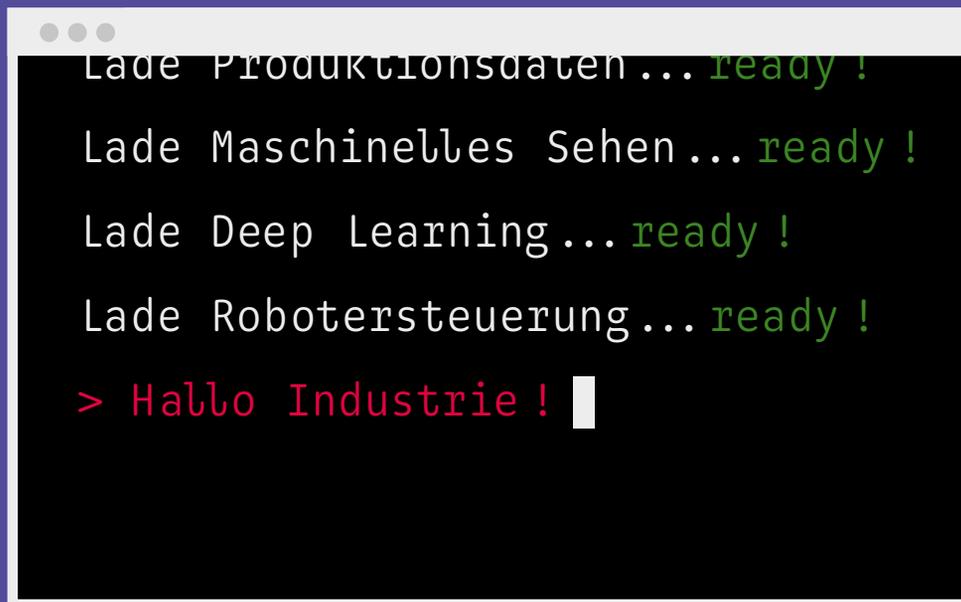


# futur

VISION | INNOVATION | REALISIERUNG



---

## KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

---

### **Gut vernetzt ist halb gewonnen**

Um Digitale Zwillinge gewinnbringend einzusetzen, müssen Unternehmen wissen, wie sie diese sinnvoll vernetzen können.

S. 10

### **Vorbild Gehirn**

Ein Gastbeitrag von Prof. Dr. med. Katrin Amunts, Direktorin des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin am Forschungszentrum Jülich.

S. 36

### **Kleinerer Aufwand, große Wirkung**

KI benötigt große Datenmengen? Wir zeigen anhand der optischen Qualitätskontrolle von Industriegütern, wie es auch anders funktionieren kann.

S. 20

Wo sich Schweißtechnik  
und Künstliche Intelligenz  
begegnen



**Diese Schönheiten helfen  
Forschenden dabei, künstliche Neuronale  
Netzwerke zu trainieren.**



## 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,



woran denken Sie, wenn Sie »Künstliche Intelligenz« lesen? An sprachgesteuerte digitale Assistentinnen, mit denen Sie Ihr Handy oder Ihr Zuhause steuern? An Deep Blue, den Schachcomputer, der bereits 1997 Schachweltmeister Gary Kasparov besiegte? Oder an autonome Fahrzeuge, die Ihnen anders als Navigationssysteme nicht nur den Weg weisen, sondern Sie ohne Ihr Zutun auch zum Ziel bringen?

KI beschwört ganz unterschiedliche Assoziationen – und Emotionen – herauf. Das liegt zum einen an den oft vagen Begriffsdefinitionen im öffentlichen Diskurs, andererseits an der meist sehr vereinfachenden Darstellung dieses hochkomplexen Themas. Hoffnung und Neugier, aber auch Skepsis und Sorge begleiten deshalb diese Technologie seit ihren wissenschaftlichen Anfängen in den 1960er Jahren.

Mittlerweile prägen KI-Systeme nicht nur unseren Alltag, sondern auch Wirtschaft und Industrie. Grund genug für uns, Ihnen mit dieser Ausgabe unseres Magazins FUTUR unser humanzentriertes Verständnis von KI näherzubringen und Ihnen zu zeigen, wie Maschinelles Lernen und Computer-Vision-Technologien in der Produktion genutzt werden.

So zum Beispiel beim Reverse Engineering, wo heute noch viel Handarbeit gefragt ist, um vom physischen Objekt über die Punktwolke zum CAD-Modell zu gelangen. Forschende am Fraunhofer IPK haben eine KI-basierte Lösung entwickelt, die weite Teile des Prozesses automatisiert und damit Entwicklerinnen und Ingenieuren viel Zeit spart.

Damit KI ihr volles Potenzial in der Industrie entfalten kann, müssen Expertinnen und Experten verschiedener Domänen wie Materialwissenschaft oder Produktionstechnik eng mit KI-Fachleuten zusammenarbeiten. Wie das gelingt, beschreibt Sven Hamann, Geschäftsführer von Bosch Connected Industry, in unserem Interview zu KI in der Produktion.

Dass die Kooperation über Domänengrenzen hinweg auch die Stärke von Fraunhofer ist, stellen unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in zahlreichen Industrieprojekten unter Beweis. Gemeinsam mit einem Softwareanbieter entwickeln sie mobile Assistenzsysteme für Wartung und Instandhaltung. Sie ermöglichen es Werkzeugherstellern, Fehler bei der Produktionsplanung mithilfe von Digitalen Zwillingen bereits im Entwurfsstadium festzustellen. Und für einen Triebwerksproduzenten liefern sie mit intelligenten Datenauswertungsmethoden Lösungen für komplexe Fertigungs- und Montageaufgaben.

Wie genau unsere Forschenden das alles realisieren und welche Schlüsselrolle Künstliche Intelligenz dabei spielt, erfahren Sie in dieser Ausgabe unseres Magazins.

Viel Freude bei der Lektüre wünscht

Ihr

**Eckart Uhlmann**

# Inhalt

## 08 Shortcuts

### 10 Gut vernetzt ist halb gewonnen

Um Digitale Zwillinge gewinnbringend einzusetzen, müssen Unternehmen wissen, wie sie diese sinnvoll vernetzen können.

### 14 Glossar

Künstliche Intelligenz herunterzurechnen ist keine leichte Aufgabe. Wir haben es trotzdem versucht.

### 16 Scanning + Reverse Engineering = Scangineering

Vom physischen Objekt zum CAD-Modell – Reverse Engineering bedeutet viel Handarbeit. Eine KI-Lösung soll das ändern.

### 20 Kleinerer Aufwand, große Wirkung

KI benötigt große Datenmengen? Wir zeigen anhand der optischen Qualitätskontrolle von Industriegütern, wie es auch anders funktionieren kann.

### 22 KI in der Produktion

Sven Hamann, Geschäftsführer Bosch Connected Industry im FUTUR-Interview

### 26 Vier Augen für die Kreislaufwirtschaft

Ein KI-basiertes Assistenzsystem macht die Identifikation von Altteilen für Remanufacturing robuster und rentabler.

### 30 Mit Algorithmen zum neuen Jobprofil

Ein Rollennavigators soll Unternehmen helfen, ihre Mitarbeitenden fit für die vernetzte Fertigung zu machen.

### 32 Wo sich Schweißtechnik und Künstliche Intelligenz begegnen

Können Neuronale Netze der Schlüssel zur Qualitätssicherung in der additiven Fertigung sein?

Neben KI-Expertise wird auch Domänenwissen immer wichtiger.  
 ↪ Mehr dazu ab Seite 22

© Bosch



Gleich oder anders? Das ist hier die Frage.  
 ↪ Mehr dazu ab Seite 26

**Beim »Scangineering« werden die parametrisierten 3D-Modelle algorithmisch durch Künstliche Intelligenz erzeugt.**

↪ Mehr dazu ab Seite 16



### 36 Vorbild Gehirn

Ein Gastbeitrag von Prof. Dr. med. Katrin Amunts, Direktorin des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin am Forschungszentrum Jülich

### 38 Maschinelles Lernen im Dreiklang

Datenauswertungsmethoden liefern für Fertigungsprobleme überzeugende Lösungen, wie ein Pilotprojekt mit Rolls Royce Deutschland beweist.

### 42 Zum Ersten, zum Zweiten, zum Dritten – gefunden!

KI-basierte Bildsuchverfahren könnten in der Provenienzforschung bald helfen, Kunstwerke eindeutig zu identifizieren.

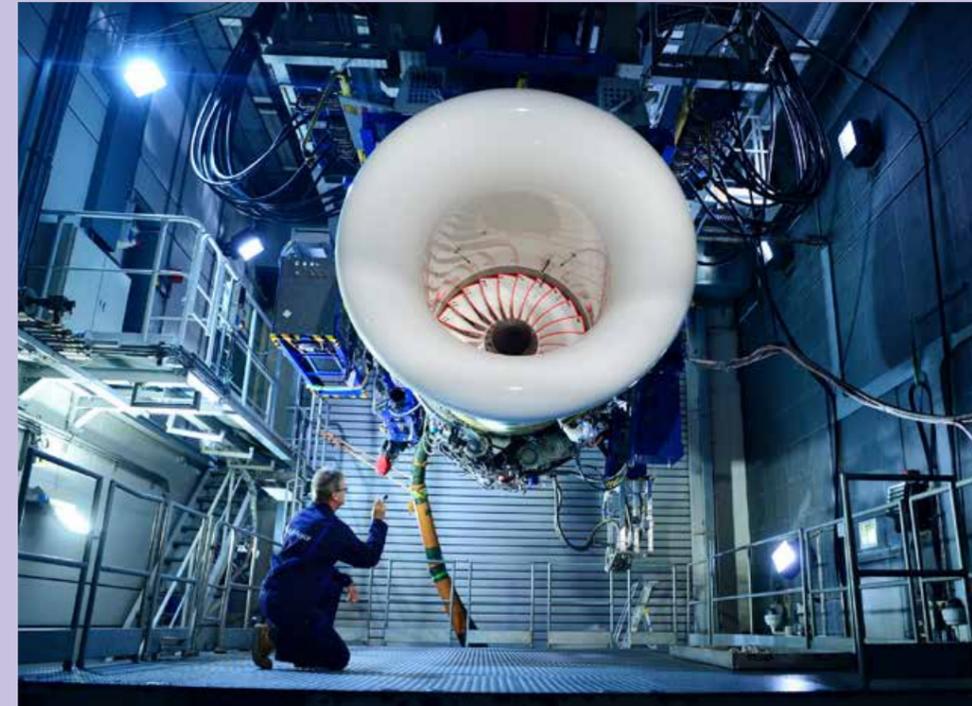
### 46 Zukunft will gut produziert sein

In Berlins Siemensstadt<sup>2</sup> wird die Produktion von Morgen auf den Weg gebracht.

**Mit zunehmender Automatisierung in der Montage von Komponenten wächst auch der Anspruch an die Fehlerfreiheit.**

↪ Mehr dazu ab Seite 62

Maschinelles Lernen hilft bei der Montage solcher Triebwerke.  
 ↪ Mehr dazu ab Seite 38



© Rolls Royce plc



**»Wir gehen Stellschrauben an, die vorher fixiert waren.«**

↪ Mehr dazu in unserem Expertengespräch ab Seite 52

### 50 Nachbarschaft macht mobil

Der »Flex Q-Hub« soll Lieferverkehr smarter, nachhaltiger und kiezbezogener machen.

### 52 Wie Maschinen lernen, Strom zu sparen

Unsere Gesprächspartner erforschen, wie Unternehmen mithilfe von maschinellem Lernen ihren Energieverbrauch reduzieren können.

### 56 Kraft der Abbildung

Ein KI-basiertes Assistenzsystem steigert die Effizienz von Simulationsverfahren.

### 58 Kontext ist alles

Dank KI werden mobile MRO-Assistenzsysteme flexibler und vorausschauender.

### 60 Der KI-Marktplatz

KI auch für KMU leichter zugänglich zu machen, ist der Anspruch einer neuen Onlineplattform.

### 62 Schneller entwickeln mit Digitalen Zwillingen

An einer neuen Pilotanlage können komplexe Automatisierungsprozesse sicher und günstig getestet werden.

### 64 Forschung braucht ein Zuhause

Ein Doppeljubiläum am Spreebogen ist Anlass für einen Rückblick auf die Geschichte eines besonderen Forschungsortes.

### 68 Ereignisse und Termine

### 69 Mehr Können

### 70 Impressum

## MITMACHEN!

**Digital Transformation Assessment**

Digitale Transformation ist ein vielschichtiges Thema, das weit über eine reine Automatisierung oder Implementierung moderner Technologien hinausgeht. Wertschöpfungsstrukturen werden sich binnen kürzester Zeit massiv verändern. Unternehmen sind daher gefordert, bisherige Geschäftspraktiken und Strategien sowie die eigenen Prozesse, Strukturen und Produkte auf den Prüfstand zu stellen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer IPK führen deshalb eine Studie durch, in der Unternehmen ermitteln können, wie es um den Status ihrer digitalen Transformation bestellt ist. Die Teilnahme ist kostenlos.

➔ **Füllen Sie den Online-Selbsttest bequem in wenigen Minuten aus unter** [www.ipk.fraunhofer.de/digital-transformation-assessment](http://www.ipk.fraunhofer.de/digital-transformation-assessment)



## GUT GESAGT



**»Die Idee, dass man Dinge allein machen kann, ist nicht mehr zeitgemäß und nicht mehr realistisch, vor allem im Hinblick auf die Komplexität der Themen.«**

Sven Hamann, Geschäftsführer Bosch Connected Industry, in unserem Interview zu KI in der Produktion

➔ Mehr dazu ab Seite 22

## IM DETAIL



**Was Sie hier sehen** und was das genau mit KI zu tun hat, erfahren Sie

➔ ab Seite 50.

## DIE ZAHL DER AUSGABE

# 30 Watt

beträgt die Leistung einer regulären Glühbirne. Wie unser Gehirn es schafft, weniger Energie zu verbrauchen als ein solches Leuchtmittel, erfahren Sie in der Kolumne unserer Alumna Prof. Dr. med. Katrin Amunts ➔ ab Seite 36.

## WISSENSMANAGEMENT IN KMU NORMIERT

**DIN SPEC**  
Heute Idee.  
Morgen Standard.

Leitlinien für das Wissensmanagement speziell zugeschnitten auf KMU – das ist das Ziel der DIN SPEC 91443 »Systematisches Wissensmanagement für KMU – Instrumente und Verfahren«.

Wissensmanagement auch in kleine und mittlere Unternehmen zu tragen, ist seit Jahren ein zentrales Anliegen des Fraunhofer IPK. Wissenschaftliche Mitarbeitende des Instituts haben die Ausarbeitung der SPEC daher maßgeblich unterstützt.

➔ **Mehr dazu unter**

[www.ipk.fraunhofer.de/DIN-Spec-KMU](http://www.ipk.fraunhofer.de/DIN-Spec-KMU)



# Gut vernetzt ist halb gewonnen

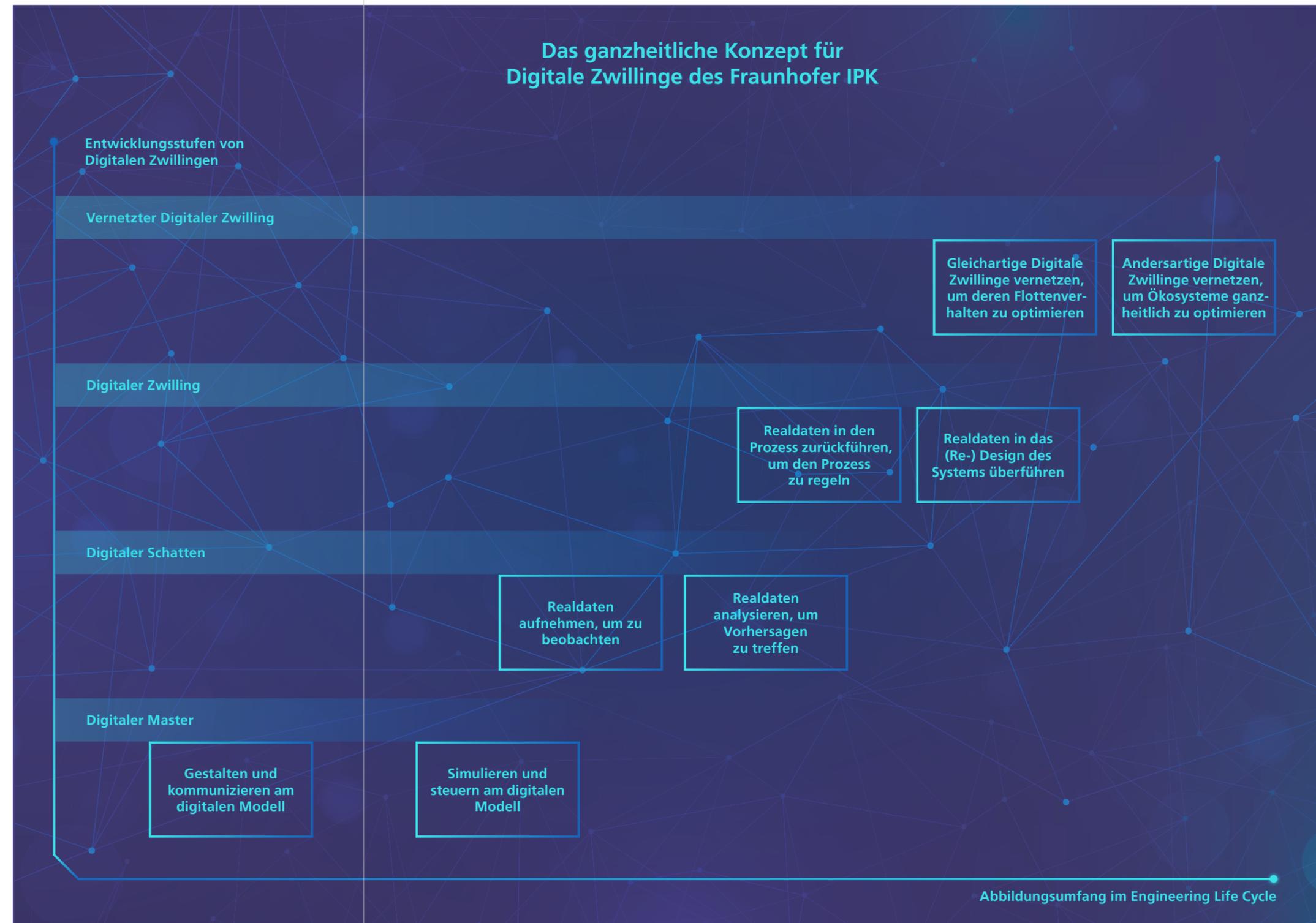
Um Digitale Zwillinge gewinnbringend einzusetzen, müssen produzierende Unternehmen wissen, wie sie diese sinnvoll vernetzen können.

Die Planung von hochflexiblen Fabriken, die Gestaltung intelligenter Produkte und die Auslegung von Prozessparametern in Werkzeugmaschinen – auf den ersten Blick haben diese Aufgaben nicht viel gemeinsam. Doch sie alle werden an hochkomplexen Systemen durchgeführt. Um sie beherrschen zu können, setzen Unternehmen bereits vielfach Digitale Zwillinge ein. Sie sind das digitale Abbild eines spezifischen Produkts, einer Produktionsanlage oder einer gesamten Fabrik und ermöglichen es, mithilfe von Modellen, Informationen und Daten deren Eigenschaften, Zustand und Verhalten zu erfassen, vorherzusagen und zu steuern.

Die Basis dafür ist ein Digitaler Master. Er hält Referenzmodelle und Informationen aus der Entwicklungsphase von Produkten und Prozessen bereit und legt damit die Grundlage für deren Modellierung oder Simulation. Mithilfe eines solchen Digitalen Masters lassen sich zum Beispiel Funktion und Design von Produkten definieren oder Fertigungsprozesse im Vorfeld absichern und optimieren.

Noch einen Schritt weiter geht der Digitale Schatten, der kontinuierlich die realen Zustandsdaten eines Produktionssystems erfasst. Dazu werden operative Daten aus dem Betrieb gezielt aufgenommen, gespeichert und zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise kann das Verhalten eines Systems beobachtet werden, um beispielsweise Ungenauigkeiten des Digitalen-Master-Modells zu identifizieren und manuell zu korrigieren. Die Realdaten eines Digitalen Schattens dienen so als zusätzliche Basis für simulationsbasierte Untersuchungen und helfen vorherzusagen, wie sich zum Beispiel ein Werkzeug abnutzt und wann es ausgetauscht werden muss.

Der Digitale Zwilling selbst entsteht erst durch die intelligente Verknüpfung des Digitalen Masters mit dem Digitalen Schatten. So können bereits heute in Zerspanprozessen Schwingungsdaten in Echtzeit erfasst und Prozessparameter bei Bedarf angepasst werden. Auch Daten zu Umwelteinflüssen wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, die den Prozess negativ beeinflussen könnten, werden mitunter einbezogen, um den



## Der Schlüssel für eine hochflexible und durchgängige Vernetzung von Digitalen Zwillingen sind KI-Lösungen.

Prozess flexibel und adaptiv zu regeln. Werkzeugschwingungen, die beim Zerspanen zu verkürzten Werkzeugstandzeiten bis hin zu Schäden an Werkstück, Werkzeug oder Maschine führen können, lassen sich so vermeiden.

### VERNETZUNG ERZEUGT MEHRWERT

Die Industrie hat erkannt, wie vielversprechend Digitale Zwillinge als Zukunftstechnologie sind. Laut einer Gartner-Studie nutzen zwar derzeit nur 13 Prozent aller großen Firmen mit laufenden IoT-Projekten in den bedeutenden Industrienationen Digitale Zwillinge. Doch bei 62 Prozent der Befragten befinden sich solche Projekte zumindest in der Planungsphase.

In den Unternehmen, in denen Digitale Zwillinge bereits in der Anwendung sind, werden sie aber längst nicht optimal genutzt. Bisher fungieren sie meist als datenbereitstellende Systeme oder werden zur Absicherung und Fehleranalyse verwendet. Zu diesem Schluss kommt die Studie »Digital Twin Readiness Assessment« von Fraunhofer IPK und msg aus dem Jahr 2020. So werde das Angebot automatisierter Mehrwertdienste und die Ausgestaltung als autonome oder adaptive Systeme bislang in wenigen Konzepten berücksichtigt.

Wollen Unternehmen Digitale Zwillinge in ihrer Produktion gewinnbringend verwenden, genügt es nicht, sie singulär einzusetzen. Echtes Potenzial entfalten sie nur, wenn sie miteinander kombiniert werden – also quasi eine doppelte Vernetzung stattfindet. Nicht nur zwischen Digitalen Master und Schatten, sondern auch zwischen einzelnen Produkt-, Prozess- oder Fabrikzwillingen unter- oder miteinander. In hoch volatilen Produktionsumgebungen gelingt das jedoch nur, wenn diese Vernetzung hochflexibel und durchgängig über den Lebenszyklus der Produktion, ihrer Prozesse und Produkte genutzt wird. Der Schlüssel für diese sogenannten vernetzten Digitalen Zwillinge sind KI-Lösungen.

### WENN MASCHINEN SICH UNTER DIE ARME GREIFEN

Schon heute arbeiten Industrie und Forschung an KI-Algorithmen, die das Steuerungsmodell einer Werkzeugmaschine kontinuierlich und automatisiert optimieren sollen. Anhand von Erfahrungswerten aus vergangenen Zerspanprozessen lernen die Algorithmen, welche Einstellungen am Steuerungsmodell unter welchen Randbedingungen zu optimalen Zerspanergebnissen führen. Ist der Lernvorgang erfolgreich, ist die Anpassung des Steuerungsmodells nur noch Formsache.

