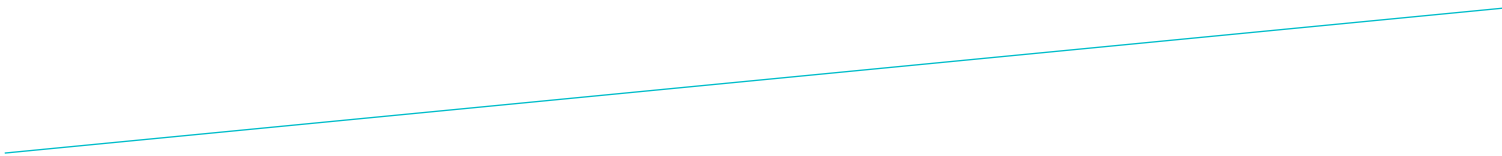


We are
Safe Intelligence

»*Safe
Intelligence
ist unsere
DNA.*«



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die zweite Welle der Digitalisierung hat längst Wirtschaft und Gesellschaft erfasst. Sie ist tief in Branchen eingedrungen, die traditionell vom Maschinenbau geprägt waren. Dies zwingt viele etablierte Unternehmen, sich als Softwareunternehmen neu zu erfinden und den Wert ihrer Produkte durch softwaredefinierte Innovationen zu bestimmen und ihre Geschäftsmodelle von Produkten hin zu Services neu zu denken.

Angetrieben wird die zweite Welle der Digitalisierung, wenn auch nicht ausschließlich, von der Kraft der Künstlichen Intelligenz (KI). Ausdruck dieser Entwicklung ist die rasant steigende Bedeutung von Kognitiven Systemen, also softwareintensiven technischen Systemen, die kognitive Fähigkeiten wie Wahrnehmung, Lernen und logisches Denken nachahmen. Mittlerweile sind solche kognitiven cyberphysischen Systeme der Innovationstreiber in vielen Anwendungsbereichen, etwa beim automatisierten Fahren, bei Medizingeräten oder der intelligenten Automatisierung in der Industrie 4.0.

Wenn allerdings Kognitive Systeme ihr Potenzial am Markt voll entfalten sollen, müssen sie nachweislich sicher und zuverlässig sein. Und das trotz des Einsatzes Künstlicher Intelligenz, der rasant wachsenden Komplexität und der zunehmenden Vernetzung in cyberphysischen Plattform-Ökosystemen.

Dieses Spannungsfeld aus maximaler Funktionalität durch modernste Technologien und der gleichzeitigen Gewährleistung höchster Qualitätsansprüche wird der Schlüssel zum Erfolg sein. Dafür steht Safe Intelligence – das Markenzeichen und der Markenkern des Fraunhofer-Instituts für Kognitive Systeme IKS. Anders gesagt: Das ist unsere DNA! Um diesem Anspruch zu genügen, widmen wir uns dem Engineering von Kognitiven Systemen und stellen das Gesamtsystem in den Mittelpunkt, nämlich im Hinblick auf Qualität und Nutzen. In diesem Sinne kombiniert das Fraunhofer IKS das Beste aus KI und Software Engineering.

Zu diesem Zweck vereinen wir unsere drei zentralen Forschungsfelder in einer gemeinsamen Strategie zu Safe Intelligence: Im Bereich Trustworthy AI entstehen robuste und erklärbare Ansätze des Maschinellen Lernens, die eine essenzielle Grundlage für Safe Intelligence darstellen. Einen echten Nutzen bieten solche Verfahren allerdings nur dann, wenn sie sich nahtlos in den Sicherheitsnachweis auf Systemebene einfügen, weshalb die Arbeiten eng mit dem Forschungsfeld Safety Assurance verzahnt sind. Safe Intelligence ist für uns aber viel mehr als nur Sicherheit: Es ist unser Ziel, trotz all der inhärenten Unwägbarkeiten Kognitiver Systeme, zu jeder Zeit die maximal mögliche Funktionalität erzielen und gleichzeitig Sicherheit gewährleisten zu können. Die »Schlüsselzutat«, um dieses Ziel zu erreichen, heißt Resilienz und formt den Forschungskern des Bereichs Resilient Software Systems Engineering, der alle Bausteine in einem ganzheitlichen Engineering verbindet.

Daran arbeiten wir mit einem schnell wachsenden Team, mit vielen etablierten, renommierten Expertinnen und Experten, die wir für das Institut gewinnen konnten, und mit Ihnen, unseren Partnern. Denn nie war die enge Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Forschung wichtiger als heute, um in einem so schnelllebigen Wettbewerb bestehen zu können. Dazu übersetzen wir exzellente Forschung in erfolgreiche Innovationen, um unseren Partnern stets den nötigen Vorsprung im Wettlauf der Digitalisierung zu ermöglichen.

Im Jahr 2022 werden wir uns noch enger mit der TU München verzahnen, den Grundstein für unser neues Gebäude legen und unsere erfolgreiche Entwicklung mit vielen spannenden Projekten fortschreiben. Die Weichen für unsere Zukunft sind gestellt und wir freuen uns, gemeinsam mit Ihnen als unsere Partner diesen Weg beschreiten zu dürfen.

Herzliche Grüße



Mario Trapp

INSTITUTSLEITER DES FRAUNHOFER IKS



07



Der Mittelstand bringt gute Voraussetzungen für den Einsatz Künstlicher Intelligenz mit, meint Dr. Michael Gallmeier.



10

ResilientSOA – so heißt das Framework des Fraunhofer IKS, das Software-Updates flexibler macht.

22



Unter Federführung von Prof. Dr. Simon Burton entsteht ein Standard, der sich mit Künstlicher Intelligenz aus Safety-Perspektive beschäftigt.

06 Events

07 »Wir wollen unsere Maschinen zunehmend intelligenter machen.«

Dr. Michael Gallmeier, Leiter Entwicklung bei Holmer Maschinenbau, im Interview.

10 Software-Updates werden flexibler

ResilientSOA, das Framework des Fraunhofer IKS, verkürzt Wartungszeiten und senkt Kosten.

12 Dateneffizientes Lernen: Aus wenig Daten viel machen

Wie das Training Neuronaler Netze mit unzureichenden Daten trotzdem belastbare Ergebnisse bringt.

15 Leicht zugängliches und robustes Quantencomputing

Das Fraunhofer IKS arbeitet am robusten und zuverlässigen Einsatz von Quantencomputing-gestützten Lösungen.

18 Gesund mit Safe Intelligence

Künstliche Intelligenz hilft, medizinisches Personal zu entlasten und die Behandlung für Patienten zu verbessern.

20 Purpose — Vision — Mission

Die Strategie des Fraunhofer IKS

22 Standard gegen Safety-Albträume

Mithilfe eines neuen ISO-Standards soll der Einsatz von Künstlicher Intelligenz verlässlicher werden.

24 Köpfe aus der Forschung

Die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IKS kommen auf sehr unterschiedlichen Wegen ans Institut.

28 Neubau für Innovation und Kooperation

Ende 2024 bezieht das Fraunhofer IKS sein neues Institutsgebäude auf dem Campus Garching bei München.

26 Kurz notiert

30 Impressum



SafeComp

6. bis 9. September 2022

»New frontiers of safety assurance«: Unter diesem Motto veranstaltet das Fraunhofer IKS in Kooperation mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) die 41. Ausgabe der SafeComp. Auf der internationalen Konferenz dreht sich alles um die Frage, wie funktionale Sicherheit, Security und Verlässlichkeit von Software gewährleistet werden kann. Die Veranstaltung findet in Garching bei München, nördlich der bayerischen Landeshauptstadt, statt.

<https://safecomp22.iks.fraunhofer.de>



Safetronic

8. bis 9. November 2022

Auch 2022 bleibt das Fraunhofer IKS Ausrichter der internationalen Fachtagung Safetronic. Im Jahr zuvor hatte das Institut die Veranstaltung vom Carl Hanser Verlag übernommen – und der Zuspruch von Expertinnen und Experten aus der Branche war sehr groß. Im Mittelpunkt der Fachtagung steht die ganzheitliche Sicherheit für Straßenfahrzeuge. Zur Sprache kommen Themen wie SOTIF, Cybersecurity, Safety-in-Use und andere.

<https://safetronic.fraunhofer.de>



Online-Seminare zu »Safe Intelligence«

Highlights

2022 setzt das Fraunhofer IKS die Reihe der Online-Seminare zum Thema »Safe Intelligence« fort. Zum Auftakt am 15. Februar 2022 beleuchteten unter anderem Prof. Dr. Simon Burton und Karsten Roscher »Die Rolle von Standards für die Zukunft von KI«. Darüber hinaus sind Online-Seminare zu folgenden Themen in Planung:

- Industrie 5.0: Effizienzsteigerung in einer hoch vernetzten Produktion durch sichere, intelligente Maschinen
- Quantencomputing: Welche praktischen Anwendungen für die Industrie ermöglichen die neuen Superrechner
- Smart Cities: Intelligente Infrastrukturen für die Verkehrssteuerung der Zukunft

Weitere Details zu unseren bevorstehenden Veranstaltungen finden Sie online unter

www.iks.fraunhofer.de/de/veranstaltungen

»Wir wollen unsere Maschinen zunehmend intelligenter machen.«

Mittelständische Unternehmen sind beim Einsatz Künstlicher Intelligenz aufgrund hoher Anfangsinvestitionen oft zurückhaltend, dabei bringen sie gute Voraussetzungen mit. Welche Vorteile KI auch kleinen und mittleren Firmen bietet, erläutert Dr. Michael Gallmeier, Entwicklungsleiter beim Landmaschinen-Hersteller Holmer Maschinenbau, im Interview.

Warum sollten sich Unternehmen im Allgemeinen und speziell der Mittelstand mit Künstlicher Intelligenz (KI) befassen?

