

Prof. Dr.-Ing. habil. Alois Christian Knoll

---

# Künstliche Intelligenz und Robotik: Motor für Innovation

ZD.B DIGITAL DIALOGUE  
**POSITIONSPAPIER**

Februar 2018

Editoren:

Dr. Nina Höhne, Dr. habil. Daniel Méndez,  
Dr. Kathrin Barbara Zimmer

## Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>Künstliche Intelligenz und Robotik: Motor für Innovation</b>	<b>4</b>
<b>Einführung</b>	<b>5</b>
Big Data als Basis für den Erfolg moderner KI	6
Vision menschliche Intelligenz – ein Ziel für die KI?	9
Chancen und Risiken der KI	12
Was ist KI, was leistet sie prinzipiell: Ziele und Inhalte der KI-Forschung	13
KI im letzten Jahrzehnt: der Siegeszug von neuronalen Netzen und Mustererkennung	14
KI in der Praxis heute: welcher Stand ist erreicht?	15
Maschinelles Lernen als neuer Produktivitätsmultiplikator in der Industrie	17
Kompetenzaufbau und Spezialisierung in der KI als Chance für die deutsche Industrie	18
Bedeutung und Verstehen – das nächste große Ziel der KI	19
Die Bedeutung von Digitalisierung und Virtualisierung für die Zukunft der KI	20
Sich eröffnende Anwendungsfelder moderner KI	21
Relevante Entwicklungsbereiche für Europa und Deutschland	22
Beispiele für zukünftige KI-Anwendungen	24
Ausblick	27
Über den Autor	30
Literaturverzeichnis	31

## VORWORT



Die digitale Metamorphose verändert unser Leben, unsere Welt, unsere Wirtschaft und unsere Lebensführung dramatisch. Ausgelöst wird das durch eine beispiellose Leistungssteigerung im Bereich der digitalen Technologie, eine schier unbegrenzte Flexibilität beim Einsatz von Software und einer ungebändigten Kraft der Möglichkeiten der

Algorithmik und der Daten in ihrem Vernetzen und ihrer Vernetzung mit der physischen Welt. Potentiale der künstlichen Intelligenz, der Mensch-Maschine-Interaktion und der globalen Netzwerke schaffen schnell neue Geschäftsmodelle. Diese Durchschlagskraft führt auf zahllose Veränderungen, die gestaltet werden wollen, will man vermeiden, dass unsere Welt zum willenlosen Spielzeug digitaler Technologien wird. Vor diesem Hintergrund ist es eine große Freude, dass das ZD.B es nunmehr in Angriff genommen hat, in einer Schriftenreihe auf zentrale Themen der Digitalisierung einzugehen und zu diesen Themen Reflexionen beizusteuern.

Diese erste Schrift zum Thema „Künstliche Intelligenz“ (KI) führt sehr grundlegend in ein wichtiges Thema ein. Die KI hat sich in den vergangenen 70 Jahren, in denen sie existiert, stets in Wellen weiter entwickelt. Es gab mehrfach eine Welle hoher, ja übersteigter Erwartungen an die KI, oft gefolgt von einer Ernüchterung. Jede dieser Wellen hat technischen Fortschritt gebracht und neue technische Möglichkeiten eröffnet. Allerdings blieb das Ergebnis dann oft hinter den Erwartungen und wurde deshalb gar nicht mehr so deutlich wahrgenommen.

Nun sind wir inmitten einer neuen Welle der künstlichen Intelligenz. „Machine Learning“, der Zugriff auf große Datenmengen und die Anwendung in den unterschiedlichsten Bereichen wie etwa im Rahmen der Verarbeitung natürlicher Sprache, Data Analytics, Autonome Systeme und vieles mehr versprechen dramatische Veränderungen. Es ist nur konsequent, dass mit diesem Erscheinen unserer Schriftenreihe das Phänomen der künstlichen Intelligenz umfassend behandelt wird. Wichtig ist es bei dieser Technologie ja nicht nur darzustellen, wozu sie fähig ist, sondern auch, wozu sie nicht fähig ist – wo ihre Potenziale, aber auch ihre Schwächen und Grenzen liegen.

Ich danke dem Autor, Herrn Professor Alois Knoll, ausdrücklich für seinen Beitrag.

Manfred Broy  
Garching, im Januar 2018

## KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND ROBOTIK: MOTOR FÜR INNOVATION

Das Ziel der „Künstlichen Intelligenz“ (KI) ist die Entwicklung von Methoden und Modellen für die anwendungsbezogene Nachbildung von menschlichen Intelligenzleistungen durch technische Systemen. Während die Anfänge der KI bis in die fünfziger Jahre zurückreichen, haben die in den letzten Jahren rasant voranschreitende Digitalisierung und die damit einhergehende Verfügbarkeit großer Datenmengen („Big Data“) und Rechenkapazität („Cloud Computing“) einen sowohl quantitativ als auch qualitativ signifikanten Entwicklungsschub ermöglicht.

Treiber der aktuellen KI-Forschung sind vor allem große Internet-Unternehmen wie Facebook oder Google, die nicht nur die technische Infrastruktur entwickeln, sondern das Feld auch methodisch vorantreiben. Im Fokus stehen dabei unter dem Schlagwort „deep learning“ bekannt gewordene Verfahren des maschinellen Lernens in künstlichen neuronalen Netzen, die besonders gut für die Mustererkennung in großen Datenmengen und für Anwendungen in Massenmärkten geeignet sind. Das maschinelle Lernen stellt aber nur einen Teilbereich der KI dar, wie Lernen ja auch nur einen Teil natürlicher Intelligenz ausmacht.

Der folgende Text gibt einen Überblick über vergangene, aktuelle und zukünftige Forschung im Bereich der KI mit Fokus auf die Chancen und Risiken für Deutschland und Europa, deren zukünftige Wettbewerbsfähigkeit vor allem von einem systematischen Kompetenzaufbau im Bereich der KI abhängig sein wird. Eine vielversprechende Strategie für die deutsche Industrie ist in diesem Kontext die in den USA und China nicht im Fokus stehende anwendungsspezifische Adaptation und Integration von KI-Methoden in Systeme für Industrie 4.0 oder Transport und Logistik. Voraussetzung dafür sind in jedem Fall gezielte Investitionen in Forschung und Ausbildung. Nur damit können Deutschland und Europa zur internationalen Spitzenforschung aufschließen und vielversprechende zukünftige Entwicklungen wie die Einbettung von KI in komplexe technische Systeme und Prozesse für „Embedded AI“ oder aber die Erweiterung von KI um das Verständnis von Bedeutung sowie die Fähigkeit zur Interaktion und folgend die Verschmelzung mit Robotik zu „Embodied Intelligence“ in führender Position mitgestalten.

## EINFÜHRUNG

Die „Künstliche Intelligenz“ mit der Robotik als Schnittstelle zur physischen Welt wird als zentrales Element der fortschreitenden Digitalisierung eine bestimmende Technik-Plattform des 21. Jahrhunderts: eine Vielzahl von Innovationen werden sie nutzen. Trotzdem, oder gerade deshalb, ist kein Begriff der Informatik mit derart vielen Bedeutungen und Erwartungen aufgeladen wie der der KI – kein Feld wird gleichzeitig so unterschätzt wie überschätzt. Die Heilsversprechungen der Vergangenheit überdecken ebenso wie die apokalyptischen Untergangsszenarien einiger Zeitgenossen den Kern dessen, was zu erwarten ist – und was eben nicht.

Eines ist allerdings schon heute klar: KI ist nicht nur der Motor für ein neues Gründerzeitalter, sondern sie wird auch in etablierten Bereichen enorme Produktivkräfte freisetzen – es wird kaum Erzeugnisse und schon gar keine Dienstleistungen mehr geben, die während ihres Design- und/oder Nutzungsprozesses nicht von KI-Methoden und KI-Anwendungen abhängen werden. Das betrifft alle Bereiche der Wirtschaft, der Kommunikation und Interaktion im öffentlichen Raum, der Ausbildung und weiter bis hin zum Betreiben der Kulturwissenschaften – aus deren Sicht kann man KI durchaus als „praktische Philosophie“ sehen, die unser Weltbild herausfordert und formen wird. Insgesamt ist die KI dabei gleichermaßen Nutznießer und zunehmend Treiber der voranschreitenden Digitalisierung.

In Europa nehmen wir hauptsächlich die Anwendungen von künstlicher Intelligenz wahr, welche die US-Riesen Google, Amazon, Facebook in den Einsatz bringen, etwa zur Vorhersage von Käuferverhalten aus Rückmeldungen von Kunden oder zur präzisen Zielgruppenansprache von Werbekunden. Diese Anwendungen haben den homoge-

nen Massenmarkt im Blick: Jeder der Millionen Kunden steuert zwar seine eigenen Daten zum Gesamt-Datenbestand bei, die Aufgabenstellung ist aber für jeden dieselbe („sag voraus, was dieser Mensch wahrscheinlich als nächstes bestellt“, oder „auf der Basis der Vitaldaten: Was ist ein angemessenes körperliches Fitnessprogramm“).

Beim Einsatz von KI in der Industrie ist es anders herum: Die Kunden haben spezifische Fragestellungen und Erwartungen, die vorhandenen Datenbestände sind sehr viel kleiner als in Massenanwendungen und oft unerschlossen. Sie repräsentieren allerdings Abbilder des Prozessgeschehens (und damit auch indirekt des Know-Hows) und sollten daher nicht nach außen gelangen. Ferner hat ein industrieller Kunde hohe Erwartungen an die Qualität der Resultate, wie beispielsweise kurze Trainings- und Antwortzeiten beim maschinellen Lernen, Präzision der Berechnungen, Ausfallsicherheiten.

Unsere Chance in Europa besteht daher darin, die Entwicklungen aus USA (und China) zu nehmen, zu verstehen und auf die eher kleinteilige industrielle Praxis zu übertragen. Dies erfordert ein tiefes Verständnis der Anforderungen und die zielgerichtete Integration von KI-Techniken in Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsprozesse. Zugute kommt uns dabei unser Vorsprung in der vernetzten Produktion sowie bei der Sensorik zur Datengenerierung: Die gekonnte Zusammenführung von „Big Data“ mit dem „Internet der Dinge“ und denen der KI ist der Schlüssel zum Erfolg in den nächsten Jahrzehnten.

## Big Data als Basis für den Erfolg moderner KI

Wir beobachten nun schon seit einiger Zeit eine exponentielle Zunahme von Speicherkapazität, Kommunikationsbandbreite und verteilter Rechenleistung. Hier werden in den USA und inzwischen auch in China weiter enorme Investitionen vorgenommen – sowohl staatlich als auch privatwirtschaftlich. Das hat dazu geführt, dass die Unternehmen, deren Geschäftsmodell ganz auf diese IKT-Basistechniken ausgerichtet ist, einen enormen Aufschwung genommen haben und natürlich alles daransetzen werden, diese Techniken weiter auszubauen. Zwei Schlaglichter darauf: Der Börsenwert von Apple beträgt zur Zeit 770 Mrd. Euro, mit Aussicht darauf, dass das Unternehmen die Marke von einer Billion Dollar als erste Firma überhaupt erreicht; darüber hinaus hat das Unternehmen über 250 Mrd. Dollar Barvermögen angehäuft. Facebook, dessen Börsenwert gegenwärtig „bescheidene“ 450 Mrd. Dollar beträgt (bei einem Quartalsumsatz von zuletzt 10 Mrd. Dollar mit 19.000 Mitarbeitern), baut seine Hardware (wie übrigens auch Google) selbst und tauscht diese innerhalb von jeweils sechs Monaten komplett aus, um dem weiter wachsenden Verkehrsaufkommen gewachsen zu sein: Vor nicht allzu langer Zeit waren erstmalig 1 Milliarde Menschen in deren Netzwerk pro Tag online, im ersten Quartal 2017 waren es schon knapp 1,3 Milliarden. Und diese Zahlen gelten jeweils ohne China, das in diesem Bereich höchst protektionistisch agiert – einerseits aus Zensurgründen, aber andererseits auch, um sich selbst ähnliche Marktriesen zu züchten, was mit bemerkenswertem Erfolg zu gelingen scheint.

Es liegt auf der Hand, dass das in diesen Netzen generierte Datenvolumen einer sinnvollen Auswertung nicht mehr manuell, sondern nur durch eine fortgeschrittene Datenverarbeitung mit dem Ziel der Vollautomatisierung zugeführt werden kann. Teil dieser Rationalisierung sind Techniken der KI, die damit einerseits zum grundlegenden Werkzeug der Digitalisierung werden, andererseits aber in ihrer eigenen Entwicklung beschleunigt werden. Denn die

moderne KI nutzt, dass wir weltweit über rasch zugreifbare, große Datenbestände, enorme Verarbeitungsleistungen, Speicher und – entscheidend wichtig – Forschungskapazität zur Konzeption von Informatik-Methoden und deren Entwicklung zur Praxisreife verfügen.

Bei diesem selbstverstärkenden Prozess ist bis auf weiteres kein Ende abzusehen. Wenn wir in Deutschland weiterhin an der Front der Wissenschaft mitspielen und Produkte „Made in Germany“ zu Premium-Preisen verkaufen wollen, dann ist die Beherrschung des Baus „intelligenter Maschinen“ ein Muss – ebenso wie die Beherrschung der zugehörigen Methoden, Prozesse, Aus- und Weiterbildungsprogramme – als immer wichtiger werdender Teil unserer Digitalisierungsstrategie.