Wird das Steuerungsmodell und damit auch der Digitale Zwilling einer Werkzeugmaschine auf diese Weise verändert, können die gleichen Mechanismen auf andere, gleichartige Maschinen übertragen werden, sodass diese für die Ausführung jeweils aufgabenspezifisch optimiert werden und die gesamte Werkzeugmaschinenflotte perfekt aufeinander abgestimmt arbeiten kann. Dazu werden Lösungen der agentenbasierten Selbstorganisation angewendet, die es ermöglichen, dass die Produktion auch bei Abweichungen von der ursprünglichen Produktionsplanung nicht ins Stocken gerät. Daraus resultierende reduzierte Prozesszeiten schaffen neue Möglichkeiten in der Fabrikgestaltung oder Kostenvorteile für das Produkt. Die Verknüpfung verschiedenartiger Master- und Schattenmodelle eines Gesamtsystems in Form eines solchen vernetzten Digitalen Zwillings ist daher sinnvoll, wenn man nicht aufwendig Daten transformieren und zwischen den heterogenen Softwaresystemen im Produktionsumfeld austauschen möchte.

Darüber hinaus können Unternehmen zuvor simulierte Steuerungen auf Maschinen und Anlagen an verteilten Standorten gleichzeitig anwenden. Oder sie können die Daten nutzen, um neue Geschäftsmodelle zu implementieren oder selbst unternehmensübergreifende Kooperationen über funktionierende Informationsflüsse zu etablieren.

### DIE GLÄSERNE BRENNSTOFFZELLE – CRADLE TO CRADLE

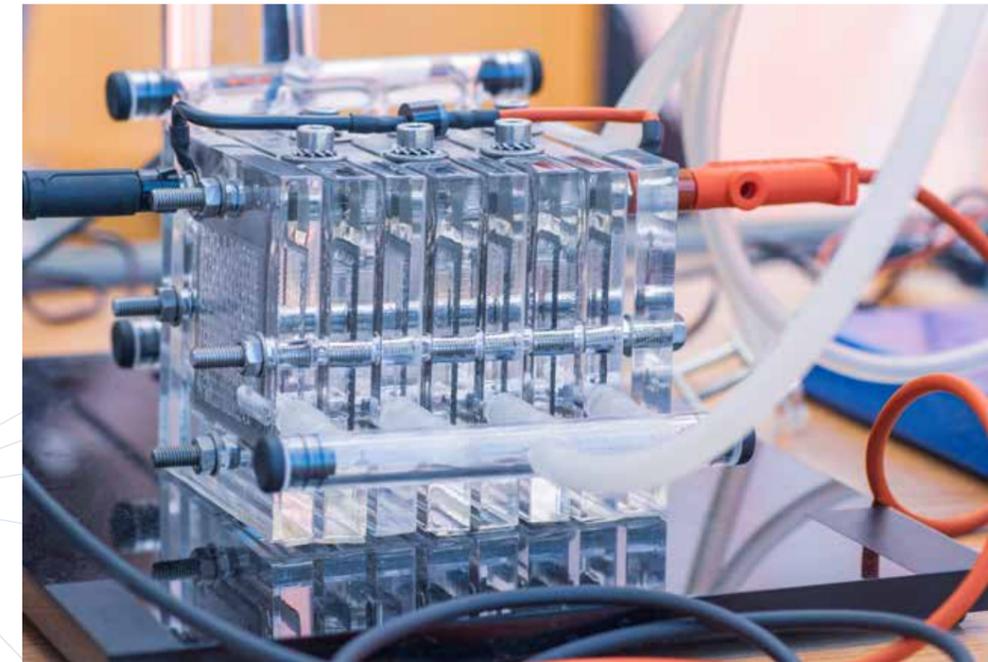
Ob zur Bereitstellung von Energie für den Antrieb elektrischer Fahrzeuge oder stationär zu Hause, die Brennstoffzelle ist ein wesentlicher Bestandteil der Energiewende hin zu einer Dekarbonisierung. Noch ist die Technik aber teuer und riskant: Die Investitionskosten für die Infrastruktur sind hoch, die Variantenvielfalt immens (es gibt allein sechs verschiedene Grundtypen) und die Erfahrungswerte unzureichend.

Am Fraunhofer IPK wird deshalb eine intelligente werkstatorientierte Produktionsumgebung entwickelt, mit der auftragsbezogen kleinste Stückzahlen wirtschaftlich gefertigt werden können. Weiterhin soll die einzelne Brennstoffzelle mithilfe ihres Digitalen Zwillings so individuell nachverfolgt werden, dass entlang ihres gesamten Produktlebenszyklus sinnvolle Entscheidungen getroffen werden können. So kann beispielsweise entschieden werden, wann der nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimale Zeitpunkt zur Wiederaufbereitung gekommen ist und wie diese technisch möglichst risikoarm umgesetzt werden kann.

Dazu werden erstmals die Digitalen Produktzwillinge der Brennstoffzellen mit dem Fabrikzwilling miteinander so vernetzt, dass Auswirkungen von Veränderungen sowohl aus dem Engineering des jeweiligen Digitalen Masters als auch die Realdaten der Produktion und Anwendung direkt miteinander reflektiert werden können. Mithilfe der Digitalen Master erfolgt die Vernetzung aller relevanten Objekte und Prozesse. Damit wird eine umfassende Transparenz über die gesamte Wertschöpfungskette in Echtzeit geschaffen. Abweichungen vom geplanten Produktionsablauf aufgrund von Störungen werden bestenfalls vorausschauend erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen können frühzeitig eingeleitet werden.

Die von den Digitalen Zwillingen der Produktionsanlagen gesammelten und bereitgestellten Informationen zu jedem Prozessschritt dienen darüber hinaus als Basis für den Digitalen Produktzwilling jeder hergestellten Brennstoffzelle.

Werden diese Informationen mit denen aus der Nutzungsphase der Brennstoffzelle verknüpft, können neue Erkenntnisse gewonnen werden, um beispielsweise die Brennstoffzelle nutzungsspezifisch zu optimieren. Eine solche Optimierungsvor-



**Bild:** Digitale Zwillinge begleiten diese Brennstoffzelle entlang ihres gesamten Produktlebenszyklus.

gabe kann dann automatisiert in die Konfiguration von Verfahren zur Aufbereitung in der Fabrik für das »zweite Leben« der Brennstoffzelle einfließen. Damit helfen die vernetzten Digitalen Zwillinge bei der wirtschaftlichen Wiederverwertung der Produkte im Sinne einer optimierten Kreislaufwirtschaft. ♦

### IHRE ANSPRECHPERSONEN

**Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann**  
+49 30 39006-100  
eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de

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

#

**Künstliche Intelligenz (KI)**

umfasst laut Prof. John McCarthy (1955, Stanford) die Wissenschaft und das Engineering von intelligenten Maschinen. Wie intelligent ein Agent ist, bemisst sich an seiner Fähigkeit, zuvor unbekannte Aufgaben auf der Grundlage von Vorwissen eigenständig zu lösen. In der Praxis liegt der Schwerpunkt von KI auf der Nachbildung typisch menschlicher kognitiver Fähigkeiten, wie beispielsweise dem natürlichen Verstehen von Sprache und Bildern. Die Technologien, mit denen diese Fähigkeiten auf Computern abgebildet werden, sind dem Gebiet des maschinellen Lernens zugeordnet. Das Feld erlebt derzeit eine Renaissance aufgrund von Durchbrüchen im Bereich des Deep Learning.

**## Glossar //**

- 01 **Künstliche Intelligenz** herunterzubrechen ist  
 02 keine leichte Aufgabe. Ganz vereinfacht gesagt  
 03 ist sie der Versuch, menschliches Lernen und  
 04 Denken auf Computer und Maschinen zu übertra-  
 05 gen. Mit diesem Glossar wollen wir ein biss-  
 06 chen tiefer in das Thema dringen und Ihnen  
 07 nahebringen, wie wir die wichtigsten Konzepte  
 08 aus dem weiten Feld der KI am Produktions-  
 09 technischen Zentrum Berlin auslegen.

**Data Analytics**

beschreibt das Sammeln, Organisieren, Speichern sowie die Verarbeitung von Daten mit dem Ziel die zugrundeliegenden Informationen zu extrahieren und zu nutzen, um tiefgreifende Erkenntnisse über einen Prozess oder ein Verfahren zu erlangen. Dabei steht häufig die Optimierung von Prozessen und Verfahren in Produktionssystemen sowie die Optimierung von Designentscheidungen im Vordergrund. Ein weiteres großes Anwendungsgebiet für Data Analytics am Fraunhofer IPK ist die Abschätzung der Lebensdauer eines Bauteils für eine vorausschauende Instandhaltung (predictive maintenance).

**Maschinelles Lernen (ML)**

bezeichnet Softwareverfahren, die anhand von Beispieldaten ein möglichst optimales Verhalten ableiten können, ohne dass jeder Einzelfall explizit programmiert werden muss. Hierbei werden verschiedene Prinzipien des Lernens unterschieden: überwachtes und unüberwachtes Lernen sowie bestärkendes Lernen.

**Überwachtes Lernen**

Beim überwachten Lernen (supervised learning) lernt der Computer ein Verhalten aus einer Menge an vorgegebenen Eingabe- und Ausgabebeispielen, einem sogenannten Trainingsdatensatz.

**Bestärkendes Lernen**

Beim bestärkenden Lernen (reinforcement learning) versucht der Computer, Lernprozesse in der Natur nachzubilden, indem er optimale Handlungsstrategien anhand eines zu maximierenden Belohnungssignals ableitet. Anders als beim überwachten Lernen werden dem Softwareagent zu keinem Zeitpunkt die richtigen Handlungen gezeigt, sondern lediglich, ob die Aufgabe erfolgreich erfüllt wurde oder nicht. Der Agent erhält dadurch große Autonomie in der Lösungsfindung. Bestärkendes Lernen birgt daher große Potenziale beispielsweise zur Steuerung von Robotern in unkontrollierten, dynamischen Umgebungen.

**Unüberwachtes Lernen**

Im unüberwachten Lernen (unsupervised learning) werden keine Vorgaben gemacht. Der Computer erkennt Regelmäßigkeiten oder Anomalien in den Eingabedaten selbstständig.

**Computer Vision**

befasst sich mit der Wahrnehmung und Interpretation von Bildern und Videos durch Computer. Zu den prominentesten Anwendungen gehören die Gesichtserkennung, das autonome Fahren und die Objekterkennung. Anwendungen im industriellen Umfeld wie die bildbasierte Qualitätsinspektion und die visuell geregelte Ausführung von Roboterbewegungen (visual servoing), werden dem Anwendungsgebiet Maschinelles Sehen zugeschrieben.

**Deep Learning (DL)**

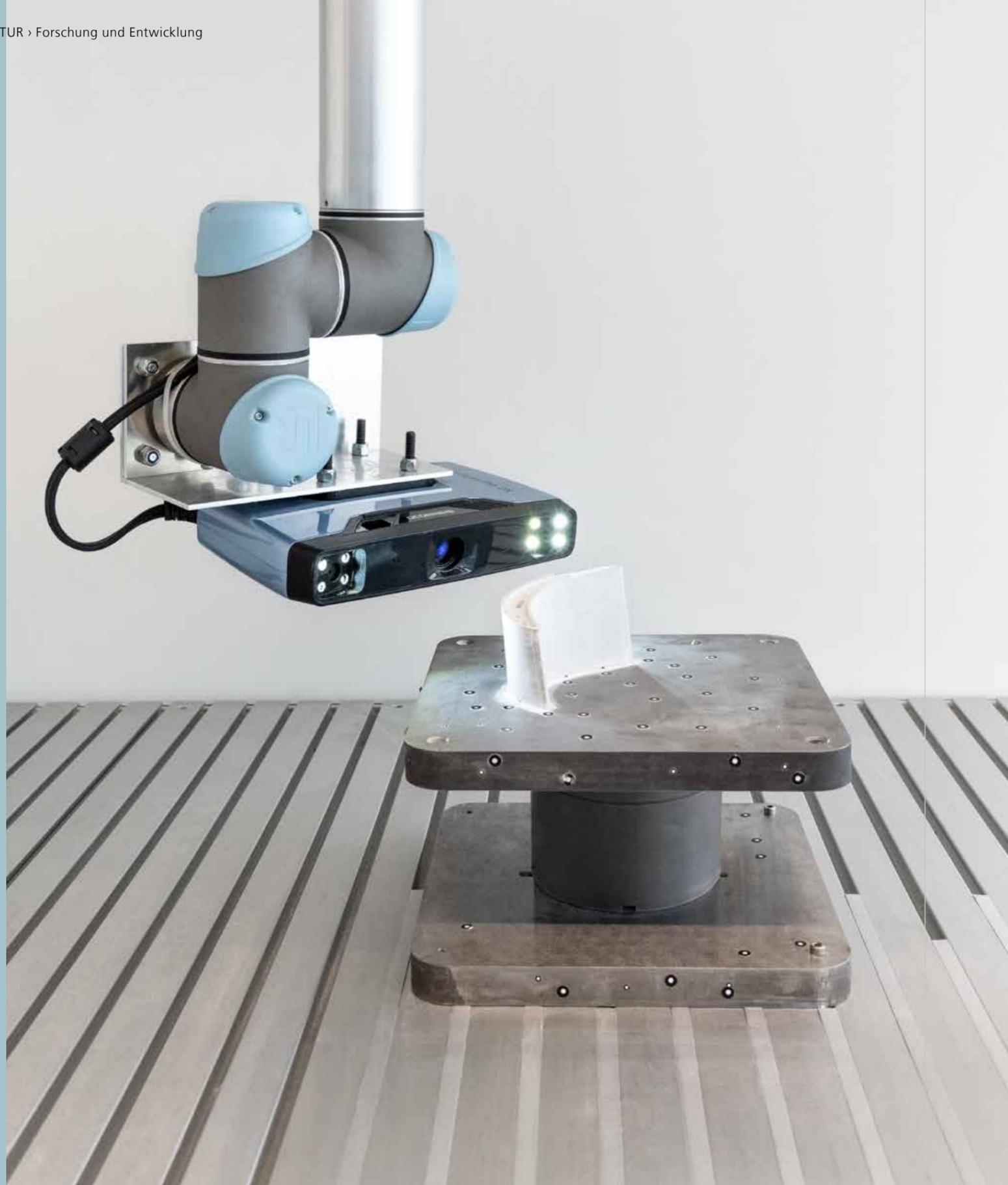
ist die derzeit erfolgreichste Methode des Maschinellen Lernens. Inspiriert von der Informationsverarbeitung im Gehirn setzt DL künstliche Neuronale Netzwerke ein. Aufgrund ihrer hohen Kapazität sind moderne Neuronale Netzwerke besonders effizient bei der Analyse großer Datenmengen, was zu einer hohen Robustheit der damit erzeugten Lösungen führt. In einigen spezifischen Szenarios wie der Bilderkennung und bei der Verarbeitung natürlicher Sprache konnten DL-Verfahren die Leistung eines Menschen bereits deutlich übertreffen.

**Künstliche Neuronale Netze**

sind biologisch inspirierte, informationsverarbeitende Strukturen. Sie können aus mehreren 100 Millionen Verarbeitungseinheiten (Neuronen) bestehen, die in Schichten angeordnet und miteinander verbunden sind. Die Empfindlichkeit jedes einzelnen Neurons gegenüber eingehenden Informationen, also ob diese Informationen weitergegeben werden oder nicht, wird über ein variables Gewicht geregelt. Diese Gewichte bestimmen die Funktionalität des Netzwerks und werden mittels aufwendiger Optimierungsverfahren wie dem Gradientenabstiegsverfahren festgelegt.

Weitere Definitionen und Erklärungen rund um das Thema KI finden Sie im Standpunktpapier der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) »KI in der Produktion«:





1

# Scanning + Reverse Engineering = Scangineering

Vom physischen Objekt über die Punktwolke zum CAD-Modell – Reverse Engineering bedeutet viel Handarbeit. Ein Team des Fraunhofer IPK will das mit einer KI-Lösung ändern.

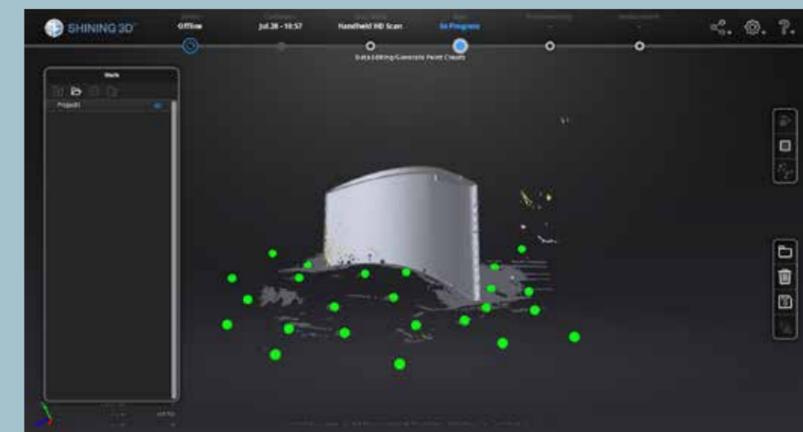
#### Bilder:

1

Über offene Kommunikationsstandards werden mit einfachen und preiswerten Komponenten 3D-Scans durchgeführt.

2

Rohdaten der Datenaufnahme innerhalb der Herstellersoftware



2

Was haben eine städtische Angestellte, die Grundstücke und Gebäude vermisst, ein Fertigungsleiter, der den aktuellen Anlagenbauzustand ermitteln möchte, und eine Ingenieurin, die Bauteilgeometrien von Komponenten und Werkzeugen analysiert, gemeinsam? Sie alle betreiben Reverse Engineering.

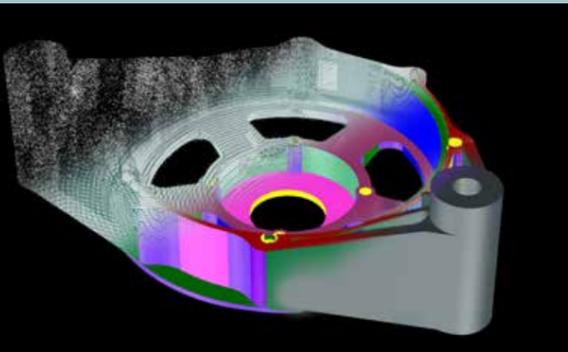
Dazu nehmen sie in der Regel mit Techniken wie Laser-scanning oder Photogrammetrie zahlreiche Daten der zu erfassenden Objekte auf. So weit, so gut. Nur – eine riesige Menge an Daten ist an sich noch nicht besonders aufschlussreich. Sie müssen erst in ein aussagekräftiges parametrisiertes 3D-Modell überführt werden. Die Erstellung solcher manipulierbarer CAD-Modelle ist das Ziel des Reverse Engineering.

Das Zusammentragen der optischen Messdaten in Form von Punktwolken ist mit modernen Verfahren wie Laserscanning mittlerweile technisch einfach umsetzbar. Die Weiterverarbeitung der Daten zu parametrisierten 3D-Modellen hingegen wird bisher noch manuell erledigt. Dafür braucht es geschultes Fachpersonal und viel Zeit. Diese Aufgabe wird daher momentan noch oft an dienstleistende Unternehmen in Billiglohnländern herausgegeben. In Zeiten hochgradiger Automatisierung stellt sich die Frage: Warum geht das nicht auf Knopfdruck?

#### NICHT NUR VIRTUALISIERT, SONDERN PARAMETRISIERT

Um aus den Datenhaufen der virtuellen Punktwolken sinnvoll nutzbare CAD-Modelle zu gewinnen, müssen bestimmte Ansprüche erfüllt sein. Die Modelle müssen nicht nur in der Lage sein, geometrische und strukturelle Informationen, sondern auch Metadaten, beispiels-

1



weise zu Materialien, Identifikationsnummern oder Zugriffsrechten abzubilden. Diese müssen in parametrisierter Form zugänglich und einfach mit anderen Programmen weiterzuverarbeiten sein.

Klassischerweise werden die – manchmal bis zu mehreren Millionen – Datenpunkte vorverarbeitet, bevor mit der Modellrückführung überhaupt begonnen werden kann. Dazu werden fehlerhaft erkannte Punkte aussortiert, die gesamte Punktwolke in Teilabschnitte untergliedert und die Punktdichte reduziert.

Danach beginnt erst die eigentliche Modellrückführung mit der Segmentierung, bei der geometrische Eigenschaften der Punktwolke bestimmt und zu Clustern zusammengefasst werden. Daraufhin folgt die Klassifizierung dieser Cluster zu sogenannten Features – Designelementen von CAD-Autorensystemen. Abschließend werden diese dann wie nach einem Bauplan zu einem parametrisierten 3D-Modell wieder zusammengesetzt.

#### AUTOMATISIERTE HILFE

Um diesen komplexen Prozess vollautomatisch durchführen zu können, haben Forschende am Fraunhofer IPK das sogenannte »Scangineering« entwickelt. Bei diesem Verfahren werden die parametrisierten 3D-Modelle algorithmisch durch Künstliche Intelligenz erzeugt.

Scangineering orientiert sich dabei an der Reverse-Engineering-Prozesskette und kann grob in die beiden Softwarebestandteile Hauptmodul und Framework unterteilt werden.

- Das Hauptmodul beinhaltet Funktionen zur Visualisierung (GUI), Interaktionsmöglichkeiten für Anwenderinnen und Anwender und dient zur Anzeige der Ergebnisse.
- Das Framework – für Anwenderinnen und Anwender unsichtbar – enthält die Algorithmen zur Verarbeitung der Punktwolken und Netze, wie Funktionen zum Segmentieren, Registrieren und Filtern. Außerdem beinhaltet das Framework Unterstützungsfunktionen und Tools zum Manipulieren der Eingangsdaten und Ermitteln von Objektinstanzen. Schließlich stellt es auch Funktionen zur Datenanalyse und zur grafischen Auswertung der Ergebnisse zur Verfügung.

Gegenüber den klassischen Verfahren des Reverse Engineering setzt Scangineering auf einen hohen Grad an Automatisierung. Der Mensch steht weiterhin als



2

#### Bilder:

1  
Phasen der Rückführung – von der Punktwolke zum CAD-Modell

2  
Demonstration der automatisierten Prozesskette

Inputgeber und als Analyst der Ergebnisse am Anfang und am Ende des Prozesses. Die manuellen, repetitiven Arbeitsschritte in der Mitte des Prozesses werden ihm aber abgenommen.

Scangineering hilft also dabei, Objekte, Gebäude, Maschinen und Komponenten einfach und schnell als virtuelle Modelle nutzbar zu machen. Damit trägt das Verfahren auch seinen Teil zu einer langfristig nachhaltigen Wertschöpfung bei. Denn durch die Virtualisierung physischer Objekte durch 3D-Scanning wird auch die Wiederverwendung, Aufbereitung oder das Recycling von Produkten erleichtert.

#### DISRUPTION FÜR DEN BAUSEKTOR

In mehreren Forschungs- und Industrieprojekten haben die Expertinnen und Experten des Fraunhofer IPK bereits erfolgreich nachgewiesen, dass ihre Technologie zur automatisierten Rückführung von vollautomatisier-

ten 3D-Modellen geeignet ist. Um den individuellen Anforderungen der jeweiligen Anwendungsfälle gerecht zu werden, müssen lediglich die Softwareparameter angepasst werden.