Dr. Gallmeier: KI ist eine Technologie, die es ermöglicht, die Alleinstellungsmerkmale herauszuarbeiten und damit die Wettbewerbsposition zu sichern. Deshalb tun wir gut daran, egal ob Mittelstand oder größere Unternehmen, uns damit zu beschäftigen.

Können Sie erläutern, was das speziell im Hinblick auf kleine und mittlere Unternehmen bedeutet?

Der Mittelstand ist häufig geprägt von einem Nischenwissen, das heißt von einem branchenbezogenen, stark firmenspezifischen Wissen. Und wir haben bei Holmer die Erfahrung gemacht, dass KI in der Lage ist, dieses firmenspezifische Wissen zu verfeinern und auch zu nutzen, um ganz spezielle Lösungen anbieten zu können. Ich bin verantwortlich für die Produktentwicklung von mobilen Arbeitsmaschinen. Hier geht es um die Entwicklung von attraktiven und für den Markt interessanten Features. Wichtige Stichworte in diesem Zusammenhang sind Automatisierung und Autonomisierung. Mit anderen Worten: Wir wollen die Maschinen zunehmend intelligenter machen. Das heißt Prozesse stabilisieren und optimieren sowie unter allen Umständen Einstellungsfehler der mobilen Arbeitsmaschinen vermeiden. Dahinter stehen durchaus aufwendige verfahrenstechnische Abläufe, die von den unterschiedlichsten Parametern beeinflusst werden. Hier kann KI einfach helfen, ein für die jeweilige Situation passendes Gesamtoptimum zu erreichen.

Natürlich spielt KI auch in anderen Bereichen eine Rolle für die Unternehmensprozesse. Ich möchte hier die Produktion nennen, den Vertrieb, aber auch das Marketing.



»Erst eine breite Datenbasis schafft die Voraussetzung für eine Robustheit in den Ergebnissen durch KI.«

Dr. Michael Gallmeier



Welche Vorteile bringt KI kleinen und mittleren Unternehmen?

Was wir mit dem KI-Einsatz realisiert haben, sind Funktionen und Features, um komplexe Prozesse zu automatisieren, und das mit dem Ziel, in Summe die Verfahren ressourceneffizienter zu machen. Dafür haben wir uns aus einem Open-source-Baukasten für KI-Lösungen bedienen können, vor allem, was Bibliotheken betrifft. Damit meine ich natürlich die Grundbausteine. Dazu kommen muss, wie gesagt, unternehmensspezifisches Wissen als Input, aber auch zur Interpretation der Ergebnisse, also des Outputs.

Können Sie dafür ein konkretes Beispiel aus Ihrem Unternehmen nennen?

Uns stehen heute bereits sehr viele Prozessdaten der Fahrzeuge, zum Beispiel der Erntemaschinen, zur Verfügung, zur Steuerung, zur Dokumentation, aber auch zur Überwachung. Der Weg, den es jetzt zu verfolgen gilt, ist, diese Daten intelligent auszuwerten und zu vernetzen. Schlag-

worte sind hier predictive oder preventive maintenance. Damit sind die ersten Grundsteine schon einmal gelegt.

Gleichzeitig sind diese Daten die Bausteine für autonomere mobile Arbeitsmaschinen. Denn diese und andere Daten können genutzt werden für Umfeldüberwachung, Situationsabschätzung und Interpretation des Fahrzustands beziehungsweise Einsatzkontexts eines Fahrzeugs. Das kann bei einer mobilen Arbeitsmaschine sicherlich auch einmal eine Straßenfahrt sein, aber das ist zweitrangig. Im Wesentlichen geht es um den Arbeitsprozess. Und da kommen ganz andere Dinge zum Tragen, nämlich Bodenbedingungen, Geländeeigenheiten, eine Hangneigung, Feuchtigkeit oder Rutschgefahr auf einem Seitenhang.

Das geht zum Schluss damit einher, dass die Autonomie nicht nur ein autonomes Fahren ist, sondern ein autonomer Arbeitsprozess, ein Arbeitsverfahren unabhängig vom Menschen. Dafür sind noch viele sensorische Lücken zu schließen,

auch Interpretationslücken. Das betrifft Zusammenhänge und Situationen, die für einen Fahrer heute ganz klar sind, aber für den Rechner eben erst einmal nicht. Aber wenn ich diese Lücken mithilfe von KI schließen kann, besteht die Chance, die Maschine rund um die Uhr einzusetzen. Und das integriert in die gesamte Prozesskette.

Wo sehen Sie die größten Herausforderungen für KI im praktischen Einsatz?

Wir als mittelständischer Maschinenbauer werden natürlich in erster Linie für den Maschinenbau wahrgenommen. Aber wir kämpfen auch um die Wahrnehmung, diese Maschinen möglichst intelligent zu steuern. Dafür brauchen wir das Know-how, das heißt, wir kämpfen um den Nachwuchs. Leider ziehen uns die großen Konzerne die Masse an Absolventen von Hochschulen und Universitäten ab.

Hinzu kommt, dass sich dieses Know-how erst wirklich fruchtbar einsetzen lässt, wenn man es mit dem bereits angesprochenen Nischenwissen in den Unternehmen verbinden kann. Das ist eine Herausforderung: KI und alles, was damit zu tun hat, ist in der Lehre an den Hochschulen und Universitäten relativ neu. Das heißt, dieses Wissen liegt bei den jungen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die noch nicht lange im Unternehmen sind. Demgegenüber ist das unternehmensspezifische Wissen schon etwas länger eingessessen. Und diese zwei Ansätze oder auch Denk-



Dr.-Ing. Michael Gallmeier, Jahrgang 1978, studierte Maschinenbau mit Schwerpunkt Fahrzeugtechnik an der Fachhochschule (FH) Regensburg. Es folgte die Promotion an der TU München am Lehrstuhl für Agrartechnik bei Prof. Dr. Hermann Auernhammer im Bereich Bewertung dieelektischer Antriebe in mobilen Arbeitsmaschinen. Seit 2008 ist Michael Gallmeier bei Holmer Maschinenbau tätig. In seiner aktuellen Position verantwortet er den Bereich Entwicklung. Als Mitglied des Projektbeirats begleitet er den Auf- und Ausbau des Fraunhofer IKS.

hierarchie gehen. Zum anderen, und das sorgt dann für schnellere Umsetzung, ist in KMU das Systemwissen bei Weitem nicht so weit verteilt wie in den großen Konzernen. Das heißt: Einzelne haben ein sehr breites, systemisches Wissen. Ich habe also wenige kompetente Ansprechpartner, um Systembetrachtungen durchzuführen. Das Gleiche gilt für Daten. Daten sind nicht in den verschiedenen Abteilungen verteilt, sondern in der Verantwortung von wenigen und dadurch schneller verfügbar.

Welche Rolle sollte denn der Staat dabei spielen, vor allem kleine und mittlere Unternehmen beim Einstieg in KI zu unterstützen?

Als Erstes sehe ich die Rolle des Staates im Bereich Bildung und Ausbildung. Es gilt, dort die Grundlagen zu schaffen für eine Offenheit der Absolventen gegenüber KI,

die Berührungsängste zu nehmen. Eine zweite Aufgabe besteht darin, für Mittelständler die Einstiegshürden niedrig und die Attraktivität hoch zu halten. Eine geeignete Möglichkeit dazu, aus meiner Erfahrung heraus, ist es eben, dass man Netzwerke schafft, Plattformen, um die Nischen miteinander zu vernetzen und einen Erfahrungsaustausch zu ermöglichen. Die Realität ist, dass viele Nischen nicht miteinander im Wettbewerb stehen, das heißt, man kann durchaus sehr frei miteinander diskutieren und sich gegenseitig befruchten.

Welche Empfehlungen haben Sie denn für KMU, die KI-Systeme einführen wollen?

Eine breite Datenbasis ist ganz entscheidend. Wenn diese über eine längere Zeit gefüllt wird, lassen sich Varianten, Einsatz-

weisen muss man miteinander verknüpfen können – was nicht immer einfach ist. Ein ganz anderes, technisches Problem – das hat sich jedenfalls bei uns herausgestellt – ist die Verfügbarkeit repräsentativer und vielleicht auch historischer Daten, um einfach eine belastbare Datengrundlage zu haben. Das ist immer ein kritischer Punkt, um hier einen sinnvollen Einstieg in KI zu schaffen.

Apropos Einstieg: Was gehört für einen guten Einstieg in KI noch dazu?

Bei Holmer sind wir nicht mit einem großen Projekt eingestiegen, sondern über kleinere studentische Projekte. Offen gestanden mit der Motivation, das frische Studienwissen erst einmal ganz unproblematisch ans Unternehmen und an die Mitarbeitenden heranzuführen. Dabei sind immer Ergebnisse entstanden, die Interesse geweckt haben, auch bei den erfahrenen Mitarbeitern, die das dann auch weiterverfolgen wollten. So haben wir uns Schritt für Schritt eingearbeitet: pragmatisch, unverkrampft und in kleinerem Rahmen, um erste Erfahrungen mit KI zu sammeln.

Bringt der Mittelstand gute Voraussetzungen für die Einführung von KI mit?

Ich denke schon. Zum einen sind die Entscheidungswege kurz. Die Notwendigkeit, jemanden zu überzeugen, beschränkt sich auf ein oder zwei Personen, man muss nicht durch die gesamte Unternehmens-



Intelligente Landmaschinen machen den Ernteprozess deutlich effizienter.

bedingungen sowie, wenn nötig, verschiedene Fahrzeug- oder Maschinenmodelle abdecken. Erst diese breite Datenbasis schafft die Voraussetzung für eine Robustheit in den Ergebnissen durch KI. Dazu gehört auch eine saubere Dokumentation zu diesen Daten, einschließlich der Metadaten über den kompletten Datenverarbeitungsprozess hinweg. Alles, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Und, hier schließt sich der Kreis, es wird auch unternehmensspezifisches Wissen benötigt, denn ohne das wird es sehr schnell zu Fehlinterpretationen kommen. ■ **H. T. Hengl**

Software-Updates werden flexibler

In der modernen Lagerlogistik ist Geschwindigkeit ein entscheidender Erfolgsfaktor: Prozesse müssen schnell und effizient ablaufen. Dabei helfen sollen autonome mobile Roboter (AMR). Deren Software umzurüsten für neue Aufgaben oder Umgebungen ist bislang sehr aufwendig und zeitintensiv. Bis jetzt. Das Framework des Fraunhofer IKS, resilientSOA, macht Software-Updates flexibler, verkürzt Wartungszeiten und senkt die Kosten.