In einer im Juni 2017 veröffentlichten Studie von McKinsey über den Einsatz von KI in Deutschland wird abgeschätzt, dass unsere Gesamtwirtschaftsleistung bis 2030 bei frühzeitiger Einführung von KI bis um 4% (das entspricht etwa 160 Mrd. € pro Jahr) mehr wächst, als ohne oder bei verspäteter Einführung von KI als Produktivitätsfaktor. Die Produktivität könnte demnach zwischen 0,8% und 1,4% pro Jahr zunehmen, wenn selbstlernende Rechner und einfach programmierbare Roboter großflächig eingesetzt werden. Es wird ferner argumentiert, dass bei einer frühzeitigen Nutzung von KI zwar eine ganze Reihe von Berufen wegfällt, die Arbeitskraft aber stattdessen anders – also hochwertiger – eingesetzt werden kann, was im Zeitalter demographischen Wandels neue Perspektiven eröffnet. Werden umgekehrt die Potentiale der KI in Deutschland nicht genutzt, könnte die für 2030 angestrebte Wirtschaftsleistung um bis zu einem Drittel verfehlt werden. Angesichts dieser Zahlen wäre es fahrlässig, der KI – gerade im Wirtschaftskontext – nicht die höchste Priorität zuzumessen.

Um den Stellenwert der KI auch qualitativ einzuschätzen, lohnt sich ein Blick auf den „Hype Cycle“, den Gartner jährlich veröffentlicht (siehe Abbildung 1): Praktisch alle Techniken die hier vertreten sind, haben eine KI-Komponente –

entweder als Werkzeug für das Design der jeweiligen Produkte und/oder Dienstleistungen oder als Technik-Komponente, d.h. als entscheidendes Teil(system) der Produkte. Abbildung 2 gibt ergänzend eine Übersicht über die Inves-

titionen in einzelne Felder der KI sowie eine quantitative Einschätzung der Auswirkung von KI auf einzelne Anwendungsbereiche.

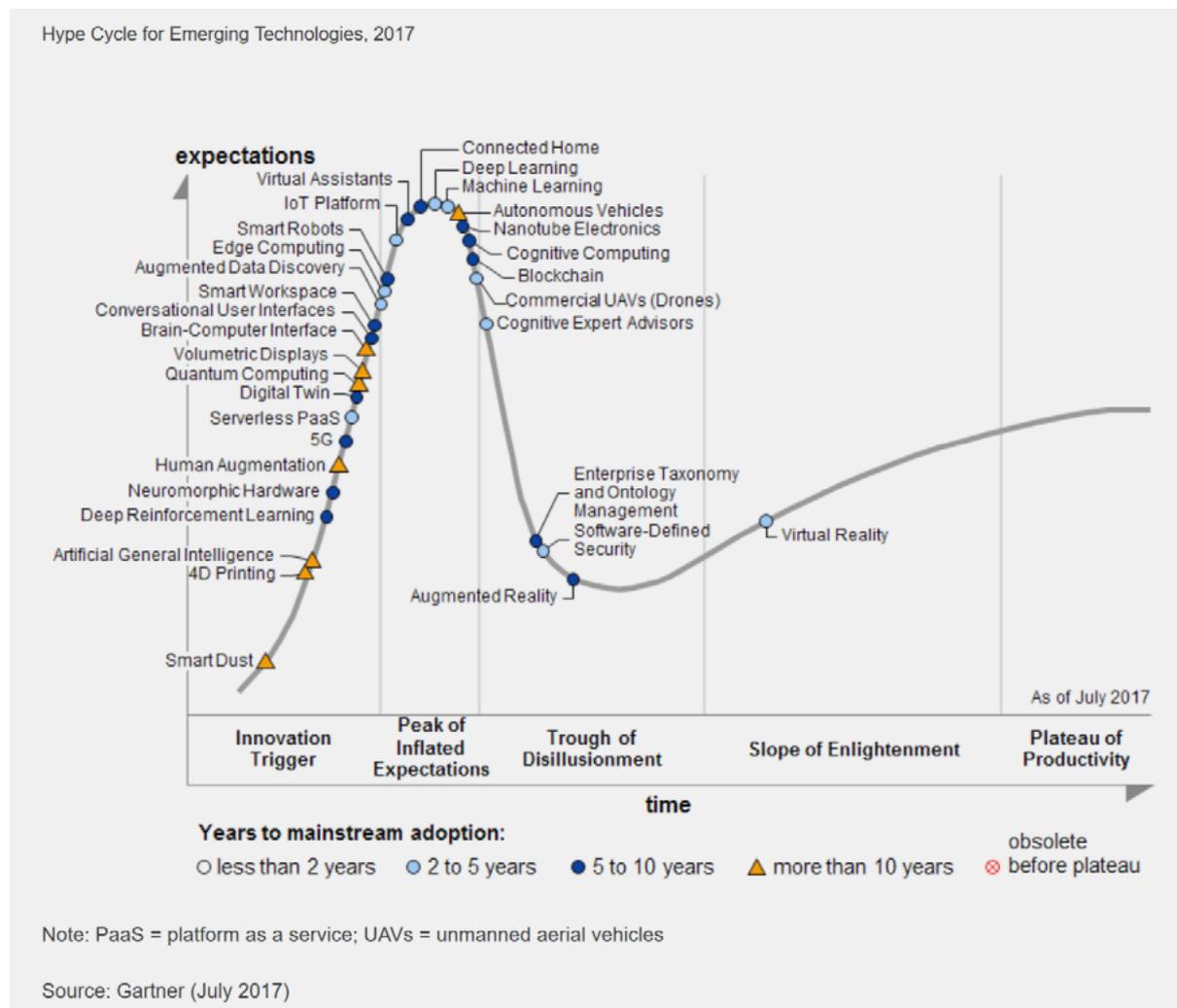


Abbildung 1: Der jährlich überarbeitete „Hype-cycle“ von Gartner, hier in der Version von 2017

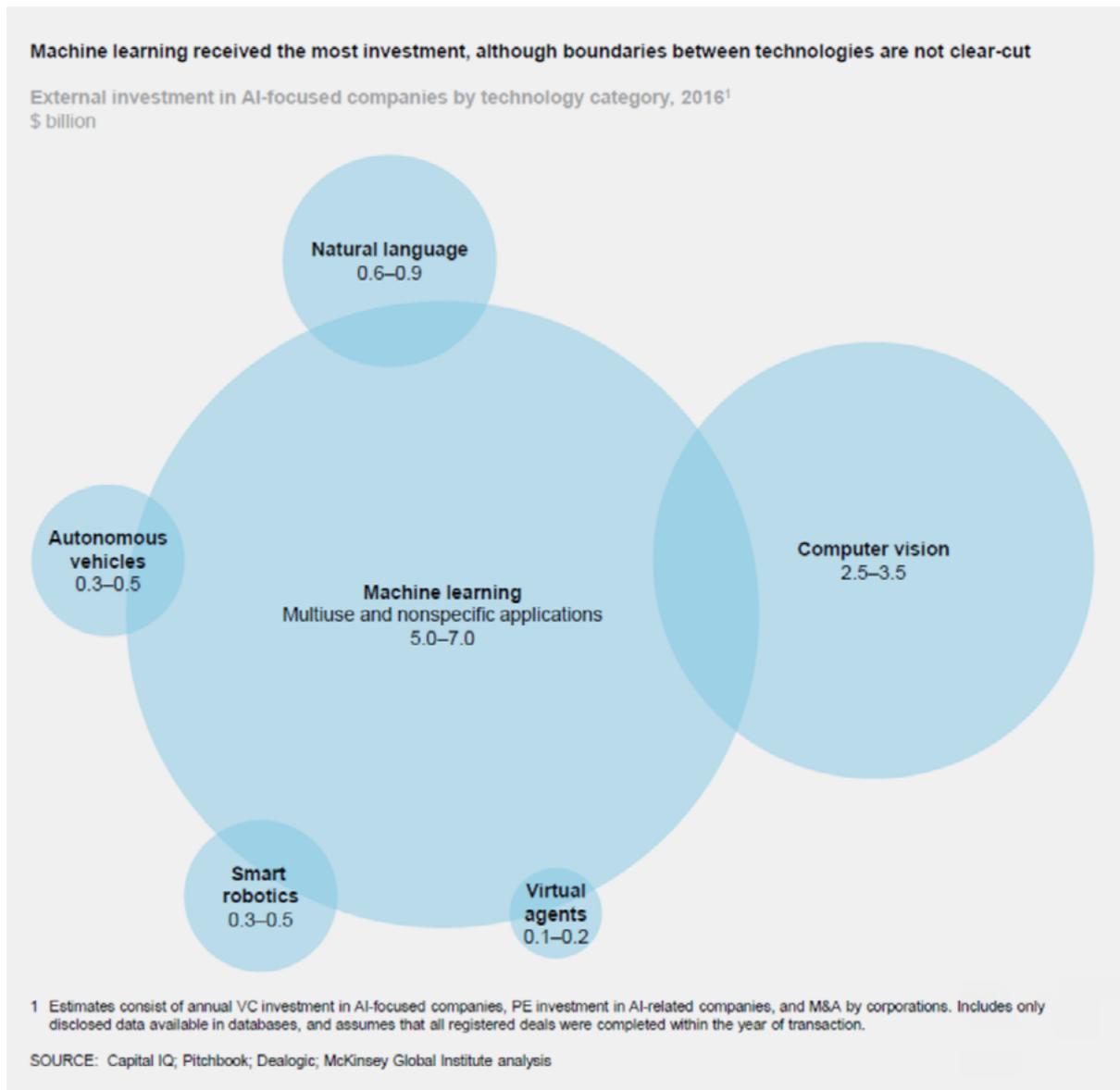


Abbildung 2a: Investitionen 2016 und Anwendungspotentiale über verschiedene Anwendungsbereiche.

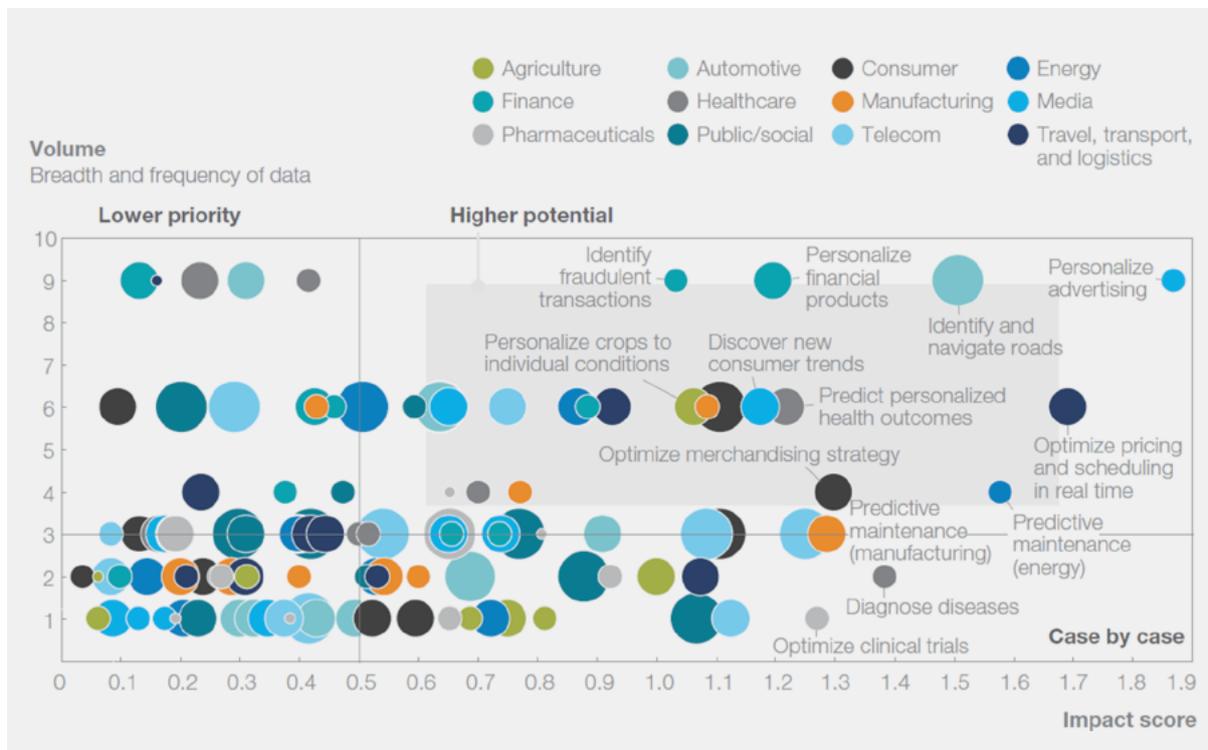


Abbildung 2b: Investitionen 2016 und Anwendungspotentiale über verschiedene Anwendungsbereiche.

### Vision menschliche Intelligenz – ein Ziel für die KI?

Grundsätzlich sind zwei komplementäre Forschungs- und Entwicklungsziele bei der KI zu unterscheiden: das Verstehen von biologischer Intelligenz als Grundlagenforschung einerseits, sowie andererseits die Konzipierung und Optimierung KI-basierter Methodik zur Lösung praktisch relevanter Probleme (als anwendungsgetriebene Forschung und Entwicklung).

Die erste Zielrichtung erfordert die Modellierung und Simulation der Einheit von Gehirn und Körper in einer ge-

schlossenen Regelschleife. Je mehr man fortschreitet, desto mehr nähert man sich wieder dem Menschen an – und der Erkenntnis, wie seine Intelligenz seiner Stammesgeschichte sowie seiner Individualerfahrung und -entwicklung geschuldet sind, und wie wir insgesamt mit dem biologischen, kulturellen, soziologischen Kontext unserer Umwelt verwoben sind.

Für die zweite Zielrichtung der anwendungsbezogenen Lösungen mögen diese Aspekte zunächst irrelevant erschei-

nen: Wieso sollte man versuchen, das komplette Gehirn und seine Einbettung in den Körper (also die menschliche Intelligenz) zu verstehen, wenn nur einzelne kognitive Fähigkeiten wie etwa die Steuerung eines Fahrzeugs oder die Erkennung von Personen in Videos benötigt werden?

