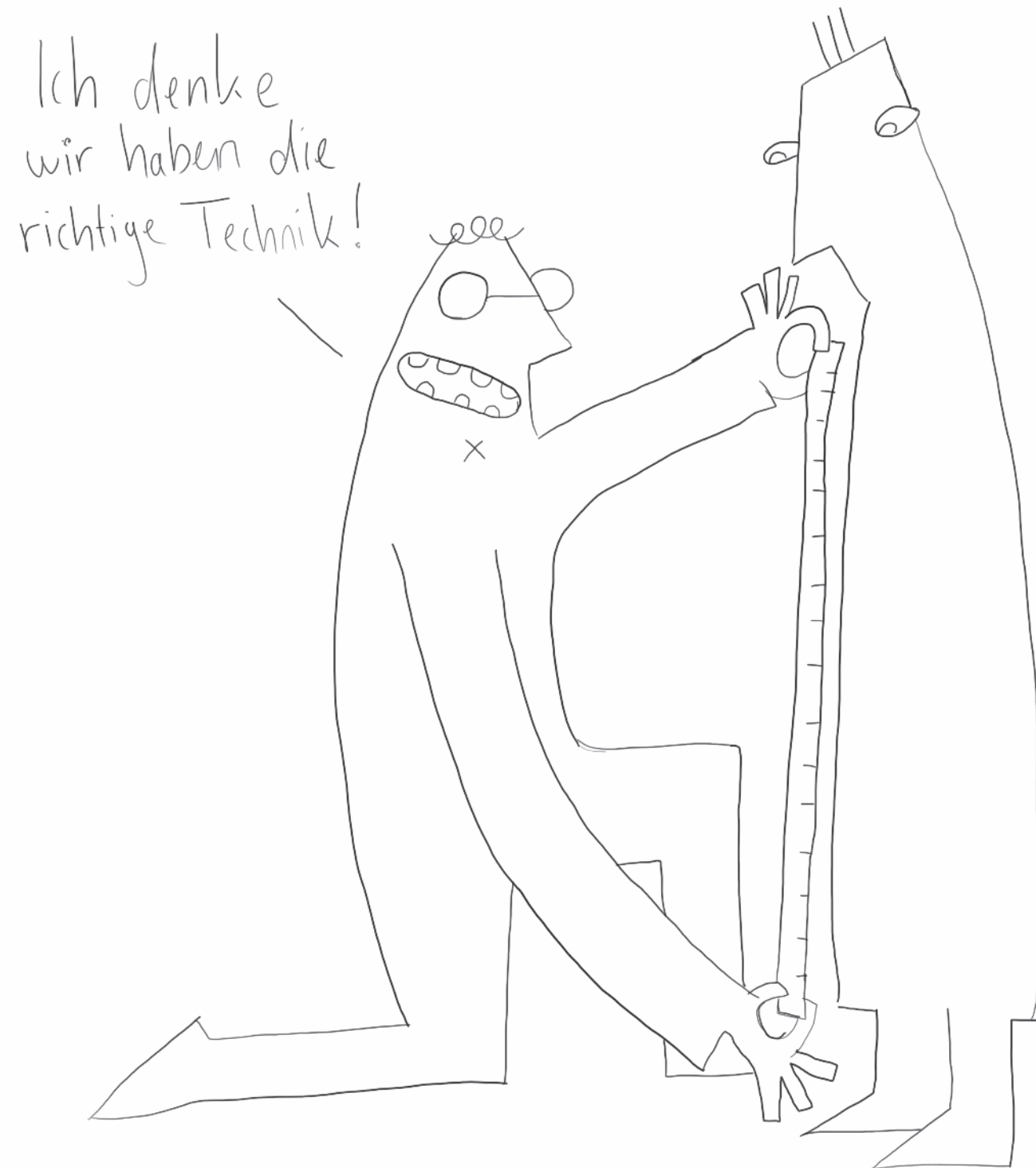


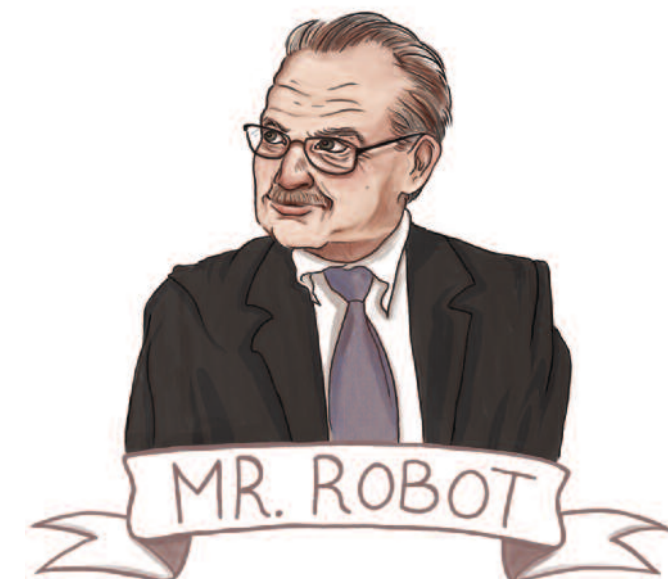
illustration: leander schmidt (li), charlotte apel, (re)

Als das IPA gegründet wurde, übernahm Fidel Castro gerade die Macht in Kuba, die Beatles waren noch unbekannte Teenies, und statt Computern benutzte man Rechenschieber. Sechzig Jahre ist das her. Professor Dolezalek, der an der Universität Stuttgart nach dem Krieg das Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb aufgebaut hatte, suchte eine größere Nähe zur Industrie und liebäugelte mit der Gründung eines »Privat-instituts«. Dann schloss er sich der Fraunhofer-Gesellschaft an, die schon damals angewandte Forschung betrieb. Der 1. Juli 1959 gilt als offizielles Gründungsdatum. Die Arbeit begann bescheiden an zwei Standorten in Stuttgart, im Alten Schlachthof am Hegelplatz und in der Keplerstraße 10, mit einem Betriebshaushalt von 100 000 DM. Heute sind es mehr als 60 Millionen Euro.

## Schnell und flexibel mit Automatisierung

Richtig in Fahrt kam das Institut, als Professor Hans-Jürgen Warnecke 1971 die Leitung übernahm – und die ersten Computer die Arbeit erleichterten. Warnecke verdreifachte die Mitarbeiterzahl innerhalb der ersten zehn Jahre und erweiterte das Themenspektrum, etwa um die Oberflächentechnik. Doch an der Grundausrichtung änderte sich wenig. Es ging darum, die Produktion zu verbessern, um die Unternehmen fit für morgen und übermorgen zu machen. »Nur der Schnelle und Flexible wird die Herausforderungen meistern«, war Warnecke überzeugt und richtete das Institut entsprechend zukunftsweisend aus. Eine der zentralen Aufgaben war die Automatisierung. Von Robotern war damals noch nicht die Rede, man sprach vielmehr von Handhabungsgeräten. Das änderte sich erst, nachdem in den USA die ersten Industrieroboter Verbreitung fanden.

Warnecke flog 1972 kurzerhand mit seinem jungen Mitarbeiter Rolf Dieter Schraft in die USA, um den neuen Trend aufzuspüren. Beide kamen mit neuer Expertise zurück – hatten sie doch mehrere Roboter live gesehen. In einer kleinen Ausstellung, die der ehemalige Leiter der Robotik-Abteilung, Martin Hägele, eingerichtet hat, kann man diese Anfänge noch bestaunen. Die Form dieser frühen Roboter mit beweglichem Arm und massivem Sockel erinnerte bereits an moderne Anlagen, aber natürlich waren alle entscheidenden Roboter-Schlüsseltechnologien noch längst nicht auf heutigem Niveau. So setzten die Amerikaner zunächst auf Hydraulik. Da Öl in Fabrikhallen aber nicht gerne gesehen ist, zog das deutsche Unternehmen Pfaff mit einem pneumatisch betriebenen Roboter nach, dem ersten seiner Art in Deutschland. Das Gerät arbeitete schnell, allerdings störte neben der empfindlichen



Technik der hohe Energiebedarf, der für die Bereitstellung der Druckluft nötig war. So setzte sich schließlich der elektrische Antrieb durch. Die deutsche Firma Kuka und die schwedische ASEA (heute ABB) waren 1974 die Pioniere auf dem Markt mit einem vollelektrischen Antrieb. »Sie diskutieren noch heute, wer der erste war«, schmunzelt Hägele.

#### Mr. Robot

Seit diesen Anfängen hat Schraft die Robotik-Abteilung am IPA aufgebaut und schließlich zur Weltgeltung gebracht. Bis 2007 leitete er sie und verdiente sich dabei den Beinamen »Mr. Robot«. Er und seine Mitarbeiter entwickelten zunächst nur in Einzelfällen Roboter und bedienten sich ansonsten am Angebot auf dem Markt. Sie nutzten diese Roboter als Plattform, die sie mit allerlei Werkzeugen, Greifern und Vorrichtungen für spezielle Aufgaben bestückten – heute nennt man das »End-of-arm-Tooling«. Diese sägen, bürsten, löten, schneiden und handhaben mit Greifern oder Saugnapfen. So vielfältig wie die Aufgaben, die in einer Fabrik anfielen, so vielfältig waren die Lösungen. Ein Robotersystem sortierte Müllteile aus dem gelben Sack vom Band. Andreas Wolf, der diese Anwendung entwickelte, gründete später ein eigenes Unternehmen, Robomotion, das inzwischen in Leinfelden-Echterdingen Roboteranlagen für zahlreiche Anwendungen herstellt. Die Technologie zur Müllsortierung wurde aber von Beginn an zum Sortieren und Verpacken von Lebensmitteln weiterentwickelt.

Immer wieder folgten eigene Roboter-Entwicklungen. Dabei ging es nicht in erster Linie darum, bestehende Industrieroboter zu verbessern. Das machten die inzwischen prosperierenden Roboterhersteller. Die Stuttgarter Innovationsschmiede half dort aus, wo neuartige Geräte für ungewöhnliche Anwendungen erforderlich waren. Dazu zählt etwa ein Putzroboter für Flugzeuge, der im Auftrag von Lufthansa und Putzmeister entstand. Heute schmunzelt man darüber, doch Mitte der 1990er-Jahre mussten die Experten bis an die Grenze des technisch Machbaren gehen, um die Wünsche der Lufthansa zu erfüllen. Als Premium-Airline wollte diese blitzblanken Maschinen vorzeigen können. Dafür sollten auf Lkw fahrbare Riesen-Roboterarme sorgen, die auf dem Rollfeld ihren Dienst verrichten konnten. Das erforderte vor allem eine ausgefeilte Steuerungs- und Regelungstechnik. Die breite Bürste, die an einem langen, gelenkigen Arm rotierte, musste sogar einen Kilometer zurücklegen, bis sie mit einem Jumbo fertig war. Den Weg ermittelte die Elektronik aus den CAD-Daten des jeweiligen Flugzeugtyps. Und spezielle Sensoren in der Waschbürste sorgten für den optimalen Anpressdruck. Solche Putzroboter fanden zwar keine Verbreitung, doch fast alle Ideen,

die in das Projekt geflossen sind, übernahm das Unternehmen Putzmeister für seine modernen Betonpumpen.

