

Die Revolution der smarten Maschinen

Treiber, Einsatzfelder und Perspektiven der Künstlichen Intelligenz

Ulrich Eberl

Maschinen lernen dank Künstlicher Intelligenz rasend schnell sprechen, sehen, lesen und auch, große Datenmengen nach Mustern zu durchsuchen. Sie werden bald alle Lebensbereiche des Menschen grundlegend verändern. Was treibt diese Entwicklung, wo liegen die Anwendungen, wie intelligent können Maschinen werden und was können Physiker dazu beitragen?

Über ein halbes Jahrhundert lang spiegelte der Begriff „Künstliche Intelligenz“ (KI) eher die überzogenen Erwartungen seiner Erfinder wider, als dass er etwas mit der Realität zu tun hatte. In den Jahrzehnten nach 1956, als erstmals ein Forschungsprojekt von Wissenschaftlern um John McCarthy, Marvin Minsky und Claude Shannon so bezeichnet wurde [1], waren die Erfolge überschaubar: Eine Software, die besser Dame spielte als ihr Entwickler, erste selbstfahrende Autos in den 1980er-Jahren, der IBM-Rechner Deep Blue, der 1997 den Schachweltmeister Garri Kasparow besiegte, zweibeinige Roboter wie Hondas Asimo und kleinere Neuronale Netze, welche die Steuerung von Walzwerken und Papierfabriken optimierten – das waren die wesentlichen Meilensteine.

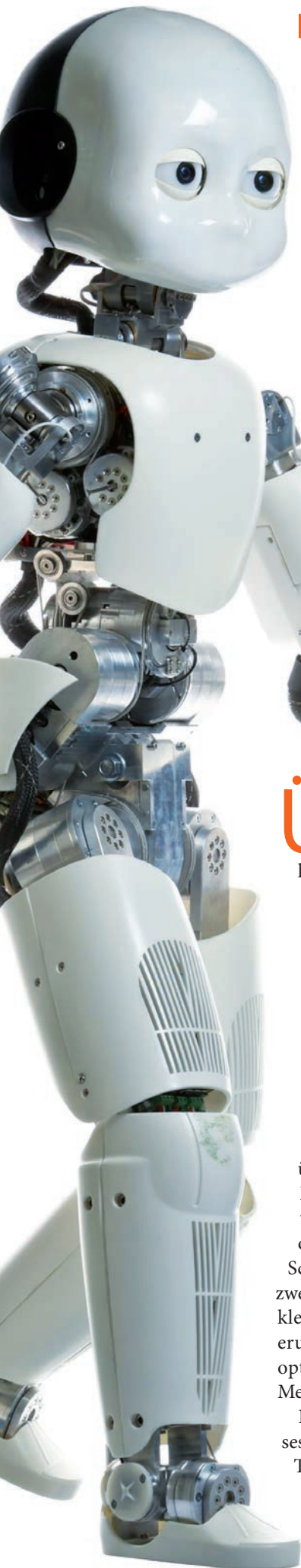
Doch seit ein paar Jahren explodiert dieses Gebiet geradezu. Vor allem beim Sprach-, Text- und Bildverständnis hat es seither

mehr Fortschritte gegeben als in den 60 Jahren zuvor. So lernen virtuelle Assistenten wie Siri oder Alexa immer besser, Fragen und Befehle von Menschen zu verstehen und sinnvoll zu reagieren. Spektakulär war eine Vorführung des Dialogassistenten Google Duplex im Mai 2018: Im Telefonat zwischen dem Computer und einem Friseursalon war praktisch nicht mehr zu erkennen, ob es sich bei dem Anrufer, der einen Termin vereinbaren wollte, um einen Menschen oder eine Maschine handelte. Ähnlich beeindruckend sind Programme wie Google Translate oder DeepL, die in Sekundenschnelle Texte in andere Sprachen übersetzen können, und zwar in einer so guten Qualität, wie sie vor wenigen Jahren noch unvorstellbar war.