Sie nehmen Material auf, transportieren es fahrerlos an den Bestimmungsort und bringen fertige Produkte ins Auslieferungslager. In der modernen Lagerlogistik sind autonome mobile Roboter (AMR) zu unverzichtbaren Helfern geworden – ob in Großunternehmen oder in mittelständischen Firmen. Um ihre Aufgaben zu erledigen, sind AMR auf Künstliche Intelligenz (KI) angewiesen: Sie sorgt auf Basis von Sensordaten dafür, dass AMR ihre Umgebung erkennen.

Dies ist nicht nur wichtig, um Objekte richtig und genau zu identifizieren. Es schafft auch die Grundlage für die Sicherheit im Warenlager: Schließlich arbeiten dort auch Menschen, und die autonomen Transportroboter müssen diesen zuverlässig ausweichen, ebenso wie Hindernissen. Wenn diese Sicherheitsregeln eingehalten werden, sorgen die AMR für mehr Effizienz in der Lagerlogistik.

Neue Umgebung erfordert Anpassung des Roboters

Aber was passiert, wenn sich die Gestaltung des Lagers ändert und neue Lagerwaren dazukommen? AMR finden sich in einer neuen Umgebung mit neuen Produkten nicht automatisch zu recht. Vielmehr muss das System aktualisiert werden, das heißt, wenn sich eine Anforderung an das System ändert, sei sie auch noch so klein, müssen Entwickler die neue oder geänderte Funktion in die bestehende Firmware des AMR einbauen. Daraufhin ist die gesamte Firmware neu zu validieren, um sie dann später auf die Roboter installieren zu können. Ein aufwendiges und zeitintensives Verfahren!

Das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS hat ein Framework entwickelt, das hier Abhilfe schafft: resilientSOA. Damit wird anstelle der gesamten Firmware nur der entsprechende Dienst angepasst. Die Validierung des Gesamtsystems, und somit die Integration des geänderten Dienstes, erfolgt dann am Endsystem automatisch. »ResilientSOA modularisiert monolithische Systemsoftware und versieht sie mit Software-Contracts«, erläutert Florian Wörter, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IKS und verantwortlich für das Thema Resilient Flexibility. »Diese Software-Contracts können vor, während und nach dem Update validiert werden, um zu gewährleisten, dass sich die aktualisierte Komponente sicher in das System integriert. So entfällt die aufwendige Aktualisierung des gesamten Systems, was den Unternehmen Zeit und Geld spart.«

Aber nicht nur beim Update, sondern auch während des Betriebs des Systems führt resilientSOA ständig Adaptierungen durch, um, abhängig vom externen Kontext und Systemzustand, das Kundensystem sicher und performant zu halten. So ließen sich Systemfehler deutlich reduzieren, und die Effizienz des Systems steigt, betont Wörter.

ResilientSOA kann problemlos als Shared Library in das System integriert werden. Besonderen Wert hat das Forschungsteam um Florian Wörter darauf gelegt, dass die Software-Contracts einfach zu erstellen sind: »Entsprechende Tools haben wir auf Grundlage des Eclipse Modeling Framework (EMF) entwickelt«, erklärt Wörter. Erweitertes Tooling, um die Erstellung der Contracts noch einfacher zu machen, sei bei Bedarf möglich. ResilientSOA zielt darauf

ResilientSOA zielt darauf ab, neue, aber auch bestehende Systeme anpassungsfähig, flexibel und dabei sicher zu machen.



ab, neue, aber auch bestehende Systeme anpassungsfähig, flexibel und dabei sicher zu machen. Daher ist das Einbinden des Frameworks in bestehende Systeme, zum Beispiel in eine Umgebung auf Basis des Roboter-Betriebssystems ROS 2, problemlos möglich.

Eingebettete Systeme brauchen mehr Flexibilität

Mit resilientSOA überträgt das Fraunhofer IKS den Gedanken von serviceorientierten Architekturen (SOA) auf eingebettete Systeme (embedded systems) oder auch Cyber-Physical Systems (CPS). Das Konzept der Services ist schon seit Längerem bei Web- oder Smartphone-Anwendungen verbreitet. Bei eingebetteten Systemen jedoch haben Services bislang keine große Rolle gespielt. Aber das hat sich in den vergangenen Jahren grundlegend geändert: »Embedded Systems sind beispielsweise aus dem autonomen Fahren, der Produktion und der Robotik nicht mehr wegzudenken«, so Wörter. »Allerdings fordert der Markt, dass eingebettete Systeme immer flexibler werden.«

Diese Flexibilität bringt eindeutige Vorteile: Dem Hersteller eingebetteter Systeme wird viel Arbeit abgenommen und das Wiederverwenden von Diensten wird gefördert. Zusätzlich ergeben sich durch die einfache Integration von Diensten von Drittanbietern ganz neue Geschäftsmodelle. Zum Beispiel in der Wartung. So könnte, etwa wenn der Reifendruck sinkt und das System dies erfasst, dem Fahrzeug als Dienst Dritter angezeigt werden, wo in der Nähe eine Werkstatt liegt, in der der Reifen ausgetauscht werden kann, wenn nötig.

Machen Sie sich selbst ein Bild, wie resilientSOA funktioniert, und zwar in unserem Video: <https://s.fhg.de/video-resilientSOA>



Darüber hinaus haben die Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IKS den Beweis erbracht, dass sich das SOA-Konzept auch auf sicherheitskritische eingebettete Systeme übertragen lässt – und das ohne jegliche Einschränkung der Sicherheitsanforderungen. »Das Beispiel der AMR im Warenlager zeigt, dass sich mit resilientSOA das System des AMR flexibel aktualisieren lässt und auch danach Unfälle zuverlässig vermieden werden. Mit anderen Worten: Menschen können sich im Warenlager weiterhin sicher bewegen«, hebt Florian Wörter hervor.

Das Fraunhofer IKS nutzt resilientSOA im Rahmen der Forschung als wissenschaftliche Plattform, um Algorithmen zur Laufzeit zu testen. Das Framework ist aber auch die technische Grundlage dafür, Unternehmen im Rahmen von Projekten dabei zu unterstützen, ihre eingebetteten Systeme entsprechend ihren jeweiligen Anforderungen flexibler zu machen. ■ **Florian Wörter**

Gefördert durch



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Dieses Vorhaben wurde im Rahmen des Projekts **Unterstützung des thematischen Aufbaus des Instituts für Kognitive Systeme** durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

Dateneffizientes Lernen: *Aus wenig Daten viel machen*

Insbesondere bei der Automatisierung von Prozessen kann Künstliche Intelligenz Entscheidungen beschleunigen sowie die Produktivität und Effizienz von Abläufen erhöhen. Zum Beispiel durch die kamerabasierte Erkennung von Fehlern in der Produktion. Dabei kommen komplexe Neuronale Netze zum Einsatz, die auf Basis von Trainingsdatensätzen mit mehreren Tausend Einträgen lernen, eine Entscheidung zu treffen. In der Praxis reichen aber häufig weder Quantität noch Qualität der Daten aus, um belastbare Ergebnisse zu erzielen. Das Fraunhofer IKS forscht daran, wie diese Lücken zu schließen sind.



Bei der Entwicklung von Modellen Künstlicher Intelligenz (KI) für die Prozessautomatisierung greifen Entwickler gern auf frei verfügbare Trainingsdatensätze wie CIFAR 10 zurück. Diese werden bevorzugt für das Training einer Bilderkennung in der Entwicklung Neuronaler Netze genutzt. Der Vorteil solcher Trainingsdatensätze: Sie sind nicht nur frei verfügbar, sondern enthalten auch eine ausreichend große Anzahl an Daten, die zudem klar gekennzeichnet und ausbalanciert sind.

Die »Datenrealität«, mit der Neuronale Netze außerhalb der Entwicklungslabore arbeiten müssen, sieht jedoch anders aus. Je nach Anwendungsfall liegen oft nur wenige, annotierte oder unbalancierte Daten vor, weil deren Erhebung zeitaufwendig und kostenintensiv ist. Erschwerend kommt hinzu, dass die Fragestellungen von Unternehmen, die Neuronale Netze in ihren Produkten und Lösungen einsetzen wollen, sehr spezifisch sind. Ein Produzent eines Arzneimittels hat beispielsweise ganz andere Anforderungen an eine KI-basierte Qualitätsprüfung als der Hersteller von elektronischen Steuergeräten. Allgemeine KI-Modelle, die auf umfangreichen Testdaten trainiert wurden und dann mit deutlich schlechteren Daten oder sehr spezifischen Bedingungen in der Realität konfrontiert werden, stoßen daher schnell an ihre Grenzen und liefern wenig solide Ergebnisse. Wie hoch die akzeptierte Fehlerquote beziehungsweise das akzeptierte Restrisiko für den jeweiligen Anwendungsfall ist, muss jedes Unternehmen für sich individuell abwägen.

Um die Fehleranfälligkeit einer KI zu bestimmen und zu verringern, befasst sich das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS mit verlässlichem dateneffizientem Lernen. Im Rahmen dieser Arbeit untersucht das Institut bestehende Neuronale Netze; es entwickelt je nach Bedarf jedoch auch neue und kundenspezifische KI-Modelle zur Automatisierung von industriellen Prozessen, beispielsweise in der Qualitätsprüfung oder der frühzeitigen Erkennung von Störungen.