Doch diese Sichtweise greift zu kurz. Die KI war stets von der menschlichen Intelligenz inspiriert und dem Anspruch getrieben, sie „nachzubauen“. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für eine Projektion aus dem Jahre 1999 für die Erreichung des Ziels des Nachbaus des menschlichen Gehirns, unter reiner Betrachtung der (angenommenen) „Rechenleistung“ unseres Hirns. Man erkennt: Inzwischen ist die Rechenleistung unserer größten Supercomputer weit größer als damals für heute angenommen (und zu beeindruckenden Einzelleistungen wie Bildsuche oder Go-Spiel fähig), aber von Erreichung menschlicher Intelligenz, verstanden als Summe unserer miteinander verwobenen intellektuellen Fähigkeiten, kann man nach wie vor nicht sprechen.

Die KI war also bislang nicht dort besonders erfolgreich, wo sie die bloße Kopie von (vermeintlichen) Prinzipien biologischer Informationsverarbeitung (aufgefasst als Rechenprozesse) verfolgt hat, sondern dort, wo sie angemessene Abstraktionen verfolgt hat. Bestes Beispiel dafür sind interessanterweise die „künstlichen neuronalen Netze“. Diese sind ursprünglich aus dem Studium des Aufbaus biologischer Gehirne entstanden, haben aber funktionell kaum etwas mit ihnen gemein. Die wesentliche Erkenntnis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts bestand darin, dass biologische Informationsverarbeitung in Gehirnen auf der Anwesenheit einer Vielzahl einfachster Prozessoren (den Neuronen) und einer noch sehr viel höheren Anzahl von Verschaltungen (den Synapsen) beruht. Das konnte man schon sehr früh technisch nachbauen. Dass für die Funktion der Gehirne eine Vielzahl von biochemischen Prozessen und die Verarbeitung von Impulsfolgen entscheidend wichtig sind, davon allerdings hat man im Wesentlichen bis heute abstrahiert. Dies reduziert entsprechend das Po-

tential der künstlichen Netze gegenüber den biologischen erheblich. Ob die neuesten „neuromorphen Chips“, die die Natur technisch wesentlich genauer nachbilden, hier weiteren Fortschritt bringen, wird man in den kommenden Jahren beobachten können.

Ein anderes, sehr eingängiges Beispiel für erfolgreiche Abstraktionen ist das Studium des Vogelflugs und die auf Basis dieses Vorbilds konstruierten Flugmaschinen von Leonardo da Vinci. Während diese frühen Studien letztlich den Grundstein für die spätere Formulierung der Prinzipien des Fliegens gelegt haben, ist es dennoch unsinnig, einen vergrößerten Vogel als Basistechnik für die Luftfahrt nachzubauen: Deren Erfolg gründet auf einer angemessenen technischen Abstraktion des Vogelflugs und nicht auf dessen direkter Kopie.

Biologische Intelligenz bedingt einen Körper; ein Gehirn existiert niemals allein. Der Körper seinerseits ist eingebettet in die Umwelt; er verfügt über die Sensorik und Aktorik zur Wahrnehmung der Umgebung und zu ihrer aktiven Veränderung – man spricht in diesem Kontext von „embodiment“ als Voraussetzung der Entwicklung biologischer Intelligenz. Sensorik, Gehirn und Aktorik sind damit über die Umwelt in einer geschlossenen Schleife verbunden. Im Zusammenspiel dieser drei Einheiten bildet sich über die Zeit ein inneres Modell der äußeren Umwelt aus. Werden in diesem Modell nun beispielsweise Wissenslücken erkannt, die etwa die Ausführung einer Manipulationsaufgabe unmöglich machen, kann der Gesamtorganismus durch aktive Exploration selbst dafür sorgen, dass er genügend Wissen für die Erfüllung der vorgelegten Aufgabe erwirbt.

Der Körper ist also nicht nur passive Hülle für das Gehirn, sondern aktive Komponente kognitiver Prozesse, mithin also von Intelligenz. Da man von einem KI-System in Zukunft ebenfalls die selbständige Gewinnung von Information und die darauffolgende selbständige Durchführung von Aufgaben erwartet, gewinnt die Robotik als Wissenschaft des „künstlichen embodiments“ derzeit stark an Bedeu-

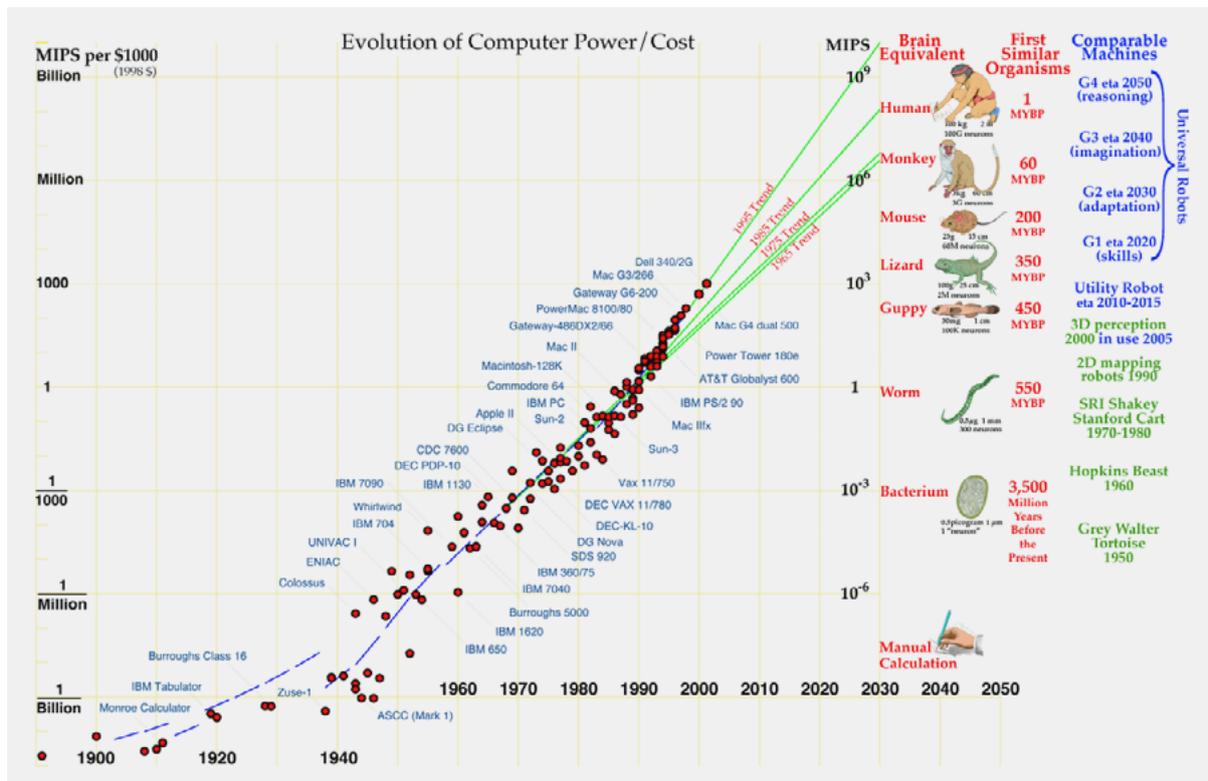


Abbildung 3: Beispiel für eine Prognose der KI-Entwicklung unter der Frage: „Wieviel Rechenleistung brauchen wir, um die Intelligenz des menschlichen Gehirns nachzubauen“.

tung – die zunehmend verwendete Begriffseinheit „Künstliche Intelligenz und Robotik“ bringt diese enge wechselseitige Beziehung zwischen den beiden Disziplinen prägnant zum Ausdruck.

Eng verbunden mit den Begriffen KI, Robotik und embodiment ist auch die Frage nach maschinellem Bewusstsein. Jenseits ethischer und philosophischer Betrachtungen mag dieser Aspekt für praktische Anwendungen zunächst weitgehend irrelevant erscheinen. Tatsächlich aber, so

eine Hypothese, könnte Bewusstsein durch Mechanismen zur Aufmerksamkeitssteuerung oder Zusammenführung verteilter Informationsströme eine wichtige Rolle bei der effizienten Informationsverarbeitung im Gehirn spielen – ein Aspekt, der beispielsweise für das autonome Fahren enorm wichtig ist. Solche Hypothesen sind derzeit Gegenstand aktueller und teilweise auch kontroverser Diskussion, zumal noch nicht einmal Übereinstimmung darin besteht, was Bewusstsein überhaupt ist bzw. ob und wie es quantifiziert werden kann.

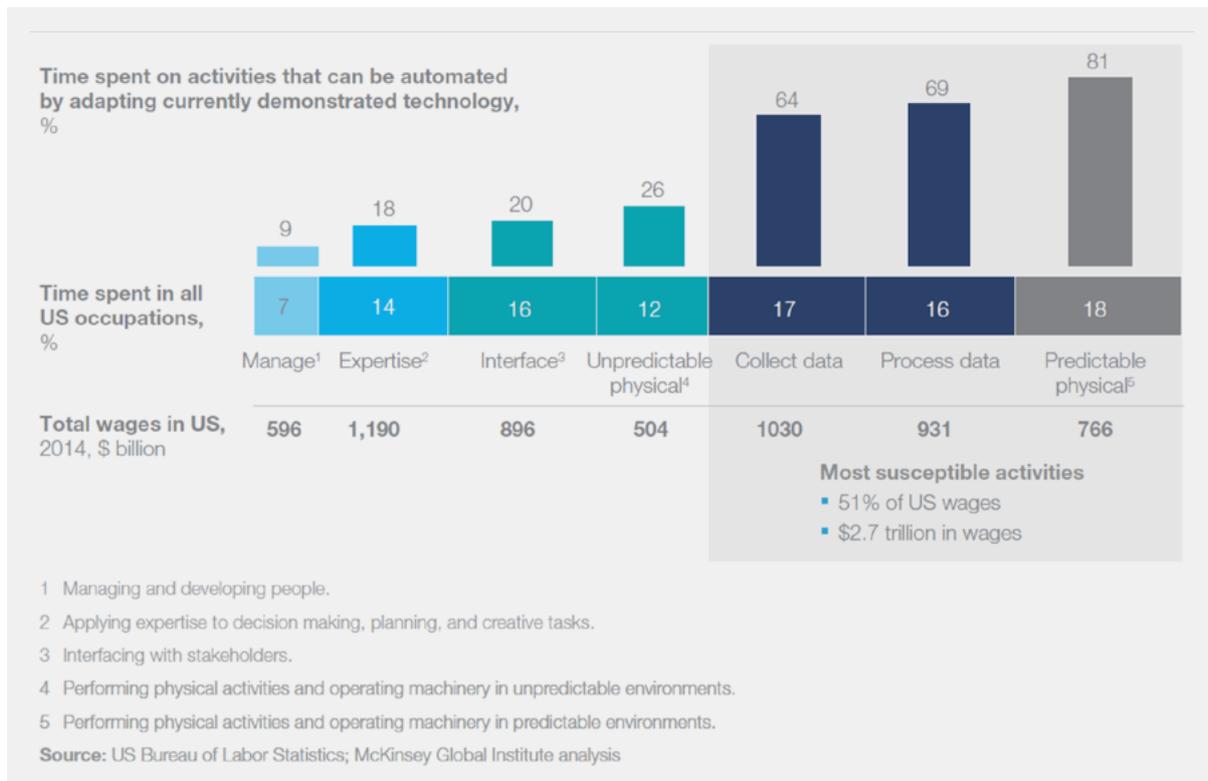


Abbildung 4: Studie für den US-Arbeitsmarkt zur zeitlichen Aufteilung von Tätigkeitsklassen und ihren jeweiligen Automatisierungspotentialen

## Chancen und Risiken der KI

Vor dem skizzierten Hintergrund ist es durchaus produktiv, die Frage zu stellen, wie denn eine zukünftige KI aussehen kann, die sowohl der menschlichen Gesellschaft als Ganzes als auch dem einzelnen Nutzen bringt und dabei den Gegebenheiten Rechnung trägt, die aus der Verbindung von zukünftiger Hardware- und Softwaretechnik folgen. Denn wir werden es auch in Zukunft in der Hand haben, die Werkzeuge, die uns die Informatik an die Hand gibt, in jedweder Hinsicht zu formen und den Einfluss zu bestimm-

men, den diese auf unser Leben nehmen können. Dystopische Szenarien sind ebenso denkbar wie ausgesprochen positive Entwicklungen; der Streit über mögliche zukünftige Verläufe hat allerdings zwangsläufig den Charakter eines Glaubenskampfes. Stichworte sind Robotersteuer, bedingungsloses Grundeinkommen, Verbotszonen für den KI-Einsatz – vielfach von der Angst getrieben, der Einsatz von KI führe zu massivem Arbeitsplatzverlust und in der Folge zu verschärften sozialen Spannungen. Abbildung 4 zeigt die Verhältnisse für den amerikanischen Arbeitsmarkt, unter der Voraussetzung, dass gegenwärtig verfü-

bare Technik auch überall zur Automatisierung eingesetzt wird.

Man kann durchaus der Ansicht sein, dass dies angesichts des enormen Rationalisierungspotentials der KI eine unvermeidliche Folge ist. Ebenso kann man aber auch die Meinung vertreten, dass trotz der seit den siebziger Jahren immer stärker zum Einsatz kommenden Informations- und Kommunikationstechnik der allgemeine Produktivitätsfortschritt im Vergleich zum Anfang des letzten Jahrhunderts immer geringer wurde, und dass es bei flächendeckender Nutzung von KI nicht notwendigerweise anders kommen muss. Damit ihre Nutzung jedoch Erhöhung der Lebensqualität und des gesamtgesellschaftlichen Wohlstands bringt, sind sicher mutige und vorausschauende Entscheidungen der Politik gefordert.