Maschinen schlagen menschliche Weltmeister

Auf etlichen Feldern übertreffen uns Maschinen bereits [2]. 2011 besiegte das IBM-System Watson, das den Sinn von Texten in natürlicher Sprache erfassen kann, die menschlichen Champions im Quiz-Spiel Jeopardy. Dabei musste es auf 200 Millionen Textseiten Hinweise finden, die zur jeweiligen Frage passten, sie kombinieren, Hypothesen bilden, priorisieren – und das alles in zwei bis drei Sekunden. Im Januar 2018 schnitten KI-Systeme im Lesetest der Universität Stanford erstmals auch ohne Zeitlimit besser ab als Menschen – sie übertrafen also im reinen Textverständnis die menschlichen Wettbewerber.

Für Schlagzeilen sorgte auch die lernfähige Software AlphaGo von Google DeepMind. 2016 und 2017 schlug sie die weltbesten Spieler des Brettspiels Go, das aufgrund der Menge möglicher Spielzüge als weitaus komplexer gilt als Schach. Wenige Monate später kam der nächste Paukenschlag: AlphaGo musste sich AlphaGo Zero mit 0:100 geschlagen geben. Die Entwickler hatten die neue Software – anders als ihren Vorgänger – keine menschlichen Go-Partien mehr analysieren lassen. AlphaGo Zero kannte nur die Spielregeln und verbesserte sich allein dadurch, dass es millionenfach gegen sich selbst spielte [3]. Inzwischen gibt es auch Systeme, die mit unvollständigen Informationen zurechtkommen. So hat im Juli 2019 die von Forschern der Carnegie Mellon University in Pittsburgh entwickelte Software Pluribus in einem Poker-Turnier gegen Weltklasse-Profis gewonnen. Sie schaffte es, in Echtzeit aus dem Verhalten der Gegner zu lernen, zu bluffen und während des Spiels ihre Strategien zu variieren – kurz: möglichst unberechenbar und klug zu agieren.



Ähnliche Fortschritte sind bei der Bildverarbeitung zu verzeichnen: Die beste Software zur Erkennung von Verkehrszeichen machte 2011 in Tests halb so viele Fehler wie Menschen. 2013 gelang es einem Computer, in 100 Minuten auf Millionen von Google-StreetView-Bildern die Hausnummern zu finden – ein menschliches Team hätte hierfür Jahre gebraucht. Auf vielen Feldern der bildverarbeitenden Medizin sind gut trainierte KI-Systeme wichtige Hilfsmittel: Im Aufspüren von Lungenentzündungen, Hautkrebs, Darmpolypen und Herzrhythmusstörungen erreichen sie mindestens die Präzision entsprechender Fachärzte [4].

Algorithmen können zudem lernen, aus Gesichtern Gefühle wie Wut, Freude, Trauer und Überraschung zu lesen. In Studien schnitten solche Programme besser ab als viele menschliche Testpersonen. Die Firma audEERING, eine Ausgründung der TU München, hat sogar ein KI-System entwickelt, das aus Tonhöhe, Klangfarbe, Intensität und Rhythmus der Stimme auf die Gefühlslage des Sprechers schließen und nach nur wenigen Sekunden erkennen kann, ob dieser frustriert oder wütend, gestresst oder verwirrt, gelangweilt oder interessiert ist. Für Callcenter sind solche Programme ebenso wertvoll wie für Werbetreibende, Psychologen oder Sicherheitsexperten.

Natürlich gibt es auch weniger erfreuliche Entwicklungen: So arbeiten Unternehmen wie SenseTime in China oder Clearview AI in den USA mit Methoden der Gesichtserkennung an extrem leistungsfähiger Überwachungssoftware. Seit 2018 kann man mittels sogenannter Deepfake-Programme Gesichter in Videos austauschen oder die Mundregion so manipulieren, dass die entsprechende Person Sätze sagt, die sie nie geäußert hat. Ein normaler Beobachter kann solche Fälschungen nicht erkennen – dafür braucht man Spezialisten, die mithilfe von KI-Verfahren Lichtreflexionen oder das typische Rauschverhalten von Kameras überprüfen oder die speziellen Bewegungen von Lippen und Hautfalten beim Sprechen [5].