Stolpersteine beim Training Neuronaler Netze

Dateneffizientes Lernen hilft Unternehmen dabei, drei zentrale Problemstellungen zu lösen, die in Zusammenhang mit Training und Einsatz Neuronaler Netze auftreten können.

Problemstellung eins

Es sind viele Trainingsdaten vorhanden, anhand derer KI lernen könnte, allerdings sind diese nicht annotiert.

1

Ein Beispiel hierfür sind automatisch erzeugte Bildaufnahmen von gefertigten Produkten, die keine Kennzeichnung aufweisen, welches Bild ein funktionstüchtiges oder aber ein defektes Produkt zeigt.

Problemstellung zwei

Es liegen unbalancierte Trainingsdaten vor, wodurch das Training der KI eingeschränkt ist.

2

Ein Beispiel hierfür ist, wenn KI darauf trainiert werden soll, in medizinischen Bildgebungsverfahren Anomalien zu erkennen. Bei seltenen Krankheiten liegen hier häufig Daten von vielen gesunden Patienten vor, aber nur sehr wenige von Kranken.

Problemstellung drei

Es liegen kaum oder keine Trainingsdaten vor, da diese nur mit großem Aufwand erhoben werden können.

3

Ein Beispiel hierfür können Produkte sein, die nur in sehr geringen Stückzahlen hergestellt werden oder bei denen der Fertigungsprozess sehr komplex ist, beispielsweise medizinische Prothesen.

WARUM TESTDATEN KEINE TRAININGSDATEN SEIN SOLLTEN

Wenn nur wenige oder qualitativ mangelhafte Daten vorliegen, ist es schwer, die Verlässlichkeit eines Neuronalen Netzes zu prüfen. Denn neben einem Trainingsdatensatz wird hierfür ein gesonderter Testdatensatz benötigt. Die Testdaten werden nicht für das Training der KI genutzt, sondern ausschließlich zur anschließenden Qualitätsprüfung. Nur wenn Trainings- und Testdatensätze nicht identisch sind, erhält man valide Aussagen zur Qualität und Verlässlichkeit des getesteten KI-Modells.

Dateneffizientes Lernen ermöglicht, Prozesse mithilfe von KI zu automatisieren oder wirtschaftlicher zu gestalten, selbst wenn die Datenbasis nicht optimal ist.

Mit dateneffizientem Lernen zu verlässlicheren KI-Lösungen

Aufgrund der genannten Problemstellungen stehen viele Unternehmen heute vor diversen »Automatisierungsbaustellen«. Diese könnten durch den Einsatz von KI behoben werden, jedoch scheuen Unternehmen wegen des anfänglichen Aufwands der Datenerhebung und -strukturierung häufig davor zurück. Im Rahmen des vom Freistaat Bayern geförderten Projekts zur Forschung an sicherer Künstlicher Intelligenz untersucht das Fraunhofer IKS verschiedene Ansätze, um trotz der zuvor genannten Problemstellungen möglichst effizient zu belastbaren Vorhersage- und Analysemodellen zu kommen. Welcher dieser verschiedenen Ansätze am sinnvollsten ist, hängt stark von der individuellen Fragestellung der einzelnen Unternehmen ab sowie von deren Zielen.

Im Rahmen seiner angewandten Forschungsarbeit konzentriert sich das Fraunhofer IKS vor allem auf drei Ansätze für verlässliches dateneffizientes Lernen.

1. Hybride Machine-Learning-Verfahren

Im Rahmen hybrider Machine-Learning (ML)-Verfahren werden mehrere problemspezifische KI-Modelle trainiert und miteinander verknüpft. Dabei zerlegen Domänenexperten das Gesamtproblem in verschiedene Teilprobleme, für deren Lösungen jeweils klassische Algorithmen oder spezifische KI-Modelle zum Einsatz kommen. Eine solche Zerlegung kann sinnvoll sein, wenn beispielsweise bekannt ist, dass Defekte bei einem Produkt häufig durch Risse in der Hülle entstehen. Dann würde ein KI-Modell trainiert werden, das ausschließlich Risse erkennt, und ein zweites, das lernt, ob ein detektierter Riss plausibel und gegebenenfalls kritisch ist. Diese Modelle werden dann kombiniert, um möglichst verlässliche Ergebnisse zu erhalten.

2. Active Learning-in-the-loop

Bei diesem Trainingsansatz für KI-Modelle wird eine erste Version des Modells so früh wie möglich in den praktischen Einsatz gebracht und die von der KI ermittelten Ergebnisse werden anschließend von einem (menschlichen) Experten bewertet. Diese Bewertung des Experten fließt dann wiederum in die Eingabedaten und das Training der KI ein, um das Modell so Schritt für Schritt zu verbessern, bis die gewünschte Verlässlichkeit erreicht ist. Denkbar wäre ein solcher Ansatz zum Beispiel bei der Erkennung von Anomalien in bildgebenden Verfahren in der Medizin.

3. Training mit synthetischen Daten

Um für das Training der KI mehr Daten zur Verfügung zu haben, werden diese künstlich erzeugt und ergänzen so die vorhandene

Datenbasis. Solche künstlichen Daten können etwa mithilfe von 3D-Bildern oder Computersimulationen erzeugt werden. Solche synthetischen Daten liegen in der Praxis beispielsweise als 3D-Modelle (CAD-Modelle) für die Fertigung eines Produkts vor. In diese können bekannte Defekte eingebracht und daraus verschiedene 2D-Bilder gerendert werden. Die dadurch erzeugten Daten fließen dann in das Training von KI auf das Erkennen von Defekten ein. Allerdings ist das Training anhand synthetischer Daten mit Vorsicht zu genießen, da dadurch die Robustheit eines KI-Modells stark beeinflusst werden kann.

Wirtschaftlicher Einsatz von KI auch mit wenigen Daten möglich

Die Vorteile der verschiedenen Ansätze für verlässliches dateneffizientes Lernen liegen auf der Hand: Sie ermöglichen es Unternehmen, einzelne Prozesse mithilfe von KI zu automatisieren oder wirtschaftlicher zu gestalten, selbst wenn die Datenbasis nicht optimal ist. Dadurch kann der anfängliche Aufwand bei der Entwicklung von KI-Modellen deutlich reduziert werden.

Ein weiterer entscheidender Faktor für einen wertschaffenden Einsatz dateneffizienten Lernens ist die Belastbarkeit, der von der KI ermittelten Ergebnisse. Allgemeine Modelle eignen sich bei einer suboptimalen Datenbasis eher nicht, um verlässliche Ergebnisse zu erzielen. Vielmehr sollten diese sehr genau hinsichtlich ihrer Fehleranfälligkeit überprüft werden. Hierbei kann das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS Unternehmen unterstützen und KI-Entwicklungsprozesse deutlich verkürzen. Neben ihrer Expertise zu KI-Modellen und -Daten verfügen die Forscherinnen und Forscher auch über ein umfassendes Domänenwissen, um gemeinsam mit Partnern aus der Industrie KI-basierte Softwarelösungen neu zu entwickeln oder vorhandene KI-Modelle zu optimieren. So gelingt es Unternehmen, ihre Automatisierungsbaustellen schneller und effizienter aufzulösen.

■ **Karsten Roscher**



Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Dieses Vorhaben wurde im Rahmen des Projekts **Unterstützung des thematischen Aufbaus des Instituts für Kognitive Systeme** durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert.

Leicht zugängliches und robustes Quantencomputing

Derzeit verfügbare Quantencomputer sind noch nicht leistungsstark genug, um industriell relevante Probleme im großen Stil lösen zu können.

Aufgrund einer rasch voranschreitenden Hardware- und Software-Entwicklung wird jedoch vorhergesagt, dass Quantencomputing zu disruptiven Veränderungen in vielen Anwendungsfeldern innerhalb der nächsten zehn Jahre führen kann, etwa in den Bereichen Optimierungsprobleme und Künstliche Intelligenz.

Das Fraunhofer IKS arbeitet am robusten und zuverlässigen Einsatz von Quantencomputing-gestützten Lösungen und ermöglicht den leichten Zugang zu den Vorzügen des Quantencomputings, auch für mittelständische Unternehmen.

Moleküle lassen sich durch Quantencomputing deutlich genauer simulieren als heutzutage möglich.

Das Potenzial von Quantencomputern ist beeindruckend. So wird vorausgesagt, dass die Rechenkapazitäten von Quantencomputern die heutiger Supercomputer für bestimmte Probleme um Größenordnungen übersteigen. Und dass gegenwärtig noch unlösbare Probleme durch Quantencomputing erstmalig lösbar werden. Beispielsweise könnten sich Moleküle durch Quantencomputing deutlich genauer simulieren lassen als heutzutage möglich. Das wiederum könnte die Entwicklung von Medikamenten oder von neuen Materialien für Batterien deutlich beschleunigen.