Nun steht Scangineering vor dem nächsten großen Schritt: Über das Fraunhofer-interne Förderprogramm AHEAD arbeiten zwei Wissenschaftler gemeinsam mit dem Unternehmen pointreef – Digital Reality an einer gemeinsamen Ausgründung. Bis zum Ende des Jahres 2021 wird eine erste Version der Software erwartet, die den Markt für Bestandsmodellierung im Gebäude- und Bausektor revolutionieren soll. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Stephan Mönchinger** | +49 30 39006-117  
stephan.moenchinger@ipk.fraunhofer.de

# Kleinerer Aufwand, große Wirkung

**Künstliche Intelligenz benötigt große Datenmengen? Nein, sagen Wissenschaftler des Fraunhofer IPK und zeigen anhand der optischen Qualitätskontrolle von Industriegütern, wie das funktionieren kann.**



Von A wie Aluminiumhalbzeuge bis Z wie Zahnräder – am Ende der Fertigung industrieller Güter müssen vorab festgelegte Oberflächenqualitäten erreicht werden. Gerade dort, wo in großen Stückzahlen produziert wird und die Ansprüche an die Oberflächenqualität sehr hoch sind, muss die Inspektion schnell und sicher verlässliche Prüfergebnisse liefern. Die Wahl der richtigen Prüfmethodik kann deshalb zu einer Entscheidung von enormer wirtschaftlicher Relevanz werden.

Vor allem kleine und mittelständische Unternehmen führen die Qualitätssicherung bisher per Stichprobenkontrolle durch. Dabei wird nach dem Zufallsprinzip aus einer Produktionscharge ein Bauteil herausgegriffen. Ein Mitarbeiter oder eine Mitarbeiterin prüft dann entweder per Hand oder mithilfe teurer und langsamer Hochpräzisionsscanner, ob die Bauteiloberfläche Defekte aufweist oder nicht. Auf diese Weise wird, je nach Chargengröße, nur ein Bruchteil der gefertigten Bauteile überprüft. Eine 100-Prozent-Kontrolle findet nicht statt. Ein anderer Nachteil: Die manuelle Überprüfung kann je nach Qualifikation und Leistungsvermögen der Mitarbeitenden sehr ungenau sein.

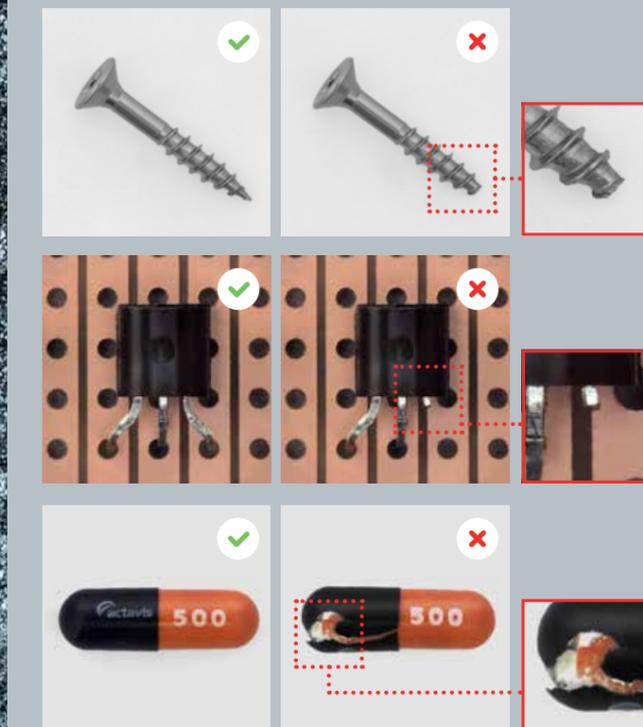
Moderne KI-unterstützte Bildverarbeitungsverfahren dagegen haben das Potenzial, Objekte und mögliche Defekte mit höherer Genauigkeit wiederzuerkennen als der Mensch. Üblicherweise nutzen solche KI-Systeme Methoden des überwachten Lernens. Das setzt voraus, dass alle Fehler, die an einem Bauteil auftreten können, im Vorhinein bekannt sind – und bildhaft erfasst werden. Je nach Anwendungsfall werden hunderte bis tausende Bilder benötigt, um die KI entsprechend anzulernen. Dafür muss jeder einzelne Defekt pixelgenau auf jedem Bild von Hand markiert werden (KI-Experten bezeichnen diesen Vorgang als Annotation). Gerade für industrielle Anwendungen stellt das Sammeln und Kennzeichnen so großer Datenmengen

einen hohen Kostenfaktor dar, der Personalaufwand ist enorm. Insbesondere für KMU ist dies eine Hürde, um die Vorteile und Potenziale von KI-Methoden zu erschließen und zu nutzen.

Ziel des Projekts »VIADUCT – Aufwandsverkleinerung von KI-Anwendungen in der Industrie durch Reduzierung von Trainingsdaten« ist es deshalb, KI-Methoden zu entwickeln, die nur sehr wenige Trainingsdaten für die optische Inspektion benötigen. Gemeinsam mit ihrem armenischen Technologiepartner Ngene LLC vollziehen Forschende des Fraunhofer IPK dafür zunächst einen Paradigmenwechsel und formulieren die Inspektionsaufgabe neu: Anstatt nach bereits bekannten Fehlern suchen sie nach jeglichen Abweichungen (Anomalien) von einem vorab festgelegten Qualitätsstandard. Die KI funktioniert nun nicht mehr nach den Prinzipien des überwachten, sondern des unüberwachten Lernens.

Das bedeutet im Umkehrschluss: Für die Definition des Qualitätsstandards und für das Trainieren der KI-Verfahren werden nur defektfreie Bauteile verwendet. Sie liegen in der Regel in deutlich größerer Stückzahl vor, als defekte Teile und sind schneller verfügbar. Zwar müssen auch die Gutteile weiterhin bildhaft erfasst werden, allerdings entfällt die sehr zeitaufwendige pixelweise Annotation von Defekten. Das Fraunhofer-Team konnte bereits zeigen, dass auf diese Weise bei der Datenerhebung bis zu 97 Prozent des Aufwands eingespart werden können.

Die optische Qualitätskontrolle erfolgt anschließend mittels der sogenannten Anomaliedetektion, bei der alle Abweichungen vom Qualitätsziel erkannt werden. Die Künstliche Intelligenz agiert dabei als Assistenz für Mitarbeitende in der Inspektion und unterstützt sie nicht nur bei der Fehlererkennung, sondern auch bei der Auswertung der Bilder von Defekten. So werden zum Beispiel optisch ähnliche Fehlerbilder zunächst



**Darstellung:** Erkennung defekter Schrauben, Transistoren und Verkapselungen  
© MVTec Software GmbH

automatisch gebündelt, bevor das Personal sie in sinnvolle Fehlerkategorien einteilt (z. B. kritische/unkritische Defekte).

Die Technologie der bildbasierten Anomaliedetektion bietet große Potenziale für die Anwendung in der automatisierten optischen Inspektion von Industriegütern, ist sich Jan Lehr, Projektleiter am Fraunhofer IPK sicher: »Auf diese Weise können wir sowohl den Aufwand für die Datenerhebung als auch den Aufwand für die Implementierung von KI-basierten optischen Inspektionsverfahren so gering wie möglich halten. Damit werden solche Verfahren auch für kleine und mittelständische Unternehmen interessant.« Er und sein Team suchen bereits jetzt Anwendungspartner, die die Möglichkeiten von KI-basierter Bildverarbeitung ohne großen Integrationsaufwand in ihren Inspektionsprozessen testen möchten. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Jan Lehr** | +49 30 39006-483

jan.lehr@ipk.fraunhofer.de

## Mitmachen und profitieren

Wir möchten mit Ihnen erforschen, wie KI-Technologie einen Mehrwert für Ihre Qualitätskontrolle leistet. Dafür benötigen wir Ihre Unterstützung und Ihre Produkte! Übersenden Sie uns bis zum 31. Dezember 2021 Ihre Produkte und Sie erhalten bis Ende Juni 2022 Ihre kostenlose Potenzialanalyse. Anschließend senden wir die Objekte an Sie zurück.



Weitere Informationen  
[www.ipk.fraunhofer.de/optische-ki-erprobung](http://www.ipk.fraunhofer.de/optische-ki-erprobung)

Das Projekt VIADUCT wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen seiner Strategien zur Künstlichen Intelligenz sowie zur Integration der Länder der Östlichen Partnerschaft in den Europäischen Forschungsraum seit September 2020 gefördert.

GEFÖRDERT VOM



# KI in der Produktion

Künstliche Intelligenz gilt als Schlüsseltechnologie für industrielle Anwendungen. Welchen konkreten Nutzen produzierende Unternehmen davon haben, erklärt Sven Hamann, Geschäftsführer Bosch Connected Industry im Gespräch mit FUTUR.

Interview mit Sven Hamann,  
Geschäftsführer Bosch Connected Industry



© Bosch

**| futur |** Eine deutschlandweite Umfrage von Bosch zeigt, dass KI als Schlüsseltechnologie für industrielle Anwendungen großen Zuspruch findet. Welche Hoffnungen verbinden die Menschen damit?

**/ Hamann /** Wir spüren in der Tat, dass der industrielle Einsatz von KI momentan viel Rückenwind hat. Die Neugierde, die Offenheit KI auszuprobieren, ist sehr groß. Viele erhoffen sich davon mehr Effizienz, bessere Arbeitsergebnisse oder eine höhere Sicherheit beim Betrieb von Anlagen.

Andere sehen in der Technologie einen Komplexitätstreiber und haben Sorge wegen eines Kontrollverlusts. Deshalb bin ich überzeugt, dass KI sich über den Nutzen beweisen muss. Wir erleben es bei Produkten im Consumer-Bereich: Hier hat KI inzwischen einen Reifegrad erreicht, der einen hohen Nutzen stiftet und wo ich als Anwender eher eine Komplexitätsreduzierung erfahre, zum Beispiel bei der Spracherkennung. Ich glaube, dass KI auch in der industriellen Produktion sehr an Dynamik

gewinnen wird. Wir sehen jetzt in unseren Werken, in denen wir sehr früh KI-Lösungen in konkrete Use Cases eingebunden haben, dass wir ein enormes Potenzial haben können. Da sprechen wir über Einsparungen von mehreren Millionen Euro pro Werk. Das sind Hebel, die die Einführung von KI in Unternehmen extrem beschleunigen werden.

**| futur |** Welche KI-Anwendungen sind bei Bosch bereits konkret in der Anwendung?

**/ Hamann /** In der Fertigung nutzen wir KI schon an einigen Stellen. Das klassische Beispiel ist sicherlich die vorausschauende Wartung. Dort wird der aktuelle Maschinenzustand auf Basis von Sensordaten überwacht. Wir erkennen anhand der Daten Störungen noch bevor es zu einem Produktionsstillstand kommt. Durch die Analyse von Daten aus unseren Fertigungsprozessen können wir neues Wissen über die Produktionsprozesse gewinnen. Dieses nutzen wir zur Optimierung von Ferti-

## SVEN HAMANN

GESCHÄFTSFÜHRER BOSCH CONNECTED INDUSTRY, ROBERT BOSCH MANUFACTURING SOLUTIONS GMBH

Sven Hamann ist seit dem 1. Juli 2019 Leiter des Geschäftsbereichs Bosch Connected Industry. Zuvor verantwortete er bei Bosch den zentralen Forschungsbereich für Fertigungsautomatisierung und Metall- und Kunststofftechnik. Er verfügt über breite internationale Erfahrung im Produktions- und Maschinenbau und ist Diplomingenieur der Technischen Universität Berlin mit Schwerpunkt Informationstechnik im Maschinenwesen.

gungsparametern oder Zykluszeiten. Auch in der Intralogistik setzen wir KI ein. In einem Piloten optimieren wir gerade die Materialversorgung dynamisch im Betrieb und passen sie damit permanent an die aktuellen Gegebenheiten an.

**| futur |** Trotz vieler Vorteile tun Unternehmen sich oft noch schwer, KI-Technologien einzusetzen. Worin liegen aus Ihrer Sicht die größten Hemmnisse?

**/ Hamann /** Ein Hemmnis ist tatsächlich der Digitalisierungsgrad selbst, der noch sehr unterschiedlich in den verschiedenen Branchen und Firmen ausgeprägt ist. Da geht es im allerersten Schritt um die Verfügbarkeit von Daten über den ganzen Lebenszyklus eines Produkts hinweg, d. h. beginnend mit dem Produktentstehungsprozess, der Konstruktion, Entwicklung über die Produktion bis hin zum Betrieb. Diese Daten müssen in derartiger Form aufbereitet werden, dass sie Bedeutung bekommen. Wenn sie zum Beispiel durch

semantische Datenstrukturen angereichert werden, können Unternehmen Potenziale in zwei Richtungen erschließen. Zum einen kann ich über das Feedback Loop die nächste Produktgeneration optimieren oder Produkte an ein bestimmtes Nutzerverhalten anpassen. Das Zweite ist das Erschließen von Geschäftsmodellen. Das ist die Basis. Vorher ist es ganz schwierig, Methoden wie KI zu nutzen. Diese Basisarbeit ist in den Unternehmen unterschiedlich weit fortgeschritten.

Ein weiteres Hemmnis ist die Verfügbarkeit von Kompetenz. Künstliche Intelligenz bringt wie gesagt ein sehr hohes Potenzial mit sich. Ihr Nutzen entsteht aber erst in der Domäne. Das heißt, Unternehmen müssen Domänen-Experten wie Materialwissenschaftlerinnen oder Produktionstechniker mit KI-Expertinnen zusammenbringen. Diese digitale Transformation auch wirklich als Transformationsprojekt zu begreifen, halte ich für einen Schlüssel.

## »Wir haben das Ziel, dass bis 2025 alle Bosch-Produkte KI enthalten oder mit KI entwickelt und produziert werden.«

Sven Hamann

Es fängt damit an, dass ich Transparenz schaffe – über die Ziele, die ich verfolge, über die Planung und Umsetzung – und dass ich Mitarbeitenden die Möglichkeit gebe, sich zu engagieren, mitzugestalten und sich weiterzuentwickeln. Stichwort: Lebenslanges Lernen.

**| futur |** Wie gelingt es Bosch, das eigene Domänen-Know-how mit KI-Kompetenz zu verbinden?

**/ Hamann /** Wir versuchen das ganz bewusst in unserem Bosch Center for Artificial Intelligence. Hier bündeln wir die KI-Expertise von knapp 300 Personen aus unterschiedlichen Standorten in sieben Ländern. Dadurch haben wir die Möglichkeit, bereits in sehr frühen Phasen der Produkt- oder Prozessentwicklung KI-Experten mit einzubeziehen. Der Vorteil bei uns

ist natürlich, dass die Roboter und Maschinen gleich in den Laboren nebeneinander stehen. Das heißt, man hat einen sehr schnellen Feedback Loop und erkennt rasch, welchen Nutzen eine Anwendung überhaupt stiftet. Das ist natürlich für jemanden, der sehen möchte, welchen Effekt er mit seiner Arbeit erzielt, sehr attraktiv.

**| futur |** Wie wichtig sind Partnerschaften beim Aufbau solcher Kompetenzen?

**/ Hamann /** Sehr wichtig. Die Idee, dass man Dinge allein machen kann, ist nicht mehr zeitgemäß und nicht mehr realistisch, vor allem im Hinblick auf die Komplexität der Themen. Wir setzen deshalb bewusst auf Partnerschaften.

Ein Beispiel ist das Cyber Valley Tübingen, wo wir gemeinsam mit akademischen und

privatwirtschaftlichen Partnern in den Bereichen KI, maschinelles Lernen, Robotik und Computer Vision forschen. Wir haben ja auf der einen Seite die Herausforderung, die Technologien in konkrete Use Cases zu bringen und damit Nutzen zu generieren. Auf der anderen Seite gibt es grundlegende Fragestellungen, die noch nicht gelöst sind. Ein Beispiel ist »Understandable AI«: Wie kann ich KI-basierte Systeme verifizieren? Wie kann ich die Trainingszyklen meiner Algorithmen reduzieren und trotzdem ein hochwertiges Ergebnis erzielen? Das ist zum Beispiel für potenziell kritische Anwendungsfälle wie das autonome Fahren relevant.

In der Produktion geht es vor allem um Qualität, die für uns als Zulieferer natürlich auch ein hohes Gut ist. Hersteller benötigen dann am Nötigsten ein intelligentes System, wenn sie ein neues Produkt einführen. Um die entsprechenden Fertigungsprozesse einzufahren, brauchen sie eine Qualitätsabsicherung. Dafür stehen ihnen aber noch gar keine Trainingsdaten zur Verfügung. Das ist ein Grundproblem, mit dem wir uns sehr stark beschäftigen. Darüber hinaus sind die Robustheit und Transferierbarkeit der KI-Modelle auf unterschiedliche Maschinen und Anlagen ein weiteres Thema. Das sind alles grundlegende Herausforderungen, die man nicht als Firma allein lösen kann. Da ist Forschungsarbeit im Verbund notwendig.

**| futur |** Wie lange wird es Ihrer Einschätzung nach dauern, bis Unternehmen KI als Standardwerkzeug einsetzen?

**/ Hamann /** So allgemein lässt sich das schwer beantworten. Ich kann Ihnen ganz konkret sagen, was wir uns vorgenommen haben: Wir haben das Ziel, dass bis 2025 alle Bosch-Produkte, und zwar in ganzer Breite und Spektrum, KI enthalten oder zumindest mit KI entwickelt und produziert werden. Das setzen wir Schritt für Schritt um, da sind wir auf einem guten Weg. ♦



**Bild:**  
Industrie 4.0 wird erwachsen – auch dank der Pionierarbeit von Bosch im Bereich KI.  
© Bosch

# Vier Augen für die Kreislaufwirtschaft

Bis zu sieben Prozent aller Altteile werden jährlich aussortiert, statt sie für das Remanufacturing wiederaufzubereiten. Ein KI-basiertes Assistenzsystem soll die Identifikation von Altteilen robuster und rentabler machen.

So viel steht fest: Ökonomie und Ökologie müssen in den nächsten Jahren beste Freunde werden. Mit Blick auf das Pariser Klimaabkommen ist offensichtlich, dass gerade in einem wirtschaftsstarken Land wie Deutschland Strategien zur Emissionssenkung, Klimaneutralität und Nachhaltigkeit im produzierenden Sektor weiter ausgebaut werden müssen – und zwar schnell. Die Weichen dafür sind vielerorts bereits gestellt. Beispielsweise helfen Konzepte der Kreislaufführung von Produkten und Bauteilen dabei, Ressourcen zu schonen und das Abfallaufkommen zu reduzieren.

Eine Möglichkeit dafür bietet das Remanufacturing, ein Prozess zum Angleichen gebrauchter Geräte an den Neuzustand. In Kombination mit einer anschließenden Wiederverwendung (Reuse), kann so die Lebensdauer von Produkten verlängert werden. Daher räumt auch

das Kreislaufwirtschaftsgesetz dem Remanufacturing eine hohe Priorität ein, da es ökologische und ökonomische Potenziale bietet. So berechnet eine Ökobilanz von Autoaltteilen, dass mit der Instandsetzung eines Abgasturboladers im Vergleich zur Neuproduktion die Emission von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten um 37 Prozent reduziert werden kann. Dieser Prozess, in dem die Altteile gesammelt und sortiert werden, wird als Verlesung bezeichnet und beinhaltet eine Identifikation und eine Zustandsbewertung jedes einzelnen Teils.

Doch wie identifiziert man ein Bauteil, das seine besten Jahre hinter sich hat? Durch die hohe Vielfalt und teilweise Verschmutzung und Deformation der Produkte gestaltet sich das Verlesen oftmals schwierig und muss individuell sowie manuell gehandhabt werden. Hinzu kommt: Das einzige zuverlässige optische



**Bild:**  
KI-unterstütztes Assistenzsystem zur teilautomatisierten Verlesung von gebrauchten Bauteilen

Identifikationsmerkmal ist die Teilenummer. Es ist daher nicht verwunderlich, dass viele Altteile fälschlicherweise aussortiert werden – schlicht, weil es nicht möglich ist sie zu identifizieren. Dadurch werden sie rein stofflich verwertet, statt sie dem Instandhaltungsprozess zuzuführen. Ein Großteil des ursprünglichen Produktwertes geht so verloren.

Mit Herausforderungen gehen, wie allgemein bekannt, auch immer Chancen einher. Dieser Fall bildet keine Ausnahme: Im Projekt EIBA entwickelt ein Team von Forschenden ein KI-unterstütztes System zur teilautomatisierten Verlesung von gebrauchten Bauteilen. Nach dem Vier-Augen-Prinzip soll es künftig die Mitarbeitenden in der Produktion beim Sortieren unterstützen, damit mehr Altteile dem Remanufacturing zugeführt

werden können. Als Teil eines ganzheitlichen Konzepts soll es dabei helfen, den Verlesevorgang robuster, nachvollziehbarer und rentabler zu gestalten. Dafür werden alle verfügbaren Daten aus dem Verleseprozess herangezogen und hinsichtlich ihres Mehrwertes analysiert, um darauf aufbauend ein Assistenzsystem zu entwickeln, das Mitarbeitende entlasten soll.

## TEILE UND HERRSCHE

Die Forschenden des Fraunhofer IPK untersuchen im Projekt ein Teilespektrum von etwa 120 000 verschiedenen Varianten in stark variierenden Zuständen. Um die damit einhergehende Komplexität zu vereinfachen, wird der in der Informatik bekannte Ansatz »divide and conquer« angewendet. Dazu wird Prozesswissen über die Zusammensetzung des Teilespektrums genutzt, um



**Bild:**  
Zustandsvarianz –  
zwei Anlasser mit  
identischer Teilenum-  
mer unterscheiden  
sich optisch durch  
Abnutzungsspuren.

ein vorliegendes Problem in Teilprobleme zu gliedern. So erfolgt zu Beginn eines Verlesevorgangs die bildbasierte Verarbeitung des Altteils. Dabei wird die Altteile-Verpackung zunächst gescannt, um Informationen über die Produktgruppe zu erhalten. Dieser Ansatz reduziert die Identifikation des Teils von 1:120 000 im Anwendungsfall auf 1:5000.

Im Anschluss an die bildbasierte Verarbeitung werden die daraus resultierenden Ergebnisse mit der Analyse der teilspezifischen Geschäftsdaten kombiniert, um eine zuverlässige und valide Identifikation zu erhalten. Um den Identifikationsprozess noch robuster zu gestalten, wird zusätzlich zur merkmalsbasierten Identifika-

tion eine Texterkennung (OCR – Optical Character Recognition) entwickelt. Diese versucht, auf den erfassten Bildern Beschriftungen zu erkennen und diese auszuwerten. Obwohl die extrahierten Informationen aufgrund von Abnutzungserscheinungen unvollständig sein können, eignen sie sich dazu, die Ergebnisse der bildbasierten Auswertung zu verifizieren.

Die Identifikation eines Gebrauchtteils erfolgt vor allem durch die Verwendung von sogenannten Convolutional Neural Networks (CNN). Das sind auf die Extraktion von Merkmalen aus Bilddaten spezialisierte Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Der beschriebene Ansatz vereinfacht aber nicht



**Bild:**  
Produktvarianz –  
zwei Generatoren  
mit unterschiedlicher  
Teilenummer  
gleichen sich optisch.

nur die Identifikation, sondern ermöglicht zusätzlich die Nutzung kompakterer Netzarchitekturen, sodass Rechenzeiten für das Training und die Anwendung der Algorithmen erheblich reduziert werden können. Im Zuge dieses Vorgangs wird das gesammelte Wissen außerdem genutzt, um die Algorithmen kontinuierlich nachzuschärfen und somit deren Performanz zu steigern.

#### KI HEISST TEAMWORK

In Deutschland werden jährlich etwa fünf bis sieben Prozent von einer Million Altteilen, also bis zu 70 000, aussortiert, weil sie nicht identifiziert werden können. Eine erste Studie im Projekt zeigt eine Wiedererkennungsgenauigkeit allein durch die bildbasierte Identifikation von rund 96 Prozent. Bezogen auf die 70 000 aussor-

tierten Altteile, können durch eine KI-basierte Identifikation voraussichtlich 67 200 mehr Altteile als zuvor korrekt dem Kreislauf zugeführt werden.