Praktisch unschlagbar sind KI-Systeme, wenn es darum geht, Muster in großen Datenmengen zu finden. In der Physik ist dies nützlich, um interessante Ereignisse vom Hintergrundrauschen zu trennen, etwa in der Astro- oder Teilchenphysik. In der Werkstoff- und Pharmaforschung dient KI dazu, unter Tausenden von Molekülen die erfolgversprechendsten zu identifizieren. Kommerziell besonders erfolgreich ist das Unternehmen Celonis, dessen Gründer – drei Studenten der TU München – im November 2019 den Deutschen Zukunftspreis erhielten [6]. Celonis nutzt KI, um Abläufe in Firmen anhand ihrer Datenspuren transparent zu machen, bis in die feinsten Verästelungen zu analysieren und die Punkte zu finden, an denen es hakt. Damit ist es möglich, termingerechter zu produzieren und manuelle Nacharbeiten oder auch Abfallmengen zu reduzieren. Flugzeuge fliegen pünktlicher, im Supermarkt sind die Regale immer gefüllt, und in der Notaufnahme von Kliniken sinken die Wartezeiten. 2019 hatte Celonis bereits einen Marktwert von mehreren Milliarden Euro, 800 Mitarbeiter weltweit und Großkonzerne wie ABB, Airbus, Bayer, BMW, Edeka, Siemens und Vodafone als Kunden.

In ersten Fabriken arbeiten smarte Maschinen – in diesem Fall Roboter mit KI – direkt mit ihren menschlichen

Kollegen zusammen. Sie lernen Bewegungen, indem sie Menschen nachahmen. Es ist also nicht mehr erforderlich, sie zu programmieren. In der Landwirtschaft gibt es bereits feinfühligere Roboter, die weiche Erdbeeren pflücken, ohne Druckstellen zu hinterlassen. Die Firma Boston Dynamics baut Atlas-Roboter, die aus dem Stand einen Salto rückwärts schaffen, oder den vierbeinigen Roboter Cheetah, der schneller rennt als Weltrekordhalter Usain Bolt.

In Osaka fertigen Forscher Androiden, deren Äußeres sich kaum noch von Menschen unterscheidet. Die Roboterfrau Sophia von Hanson Robotics sprach als erste Androidin im Oktober 2017 vor den Vereinten Nationen, und der kugelige Assistenz-Roboter CIMON startete 2018 zur Weltraumstation ISS, um den Astronauten bei ihren Experimenten zu helfen. CIMON – entwickelt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt mit Airbus, IBM und der LMU München – kann selbsttätig fliegen, sich in der ISS orientieren und autonom agieren. Sprachgesteuert soll er in Zukunft etwa Bedienungsanleitungen darstellen und erklären oder auch Fotos und Sprachnachrichten aufzeichnen.

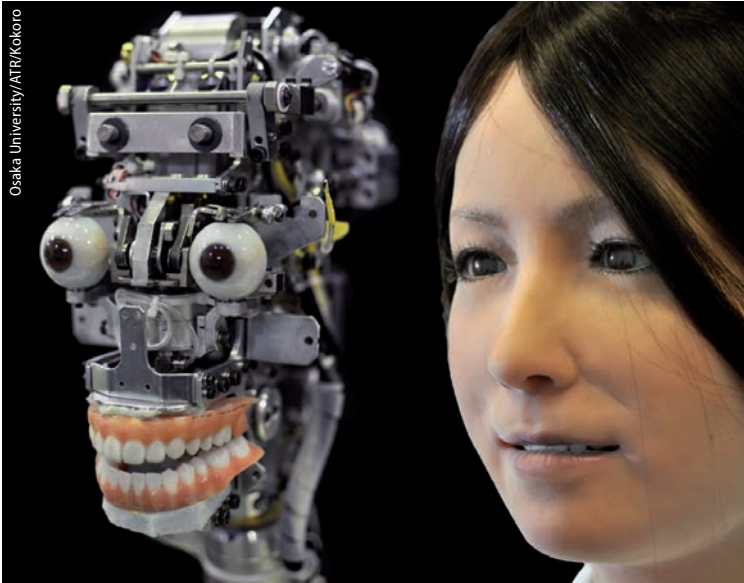
Warum boomen KI-Systeme gerade jetzt?