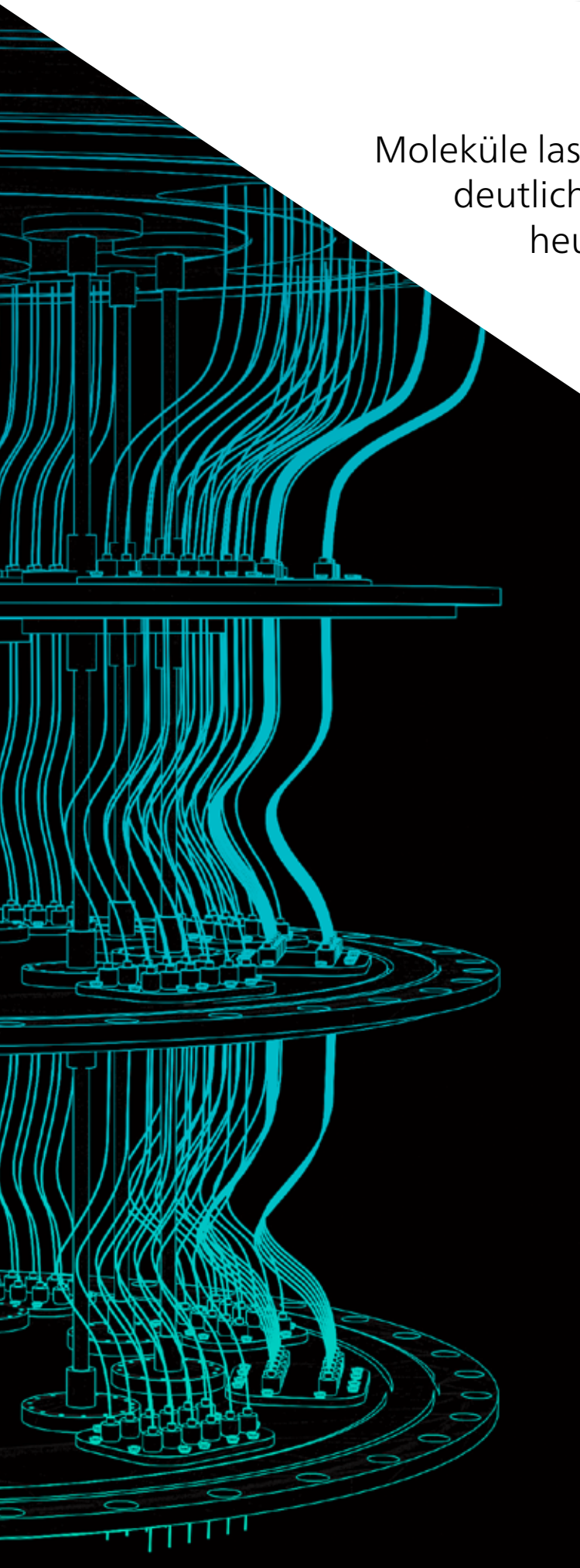
Auch in den Bereichen Künstliche Intelligenz (KI) und Optimierungsprobleme kann Quantencomputing zu disruptiven Veränderungen führen. Eine Marktanalyse der Boston Consulting Group geht von einer weltweiten Wertschöpfung durch Quantencomputing in den nächsten drei bis fünf Jahren von 5 bis 10 Milliarden Dollar aus. Wie jedoch ist sichergestellt, dass das Potenzial von Quantencomputern vollständig ausgenutzt werden kann, gerade auch von kleineren industriellen Playern ohne große Entwicklungsabteilungen?

Wie unterscheidet sich Quantencomputing von klassischen Systemen?

Während klassische Computer mit Bits arbeiten, die die Werte 0 oder 1 annehmen können, arbeitet ein Quantencomputer mit sogenannten Quantum Bits (Qubits) und folgt quantenmechanischen Gesetzmäßigkeiten. Ein Qubit ist eine Überlagerung von zwei Zuständen zugleich, die einer 0 und einer 1 entsprechen (Superposition), mit variablen Anteilen an 0 und 1. Durch die probabilistische Eigenschaft eines Quantencomputers sind jedoch die Ergebnisse einer Berechnung nicht genau festgelegt – stattdessen muss die Berechnung auf einem Quantencomputer mehrfach durchgeführt werden, bis das wahrscheinlichste Ergebnis bestimmt werden kann.

Erst durch das Zusammenspiel von mehreren Qubits ist ein Quantencomputer einem klassischen Computer überlegen. So lassen sich durch die Superposition 2^n Werte in n Qubits darstellen sowie Berechnungen parallelisieren. Durch eine quantenmechanische Verschränkung der Qubits können Qubits miteinander synchronisiert werden, und dadurch auch Berechnungen. Durch diese speziellen Eigenschaften kann ein Quantencomputer für bestimmte Berechnungsprobleme eine deutlich höhere Rechenkapazität aufweisen als aktuell verfügbare klassische Systeme.

So weit zur Theorie. Allerdings können Unternehmen in der Praxis von diesen theoretischen Vorteilen eines Quantencomputers noch nicht vollständig profitieren. Zum einen verfügen exist-



Lesen Sie mehr über das Munich Quantum Valley auf unserem Blog:



tierende Geräte noch nicht über eine ausreichend große Anzahl an Qubits, die außerdem noch zu fehleranfällig sind. Dies bedeutet insbesondere, dass aktuelle Qubits wegen ihrer quantenmechanischen Eigenschaften sowie aufgrund von Störeinflüssen einen bestimmten Wert nur eine recht beschränkte Zeitdauer halten können. Diese »Noisy Intermediate Scale Quantum (NISQ)«-Geräte sind daher nur zur Lösung von kleineren Problemen geeignet. Die Entwicklung von verbesserten Quantencomputern mit mehr Qubits und einer besseren Fehlerkorrektur schreitet aber schnell voran, auch dank zahlreicher milliardenschwerer öffentlicher Förderprogramme. Dadurch wird erwartet, dass bereits innerhalb von wenigen Jahren Geräte verfügbar werden, die dann zunehmend größere und somit für Anwendungsfälle in Unternehmen interessantere Probleme berechnen können.

Neben der Hardware-Entwicklung sind umfangreiche Innovationen auf der Software-Seite erforderlich. Hierbei besteht das hauptsächliche Problem für den Anwender, dass jegliche Software-Entwicklung auf Quantencomputern noch sehr hardware-nah erfolgen muss und bislang nur wenige umfassende Lösungen über den gesamten Software-Stack hinweg existieren. Dadurch kann der industrielle Endanwender noch nicht in seiner gewohnten Programmierumgebung einfach und ohne weiteres Vorwissen die Vorzüge des Quantencomputings direkt ausnutzen.

Das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS entwickelt daher zusammen mit Partnern aus Forschung und Industrie im Kontext des Munich Quantum Valley (MQV) Elemente des gesamten Software-Stacks, um dem akademischen und industriellen Endanwender Quantencomputing-gestützte Lösungen leicht zugänglich zu machen und damit robuste Ergebnisse zu erzielen – und das unter einem effizienten Einsatz der Hardware. Der Endanwender sollte hierfür kein tiefergehendes Vorwissen der zugrunde liegenden Physik oder der hardware-nahen Software-Entwicklung benötigen. Somit können auch insbesondere kleinere und mittelständische Unternehmen – auch ohne große Entwicklungsabteilungen – frühzeitig von den Vorzügen des Quantencomputings profitieren.

Wofür kann Quantencomputing jetzt schon eingesetzt werden?

Bei den zurzeit verfügbaren kleineren NISQ-Geräten kommen vor allem Hybrid-Algorithmen zum Einsatz, die eine Iteration zwischen Quantencomputern und klassischen Computern beinhalten. Somit wird letztlich genau der Teil des Algorithmus auf dem Quantencomputer gerechnet, der auch tatsächlich von der erhöhten Rechenkapazität profitiert. Dabei ist wichtig zu bedenken,

dass aktuelle NISQ-Geräte aufgrund noch nicht komplett stabiler Qubits keine »Big-Data«-Maschinen sind. Vielmehr profitieren Probleme mit kleineren Input-Datenmengen und einer hohen Rechenkomplexität vom Einsatz eines Quantencomputers.

Die derzeit für einen Quantencomputer interessanten Probleme umfassen Simulationsaufgaben, Optimierungsprobleme und Maschinelles Lernen. Besonders Simulationsaufgaben können von klassischen Computern häufig nur in unzureichender Genauigkeit gerechnet werden, ziehen aber nicht selten Nutzen aus quantenmechanischen Eigenschaften eines Quantencomputers. Zu dieser Problemklasse zählen beispielsweise die Simulation kleinerer Moleküle, wie in der Pharmaindustrie zur Entwicklung neuartiger Medikamente. Oder die Simulation neuer Materialien in der Chemie zur Schaffung von neuartigen Batterien, zum Beispiel für die E-Mobilität.

Optimierungsprobleme treten in zahlreichen industriellen Fragestellungen auf, etwa in der Logistik, Produktion oder Mobilität. Beispielsweise könnte durch Quantencomputing die Fertigung von Produkten mit vielen einzelnen Komponenten (wie Fahrzeuge) optimiert werden, nämlich dort, wo diese Komponenten in der richtigen Reihenfolge und mit hohen Standards eingebaut werden müssen. Auch Verkehrsoptimierung und die Verteilung von Ladestationen für E-Automobile fallen in diesen Bereich.

Im Maschinellen Lernen ist die Verwendung eines Quantencomputers für viele gewohnte Algorithmen denkbar. Besonders interessant sind hierbei Quantum Convolutional Neural Networks (QCNN), welche gut in der Bilderkennung eingesetzt werden können. Hierbei ist die Idee, dass eine oder mehrere der klassischen Convolutional Layers durch einen Quantum Layer ersetzt werden. In Simulationen wurde gezeigt, dass solche Architekturen zu einer schnelleren Trainingskonvergenz auch bei wenig vorhandenen Trainingsdaten führen können. Daher ist dies ein vielversprechender Ansatz für Situationen, in denen nur wenige Daten vorliegen, aber dennoch ein zuverlässiges Trainingsergebnis erreicht werden muss, wie zum Beispiel in der medizinischen Bilderkennung. Daher arbeitet das Fraunhofer IKS an der Erforschung des Einsatzes von QCNN für die Früherkennung von Tumoren.

Trotz noch kleiner und fehleranfälliger NISQ-Geräte lohnt es sich also, den Einsatz von Quantencomputern im Rahmen von Hybrid-Algorithmen zu erproben, da sowohl Hardware- als auch Software-Entwicklung schnell voranschreiten. Initiativen wie etwa das MQV mit Beteiligung des Fraunhofer IKS werden dafür sorgen, dass die bald zu erwartenden Vorzüge des Quantencomputings auch von kleineren Unternehmen in leicht zugänglicher und robuster Art und Weise vollständig genutzt werden können.