Wir versuchen im Folgenden eine realistische Einordnung.

## Was ist KI, was leistet sie prinzipiell: Ziele und Inhalte der KI-Forschung

Geprägt wurde der Begriff während der „Dartmouth Conference“ (Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence), die 1956 in Hanover, New Hampshire, USA stattfand – interessanterweise also noch vor der Verfügbarkeit der ersten leistungsfähigen Rechner und Industrieroboter. Die Konferenz gilt gemeinhin als Geburtsstunde des Fachgebiets der Künstlichen Intelligenz und war mit den bekanntesten Mathematikern, Logikern und Informationstheoretikern jener Zeit besetzt.

1956 ging es einerseits um sehr praktische Dinge, wie „automatische Rechner“, „neuronale Netzwerke“, um eher mathematische Überlegungen zur „Theorie zum Umfang einer Rechenoperation“ und zur „Abstraktion“, aber auch schon um „Sprachverstehen“, „Selbst-Verbesserung“ und „Zufälligkeit und Kreativität“ – mithin also um Geistesleistungen, die wir weniger mit Maschinen als mit unserer

menschlichen Intelligenz verbinden und für die diskutiert wurde, wie man sie als Rechenaufgabe formulieren und dann mit Hilfe von Rechen-Maschinen nachbilden könnte.

Wir fassen heute unter dem Sammelbegriff der „Kognition“ Geistes-Leistungen wie abstraktes Problemlösen, logisches Folgern, Mathematik, Sprache, Lernen und Gedächtnis zusammen. Aus der Sicht der Informationsverarbeitung spricht man inzwischen gern von den drei Stufen *Perzeption* (Wahrnehmung über die fünf Sinne Sehen, Hören, Fühlen, Riechen, Schmecken), gefolgt durch die Stufe der *Kognition*, in der die Wahrnehmungen bewertet und zu Entscheidungen geführt werden, wie wir das wahrgenommene dann in *Aktionen* umsetzen, d.h. unseren Körper bewegen.

Seither ist das allgemeine Verständnis von KI einem stetigen Wandel unterworfen: Wurden zu Beginn Leistungen von Maschinen wie automatische Schrifterkennung, symbolisches Gleichungslösen, Routenplanung (heute unter anderem die Grundlage für Navigationssysteme), maschinelle Übersetzung, Erkennung von Objekten in Bildern, Aufspüren von Strukturen in großen Datenmengen oder auch Schachspiel als Ziele der KI verstanden, so sind diese Fähigkeiten heute Allgemeingut, auf jedem Smartphone verfügbar und werden gar nicht mehr als aus der KI kommend oder ihr zugeordnet wahrgenommen.

Diese keineswegs vollständige Auflistung von Erfolgen der KI zeigt bereits ein wesentliches Merkmal des Wissenschaftsfelds KI: Hier wurden und werden Ziele für die Informatik formuliert, die zum jeweiligen Zeitpunkt möglicherweise als „spinnert“ angesehen werden, dann aber die Forschung inspirieren, zu Prototypen führen und schließlich zu ganzen Wirtschaftszweigen heranwachsen. Es spricht alles dafür, dass sich dieser Zyklus in Zukunft beschleunigt und die KI sich auf Dauer zu einem wesentlichen Treiber für die Weiterentwicklung der Informatik insgesamt entwickelt.

Die KI ist damit bereits heute ein wesentlicher Faktor der Digitalisierung und macht eine Vielzahl von gängigen Anwendungen überhaupt erst möglich.

### KI im letzten Jahrzehnt: der Siegeszug von neuronalen Netzen und maschinellem Lernen

Was also ist mit der KI in den letzten Jahren geschehen, dass sie nun wieder intellektuell herausfordernd, als Wissenschaftsdisziplin attraktiv, vor allem aber wirtschaftlich enorm interessant macht?

Vordergründig sind es die Erfolge, die vor allem Google beim „*deep learning*“ popularisiert hat, einem Teilgebiet des maschinellen Lernens und damit der KI, in dem einige schon seit längerem bekannte Verfahren aus dem Bereich der „künstlichen neuronalen Netze“, also Datenverarbeitungsmethoden, die durch die Struktur biologischer Neuronen-Netze inspiriert wurden, auf große Datenbestände angewendet werden. Damit können beispielsweise riesige Bildarchive auf das Vorhandensein bestimmter Objekte – wie etwa Katzen in Urlaubsbildern – durchforstet werden. Der Erfolg ist auch hier wieder in einer leistungsfähigen Abstraktion vom biologischen Vorbild, dem Gehirn, begründet.

Das traditionelle Gebiet der automatischen Mustererkennung (mit den Anwendungen Spracherkennung, Bildverarbeitung, Qualitätsprüfung, Prozessoptimierung und vielen weiteren) hat von solchen Verfahren bereits enorm profitiert, und dies wird weitergehen. Ferner konnte von der Google-Tochterfirma Deepmind mit der KI „AlphaGo“ gezeigt werden, dass das hochkomplexe Brettspiel „Go“ nun auch – wie Schach – mit Rechnern auf Weltmeisterniveau spielbar ist. Seit neuestem beginnen sogar Spiele, die mit „Überraschung und Emotion“ arbeiten, sich dem Rechner zu erschließen; jüngstes Beispiel ist die KI „Libratus“ aus Pittsburgh, die im Januar 2017 ein hochrangiges Pokerspiel mit Millioneneinsatz gewann. Der hinter Libratus stehende

methodische Ansatz eignet sich für den Umgang mit unvollständiger und widersprüchlicher Information und kann insbesondere auch mit Gegnern umgehen, die das System bewusst in die Irre führen wollen – und falls nötig, kann Libratus auch selbst den Gegner täuschen. Bei erfolgreicher Weiterentwicklung ergeben sich direkte Anwendungsmöglichkeiten bei (rechnergestützten) Verhandlungen in jedem Bereich der Wirtschaft, medizinischen Expertensystemen und Cyber-Sicherheit.

Diese Beispiele zeigen, dass die Digitalisierung vieler zukünftiger Anwendungsbereiche auf der KI aufsetzt, ja durch sie erst möglich wird. Umgekehrt ist aber auch klar, dass die zugrundeliegende Methodik und die Grundtechniken nunmehr massentauglich und zuverlässig, dabei billig und somit prinzipiell überall einsetzbar sind. Dies umso mehr, als durch die Digitalisierung der Kommunikationsnetze die „Versorgung“ mit KI-Leistung praktisch an jeder Stelle möglich ist oder mittelfristig sein wird. Der nächste Schub von Anwendungen wird daher die gesamte Wirtschaft betreffen, denn auf der Basis der Grundtechniken wird auch die Anpassung an die typischerweise sehr viel komplexeren und kundenspezifischeren Einsatzfälle in der Industrie möglich – „Industrie 4.0“ braucht KI ebenso wie „Society 5.0“, die japanische Vision einer zukünftigen Gesellschaft, in der alles dank vollständiger Digitalisierung komplett vernetzt ist und Robotik, Cloud-Computing, Big Data und KI eine Einheit bilden.

Die Weichen dazu werden jetzt gestellt, und deshalb empfiehlt es sich, jetzt in die Nutzung der KI im Wirtschaftsumfeld und die Schaffung der Rahmenbedingungen (KI-Forschung, KI-Ausbildung, Kompetenzzentren, Entwicklungsprojekte, Wirtschaftsförderung, gesellschaftliche Aufklärung) zu investieren. Dabei ist es aufgrund der Vielgestalt der KI nicht einfach, sich auf eine Menge von kanonischen Themen zu einigen, aber zumindest aus heutiger Sicht empfehlen sich zur Absicherung der methodischen Kompetenz die Bereiche Robotik, Wissensverarbeitung und Planung, Lernen und Mustererkennung sowie

Sprach- und Bildverarbeitung. Eine ganz entscheidende Rolle kommt auch der rechnergerechten Modellierung von Prozessen und unserer realen Umwelt zu, wobei die Modelle einerseits auf physikalischen oder mathematischen Grundbegriffen fußen können, andererseits aber zunehmend durch Ableitungen aus großen Datenmengen gewonnen werden. Hier besteht ein enger Bezug zwischen „Big Data“ und der KI.

Ein schon klassisches Beispiel für die Wichtigkeit der Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen, das zunächst vor allem den Bereich der Forschung und Ausbildung stärkt, ist Amazon Robotics: Auf der Basis ihrer Erfahrungen mit intelligenten mobilen Robotern zum Ballspielen im „RoboCup“-Wettbewerb (einer KI-/Robotik-Veranstaltungsreihe ohne jeden Wirtschaftsbezug, deren Anfänge bis 1992 zurückreichen), entwickelte ein Hochschulteam der Universität Cornell die Technologie der mobilen Roboter, die heute die Logistik-Grundlage für das Lagerhaus-System von Amazon darstellt. Sie gründeten um 2003 das Unternehmen Kivsystems, das 2012 für fast 800 Millionen US-Dollar an Amazon verkauft wurde. Ein weiteres Beispiel aus diesem Umfeld: Grundlage für den Erfolg der Firma Aldebaran Robotics aus Frankreich und deren humanoïden Kleinroboter „Nao“ war ebenfalls der RoboCup. Dort wurde Nao zur Standard-Plattform in der Liga der Humanoïden und rasch weltweit bekannt. Aldebaran Robotics wurde 2008 gegründet und 2013 für 120 Millionen US-Dollar an die japanische Firma Softbank verkauft.

Vielleicht weniger spektakulär als diese Start-up-Erfolgsgeschichten, aber vermutlich deutlich wichtiger, ist die Tatsache, dass die RoboCup-Teams jeweils nach dem Ende des Wettbewerbs ihre gesamten Programme offenlegen mussten. Damit musste jeder Teilnehmer also potentiell beim nächsten Mal gegen seinen eigenen vorigen Stand antreten und deshalb möglichst umfangreiche neue Ideen einbringen, was den Wettbewerb enorm beschleunigte. Vor allem aber wurde hier quelloffene Software erzeugt, die nachher von jedermann verwendet werden konnte,

und das ist zum Nutzen der gesamten Gesellschaft auch in großem Umfang passiert.

### KI in der Praxis heute: Welcher Stand ist erreicht?

In den letzten zehn Jahren war neben der Weiterentwicklung der Methodik vor allem die zuverlässige Verfügbarkeit von großen Datenmengen – über die digitalen Kommunikationsnetze – und massiver Rechenleistung – getrieben durch die Nachfrage von Dienstleistern wie Google und Facebook – entscheidend für die Durchbrüche in der KI. Auf der einen Seite ist es bei der künstlichen Intelligenz wie bei der natürlichen: Nur dann, wenn aus einer abwechslungsreichen Umwelt genügend Trainingsbeispiele – also große Datenmengen – vorliegen, kann ein Lebewesen sich durch lernende Interaktion mit der Welt auf sein Leben vorbereiten und permanent auf neue Herausforderungen reagieren. Auf der anderen Seite beruhen wesentliche menschliche Intelligenzleistungen auch auf der Kommunikation mit unseren Artgenossen, was für KI-Systeme ebenfalls entscheidend sein wird, um sich laufend, idealerweise in Echtzeit, durch gegenseitigen Datenaustausch an neue Erfordernisse anpassen zu können.

Die Digitalisierung schafft also auch hier die Voraussetzung dafür, dass jetzt Konzepte des maschinellen Lernens, der Mustererkennung und der „Autoprogrammierung“ realisierbar und vor allem praktisch in großem Maßstab nutzbar werden, die vor zwanzig oder dreißig Jahren im Grundsatz formuliert wurden, aber damals kein Potential für die wirtschaftliche Umsetzung hatten: Weder waren ausreichende Datenmengen noch entsprechende digitale Kommunikationswege oder allgemein zugängliche billige Rechenkapazität verfügbar. Insofern ist es auch folgerichtig, dass die Bereiche „Cloud-Computing“, maschinelles Lernen und automatische Mustererkennung sowie „Cognitive Computing“ vielfach in einem engen Zusammenhang gesehen und entwickelt werden.

Wir haben es also mit einem qualitativen Durchbruch zu tun, der auf der Digitalisierung und der damit verbundenen rasanten Entwicklung der Rechen-, Kommunikations-, Speicher- und Softwaretechnik in den letzten Jahrzehnten fußt – Quantität führt hier zu neuer Qualität. Immerhin hat sich innerhalb der letzten dreißig Jahre die reine Rechengeschwindigkeit eines PCs mindestens vertausendfacht, bei Speicherkapazität und Kommunikationsleistung sprechen wir eher von einem Faktor von einer Million, während der Preis und der Raumbedarf vielleicht noch ein Zehntel betragen. Oft wird dabei der wichtigste Faktor allerdings vergessen: Der Umfang der Software hat sich von PC-DOS zu Windows 7 verzehntausendfacht, ein Großteil der Wertschöpfung anspruchsvoller Systeme findet heute im Bereich Softwareerstellung statt; die schon angesprochenen amerikanischen Unternehmen sind fast reine Softwareschmieden. Des Weiteren hat sich über die Entwicklung von immer leistungsfähigeren Entwicklungswerkzeugen die Produktentwicklungszeit auf einen Bruchteil verkürzt und die handhabbare Komplexität wird immer größer. Dieser Trend wird sich weiter verstärken und über automatisches maschinelles Lernen werden zukünftige Systeme die bislang oft zeitraubende Anpassung an eine veränderte oder auch neue Aufgabe in vielen Fällen ganz allein ausführen können. Schließlich gelingt über immer feiner auflösende, schnelle, universelle und spottbillige Sensorik von optischen Kameras über Radare bis hin zu taktilen Meßaufnehmern eine Ankopplung an den Zustand der physischen Umwelt, der noch vor wenigen Jahren völlig undenkbar erschien.