#### Urtyp der Mensch-Roboter-Kooperation

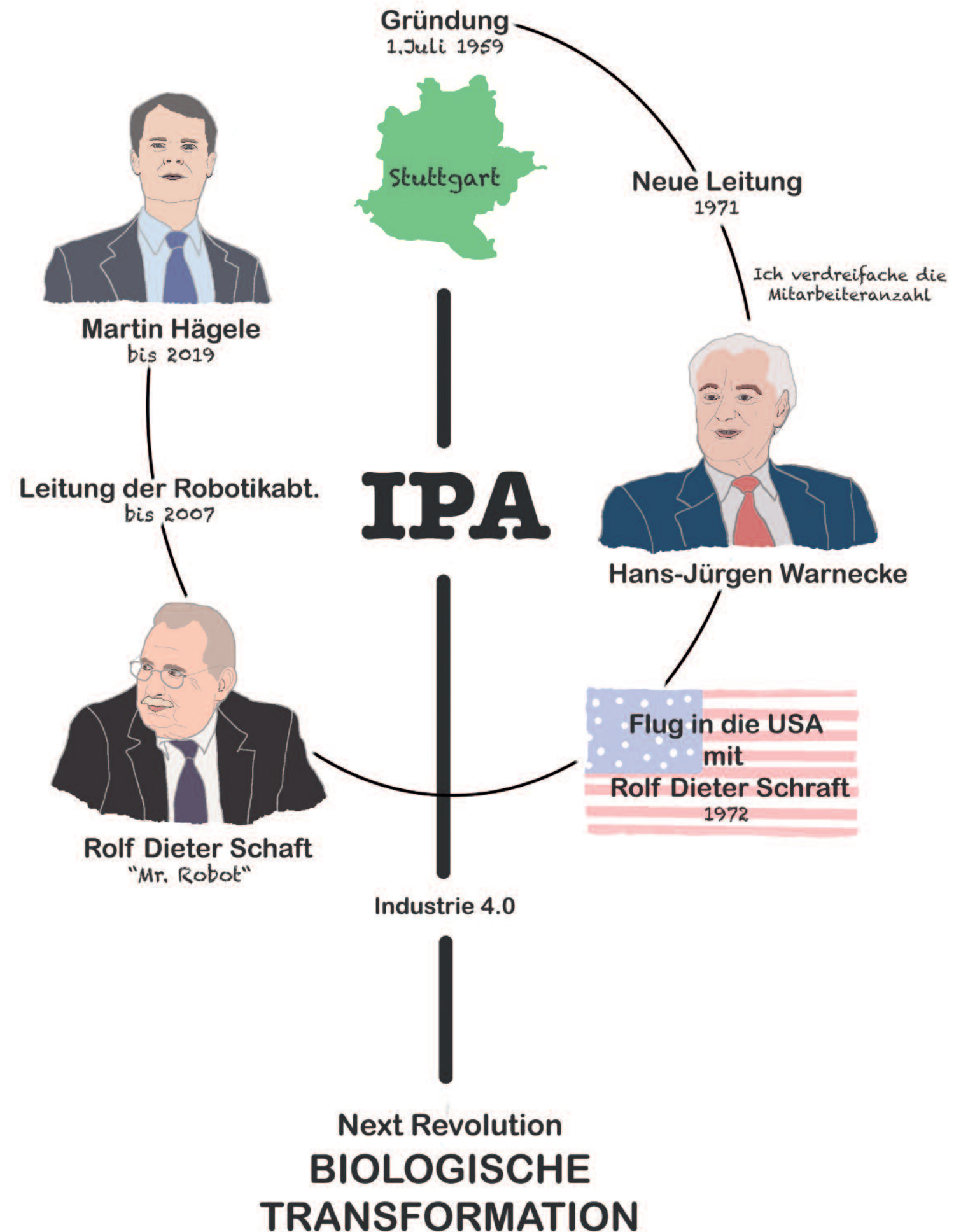
Nicht immer entwickelt sich der Markt – und vor allem nicht in dem Tempo, wie es die Experten voraussagen. So war es mit dem Wasserstoffantrieb. Anfang der 1990er-Jahre hieß es, in 20 Jahren werde der Verbrennungsmotor durch Brennstoffzelle mit Elektroantrieb ersetzt. Daimler, BMW und Aral suchten deshalb nach einem Weg, flüssigen Wasserstoff komfortabel tanken zu können. Bei Temperaturen von minus 259 Grad empfiehlt sich keine Berührung mit der Hand und auch das Schlauchpaket war unhandlich: Ein Roboter sollte her. So baute das IPA eine vollautomatische Tankanlage, die das Zeug zum Verkaufsschlager hatte. Sie war versenkbar und tauchte wie von Geisterhand auf, sobald ein Auto fast beliebigen Fabrikats vorfuhr. Sie erkannte den Tankdeckel, öffnete ihn und füllte Wasserstoff ein. Der Fahrer musste nicht aussteigen. Auch für die Sicherheit war gesorgt: Ein Laserscanner als letzter technischer Schrei erzeugte eine Art virtuellen Zaun um das Auto. Sobald ein Mensch den gesicherten Bereich betrat, hielt der Roboter inne. Diese Anwendung war »der Urtyp der Mensch-Roboter-Kooperation«, wie es Hägele ausdrückt. Fast alle Merkmale, die die Mensch-Roboter-Kooperation heute aufweist, wie die Prüfung der Sensorsignale und zwei sich gegenseitig überwachende Steuerungen, wurden hier erstmals entwickelt und verbaut.

#### Ein Erfolg in den Medien

Der Durchbruch der Wasserstofftechnologie lässt zwar bis heute auf sich warten, doch der Tankroboter wurde immerhin ein Medienhit. Bei seiner Präsentation 1995 bekam er »so viel Presse wie Michael Schuhmacher bei seiner Hochzeit«, freute sich Schraft. Und im folgenden Jahr war er der Hingucker auf der Hannover Messe. Der damalige Bundespräsident Herzog und der spätere Kanzler Schröder ließen sich das Highlight zeigen. Vier dieser Roboter wurden gebaut. So betankte einer jahrelang auf dem Münchener Flughafen Vorfeldfahrzeuge, die mit Wasserstoff fuhren.

Ein großes Medienecho bekamen auch drei mobile Roboter, die im Museum für Kommunikation in Berlin mehr als ein Jahrzehnt die Besucher begeisterten. Sie waren individuell gestaltet und hörten auf die kecken Namen »Komm rein«, »Also gut« und »Mach was«. Der erste (»Komm rein«) begrüßte die Besucher, der zweite (»Also gut«) machte Führungen durchs Museum und erklärte die Exponate, der dritte

illustration: jenny müller



(»Mach was«) forderte zum Spiel mit einem Gymnastikball auf. Im März 2000 in Betrieb genommen, waren sie bis vor Kurzem eine Attraktion des Museums. Ihr Bau war alles andere als trivial. »Das haut im Leben nicht hin«, bekam der IPA-Verantwortliche Christoph Schaeffer damals zu hören. Doch die Roboter wurden nicht nur rechtzeitig fertig, sondern erwiesen sich auch als äußerst robust und langlebig. Nur einmal hat einer gepatzt: »Mach was« wollte partout nicht mehr mitspielen. Nach langem Rätseln fanden die IPA-Experten heraus, dass der Ball ein wenig Luft verloren hatte, sodass ihn der Roboter nicht mehr erkannte. Denn für ihn zählten allein der Durchmesser und die Farbe. Dass er einmal gegenüber einer Besucherin sehr aufdringlich geworden sei, weil er sie für den Ball hielt, wird im Institut zwar kolportiert, ist aber nicht verbürgt.

### Rein ins All

Um die Jahrtausendwende, als die Museumsroboter ihren Dienst antraten, stieg das IPA auch in die Raumfahrt ein. Es konkurrierte zwar nicht mit der NASA, übernahm aber wichtige Aufgaben. Es ging um die Reinigung von Bauteilen. Schon vorher war die Reinraumtechnik zu einem tragenden Pfeiler des Instituts geworden. Die zunehmende Miniaturisierung elektronischer Bauteile hatte Schmutz und Staub zu einem ernstesten Problem gemacht. Auch in der Raumfahrt ist Sauberkeit höchstes Gebot, da die Reparatur eines Satelliten, wenn er die Erde verlassen hat, nicht mehr möglich ist. Die IPA-Experten haben sich auf diesem Gebiet längst an die Weltspitze gesetzt und springen immer dann ein, wenn es knifflig wird. So haben sie beim Erdbeobachtungssatelliten EnMap sämtliche 13 000 Teile gereinigt, darunter einen vier Zentner schweren Aluminiumblock. Für das Schwergewicht mussten die Mitarbeiter eigens einen temporären Reinraum von der Größe eines kleinen Wohnhauses bauen.

Das IPA verfügt nicht nur über den weltweit größten Forschungsreinraum der ISO-Klasse 1, sondern auch über hochpräzise Geräte zur Validierung der Arbeiten. »Die Kombination von Reinigen und Bewerten ist einzigartig«, sagt Abteilungsleiter Udo Gommel. Wenn man ihn nach besonderen Herausforde-

rungen fragt, die er während seiner Karriere meistern musste, erinnert er sich an eine Arbeit in Rumänien. Er sollte innerhalb kürzester Zeit einen Reinraum der ISO-Klasse 1 einrichten, und das ausgerechnet in einem Keller, in dem das Wasser stand. Er meisterte diese bizarre Herausforderung, sodass dort bald ein hochpräziser Computertomograph seine Arbeit aufnehmen konnte.

### Personalisierte Produktion

Heute setzt das IPA mit seinen rund tausend Mitarbeitern in vielen Bereichen Maßstäbe und hat sich unverzichtbar gemacht in der deutschen Forschungslandschaft. Es weist den Weg in die Produktion von morgen und übermorgen. Die Richtung ist schon erkennbar: Sie führt vom Massenprodukt, das am Fließband entsteht, zu einem individuell gestalteten Produkt – sogar beim Auto. »Ab 2025 wird es ein personalisiertes Fahrzeug zum Preis eines Massenprodukts geben«, ist Institutsleiter Professor Thomas Bauernhansl überzeugt. Im Innovationscampus ARENA2036 werden die Weichen dafür gestellt. Unternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen arbeiten hier zusammen mit dem IPA an der Automobilproduktion von morgen. Natürlich geht das nicht ohne Digitalisierung und Vernetzung, wofür sich das Schlagwort Industrie 4.0 etabliert hat.

Um bei der vierten industriellen Revolution mitzumachen, muss man nicht gleich eine neue Fabrik bauen. Jeder Produktionsbetrieb, ob Autoschmiede oder Sägewerk, kann im Kleinen in die Zukunft investieren. Welche Möglichkeiten sich dafür bieten, zeigt das IPA im angeschlossenen Future Work Lab. Unter den vielen Exponaten ist auch ein Exoskelett, das bei Besuchern besonders beliebt ist. Wie eine Jacke übergezogen, verstärkt es die Muskelkraft. Es macht aus einem Arbeiter zwar keinen Supermann, doch es erleichtert anstrengende Tätigkeiten wie Überkopfarbeiten.

Bei einer Handcreme ist das Ziel von der personalisierten Produktion schon erreicht. IPA-Mitarbeiter Viktor Balzer hat mit seinem Team eine automatisierte Minifabrik von der Größe eines Kleiderschranks entwickelt, die innerhalb von wenigen Minuten eine auf den Nutzer zugeschnittene Hautcreme zusammenmixt. Das Gerät misst dafür zunächst die Hautparameter wie Feuchtigkeits- und Fettgehalt und berechnet daraus



illustration: isa berges (li), khira niemeier (re)

die passende Rezeptur. Balzer hat aus seiner Forschung eine Geschäftsidee gemacht und ein Start-up gegründet, die Skinmade GmbH.

### Zukunft der Robotik

Und auch in der Robotik blickt man weiter optimistisch voraus. Roboter sind schon heute bei der Produktion unersetzlich. Doch in Zukunft werden sie weiter an Bedeutung gewinnen. Der neue Leiter der Abteilung Roboter- und Assistenzsysteme Werner Kraus prophezeit ihnen eine rosige Zukunft »nicht nur in den Fabriken, sondern auch in der Logistik, der Pflege, der Landwirtschaft und der Unterhaltung.« Wo die Entwicklung hinführt, lässt sich bei einem Rundgang durch die IPA-Hallen bestaunen. Da steht etwa ein breites Supermarkt-Regal, das eher ungenau eingeräumt wurde: Obwohl die Artikel durcheinanderliegen, findet der Roboter das Gewünschte. Ein anderer Roboter, für die Montage konzipiert, erkennt unterschiedlich geformte Bauteile in einer Kiste und greift sie sicher.

Dann gibt es den Serviceroboter Care-O-bot, ein IPA-Highlight, der stetig weiterentwickelt wird – nun in der vierten Generation. Einige ehemalige Mitarbeiter haben sogar ein Unternehmen gegründet und vertreiben ihn kommerziell. Care-O-bot ist vielseitig einsetzbar: An der Rezeption von Hotels kann er Gäste begrüßen und den Check-in übernehmen, im Krankenhaus oder Pflegeheim bringt er Getränke oder Medikamente, und in Museen kann er Führungen machen. Irgendwann wird er wohl auch für den Privatmann erschwinglich sein und auf Kommando die Zeitung holen oder die Wohnung reinigen.

### Maschinelles Lernen

Ein weiterer Roboter wirkt auf den ersten Blick unspektakulär: Mit seinem Greifer soll er kleine Quader in unterschiedlich geformte Löcher einführen: rund in rund, quadratisch in quadratisch, dreieckig in dreieckig. Es ist eine Aufgabe, wie man sie kleinen Kindern gibt. Doch was so kinderleicht wirkt, ist für die Maschine eine Herausforderung. Sie braucht nicht nur Grips, sondern auch Gefühl, also Sensoren. Der Clou: Dieser Roboter arbeitet kein festes Programm ab, sondern lernt genauso wie die kleinen Kinder. Er entwickelt selbstständig eine Strategie, wie er vorgehen muss. Und was er einmal gelernt hat, soll er anschließend anderen Robotern weitergeben. Er lernt gewissermaßen für alle. »Damit ist die Maschine gegenüber dem Menschen im Vorteil«, sagt Kraus. Mehr noch: Das

Lernen kann hier zum großen Teil in der Simulation erfolgen. So muss sich die Maschine nicht einmal mit Tausenden Versuchen abplagen. Durch die Simulation lernt sie gewissermaßen im Schlaf. Das geht nicht nur wesentlich schneller, sondern schon auch die Hardware.

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

Der Satz des früheren Institutsleiters Warnecke, dass nur der Schnelle und Flexible die Herausforderungen meistern werde, gilt heute mehr denn je. Denn die Entwicklungen laufen immer schneller ab, man denke nur an Industrie 4.0, Elektromobilität oder 3D-Druck. Neben einem Schulterschluss des IPA mit der Industrie, wie es schon IPA-Gründer Dolezalek anstrebte, sind deshalb auch Kooperationen mit anderen Forschungseinrichtungen erforderlich. Der neu gegründete Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus, kurz S-TEC, übernimmt diesen Part. Es geht darum, »Unternehmen mit der Forschungslandschaft am Standort Stuttgart zu vernetzen«, wie es Bauernhansl ausdrückt.

Viele Themen, mit denen sich das IPA schon lange beschäftigt, sollen hier gemeinsam vertieft werden. So beschäftigt sich das Zentrum für Cyberphysische Systeme mit Fragen rund um Industrie 4.0. Im Zentrum für Additive Produktion steht der 3D-Druck im Mittelpunkt. Im Zentrum für Frugale Produkte und Produktionssysteme geht es vor allem darum, Produkte für Schwellenländer attraktiv zu machen. Diese Länder brauchen keine Hightech-Lösung, für die deutsche Unternehmen bekannt sind, sondern schlichte, robuste Produkte und Maschinen, die für sie bezahlbar sind.