■ **Priv.-Doz. Dr. habil. Jeanette Lorenz**

Gesund mit Safe Intelligence



Um eine qualitativ hochwertige Gesundheitsversorgung zu gewährleisten, braucht eine Gesellschaft fachkundige Klinikerinnen und Kliniker sowie optimal angepasste medizinische Geräte. Kompetente Ärztinnen und Ärzte sind diejenigen, die über das größte Wissen und die größte Erfahrung verfügen. Ein ideales medizinisches Gerät in der Hand eines Klinikers oder einer Klinikerin ist dasjenige mit der höchsten Genauigkeit und Zuverlässigkeit, dem geringsten Wartungsaufwand und einer optimalen Mensch-Maschine-Schnittstelle.

Eine ideale Patientenversorgung ist außerdem eine lebenslange Reise: Sie beginnt mit umfassenden Routineuntersuchungen, gefolgt von rechtzeitigen und genauen Diagnosen, wirksamen Behandlungen mit geringem Risiko und dann präzisen Nachuntersuchungen. Bei einer solchen optimalen Versorgung werden weder Unterdiagnosen (zum Beispiel fehlende Diagnose einer seltenen Krankheit bei gesund erscheinenden Patientinnen und Patienten) noch Überdiagnosen gestellt (zum Beispiel Verlegung stabiler Patientinnen auf die Intensivstation), auch werden sie dann weder unter- noch überbehandelt.

Wie man eine fachkundige Ärztin wird

Klinikerinnen und Kliniker erwerben ihr Wissen und ihre Fachkenntnisse über viele Jahre des Studiums und der Ausübung der Medizin. Ein frischgebackener Arzt etwa, der 50 Jahre lang ununterbrochen nur praktizieren würde, könnte so etwa 200 000 Patienten kennenlernen – das ist das Maximum an fallbasiertem Wissen, das außergewöhnliche Mediziner sammeln können.

Andererseits haben Patientinnen und Patienten einen heterogenen genetischen Hintergrund und sprechen verschieden auf Behandlungen an. Klinikerinnen und Kliniker können die Situation der Patientin und geeignete Behandlungen einschätzen, wenn sie frühere Beispiele für eine solche Krankheit und Behandlung kennen und genügend Anhaltspunkte dafür haben, dass dieser neue Fall ihnen ähnlich ist. Was aber, wenn diese Patientin eine seltene Krankheit hat oder zu einer genetischen Gruppe gehört, die dieser Arzt oder diese Ärztin noch nie gesehen haben?

Vier Bereiche sind es, in denen Künstliche Intelligenz (KI) besonders dazu beitragen kann, das Leben des medizinischen Personals zu erleichtern, die Behandlungen für Patientinnen und Patienten zu verbessern und Unternehmen der Medizintechnik in die Lage zu versetzen, einen besseren Service zu bieten.

Prozesse

Auf der Grundlage von Daten kann KI dem ärztlichen und dem Pflegepersonal helfen, Prozesse in ihrer Klinik zu automatisieren, indem sie ihnen etwa hilft, das Wissen über Patientinnen und Patienten effizienter zusammenzufassen und mögliche nächste Schritte zu identifizieren. Dies könnte zum Beispiel bei der Organisation von Patiententerminen hilfreich sein, um sicherzustellen, dass jeder Fall die Zeit bekommt, die er wahrscheinlich tatsächlich benötigt, anstatt für alle Patienten ein festes Zeitfenster von 20 Minuten zu reservieren.

Diagnose

Heute müssen Ärzte ihre Patientinnen und Patienten eine ganze Weile beobachten und einige Symptome erkennen, um eine bestimmte Krankheit diagnostizieren zu können. KI kann die Diagnose einer Ärztin auf zwei Arten unterstützen: Zum einen könnte sie die Daten



aller Patientinnen und Patienten nutzen, die etwa eine bestimmte Untersuchung hinter sich haben, und analysieren, welche Faktoren dafür sprechen, dass ein Patient tatsächlich eine solche Krankheit entwickelt. Dies würde dem Arzt oder der Ärztin helfen, Marker zu erkennen, bevor Symptome auftreten, und dem Patienten zu einer frühzeitigen Behandlung verhelfen. Zweitens könnte KI Ärzte dabei unterstützen, seltene Krankheiten zu diagnostizieren.

Behandlung

Sobald die Diagnose gestellt ist, müssen die Ärzte über die Behandlung entscheiden und beobachten, wie Patientinnen und Patienten auf die gewählte Behandlung reagieren. Sowohl bei der Entscheidung über die Behandlung als auch bei der Beobachtung und, wenn nötig, Anpassung kann KI helfen. Zum Beispiel durch die Bereitstellung von Informationen darüber, welches Medikament für die jeweilige Patientin aufgrund ihrer Veranlagung besser wirken könnte. Aber auch durch detailliertere Informationen über die Nebenwirkungen verschiedener Medikamente bei Patientinnen und Patienten mit gleicher oder ähnlicher Veranlagung.

Produktion/Wartung

Fehlfunktionen und Ausfallzeiten medizinischer Geräte müssen unbedingt vermieden werden. KI könnte den Herstellern solcher medizinischen Geräte dabei helfen, intelligenter medizinische Geräte anzubieten, indem KI in die Softwarefunktionen des Systems integriert wird. Oder aber indem eine vorausschauende Wartung ermöglicht wird, die erkennt, wann Teile des Geräts ersetzt werden müssen, anstatt zu warten, bis diese Teile tatsächlich kaputt gehen.

Künstliche Intelligenz bietet die Möglichkeit, einige der dringendsten Herausforderungen im Gesundheitswesen zu lösen. Sie verbessert damit die Qualität der Versorgung und die Dienstleistungen für Patienten, Ärzte und Hersteller. Mit dem Ansatz Safe Intelligence trägt das Fraunhofer IKS dazu bei, die Medizintechnik auf die nächste Stufe zu heben.

Hätte der Arzt in unserem Beispiel 200 Jahre Erfahrung und eine außergewöhnliche Gehirnleistung, könnte sie eine riesige Menge an Informationen sammeln, sich diese merken und sofort zusammenfassen.

Das ist nur ein Traum, oder?

Das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS hilft Klinikern, sich solche riesige Mengen an klinischem Wissen zu merken und zusammenzufassen. Dies erfolgt mithilfe komplexer mathematischer Algorithmen, die sich Künstliche Intelligenz (KI) nennen. Diese KI-gesteuerten klinischen Assistenten können auf riesige Bibliotheken von Patientendaten mit Millionen von Patientenakten zugreifen, diese verarbeiten und die Entwicklungsmuster verschiedener Krankheiten und Behandlungsreaktionen ableiten.

Bei jedem neuen Patienten können der Arzt oder die Ärztin den KI-Assistenten um eine zweite Meinung über die Diagnose und die geeignete Behandlung bitten. Dieser KI-Assistent kann mit dem Arzt ein gezieltes Gespräch über Was-wäre-wenn führen: Was wäre, wenn wir die Medikation der Patientin ändern? Was ist, wenn wir eine Operation durchführen?

In ähnlicher Weise kann der KI-Assistent lernen, den Status kritischer medizinischer Geräte wie Dialyse-, Chemotherapie- oder Organunterstützungsgeräte zu diagnostizieren. Eine Maschinenstörung mitten in der Behandlung einer Patientin hat schwerwiegende Folgen für Patienten, Ärzte und Gerätehersteller. Hier kann die KI ihre Erinnerungs- und Zusammenfassungs-Fähigkeit nutzen, um das Verhalten des Geräts im Laufe der Zeit zu beobachten, zukünftige Ereignisse vorherzusagen und dabei zu helfen, das Gerät für alle Patienten optimal einzustellen.

Wie die Anwendungsfälle zeigen, könnte KI bei vielen Herausforderungen helfen, mit denen medizinisches Personal, aber auch Unternehmen in der Medizintechnik- und Pharmaindustrie konfrontiert sind. Die schwierige Aufgabe besteht darin, Lösungen zu ermöglichen, die leistungsfähig, aber auch sicher und zuverlässig sind. Dafür steht der Ansatz des Fraunhofer IKS: Safe Intelligence.

■ Dr. Narges Ahmidi

OUR PURPOSE

“Engineering
a dependable
world”

OUR VISION

“Fraunhofer IKS in
every trustworthy
cognitive system”

OUR MISSION

“Research transfer that makes a difference: We translate safe intelligence research into meaningful innovations that enable the international economy to grow through world-leading products and services that make our lives safer, healthier, more comfortable and more sustainable.

In doing so, we provide economically attractive solutions to allow industry to fulfill regulations enacted by government on behalf of society.”



Standard gegen Safety-Albträume

Sicherheit ist ein entscheidender Aspekt, wenn Künstliche Intelligenz (KI) im Fahrzeug genutzt wird. Professor Simon Burton vom Fraunhofer IKS will mithilfe eines neuen ISO-Standards den Einsatz der KI verlässlich machen.

»Wir wollen den Einsatz der Systeme so sicher und verlässlich wie möglich machen.«

Prof. Dr. Simon Burton

Wann immer über Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) gesprochen wird, dauert es nicht lange, bis die Diskussion beim Thema Auto ankommt. Der Einsatz im Fahrzeug ist ein besonders prägnantes Beispiel für die Möglichkeiten der KI. Und besonders eindrucksvoll wird dieses beim autonomen Fahren, wenn Software den Job eines menschlichen Fahrers übernehmen soll.

Allerdings sind hier auch die Sicherheitsanforderungen besonders hoch, die an KI gestellt werden. Arbeiten die KI-Systeme im Fahrzeug nicht zuverlässig, kann das fatale Auswirkungen haben. Im schlimmsten Fall werden Menschenleben gefährdet.