Die Verbindung von menschlichem Know-how und KI-basierter Bild-, Bauteil- und Geschäftsdatenauswertung ergibt einen neuen, innovativen und ganzheitlichen Ansatz für das Remanufacturing. Das Vier-Augen-Prinzip aus Mensch und KI-Assistenzsystemen verhilft zu objektiv nachvollziehbaren Entscheidungen und schafft somit transparentere und wirtschaftlichere Arbeitsprozesse. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Marian Schlüter** | +49 30 39006-199  
marian.schluter@ipk.fraunhofer.de

# Mit Algorithmen zum neuen Jobprofil

**Die Digitalisierung verändert Berufsbilder und Anforderungen in der Produktion. Ein KI-basierter Rollennavigator soll Industrieunternehmen helfen, ihre Mitarbeitenden individuell fit für die vernetzte Fertigung zu machen.**

Digitale Transformation bedeutet mehr, als digitale Tools und Prozesse auszuwählen und in ein Unternehmen einzuführen. Zu einer erfolgreichen Digitalisierungsstrategie gehört auch, Mitarbeitende für neue Aufgaben in der digitalen, vernetzten Produktion zu qualifizieren. Doch wie entscheidet man, welche Mitarbeitenden sich am besten für welche neue Rolle eignen? Welche Fortbildungen benötigen sie, um das notwendige Wissen für die veränderten Aufgaben zu erwerben? Und wie findet man im unübersichtlichen Weiterbildungsmarkt geeignete Lernangebote?

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) – die Kernzielgruppe des Projekts KIRA Pro – stellen diese Fragen vor große Herausforderungen. Nur selten verfügen sie über ausreichend Kapazitäten, um sich systematisch mit Kompetenzentwicklung zu beschäftigen. Häufig ist auch die strategische Ausrichtung des Unternehmens hinsichtlich der digitalen Transformation nicht ausgereift. Das erschwert es, zielgerichtet zu bewerten und abzuwägen, in welchen Bereichen mittelfristig Kompetenzen auf- und ausgebaut werden müssen.

KIRA Pro nähert sich dem Problem mit Künstlicher Intelligenz, die Unternehmen bei der Entscheidungsfindung unterstützt. Ein Rollennavigator soll in einer großen Menge von Weiterbildungsangeboten für das Unternehmensziel geeignete und aufeinander aufbauende Angebote identifizieren, aus denen sich für einen bestimmten Mitarbeitenden ein individueller und branchenspezifischer Lernpfad ableiten lässt.

**KIRA Pro generiert Lernpfade mit verschiedenen Weiterbildungen, die in Summe fit für eine neue Rolle machen.**

Das funktioniert so: Ein Unternehmen hat auf Basis seiner Transformationsstrategie ermittelt, dass künftig das Rollenprofil des Multi-Maschinenbedieners an Bedeutung gewinnt. Die notwendigen Kompetenzen für diese Ziel-Rolle sollen beim vorhandenen Personal aufgebaut werden, indem Mitarbeitende mit passenden Vorkenntnissen gezielt weitergebildet werden. Der Rollennavigator wird mit den bestehenden Qualifikationen der Mitarbeitenden gefüttert. Dann überprüft er, welche Trainingsangebote die verschiedenen Beschäftigten vom Stand ihres aktuellen Wissens und Könnens zur notwendigen Qualifikation für die Ziel-Rolle führen können. So entsteht für jeden Mitarbeitenden ein Lernpfad mit verschiedenen passgenauen Qualifikationsmodulen, die ihn in Summe fit für die Ziel-Rolle machen würden.

Da die Mitarbeitenden unterschiedliche Vorkenntnisse mitbringen, ermittelt der Rollennavigator, dass die Lernpfade für die verschiedenen Kolleginnen und Kollegen sehr heterogen ausfallen würden – in Länge und Komplexität. Beispielhaft ist das in der Grafik zu sehen: Die Programmiererin Sabine müsste einen Lernpfad mit Umwegen und Seitenarmen absolvieren, um sich als Multi-Maschinenbedienerin zu qualifizieren. Der Mechatroniker Peter hingegen könnte auf einem geradlinigen Lernpfad mit deutlich weniger Stationen für die Ziel-Rolle ausgebildet werden.

Eine solches Matching zwischen Unternehmensstrategie, vorhandenen Kompetenzen und verfügbaren

Weiterbildungsangeboten erleichtert die Navigation im Weiterbildungsmarkt und entlastet Nutzerinnen und Nutzer von manuellen Suchstrategien. Der Algorithmus, der in KIRA Pro entsteht, wird bei der Auswahl der Angebote Präferenzen und Lernstrategien der Weiterzubildenden berücksichtigen. Dabei können etwa Schulungen, Coachings, E-Learnings oder Praxiseinheiten berücksichtigt werden. Das Projekt trägt somit auch dem Trend zu kleineren Lerneinheiten und neuen Lernformaten Rechnung. Die Weiterbildungsangebote speisen sich aus unterschiedlichen Quellen renommierter Lernpartner. Ein zukünftiges Ziel besteht in der userfreundlichen Integration der 3000 Berufe und 12 000 Fähigkeiten des europäischen ESCO-Rahmens in die Software.

Das Projekt bringt ein Konsortium aus Weiterbildungsanbietern und KMU mit Transformationsambitionen

Aktuelle Informationen  
www.kira-pro.de

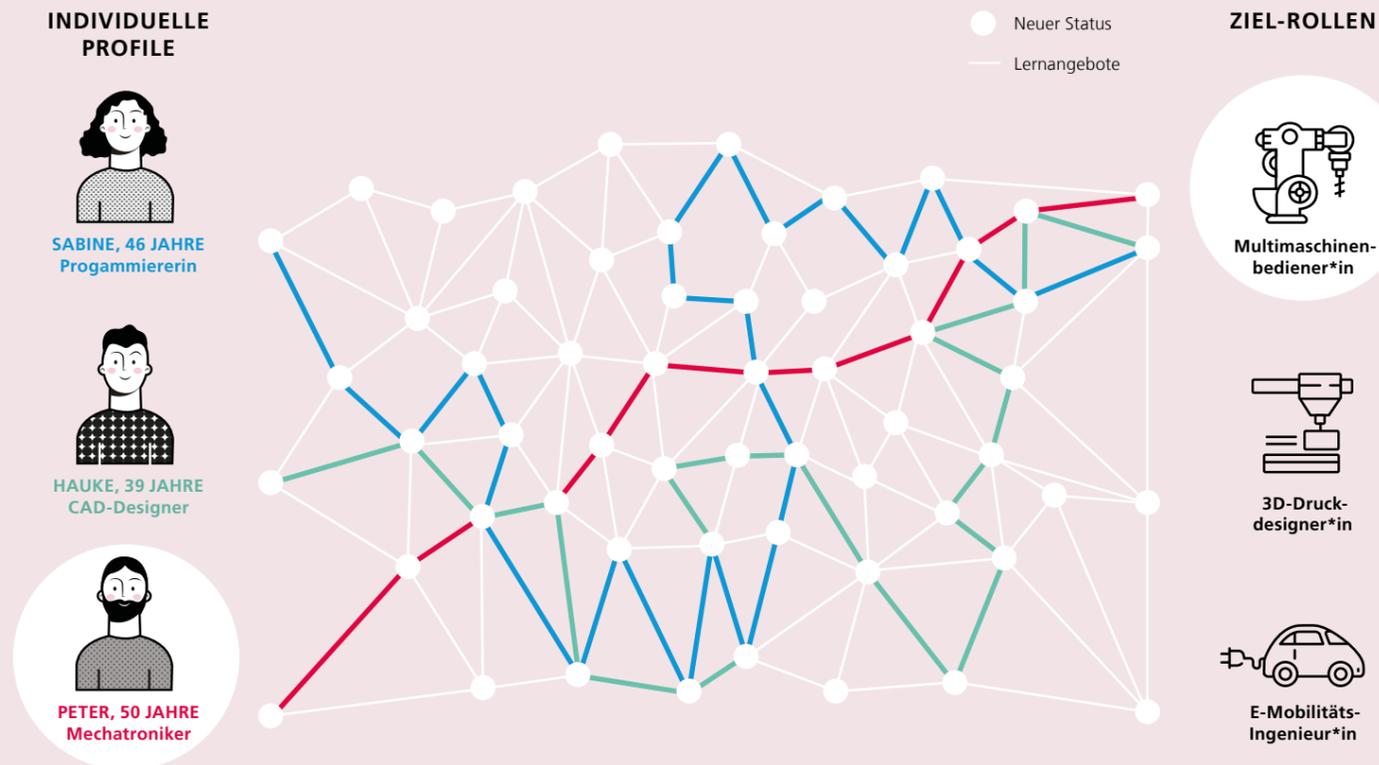


zusammen. Die Peers Solutions GmbH verbindet Kompetenzen im HR- und Weiterbildungsbereich mit KI-Erfahrung im produzierenden Gewerbe. Die FBT Feinblechtechnik GmbH und die Harms & Wende GmbH & Co. KG bringen Innovationskraft und langjährige Erfahrung im Maschinenbau mit. Die Zusammenarbeit mit Weiterbildungsplattformanbietern soll den industriellen Partnern ermöglichen, gemeinsam mit dem Fraunhofer IPK betriebliche Transformations- und Kompetenzentwicklungsstrategien zu entwickeln und diese in die Praxis zu überführen. ♦

IHRE ANSPRECHPERSONEN  
**Dr.-Ing. Ronald Orth** | +49 30 39006-171  
ronald.orth@ipk.fraunhofer.de

**Katrin Singer** | +49 30 39006-371  
katrin.singer@ipk.fraunhofer.de

## KI-basierter Rollennavigator





## Wo sich Schweißtechnik und Künstliche Intelligenz begegnen

**Moderne additive Verfahren verlangen nach hocheffizienten Methoden der Qualitätssicherung. Können Neuronale Netze der Schlüssel dazu sein?**

Poren, feine Löcher, mangelhafte Anbindung, Spritzer, Mikrorisse in einer Schichtebene – das alles sind typische Fehler, die beim Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) entstehen können. Bei dem mehrlagigen Aufbau der Schichten können diese zu Formabweichungen und irreparablen Defekten führen und so produzierenden Unternehmen das Leben schwer machen. Denn bei einem Verfahren, das unter anderem für die Reparatur von Turbinenkomponenten oder auch für das Aufbringen von Verschleißschichten verwendet wird, können solche Fehler fatale Auswirkungen haben.

Dabei hat das Fertigungsverfahren zahlreiche Vorteile: Neben einer sehr hohen Prozessgeschwindigkeit werden vergleichsweise hohe Auftragsraten bei einem relativ geringen Energieeintrag erzielt. Somit lässt sich nicht nur der Verzug minimieren, sondern es bleibt auch das Gefüge des Grundwerkstoffes erhalten. Es lohnt sich also für produzierende Unternehmen durchaus das LPA-Verfahren einzusetzen – vorausgesetzt, sie können die Qualität der Endprodukte garantieren.

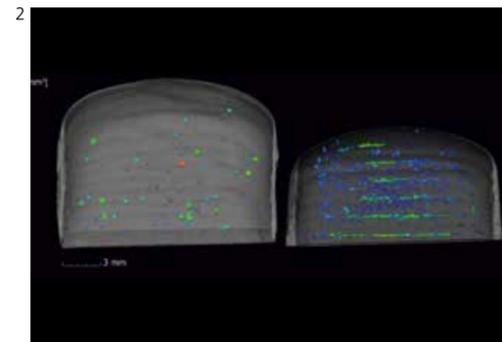
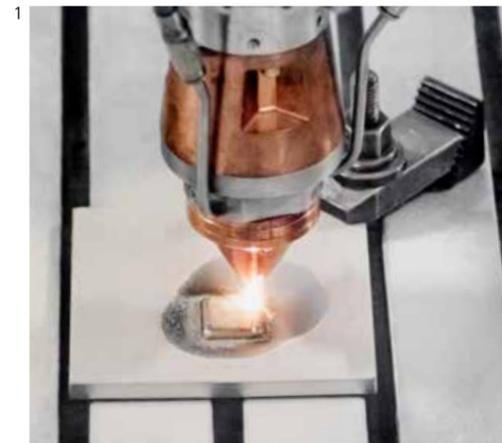
### QUALITÄT SICHERN – ABER WIE?

Die Qualitätssicherung beim Laser-Pulver-Auftragschweißen wird dadurch erschwert, dass der Prozess von einer Vielzahl von unterschiedlichen Parametern wie beispielsweise der Laserleistung, der Vorschubgeschwindigkeit, dem Pulvermassenstrom und dem Spotdurchmesser beeinflusst wird. Deshalb werden verschiedene Sensoren zur Prozessüberwachung eingesetzt.

Die Herausforderung liegt nun darin, aus den aufgenommenen Messdaten Rückschlüsse auf die qualitativen Bauteileigenschaften zu ziehen. Idealerweise lassen sich auch Prozessparameter prognostizieren und die Prozessqualität dokumentieren. Solche Ableitungen sind nur möglich, wenn man über einen längeren Beobachtungsraum und mit einer hohen Auflösung große Datenmengen erzeugt. Um diese auswerten zu können, braucht es geeignete Algorithmen. Dieser Problemstellung haben sich Forschende des Fraunhofer IPK angenommen.

### NEURONAL VERNETZT

Das Team nutzt künstliche Neuronale Netze, um komplexe Prozesse wie das Laser-Pulver-Auftragschweißen abzubilden. Bei der Anwendung werden zunächst Lern- oder auch Trainingsphasen durchgeführt. Die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Phasen werden genutzt, um das Netz zu optimieren. Die Auslegung der Neuronalen Netze erfolgt dabei also iterativ. Nach erfolgreicher Validierung dient das entwi-



#### Bilder:

**1**  
Mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) werden Proben hergestellt.

**2**  
Defekte in aufgebauten Volumen können mithilfe von Neuronalen Netzen prognostiziert werden.

ckelte Neuronale Netz den Forschenden als Werkzeug, das einerseits auf zuvor erfasste Eingangsdaten mit den zugehörigen Ausgaben antworten kann (Assoziation) und andererseits noch nicht erlernten Mustern entsprechende Aussagen abbilden kann (Abstraktion). Dadurch können komplexe Wirkzusammenhänge zwischen Prozessgrößen und Qualitätsmerkmalen beschrieben werden.

Derzeit untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie sich verschiedene Sensoren so kombinieren lassen, dass während des LPA-Prozesses Messdaten aufgenommen werden, die sich besonders für die Anwendung von KI-Methoden zur Qualitätssicherung eignen. Dabei setzen sie Pyrometer, Laserscanner, Schmelzbadkameras und Laserintensitätsmessung ein.



1



2

Sind die Messdaten der verschiedenen Sensoren eingegangen, müssen sie bereinigt und aufgearbeitet werden. Nur so können sie den Forschenden neben den Prozessparametern als Datenbasis für ein künstliches Neuronales Netz dienen. Dazu muss das Team einen Weg finden, die wichtigsten statistischen Kennwerte zu ermitteln, beispielsweise Mittelwerte, Maxima oder Minima. Darüber hinaus lassen sich auch abstrakte mathematische Kennwerte, wie Fourier-Konstanten, extrahieren. Eine Messdatenreihe gibt in der Regel annähernd 1000 solcher Kennwerte aus. Über den Einsatz entsprechender Algorithmen lassen sich diese priorisieren und stark reduzieren, sodass eine gute Datenbasis für künstliche Neuronale Netze geschaffen wird.

#### Bilder:

- 1 Mensch, Maschine und KI arbeiten eng zusammen.
- 2 Im LPA-Verfahren werden durch die Variation von Prozessparametern Proben unterschiedlicher Qualität aufgebaut.
- 3 Die sensorische Erfassung der Proben schafft die Datengrundlage für das Training der KI.

## Die Qualitätssicherung in der Schweißtechnik kann auf der Basis Künstlicher Intelligenz revolutioniert werden.

### HANDFESTE ERGEBNISSE

Die bisherigen Forschungsergebnisse zeigen, dass sich durch den Einsatz von KI in der Schweißtechnik Probleme vermeiden und Qualitätsmerkmale vorhersagen lassen. Dem Projektteam gelang es, die Dichte von additiv gefertigten Bauteilen unter Anwen-

dung von KI-Methoden mit einer Sicherheit von 97 Prozent korrekt zu prognostizieren. Auf der Basis solcher Informationen können Anwendende Entscheidungen treffen, ob sich ein Bauteil für eine bestimmte Aufgabe eignet oder ob es als Ausschuss deklariert werden sollte. Insbesondere lassen sich so

zukünftig Kosten für nachgelagerte Prüfungen reduzieren. Die Forschenden sind zuversichtlich, dass Unternehmen schon bald von dem erlangten Wissen profitieren können. So könnte die Qualitätssicherung in der Schweißtechnik auf Basis der Künstlichen Intelligenz revolutioniert werden. Was es dazu noch braucht, sind mehr Erfahrungswerte aus realen Anwendungen, die in kommenden Projekten mit Industrieunternehmen erhoben werden sollen. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Vinzenz Müller** | +49 30 39006-372  
vinzenz.mueller@ipk.fraunhofer.de



3

# Vorbild Gehirn

**Hirnforschung und Technologieentwicklung treiben sich gegenseitig voran. Mithilfe von neuroinspirierten Technologien, Supercomputern und Künstlicher Intelligenz können wir die Komplexität des menschlichen Gehirns immer besser verstehen.**

**Ein Gastbeitrag von Prof. Dr. med. Katrin Amunts, Direktorin des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin am Forschungszentrum Jülich**

Neuroinspirierte Technologien ahmen bestimmte Prinzipien der Struktur und Funktionsweise des menschlichen Gehirns nach und haben in den Bereichen des Supercomputings, der Datenwissenschaften und des maschinellen Lernens zu Durchbrüchen geführt. Umgekehrt können wir mithilfe neuroinspirierter Technologien auch viel darüber lernen, wie das Gehirn arbeitet.

So etwa im Rahmen des europäischen Human Brain Project (HBP). In dem Projekt arbeiten mehr als 122 Forschungseinrichtungen aus 17 Ländern zusammen, um Hirnforschung und Informationstechnologien miteinander zu vernetzen und weiterzuentwickeln. Wir möchten das menschliche Gehirn in seiner vielschichtigen Komplexität in Raum und Zeit bis ins kleinste Detail verstehen und dieses Wissen in der Medizin, Informatik und Technik zum Einsatz bringen. Supercomputer und Künstliche Intelligenz helfen uns Neurowissenschaftlern im Projekt dabei, die dafür erforderlichen riesigen Datenmengen zu analysieren. So konnten wir aus Tausenden digitalisierten Hirnschnitten ein anatomisches Modell des menschlichen Gehirns mit einer Auflösung von 20 Mikrometern erstellen. Das Modell liefert wertvolle Einblicke in die Architektur des Gehirns und ermöglicht uns, Erkrankungen besser zu verstehen und gezielter zu behandeln. Doch neue Erkenntnisse aus der Hirnforschung bringen nicht nur die Medizin voran, sondern tragen auch maßgeblich zur Entwicklung neuer leistungsstarker und energieeffizienter KI- und Computertechnologien bei.

Wenn es zum Beispiel darum geht, schnell etwas zu lernen (»single shot learning«) oder das Gelernte ständig weiterzuentwickeln (»life-long learning«), steht die Künstliche Intelligenz der menschlichen noch um einiges nach. Darüber hinaus ist das Gehirn im Vergleich zu leistungsstarken Computern extrem platz- und energiesparend – Eigenschaften, die vor allem für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in mobilen Anwendungen von großer Bedeutung sind. So benötigt unser Gehirn für hochkomplexe Informationsübertragungen und -verarbeitungen weniger Energie als eine 30-Watt-Glühbirne. Damit verbraucht es im Vergleich zu einem Supercomputer nur ein Millionstel an Energie. Das liegt daran, dass Nervenzellen mithilfe elektrischer Impulse besonders effizient miteinander kommunizieren. Denn sie setzen diese Impulse, sogenannte Spikes, nur sehr sparsam ein. Andererseits gibt es viele Berechnungen, wo Supercomputer um ein Vielfaches schneller sind. Diese Unterschiede in der Funktionsweise besser zu verstehen, ist sowohl für die Computerwissenschaft als auch für die Hirnforschung interessant.

Forscherinnen und Forscher des Human Brain Project an der Technischen Universität Graz haben sich von Erkenntnissen aus der Hirnforschung inspirieren lassen, um einen neuen Lernalgorithmus für Künstliche Intelligenz zu entwickeln. Ähnlich wie im Gehirn werden die einzelnen Zellen des künstlichen neuronalen Netzwerkes nur dann aktiviert, wenn ihre Impulse für die Verarbeitung von Informationen tatsächlich benötigt werden. Der Lernalgorithmus soll zukünftig in einen Chip des Herstellers Intel integriert werden sowie in das SpiNNaker-System, die weltweit größte neuromorphe Computerarchitektur.

**Unser Gehirn benötigt für hochkomplexe Informationsübertragungen und -verarbeitungen weniger Energie als eine 30-Watt-Glühbirne.**



© Mareen Fischinger

SpiNNaker wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Manchester entwickelt. Das System ist in seiner Struktur an die eines biologischen Nervensystems angelehnt und umfasst eine Million Prozessorkerne. Damit hat es die Kapazität, die neuronalen Aktivitäten eines Mäusegehirns zu simulieren. Das System steht Forschenden weltweit über die ebenfalls im Human Brain Project entwickelte digitale Infrastruktur EBRAINS frei zur Verfügung und birgt ein enormes Potenzial sowohl für die Hirnforschung als auch für Computerwissenschaften und die Robotik.

Gemeinsam mit einer Arbeitsgruppe der Technischen Universität Dresden hat das Team aus Manchester kürzlich im Rahmen des Human Brain Project einen KI-Chip namens SpiNNaker2 entwickelt. Der Chip verfügt über eine unvergleichbare Effizienz und eine Latenzzeit von unter einer Millisekunde für ereignisbasierte Systeme. Er soll in einem Computersystem mit 10 Millionen Prozessorkernen an der TU Dresden verbaut werden. Dort wird er für Anwendungen im autonomen Fahren, für den Datenverkehr in intelligenten Städten, in taktilen Internetapplikationen und in der Biomedizin getestet. Über das Dresdner Startup SpiNNcloud Systems soll der Chip darüber hinaus bald kommerzialisiert werden.

**Prof. Dr. med. Katrin Amunts**

übernahm 2016 als Forschungsdirektorin die wissenschaftliche Leitung des europäischen Flagships Human Brain Project (HBP). Sie ist Professorin für Hirnforschung, leitet das C. und O. Vogt-Instituts für Hirnforschung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf und ist Direktorin des Instituts für Neurowissenschaften und Medizin am Forschungszentrum Jülich. Ihre Forschung konzentriert sich auf Organisationsprinzipien des menschlichen Gehirns und wie seine Struktur mit Funktion und Verhalten zusammenhängt. Zu Beginn ihrer Laufbahn war Katrin Amunts Anfang der 1990er-Jahre als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Maschinelles Sehen unter der damaligen Leitung von Dr. Bertram Nickolay am Fraunhofer IPK in Berlin tätig. »Aus den Methoden der Bildanalyse und den verschiedenen Ansätzen aus der Industrie, die ich am Fraunhofer IPK kennengelernt habe, konnte ich bereits viel Nutzen für Anwendungen in der Hirnforschung ziehen. Auch in meiner jüngsten Forschung greife ich auf ein Verfahren zurück, das ich während meiner Zeit in der Abteilung von Bertram Nickolay erlernt habe.«

# Maschinelles Lernen im Dreiklang

Datenauswertungsmethoden ziehen sich durch unseren Alltag. Auch für Fertigungs- und Montageprobleme liefern sie überzeugende Lösungen, wie ein Pilotprojekt mit Rolls Royce Deutschland beweist.