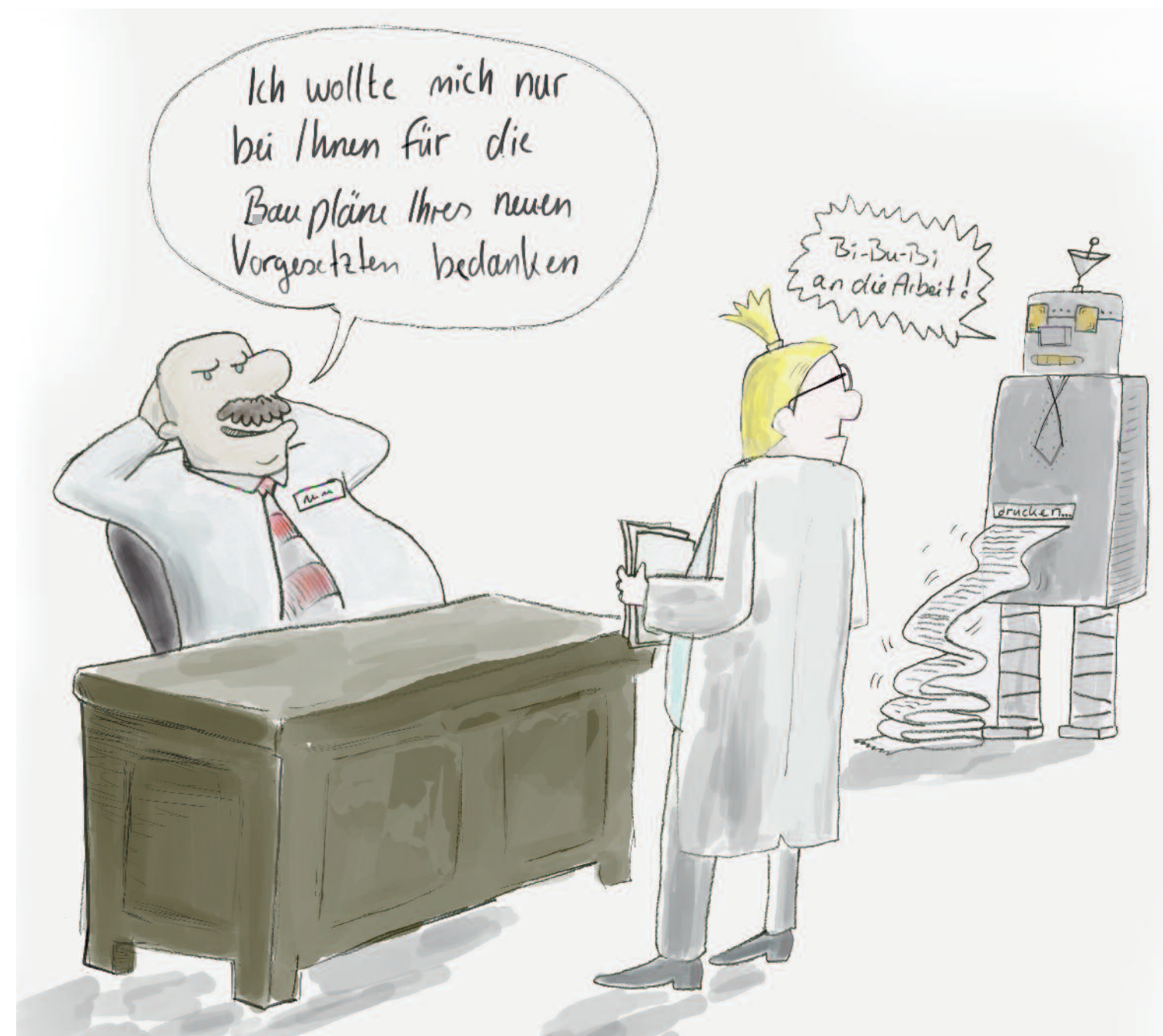
### Next Revolution

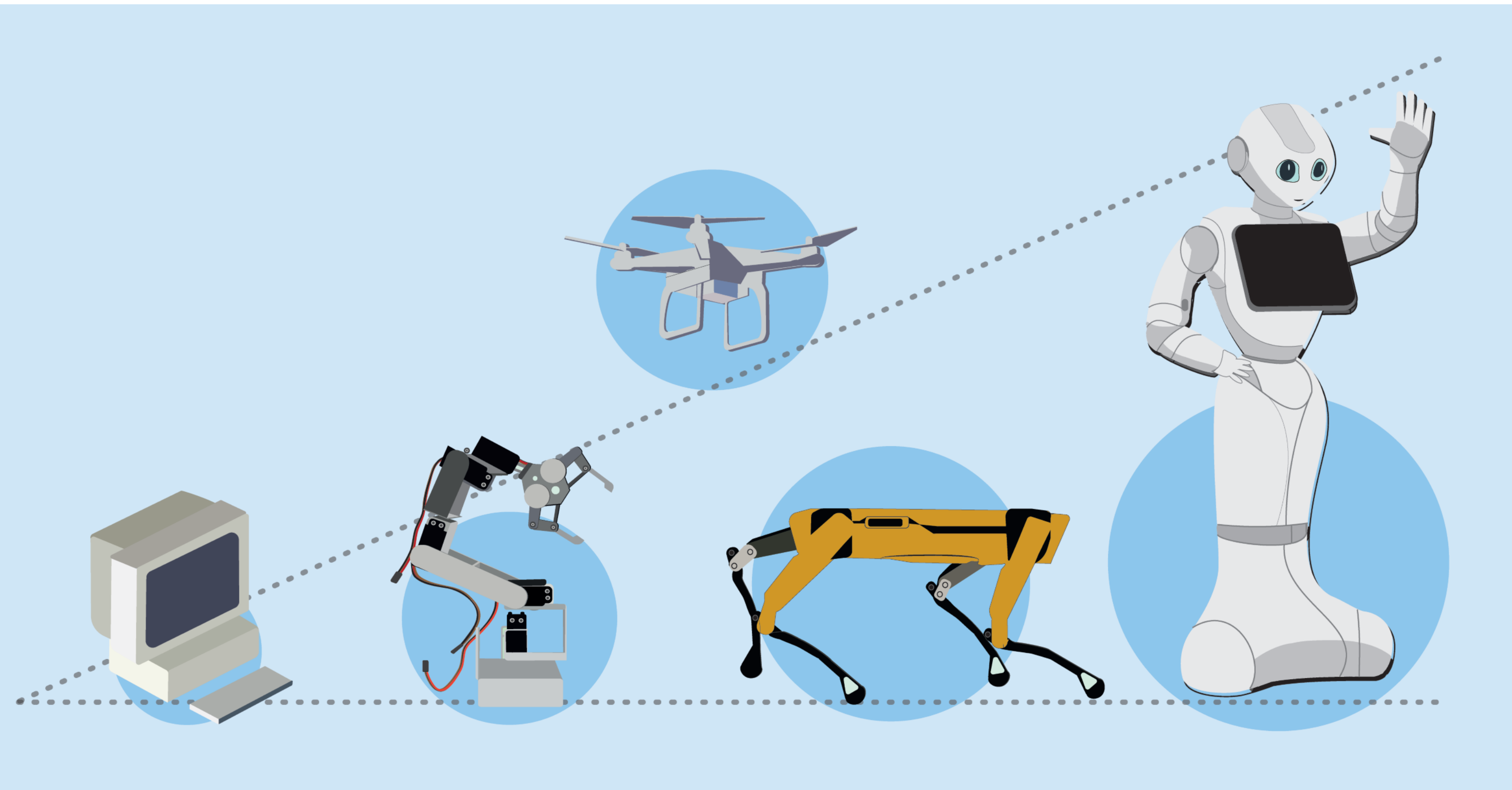
Das IPA schaut sogar noch weiter in die Zukunft und bereitet – Industrie 4.0 ist noch längst nicht umgesetzt – bereits die nächste industrielle Revolution vor. Zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten sucht es nach Wegen für die Biologische Transformation. Die Natur soll als Vorbild dienen, denn sie produziert absolut umweltfreundlich und nachhaltig. Und dieses Ziel wird sicher auch noch übermorgen aktuell sein. ■

### Weitere Stories aus 60 Jahren IPA

[www.die-uebermorgen-macher.de](http://www.die-uebermorgen-macher.de)

illustration: leander schmidt





Die Welt der Robotik ist vielfältig – die künstlerische Freiheit auch. Die Zeichnung von Laureen Hayduk erinnert an den humanoiden Roboter Pepper, der zweifellos nicht aus dem Hause IPA stammt. Die Erfolgsgeschichte unseres Care-O-bots finden Sie unter: <https://die-uebermorgen-macher.de/li-robot>

# Cyberphysische Systeme für die personalisierte Produktion

Mit dem Zentrum für Cyberphysische Systeme wächst am Fraunhofer IPA ein Kompetenzzentrum für das Themengebiet der »cyber-physical systems« (CPS). Unter cyberphysischen Systemen werden hochintegrierte, vernetzte und eigenständig agierende Verknüpfungen von virtueller Welt und physischer Interaktion verstanden. Ziel ist die Vereinigung der virtuellen und physischen Welt. Angewendet auf die Technik der industriellen Produktion, fokussieren cyberphysische Produktionssysteme die schnellere und effektivere Reaktion auf neue Anforderungen und Veränderungen. Sie stehen damit ganz im Zeichen der wachsenden Ausrichtung der heutigen Wirtschaft auf das vollständig kundenpersonalisierte und dauernd vernetzte Internet-of-Things-(IoT-)Produkt.

Das ZCPS fügt sich in eine übergeordnete Strategie zur Mass Personalization, hinter der der Wunsch zur vollständigen Personalisierung von Produkten, Produktentstehungen und (digitalen) Dienstleistungen steht. Diese Personalisierung bedeutet für die Fertigung die Herstellung von Produkten und Produktkomponenten in kleinsten Losgrößen bis zur reinen Unikatfertigung (Losgröße 1). Die heutige Automatisierung in der industriellen Fertigung steht der Unikatfertigung gegensätzlich gegenüber. Hochautomatisierte Fertigungsstrukturen sind fast durchweg statische und einem Produkt zugeordnete Systeme. Sie sind darauf ausgerichtet, in kurzer Zeit viele gleiche Produkte zu produzieren und decken damit den Anspruch, Produkte möglichst schnell und kostengünstig bereitzustellen. Sie sind jedoch nicht in der Lage, auf umfassende Veränderungen bei personalisierten Produkten zu reagieren. Ähnlich ist die Situation bei personalisierten Dienstleistungen, die derzeit noch einen manuellen, spezifischen Integrationsaufwand nach sich ziehen.

## Interaktion von Maschinen, Menschen, Daten und Dienste auf Produktionsplattformen durch CPS

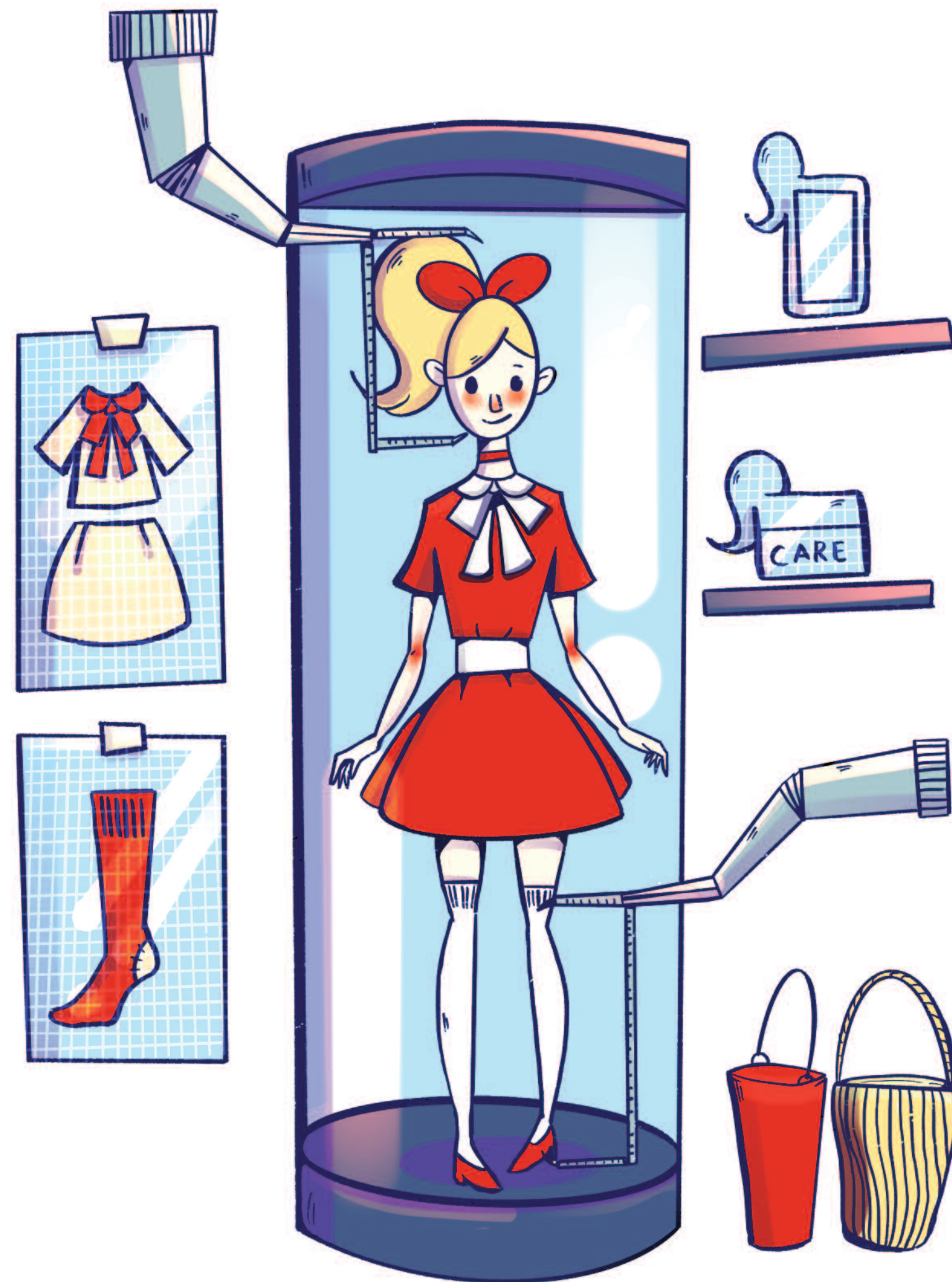
Um Flexibilität und Automatisierung zu vereinen, müssen neue Produktionsplattformen geschaffen werden, auf denen die beteiligten Komponenten, Maschinen, Menschen, Daten und Dienste vollintegriert miteinander kommunizieren und kooperieren können. Dabei ist es notwendig, dass diese Plattformen stärker denn je rein digitale Produkte bzw. Dienstleistungen (Software und Softwareentwicklung) berücksichtigen. Die vollintegrierte Kooperation wird durch das Konzept der cyberphysischen Systeme ermöglicht, in denen alle physischen Produktionsteile tief in virtuelle Daten und Dienste integriert sind.