Für die Entwicklung von KI-Systemen, die im Fahrzeug eingesetzt werden, braucht es daher klare, einheitliche Vorgaben. Standards für die Software im Auto gibt es zwar bereits. So existiert mit der ISO 26262 eine Norm für die funktionale Sicherheit. Und die ISO 21448 beschäftigt sich mit der sogenannten Safety of Intended Functionality – also der Frage, ob ein System für eine bestimmte Situation ausreichend ausgelegt ist. Doch ein Standard, der explizit den Einsatz von KI im Kontext Sicherheit in den Fokus nimmt, gibt es bisher nicht.

»Diese Lücke wollen wir schließen«, sagt Prof. Dr. Simon Burton, Research Division Director Safety am Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS. Unter seiner Führung hat eine internationale Arbeitsgruppe damit begonnen, einen Standard zu entwickeln, der sich mit KI aus Safety-Perspektive beschäftigt. Die Norm ISO/PAS 8800 soll ein einheitliches Vorgehen bei der Entwicklung und Prüfung von KI-Systemen etablieren, die im Fahrzeug eingesetzt werden. Das betrifft nicht nur Funktionen für das autonome Fahren. Auch wenn KI an anderer Stelle genutzt wird – zum Beispiel für die oberflächenabhängige Fahrwerksabstimmung –, soll der neue Standard greifen, sofern Sicherheitsaspekte betroffen sind.

Standard setzt auf Methodenvielfalt

Wenn es um die eingesetzten KI-Methoden geht, verfolgt der ISO/PAS 8800 ebenfalls einen breiten Ansatz. »Wir werden uns nicht nur mit den derzeit sehr stark diskutierten Neuronalen Netzen beschäftigen«, so Burton. »Es gibt daneben auch KI-Ansätze, die nachvollziehbarer und für Safety-Funktionen besser geeignet

sind. Auch diese Methoden soll der neue Standard abdecken.« ISO/PAS 8800 wird dann eine Richtschnur für die Entwicklung von KI-Software vorgeben, indem er sich zunächst mit grundlegenden Fragen beschäftigt wie etwa: »Wie und mit welcher Genauigkeit muss eine KI-Funktion funktionieren, damit kein Unfall geschieht?« Von dieser Systemebene geht es dann zu Maßnahmen in der Funktionsentwicklung. Hier stehen Fragen im Mittelpunkt wie: »Wie muss die KI-Funktion aufgebaut sein?« oder: »Was sind die richtigen Trainingsdaten?« Anschließend geht es dann darum, mit den Fehlern umzugehen, die noch verbleiben. Denn ein Knackpunkt bei KI ist, dass eine entsprechende Funktion nie perfekt sein wird. Im Gegensatz zu klassischer Software wird ein KI-System schließlich nicht programmiert, sondern anhand von Daten trainiert. Für Safety-Ingenieure ist das quasi ein Albtraum.

»Es wird immer gewisse Restfehler geben. Aber in dem neuen Standard werden wir Maßnahmen definieren, um diese zu kompensieren und die KI-Funktion zu überwachen«, sagt Burton. Neben dem Entwicklungsprozess sollen dann noch Maßnahmen festgelegt werden, um die entsprechende Software zu überprüfen.

Somit wäre dann die Basis für die Nutzung von KI im Fahrzeug gelegt, die in Zukunft sicherlich noch weiter zunehmen wird. »Es gibt bestimmte Funktionen, die sich nur mithilfe von KI umsetzen lassen – etwa das Erkennen von Fußgängern beim autonomen Fahren. Und wir wollen den Einsatz der Systeme so sicher und verlässlich wie möglich machen«, betont Burton.

Für das Fraunhofer IKS stellt ISO/PAS 8800 ein besonderes Projekt dar, da hier mit Burton erstmals ein Vertreter des Instituts federführend tätig ist. Daneben ist das Fraunhofer IKS an vielen weiteren Standards in diesem Bereich beteiligt – zum Beispiel im KI-Absicherungsprojekt innerhalb der VDI-Leitinitiative autonomen und vernetztes Fahren.

Die Laufzeit des ISO/PAS-Projekts beträgt zwei Jahre. Ziel ist es, in dieser Zeit einen beschlussfähigen Entwurf zu erstellen. Dabei wird es auch darum gehen, sich mit anderen Standards und Gremien, die sich mit ähnlichen Themen beschäftigen, zu synchronisieren. Endergebnis ist dann eine Norm, die hoffentlich dafür sorgt, dass Sicherheitsingenieure in Zukunft ruhig schlafen können – ohne Albträume. ■ **Markus Strehlitz**

ANDREA MATIC



Nach dem Studium der Physik in München und Kopenhagen widmete sich Dr. Andrea Matic zunächst ihrer Promotion zum Thema Dunkle Materie bei der Teilchenkollision des Atlas-Experiments am CERN in Genf. Die gebürtige Münchnerin suchte anschließend nach neuen Herausforderungen: Jetzt ist sie begeistert davon, ihre Physik-Expertise gemeinsam mit Teammitgliedern aus anderen Disziplinen für etwas Sinnvolles wie die Absicherung von KI einsetzen zu können. Und für sie als Physikerin ist natürlich auch das Thema Quantencomputing am Fraunhofer IKS besonders spannend!

CHRISTIAN DRABEK



Dr. Christian Drabek war schon immer von Computern fasziniert, spielte Computerspiele und programmierte gern – da lag ein Informatik-Studium natürlich nahe. Da er sich während des Diplomstudiums an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) bereits auf die Themen KI, Mustererkennung und Software Engineering fokussiert hatte, war das Fraunhofer IKS die perfekte Fortsetzung. Im Sommer 2021 schloss er seine Doktorarbeit zur modellbasierten Laufzeitüberprüfung vernetzter eingebetteter Systeme an der Uni Augsburg ab. Computerspiele spielt der promovierte Diplom-Informatiker immer noch gern – wenn denn Zeit dafür bleibt!

NARGES AHMIDI



Nach ihrem Studium des Computer Engineering an der Polytechnischen Universität in Teheran, Iran, entschied sich Dr. Narges Ahmidi zunächst für die Industrie. Ihre Wissbegierde siegte aber schließlich: Die Softwareingenieurin zog in die USA und promovierte in Informatik an der Johns Hopkins University mit Fokus auf Medizinrobotik und computer-assistierter Chirurgie. Aus familiären Gründen zog die Mutter zweier Töchter dann nach Deutschland, wo sie ihre eigene Forschungsgruppe zum Thema Künstliche Intelligenz in der Diagnostik aufbauen konnte. Nach vielen Jahren Grundlagenforschung führte sie der Wunsch nach mehr Anwendbarkeit und Industriebezug schließlich an das Fraunhofer IKS. Seit Sommer 2021 leitet Narges Ahmidi dort die Abteilung Reasoned AI Decisions.

→ Seite 18

Köpfe aus der Forschung

Was wäre das Fraunhofer IKS ohne seine klugen Köpfe? Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kommen aus aller Welt und haben auf sehr unterschiedlichen Wegen an unser Institut gefunden. Sie alle eint die Leidenschaft für angewandte Forschung mit gesellschaftlicher Bedeutung. Wir stellen ein paar von ihnen vor. Mehr Porträts finden Sie auch auf unserem Blog.

ANDREAS KREUTZ



Sein Entdeckerdrang treibt ihn an: Andreas Kreutz wollte schon als Kind Erfinder werden. Nun forscht er seit Sommer 2020 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IKS zu cyberphysischen Systemen und plant seine Promotion. Er hat an der TU München Informatik studiert und ist immer auf der Suche nach neuen Herausforderungen, im beruflichen wie sportlichen Bereich.

KARSTEN ROSCHER



Eigentlich hatte der leidenschaftliche Musiker sein Doppelstudium Informatik und Elektrotechnik absolviert, um im Medienbereich zu arbeiten. Während des Studiums stieß er aber auf das Thema Datenvernetzung und fing Feuer. So startete er 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ESK und ist mittlerweile Abteilungsleiter beim daraus hervorgegangenen Fraunhofer IKS. Dem Ingenieur gefällt besonders die Kombination aus wirtschaftlicher Relevanz bei gleichzeitiger gesellschaftlicher Bedeutung seiner Forschungsarbeit. Und die Musik? Spielt immer noch eine große Rolle im Leben des zweifachen Vaters!

[→ Seite 12](#)

TOM HAIDER



Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IKS konzentriert sich Tom Haider nach dem Studium der Mechatronik und Informatik in Regensburg und Kopenhagen auf das Thema Reinforcement Learning. Ihm ist es wichtig, mit seiner Arbeit Ergebnisse antastbar und anwendbar zu machen, sodass sie einen wirklichen Mehrwert liefern – zum Beispiel Robotern beizubringen, eigenständig zu agieren und neue Aufgaben zu lernen, ohne dabei sich oder den Menschen in ihrer Umgebung zu schaden.

JOÃO-VITOR ZACCHI



João-Vitor Zacchi war anfänglich als Marie Skłodowska-Curie-Action-Fellow am Fraunhofer IKS und arbeitet jetzt als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Cognitive Software Systems Engineering. Geboren in Brasilien, studierte er Elektro- und Automatisierungstechnik in Brasilien und Frankreich. Bei all seinen interkontinentalen Umzügen begleiten ihn seine geliebten Bücher – von Science-Fiction über Philosophie- und Geschichtsbücher bis zu Sonderausgaben klassischer Werke.

MARTA GROBELNA



Marta Grobelna schätzt besonders den Praxisbezug ihrer Forschungsarbeit im Bereich Safety Engineering. Nach ihrem Studium der Informatik an der RWTH Aachen forscht sie nun als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer IKS und wird zum Thema Unterstützung von Dynamic Risk Management mithilfe mathematischer Modelle promovieren – ebenfalls wieder eine Kombination aus Theorie und Praxis.