Auch im dunkelsten Dämmerzustand sind wir noch in der Lage, unserem Smartphone ein »Stell' den Wecker auf 6.30 Uhr« zuzuwerfen. Die Antwort der beruhigend elektronischen Stimme gibt uns die Gewissheit, friedlich einschlafen zu können. Hinter diesem alltäglichen Austausch verbergen sich komplexe Methoden der Datenauswertung. Ein Zusammenspiel aus Textgenerierung (Natural Language Generation, NLG), Computerlinguistik (Natural Language Processing, NLP) und Maschinellem Lernen (ML) zaubert eine intelligente Assistentin für alle Fälle.

Heutzutage profitieren wir in den meisten Lebensbereichen von Datenauswertungsmethoden, nicht nur im Privaten, sondern

auch in der Industrie. Soll beispielsweise ein neues Produkt auf den Markt kommen, so entstehen von Beginn seines Lebenszyklus an eine Menge von Daten mit wichtigen, meist impliziten Erkenntnissen zum Produkt selbst und den damit verbundenen Herstellungsprozessen. Die Auswertung durch Mitarbeitende in der Produktentwicklung wäre eine Mammutaufgabe. An dieser Stelle bieten Methoden des Maschinellen Lernens Unterstützung. Diese Methoden werten vorhandene Daten maschinell aus. Mitarbeitende können die daraus hervorgehenden Erkenntnisse nutzen, um Fertigungsprozesse zu optimieren, Problemfälle schneller zu lösen sowie die Produktqualität insgesamt zu verbessern. Die Möglichkeiten sind schier endlos.

## EIN WIRKSAMES TRIO

In einem Kooperationsprojekt mit Rolls Royce Deutschland, genannt Cockpit 4.0, entwickelten Forschende des Fraunhofer IPK ein virtuelles Assistenzsystem, das ML-Methoden einsetzt, um nützliche Erkenntnisse für die Lösung von Fertigungs- und Montageproblemen abzuleiten. Fehlt beispielsweise ein Turbinenteil während des Montageprozesses, kann ein Team mit der Auffindung beauftragt werden. So können Verzögerungen im Montageprozess vermieden werden. Dafür wurden drei ML-Ansätze an den verfügbaren Daten getestet:

Die Möglichkeiten Maschinellen Lernens für Fertigungs- und Montageprobleme sind schier endlos.

### Bilder:

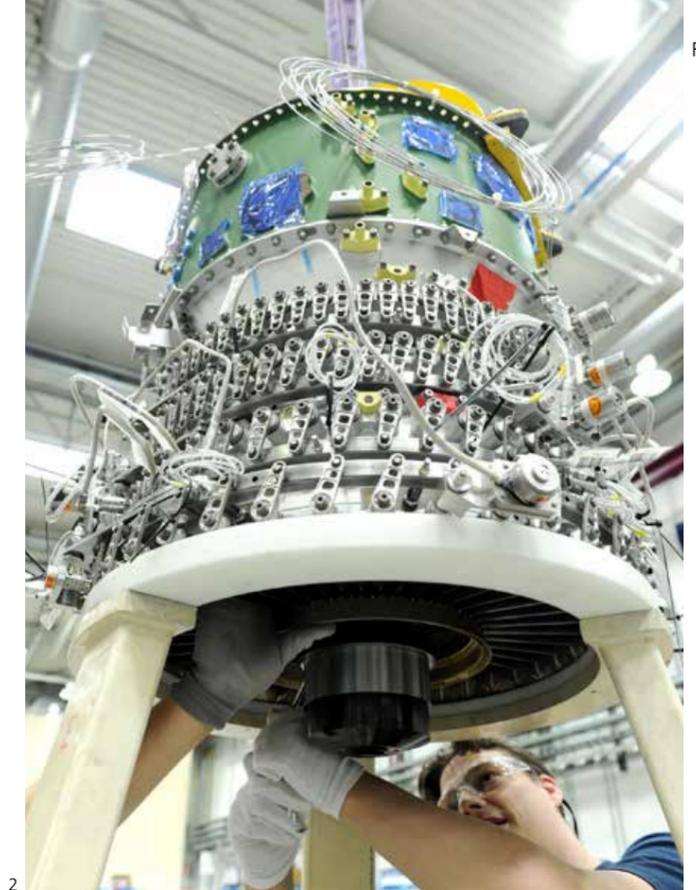
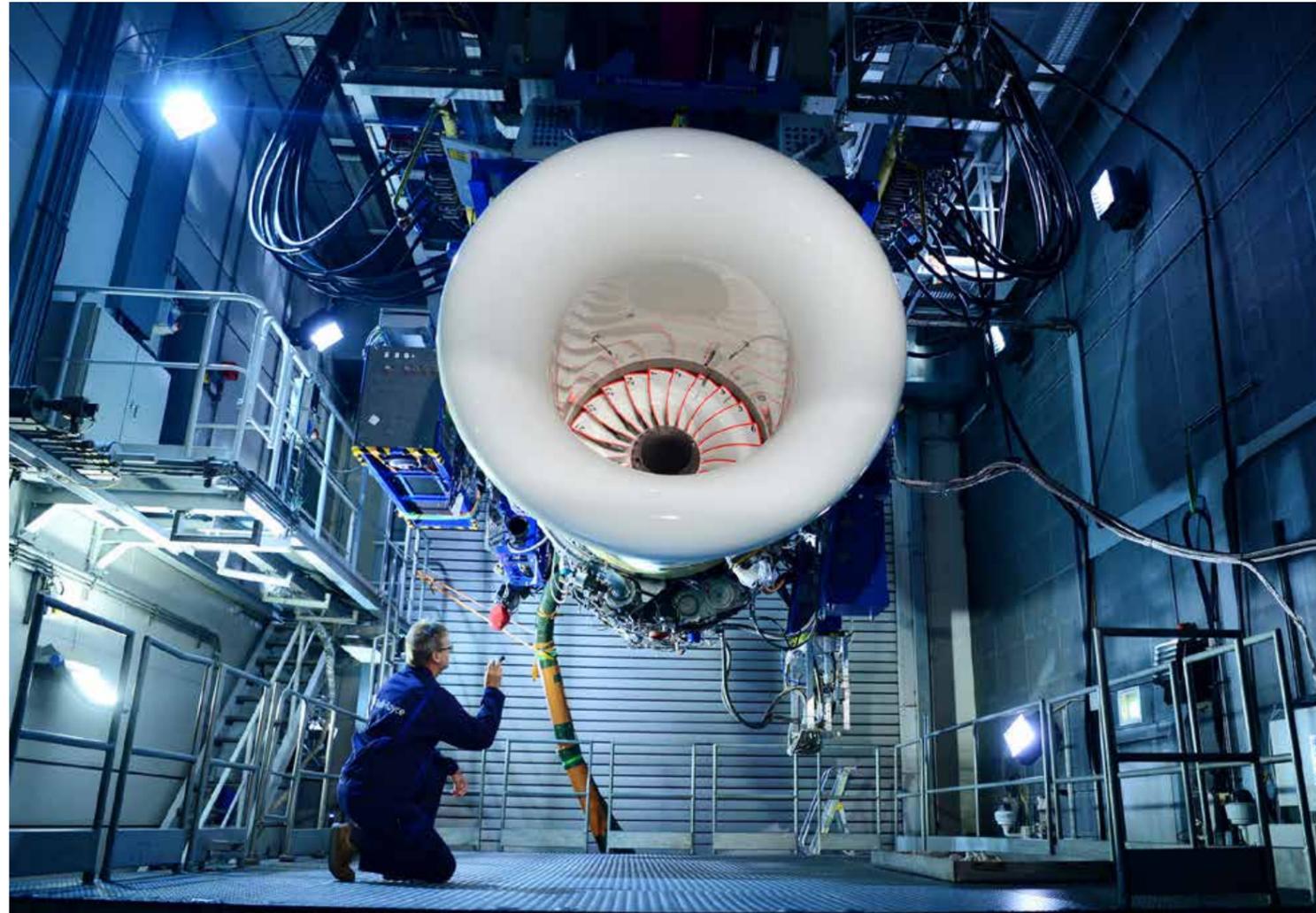
1  
Eine Rolls Royce-Pearl 15-Turbine auf dem Prüfstand  
© Rolls Royce plc

2  
Montage der Pearl 15  
© Rolls Royce plc

## 1. Natural Language Processing

Das Natural Language Processing (NLP) ist eine maschinelle Lernmethode zur Verarbeitung natürlicher Sprache. Im Projekt wurde NLP verwendet, um Übereinstimmungen mit vorhergehenden Beschreibungen von Problemen zu identifizieren, sodass Rückschlüsse auf aktuelle Fälle möglich sind. Man unterscheidet automatisch und selbst trainierte Modelle; letztere werden durch die Forschenden eigenständig mit speziellem Vokabular trainiert.

Dabei wurden drei verschiedene NLP-Algorithmen verwendet: ein Bag-of-Words-Modell, ein selbst trainiertes Word2Vec-Modell und ein automatisch trainiertes Word2Vec-Modell. Bei dem Bag-of-Words-Modell werden die einzelnen Begriffe vorhergehender Problembeschreibungen ohne Beachtung der Grammatik ausgewertet und mit Begriffen aktueller Fälle verglichen. Zur Ähnlichkeitsmessung wurde der





1

Jaccard-Koeffizient eingesetzt. Der zweite NLP-Algorithmus wurde von den Forschenden selbst trainiert. Er basiert auf einem Word2Vec-Modell, das Begriffe vektorisiert, sie also nach vorhergehendem Vorkommen klassifiziert. Das zweite Word2Vec-Modell wurde mithilfe von Google News automatisch trainiert. Für beide Word2Vec-Modelle wurde zur Ähnlichkeitsmessung Word Mover's Distance verwendet. In der Auswertung schnitt das selbst trainierte Modell am besten ab, das von Google News trainierte Modell war am ungenauesten. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, dass das eigenständige Trainieren, also die Eingabe von branchenspezifischen Begriffen und Abkürzungen im Modell, zu präziseren Ergebnissen führt. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass das eigenständige Trainieren der Modelle für eine präzise Wortfindung unabdingbar ist.

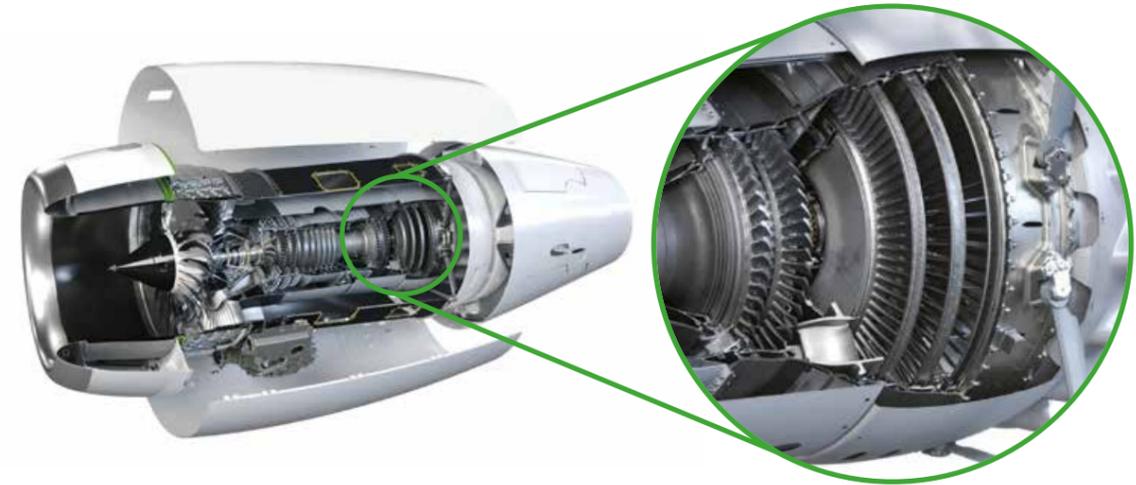
## 2. Regressionsbasierter Ansatz

Der Regressionsbasierte Ansatz wird häufig verwendet, um Ergebnisse auf der Grundlage von Variablen vorherzusagen. Im Fall von Cockpit 4.0 dient er vor allem zur Generierung eines Modells, das die benötigte Bearbeitungsdauer eines eingehenden Falls bzw. Problems vorhersagen kann. Diese Information kann hilfreich sein, um dessen Priorität zu bestimmen. So können bei zeitintensiven Fällen entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, um die Zeitspanne zu verkürzen, bis das Problem behoben ist. Das Start- und Enddatum der Fälle wird generiert, um die Dauer jedes Falles mithilfe von überwachtem Lernen, also der Datenverarbeitung durch vordefinierte Parameter, zu ermitteln. Es wurden vier Arten von Regressionsmodellen trainiert, nämlich die lineare Regression, die Lasso-Regression, ein Stützvektor-Regressionsmodell (SVM) sowie ein

### Bilder:

**1**  
Im Demonstrator werden am 3D-Modell eines Turbinenteils offene und abgeschlossene Montageprobleme angezeigt.

**2**  
Das verbaute Turbinenteil  
© Rolls Royce plc



2

Cluster können ähnliche Fälle liefern, die als Ausgangspunkt der Recherche zum aktuellen Problem dienen.

Modellbaum mit SVM. Der Modellbaum mit Stützvektor-Regressionsmodellen erzielte die niedrigste Fehlerquote.

## 3. Clustering

Das sogenannte Clustering ist eine weitere Methode des maschinellen Lernens, mithilfe derer verschiedene Datenpunkte bestimmten Gruppen zugeteilt werden können. Im Projekt wurde der Clustering-Ansatz zur Aufteilung der Datensätze in Cluster eingesetzt, um Ähnlichkeitsmuster zu identifizieren. Die Cluster können der nutzenden Person mithilfe des unüberwachten Lernens ähnliche Fälle liefern, die als Ausgangspunkt für ihre Recherche zur Lösung des aktuellen Problems dienen. Es wurden drei Arten von Clustering-Algorithmen verwendet, nämlich DBSCAN, HDBSCAN und k-Means. Das k-Means-Clustering schnitt qualitativ am besten ab.

### TECHNOLOGIE SUCHT ANWENDER

Den Forschenden ist es gelungen zu zeigen, dass Unternehmen mithilfe der am Fraun-

hofer IPK entwickelten Lösung maschinelle Datensätze nutzen können, um Entwicklungs- und Produktionsprozesse durch Ansätze des maschinellen Lernens nachhaltig zu verbessern. Am Ende des Projekts Cockpit 4.0 entstand ein Prototyp, der verschiedene Ansätze im Dreiklang nutzt und von den Endnutzerinnen und -nutzern bei Rolls Royce ausgiebig getestet und evaluiert wurde. Sie bewerteten vor allem die Zeitersparnis bei der Lösung von Montageproblemen als Hauptvorteil. Gleichzeitig wurde klar, dass das virtuelle Assistenzsystem noch weiterentwickelt und verfeinert werden muss, um es lückenlos in den täglichen Arbeitsprozess zu integrieren. Solche Verbesserungen könnten Gegenstand künftiger Forschungsprojekte sein, von denen auch andere Partnerunternehmen aus der Industrie profitieren könnten. ♦

### IHRE ANSPRECHPERSON

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

## Zum Ersten, zum Zweiten, zum Dritten –

Auktionskataloge sind für Historikerinnen und Provenienzforscher eine wichtige Quelle, um Kunstwerke eindeutig zu identifizieren. KI-basierte Bildsuchverfahren könnten ihnen bald dabei helfen.

## gefunden!

Will man den Kunstmarkt der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erforschen, kommt man an Auktionskatalogen nicht vorbei. Vor allem für die Provenienzforschung sind sie ein unverzichtbares Recherchemittel: Sie dokumentieren, woher ein Kunstwerk stammt, wem es einst gehörte und in wessen Besitz es oft über mehrere Jahrhunderte hinweg wechselte. Mit »German Sales« wächst seit rund zehn Jahren eine Datenbank heran, die Informationen zum historischen Kunstmarkt in Deutschland, Österreich und der Schweiz digital erfasst und zentral sammelt. Auftakt dafür war ein Kooperationsprojekt der Universitätsbibliothek Heidelberg, der Kunstbibliothek der Staatlichen Museen zu Berlin sowie des Getty Research Institute in Los Angeles. Mittlerweile sind hier rund 11 000 Auktionskataloge sowie Galerie-, Lager- und Antiquariatskataloge online sowie im Open Access verfügbar.

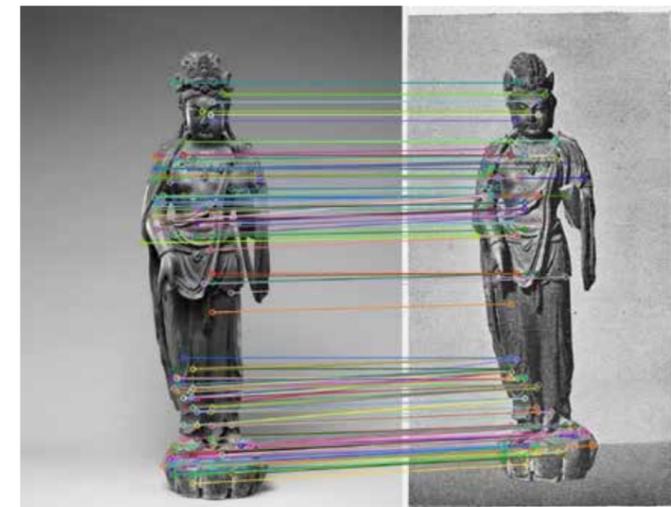
Im Auftrag des Landschaftsverbandes Rheinland (LVR) haben jetzt Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IPK untersucht, inwiefern moderne Computer-Vision-Verfahren bei der Recherche von Kunstobjekten in solchen digitalen Auktionskatalogen helfen können. Denn, so Guido Kohlen-

### Bodhisattva Mahasthamaprapta (Dashizhi) 13. Jahrhundert



bach, Fachbereichsleiter im Kulturdezernat des LVR: »Eine automatisierte Identifizierung von Kulturgütern bzw. Kunstobjekten in Online-Katalogen würde es vereinfachen, Aufenthaltsorte von Objekten zu bestimmten Zeiten sowie hinterlegte Daten in den Publikationen recherchierbar zu machen und auf diese Weise wertvolle Informationen zu Besitzerinnen und Besitzern zu erhalten.«

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie entwickelten die Fraunhofer-Forscher dafür KI-basierte Bildsuchverfahren, die den zuverlässigen Abgleich von Bildern bzw. Kunstobjekten ermöglichen. Validiert wurden die Verfahren anhand von Bildpaaren, die jeweils Treffer zwischen Auktionskatalogen und anderen digitalen Bildsammlungen darstellen. Dabei



#### Bilder:

Mithilfe KI-basierter Verfahren können aktuelle und historische Aufnahmen von Kunstobjekten miteinander verglichen werden.

1

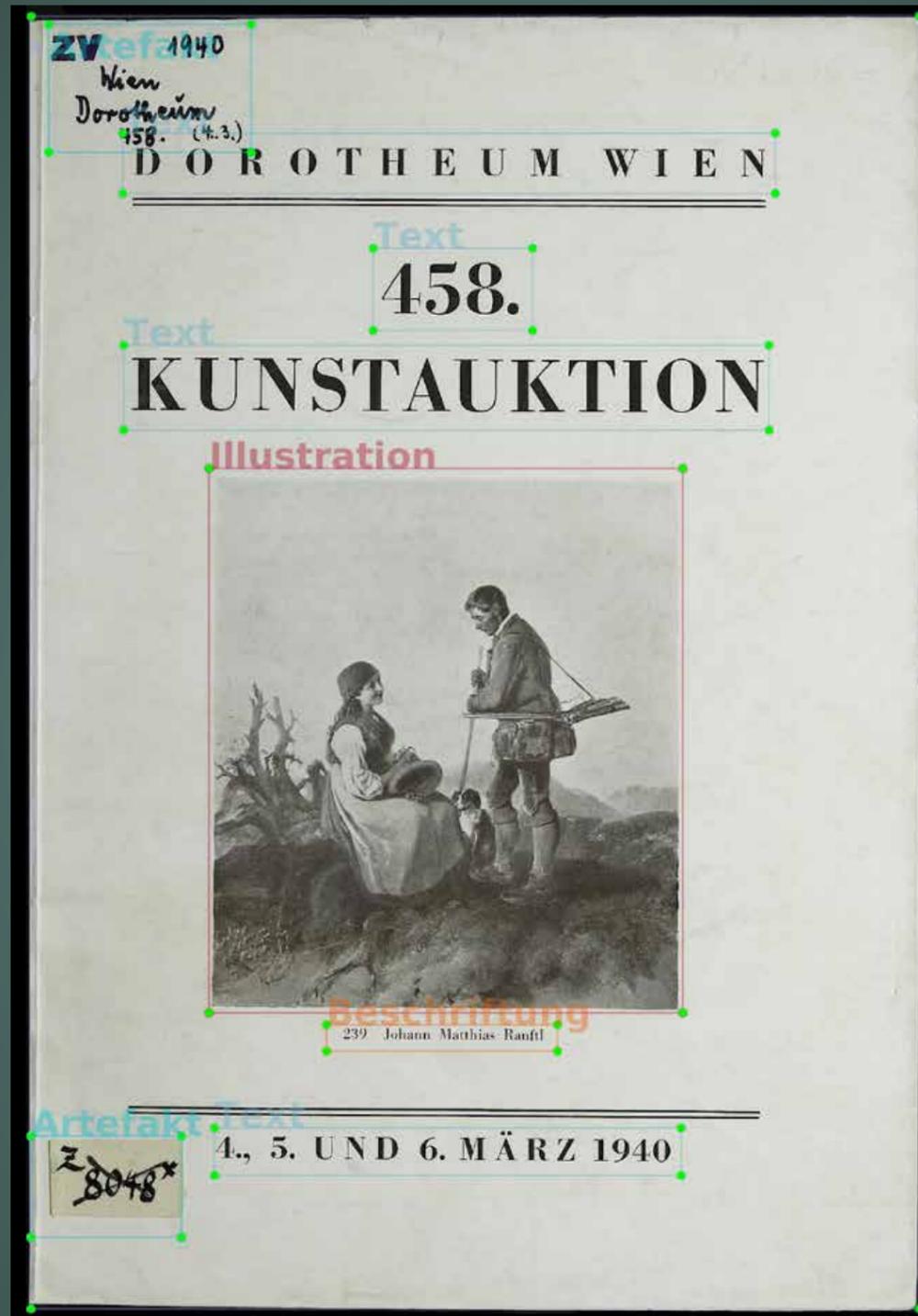
Original

© The Metropolitan Museum of Art

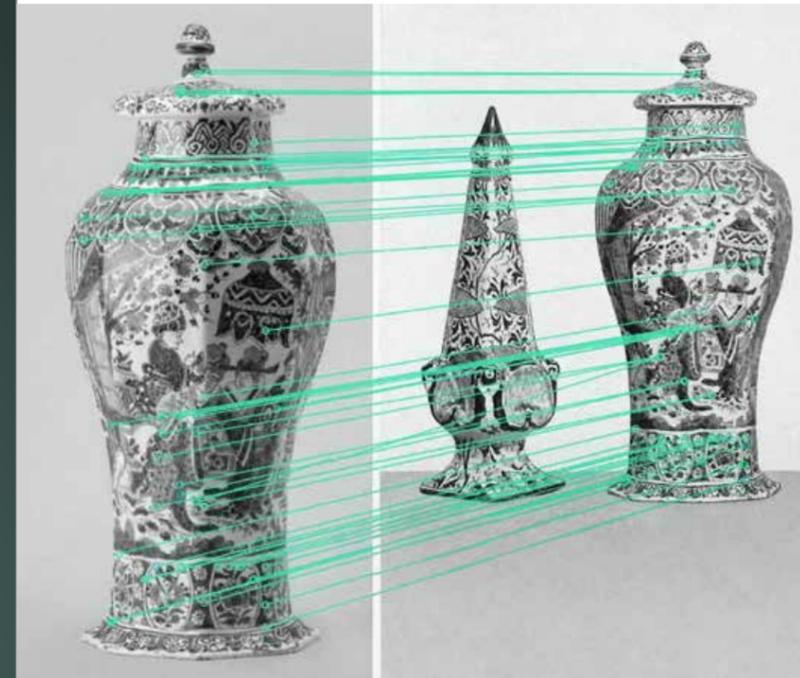
2

(links) Public Domain, The Metropolitan Museum of Art; (rechts) German Sales, Universitätsbibliothek Heidelberg.