Alles in allem sind es vor allem vier Felder, auf denen derzeit die rasantesten Fortschritte geschehen – und die zudem immer mehr zusammenwachsen:

- die Verarbeitung von Sprache, Bildern, Videos und Texten,
- die Extraktion und Darstellung von Wissen,
- die Analyse großer Datenmengen („von Big Data zu Smart Data“) und
- die Konstruktion von (teil)autonomen Maschinen –



Bei der DARPA Robotics Challenge 2016 lenkten Roboter wie RoboSimian Fahrzeuge.



Geminoid F wurde einer realen Japanerin nachempfunden.

vom selbsttätig fahrenden Auto über Flugdrohnen bis zu zweibeinigen humanoiden Robotern.

Doch was treibt diese Entwicklung? Warum boomt die Künstliche Intelligenz? Zugrunde liegen vor allem drei Faktoren, die sich gegenseitig verstärken:

Ein erster Grund ist die enorme Leistungssteigerung der Hardware. Vor 25 Jahren schafften die stärksten Supercomputer etwa 100 Milliarden Rechenoperationen pro Sekunde – das ist heute für jedes gute Smartphone kein Problem mehr. Zugleich sanken die Kosten um einen Faktor 10 000. Das heutige Smartphone braucht nur ein Zehntausendstel bis ein Hunderttausendstel der elektrischen Leistung damaliger Supercomputer. Ein Blick in die Halbleiterlabors zeigt, dass eine ähnliche Steigerung der Rechenleistung, Speicherfähigkeit und Datenübertragungsrate von Mikrochips um einen Faktor 1000 in den kommenden 25 Jahren noch einmal zu erwarten ist.

Das Mooresche Gesetz der steigenden Flächendichte von Bauelementen auf einem Mikrochip wird zwar ab Strukturbreiten unter fünf Nanometer bald an seine natürliche Grenze stoßen, aber es lassen sich auch mehrere Schichten übereinanderstapeln. Mehr noch: Nanospeicherzellen, Spintronic-Elemente, neuromorphe Chipstrukturen, optische Rechner und Quantencomputer sind weitere Ansätze, um leistungsfähige Hardware zu entwickeln.

Zudem werden Kameras, Mikrofone und Sensoren aller Art – vom Satellitenempfänger bis zu Beschleunigungs-, Radar-, Wärme- und Tastsensoren – immer kleiner und kostengünstiger. Als ideale Plattform für das maschinelle Lernen kommen derzeit vorwiegend Grafikkarten zum Einsatz, die eigentlich für Computerspiele entwickelt wurden. Die aktuell besten von ihnen schaffen auf Mikrochips von nicht einmal drei Zentimeter Kantenlänge rund 110 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde – das ist tausendmal mehr als die Mikroprozessoren in Smartphones.

Ein zweiter Faktor sind die mächtigen Algorithmen des maschinellen Lernens. Das grundlegende Konzept der Neuronalen Netze ist zwar seit Jahrzehnten bekannt, wurde aber

erst später wesentlich weiterentwickelt und ausdifferenziert. Im Prinzip sind es immer Schichten künstlicher Neuronen, die hintereinander gestapelt und miteinander auf komplexe Weise verschaltet sind. Ihre Verbindungsstärke kann wie im menschlichen Gehirn variieren, was sie lernfähig macht. Solche Netze können Muster erkennen, ohne dass ihnen einprogrammiert werden muss, an welchen exakten Eigenschaften sie dies festmachen sollen. Präsentiert man ihnen etwa viele Fotos von Gesichtern oder Autos, können sie anschließend auch auf unbekanntem Bildern sofort Gesichter oder Autos finden. Ebenso lassen sie sich mit gesprochenen Worten oder Schriftzeichen trainieren.