Dieser enorme Zuwachs an Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig verschwindenden Grenzkosten (nur noch Software!) hat schon heute erhebliche Auswirkungen für die Nutzung von Rechentechnik im Alltag – und wird in Zukunft dramatische Folgen für alle Gesellschaften haben. Dafür braucht es einen eingängigen Namen: Der Begriff „KI“ ist deshalb ein passendes Strukturierungs- und Erklärungskonzept. Man kann aus dieser Sicht die sich über die Zeit entwickelnden Fragestellungen der KI auch als Wegweisungen

interpretieren, um diesen gewaltigen technischen Fortschritt in sinnvolle Bahnen zu lenken und dabei sowohl als Zielmarke (Erbringung möglichst vieler Kognitionsleistungen) als auch als Organisationsprinzip (wie baue ich solche Rechner?) nützlich zu sein. An visionärer Kraft mangelt es dabei nicht: Noch haben wir kaum in wenigen Feldern eine dem menschlichen Vermögen nahekommende Kognitionsleistung erreicht, da spricht man schon vom neuen Ziel der „Artificial General Intelligence“ (AGI) oder auch „Strong AI“. Deren Zielstellung sind Maschinen, die jede intellektuelle Leistung des Menschen nachbilden, einschließlich möglicherweise der Ausbildung von maschinellem Bewusstsein.

In der Öffentlichkeit ist wegen der Erfolge von Google und deren massiver Werbung der Eindruck entstanden, mit „Deep Learning“ – also dem Training künstlicher Netze mit vielen nacheinander geschalteten Schichten mit großen Anzahlen von Neuronen – ließen sich nun alle Probleme lösen, die sich für eine KI ergeben, das sei nur eine Frage der Zeit. Das ist sicher nicht so: Deep Learning ist nur einer der Vertreter einer wesentlich größeren Gruppe von Lernverfahren, welche ihrerseits nur einen Teil des Feldes des maschinellen Lernens darstellen, das wiederum nur ein Teilbereich der KI ist. Wir haben es also mit einem ersten Einstieg in das Feld der KI zu tun, der sich deshalb ergeben hat, weil die Rahmenbedingungen dafür günstig waren.

Dennoch liegt schon heute – wohlgerne durch die rasante Entwicklung nur eines Teils der KI – ein Stand vor, der zu einer Vielzahl neuer und letztlich stark verbesserter Anwendungen führt: In der maschinellen Übersetzung, bei sprachgesteuerten Assistenten wie Siri, Cortana, Alexa, möglicherweise bei den selbstfahrenden Autos, in der medizinischen Diagnose und vielen anderen Feldern. Diese bestimmen schon jetzt Milliardenmärkte, und das Volumen wird weiter rasch zunehmen.

Aus technischer Sicht lässt sich festhalten, dass aufgrund des angedeuteten dramatischen Zuwachses an Sensorik- und Verarbeitungsleistung die zunehmend weiträumig

verteilten und hochgradig vernetzten Rechnersysteme durch Wahrnehmung (von Prozessen in realer Umwelt oder in virtuellen Datenräumen) immer mehr zu lernfähigen (trainierbaren, selbstlernenden) Kognitionsmaschinen mit spezialisierten Kompetenzen und prinzipiell beliebig hohem Durchsatz werden. Zunächst wird hierzu die reale, physische Welt (über Sensoren) schritthaltend in Rechner abgebildet. Damit können dann Anfragen über beobachtbare und/oder ableitbare (komplexe) Zusammenhänge (natürlichsprachlich) gestellt werden – neues Wissen kann entstehen. Schließlich können Systeme mit angeschlossener Aktorik dann über geeignete (trainierbare) Verhaltensmuster direkt in die Umwelt eingreifen, also zum Beispiel Prozesse steuern.

### Maschinelles Lernen als neuer Produktivitätsmultiplikator in der Industrie

Nach der Prognose von Crisp Research für den Verband Bitkom wird der Markt für Produkte, die auf Techniken für maschinelles Lernen fußen, also „der globale Umsatz mit Hardware, Software und Services rund um Cognitive Computing und Machine Learning im Jahr 2017 um 92 Prozent auf 4,3 Milliarden Euro wachsen.“ Und weiter: „Bis zum Jahr 2020 wird sich das Weltmarktvolumen dann voraussichtlich auf 21,2 Milliarden Euro mehr als verfünffachen.“ In einer ebenfalls von Crisp durchgeführten Befragung zum Einsatz von Machine Learning in einer Stichprobe von 264 deutschen Unternehmen sagten 4% der Führungskräfte, dass sie maschinelles Lernen bereits im produktiven Einsatz in weiten Bereichen ihres Unternehmens haben, 17% setzen es bereits teilweise ein, erste Erfahrungen haben 25% gemacht, 18% evaluieren die Möglichkeiten und 36% haben noch keine Aktivitäten in diesem Bereich entwickelt.

Im Unterschied zu früher, als man für die Lösung auch einfacher Aufgaben ein eigenes Rechenzentrum benötigte, ist der Einstieg und die Umsetzung dank Cloud-Technik, dort angebotener Dienste und Infrastrukturen sowie durch

quelloffene und teilweise auch sehr einfach zu nutzende Software denkbar leicht – im einfachsten Fall kann man mit einem Tablet-Computer starten.

Es gibt also bei heutigem Stand gute technische und finanzielle Gründe, sich mit der Technologie zu beschäftigen und das Potential auszuloten. Dies mündet auch in einer generelle Empfehlung an die Unternehmen: Sie sollten keine Scheu haben, die neuesten Dinge auszuprobieren, schnelle Schritte nach vorn zu machen über Modellversuche, Simulationen: Hier geht Probieren über Studieren.

Das Gleiche gilt für die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter – unter Einsatz der Technik zur persönlichen Assistenz, zur Verwendung im jeweiligen Arbeitsumfeld oder für unternehmensweite Information und Entscheidungsunterstützung.

Die KI ist also auf dem Weg in die Praxis. Doch wie geht es nun weiter? Die Theorie für maschinelles Lernen und die automatische Analyse großer und größter Datenbestände sind inzwischen ausgereift; die Methoden und Werkzeuge stehen zur Verfügung. Einem großflächigen industriellen „Ausrollen“ für konkrete Anwendungen in den genannten Gebieten steht nichts mehr im Weg. Start-ups sind an vielen Stellen unterwegs, um mit methodischem Wissen und praktischer Erfahrung in der Nutzung der Werkzeuge neuartige Dienste und damit verbundene Geschäftsmodelle auszuprobieren.

Die Basis-Infrastruktur wird auf absehbare Zeit von den großen US-Unternehmen zur Verfügung gestellt werden. Diesen wird zunehmend bewusst, dass die Beachtung von Wünschen europäischer Kunden zu Daten- und Vertrauensschutz eine wesentliche Voraussetzung für Erfolg ist. Derzeit zeichnet sich nicht ab, dass es einen politischen Willen oder seitens der deutschen Wirtschaft eine Bereitschaft zur Investition in den Aufbau unabhängiger Cloud-Strukturen oder damit direkter verbundener Dienste gibt.

## Kompetenzaufbau und Spezialisierung in der KI als Chance für die deutsche Industrie

Umso wichtiger ist die Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie unter bestmöglicher Nutzung des etablierten Methoden- und Werkzeugumfelds. Das bedeutet einerseits, das Wissen über komplexe Produkte, Systemlösungen und Produktionsprozesse mit der Methodik zu kombinieren und daraus maßgeschneiderte Lösungen für die Industrie zu konstruieren, die die Überzahl der weitgehend auf den Massenbedarf setzenden US-Firmen nicht bieten werden. Es verhält sich hier ähnlich wie in der Mikroelektronik: Deutschland baut schon lange keine Prozessoren mehr in nennenswerter Stückzahl, und doch ist es gelungen, bei der Integration der Mikroelektronik-Komponenten zu hochwertigen Systemen eine Führungsrolle zu übernehmen und diese sogar im Laufe der Jahre auszubauen.

Die KI wird in technischen Systemen in Zukunft zwei Schlüsselfunktionen übernehmen: Zzum einen werden in den Systemen an unterschiedlichsten Stellen eine Vielzahl von Daten entstehen, wie Messwerte aus Kameras in Echtzeit bei autonomen Autos, Werte aus tausenden von Messpunkten zur Überwachung von allen Komponenten einer Produktionshalle bis hin zu den Ergebnissen aus den Sensoren, die Personen in einem Gebäude an ihrem Körper zur Aufzeichnung von Vitalfunktionen tragen. Diese Daten sind zu analysieren, miteinander in Bezug zu setzen, zu interpretieren und dann darauf fußend dann Entscheidungen zu treffen, typischerweise in Kommunikation mit anderen Entscheidungsinstanzen, z.B. in einer anderen Fabrik derselben Firma. Die für die Entscheidungsfindung nötige Kognitionsleistung kann nur von ausgefeilter KI erbracht werden.

Die zweite Schlüsselfunktion ist die Kommunikation zwischen diesen hochkomplexen Systemen und dem Menschen: Nur dann, wenn die Systeme ihre innere Komplexität vor dem Menschen verbergen und diesen – durch ihr

Wissen um die menschliche Intelligenz und Interaktionsfähigkeiten – in die Lage versetzen, sich mit ihnen so direkt und unkompliziert wie mit einem menschlichen Kommunikationspartner auszutauschen, werden sie auf Dauer Akzeptanz finden.

Beispiele, die hier bereits Einzug in den betrieblichen Alltag halten, sind virtuelle Agenten, die die Bedienung von anderen Softwaresystemen übernehmen (RPA: „Robotic Process Automation“) oder aber deutlich verbesserte maschinelle Übersetzer, automatische Generatoren von kurzen Routinetexten auf der Basis von Wirtschaftsdaten, automatische Übersetzer von Bildern in Texte, Echtzeit-Visualisierer von Prozessen und deren Zuständen auf der Basis natürlichsprachlicher Anfragen.

Hier entsteht eine ganze Landschaft von „virtueller Arbeitskraft“, also Assistenten, die auch über weite Strecken Arbeitsabläufe übernehmen können, die bislang von Menschen in Kooperation mit Rechnersystemen bearbeitet wurden. Dies ist vergleichbar mit der sukzessiven Einführung immer leistungsfähigerer Assistenzsysteme im Auto, die über immer längere Strecken selbst fahren können – die Erreichung vollständiger Autonomie ist ein schleichernder Prozess, kein plötzliches Ereignis.

Mit Blick auf die vor uns liegenden Entwicklungen ist es deshalb von größter Wichtigkeit, Systemintegrationskompetenz für KI aufzubauen und diese möglichst rasch produktiv in der Wirtschaft zu nutzen. Denn eines ist klar: Die Arbeitswelt wird sich drastisch verändern, und wir werden alle nicht nur unsere traditionellen Arbeiten anders ausführen, sondern ganz neue Aufgaben erledigen können – unterstützt durch Assistenten, die unter Nutzung von Wissen sowohl im Cyberspace als auch in unserer realen Welt für uns und ggf. auch für sich selbst handeln können. Vor allem aber muss es darum gehen, die nächsten Schritte der KI-Entwicklung aktiv mitzugestalten. Dies liegt gerade hier besonders nahe, weil KI-Forschung schon immer selbstverstärkend war, verstärkt sie doch die Produktivität

der Wissenschaftler in immer größerem Maße: KI-Techniken waren schon immer auch Werkzeuge im Forschungsprozess. Klassisches Beispiel sind symbolische Gleichungslöser, heute in Form der Programme „Mathematica“ oder „Maple“ in millionenfachem Einsatz – kaum ein Ingenieur arbeitet mehr ohne sie. Gleichzeitig sind sie die „Arbeitstiere“ bei der Entwicklung von Algorithmen der KI.

Weitere gute Beispiele für KI als „Forschungswerkzeug“ sind die synthetische Methodik – „Understanding by building“ (nur dann, wenn ich einen Roboter bauen kann, habe ich wirklich verstanden, wie er funktioniert und kann Hypothesen darüber aufstellen, ob und wie es bei Lebewesen funktionieren könnte) – oder das Programm „Eureka“ von Hod Lipson, das automatisch die einfachsten mathematischen Beschreibungen von riesigen Datenmengen findet. Wie bereits zuvor am Beispiel des Vogelflugs skizziert, kommt das durch solchen Nachbau erweiterte Verständnis direkt praktischen Anwendungen in der Industrie zugute – je nach Art des Nachbaus oder der Inspiration entweder direkt oder in abstrahierter Form.

Ebenso wichtig wie die Schaffung einer geeigneten Infrastruktur an Werkzeugen und Methoden – insbesondere solche, die über die von den US-Firmen bereitgestellte Basis hinausgehen – sind Investitionen in die Ausbildung aktueller und künftiger Generationen von Forschern und Entwicklern. Die KI wird als Schlüsseltechnologie der Digitalisierung zukünftig ein genauso alltägliches und selbstverständliches Werkzeug wie es der Computer heute ist – aber noch vor dreißig Jahren keineswegs war. Der Erwerb entsprechender Kompetenzen auf diesem Gebiet ist damit schon heute essentiell.

Allerdings ist dieser Fortschritt keineswegs ein Selbstläufer, der nur dadurch entsteht, dass immer mehr vernetzte Rechner und Speichersysteme aufgestellt werden. Es wird vielmehr darauf ankommen, gezielt in die Spitzenforschung auf diesem Gebiet zu investieren (was leider in Deutschland in den letzten 10 bis 15 Jahren kaum der Fall

war), und dabei die studentische Ausbildung nicht zu vernachlässigen. Schließlich stellen auch die Umsetzung der Ergebnisse der Forschung in praktisch einsetzbare Programme und Systeme sowie vor allem deren Integration in größere technische Einheiten enorme Herausforderungen dar.