## ZCPS erarbeitet und beschreibt Grundlagen für CPS

CPS zeichnen sich durch eine tiefgehende Verknüpfung physischer Schnittstellen (Aktorik und Sensorik) bzw. Handlungsmöglichkeiten mit Rechen- und Netzwerkfähigkeiten aus. Das Ziel eines CPS ist die verteilte und gemeinsame Lösung einer physischen Aufgabe bzw. die gemeinsame Kontrolle eines physischen Prozesses. Allerdings sind CPS und ihre umgebenden Prozesse, insbesondere in der Entwicklung, derzeit nur schwach bis gar nicht definiert: Es fehlen allgemeingültige Vorgaben, beispielsweise an die Schnittstellen von CPS an ihre Umgebung, an die Architektur von CPS und ihre kooperierenden Softwarestrukturen, sowie Methoden zur Entwicklung von CPS und die verbundenen Softwaresysteme.

Mit dem ZCPS entsteht nun ein Kompetenzzentrum für die Forschung, Entwicklung und Anwendung von CPS, das zukunftsfähige, offene und umfassende technische Grundlagen für CPS erarbeitet und beschreibt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der produzierenden Industrie, die einen der stärksten Stützpfeiler der hiesigen Wirtschaft darstellt. Das Zentrum unterstützt Unternehmen aus Baden-Württemberg bei der Integration von CPS-Eigenschaften und -Technologien in Produkte.

illustration: cora foitzik



### Kooperation mit anderen S-TEC-Zentren am Fraunhofer IPA

Durch den Austausch und Transfer von Ergebnissen der S-TEC-Zentren untereinander werden anwendungs- und gebietsübergreifend Anforderungen an CPS- und CPPS-Technologien ermittelt, um anschließend in gemeinsamer Entwicklung vielseitige, leistungs- und zukunftsfähige Gesamtstrukturen zu schaffen.

### Exploring Projects zum Transfer in die Industrie in Baden-Württemberg

Am Zentrum für Cyberphysische Systeme können Unternehmen mit mindestens einem Standort in Baden-Württemberg eine Projektidee vorbringen, die dann in Zusammenarbeit mit dem Zentrum genauer untersucht und umgesetzt werden kann. Das Zentrum bietet Workshops zur Findung und Definition von Projektthemen an und unterstützt bei der Bewerbung um sogenannte Exploring Projects. Mit diesen wird der direkte Wissenstransfer in die Industrie innerhalb der S-TEC-Zentren verwirklicht. Exploring Projects sind als Forschungs- und Wissenstransferprojekte für Industrieunternehmen konzipiert und umfassen einen technischen und wissenschaftlichen Machbarkeitsnachweis mit thematischer Fokussierung. Dabei werden die Forschungsaufwände am Fraunhofer IPA mit bis zu drei Personenmonate durch Fördermittel gedeckt. ■

#### Kontakt

David Albert Breunig  
Telefon +49 711 970-1375  
david.albert.breunig@ipa.fraunhofer.de



### S-TEC Stuttgarter Technologie- und Innovationscampus Zentrum für Cyberphysische Systeme (ZCPS)

**Laufzeit** 1. April 2018 bis 31. Dezember 2021

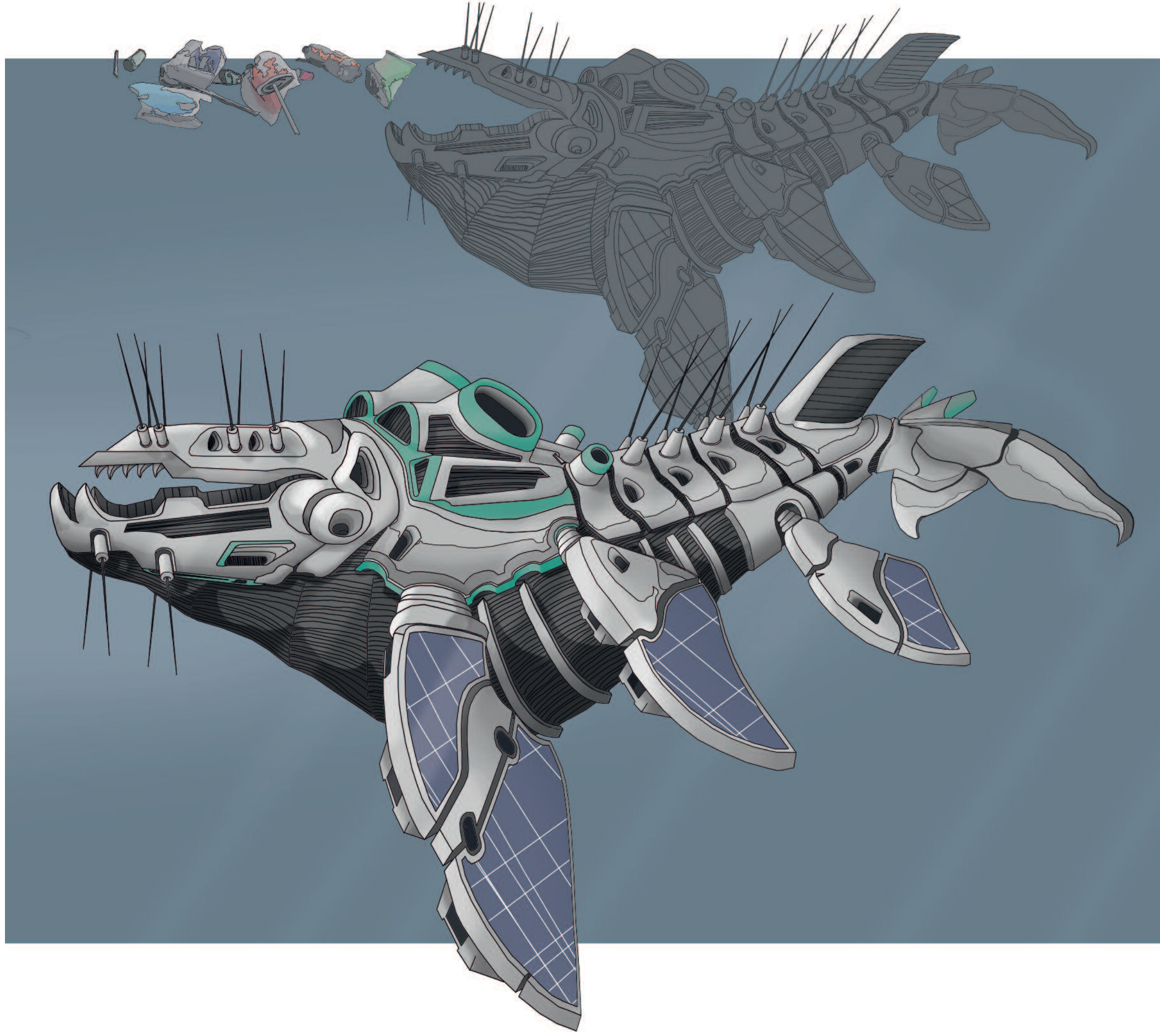
**Fördersumme** 3,63 Millionen Euro

**Förderer** Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg

Die Diagnose für Ihre  
Rückenschmerzen lautet:  
Rheuma.  
Nehmen Sie eine Packung  
Aspirin und kommen Sie  
in drei Tagen wieder.  
Das macht 600 Euro.  
Vielen Dank für Ihren  
Besuch.



**Wahnsinn.**



# Transferzentrum 5G4KMU

5G-Transferzentrum für kleine und mittelständische Unternehmen

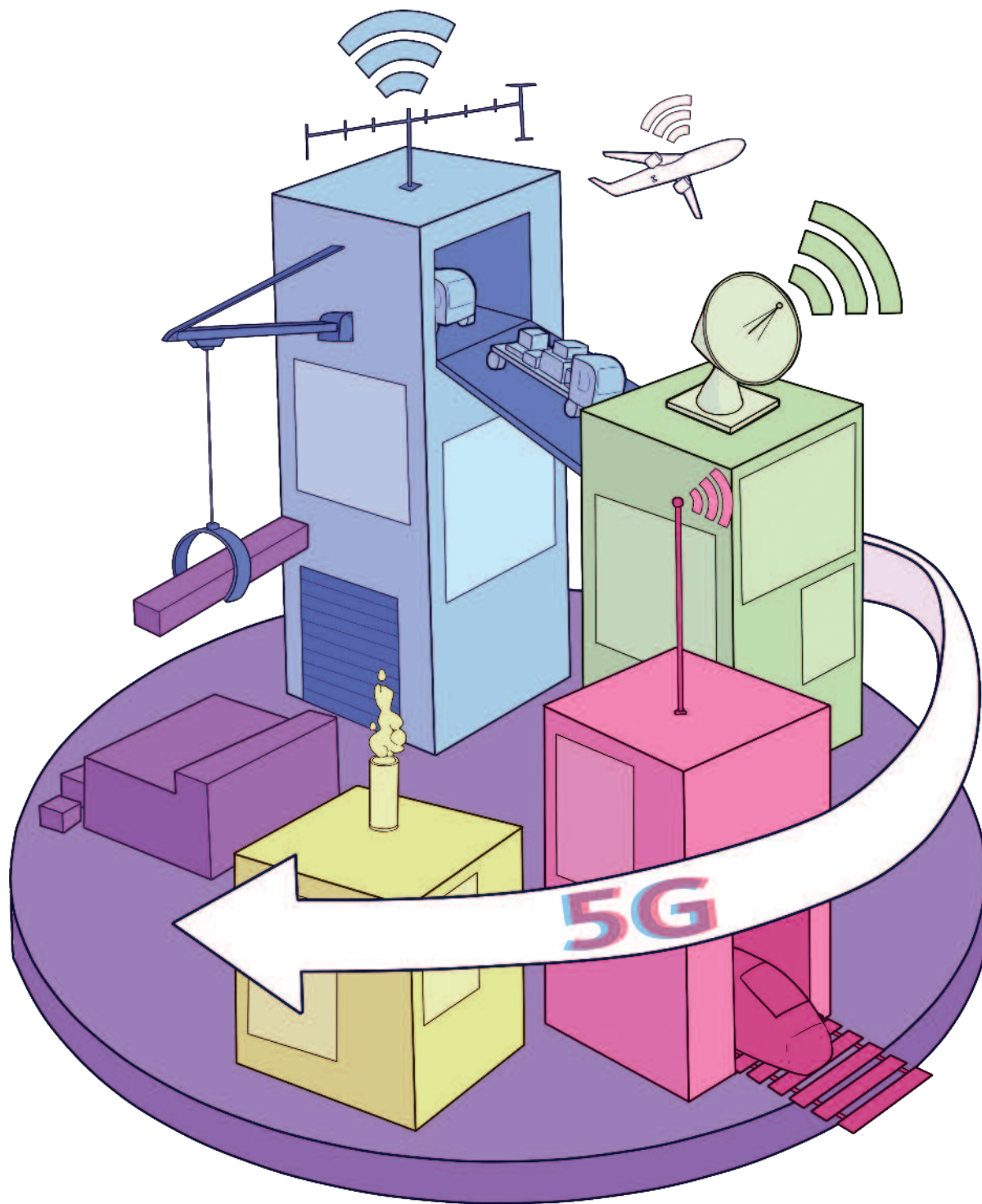


illustration: annika becker

**Mit 5G werden erstmals die Bedürfnisse der Industrie in einem Mobilfunkstandard berücksichtigt. Um zu erforschen, welche Möglichkeiten der neue Mobilfunkstandard kleinen und mittelständischen Unternehmen eröffnet, richten Forscher vom Fraunhofer IPA federführend Testumgebungen für 5G in vier Regionen Baden-Württembergs ein.**

5G, die fünfte Generation des Mobilfunks ist in der politischen und gesellschaftlichen Diskussion im Augenblick äußerst präsent. Vorhergehende Mobilfunkstandards wie 3G (UMTS) und 4G (LTE) sind inzwischen etabliert, finden aber vorrangig bei privaten Verbrauchern Anwendung. Mit 5G werden erstmals auch die Bedürfnisse der Industrie und die erhöhten Anforderungen industrieller Anwendungen in einem Mobilfunkstandard berücksichtigt. 5G ermöglicht die bedarfsgerechte Vernetzung mit hoher Bandbreite, niedriger Latenz und hoher Verbindungsanzahl. Insbesondere im industriellen Umfeld sind diese Eigenschaften von Bedeutung und ermöglichen neue industrielle Anwendungsfälle. Damit schafft 5G eine wichtige Grundlage für Industrie-4.0-Anwendungen sowie das Internet der Dinge.