In den letzten Jahren haben Forscher immer mehr spezialisierte Netze entwickelt, die bestimmte Aufgaben gut erfüllen, etwa die Erkennung von Kanten in Bildern, zeitlich kodierte Informationen oder eine Art Erinnerung an frühere Erfahrungen. Neuronale Netze können auch gegeneinander antreten oder eine Belohnung (z. B. Punkte) erhalten, wenn sie eine Aufgabe gut erfüllt haben. Der Hauptunterschied heutiger Deep-Learning-Systeme gegenüber den Neuronalen Netzen der 1990er-Jahre ist vor allem ihre Leistungsstärke: Waren damals nur einige Tausend Neuronen in wenigen Schichten verbunden, so sind es bei den besten Systemen von heute Milliarden von Neuronen in Dutzenden von Schichten (vgl. auch den Artikel von Martin Erdmann).

Als dritter Faktor kommen die unzähligen Trainingsdaten im Internet hinzu. Künstliche Neuronale Netze sind nur so gut wie die Qualität der Lernbeispiele, mit denen sie trainiert werden. Der Datenschatz der Menschheit dürfte inzwischen auf etwa 45 Zettabyte (Milliarden Terabyte) angewachsen sein – bei einer Steigerungsrate von 25 bis 30 Prozent pro Jahr. Der größte Teil wird über Internet-technologien, also in der Cloud, weitergeleitet oder gespeichert. All diese Milliarden Bilder, Texte, Videos und Audiodateien können als Trainingsmaterial dienen. Mit jeder Suchanfrage, mit jeder Spracheingabe, mit jedem Übersetzungswunsch lernen die smarten Maschinen hinzu.

In Zukunft, so die Idee von KI-Forschern, müssten Roboter auch nicht mehr alle notwendigen Daten und Fähigkeiten bei sich tragen, sondern können diese bei Bedarf aus einem „RoboNet“ herunterladen – etwa wenn sie schnell lernen müssen, empfindliche Gläser zu greifen, Türen zu öffnen oder eine Drohne zu steuern. Der Anfang ist bereits gemacht: So haben Google-Wissenschaftler 14 Roboter zwei Monate lang immer wieder neue Greifstrategien ausprobieren lassen, um unbekannte Objekte zu packen. Die Maschinen reichten ihre Ergebnisse an Deep-Learning-Netzwerke in der Cloud weiter, sodass jeder Roboter von den Versuchen aller anderen profitierte.

Wie smarte Maschinen die Welt verändern werden

Die Einsatzgebiete von KI werden sich bald auf alle Lebensbereiche erstrecken. Einige Beispiele sind [7]:

- **Smart Factory:** Künstliche Intelligenz führt die digitale Fabrik weiter in Richtung einer hochgradig automatisierten, flexiblen Fertigung. Digitale Zwillinge erlauben es, Produkte und Prozesse vorab im virtuellen Raum zu

simulieren. KI hilft bei der Optimierung, auch in der Lieferkette und Lagerhaltung, und sie prognostiziert die Kundennachfrage. In der Fabrik arbeiten Menschen Hand in Hand mit kollaborativen Robotern, während KI-Systeme Defekte bei Produkten sowie Fehler im Produktionsablauf schnell aufspüren.

- **Smart Maintenance:** Im Betrieb – ob bei Aufzügen, Windturbinen oder Werkzeugmaschinen – kann KI zahllose Sensordaten analysieren und auf Unregelmäßigkeiten hinweisen. Dies erlaubt eine vorausschauende Wartung, im Idealfall Tage oder Wochen, bevor eine technische Anlage ausfällt.
- **Smart Office:** In Kliniken, Banken und Unternehmen werden sprachgesteuerte KI-Systeme Daten aufbereiten und Ärzten, Finanzberatern und Managern Empfehlungen für Diagnosen, Geldanlagen oder die Optimierung von Industrieprozessen geben.
- **Smart Grid:** Intelligente Stromnetze können künftig Energieangebot und Nachfrage besser in Einklang bringen – mit allen beteiligten Erzeugungsanlagen, Speichern und Verbrauchern.
- **Smart Car:** Auf den Straßen werden immer mehr selbstfahrende Elektroautos unterwegs sein. Sie sind hochgradig vernetzt mit anderen Verkehrsteilnehmern sowie mit der Infrastruktur, den Smart Grids und den Smart Buildings.
- **Smart Home und Smart City:** Sprach- und gesten-gesteuert lassen sich künftig viele Elemente von Gebäuden bedienen. Roboter unterstützen in Seniorenheimen, Hotels, Geschäften und zu Hause, sie geben Auskünfte, räumen auf, putzen oder helfen in der Küche und beim Einkaufen. In Smart Cities messen Sensoren Energie- und Wasserverbrauch sowie Verkehrsdaten und Schadstoffwerte. Ein City Cockpit fasst mittels KI die Informationen zusammen, erstellt Prognosen und macht Vorschläge beim Katastrophenschutz oder um Energie- und Verkehrsflüsse zu optimieren.