© Fraunhofer IPK



**Bild:**  
Ergebnisse der automatischen Segmentierung einer Seite aus einem Auktionskatalog



1



2

### Deckelvase, Cornelius Funcke um 1710

**Bilder:**

- 1**  
Automatischer Abgleichprozess zweier Abbildungen desselben Objekts im Detail  
© Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg
- 2**  
Aus einer Datenbank von fast 600 000 Objekten werden die zur Anfrage passenden Objekte automatisch ausgegeben.  
© German Sales, Universitätsbibliothek Heidelberg

standen die Wissenschaftler vor der Herausforderung, dass Abbildungen ein und desselben Kunstobjekts je nach Aufnahme-datum und -technik, Bildqualität, Perspektive oder auch der Objektart selbst (2D oder 3D) zum Teil stark variieren.

Die Aufbereitung und Qualitätssicherung der Bilddaten spielte deshalb eine zentrale Rolle im Projekt. Das beginnt bereits bei der Extraktion der Abbildungen aus den über 11 000 Auktionskatalogen der »German Sales«-Datenbank. »Aufgrund der vielen Bildmengen wäre eine rein händische Bearbeitung sehr aufwendig und teuer,« erläutert Raúl Vicente-García, KI-Experte und Projektleiter am Fraunhofer IPK. »Deshalb setzen wir modernste Computer-Vision-Methoden ein, die sich bereits bei der automatisierten Analyse und Segmentierung von Dokumenten bewährt haben, und passen sie mittels KI an die Besonderheiten von historischen Bildaufnahmen an.«

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie sind vielversprechend: Rund 560 000 Abbildungen von Gemälden und Skulpturen, kunstgewerblichen Artikeln, aber auch Alltags-

gegenständen wie Möbel oder Besteck können mit den Fraunhofer-Verfahren in wenigen Sekunden durchsucht werden. Dabei werden für jedes einzelne Objekt KI-basierte Bildmerkmale erhoben, um eine hohe Erkennungsrate trotz der hohen Variabilität in Art und Qualität der Aufnahmen zu erzielen. Die Bildeigenschaften, die auf unterschiedlichen Skalen automatisch analysiert werden, reichen von Konturen und Texturen bis hin zu Objektdetails

wie dem Auge einer abgebildeten Person. Dank der Adaptionfähigkeit der KI-basierten Verfahren gelingt dabei auch ein Abgleich zwischen aktuellen und historischen Bildaufnahmen, die eine wesentlich niedrigere Bildqualität aufweisen.

Die Fraunhofer-Experten stellen mit ihrer Machbarkeitsstudie unter Beweis, dass KI-basierte Bildsuchverfahren auch für die Provenienzforschung geeignet sind. Für den nächsten Schritt, die Entwicklung einer prototypischen Softwarelösung, suchen die Wissenschaftler derzeit nach Museen, Stiftungen und Bibliotheken, die die Herkunft und Besitzgeschichte ihrer Kulturgüter effizienter recherchieren und dokumentieren möchten. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON  
**Raúl Vicente-García** | +49 30 39006-200  
raul.vicente@ipk.fraunhofer.de

Die Machbarkeitsstudie zum Einsatz von KI-basierten Bildsuchverfahren für die Provenienzforschung wurde vom Fraunhofer IPK im Auftrag des Landschaftsverbandes Rheinland und mit Unterstützung der Universitätsbibliothek Heidelberg sowie des Arbeitskreises Provenienzforschung e. V. durchgeführt.

# Zukunft will gut produziert sein

In Berlins Siemensstadt<sup>2</sup> bringen Forschende die Produktion von Morgen auf den Weg. Spoiler: Künstliche Intelligenz spielt eine wichtige Rolle!

Wenn Sie sich die optimale Stadt der Zukunft vorstellen, woran denken Sie? Grünanlagen zwischen den Häuserschluchten, saubere Luft und elektrische Autos, betrieben mit alternativen Energien? Um diese Idee zur Wirklichkeit werden zu lassen, braucht es ein Umdenken, denn neuartige Kraftwerke und Elektroautos produzieren sich nicht von allein. Produktion muss ressourcenschonend und sozial verträglich werden, um hohe Lebensstandards zu sichern, ohne dabei Raubbau an den Ressourcen der Erde zu treiben. Wie wir den Strukturwandel Berlins von der traditionellen Industriestadt zum zukunftsweisenden Technologie- und Dienstleistungszentrum gestalten können, das ist die Leitfrage dreier Forschungsprojekte, an denen Fraunhofer IPK und TU Berlin im Rahmen des Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science mitwirken. Dabei hilft den interdisziplinären Forschungsteams vor allem ihre Expertise in den Bereichen Digitalisierung, Additive Fertigung und Künstliche Intelligenz.

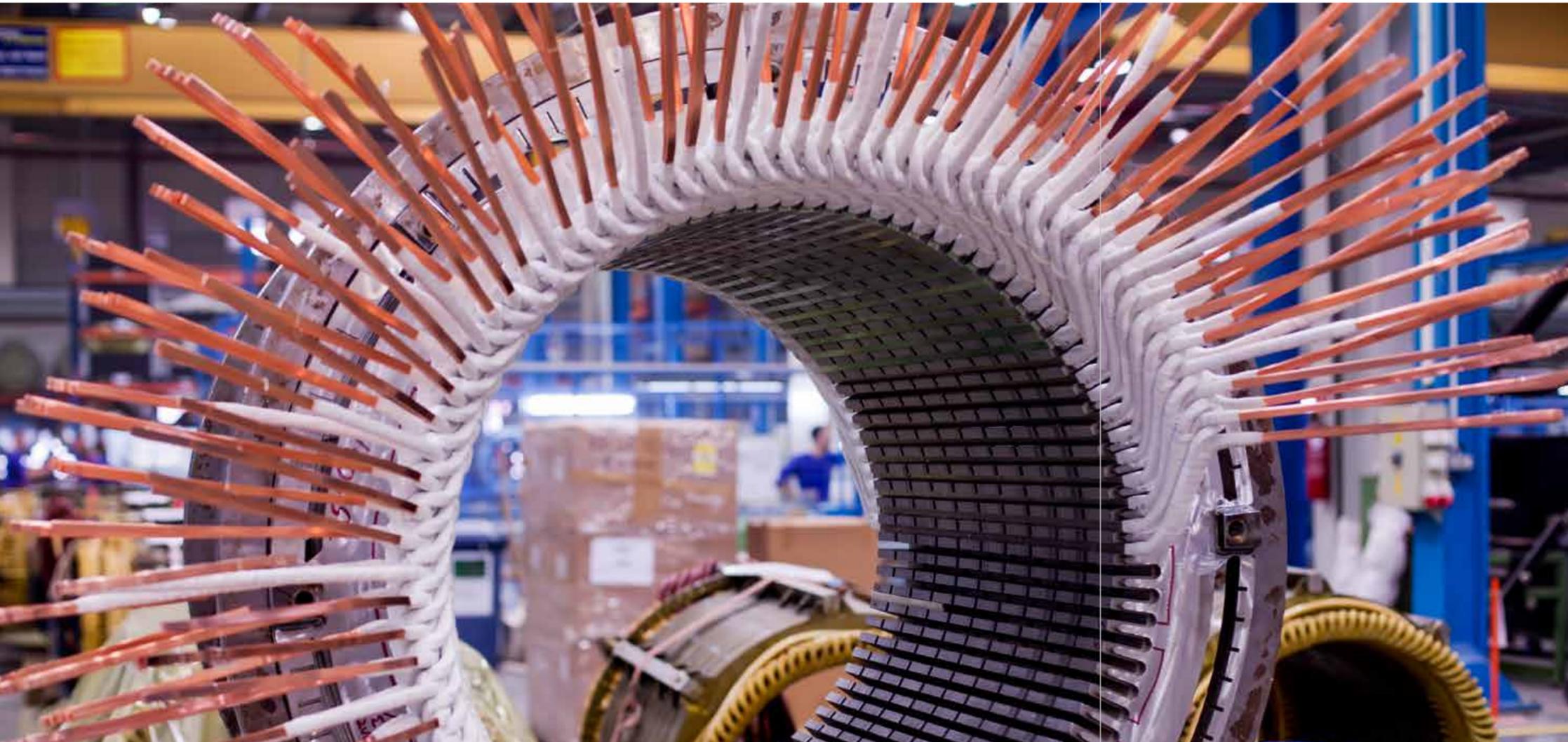
## Produktion muss ressourcenschonend und sozial verträglich werden, um hohe Lebensstandards zu sichern.

### BYE-BYE VERBRENNER, HALLO ELEKTRISCHE ANTRIEBE!

Angesichts des Klimawandels sind klassische Verbrennungsmotoren zum Auslaufmodell geworden. Sie werden zunehmend durch elektrische Antriebe ersetzt. Die 16 Partner des Projekts »Elektrische Antriebe« haben deshalb den Anspruch, »die wettbewerbsfähige elektrische Maschine der Zukunft zu entwickeln« und die Forschungsergebnisse ebenfalls auf verwandte Bereiche wie Bahnantriebe anzuwenden. Um den Wechsel zum E-Antrieb nicht nur mitzugehen, sondern auch maßgeblich zu gestalten, müssen Produktionsstandorte wie Berlin disruptive Ansätze finden, die elektrische Maschine von Grund auf neu zu gestalten und zu fertigen. Claudio Geisert, der im Projekt den Bereich »Smart Maintenance« bearbeitet, kennt die Chancen der Digitalisierung genau: »Wir messen KI-Methoden besonders große Potenziale bei. So machen wir beispielsweise mithilfe Maschinellen Lernens aus elektrischen Großmotoren, wie sie in Gaskompressorstationen, Hochofengebläsen und Walzwerken eingesetzt werden, intelligente Cyberphysische Systeme, die Menschen bei ihren Aufgaben sinnvoll unterstützen und die Lebensdauer der Motoren erhöhen.«

**Bild:**  
Montage des Stators eines elektrischen Antriebs

An der Schnittstelle von realer und virtueller Welt arbeitet auch Pascal Lünemann. Im Projekt verantwortet er die Architektur für den Digitalen Zwilling und das Feedback-to-Design-System. Er sieht in der Digitalisierung vor allem einen Vorteil für die Nachhaltigkeit der Produktion: »Die Produktion der Zukunft wird neue Schwerpunkte im nachhaltigen Einsatz von Ressourcen aufweisen. Einerseits werden Entwicklerinnen befähigt sein, nachhaltigkeitsbewusste Entscheidungen zu treffen, andererseits erreichen wir in der Mensch-Maschine-Kollaboration eine bewusst menschenzentrierte und ressourcenschonende Kooperation.«





1

### MIT ADDITIVER FERTIGUNG ZU NEUEN HÖHEN: HOCHTEMPERATUR-ANWENDUNGEN

Einige Bauteile in modernen Gaskraftwerken kommen mit Temperaturen von weit über 1000 Grad Celsius in Berührung. Doch das ist nicht die einzige Herausforderung: Wenn in Zukunft mehr alternative Brennstoffe wie grüner Wasserstoff oder Biogas eingesetzt werden sollen, müssen die Bauteile ganz neue Eigenschaften aufweisen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht zu produzieren sind. Die Lösung: additive Fertigungsverfahren in Verbindung mit neuartigen Designs und Werkstoffen mit herausragenden thermomechanischen Eigenschaften. Mit ihrer Hilfe soll der Wirkungsgrad von Gasturbinenkraftwerken entscheidend erhöht und dadurch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß verringert werden.

Dr. Kai Lindow, der am Fraunhofer IPK das Geschäftsfeld Virtuelle Produktentstehung leitet, beschreibt, wie die Forschenden die additiven Verfahren entlang der gesamten digitalen Prozesskette optimieren: »Diese digitale Prozesskette fängt beim digitalen Bauteil in der Entwicklung an, geht dann über Simulation und Fertigungsvorbereitung in den 3D-Druckprozess und umfasst alle nachbereitenden Prozesse bis hin zum Überwachen des Bauteils im laufenden Betrieb. Ziel ist es dabei, einen durchgängigen Informationsfluss zu erzeugen. Dieser durchgängige Informations-

fluss ist die Grundlage, um beispielsweise Produktmodelle mit Simulationsmodellen zu vernetzen, die das reale Verhalten von Druckprozessen abbilden können. Somit können schon vor dem eigentlichen Druck das Produkt und der Prozess optimiert werden. Dadurch wird Zeit und Material gespart.«

Maschinelles Lernen spielt im Projekt eine wichtige Rolle, so Lindow: »Mithilfe von lernenden Algorithmen können die Simulationsmodelle stetig verbessert werden. Neue Produkte oder Materialien können dadurch realitätsnah simuliert werden. Je besser die Algorithmen sind und je besser die Datenlage zur Versorgung der Algorithmen ist, desto näher sind die Produkt- und Prozesssimulationen am realen Produkt und Prozess dran – und tragen so zur Zeit- und Materialeffizienz bei.«

#### Bilder:

**1**  
Schnitt durch eine industrielle Gasturbine

**2**  
Metall wird unter der Einwirkung eines Lasers in Form gesintert.

2



### UPGRADE STATT REPARATUR: MAINTENANCE, REPAIR AND OVERHAUL

Instandhaltungs- und Reparaturprozesse gehen längst über ihre Grundfunktionalitäten hinaus. Ziel dieses Forschungsprojekts mit neun Konsortialpartnern ist es deshalb, neue Technologien für Maintenance- and Repair-Aufgaben zu entwickeln, die gleichzeitig ein Upgrade für das gewartete Bauteil umfassen.

Hierfür werden neue dynamische Prozessketten entwickelt, in denen die einzelnen Wertschöpfungsschritte vorgegeben werden. Dabei soll jedes Bauteil eine individuelle Reparaturkette durchlaufen. Diese Entwicklung soll am Beispiel von Gasturbinenschaufeln demonstriert werden, die nach der Reparatur mit höheren Temperaturen oder längeren Betriebsintervallen betrieben werden können.

Auch Carsten Niebuhr arbeitet im MRO-Projekt: »Wir vom Fraunhofer IPK verfügen über Expertise in der mechanischen Bearbeitung, zum Beispiel in der Entschichtung von Turbinenschaufeln durch Sand- oder

Wasserstrahlen. Um zu prüfen, ob sich noch ein Rest des Beschichtungsmaterials auf der Schaufel befindet, entwickeln wir neue Methoden des Maschinellen Sehens. Dabei nutzen wir hyperspektrale Bildgebung in Wellenlängen, die das menschliche Auge nicht erfassen kann, wie beispielsweise ultraviolettes oder infrarotes Licht.«

Das MRO-Projekt am Werner-von-Siemens Centre ist für den Wissenschaftler ein Schritt in Richtung einer nachhaltigeren Industrie: »In der Zukunft wird eine vollautomatisierte Repair- oder Refurbishment-Straße Altteile für den Betrieb neu aufbereiten, sodass der Lebenszyklus von vielen Produkten verlängert werden kann.«

Die Projekte des Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science werden kofinanziert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Tobias Neuwald** | +49 30 39006-308  
tobias.neuwald@ipk.fraunhofer.de

Die Projekte des Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science werden kofinanziert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung

**Aktuelle Informationen**  
zum WvSC finden Sie unter  
[www.wvsc.berlin](http://www.wvsc.berlin)



Im Ökosystem »Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V.« findet sich ein bunter Mix aus renommierten Wissenschaftseinrichtungen und Universitäten, exzellenter Industrie, innovativen KMUs und agilen, jungen Unternehmen. Sie alle vereinen ihre Expertisen zu einer zukunftsorientierten Forschungsk Kooperation.

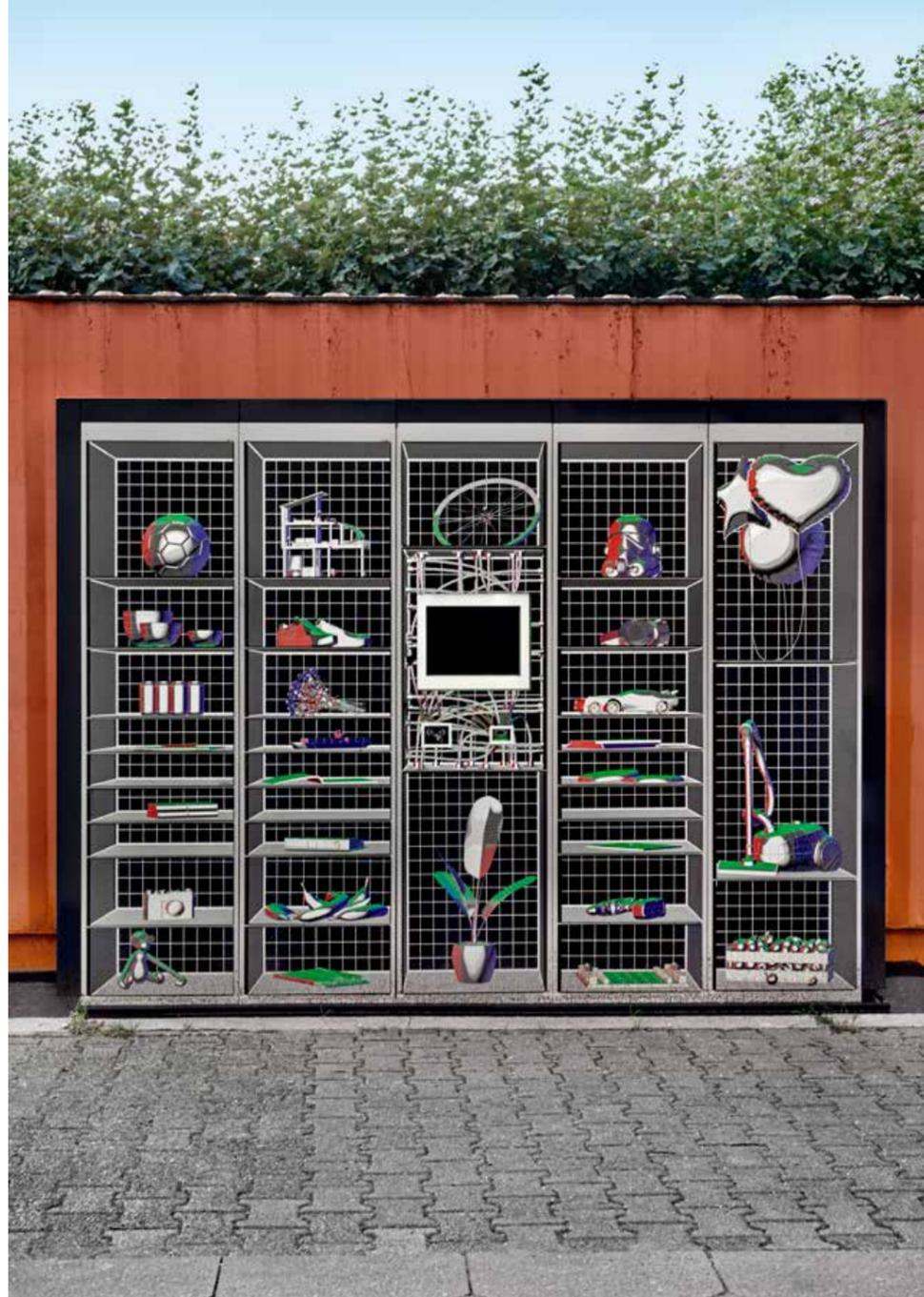
- Gründungsjahr des Vereins: 2019
- Zahl der Mitglieder: 25
- Beispielhafte Partner: Fraunhofer, Siemens, TU Berlin, BAM, CONTACT Software, T-Systems
- Zukunftsthemen: Produktionstechnischer Wandel, Mobilitätswandel, Energiewandel

Das Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V. wird im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe »Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur« (GRW) mit Bundes- und Landesmitteln gefördert.

## Nachbarschaft macht mobil

Der »Flex Q-Hub« soll Lieferverkehr smarter, nachhaltiger und kiezbezogener machen.

**Bilder:**  
Der Flex Q-Hub am Mierendorffplatz gewährt imaginäre Einblicke in sein Innenleben.



Wie kann man seinen Kiez lebenswerter gestalten? Der Berliner Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf schlägt auf der Mierendorff-Insel rund um den gleichnamigen Platz neue Wege ein und baut dabei auf wissenschaftlich fundierte Modellprojekte.

Einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Nachbarschaft soll ein »flexibler Quartiers-Hub«, kurz: »Flex Q-Hub« leisten. Er dient als Ausgangspunkt für

die quartiersbezogene Logistik, die eine umweltfreundliche und stadtverträgliche Abwicklung von Lieferverkehren im urbanen Raum zum Ziel hat. Der Hub, eine anbieteroffene Paketstation, ermöglicht neben der Paketeinlieferung- und Abholung durch Privatpersonen auch Zwischenlagerungen durch Kurier-, Express- und Paketdienste. Auch die Möglichkeit eines Werkzeug-Sharings für die Anwohnerinnen und Anwohner soll erprobt werden.

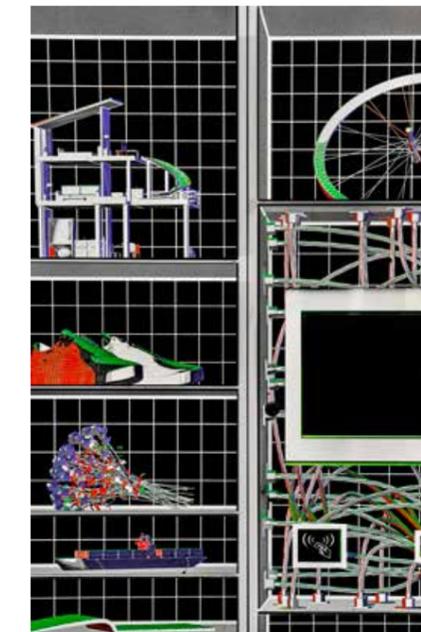
Der Clou am Flex Q-Hub sind seine intelligenten Fächer. Jedes Fach hat dabei eine eigene Strategie. Auf einem virtuellen Markt verhandeln sie untereinander ihre Angebote, um nach außen als einheitliches System aufzutreten. Manuel Bösing, Projektleiter am Fraunhofer IPK, beschreibt das System so: »Jedes Fach handelt als eigener Agent mit individuellen Attributen. Im Kollektiv arbeiten sie als Multi-Agenten-System, um verschiedene private und gewerbliche Kundenwünsche intelligent zu verarbeiten. Dadurch kann eine optimale Auslastung des Flex-Q-Hubs sichergestellt werden. Durch die Berücksichtigung individueller Wünsche erfolgt eine engere Kundenbindung.« Dabei werden jeweils Profile angelegt, um die Auswahlhistorie der einzelnen Kunden und Kundinnen abzuspeichern. Die getroffenen Entscheidungen fließen in die zukünftige Zuteilung der Fächer ein. Buht eine Person beispielsweise immer zu einer festen Zeit ein bestimmtes Fach, so kann dieses Verhaltensmuster durch eine assistierende KI aufgezeichnet werden. Das entsprechende Fach oder Fächer mit ähnlichen Attributen werden für den aufgezeichneten Zeitraum freigehalten. So kann sichergestellt werden, dass wiederkehrende Kundinnen und Kunden stets ein passendes Fach vorfinden.