JEANETTE LORENZ



Priv.-Doz. Dr. habil Jeanette Lorenz baut am Fraunhofer IKS die Quantencomputing-Aktivitäten auf. Sie hat Physik und Mathematik in Erlangen und München studiert und anschließend viele Jahre im Bereich der experimentellen Teilchenphysik und statistischen Datenanalyse am CERN in Genf und an der LMU München geforscht. Nun freut sie sich als Senior Scientist am Fraunhofer IKS, einen direkten Impact ihrer Arbeit sehen zu können. Ihr Motto? »Einfach machen!« Das gilt ebenso für den privaten Kontext: Sie geht als begeisterte Bergsteigerin gern anspruchsvolle Mehrtagestouren.

[→ Seite 15](#)



MARIO TRAPP ERHÄLT LEHRSTUHL AN DER TU MÜNCHEN

Leiter des Fraunhofer IKS an die Fakultät für Informatik berufen

Der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Kognitive Systeme IKS, Mario Trapp, wurde als Full-Professor an die Technische Universität München (TUM) berufen. Er gehört ab dem 1. Juni der Fakultät für Informatik an, wo er Inhaber des Lehrstuhls für Engineering Resilient Cognitive Systems ist. Damit wird der habilitierte Informatiker auch als Professor an der künftigen TUM School of Computation, Information and Technology tätig.

Prof. Dr.-Ing. habil. Mario Trapp leitet seit Januar 2018 das Fraunhofer IKS und lehrte zuvor als apl. Professor am Fachbereich Informatik der TU Kaiserslautern. ■

NEUE FORM DER LERNKULTUR

Zwei Jahre IKS Academy

Das Fraunhofer IKS ist auf dem Weg der agilen Transformation. Grundlage dafür ist die Stärkung der Mitarbeitenden in ihrer Selbstverantwortung und -organisation sowie eine Kultur des Vertrauens, der Offenheit und Transparenz. Um eine lernende Organisation zu schaffen, wurde deshalb 2020 die IKS Academy gegründet. Im vergangenen Jahr hat das Institut maßgeschneiderte Schulungs- und Ausbildungsformate entwickelt und umgesetzt. Neben einem umfangreichen Onboarding-Programm für neue Mitarbeitende und »Know-how-Transfers« für Mitarbeitende, die ihr fachliches Wissen erweitern möchten, liegt ein besonderer Fokus darauf, die agile Expertise des Teams auf- und auszubauen. ■

KI-VORHERSAGEN KOMMEN AUF DEN PRÜFSTAND

Online Tool checkt Verlässlichkeit von KI-Modellen

Perzeptionsmodelle auf Basis Künstlicher Intelligenz sind die Grundlage zahlreicher Anwendungen, beispielsweise in der Medizintechnik oder beim autonomen Fahren. Sie haben allerdings ein Problem damit, ihre selbst getroffenen Vorhersagen korrekt einzuschätzen, was vor allem in sicherheitskritischen Bereichen verheerende Folgen haben kann. Hier wäre es wünschenswert, dass sich das System der Unsicherheit bewusst ist und darauf aufmerksam macht. Ein vom Fraunhofer IKS entwickeltes Online Tool setzt genau hier an und liefert Benutzerinnen und Benutzern tiefe Einblicke in die ganzheitliche Verlässlichkeit der gegebenen Vorhersagen. Um die Ergebnisse zu beurteilen, werden Safety-spezifische Metriken und Tests herangezogen. Dank Visualisierungen kann schnell erfasst werden, wo Schwachstellen lauern. Zudem helfen detaillierte Interpretationen und Verbesserungsvorschläge, das geprüfte System robuster zu machen. ■

SICHERE UND EFFIZIENTE ROBOTER IN DER LOGISTIK

Gemeinsames Projekt mit Hitachi

In der Logistik arbeiten Menschen und Roboter oft eng zusammen. Wirklich effizient ist diese Kollaboration jedoch erst, wenn beide zur gleichen Zeit im gleichen Bereich arbeiten können. Dabei muss die Sicherheit der Menschen jederzeit gewährleistet sein. Gemeinsam mit Hitachi haben Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IKS einen Simulationsrahmen für die Bewegungen von fahrerlosen Transportsystemen in Lagern auf der Grundlage von Webots erstellt. Damit konnte untersucht werden, ob Infrastruktursensoren, die das Verhalten der Roboter dynamisch anpassen, die Situation im Lager verbessern. ■

Mehr über das gemeinsame Projekt und die Forschungsergebnisse lesen Sie auf unserem Blog.



<https://safe-intelligence.fraunhofer.de/artikel/how-robots-in-warehouses-operate-safely-and-efficiently>



BESUCH DES STELLVERTRETENDEN TSCHECHISCHEN HANDELSMINISTERS

Austausch zu potenziellen Forschungskollaborationen

Das Fraunhofer IKS durfte Dr. Petr Očko (links), stellvertretender Minister für Industrie und Handel der Tschechischen Republik, sowie Kristina Larischova (rechts), Generalkonsulin der Tschechischen Republik in München, begrüßen. Prof. Dr. Simon Burton, Division Director Safety, stellte die Forschungsaktivitäten des Instituts zu verlässlichen, autonomen und vernetzten Systemen in den Bereichen Automobil und Industrie 4.0 vor. Darüber hinaus fand ein Austausch zu potenziellen zukünftigen Forschungskollaborationen statt. ■



FREISTAAT INVESTIERT IN FORSCHUNG ZU SICHERER KI

Förderung durch das Bayerische Wirtschaftsministerium

Bayerns Wirtschaftsstaatssekretär Roland Weigert (rechts) hat einen Förderbescheid für das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS an Institutsleiter Mario Trapp übergeben. Mit den zusätzlichen Fördermitteln in Höhe von 20,1 Millionen Euro soll die angewandte Forschung und Entwicklung im Bereich der »Safe Intelligence« weiter vorangetrieben werden. ■

DISTINGUISHED PAPER AWARD FÜR DAS FRAUNHOFER IKS

Auszeichnung auf der EDCC 2021

Vier Forschende des Fraunhofer IKS wurden auf der European Dependable Computing Conference (EDCC) im September 2021 für ihr Paper »Dynamic Risk Management for Safely Automating Connected Driving Maneuvers« ausgezeichnet. Aus allen akzeptierten Beiträgen wurden drei herausragende Arbeiten ausgewählt und in einer eigenen Sitzung des Konferenzprogramms als »Distinguished Paper« vorgestellt. Der Beitrag von Marta Grobelna, João-Vitor Zacchi, Philipp Schleiß und Simon Burton widmet sich einem neuartigen Ansatz zur dynamischen Quantifizierung der Beziehung zwischen Unsicherheiten und dem Risiko während der Laufzeit autonomer Fahrzeuge, um einen Trade-off zwischen der Systemsicherheit und der Funktionalität zu finden. ■

Neubau für Innovation und Kooperation

Ende 2024 beginnt für das Fraunhofer IKS eine neue Ära: Dann zieht das Institut in sein neues Gebäude auf dem Campus Garching, in unmittelbarer Nachbarschaft zur TU München und zu den Fraunhofer-Instituten für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC und für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV. Mittelpunkt des modernen Institutsgebäudes ist das helle, offen gestaltete Atrium mit seiner optisch prägenden Wendeltreppe. Das gesamte Erdgeschoss ist der Kooperation mit Kunden und Forschungspartnern gewidmet: Collaboration Labs, in denen Mitarbeitende der Partner und des Instituts gemeinsam vor Ort an innovativen Lösungen arbeiten; ein großes Living Lab, in dem diese Lösungen in konkreten Anwendungsfällen der Kunden demonstriert und erprobt werden können; Konferenzbereiche für den fachlichen Austausch auf Tagungen und Workshops ...

In den Obergeschossen findet die interne Forschungs- und Entwicklungsarbeit des Fraunhofer IKS statt. Auch hier bieten Offenheit und Flexibilität des Gebäudes einen Rahmen, der sich an die jeweiligen Bedürfnisse der innovativen und agilen Arbeitsgruppen anpasst. Dagegen gewährleisten die Software-Entwicklungslabore vertrauliche Projektarbeit. Der zukunftsweisende Entwurf des Planerteams rund um das Architekturbüro HDR Germany verbindet Licht mit Form und Funktionalität und erfüllt dabei wesentliche Kriterien von Nachhaltigkeit. Mit seiner eindeutigen und doch kreativ leichten Außengestaltung fügt sich der Neubau nahtlos ein in das architektonische Campus-Ensemble.



Visualisierungen: HDR Germany





Impressum

HERAUSGEBER

Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS
Hansastraße 32 | 80686 München
+49 89 547088-396 | pr@iks.fraunhofer.de

REDAKTION

Hans-Thomas Hengl M.A., Presse
Dipl. Kffr. Miriam Friedmann, Leitung PR & Marketing bis Januar 2022
Eva von Wardenburg, Leitung PR & Marketing

Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS
Hansastraße 32 | 80686 München
+49 89 547088-396 | pr@iks.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS,
München 2022

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

GESTALTUNG

designbüro x-height | www.x-height.de

BILDQUELLEN

Titelbild, Seite 20–21 Pexels / Anni Roenkae

Seite 3 Fraunhofer IKS / Martin Kroll

Seite 4–5, 30–32 istock / borchee

Seite 4 o., 7–9 Holmer Maschinenbau GmbH

Seite 4 M., 10–11 iStock / Vanit Janthra

Seite 4 u., 22 Fraunhofer IKS / Martin Kroll

Seite 12–13 istock / Susanne Schulz

Seite 15–16 AdobeStock / Bartek Wróblewski

Seite 18–19 istock / eggeeggjiew

Seite 24–25 Fraunhofer IKS, Tom Haider

Seite 27 istock / eggeeggjiew

Seite 28 Fraunhofer IKS, StMWi / E. Neureuther

Seite 28–29 HDR Germany



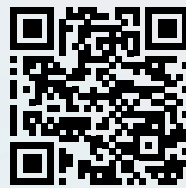
Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie



ONLINE GEHT'S WEITER!

Lesen Sie mehr über das
Fraunhofer IKS auf unserem Blog



safe-intelligence.fraunhofer.de

und folgen Sie uns auf Social Media:



in



f