Auch in anderen Bereichen wird künftig immer mehr KI eine Rolle spielen: in der Landwirtschaft in Form von Robotern und Drohnen bei Aussaat, Düngung, Unkrautbekämpfung und Ernte, im Gesundheitswesen, wenn Ärzte mit Roboterhilfe minimal-invasiv operieren, im personalisierten Marketing, bei Spielen im virtuellen Raum und vieles mehr.

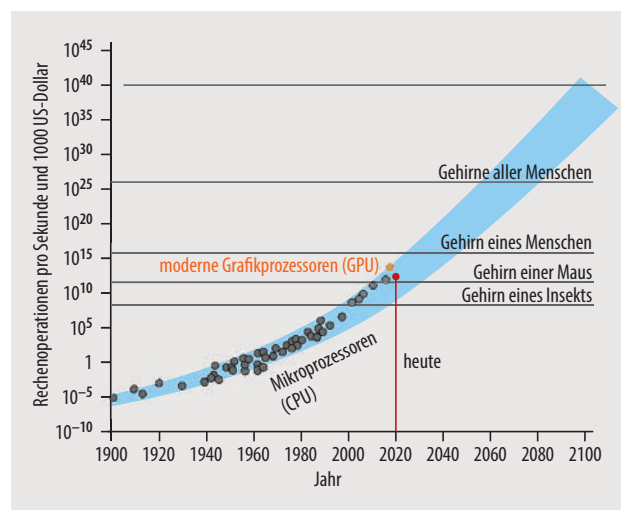
KI-Systeme bringen aber auch neue Herausforderungen für Privatsphäre, Datenschutz und Sicherheit mit sich. Wichtige Infrastrukturen gilt es, besser zu schützen, weil die Vernetzung neue Einfallstore für Angreifer öffnet. Viele ethische Fragen sind zu klären – etwa, welche Entscheidungen Maschinen treffen dürfen oder wie man es schafft, diese Systeme transparent und zuverlässig zu machen und autonome Kampfmaschinen weltweit zu ächten. KI wird neue Berufe schaffen – etwa Lehrer für Maschinen, KI-Forensiker oder Neural Art Designer, zugleich wird KI alle Jobs verändern. Das bedeutet nicht unbedingt, dass viele Arbeitsplätze wegfallen, sondern dass die Fähigkeiten von Mensch und Maschine kombiniert werden. Immer mehr Routineaufgaben übernimmt die Maschine, während die Menschen als Lenker und Denker agieren, als Planer und

Entscheider, als kreative Problem- und Konfliktlöser, als Qualitätssicherer und als Partner mit emotionaler und sozialer Intelligenz gegenüber ihren Kunden und Zulieferern.