## 5G-Testumgebungen

Forscher der beiden Stuttgarter Fraunhofer-Institute IPA und IAO, der Hochschule Reutlingen und des Campus Schwarzwald in Freudenstadt wollen 5G gemeinsam mit kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) erproben. Konzerne können sich eigene 5G-Netze einrichten, KMU hingegen nicht. Das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg fördert daher das Forschungsprojekt Transferzentrum 5G4KMU über drei Jahre mit fünf Millionen Euro, um vier Testumgebungen für 5G in verschiedenen Regionen Baden-Württembergs aufzubauen. KMU wird so ein einfacher Einstieg in 5G geboten und sie haben die Möglichkeit innovative Produkt- und Geschäftsideen mit 5G zu entwickeln. Der verteilte Ansatz minimiert örtliche Einschränkungen und ermöglicht es Unternehmen in Baden-Württemberg mit einer lokalen Testumgebung zusammenzuarbeiten. Der Fokus der Testumgebungen des Transferzentrums 5G4KMU liegt vorrangig auf den Bereichen Produktion, Logistik, Labor und Klinik. Dabei soll keine Forschung bzw. Weiterentwicklung der 5G-Technologie selbst betrieben, sondern die bestehende Technologie für konkrete Problemstellungen und Anwendungsfälle in den genannten Themenbereichen eingesetzt werden. Unternehmen bekommen damit die Möglichkeit, ihre Produkte, Anwendungen und Geschäftsmodelle mit 5G weiterzuent-

wickeln. Den Unternehmen wird hierfür zum einen die notwendige 5G-Infrastruktur in einer Testumgebung und zum anderen Expertenwissen zu 5G zur Verfügung gestellt.

## Vier Testumgebungen in Baden-Württemberg

Im Transferzentrum 5G4KMU entstehen vier regionale Testumgebungen in Stuttgart, Reutlingen, Mannheim und Freudenstadt. Mit der 5G-Infrastruktur in den Testumgebungen werden gemeinsam mit Unternehmen verschiedene Fragestellungen rund um das Thema 5G untersucht. Abhängig von ihren Kernkompetenzen fokussiert sich jede Testumgebung auf einen Themenbereich:

- In Stuttgart konzentrieren sich die Wissenschaftler des Fraunhofer IPA auf Potenziale von 5G für Fabriken und Produktionssysteme, während sich das Fraunhofer IAO mit Smart Services und Smart Products beschäftigt.
- In Freudenstadt legen die Forscher des Centrum für Digitalisierung, Führung und Nachhaltigkeit Schwarzwald (kurz: Campus Schwarzwald) den Schwerpunkt auf Fragestellungen rund um die Produktion, wobei der Maschinenbau und die Fertigungsindustrie im Mittelpunkt steht.
- In Reutlingen liegt der Fokus auf der Logistik (Intra- und Extralogistik) sowie der Informationsbereitstellung im Unternehmen.
- In Mannheim untersuchen die Forscher der Projektgruppe für Automatisierung in Medizin und Biotechnologie PAMB des Fraunhofer IPA, welche Möglichkeiten 5G für Kliniken und medizinischen Labore eröffnet.

Zur Veranschaulichung verschiedener industrieller Anwendungsfälle von 5G entstehen in den Testumgebungen Demonstratoren. Die 5G-Infrastruktur der Testumgebungen kann von Unternehmen aber auch in gemeinsamen Projekten genutzt werden.

## Beteiligungsmöglichkeiten für KMU

Unternehmen können sich auf Quick Checks und Exploring Projects mit einer Testumgebung bewerben. Die Ausschreibung erfolgt in Form eines Kampagnenmodells und zielt insbesondere auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU nach EU-Definition) ab. Es finden regelmäßig Open Lab Days in den

Testumgebungen statt, an denen die Themenschwerpunkte der Testumgebungen sowie Demonstratoren rund um das Thema 5G vorgestellt werden. In einem Exploring Project wird zunächst eine Transferanalyse mit dem Unternehmen durchgeführt und ein Konzept entworfen. Anschließend wird das Konzept prototypisch in einer Testumgebung umgesetzt und erprobt. Exploring Projects werden aus den Mitteln des Transferzentrum 5G4KMU finanziert, somit entstehen teilnehmenden Unternehmen keine Fremdkosten. Die Eigenleistung des Unternehmens bezieht sich auf die Ausformulierung der Projektidee für die Bewerbung und deren detaillierte Vermittlung sowie die Mitarbeit bei der gemeinsamen Umsetzung des Exploring Projects in einer Testumgebung. ■

#### Kontakt

Matthias Schneider  
Telefon +49 711 970-1658  
matthias.schneider2@ipa.fraunhofer.de



**Laufzeit** 1. April 2019 bis 31. März 2022

**Fördersumme** 5 Millionen Euro

**Fördergeber** Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg

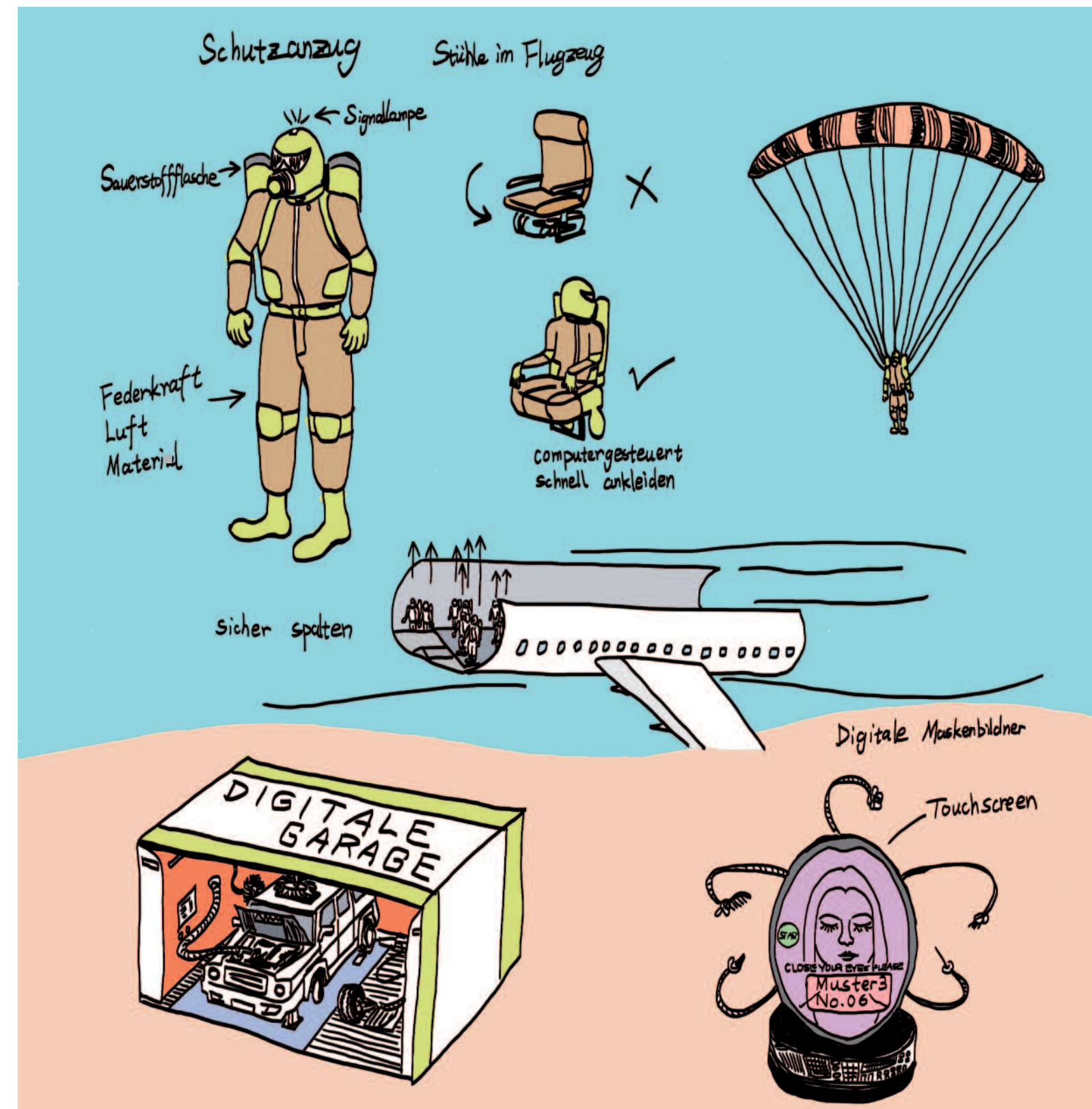
#### Ziele

- Aufbau von Testumgebungen für 5G in vier Regionen Baden-Württembergs
- Unterstützung von KMU für den Einstieg in 5G und den Test von 5G
- Erfassung von Anforderungen der Industrie an 5G

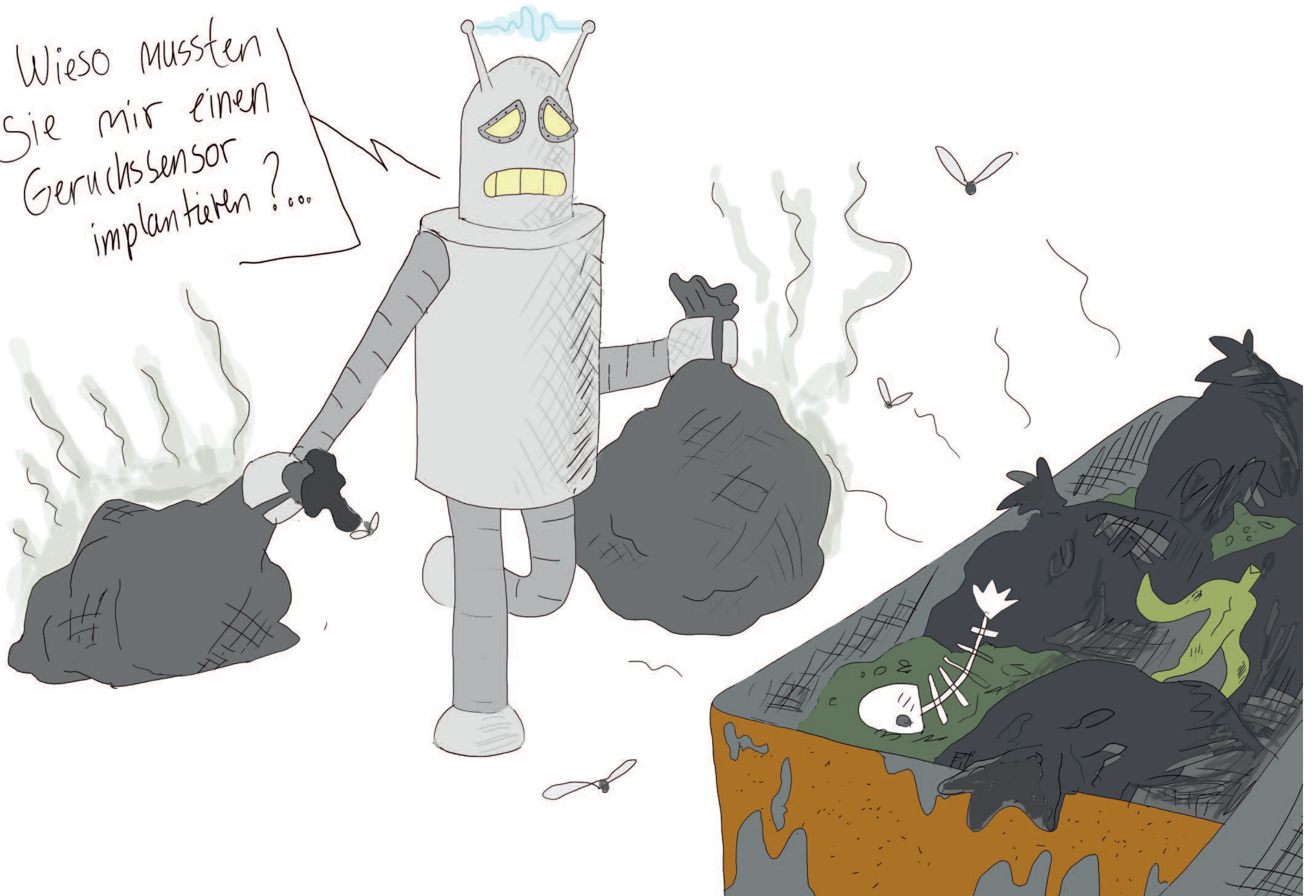
#### Partner

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
- Centrum für Digitalisierung, Führung und Nachhaltigkeit Schwarzwald (kurz: Campus Schwarzwald)
- Hochschule Reutlingen

illustration: shaowei deng



Wieso mussten  
Sie mir einen  
Geruchssensor  
implantieren?...