Es ist auch klar, dass mit zunehmender Verbreitung der KI als „commodity“ sich die Ausbildungsberufe entsprechend anzupassen haben. Immerhin haben wir ja gezeigt, dass solch ein Anspruch auch hierzulande eingelöst werden kann: Deutschland hat im Bereich Industrie 4.0, also der Digitalisierung und Vernetzung der industriellen Produktion sowie der Mensch-Roboter-Kooperation, eine weltweit führende Rolle und auch bereits Nachahmer gefunden: „Made in China 2025“ in China und „Society 5.0“ in Japan – letzteres ist sogar deutlich breiter als Industrie 4.0.

Ein entscheidender Faktor zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie sind daher verstärkte und gezielte Investitionen in Forschung und Entwicklung, etwa die Schaffung von Kompetenzzentren, gut ausgestattete Förderprojekte, gezielte Unterstützung von Gründern sowie die Aufklärung der Öffentlichkeit über Potentiale und Grenzen der KI.

### Bedeutung und Verstehen – das nächste große Ziel der KI

Was ist nun in den nächsten Jahren realistisch zu erwarten, wenn die Geschwindigkeit des Fortschritts in der KI-Forschung und ihrer Umsetzung weiter anhält oder sich auf der Basis der Interessen der großen Kapitalgesellschaften aus USA und China weiter beschleunigt?

Der nächste qualitative Entwicklungsschritt für KI-Systeme wird die Erschließung von „Bedeutung“ sein. Dazu nehmen wir noch einmal das Beispiel der Bildsuche: Wenn einmal klar ist, wie eine Katze typischerweise – also in Millionen

von Urlaubsbildern immer wieder ähnlich – aussieht, dann kann man ohne weiteres eine Suchanfrage „Zeig mir alle meine Urlaubsbilder, die eine Katze beinhalten“ stellen. Das Bildsuchsystem wird diese dann in kürzester Zeit zur Verfügung stellen – viel schneller als jeder Archivar.

Das heißt aber keineswegs, dass das System nun irgendeine Bedeutung mit dem menschlichen Konzept „Katze“ verbinden würde – es hat überhaupt keinen Begriff davon, was das, was es sucht, für uns als Menschen bedeutet. Deshalb sind Suchanfragen, die über reines Auffinden und Ausliefern von „ähnlichen Bildern“ hinausgehen, nicht zu beantworten. Und auch dies funktioniert nur, weil ein Mensch die Zeichenfolge „Katze“ für das System mit einem bestimmten Muster verknüpft hat. Schon eine Anfrage wie die nach „schlanken Katzen, die mehr als einen Meter hochspringen können“ ist damit nicht zu beantworten, geschweige denn eine Anfrage nach der „Katze, die mich gestern im Restaurant umschlich.“

Das wird erst möglich, wenn die Systeme nicht nur die Bedeutung eines menschlichen Konzepts wie „Katze“ mit alle seinen schwammigen Facetten *verstehen* („eine Katze ist ein Säugetier, das man normalerweise als freundlich wahrnimmt und das sehr geschmeidig ist, ....“), sondern insbesondere auch *seine Einbettung in die Welt*, wie wir sie jeweils individuell kennen (denn natürlich erlebt jeder Mensch Katzen ganz unterschiedlich). Ebenso müssen solche Systeme einen Begriff von unserer inneren menschlichen Vorstellungswelt haben, damit wir uns ihnen und sie sich uns verständlich machen können – und damit Bedeutungs- und Sinnzusammenhänge gegenseitig erklärt werden können.

Kurz gesagt: Zukünftige KI-Systeme, die dem Menschen helfen sollen, müssen ein Modell unserer Vorstellungswelt haben, sie müssen sich aber ebenso uns erklären können, mit unseren eigenen Begriffen, Metaphern und Empfindungswelten.

Erst wenn sie den Sinngehalt und die Metaphorik von Texten, die Bedeutung von Beobachtungen sowie die Konsequenzen von Handlungen in einen Zusammenhang stellen und daraus nachvollziehbare Schlussfolgerungen ziehen, sinnvolle Dialoge führen sowie plausible Voraussagen für unsere Intentionen und unsere menschliche Wahrnehmung der Welt machen können, sich also im Wortsinne einen Begriff von unserer Welt machen können, wird die KI überall präsent sein.

Gleichwohl ist zweifelhaft, ob man mit der Weiterentwicklung von heute bekannten KI-Methoden irgendwann in der Lage ist, menschliche Intelligenz in ihrer Gesamtheit mit Rechnern und Robotern nachzubauen. Menschliche Intelligenz ist an den menschlichen Körper gebunden, und wer sie nachbauen will, braucht ebenso einen Nachbau des letzteren samt der Kopplung zwischen beiden.

## Die Bedeutung von Digitalisierung und Virtualisierung für die Zukunft der KI

Was muss nun getan werden, um nun aber zu „verstehen“ und in der Folge auch selbst-adaptierenden Systemen zu kommen?

Die Antwort ist vordergründig einfach und gleichzeitig vermutlich das schwierigste Unterfangen, das man sich vorstellen kann: Zum einen braucht man auf der methodischen Seite ein wesentlich besseres Verständnis von menschlichen Formen von Intelligenz, um daraus neue abstrahierte Modelle und Methoden für die KI ableiten zu können.

Für die praktische Seite gilt: „Alles muss in den Computer.“ Jegliche KI ist in einem Rechner und kann nur auf den Daten arbeiten, die ihr auf diesem Rechner – in diesem Raum – zur Verfügung stehen. Wenn wir nun erwarten, dass eine KI plausible und nachvollziehbare Antworten auf Fragestellungen findet, die mit unserer menschlichen Welt zu tun haben, muss sie diese Welt in einer für sie lesbaren Form zur Verfügung gestellt bekommen. Das heißt nichts weni-

ger, als dass unsere Welt virtualisiert werden muss – zumindest in dem Rahmen, in dem eine spezifische KI arbeiten soll: Alle in diesem Rahmen befindlichen lebenden und toten Objekte mit ihren Eigenschaften und Beziehungen, alles Wissen über ihre Entwicklung, ihr Verhalten, ihre inneren oder auch mentalen Zustände und deren Wechselwirkung mit den anderen Objekten und Lebewesen sind in dieser virtuellen Welt nachzubauen, d.h. durch geeignete Modelle zu repräsentieren. Wichtig ist hierbei, dass diese Modelle zunächst weder exakt noch vollständig sein müssen – denn eine solche Anforderung wird auf absehbare Zeit kaum umsetzbar sein. Vielmehr ist entscheidend, dass die für die jeweilige Anwendung wesentlichen Faktoren hinreichend genau repräsentiert werden. Diese Faktoren müssen – ähnlich wie beim Menschen – ständig geprüft und gegebenenfalls adaptiert oder erweitert werden.

Man spricht hier auch von der Konstruktion eines *digitalen Zwillinges* – er spiegelt alles im Rechner, was sich in der Außenwelt abspielt; er ist das Abbild unserer Welt für die im Rechner gefangene KI. Diese Modelle müssen wie beschrieben laufend durch Interaktion mit der realen Welt aktualisiert und vervollständigt werden, über eigene Sensorik oder über die Cloud – und: je detaillierter die Modelle, desto größer der Aufwand für dieses Aktualisieren und Vervollständigen. Diese Virtualisierung ist natürlich keine KI an sich, aber dennoch Voraussetzung, um die KI mit den Konzepten unserer realen Welt zu verbinden und sie damit für uns relevant werden zu lassen.

### Sich eröffnende Anwendungsfelder moderner KI

Wie weiter oben angerissen haben wir die Einsatzreife von Systemen erreicht, die aus ihnen in großer Zahl präsentierten Datensätzen automatisch Muster identifizieren und sich dann lernend so adaptieren können, dass sie diese Muster auch zuverlässig in solchen Datensätzen oder -strömen erkennen, die ihnen während der Lernphase

nicht gezeigt wurden. Dabei kann die Lernphase der späteren Anwendungsphase vorausgehen und mit Eintritt der letzteren beendet sein, oder aber es kann während der Anwendungsphase auch mit wählbarer Plastizität weitergelernt werden. Neuronale Systeme der neuesten Generation bauen während der Lernphase innere Abstraktionen auf, die es ihnen ermöglichen, Muster und Zusammenhänge zu erkennen, die über das hinausgehen, was ein Mensch in der Lage wäre zu leisten – einfach deshalb, weil sehr viel mehr Material pro Zeiteinheit verarbeitet werden kann.

Damit können Fragestellungen aus dem Umfeld „Big Data“ bearbeitet werden, die mit klassischen Methoden des starren Vergleichs von Suchmustern mit einem neuen Datensatz nicht zu lösen wären – beispielsweise Suchen nach Bildern oder ganzen Büchern ähnlichen Inhalts wie ein vorgelegtes Buch, Erkennung von Mustern in Serien von Wohnungseinbrüchen und Vorhersage nächster Einbrüche, Analyse von Maschinengeräuschen auf sich andeutende Defekte hin, Optimierung von Ressourcenvergaben in Mobilfunknetzen, Wiedererkennung von Verkehrsschildern. Diese Liste lässt sich schon heute mit real existierenden Systemen im Praxiseinsatz beliebig fortsetzen.

Von neuer Qualität hingegen ist die Verbindung dieser Verarbeitungsmethoden mit Sensorik im Echtzeitbetrieb wie beispielsweise zur automatischen schritthaltenden Analyse der großvolumigen Videostrome von Überwachungskameras im öffentlichen Raum. Damit kann nicht nur eine bestimmte Person automatisch identifiziert werden, was ja schon seit längerem möglich ist, sondern man wird auch Handlungsfolgen präzise analysieren können, etwa um zu erkennen, dass sich eine Gewalttat andeutet. Weniger spektakulär, aber dennoch zweifellos sehr nützlich sind Systeme, die Echtzeit-Daten von Sensoren an Flüssen, Autobahnen, Kraftwerken oder Hochhäusern zur Bestimmung, adaptiven Prädiktion und assoziativen Interpretation von Umweltparametern – Sauerstoffgehalte, Feinstaubbelastung, Temperatur etc. – auswerten können.



Abbildung 5: Zwei Groß-Systeme zur Nachbildung neuronaler Schaltkreise (links). SpiNNaker-System der Universität Manchester (rechts).

## Relevante Entwicklungsbereiche für Europa und Deutschland

Die am meisten *wahrgenommenen* – nicht notwendigerweise die *methodisch anspruchsvollsten* – Anwendungen werden dennoch diejenigen bleiben, die die großen US-Firmen Google, Amazon, Facebook unter großem Marketingaufwand in den Einsatz bringen werden, beispielsweise zur Vorhersage von Käuferverhalten aus Rückmeldungen von Kunden, zur Erkennung von sich anbahnenden Epidemien aus Anfragen an die Suchmaschine und – ganz neu – zur Berechnung von Nutzer-Suizidwahrscheinlichkeiten aus den Äußerungen im social network.

Wir betonen nochmals, dass es aus deutscher Sicht wichtig ist zu verstehen, dass diese Anwendungen aus den USA immer auf den eher einfach zu handhabenden, weil homogenen Massenmarkt zielen. Unsere Chance besteht deshalb darin, diese US-Entwicklungen zu nehmen, zu verstehen und auf die eher kleinteilige industrielle Praxis in

Deutschland zu übertragen, was ein intimes Verständnis der speziellen Problemlagen und dann die zielgerichtete Integration von KI-Techniken in den Produktionsprozess erfordert.

Wir werden allerdings in Europa den Stand nur halten – und in einigen Gebieten den Anschluss nur wiederherstellen können – wenn wir mit Blick auf unsere spezifischen Stärken in Industrie und Dienstleistungen an den richtigen Stellen investieren. Gegenwärtig sehen wir Notwendigkeit zur Unterstützung der folgenden Trends, die unmittelbaren Einfluss auf kommende Produkte haben werden:

- **Informatik-Grundlagen:** Der Methodenschatz der KI geht weit über das momentan populäre maschinelle Lernen mit neuronalen Netzen hinaus. Er sollte systematisch mit Blick auf das Potential für den industriellen

Einsatz untersucht und auf Anwendbarkeit in allen potentiellen Feldern hin ausdifferenziert werden. Aber auch im Bereich des Lernens ergeben sich mit Fortentwicklung der Hard- und Software neue Möglichkeiten, etwa im Bereich des sogenannten Verstärkungslernens oder bei der adaptiven Datenfusion heterogener Sensorquellen.

- **Detailliertes Studium des Gehirns und seiner Netzwerkstrukturen:** Damit wird eine bessere (Re-) Konstruktion von neuronalen Netzen und ihrer Arbeitsweise möglich, ferner ein besserer Einblick in den Zusammenhang von externen Stimuli, ihrer Übersetzung in Aktion und den Regeln, nach denen diese Übersetzungsfunktionen gelernt werden.
- **Interaktion mit KI-Systemen:** Von einem tieferen Verständnis menschlicher Problemlösestrategien und dem besseren Erfassen von menschlichen Interaktions-Bedürfnissen und Kommunikationsverhalten über mehrere Kommunikationskanäle hinweg erwarten wir uns ganz wesentliche Verbesserungen der Interaktions-Fähigkeiten von KI-Systemen, die sich mittelfristig auch in innovativen maschinellen kognitiven Architekturen widerspiegeln werden.
- **Entwicklung angepasster Rechentechnik:** Spezielle KI-Prozessoren und neuromorphe Schaltkreise rücken immer mehr ins Zentrum des Interesses. Der Nachbau von biologischen Neuronen und ihren Verbindungsstrukturen hat schon eine gewisse Tradition, nimmt aber in jüngster Zeit enorm Fahrt auf, insbesondere durch die Kopplung analoger mit digitaler Hardware. Die Herausforderung besteht in der Programmierung dieser Systeme auf einem geeigneten Abstraktionsniveau. Dies wird sich beschleunigen, weil angesichts des Endes des Mooreschen Gesetzes in einigen Jahren klassische Rechentechnik diese Spezialstrukturen nicht mehr einholen wird. Hier wird im Rahmen des Human Brain Project der EU Pionierarbeit geleistet, Abbildung 5 zeigt

zwei bereits funktionsfähige Großsysteme, die neuronale Schaltkreise auf unterschiedlicher Realisierungsstufe nachbilden.