Die Entwicklung und Weiterentwicklung des Multi-Agenten-Systems mit der assistierenden KI obliegt dem Team des Fraunhofer IPK. Ein Prototyp des Flex Q-Hubs steht bereits seit Juni 2021 auf dem Mierendorffplatz in Berlin-Charlottenburg, unweit des Fraunhofer IPK. Unter dem Titel »mieri-mobil« wird ein Teil des Mierendorffplatzes

dazu genutzt, zukunftsweisende Konzepte zu erproben, die den Bezirk nachhaltiger und sozialer machen sollen. »Der Flex-Q-Hub wird gerne in Anspruch genommen, weil er einfach ist und mehr Flexibilität ins eigene Leben bringt«, so Manuel Bösing. Ein besonderer Hingucker ist er jedenfalls, denn die einzelnen Fächer sind von außen in aufsehenerregender 3D-Optik gestaltet.

Die Aufdrucke zeigen wie durch einen Röntgenblick, was sich hinter den Türen verbergen könnte: eine Zimmerpflanze vielleicht? Ein Fahrradschlauch? Neue Sneakers? Das Design ist das Ergebnis eines Gestaltungswettbewerbs, den der Architekt und Designer Klemens Sitzmann für sich entscheiden konnte. Zur Bedeutung des Designs im Rahmen des Projekts sagt Sitzmann: »Gute Ideen müssen an die Menschen gebracht werden, und gerade in Berlin ist ein sensibler Umgang und gelungene Kommunikation Schlüssel zur Akzeptanz neuer Projekte. Innovation muss Spaß machen, Fortschritt muss beleben.«

Der Prototyp ist als Kernelement des Forschungsprojekts »Stadtquartier 4.1« entstanden, in dem sich Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft mit der Frage auseinandersetzen, wie urbane Logistik in Zukunft aussehen kann. Beteiligt sind neben dem Fraunhofer IPK auch die LogisticNetwork



Consultants GmbH (LNC), das Leibniz-Institut für Raumbezogene Sozialforschung (IRS) sowie die insel-projekt.berlin UG (IPB). Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert das Projekt »Stadtquartier 4.1« noch bis zum 31.04.2022 auf Grundlage der Fördermaßnahme »Anschlussvorhaben nachhaltige Transformation urbaner Räume«. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

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



# Wie Maschinen lernen, Strom zu sparen

Unsere Gesprächspartner erforschen gemeinsam, wie produzierende Unternehmen mithilfe von Maschinellen Lernen ihren Energieverbrauch reduzieren können.



## PROJEKTSTECKBRIEF

Ziel des Forschungsprojekts »Reinforcement Learning für komplexe automatisierungstechnische Anwendungen (ReLkat)« ist es, ein KI-Verfahren zu entwickeln, das Anwender in den Bereichen Energieversorgung, Gebäudetechnik und Industrie beim Energiesparen unterstützt. Um die Brücke von der Forschung in die Welt der industriellen Anlagen zu schlagen, arbeiten Berliner Expertinnen und Experten aus der Produktionswissenschaft (Fraunhofer IPK), der Mathematik (Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik WIAS Berlin) und der Künstlichen Intelligenz (Signal Cruncher) gemeinsam daran, konventionelle Steuerungstechnik an Bestandsanlagen für die Ausführung von Künstlicher Intelligenz und insbesondere Reinforcement Learning (RL) fit zu machen. Als Anwendungspartner sind zwei Berliner Industriegrößen am Projekt beteiligt: das Mercedes-Benz Werk Berlin und PSI Software. ReLkat zeigt, wie ein interdisziplinäres Team aus der Metropolregion Berlin-Brandenburg branchen- und domänenspezifische Herausforderungen meistern kann – mithilfe von Künstlicher Intelligenz!

| futur | **Herr Thiele, warum ist Machine Learning der »Way to go«, um Produktionsanlagen energieeffizienter zu betreiben? Gibt es keine ähnlich wirksamen, traditionelleren Möglichkeiten des Energiesparens?**

/ **THIELE** / Das Thema Energieeffizienz ist heute viel wichtiger als noch vor einigen Jahren, auch aus ökonomischer Perspektive. Die Energieeffizienz in der Fertigung durch mitlaufende Anpassungen zu steigern, ist aber mit manuellem Aufwand verbunden

und lässt sich im seltensten Fall wirtschaftlich umsetzen. Wir sind also auf Automatisierung angewiesen, haben aber mit der Datenverarbeitung der Echtzeitregelung eine so anspruchsvolle Aufgabe, dass wir mit konventionellen Automatisierungsmethoden limitiert sind. Deswegen greift hier Maschinelles Lernen, das komplexe Zusammenhänge abbilden und nutzbar machen kann.

| futur | **Herr Dr. Thess, während prominente Stimmen wie Stephen Haw-**

**king und Elon Musk vor den Tücken der Künstlichen Intelligenz warnten und warnen, verspricht Signal Cruncher »lokale und sichere KI« durch Embedded Machine Learning. Was unterscheidet Ihre Herangehensweise an KI von der anderer Unternehmen?**

/ **DR. THESS** / Wir sind in der Lage, Daten lokal zu analysieren und auszuwerten. Statt die Daten auf den Server oder in die Cloud weiterzureichen und dort zentralisiert auszuwerten, geschieht bei uns die Auswer-

tung lokal, beispielsweise im Gateway des Haushaltes oder der Maschine. Damit entfallen zum einen gewisse Probleme im Zusammenhang mit Datenschutz. Zugleich erhöht sich auch die Sicherheit, weil das System weiter funktioniert, wenn die Verbindung ausfällt. Es entspricht auch generell dem Trend, dass neue Technologien erst zentralisiert eingeführt werden und im Zuge ihrer Weiterentwicklung dann dezentralisiert werden, wie zum Beispiel bei den Verkehrsmitteln. Man hatte erst die Eisenbahn, dann kam das Auto. Oder bei Com-

putern: Zuerst kamen die Großrechner und dann die Personal Computer.

| futur | **Können Sie also die Ängste von Unternehmen entkräften, die beim Einsatz von KI aus Sorge um den Schutz ihrer Daten und IP zögerlich sind?**

/ **DR. THESS** / Ja, denn die Daten wandern nicht mehr zu dem Programm, das sie auswertet, sondern das Programm wandert dorthin, wo die Daten anfallen. Da-

mit verlassen die Daten nicht mehr ihr bisheriges Hoheitsgebiet, der Datenschutz bleibt definitiv gewährleistet.

/ **THIELE** / Ein neues Diskussionsfeld zwischen Produktionswissenschaften und Rechtswissenschaft ist auch die Nutzung von Betriebsdaten. Man kann mit Maschinellen Lernen Wissen und Erfahrung aus dem beobachteten Anlagenbetrieb generieren und es für sich nutzbar machen. Wenn man diese Betriebsdaten nun von einem Betreiber verwendet, ein Verfahren

anlernt und beim zweiten Betreiber angewendet, wären indirekt auch die Betriebsdaten gewandert. Wir trainieren unsere Steuerungsalgorithmen aber nur an dem System, für das sie vorgesehen sind und diskutieren mit den Anwendern die Übertragbarkeit zwischen ähnlichen Anlagen des gleichen Unternehmens. Gleichzeitig unterstreichen wir mit derartigen Projekten natürlich, dass die während des Betriebs anfallenden Daten von sich aus schon einen gewissen Wert haben. Indem wir sie nutzbar machen, sehen wir, dass Daten eine Ressource sind, die einen potenziellen Mehrwert mit sich bringen und daher selbst einen inhärenten Wert aufweisen.

| futur | **Herr Thiele, Sie haben mit Ihrem Team am Fraunhofer IPK bereits mehrfach nachgewiesen, dass Sie Unternehmen mithilfe von intelligenter Steuerungstechnik beim Energiesparen unterstützen können. Inwiefern geht ReLkat weiter als seine Vorgängerprojekte?**

/ THIELE / Die vorangegangenen Projekte arbeiteten noch mit konventioneller Regelungstechnik. Wir haben damals auch schon mit empirischen Daten statistische Modelle erzeugt, um das Verhalten der Anlage in statischen Arbeitspunkten abzubilden, jedoch noch nicht die Anlagendynamik selbst berücksichtigt. Wenn ich nun das Anlagenverhalten nicht nur an statischen Punkten abbilden möchte, sondern als zeitliche Abhängigkeit, dann zwingt mir diese neue Komplexität auf, dass ich Maschinelles Lernen verwende. Wir erschließen so einen neuartigen Lösungsraum und gehen eine Leistungsstufe weiter.

/ DR. THESS / Wir beschäftigen uns seit vielen Jahren mit Reinforcement Learning und verfolgen dabei das Ziel, den Kern stabiler und schlanker zu gestalten. Dazu wird im Zuge von ReLkat ein spezielles Verfahren entwickelt, welches auf hierarchischen Tensornetzwerken beruht. Die-



### Gregor Thiele

ist stellvertretender Leiter der Abteilung Prozessautomatisierung und Robotik am Fraunhofer IPK. In mehreren FuE-Projekten entwickelte er und sein Team ein intelligentes, universell einsetzbares Framework, das den Betrieb von Anlagen automatisch energieeffizienter macht.

ses Verfahren ermöglicht es, die Technologie sehr schlank zu halten, anders als beispielsweise bei rechenintensiven neuronalen Netzen. Das betrifft den algorithmischen Part, der zweite Part ist das, was Herr Thiele bereits gesagt hat: Wir möchten Industrieprojekte angehen, die wir bisher nicht im Fokus hatten. Mit dem Energieverbrauch im industriellen Bereich hat das Fraunhofer IPK sehr viele Erfahrungen. Daraus erhoffen wir uns perspektivisch ein entsprechendes Potenzial für den Vertrieb und die Vermarktung.

/ THIELE / Wir als Fraunhofer IPK fungieren als praktische Brücke zwischen den Fachexperten der herstellenden Betriebe und der Machine-Learning-Expertise von KI-Spezialisten wie Signal Cruncher. Wir bereiten Probleme der industriellen Fertigung so auf und erschließen uns Systemzusammenhänge und Daten derart, dass

sie als mathematisches Problem erst formulierbar werden. Durch dieses interdisziplinäre Herangehen von Maschinenexperten vor Ort, Fraunhofer IPK-Wissenschaftlern als Bindeglied und KI-Experten aus einer dedizierten KI-Firma, hat so ein Projekt wie ReLkat überhaupt erst die Möglichkeit, innerhalb von wenigen Jahren praxistaugliche Lösungen zu entwickeln.

| futur | **Sie kooperieren auch mit dem Weierstraß-Institut für angewandte Analysis und Stochastik und mit PSI, einem börsennotierten Unternehmen, das Software für Versorger und Industrie anbietet. Wie und wozu haben Sie diese interdisziplinären Partner an Bord geholt?**

/ DR. THESS / Die Verbindung zum WIAS kam über Prof. Reinhold Schneider von der TU Berlin zustande, ein auf dem Gebiet der

Tensoren anerkannter Wissenschaftler. Er konnte uns den für die Umsetzung der Tensornetzwerke für Reinforcement Learning wichtigen Kontakt zum WIAS vermitteln.

/ THIELE / Auf der Suche nach geeigneten Anwendungspartnern haben wir uns dazu entschlossen, sowohl die diskrete Bauteilfertigung zu adressieren, als auch die kontinuierliche Prozesstechnik. Daher finden sich in unserem Konsortium als Anwendungspartner einerseits Mercedes-Benz mit ihrem Werk Berlin, die seit vielen Jahren bereits großes Engagement in Richtung Energieeffizienzoptimierung zeigen und auf der anderen Seite die PSI Software AG mit dem Bereich Pipelinebetrieb. Somit sammeln wir im Projekt Erfahrung im Bereich der kontinuierlichen Prozesstechnik wie auch der diskreten Komponentenfertigung.

| futur | **Eine Hürde für den Einsatz von Machine Learning in der Praxis ist, dass die meisten Lösungen sehr spezialisiert sind und zunächst manuell aufwendig »angefüttert« werden müssen. Sie verfolgen den Anspruch, eine generische und flexible Lösung zu entwickeln – wie soll das gehen?**

/ DR. THESS / Die Generik steckt im Ansatz selbst: Durch den Einsatz von Maschinellem Lernen beobachten wir die physikalische Welt und bauen letztlich statistische Modelle. Das hat den Vorteil, dass wir dafür nicht so viel Domänenwissen brauchen. Der traditionelle Weg wäre über eine physikalische Modellierung durch Differentialgleichungen. Dieser Weg ist sehr aufwendig und hat auch gewisse Grenzen. Das Prinzip der KI ist es dagegen, einfach nur durch Beobachtung des Wechselspiels

von Aktion und Analyse Zusammenhänge zu lernen. Durch diesen Black-Box-Charakter ist die Lösung von Natur aus sehr generisch, weil sie nicht wirklich versteht, was sie eigentlich macht, um es einmal in »menschlichen« Worten auszudrücken. Das heißt natürlich nicht, dass nicht trotzdem spezifische Anpassungen notwendig sind. Der Gedanke, das völlig generisch zu machen, erscheint mir illusorisch. Auch bei uns muss man natürlich eine gewisse Auswahl der Parameter treffen und Trajektorien vorgeben. Gleichwohl ist der Aufwand ungleich geringer als bei manuellen Verfahren oder mit einem klassischen physikalischen Ansatz. In dem Sinne ist es schon richtig: Es ist eine ziemlich generische Lösung für die Minimierung des Energiebedarfs.

/ THIELE / Daneben gibt es für die Industrie noch ein weiteres gutes Argument, das unsere Lösung attraktiv macht: Wir erschließen komplett neue Einsparpotenziale dadurch, dass wir Stellschrauben angehen, die vorher fixiert waren. Eine Vorlauftemperatur, die vorher seit Jahr und Tag bei zwölf Grad stand und nun von uns auf zehn oder vierzehn eingestellt werden kann, wurde nie als manuelle Aufgabe oder mit konventioneller Regelung nach den Energieeffizienzgesichtspunkten angepasst. Wir ersetzen also nicht eine Funktionalität mit KI, die vorher andersartig ausgeprägt war, sondern wir nutzen die Möglichkeiten von KI, um eine völlig neuartige Funktionalität – nämlich dieses Anpassen von Zielgrößen je nach Energieeffizienzgesichtspunkten – der bestehenden Automatisierung hinzuzufügen. Deswegen werden wir und unsere Arbeit als Hilfe und Assistenz der Betreiber wahrgenommen und nicht als Konkurrenz zur manuellen Arbeit. ♦

### Dr. Michael Thess

ist Gründer und Geschäftsführer des Berliner Startups Signal Cruncher. Das Team des Unternehmens, das Expertise im Bereich Embedded Machine Learning für IoT anbietet, hat »Smart Energy« zu einem seiner Kernthemen erklärt. Mit seiner XONBOT-Software unterstützt Signal Cruncher B2C- und B2B-Kunden auf diesem Gebiet.



# Kraft der Abbildung

Durch Simulationsmodelle können Produkte besser analysiert und Entwicklungen prognostiziert werden. Ein Forschungsteam hat ein KI-basiertes Assistenzsystem entwickelt, das die Effizienz der Verfahren steigert.

Überfordert uns die Vorstellungskraft, greifen wir zum Stift und bringen die Unordnung im Kopf zu Papier. Durch das Veranschaulichen eines komplexen Sachverhalts kann er uns, zumindest für den Moment, nicht mehr entgleiten. Auf diesem elementaren Konzept bauen heutige Simulationsmodelle im Engineering auf. Die computerbasierten Modelle sollen uns helfen, Produkte in ihren Eigenschaften zu verstehen und künftige Entwicklungen vorauszusagen. In Simulationsmodellen können verschiedene Methoden, wie etwa Finite-Elemente-Analysen (FE), die numerische Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics, CFD) und ereignisorientierte Simulationsmethoden (Discrete Event Simulation, DES) angewendet werden. Die FE-Analyse wird beispielsweise zum Untersuchen von Spannungen und Verformungen eines Bauteils unter Krafteinwirkung eingesetzt. Hingegen können mit CFD-Methoden Geometrien von Bauteilen für optimale Umströmung positioniert oder verformt werden. Und durch DES-Simulation können ganze Fertigungsabläufe virtuell untersucht werden. Gemein haben diese Verfahren, dass sie keine physischen Prototypen erfordern: So können Zeit und Kosten eingespart werden.

Doch das Erstellen solcher Simulationen erfordert viel Erfahrung und ist meist mit hohem Aufwand verbunden. Besonders bei der Analyse verschiedener Varianten oder Konfigurationen eines Produktes ist der Aufwand für spezifische Anwendungsfälle enorm.

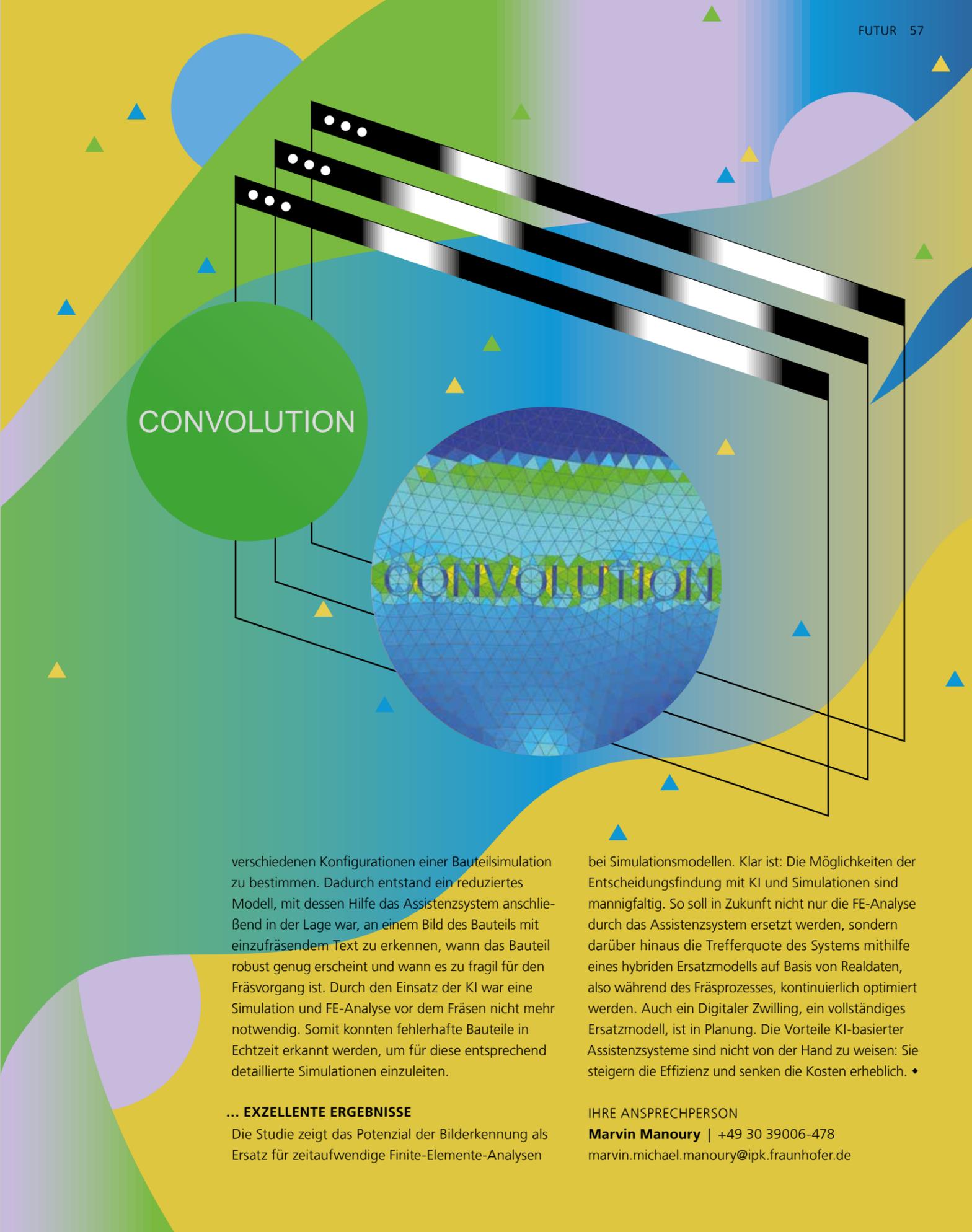
## INTELLIGENTES SIMULIEREN ...

KI-basierte Assistenzsysteme können Ingenieurinnen und Ingenieure an dieser Stelle exzellent unterstützen. Mit ihrer Hilfe können unter anderem Ergebnisse

früherer Simulationen analysiert und auf neue Produkte mit ähnlicher Konfiguration übertragen werden. Außerdem können Ingenieurinnen mithilfe ähnlicher Simulationen eine intelligente Auswahl der Parameter und Randbedingungen für eine aktuelle Fragestellung treffen. Zudem können Ersatzmodelle, also reduzierte digitale Modelle, der Simulation erzeugt werden. Forschende des Fraunhofer IPK haben die beträchtlichen Funktionsmöglichkeiten solcher intelligenter Systeme erkannt und forschen an neuen Ansätzen, Ingenieure im Berufsalltag noch besser zu unterstützen.

Im Projekt wurden Lösungsansätze für einen Anwendungsfall im Produktdesign erforscht. Konkret ging es um die Gefahr, dass beim Einfräsen von Texten in Polypropylen-Bauteile das Material geschwächt wird, was bei einer Biegebelastung zu Materialversagen führen kann. Es wäre für die Ingenieurinnen jedoch zu aufwändig gewesen, vor jedem Fräsvorgang eine FE-Analyse mithilfe eines Simulationsmodells zu erstellen, die Schwachpunkte in der Fräsbahn offengelegt hätte. Daher musste ein unterstützendes System her, welches die Bauteile im Vorfeld bezüglich ihrer Eigenschaften auswertet, um aufwendige Simulationen zu vermeiden. Den Lösungsansatz bot ein KI-basiertes Assistenzsystem, das eine Analyse der einzelnen Bauteile auf Basis intelligenter Bildauswertung umsetzt. Für das Assistenzsystem wurde ein Convolutional Neural Network (CNN), ein künstliches neuronales Netz aus dem Bereich des Maschinellen Lernens, eingesetzt. Das CNN wurde für die Bilderkennung adaptiert, um Bilddaten der Polypropylen-Bauteile auszuwerten. Dabei wurde das System mithilfe der entstandenen Bilddaten sowie der dazugehörigen FE-Ergebnisse trainiert, die

**Darstellung:** Die Abbildung des CAD-Modells eines Polypropylen-Bauteils mit eingefrästem Text (links) dient als Grundlage für das Convolutional Neural Network (CNN). Anhand der Finite-Elemente-Simulation (rechts) lässt sich das CNN des Assistenzsystems trainieren, um die Spannungsverteilung über das Bauteil zu ermitteln.



CONVOLUTION

verschiedenen Konfigurationen einer Bauteilsimulation zu bestimmen. Dadurch entstand ein reduziertes Modell, mit dessen Hilfe das Assistenzsystem anschließend in der Lage war, an einem Bild des Bauteils mit einzufräsendem Text zu erkennen, wann das Bauteil robust genug erscheint und wann es zu fragil für den Fräsvorgang ist. Durch den Einsatz der KI war eine Simulation und FE-Analyse vor dem Fräsen nicht mehr notwendig. Somit konnten fehlerhafte Bauteile in Echtzeit erkannt werden, um für diese entsprechend detaillierte Simulationen einzuleiten.