## Dr. Lorenz Mayr

**Chief Technology Officer (CTO) – Life Sciences,  
bei GE Healthcare, Amersham, Großbritannien**

GE Healthcare, ein Tochterunternehmen des amerikanischen Mischkonzerns General Electric, ist ein führender Anbieter von medizintechnischen Lösungen und Dienstleistungen. Der Bereich Life Sciences forscht und produziert in der medizinisch-pharmazeutischen Biotechnologie. Dazu zählen Bioprozesstechnik, Proteinforschung, Genomwissenschaft und zelluläre Bildgebung.

Als CTO leitet Lorenz Mayr die globale FuE-Organisation und verantwortet alle FuE-Investitionen, Programme, Geschäftswachstumsstrategie, Technologieinnovationen und FuE-Talenteentwicklung in allen Life-Sciences-Geschäftsbereichen (BioProcess, Imaging Diagnostics/Contrast Media, Research Tools and Applied Markets, Cell & Gene Therapy).

Seit 2019 ist Lorenz Mayr Mitglied im Kuratorium des Fraunhofer IPA. Interaktiv sprach mit dem Biochemiker über Biologische Transformation, die Automatisierung von biologischen Produktionsprozessen und sein Engagement am Fraunhofer IPA.

# Mit deutscher Expertise schneller zur Biologischen Transformation

*Was verbinden Sie mit dem Begriff der Biologischen Transformation?*

*Lorenz Mayr:* Wir reden hier von Konvergenz zwischen Biologie und Technologie. Die Biotransformation bedeutet für mich als Naturwissenschaftler das Zusammenbringen von Prinzipien der Ingenieurwissenschaften, also Mechanik, Statik, Werkstoffkunde, Strömungs- und Materialwissenschaften, Informationstechnologie etc. mit den Prinzipien der Lebenswissenschaften, also Biologie, Biochemie, Mikrobiologie, Genetik etc. Wir reden somit über Themen wie Stoff- und Informationskreislauf, Nachhaltigkeit, Entsorgung, letztendlich über komplexe Systeme, die miteinander verzahnt sind und wechselseitig interagieren, auch komplex reguliert und optimiert werden. In der Biologischen Transformation machen wir die Technologie der Biologie ähnlicher.

In der neuen Transformationswelle, die jetzt nach der digitalen Transformation kommt, bauen wir im Rahmen der Biologischen Transformation unsere Wertschöpfung um. Ich möchte das aber – anders als viele Politiker oder Wissenschaftler in Deutschland, die eher mit Marketingbegriffen oder Schlagworten argumentieren – sehr konkret unterfüttert sehen. Was bedeutet das genau: biologische nachhaltige Kreisläufe? Es wird wichtig sein, mit einfachen konkreten Fragestellungen an das Thema pragmatisch heranzugehen und schnell spezifische Erfahrungen zu sammeln. Das Erlernen neuer Prinzipien wird hier ebenso wichtig sein wie das Erreichen klar definierter Produkt- bzw. Projektziele.

Die Vision der Biologischen Transformation unterstütze ich nachdrücklich, aber sie muss in eine Strategie übersetzt werden, die beschreibt, wie man diese erreichen will. Im Wissensmanagement ist es entscheidend, dass man zuerst eine Vision entwickelt und dann entscheidet, wie man sie umsetzt – realistisch, zeitlich definiert und finanzierbar. Zudem ist die Biologische Transformation ein sehr interdisziplinäres Arbeitsgebiet und erfordert wirkliches Zusammenarbeiten über scheinbar nicht zusammenhängende Disziplinen hinweg.

*Welches Prinzip oder welche Erfindung im Bereich der Biologischen Transformation finden Sie bisher am spannendsten?*

*Lorenz Mayr:* Zunächst sind da die biologisch entwickelten Oberflächen. Also, dass man sich Oberflächeneigenschaften aus der Biologie zur Energie- und Ressourcenschonung zunutze macht, das finde ich sehr interessant. Das andere Beispiel par excellence ist die Verwendung biologischer Fabriken zur Herstellung pharmazeutischer Wirkstoffe. Das hat in den 1990ern mit der klassischen Biotechnologie begonnen, sodass wir in den letzten 25 bis 30 Jahren von fast ausschließlich chemischen Molekülen als Wirkstoffen zu biologischen Wirkstoffen übergegangen sind. 75 bis 90 Prozent der heute entwickelten Medikamente beruhen auf biologisch hergestellten Wirkstoffen. Für mich ist das eine gigantische Transformation: weg von den klassischen chemischen Prozessen und Abläufen in der Chemie hin zu den Innovationen in der Biologie. Das wird im Moment nochmals enorm beschleunigt durch die raschen Fortschritte bei der Herstellung von gen- und zelltherapeutischen Produkten. In diesen Verfahren arbeiten wir auf der Ebene des Genoms bei der Gentherapie bzw. auf der Ebene der Zellen oder Gewebe bei der Zelltherapie, um Krankheiten nicht nur bei den Symptomen, sondern hoffentlich auch bei den molekularen Ursachen der Erkrankung zu therapieren. Ich erlebe den sich im Moment sehr schnell entwickelnden Bereich der Zell- und Gentherapie bereits als zweite Generation der biologischen Pharmazeutika. Die erste Generation war seit etwa 2000 geprägt von biotechnologischen Produkten.

*Was kann ein Forschungsinstitut wie das Fraunhofer IPA hier einbringen?*

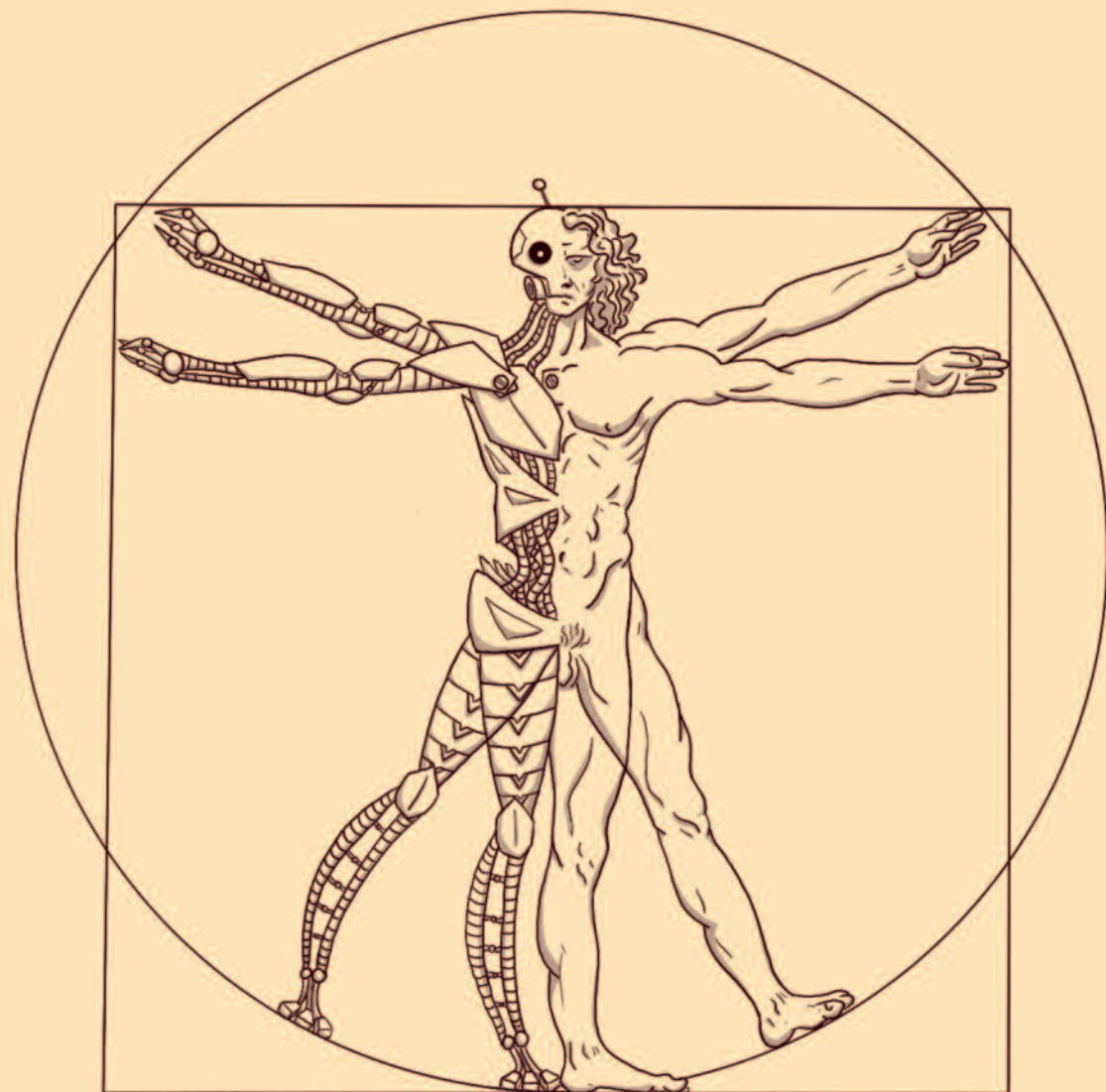
*Lorenz Mayr:* Das IPA kann die Industrialisierung und die Automatisierung von biologischen Produktionsprozessen für die Anwendung in der Medizin und bei pharmazeutischen Produkten ganz erheblich voranbringen. Die Produkte der Zukunft werden hoch spezialisierte individualisierte zellbiologische Produkte sein, personalisiert für bestimmte Untergruppen der

Bevölkerung bis hinunter auf die individualisierte Patienten-Ebene. Im Extremfall müssen wir eine Fabrik im Minimalmaßstab für jeden einzelnen Patienten aufbauen. Das müssen Sie industrialisieren, multi-parallelisieren, automatisieren um ein Produkt für den jeweiligen Patienten schnell, hochqualitativ, sicher und kostengünstig herzustellen. In einigen wenigen Fällen ist das bereits heute Realität, aber die Erwartungen an die breite massenhafte Anwendung sind gigantisch.

Wir wissen, dass viele Erkrankungen sehr heterogen sind, das heißt, die molekularen Ursachen der Erkrankung variieren von Patient zu Patient – Beispiel Krebs. Um eine für alle Patienten jeweils erfolgreiche Therapie herzustellen, muss man die Unterschiedlichkeit der Patienten in die Unterschiedlichkeit der Medikamente einfließen lassen. Das gelingt uns immer besser bei immer mehr Erkrankungen, aber in vielen Fällen noch nicht ausreichend. Auf Dauer werden wir uns in großem Stil auf personalisierte Medizin vorbereiten müssen. Dieses Ziel wird aber nur erreichbar sein, wenn wir uns bereits frühzeitig über automatisierte Systeme, kostengünstige und effiziente Produktion, entsprechende Miniaturisierung und Parallelisierung und weitere relevante Faktoren im Herstellungsprozess ausreichend Gedanken machen und rasch technische Lösungen anbieten.

Man muss die Automatisierung biologischer Prozesse kosteneffizient, hochqualitativ, schnell und mit hoher Erfolgsrate durchführen. In manchen Fällen liefert der jeweilige Patient individualisiert nicht nur wesentliche Information über seine DNA-Sequenz als Ausgangsmaterial für das pharmazeutische Produkt, sondern auch das biologische Ausgangsmaterial durch seine Zellen und sein Gewebe. Insofern ist höchste Produktqualität absolut entscheidend. Dafür braucht man hervorragende Ingenieurkunst und biologischen Sachverstand, wie es bei den Fraunhofer-Instituten vorhanden ist.

*Sie sind Spezialist im Bereich Genome Editing. Was ist CRISPR/Cas9 genau und wo liegen Ihrer Meinung nach die ethischen Probleme?*



*Lorenz Mayr:* Die Genom-Editierung ist ein sehr kontroverses Thema. Für das sogenannte CRISPR/Cas9 bin ich weltweiter Spezialist und arbeite an dieser Technologie bereits seit ihrer Entdeckung im Jahr 2012. Das CRISPR/Cas9-System ist ein hochspezifisches Werkzeug, um Genabschnitte zu erkennen und zu modifizieren. Das eröffnet uns ungeahnte Möglichkeiten, um das Genom von Menschen, Tieren und Pflanzen gezielt zu verändern. Der Unterschied zur Biotechnologie der letzten Jahrzehnte ist, dass man dort nur das Genom von Bakterien in einfachen Prozessen verändern konnte. Jetzt haben wir die Möglichkeit, mit einer hochspezifischen Genschere eine beliebige Sequenz im Genom zu erkennen und hochspezifisch zu verändern. Das bringt uns sehr viel bessere Testsysteme für die Entwicklung von Medikamenten; im Wesentlichen im Reagenzglas, aber auch in Versuchstieren. Die Wirkstoffentwicklung wird schneller, effizienter und besser.

Neu ist jetzt, dass man in den letzten ein bis zwei Jahren auch die ersten Schritte gemacht hat, um Genom-Editierung als therapeutisches Konzept einzusetzen. Nämlich, indem man das Genom im Patienten direkt verändert. Die Genom-Editierung muss dabei in einem auf nationaler und internationaler Ebene klar definierten rechtlichen Rahmen stattfinden und erfordert auch eine intensive öffentliche Diskussion, wobei man genau erklärt, was die Risiken und der Nutzen dieser Jahrhundert-Technologie wirklich sind. Dazu gehört auch, dass man bestimmte Dinge, die zwar technisch möglich, aber ethisch oder juristisch fraglich sind, in Europa und Nordamerika klar verbietet und auf die strikte Umsetzung dieser Regeln achtet. Zurecht!