- **Service-Robotik als Innovationstreiber:** Roboter sind nicht nur „ausführendes Organ“ für KI-Systeme, um Aktionen in der realen Umwelt auszuführen, sondern sie dienen über ihre Sensorik letzteren auch vermehrt als Datensammler aus eben dieser Umwelt. Diese über den sensorbewehrten Roboterkörper geschlossene Informations-Schleife ist Voraussetzung für die eigenständige Entwicklung von kognitiven Leistungen. Die Entwicklung der Servicerobotik sollte daher auch als Treiber der KI stärker ins Zentrum rücken. Ein autonomes Fahrzeug ist ein sensorbasierter kognitiver Roboter mit wesentlich weniger Freiheitsgraden als sie beispielsweise ein Industrieroboter seit langem hat. Auch hier werden im Human Brain Project wegweisende Arbeiten zur Kopplung von simulierten Gehirnen mit Robotern durchgeführt. Abbildung 6 zeigt als Beispiel den Blick in ein simuliertes Robotik-Labor, in dem unter der Realwelt nahekommenden Bedingungen Roboter trainiert werden können. Sobald deren Verhalten dem Zielverhalten ausreichend nahekommt, können die simulierten Roboter in der realen Welt aufgebaut, mit den Programmen und Daten aus dem virtuellen Training versorgt werden und sich dann weiter an den spezifischen Einsatzfall adaptieren.
- **Nichtfunktionale Aspekte:** Über die Entwicklung der reinen Funktionen zukünftiger KI-Systeme hinaus ist für den industriellen Einsatz die Einhaltung von bestimmten Qualitätsparametern unabdingbar. Dazu gehört natürlich vor allem die Systemsicherheit und die Absicherung der Funktionen gegenüber sämtlichen auftretenden äußeren Umweltsituationen (man denke an die allfälligen Unfälle mit Autopiloten teilautonomer Fahrzeuge).

Getragen werden muss dies natürlich vom Ausbau der generellen IT-Infrastruktur für Kommunikation, Speicherung und Rechenleistung sowie der Steigerung von deren uni-

verseller Verfügbarkeit über Cloud-Strukturen. Darüber hinaus von enormer Wichtigkeit – wenn auch regelmäßig unterschätzt – ist die Rolle der Zunahme der Software-Produktivität: Es werden zunehmend Bibliotheken veröffentlicht, mit Hilfe derer Standard-Applikationen des maschinellen Lernens, der Robotik und der KI im Allgemeinen in immer kürzerer Zeit umgesetzt werden können. Diese stellen einen enormen Hebel bei der Steigerung der Produktivität der Applikationsentwicklung dar.

Einer Studie von Roland Berger Strategy Consultants von 2013 zufolge würden wir in Europa ein zusätzliches Wirtschaftswachstum von 5% pro Jahr erreichen, wenn wir den gleichen Prozentsatz wie die USA in digitale Techniken investieren würden. Diese Zahl zeigt einerseits den Nachholbedarf, gibt aber auch einen Hinweis darauf, was zu erreichen ist, wenn wir unsere leider inzwischen recht beschränkten Ressourcen in die richtigen Felder investieren würden – und da ist die Künstliche Intelligenz mit ihrer Breitenwirkung das vermutlich lohnendste Feld.

Im Kontext der deutschen Wirtschafts- und Forschungslandschaft springen eine Reihe von Bereichen unmittelbar ins Auge, in denen der produktive Einsatz von KI direkten Nutzen und über mittlere bis längere Frist gesehen einen interessanten return-on-investment verspricht:

- **Embodied Intelligence:** Zusammenführung von Robotik, Human-Machine-Interfaces, KI – auch im Sinne von „Manipulationsintelligenz.“ Anwendungen sind deutlich verbesserte Frage-Antwort-Systeme, interaktive Visualisierungssysteme, intuitiv instruierbare kognitive Roboter. Abbildung 7 zeigt den Prototypen eines solchen Systems: Roboy, ein „weicher“ Robotertorso mit sympathischem Gesicht, der für die vertrauensvolle Kommunikation mit dem „Cyberspace“ geeignet ist.
- **Embedded Artificial Intelligence in IoT/Produktion, kognitive Fabrik:** Automatische Strukturierung, Lernen und Nutzung von Prozess- und Domänenwissen

für schnellste Re-Konfiguration von Betriebsmitteln, verteilte Optimierungen von Materialflüssen, Diagnose und Prädiktion mit Hilfe von verteilter Intelligenz in sich selbst zusammenschaltenden und „Schwarmintelligenz“ entwickelnden IoT-Devices.

- **KI im Transportwesen/Logistik:** Hier geht es um die Verbindung von automatisierten Transportmitteln in Logistikketten zur übergeordneten Optimierung unter Bedarfsprädiktion. Die Verbindung zu „Smart Cities“ und der Entwicklung von „City Brains“ ist möglich und wünschenswert, in Deutschland ist man an dieser Stelle bislang zurückhaltend.
- **KI und Werkzeugentwicklung:** Die Verwendung von spezieller Hardware (wie neuromorphics) wird nur möglich, wenn leistungsfähige Entwicklungsumgebungen (samt Referenzapplikationen) zur Verfügung gestellt werden. Hier ergibt sich ein enormes Potential für die Gestaltung der Anwendungswelt, zumal wir in Deutschland auf die neuesten Entwicklungen neuromorpher Hardware unmittelbaren Zugriff haben (u.a. über die Plattformen Neuromorphics und Neurorobotics des EU-Flaggschiff-Projekts „Human Brain Project“).

## Beispiele für zukünftige KI-Anwendungen

Die eingangs erwähnte Studie von McKinsey identifiziert acht Wirtschaftsfelder, auf denen sich nach Ansicht der Autoren der Einsatz von KI – und hier spezifisch maschinelles Lernen – am schnellsten in Wachstum umsetzen lässt:

- Für autonome Autos, als Beispiel für ein Produkt, das ohne KI nicht denkbar ist, wird ein Marktanteil von 10 bis 15% bis 2030 prognostiziert, der danach weiter mit zweistelligen Raten wächst.
- In der Produktion wird für vorbeugende Wartung unter Nutzung von KI-Methodik zur Mustererkennung und Da-

tenintegration eine Erhöhung der Anlagenproduktivität von 20% bei gleichzeitiger Reduktion der Wartungskosten um 10% vorhergesagt.

- Kooperative, also mit dem Menschen zusammenarbeitende Roboter führen ebenfalls zu einer Produktivitätssteigerung von 20%.
- Durch eine KI-gestützte Auswertung von tausenden von Datenpunkten kann in der Halbleiterindustrie die Ausbeute um 30% erhöht werden.
- Die KI-gestützte und bildbasierte Qualitätskontrolle kann die Erkennung von Defekten um bis zu 90% gegenüber menschlicher Inspektion steigern.
- Besonderes Potential sehen die Autoren in der Verbesserung des Managements der Lieferketten durch

Erhöhung der Prädiktionspräzision: Eine Verringerung um 20% bis 50% des Vorhersagefehlers, Verluste durch die Nichtverfügbarkeit von Produkten können um 65% reduziert werden, bei gleichzeitiger Verminderung der Lagerbestände um 20 bis 50%.

- Ebenso können durch die Unterstützung von F&E-Prozessen 10% bis 15% der Kosten eingespart und die Zeiten bis zur Markteinführung um 10% verkürzt werden.
- Schließlich werden in der Unterstützung von Geschäftsprozessen bis zu 30% Automatisierungspotential gesehen, im Fall der Automatisierung von IT-Helpdesks sogar 90%.
- Was das kurzfristige Angebot aus der Industrie für neue KI-basierte Produkte betrifft, so stehen heute



Abbildung 6: Hyperrealistische Abbildung eines virtuellen Robotiklabors des Human Brain Projects, Unterprojekt 10 „Neurorobotik“

schon sehr interessante Chips, Dienstleistungen und Schnittstellen für deren Aufbau zur Verfügung, die von den großen Cloud-Anbietern ständig erweitert werden, beispielsweise

- Schnittstellen für KI-basierte Dienste, wie Bilderkennung in großen Datenbanken
- Bereitstellung von kompletten „Deep-Learning-Instanzen“ zur Programmierung anwendungsspezifischer Lösungen
- Spezialchips für die Beschleunigung von Machine-Learning-Verfahren
- Interaktions-Hardware für den Massenmarkt („Alexa-Enabled Devices“)
- Produktivitätswerkzeuge der unterschiedlichsten Art für die Industrie („intelligente Buchhaltung“, Ressourcenplanung auf der Basis von großen Datenbeständen, „Process Mining“, uvm.)

Wir zeigen nun abschließend kurz an drei konkreten Beispielen, was wir mittelfristig erwarten dürfen, und wo Europa eine führende Rolle bei der Entwicklung spielen kann, wenn wir unsere Chancen nutzen.

#### Frage-Antwort-Systeme

Da sind zunächst *Frage-Antwort-Systeme*, die einen *menschengerechten* und *substantiellen* Dialog über einen längeren Zeit- und Themenhorizont führen können. Dazu gehören beispielsweise die Fähigkeit der Bezugnahme auf zurückliegende Äußerungen, die Interpretation von Metaphern, das Verstehen von relativen Ortsangaben („links von dir“) sowie „unscharfen“ Adverbien („fast“, „meistens“, „eher“) und viele andere Fragestellungen der Linguistik. Man wird aller Wahrscheinlichkeit nach solche Systeme vor allem mit menschenähnlicher Kopfgestalt bauen; dann hat man zumindest als Konstrukteur die Möglichkeit, einerseits

eine Vertrauensbasis mit dem Dialogpartner aufzubauen; andererseits hat die KI über den Standort des Kopfes dann gleich eine räumliche Verortung und schließlich kann man Augen und Ohren leicht integrieren. Wobei wir hier natürlich vorsichtig sein müssen, der „Vermenschlichung“ dieser Maschinen keinen unnötigen Vorschub zu leisten, denn das würde bei den Nutzern eine nicht zu erfüllende Erwartungshaltung aufbauen.

Es bietet sich an, solche Systeme zunächst mit einfachen Aufgaben zu betrauen, zum Beispiel in Form eines automatischen Rezeptionisten, eines Bahnhofs-Auskunftsgebers für Fahrpläne und Ähnlichem. Zu einem späteren Zeitpunkt wird sich die Dialogkomplexität dann steigern lassen, man kann damit rechnen, dass KI-Systeme zur faktenbasierten Entscheidungsfindung in beliebigen Wissensdomänen mit diesen Dialogsystemen gekoppelt werden, die dann auch über das nötige allgemeine und domänenunabhängige Weltwissen verfügen, um auch Abweichungen des menschlichen Gesprächspartners vom direkten Thema parieren zu können. Vielleicht gelingt es dann auch endlich, einen lange gehegten Wunsch des Autors zu erfüllen, nämlich den automatischen „E-Mail-Beantworter“, der an seiner Statt nicht nur die Textinhalte unter Nutzung von Kontextwissen interpretieren kann, sondern auch gleich auf aktuellen Fakten basierende Antwort formuliert.

#### Autonome Kommunalfahrzeuge

Das zweite Beispiel sind *autonome Kommunalfahrzeuge*, die sich nicht nur autonom in beliebigen Verkehrssituationen in der Stadt bewegen, sondern darüber hinaus auch noch Handlungen durchführen, wie Straßenreinigung, Müllabfuhr oder Baumpflege. Auch bei deren Entwicklung wird es eine große Hilfe sein, die Prinzipien des *embodiments* zu befolgen, schließlich ist jedes Auto für den routinieren Fahrer eine „body extension“ – nach einiger Übung begreifen wir die Umrisse des Fahrzeugs als Erweiterung unseres eigenen Körpers und entwickeln eine eigene mentale Repräsentation dafür; eine bewusste Einordnung bei den einzelnen Manövern findet gar nicht mehr statt. Es ist

gegenwärtig schwer abschätzbar, welchen Stellenwert KI-Techniken auch schon bei der Entwicklung von „normalen“ autonomen Autos spielen werden. Sicher aber ist, dass die ersten wirklich autonomen Fahrzeuge eine Vielzahl von Erkenntnissen der „embodied AI“ in sich vereinigen werden, sind sie ja letztlich auch nur Robotersysteme für eine relativ einfache Anwendung, aufgewertet dadurch, dass sie nach innen mit dem Passagier kommunizieren werden können, wozu Dialogsysteme nötig sein werden.

#### KI-basierte Verhandlungen

Eine neue Klasse von KI-Anwendungen werden – als drittes Beispiel – Systeme sein, die *Verhandlungen mit Menschen* führen, bei denen komplexe Sachverhalte zu klären und zu moderieren sind. Diese Systeme werden zur Entscheidungsunterstützung im Verhandlungsprozess herangezogen werden, dann sicher auch bei Bewertungsfragen zum Einsatz kommen und schließlich auch mit ihresgleichen verhandeln können. Ein sehr einfaches Beispiel wäre „mein autorisierter persönlicher Stromagent“: eine KI, der ich es anvertraue, permanent den besten Anbieter für die Elektrizitätsversorgung meines Hauses auf der Basis meiner (mündlich mitgeteilten) Präferenzen und der (automatisch aufgezeichneten) Messungen meines Stromverbrauchs zu finden. Diese KI würde mit verschiedenen Anbietern ein maßgeschneidertes Angebot aushandeln und einen rechtsverbindlichen Vertrag auf der Basis des Verhandlungsergebnisses abschließen. Da diese Verhandlungen schnell ablaufen, könnte man dies z.B. jede Stunde neu verhandeln (lassen), z.B. in Abhängigkeit von der momentanen Wetterlage.