## ... EXZELLENTER ERGEBNISSE

Die Studie zeigt das Potenzial der Bilderkennung als Ersatz für zeitaufwendige Finite-Elemente-Analysen

bei Simulationsmodellen. Klar ist: Die Möglichkeiten der Entscheidungsfindung mit KI und Simulationen sind vielfältig. So soll in Zukunft nicht nur die FE-Analyse durch das Assistenzsystem ersetzt werden, sondern darüber hinaus die Trefferquote des Systems mithilfe eines hybriden Ersatzmodells auf Basis von Realdaten, also während des Fräsprozesses, kontinuierlich optimiert werden. Auch ein Digitaler Zwilling, ein vollständiges Ersatzmodell, ist in Planung. Die Vorteile KI-basierter Assistenzsysteme sind nicht von der Hand zu weisen: Sie steigern die Effizienz und senken die Kosten erheblich. ♦

## IHRE ANSPRECHPERSON

**Marvin Manoury** | +49 30 39006-478  
marvin.michael.manoury@ipk.fraunhofer.de

## Kontext ist alles

**Im Bereich Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) liegen mobile Assistenzapplikationen voll im Trend. Mithilfe von KI werden diese flexibler – und vorausschauender.**

Die industrielle Produktion ist ein komplexes Arbeitsumfeld. Werkerinnen und Werker sehen sich immer wieder mit völlig neuen Aufgaben konfrontiert, die zuweilen nur die erfahrensten und höchst qualifizierten Fachkräfte bewältigen können. So kann es beispielsweise vorkommen, dass ein bislang problemlos laufender Fräsprozess aufgrund von Lagerverschleiß in der Frässpindel plötzlich Ausschuss produziert. Unerfahrene Werkerinnen und Werker, denen die Zusammenhänge zwischen Maschine und Prozess nicht geläufig sind, sind bei der notwendigen Ursachenfindung schnell überfordert. Für den reibungslosen Ablauf der Produktion kann das eine Gefahr darstellen in Zeiten, in denen ein Ende des Fachkräftemangels nicht abzusehen ist. Um auch Geringqualifizierte an solche komplexeren Prozesse heranzuführen, können mithilfe moderner Assistenzsysteme heute »Trainings on the job« durchgeführt werden. Dieser Trend wird unterstützt durch den Einzug intelligenter mobiler Applikationen auf der Basis von Datenbrillen, Smartwatches oder Tablets. Konkrete, auf den jeweiligen Arbeitsschritt bezogene Informationen und Handlungsanweisungen können so leicht nachvollziehbar audiovisuell dargestellt werden. Auch spezifische Schulungsvideos können integriert werden, mit denen die Mitarbeitenden sich kontinuierlich individuell weiterbilden können.

Ein zentraler Anwendungsbereich solcher Assistenzsysteme liegt im Bereich Maintenance, Repair and Overhaul (MRO). Beim Warten von Maschinen und Anlagen ist besonders wichtig, die umgesetzten Schritte transparent zu dokumentieren, damit andere Werkerinnen und Werker nachvollziehen können, welche Arbeiten durchgeführt wurden. Mobile digitale Applikationen

unterstützen die Instandhaltungsprozesse deshalb nicht nur operativ, sondern erleichtern auch die nachgelagerte Dokumentation, indem sie sie teilweise oder sogar vollständig automatisieren.

### KONTEXTSENSITIVITÄT ALS GAMECHANGER

Instandhaltungsprozesse sind so divers, dass sie nur schwer automatisierbar sind und deshalb regelmäßig manuelle Eingriffe erfordern. Servicetechnik-Fachkräfte, die Maschinen und Anlagen in Schuss halten, verfügen also über eine große Menge implizites Wissen, das sie brauchen, um eine korrekte Schadensanalyse und -behebung durchzuführen. Durch Vorgangsbeschreibungen, Arbeitsanweisungen und Checklisten versuchen Industrie und Produktionswissenschaft seit geraumer Zeit, dieses implizite Wissen explizit – und somit übertragbar – zu machen.

Diese Übertragbarkeit stößt dort an ihre Grenzen, wo es auf den speziellen Kontext des individuellen Prozesses ankommt. Ein simples Beispiel dafür ist die Wartung eines Kühlmittelkreislaufes: In Abhängigkeit des Füllstandes und des Zustands weiterer Komponenten wie etwaiger Verunreinigungen des Kühlmittels sind hier jeweils unterschiedliche Prozessschritte abzuarbeiten. Ist der Füllstand zu hoch und der Kühlmittelzustand in Ordnung, muss Kühlmittel abgelassen werden. Ist er zu niedrig, muss aufgefüllt werden. Ist alles ok, so ist dies lediglich zu dokumentieren. Füllstand und Kühlmittelzustand können dabei entweder manuell oder vollautomatisiert über Sensordaten ermittelt werden.

Im Zuge eines Kooperationsprojektes haben Forschende des Fraunhofer IPK zusammen mit CONTACT Software deshalb ein kontextsensitives MRO-Assistenzsystem auf Basis Digitaler Zwillinge entwickelt. Verschiedene Formen von Input werden kontinuierlich in das System eingespeist, etwa an der Anlage gemessene Sensorwerte oder auch Fotos, die vom Servicepersonal aufgenommen wurden. Ein digitaler Produktzwilling des Objekts, das gewartet werden soll, wird mit diesen Informationen angereichert und kommuniziert sie dem Assistenzsystem in Echtzeit zurück. Dabei werden sowohl historische als auch aktuelle Kontextinformationen des jeweiligen Produkts bereitgestellt. So können der Zustand der Maschine oder Anlage genau eingeordnet, bekannte Lösungsstrategien ausgewählt und Fehler effizient behoben werden. Während des MRO-Prozesses bezieht das System bei jedem Arbeitsschritt

situationsabhängige Informationen in die konkreten Arbeitsanweisungen für das Instandhaltungspersonal mit ein.

### INTELLIGENZ FÜR EINE NACHHALTIGE INSTANDHALTUNGSSTRATEGIE

Die kontextsensitive Assistenz macht es möglich, die Instandhaltungsvorgänge flexibel an sich ständig ändernde Prozesszustände anzupassen: Je genauer der Zustand der Maschine oder Anlage beschrieben werden kann, desto gezielter kann ein Schaden analysiert und behoben werden. Vor und nach der Reparatur können automatische Tests durchgeführt werden, um den Zustand der Maschine zu validieren. Die Ergebnisse stehen in Echtzeit zur Verfügung und bilden wiederum die Basis für die weiteren durchzuführenden Tätigkeiten.

Die laufende Dokumentation, unterstützt durch das kontextsensitive Assistenzsystem, dient nicht nur dazu, den Digitalen Zwilling kontinuierlich zu aktualisieren. Sie ermöglicht auch das Anlegen einer Fehler- und Lösungshistorie und bildet somit die Basis, um Methoden des maschinellen Lernens einzusetzen. Bei regel-

mäßig auftretenden Fehlern können typische Lösungen identifiziert werden, die bei erneutem Eintreten desselben Fehlers automatisch vorgeschlagen werden. In die intelligente Priorisierung der erfolgversprechenden Lösungen fließen die historischen und aktuellen Kontextdaten des jeweiligen Problems mit ein.

Durch die Dokumentation dieser Lösungsstrategien im Digitalen Zwilling können intelligente Algorithmen nicht nur im konkreten Anwendungsfall das Servicepersonal bei der Zuordnung von Lösungen zu Problemstellungen unterstützen. Für das Unternehmensmanagement legen sie auch die Weichen für eine intelligente, nachhaltige Instandhaltungsstrategie, in der Fehler frühzeitig erkannt und bestenfalls präventiv behoben werden können. Solche vorausschauenden Lösungsstrategien werden im Rahmen der sogenannten »Smart Maintenance« von intelligenten mobilen Assistenzsystemen ideal unterstützt. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON

**Claudio Geisert** | +49 30 39006-423  
claudio.geisert@ipk.fraunhofer.de



#### Bilder:

- 1 Mobile Instandhaltungsunterstützung via Smart Device
- 2 Kontextsensitive Handlungsanweisung als Schritt-für-Schritt-Anleitung

# Der KI-Marktplatz

Künstliche Intelligenz ist heute einer der wichtigsten Treiber in der Produktentstehung. Sie auch für KMU leichter zugänglich zu machen, ist der Anspruch einer neuen Onlineplattform.



© it's OWL

Der digitale Wandel verändert die Produktentwicklung. Nicht nur der Softwareanteil, sondern auch die Komplexität der zu entwickelnden Produkte steigen. Mehr denn je ist die integrierte Expertise unterschiedlicher Fachdisziplinen gefragt. KI-Anwendungen kommt dabei eine Schlüsselrolle zu: Sie können produzierenden Unternehmen dabei helfen, Entwicklungskapazitäten zu erhöhen und gleichzeitig Entwicklungszeiten und Herstellungskosten zu senken. Vielen Unternehmen fehlt aber die KI-Expertise, um diese Potenziale zu heben. Umgekehrt fehlt den Anbietern von KI-Lösungen oft der Zugang zu Kunden oder das nötige Domänenwissen. Um die beiden Seiten der Gleichung zusammenzubringen, braucht es eine Plattform: den KI-Marktplatz!

Mit dem KI-Marktplatz entsteht ein einzigartiges Ökosystem, das KI-Expertinnen, Anbieter und Anwenderinnen zusammenbringt, um das Potenzial der Künstlichen Intelligenz auszuschöpfen. Dabei fungieren Forschende des Fraunhofer IPK mit ihren umfassenden Erfahrungen in der digitalisierten Produktentstehung als Wissensträger und gestalten das Projekt maßgeblich mit. Der Marktplatz bietet neben dem intelligenten Matching von Dienstleistenden und Unternehmen auch einen Raum für sicheren Datenaustausch und Datensouveränität. In Zukunft sollen ein App-Store und ein Werkzeugkasten für KI-Lösungen das Leistungsspektrum des KI-Marktplatzes erweitern. Durch das »Plug and Play«-Prinzip sollen kleine und mittelständische Unternehmen KI-Anwendungen selbst zusammenstellen und in ihre Prozesse integrieren können, ohne dass sie dafür einen Dienstleister beauftragen müssen.

## Unternehmen fehlt die KI-Expertise, KI-Anbietern der Zugang zu Kunden. Die Lösung: eine Plattform.

### PILOTPROJEKTE ZEIGEN, WAS DER KI-MARKTPLATZ KANN

Wie der Marktplatz bestmöglich funktioniert und was er leisten kann, wird derzeit in sechs Pilotprojekten untersucht. Unternehmen und Forschungseinrichtungen erarbeiten darin gemeinsam KI-Lösungen für konkrete Anwendungsfälle aus verschiedenen Domänen – von intelligenter Produktbeobachtung über KI-basierte Fahrzeugdiagnose bis hin zu KI-gestützter Herstellbarkeitsanalyse. Hier werden erste Anwendungen für die Produktentstehung entwickelt, getestet und umgesetzt, um anschließend auch den Nutzerinnen und Nutzern des KI-Marktplatzes zur Verfügung gestellt zu werden.

Eines dieser Pilotprojekte ist die Integration von KI in Computer Aided Design (CAx) beim Landmaschinenkonzern CLAAS. Forschende des Fraunhofer IPK konzipieren gemeinsam mit den Anwenderinnen und Anwendern bei CLAAS ein intelligentes Gleichteilemanagement und setzen es auch bereits prototypisch um. Ausgehend von einer Merkmalsextraktion werden CAD-Modelle zunächst anhand ihrer Geometrie, später auch hinsichtlich Funktion, klassifiziert. Fehlende Stammdaten und weitere Meta-Daten werden ergänzt. Ziel ist es, die Teileanzahl in der Bestandsdatenbank zu reduzieren. Während der Konstruktion können außerdem den Entwicklerinnen und Entwicklern potenzielle Gleichteile, aber auch Evolutionsstufen vorgeschlagen werden, die den Aufwand der Konstruktion verringern können. In Zukunft könnten so durch versehentliche Doppelentwicklungen verursachte Kosten reduziert werden, ohne den notwendigen kreativen Freiraum der Entwickelnden einzuschränken. ♦

IHRE ANSPRECHPERSON  
**Thea Denell** | +49 30 39006-247  
 thea.denell@ipk.fraunhofer.de

Weitere Informationen:  
[www.ki-marktplatz.com](http://www.ki-marktplatz.com)





# Forschung braucht ein Zuhause

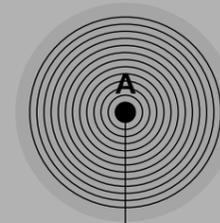
Heimlich, still und leise vollzieht sich diesen November ein Doppeljubiläum am Spreebogen: Das Produktionstechnische Zentrum (PTZ) Berlin wird 35 Jahre alt. Sein Erweiterungsbau, das Anwendungszentrum Mikroproduktionstechnik – AMP feiert seinen 10. Geburtstag. Anlass für einen Rückblick auf die Geschichte eines besonderen Forschungsortes.



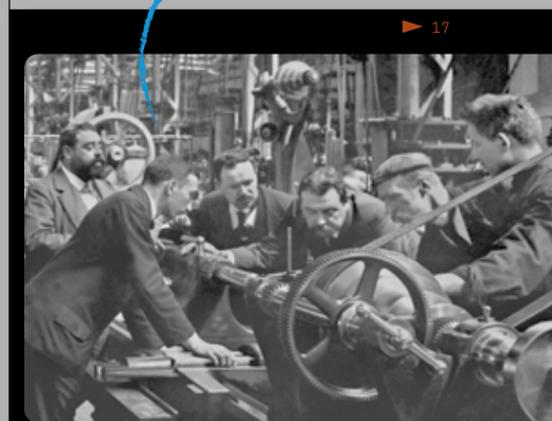
Wer bei einem Berlin-Besuch eine Boottour auf der Spree unternimmt, erfährt zwischen Moabit und dem Zusammenfluss von Spree und Landwehrkanal manch Interessantes über ein kreisrundes Gebäude am südlichen Flussufer. Zum Beispiel, dass hier eine über hundertjährige Tradition universitärer Lehre und Forschung im Werkzeugmaschinenbau gepflegt wird. Dass es auch als »Doppelinstitut« bekannt ist. Oder dass eine spezielle Pulverbeschichtung dafür sorgt, dass die weiße Außenfassade seit über 30 Jahren strahlend der Berliner Stadtluft trotz.

Wenn diese Wände reden könnten, sie hätten viel zu erzählen. Von Besuchenden aus aller Welt, die sich hier über Meilensteine der Produktionsforschung informiert haben, von Computer Integrated Manufacturing bis zu Industrie 4.0. Denn das PTZ ist ein besonderes Forschungszentrum. Seine sechs Stockwerke beherbergen zwei renommierte Wissenschaftseinrichtungen: Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF der TU Berlin und das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK. Ihnen stehen

im PTZ neben einem Versuchsfeld mit rund 3200 Quadratmetern auch zahlreiche Speziallabore zur Verfügung, zum Teil mit leistungsfähiger Klimatechnik für konstante Umgebungsbedingungen. Knapp 100 Versuchsstände ermöglichen praxisnahe Forschung und Entwicklung. Eine solche Ausstattung sorgt für Aufmerksamkeit, vor allem in einem politischen Zentrum wie Berlin. Doch beginnen wir am Anfang.



Wie alles begann



Georg Schlesinger

**1904**

*Georg Schlesinger wird erster Professor für »Werkzeugmaschinen, Fabrikanlagen und Fabrikbetriebe« an der Vorgängerin der TU Berlin. Er richtet das erste produktionswissenschaftliche Versuchsfeld in Deutschland ein, kooperiert mit Industrieunternehmen.*

**1976**

*Professor Günter Spur initiiert eine »Berliner Versuchsanstalt für Produktionstechnik«, um Forschungsergebnisse in industrielle Anwendung zu bringen. So entsteht das erste Berliner Fraunhofer-Institut, zunächst als Außenstelle des Stuttgarter Fraunhofer IPA. 1979 wird das Fraunhofer IPK eigenständig.*

**1981**

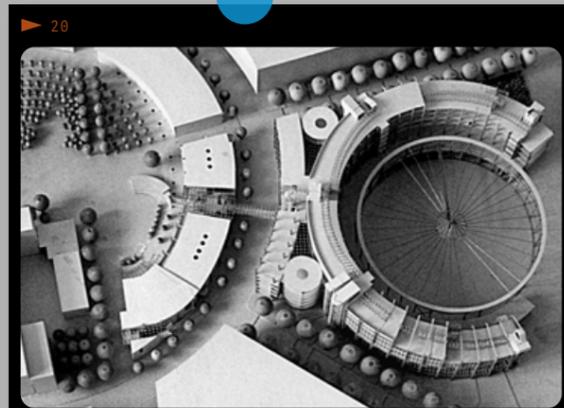
*Mit drei Mitarbeitenden gestartet, verteilt sich das Fraunhofer IPK schon wenige Jahre nach seiner Gründung auf zwei Standorte – beide zu klein. Lange Wege erschweren zudem die Zusammenarbeit mit dem IWF. Ein gemeinsames Gebäude wird angedacht.*

Zweites Domizil des IPA-Berlin, Kleiststraße, 1979



Baugeschichte

Entwurfsmodell, Stand 1982



**1982**  
Das Baukonzept der Architekten Gerd Fesel und Peter Bayerer bricht mit traditionellen Bauformen im Industrie- und Universitätsbau. Die Gebäudeteile für praktische und theoretische Arbeit werden nicht nebeneinander gesetzt, sondern in einem Rundbau eng verzahnt.

**1986**  
Nach drei Jahren Bauzeit wird das Gebäude eingeweiht. 1987 erhält es den Deutschen Architekturpreis. Zudem wird die pulverbeschichtete Fassade mit dem europäischen Stahlbaupreis ausgezeichnet.

**2011**  
Exakt 25 Jahre nach seiner Einweihung erhält das PTZ einen Anbau für Präzisionsfertigung. Im Anwendungszentrum Mikroproduktionstechnik – AMP ermöglichen exakt regulierte Umgebungsbedingungen die akkurate Herstellung kleinster Strukturen.

Luftbild PTZ mit AMP, 2019  
© Maedscar

Blick in das Versuchsfeld, 2019

Bundespräsident von Weizsäcker eröffnet das Gebäude, 1986



Besuch von Berlins Oberbürgermeister Klaus Wowereit, 2005

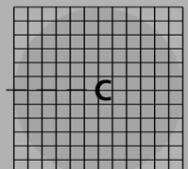
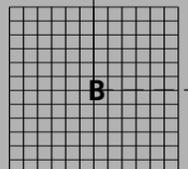
- 10.000 qm Gesamtfläche
- 3200 qm Versuchsfeld
- 18 Meter Hallenhöhe
- 2350 qm Fläche AMP
- 100 Versuchsstände

Besuch aus aller Welt

**1986**  
Die 35 Jahre PTZ sind auch 35 Jahre, in denen Besuche hochrangiger Prominenter immer wieder die Relevanz der Forschung am Spreebogen unterstreichen. Das beginnt schon damit, dass Bundespräsident Richard von Weizsäcker und Berlins Regierender Bürgermeister Eberhard Diepgen am 25. November 1986 das Gebäude eröffnen.

**2005**  
In den Folgejahren informieren sich zahlreiche deutsche und internationale Politikgrößen vor Ort über die Forschung im PTZ. Unter ihnen ist 2005 Klaus Wowereit, zu diesem Zeitpunkt ebenfalls Regierender Bürgermeister Berlins. Die Bundesforschungsministerinnen Edelgard Bulmahn und Johanna Wanka laden sogar zu eigenen Veranstaltungen ins Gebäude. Der Chinesische Vize-Ministerpräsident Ma Kai sorgt

2015 für diplomatischen Ausnahmezustand. Armeniens Präsident Dr. Armen Sarkissian sowie der Premierminister von Thailand, H. E. Prayut Chan-o-Cha beehren das PTZ 2018 sogar am gleichen Tag. Und Wissenschaftsminister unter anderem aus Australien, China, Großbritannien, Indonesien, Jordanien und Thailand erfahren Details zum Fraunhofer-Modell.



# Save the Date!

Unsere Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung präsentieren wir regelmäßig auf Messen und Konferenzen. Merken Sie sich schon jetzt diese Termine für 2022 vor und kommen Sie mit unseren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ins Gespräch.

Weitere Informationen:  
[www.ipk.fraunhofer.de/de/veranstaltungen/messen](http://www.ipk.fraunhofer.de/de/veranstaltungen/messen)



**6. Additive Manufacturing Forum**  
 14.–15. März 2022  
 Berlin

**Hannover Messe**  
 25.–29. April 2022  
 Hannover

**DMEA – Connecting Digital Health**  
 26.–28. April 2022  
 Berlin

**Control – Internationale Fachmesse für Qualitätssicherung**  
 3.–6. Mai 2022  
 Stuttgart

**Rematec – Remanufacturing Trade Show**  
 14.–16. Juni 2022  
 Amsterdam, Niederlande



## MEHR KÖNNEN

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

### Nächste Veranstaltungen:



**Wissensbilanz Made in Germany – Intensivseminar**  
 17.–18.3.2022

© MEV



**Kantenworkshop**  
 7.4.2022

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



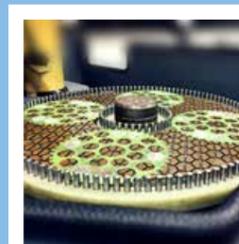
**Berliner Runde – Neue Konzepte für Werkzeugmaschinen**  
 24.3.2022

© wladimir1804 – stock.adobe.com

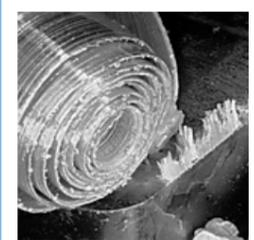


**PLM Professional**  
 21.–25.3.2022,  
 16.–20.5.2022

© rclassen / photocase.de



**IAK Keramikbearbeitung**  
 8.4.2022



**IAK Werkzeugbeschichtungen und Schneidstoffe**  
 5.5.2022

## IMPRESSUM

**FUTUR 2 / 2021**  
**23. 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

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

### KONTAKT

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

### REDAKTION

Claudia Engel (V.i.S.d.P.):  
S. 10–13, 20/21, 22–25, 36/37, 42–45  
Ruth Asan (Chefredaktion):  
S. 10–13 14/15, 16–19, 46–49, 50/51,  
52–55, 58/59, 60/61, 62/63  
Veronika Gorczynski:  
S. 26–29, 38–41, 56/57  
Emily Kreische:  
S. 32–35  
Katharina Strohmeier:  
S. 30/31, 64–67

### GESTALTUNG

Larissa Klassen (Artdirektion)  
Andy King

### FONT-GESTALTUNG FUTUR-LOGO

Elias Hanzer

### FOTOGRAFIEN UND GRAFIKEN

Soweit nicht am Bild anders vermerkt:  
© Adobe Stock:  
S. 8 links, 13, 20  
© Fraunhofer IPK/Ilona Glodde:  
S. 62/63  
© Fraunhofer IPK/Andy King:  
S. 9, 50/51, S. 66 unten  
© Fraunhofer IPK/Larissa Klassen:  
S. 1, 3, 7 mitte und unten, 10/11, 14/15, 16,  
19, 27–29, 31, 32, 33 oben, 34/35, 52–55  
© Fraunhofer IPK/Katharina Strohmeier:  
S. 58/59  
© Fraunhofer IPK:  
S. 4/5, 17/18, 33 unten, 40, 57  
© Fraunhofer IPK/Gerold Baumhauer:  
S. 66 mitte  
© Fraunhofer IPK/Konstanz Heß:  
S. 64  
© TU Berlin:  
S. 65, S. 66 oben, S. 67  
mit freundlicher Genehmigung des Werner-von-  
Siemens-Centre for Industry and Science e.V.:  
S. 46–49

### BILDBEARBEITUNG

Larissa Klassen  
Andy King

### HERSTELLUNG

Druckstudio GmbH



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

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



facebook.com/**FraunhoferIPK**  
instagram.com/**fraunhofer\_ipk**  
linkedin.com/company/**fraunhofer-ipk**  
twitter.com/**Fraunhofer\_IPK**  
youtube.com/**FraunhoferIPK**