Dazu gehört im Moment der Eingriff in die menschliche Keimbahn. Arbeiten, die hier beispielsweise in China Ende letzten Jahres mittels veränderter menschlicher Eizellen und

In-vitro-Fertilisation durchgeführt wurden, lehne ich explizit und rundweg ab. Diese Experimente waren meines Wissens sowohl technisch schlecht geplant und durchgeführt, medizinisch absolut unnötig, und letztendlich auch ethisch und moralisch fraglich. Hier war vermutlich der Sensationsfaktor wichtiger als das erhaltene Ergebnis. Diese Art von Forschung lehne ich ab. Die wissenschaftliche Gemeinschaft fordert deshalb klar ein Moratorium für diese Art von Arbeiten.

Aber! CRISPR/Cas ist die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts und stellt eine Revolution für die Medizin, die Pharmazie, die Tier- und Pflanzenzucht und für die Umwelttechnologie der Zukunft dar. Wir brauchen hier aber auch klare, offene Diskussionen in der Gesellschaft mit allen gesellschaftlichen, politischen und religiösen Gruppen. Leider ist das enorme Potenzial der CRISPR/Cas-Technologie den meisten Menschen in Deutschland noch nicht klar. In diesem Zusammenhang sollte man sich bei Fraunhofer mit Vertretern der anderen Wissenschaftsorganisationen wie Max Planck, Helmholtz, DFG und anderen Interessengruppen zusammensetzen und eine klare Position einnehmen. Meiner Meinung nach sollte man diese Technologie mit Nachdruck unterstützen, damit die notwendigen Veränderungen der Biotransformation im 21. Jahrhundert auch umgesetzt werden können: Das Vermehrungsproblem, das Umweltproblem, das Effizienzproblem, das Nachhaltigkeitsproblem ... das alles geht nur mit einem gezielten Eingriff in das Genom der entsprechenden Systeme.

*Welche Rolle spielt die Künstliche Intelligenz (KI) und das maschinelle Lernen (ML) bei der Biotransformation?*

*Lorenz Mayr:* Ich möchte Ihnen zwei Beispiele für die Bedeutung der Künstlichen Intelligenz in den Biowissenschaften nennen, es gibt natürlich noch viel mehr. Das erste bezieht sich auf die Anwendung der Künstlichen Intelligenz in der Medizin am jeweiligen Patienten. 85 Prozent aller weltweit generierten Daten werden heute mit den bildgebenden Verfahren in der Medizin generiert, nicht in der Musik- oder Videoindustrie. Das sind meistens Computer-Tomogramme (CT) und Positronen-Emissions-Tomogramme (PET und PET-CT), aber auch die bildgebenden Verfahren mittels Magnetresonanztomographie (MRT) sowie moderner Ultraschall- und Ultraschall-Technologien.

Die Mustererkennung von Gewebe durch die bildgebenden Verfahren in Verbindung mit Patientendaten ist ein gigantischer Schritt nach vorne. Es ist heute schon möglich aufgrund

dieser Datensätze eine sehr viel genauere Diagnose der Erkrankung abzugeben und die Therapie sehr viel genauer zu verfolgen als dies bei nicht digitalisierten Technologien in der Vergangenheit möglich war. Der zunehmende Einfluss von Genom-Information wird dieses Arbeitsgebiet nochmals erheblich beschleunigen. Sie können das komplette Genom eines Menschen, das sind 3,2 Milliarden Basenpaare, für etwa 100 US Dollar bestimmen lassen. Diese Technologie hat sich überexponentiell entwickelt, deutlich schneller als die Halbleiter-Technologien (Moore's Law). Ich bin sehr zuversichtlich, dass wir hier vor einer weiteren Revolution in der Medizin stehen. Bildgebung und Genomanalyse in Verbindung, Radiogenomics, wird uns durch Anwendung von KI/ML eine völlig neue Dimension in der Medizin aufstoßen.

Lassen sie mich über ein zweites Beispiel für Anwendungen der KI sprechen und auf den Bereich der Prozesstechnologien und Automationssteuerungen zurückkommen. Ich erwarte, dass in der Zukunft viele Therapien deutlich auf den Patienten zugeschnitten sind, zum Teil werden sie sogar völlig individualisiert werden. Damit meine ich, dass jeder Patient seine eigene spezifische Therapie bekommt. Dies ist heute bereits bei den CAR- (Chimeric-Antigen-Receptor-) Technologien der Fall. Das Zellmaterial wird individuell von jedem Patienten als Blutprobe entnommen, aufgearbeitet, genetisch verändert und nach individueller Vermehrung wird das finale Produkt dann anschließend in den jeweiligen Patienten zurückgegeben (autologe Transplantation). Mit dieser revolutionären Technologie lassen sich bei manchen Blutkrebs-Erkrankungen (Leukämien) bis dato nicht vorstellbare Heilungsraten von bis zu 90 Prozent und mehr erreichen. Allerdings ist jedes Medikament ein individualisiertes, patienten-abgeleitetes Zellprodukt und benötigt einen speziell überwachten und optimierten Herstellungsprozess. Das Fraunhofer IPA sollte sich hier mit den Kollegen aus anderen Fraunhofer-Instituten und externen Partnern unbedingt an der nächsten Welle beteiligen, wo wir KI zur Steuerung automatisierter biologischer Prozessanlagen verwenden.

Heute haben wir einfache Systeme in der Mechanik in den Ingenieurwissenschaften und den Materialwissenschaften. In der Zukunft müssen wir biologische Produktionsprozesse steuern, die mehr Varianz bei ihren biologischen Ausgangsmaterialien haben. Zellen sind per se heterogener als mechanische Werkteile. Hier muss die Künstliche Intelligenz die Parameter permanent mit überprüfen, nachschreiben und eine Steuerung oder auch eine Vorhersage des Ergebnisses ermöglichen. Wir reden hier – ich bleibe lieber beim englischen Begriff –

von Digital Twins. So wie wir heute bei einem Flugzeug sagen können, nach wie vielen zukünftigen Starts und Landungen das Flugzeug in die Wartung muss, so versuchen wir vorherzusagen, wie das Ergebnis eines biologischen Produktionsprozesses sein wird und wann wir präventiv werden einschreiten müssen, noch bevor das Problem entsteht. Das ist bei biologischen Prozessen genau das gleiche wie bei Flugzeugen.

Lassen sie mich ein weiteres Beispiel erwähnen, erneut aus der Medizin. Wenn Sie heute zum Arzt gehen und ein CT machen lassen oder wenn der Arzt eine Gewebeprobe nimmt und sie in der Histologie auswertet, findet das im Moment immer noch sehr händisch statt über die Expertise der Pathologen bzw. die Expertise der Radiologen. Es handelt sich aber im Wesentlichen um das Erkennen komplexer Strukturen in 2D/3D und das Erlernen der Prozesse zur Mustererkennung. Das kann ein Computerprogramm deutlich schneller und auch präziser. Die simplen Tätigkeiten werden künftig also besser durch Computer erledigt. Die dadurch freiwerdenden menschlichen Ressourcen sollten wir dann für eine bessere und patientennahe Betreuung einsetzen.

*Herr Mayr, warum haben Sie sich entschlossen, im IPA-Kuratorium mitzuarbeiten?*

Lorenz Mayr: Ich habe in Tübingen Biochemie studiert, lebe und arbeite aber seit 19 Jahren durchgängig im Ausland (USA, UK, Schweden, Schweiz), habe aber auch einen Wohnsitz in Baden-Württemberg. Ich habe also zwei Perspektiven auf die Forschung in Deutschland, eine deutsche und eine internationale Sicht. Ich möchte mit einem kritischen Blick von außen die deutsche Gesellschaft und Wissenschaft unterstützen. Damit kann ich auch etwas zurückgeben an das System, das mir meine Ausbildung ermöglicht hat. Ich denke, es ist dringend erforderlich, dass man den Begriff Biologische Transformation ernst nimmt und dass man Deutschland als Land der Denker, Erfinder, Tüftler konsequent umbaut und die Biologische Transformation schneller und erfolgreicher macht. Für mich ist es absolut notwendig, und das ist mir eine Herzensangelegenheit, dass man die Expertisen der deutschen Ingenieure nutzt, um schneller und effizienter in die Biologische Transformation zu gehen. Das heißt: in die Automatisierung, in die Industrialisierung der Biologie, vor allem auch in die individualisierte, automatisierte Medizin, die Herstellung von Wirkstoffen. Deutschland nutzt sein Potenzial in diesem Bereich bei Weitem nicht aus. Wir setzen immer noch viel zu sehr auf die klassische Automobil- und Maschinenbauindustrie, wir können doch viel mehr. Man muss meiner Meinung nach die Ressourcen,

die man auf der Ingenieurseite hat, dringend anwenden und den gleichen Erfindergeist, den wir bei der Entwicklung des Automobils vor über 100 Jahren hatten, nun auf die globalen Herausforderungen der Biotransformation anwenden.

Ich möchte es nochmals klar artikulieren: Ich denke, Deutschland und speziell Fraunhofer nutzt sein großes Potenzial in diesem Bereich noch nicht ausreichend. Man ist nicht schnell genug unterwegs mit mutigen, visionären Entscheidungen im Bereich der Biotransformation. Hier sind die klassischen Ingenieurwissenschaften gefordert, sich für neue Strömungen rasch und konsequent zu öffnen. Es gibt kaum ein Land weltweit, welches das so gut kann wie Deutschland, und hier speziell Baden-Württemberg.

Das 21. Jahrhundert ist das Jahrhundert der Biologie. Wir brauchen Leute, die biologische Prinzipien erkennen. Idealerweise sollten das jedoch keine Biologen sein, sondern Ingenieure oder Chemiker oder andere Fachexperten, welche sich die Denkstrukturen und Mechanismen der Biologie aneignen. Ich hoffe, dass man diese Ideen sehr viel schneller umsetzt und dieses enorme Potenzial im Maschinen- und Anlagenbau, vor allem in Baden-Württemberg und Bayern, in der Biotransformation endlich umsetzt. Dabei helfe ich sehr gerne mit.

Herzlichen Dank für das interessante Gespräch, Herr Mayr. ■

illustration: cora foitzik



## Organisations- und Wirtschaftsbiomimetik:

# Von der Natur lernen

Die Biologische Transformation basiert auf dem Wissen von den Prinzipien und der Funktionsweise der Natur – deren Ökosysteme, Lebewesen und der Beziehungen dieser untereinander – und verknüpft dieses zu Anwendungen in unterschiedlichen wirtschaftlichen und technischen Prozessen.

Was auf diese Weise optimierte Prozesse beispielsweise von der modernen industriellen Milchviehhaltung mit Melkrobotern und individualisierter Fütterung über Futterautomaten unterscheidet, ist der Anspruch auf Nachhaltigkeit. Die Biologische Transformation strebt eine langfristige Lebenserhaltung für direkt und indirekt mit ihr in Verbindung stehende Lebewesen und Ökosysteme an.

Dies Streben ist leichter gesagt als getan. Die komplexen Wirkungszusammenhänge der Natur sind noch lange nicht erforscht, geschweige denn soweit kognitiv durchdrungen, dass sie technisch beherrscht würden. Eine Ahnung der Komplexität und Regelkreisläufe bekommen wir, wenn wir uns die Anstrengungen zur Klimasimulation anschauen. Trotz der vielen einbezogenen Effekte und wissenschaftlich erhobener Datenmengen ist eine wirklich befriedigende Prognosequalität noch nicht erreicht worden.

## Übertragbare Prozesse

Die Biologische Transformation wird bisher überwiegend als technologische Revolution gesehen. Sie soll Anwendung als biotechnologische oder bioinspirierte Hardware finden. Dass der Mensch auch von der Organisation und der Interaktion von Organismen mit ihrer belebten und unbelebten Mitwelt und den evolutionären Veränderungsprozessen auf Individuum- und Ökosystemebene lernen kann, findet erst seit wenigen Jahren Beachtung.

Solche Aspekte behandelt die Forschung unter unterschiedlichen Oberbegriffen: Evolutionsmanagement, evolutionäre Ökonomie, Organisationsbionik. Aber auch die Biokybernetik gehört in Teilen dazu. Im Folgenden werden diese unter einem Begriff als Organisations- oder Wirtschaftsbiomimetik zusammengefasst. Darin soll es um nicht-dingliche abstrakte, aber beob-

achtbare, beschreibbare Prozesse und Verhaltensweisen in der Natur gehen, die in einen anderen Kontext, nämlich in den wirtschaftlichen-organisatorischen übertragen werden.