Generell kann dies im Kontext menschlicher Verhandlungssituationen geschehen – beispielsweise mit der KI als Kopfnachbildung an einem Tisch mit Menschen – oder aber auch völlig abstrakt zwischen mehreren Künstlichen Intelligenzen, die von ihren Eignern mit spezifischen Verhandlungszielen instruiert wurden. Am jeweiligen Ende eines solchen Prozesses kann dann ein Programm stehen, auf das sich alle Partner einigen und das konkrete Vorge-

hensweisen zur Umsetzung des zu erreichenden gemeinsamen Ziels in Form eines Programms hat, wobei unvermeidbare „unscharfe“ Formulierungen dann während der „Vertragslaufzeit“ von der KI überprüft und möglicherweise in einem automatischen Prozess nachverhandelt werden.

#### Ausblick

Insgesamt ist die KI also eine Technologie (hier mal im korrekten Sinne einer vollständigen „Lehre einer Technik“), die abgesehen von ihrem interdisziplinär-erkenntnistheoretischen Wert als herausfordernde Wissenschaftsdisziplin zu einem dramatischen Produktivitätswachstum in der digitalisierten Wirtschaft der Zukunft beitragen wird. Sie stellt einen – wenn nicht *den wesentlichen* – Technikbaukasten zur Verfügung, wie er seit langem gesucht wird, um nach einer langen, seit den siebziger Jahren andauernden Phase schwindender Produktivitätszunahme erneut Produktivität und Wachstum in Größenordnungen wie zu Zeiten der Einführung der Eisenbahn, der Telefonie und des Flugverkehrs zu erzielen (wenn auch hoffentlich unter Vermeidung ökologischer Belastungen wie jene sie verursacht haben).

Ganz abgesehen von den wirtschaftlichen Erwägungen ist die KI die Wissenschaft, die im Verein und in gegenseitiger Befruchtung mit Philosophie, Kognitions- und Neurowissenschaften zu einem dramatisch erweiterten Verständnis von uns selbst als bewusstseinstragende Spezies beitragen wird – was möglicherweise auch direkte technische Anwendungen hat, die wir noch nicht erahnen, die aber ihrerseits dann über kurz oder lang höchste wirtschaftliche Relevanz bekommen. Dabei ist noch unabsehbar viel Forschungsarbeit zu leisten, aber – weil die Informatik ja das Engineering des Immateriellen darstellt – ist der Weg zur Anwendung hier so kurz wie nirgendwo sonst. Und natürlich unterstützt die Informatik sich selbst – durch die Konstruktion von Programmen, die die Konstruktion von komplexeren Programmen erst ermöglichen, irgendwann

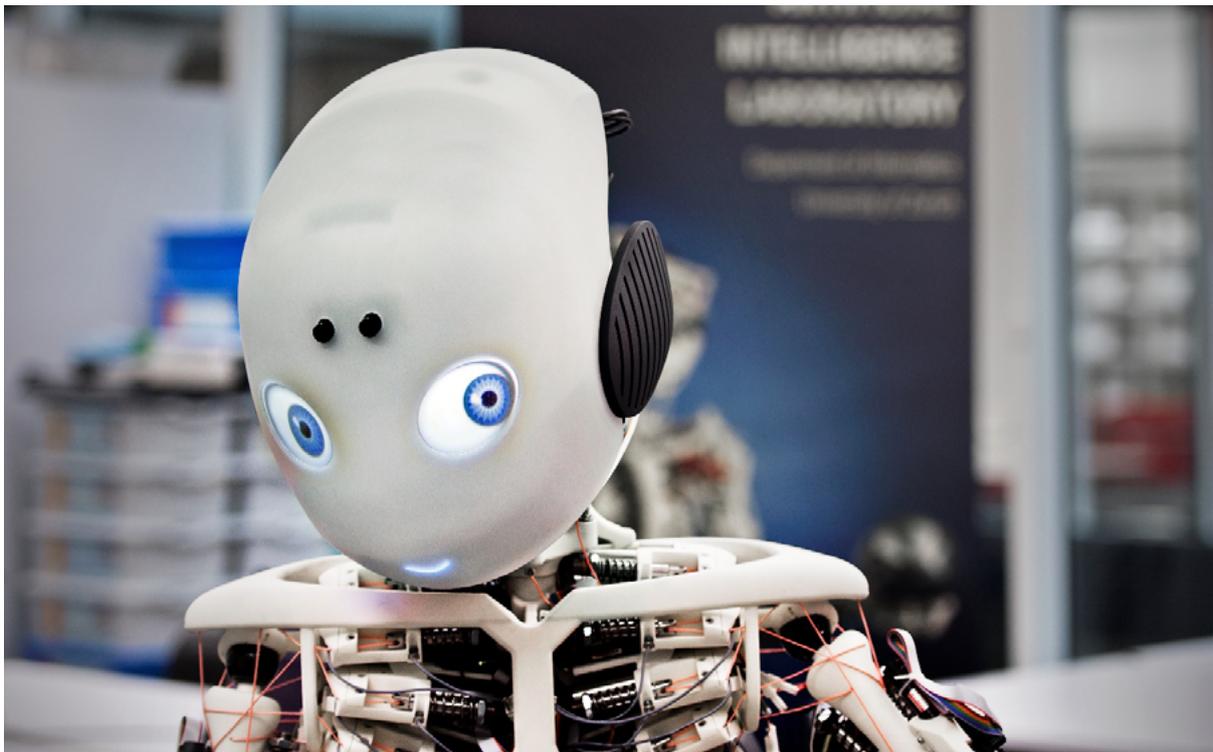


Abbildung 7: „Roboy“, ein Beispiel für einen künstlichen Kopf mit Torso zur Realisierung von „Embodied AI“.

zumindest für Routineanwendungen auch ganz ohne menschliches Zutun.

Es gilt für die KI – mit der Robotik als Schnittstelle zur Realwelt und als Produktionsfaktor – sinngemäß das gleiche, was P. Kennedy einst über die rein mechanistische Industrierobotik bemerkte: Sie ist weder Allheilmittel noch Wunderwaffe. Aber hier wie dort lässt sich sagen: „In vieler Hinsicht sind die Ähnlichkeiten zwischen der Dampfmaschine und dem Roboter auffallend. Beide stellen eine neue Herstellungsmethode dar, die zugleich die physischen Anstrengungen der Arbeiter reduziert und die

allgemeine Produktivität erhöht. [...] Wie die Dampfmaschine beeinflusst die Robotik die internationale Konkurrenz, sie hebt die Pro-Kopf-Produktion der Nationen, die in die neue Technologie investieren, und sie schwächt auf längere Sicht die relative Position von Gesellschaften, die nicht in der Lage sind, dies zu tun.“

Kurz: Ohne Ausschöpfung des dadurch geschaffenen Potentials zu Innovation und Rationalisierung werden wir in Europa zwangsläufig, rasch und dauerhaft zurückfallen. Greifen wir aber die sich neu bietenden Chancen beherzt auf, so können wir in Europa auf der Basis unserer eher

kleinteiligen Industrie- und Dienstleistungsstruktur sowie unserer kulturellen Vielfalt im anbrechenden Zeitalter der sich individualisierenden KI-Lösungen eine führende Rolle auch in einem aus USA und China dominierten Konkurrenzumfeld einnehmen.

So dramatisch dieser Wandel sein wird, wir werden ihn nicht aufhalten können und müssen deshalb alle Anstrengungen unternehmen, ihn in unserem Sinne positiv zu gestalten. Bezogen auf die Wirtschaft im Allgemeinen kann das mit den Worten von Mark Purdy, Accenture Research, wie folgt zusammengefasst werden: "As the new factor of production, AI can drive growth in at least three important ways: First, it can create a new virtual workforce — what we call intelligent automation. Second, AI can complement and enhance the skills and ability of existing workforces and physical capital. Third, like other previous technologies, AI can drive innovations in the economy. Over time, this becomes a catalyst for broad structural transformation as economies using AI not only do things differently, they will also do different things."

Zusammenfassend kann man festhalten, dass

- die KI ein Erklärungs- und Strukturierungskonzept für die immensen Fortschritte in Informatik und Rechen-technik in den letzten Jahrzehnten ist, deren
- Treiber die rasante methodische Entwicklung (Software!) darstellt – Hindernisse sind fast nur die Datenbeschaffung und -nutzung: „Data is to AI what food is to humans“, wobei
- die technische Entwicklung von Massenanwendungen zu spezialisierten Applikationen läuft, die auch mit kleineren Datenbeständen arbeiten können.

Parallel zur notwendigen Diskussion über gesellschaftliche Implikationen empfiehlt sich in diesem Sinne die verstärkte Unterstützung von Start-Ups, aber eben auch von größeren Einheiten zum Aufbau von KI-Ökosystemen, welche zukünftig aus Europa heraus im Weltmaßstab mitspielen können.



## PROF. ALOIS KNOLL

Prof. Alois C. Knoll ist ein deutscher Informatiker und Professor an der Fakultät für Informatik der TU München. Er lehrt und forscht auf den Gebieten Autonome Systeme, Robotik und Künstliche Intelligenz.

Alois Knoll machte im Jahre 1985 seinen Abschluss als Dipl.-Ing. in Nachrichtentechnik an der Universität Stuttgart. Nach einer Tätigkeit bei Siemens wechselte er an den Fachbereich Informatik der TU Berlin, wo er mit einer Arbeit über Sensorik 1988 zum Dr.-Ing. (mit Auszeichnung) promoviert wurde. Nach der Habilitation in Informatik an der TU Berlin übernahm er 1993 den Bereich Technische Informatik an der Universität Bielefeld.

Seit 2001 ist er Ordinarius an der TU München, von 2004 bis 2006 war er geschäftsführender Direktor des Instituts für Informatik der TUM. Zwischen 2001 und 2004 war er zusätzlich Mitglied des Leitungskreises des Instituts für Autonome Intelligente Systeme (AIS) der Fraunhofer-Gesellschaft und Leiter einer der Robotik-Forschungsabteilungen von AIS.

Im Jahr 2011 gründete er an der TU München den interdisziplinären Studiengang „Robotics, Cognition, and Intelligence“.

Zwischen 2007 und 2009 war A. Knoll Mitglied des höchsten Beirates der EU für die Informationstechnik, der „Information Society Technology Advisory Group“ (ISTAG) und Mitglied von deren Untergruppe für neue und künftige Technologien (Future and Emerging Technologies, FET).

2009 begründete er „fortiss“ mit, das Münchner Institut für Software und Systeme, das aufgrund seines Erfolgs inzwischen in ein Landesinstitut des Freistaats Bayern umgewandelt worden ist. Neben anderen Projekten koordiniert er seit 2008 das EU-Großprojekt ECHORD++, eine große Initiative zur Zusammenführung von Robotik-Industrie, Forschungseinrichtungen und Universitäten mit dem Ziel, neue Robotertechnik zur Marktreife zu bringen. Seit 2013 ist er Leiter des Teilprojekts „Neurorobotics“ des EU-Flaggschiff-Projekts HBP (Human Brain Project). A. Knoll ist ferner seit 2011 „Program Principal Investigator“ und Arbeitsgruppenleiter bei TUMCREATE, einem Gemeinschaftsunternehmen der Nanyang Technological University (NTU) und TUM-Asia in Singapur für die Forschung auf dem Gebiet der Mobilität in Megacities, die von Singapurs National Research Foundation finanziert wird.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

**Abbildung 1** Gartner, Inc. 2017.

<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/>

**Abbildung 2** McKinsey Global Institute, 2017. ARTIFICIAL INTELLIGENCE THE NEXT DIGITAL FRONTIER? Discussion Paper.

**Abbildung 3** <https://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/project.archive/robot.papers/1999/SciAm.scan.html> und <https://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/talks/revo.slides/power.aug.curve/power.aug.gif>

**Abbildung 4** McKinsey Global Institute, 2017. A FUTURE THAT WORKS: AUTOMATION, EMPLOYMENT, AND PRODUCTIVITY. Executive summary.

**Abbildung 5** (System mit schwarzen Kabeln): Universität Manchester, SpiNNaker project and HBP, Prof. Steve Furber: <http://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/>  
(System mit roten Kabeln): Universität Heidelberg, BrainScales and HBP, Prof. Karlheinz Meier: <https://www.humanbrainproject.eu/en/silicon-brains/>

**Abbildung 6** TUM und EPFL, HBP-Neurorobotics, Prof. Alois Knoll und Dr. Marc-Oliver Gewaltig, Neurorobotik-Plattform: <http://www.neurorobotics.net/>

**Abbildung 7** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roboy\\_270213\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roboy_270213_2.jpg)

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Zentrum Digitalisierung, Bayern  
Lichtenbergstr. 8  
85748 Garching  
+49 (0) 89 / 24 88 071-00  
E-Mail: [info@zd-b.de](mailto:info@zd-b.de)  
[www.zentrum-digitalisierung.bayern](http://www.zentrum-digitalisierung.bayern)

### Autor

Prof. Dr.-Ing. habil. Alois Christian Knoll  
[knoll@mytum.de](mailto:knoll@mytum.de)

### Editoren

Dr. Nina Höhne  
Dr. habil. Daniel Méndez  
Dr. Kathrin Barbara Zimmer

### Datum

Februar 2018

### Version

1.0