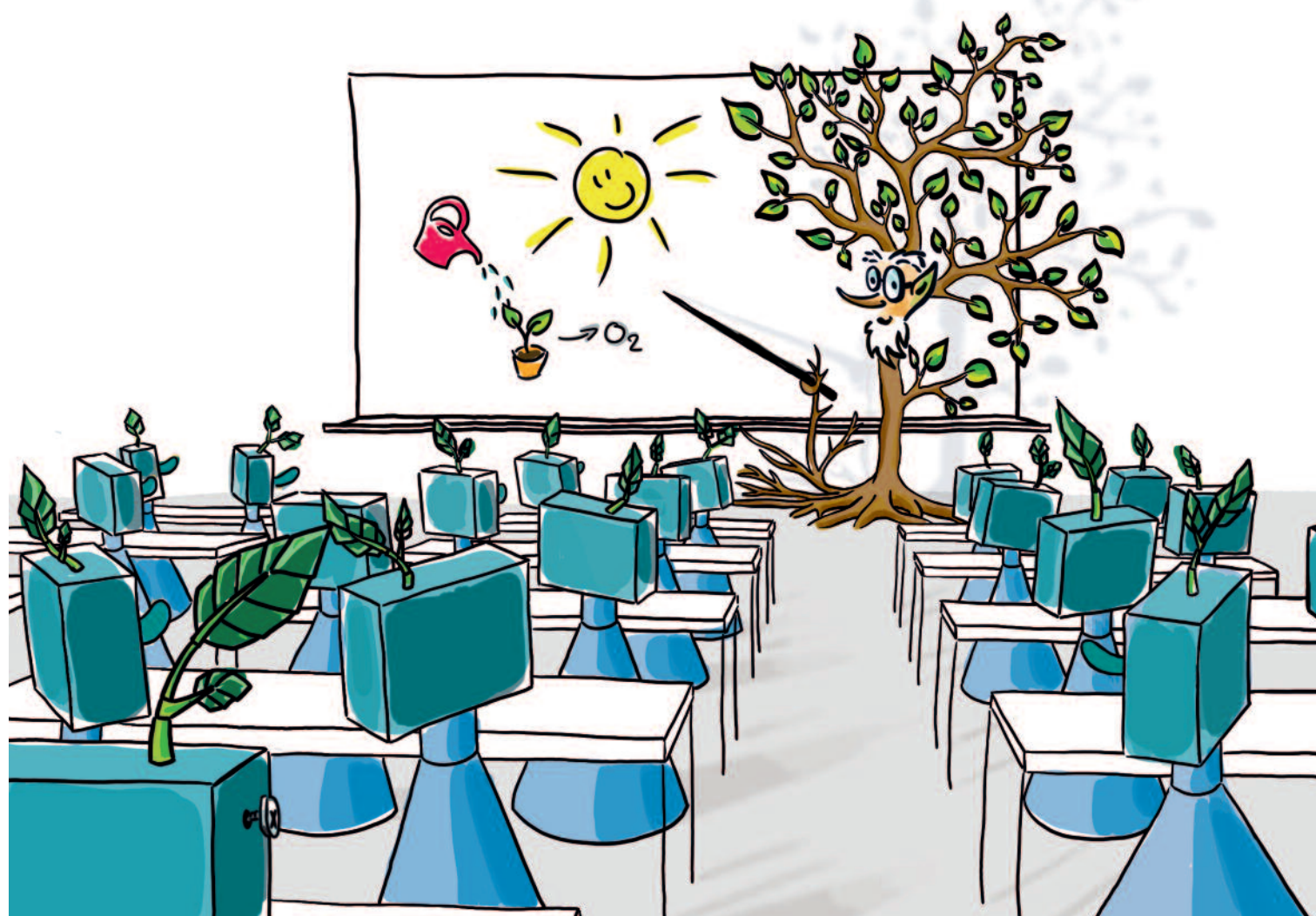
## Analogien für Unternehmensorganisationen

Auf dem Weltwirtschaftsforum in Davos 2018 empfahl Bundeskanzlerin Merkel, ein besseres Ökosystem für Start-ups zu schaffen. Die Übertragung ursprünglich rein naturwissenschaftlich geprägter Begriffe wie Symbiose, Schwarmintelligenz, Alpha-Tiere, Agilität oder Resilienz in den Wirtschafts- und Unternehmenskontext ist älter. Biologische Analogien gebrauchten schon die antiken Naturphilosophen, um abstrakte und komplizierte Sachverhalte eingängig und nachvollziehbar darzustellen. Bei solchen Metaphern geht es aber auch darum, Gesetzmäßigkeiten komplexer adaptiver lebender Systeme – und das sind Organismen – auf die Gestaltung nachhaltiger Unternehmensorganisationen und -prozesse anzuwenden.

## Biologische Grundmuster

Kritiker weisen zurecht auf unterschiedlich wirkende Mechanismen hin, die evolutionäre Prozesse in der Natur und in Wirtschaftsunternehmen auslösen. Tiere und Pflanzen auf der einen sowie Wirtschaftsunternehmen und Menschen auf der anderen Seite reagieren ganz verschieden. Schwer bestreitbar aber ist, dass die Verhaltensweisen, die Denkstrukturen und das Handlungsrepertoire auf Prozessen aufbaut, die auf diesem Planeten entstanden sind.

Denn der Mensch steht stammesgeschichtlich mit allen Lebewesen in unterschiedlichen Verwandtschaftsgraden in Verbindung und auch die Umfeldbedingungen seines Lebens sind dieselben. Entsprechend lassen sich die Ausprägungen von Verhalten, Organisationsgraden, Interaktionsmöglichkeiten seiner tierischen Mitwelt in einen ähnlichen Kontext wie die menschlichen Bedürfnisfelder setzen. Dass ähnliche Gesetzmäßigkeiten auf Technikevolution und Evolution biologischer Systeme wirken, zeigt sich in einer großen Parallelität. Daraus lassen sich allgemeine Regeln ableiten.



### Nützliche Transformationen

In der Vergangenheit zeigten sich die Übertragungen aus der Natur vor allem dann als hilfreich, wenn es um komplexe, dynamische und nicht planbare Situationen geht. Ein Beispiel sind Change- und sogenannte Absterbe-Prozesse in Unternehmen oder Transformationen in Gesellschaften. Hier können wichtige Erkenntnisse für Handlungsoptionen auf den verschiedenen Ebenen – der individuellen, der Unternehmens- und gesellschaftlichen – gewonnen werden. Das Denken in Ökosystemen unterstützt wiederum eine ganzheitliche Betrachtungsweise von Problemen und Planungen. Vernetzung und Regelkreise miteinzubeziehen ist ein entscheidender Vorteil für nachhaltiges Handeln und Wirtschaften. Es ist damit prädestiniert als Methodik für biotransformiertes Arbeiten.

### Normen etablieren

Die Methodiken der verschiedenen Richtungen der Organisations- und Wirtschaftsbiomimetik sind bisher nicht in Normen (VDI oder DIN) gegossen. In erster Näherung folgen sie aber der Logik der bionischen Herangehensweise (VDI 6220). Diese Formalisierung müsste in nächster Zeit vorgenommen werden. Es ist ein günstiger Zeitpunkt, um diese im Kontext der Biotransformation auszuprobieren, wissenschaftlich zu fundieren und zu evaluieren. Die Qualität der Aussagekraft steigt und fällt mit der Qualität des Verständnisses der biologischen Fakten – ebenso wie bei der Bionik – nur entspringen diese eher aus den Disziplinen der Verhaltens- und Evolutionsforschung. Die Einordnung technischer Transformationsprozesse in eine gesamtgesellschaftliche Transformation zu mehr Nachhaltigkeit ist notwendig. Dabei hilft es in beiden Prozessen, von bewährten Verfahren in Naturprozessen zu lernen wie beispielsweise bei Kreislaufs-, Selbstorganisations- oder schnellen Rückkoppelungsprozessen. ■

### Kontakt

Dr. rer. nat. Oliver Schwarz  
Telefon +49 711 970-3754  
oliver.schwarz@ipa.fraunhofer.de



illustration: leander schmidt

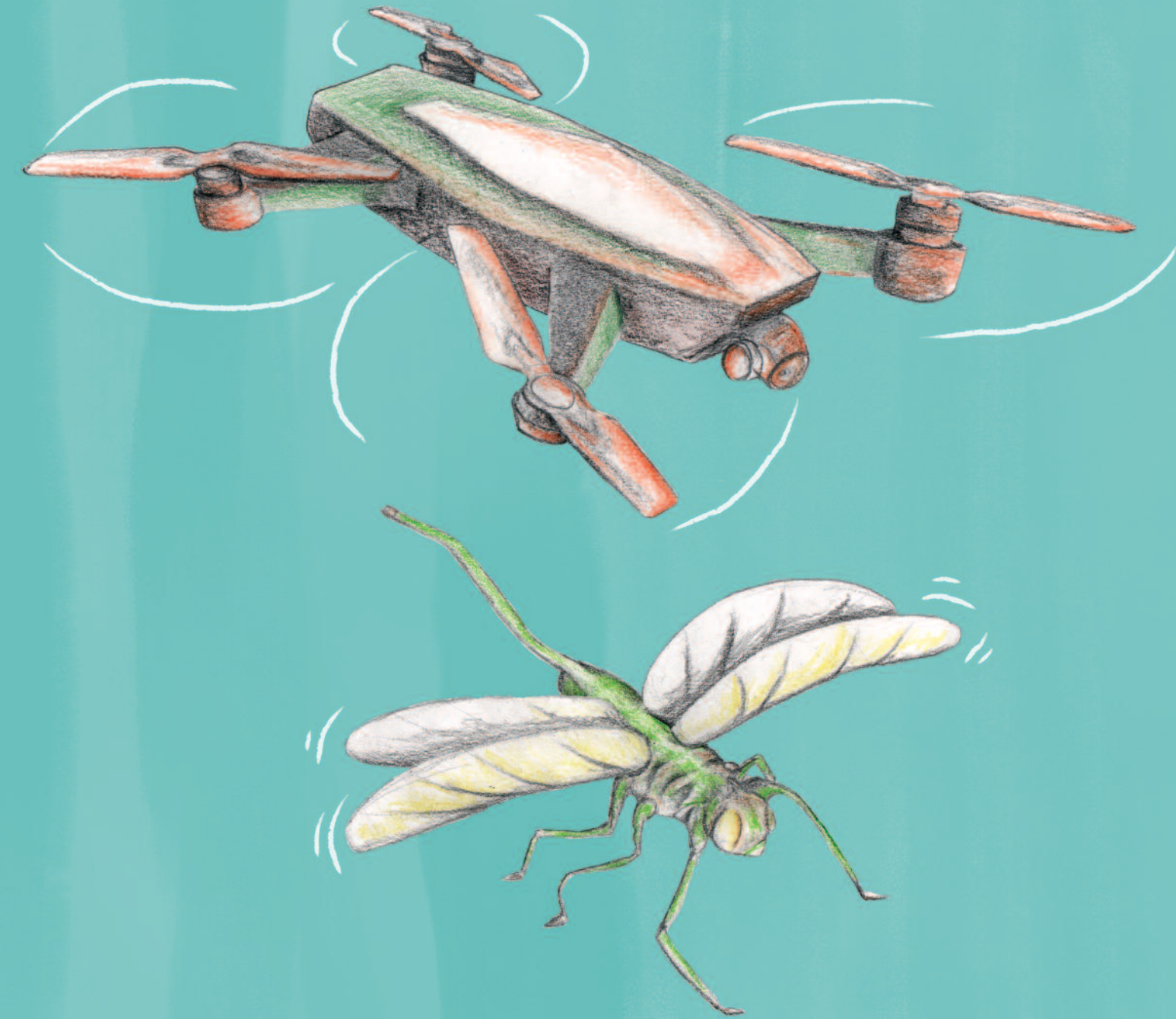


illustration: lukas tietkens; gruppenaufnahme dirk fellenberg



Anlässlich unseres 60-jährigen Institutsjubiläums haben sich Studierende aus dem Studiengang Illustration des Fachbereichs Art & Design von Episoden und Themen aus dem IPA inspirieren lassen. Ob sie sich auf dieser Reise vorkamen wie auf einem fremden Planeten, im All, als Astronaut oder Cyborg? Das könnten wir aus den Selbstillustrationen im Innenumschlag am Anfang von Interaktiv schließen. Lassen Sie sich von der Neugier, dem Spaß und Augenzwinkern der Illustrationen anstecken.

**Wir danken:**

(oben v.l.n.r.) Charlotte Apel, Leander Schmidt, Isa Berges, Ines Golub, Pascal Reißig, Annika Becker, Sophie Nyncke, Lukas Tietkens, Cora Foitzik, Friederike Heuer, Jenny Müller, Janina Sturm, Prof. Friederike Groß

(unten v.l.n.r.) Shaowei Deng, Julina Nishimine, Laureen Hayduk, Khira Niemeier, Raphaela Klautke und der University of Applied Sciences Europe (EU), Hamburg



## Impressum

interaktiv Ausgabe 2|2019 | Das Kundenmagazin des Fraunhofer IPA

### Herausgeber:

Fraunhofer-Gesellschaft | Hansastraße 27c | 80686 München

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart | Deutschland

Marketing und Kommunikation | Leitung: Fred Nemitz | [fred.nemitz@ipa.fraunhofer.de](mailto:fred.nemitz@ipa.fraunhofer.de)

### Redaktion:

Klaus Jacob, Dr. Karin Röhrich, Christine Sikora (Bild und Produktion),

Dr. Birgit Spaeth, Jörg-Dieter Walz (Chefredaktion)

Telefon +49 711 970-1667 | [presse@ipa.fraunhofer.de](mailto:presse@ipa.fraunhofer.de)

**Fotos:** Seite 41: Dirk Fellenberg

**Titelbild:** Pascal Reißig

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

### Bestellservice:

Telefon +49 711 970-1932 | [marketing@ipa.fraunhofer.de](mailto:marketing@ipa.fraunhofer.de) | <https://www.ipa.fraunhofer.de/de/presse/bestellservice.html>



illustration: isa berges