Künstliche Intelligenz ist (noch) keineswegs perfekt

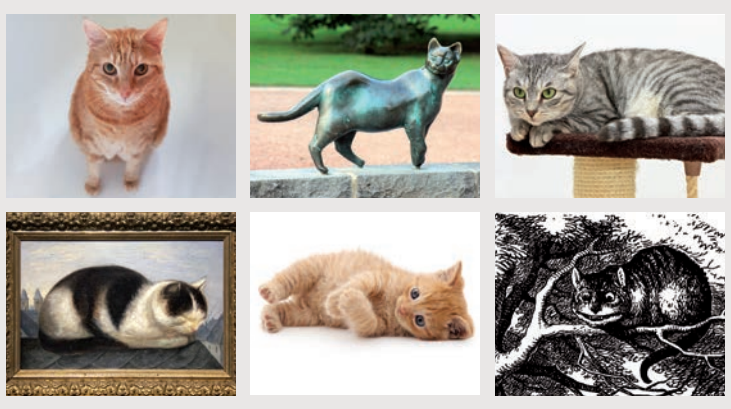
Maschinen, die uns auf allen Gebieten überflügeln könnten, sind bei weitem nicht in Sicht. Heutige KI-Systeme sind Spezialisten für ihre Einsatzfelder, ohne Allgemeinintelligenz und ohne „gesunden Menschenverstand“. Viele Probleme sind noch ungelöst, auf die Physiker und KI-Forscher hinweisen [8]. So können Deep-Learning-Systeme vor allem Muster vergleichen, mehr nicht. Wurden sie etwa auf Tierbilder trainiert, finden sie überall Tiere, auch in Wolken oder im Rauschen eines Bildschirms. Auch lassen sich ihre mathematischen Algorithmen leicht täuschen, beispielsweise durch raffiniert hinterlegte Strukturen. So fanden Bildverarbeitungssysteme in Fotos, die für Menschen nur Rauschen enthielten, plötzlich Gürteltiere oder Vögel. Japanische Wissenschaftler konnten zeigen, dass im Extremfall der Austausch eines einzigen Bildpixels genügt, damit ein Deep-Learning-Netz ein Pferd mit 99,9 Prozent Sicherheit als Frosch tituliert. Offensichtlich fehlen solchen KI-Systemen das Hintergrundwissen und das Verständnis für Zusammenhänge. Eine wichtige Frage lautet daher: Wie lassen sich Mustererkennung und Wissen kombinieren, um sozusagen „Cognitive Deep Learning Systeme“ zu bauen (vgl. auch den Artikel von Marco Huber)?

Ein weiteres Problem besteht darin, dass Deep-Learning-Systeme bislang Zigtausende von Katzen sehen müssen, um eine Katze zuverlässig zu erkennen. Kleinen Kindern hingegen reichen sehr viel weniger Lernbeispiele, um auch den gestiefelten Kater als Katze einzustufen. Warum funk-



modifiziert nach einer Vorlage von R. Kurzweil

Für 1000 Dollar, so der Futurist Ray Kurzweil, bekommen wir heute einen Computer, der in Sachen Rechenleistung, Mustererkennung und Datenspeicherung dem Gehirn einer Maus entspricht. Bis etwa 2040 soll die Rechenleistung des menschlichen Gehirns erreicht sein – zumindest, was die Hardware betrifft. In Bezug auf Energieverbrauch, Flexibilität, Fehlertoleranz, Reparaturfähigkeit oder in Fragen des effizienten Lernens und Bewertens, der Modellbildung über die Umwelt und der praktischen Intelligenz dürften künstliche Systeme auch 2040 allerdings noch weit von ihren biologischen Äquivalenten entfernt sein.



Deep-Learning-Systeme trainieren mit Zigtausenden von Katzenbildern unterschiedlicher Art, um zuverlässig Katzen erkennen zu können.

tioniert unser Gehirn wesentlich effizienter? Wie müsste man Lernalgorithmen verändern, damit im Extremfall ein One-Shot-Learning gelingt [9], also das Abstrahieren von einem einzigen Beispiel? Mehr noch: Wie ist vorurteilsfreies Lernen sicherzustellen? Mislungene Projekte gab es etliche. So hatte eine Software von Amazon, welche die besten Jobbewerber finden sollte, systematisch Frauen benachteiligt. Der Grund war einfach: Die Firma hatte in der Vergangenheit weit mehr Männer eingestellt als Frauen. Daher kam der Algorithmus zu dem Schluss, dass Bewerbungen von Frauen schlechter zu bewerten seien.

Auch viele grundsätzliche Fragen sind noch offen: Wie kann man die Erkennungsleistung von KI-Systemen möglichst robust machen, also unempfindlich gegen Störungen und den Ausfall von Neuronen? Hier ist unser Gehirn unübertroffen: Obwohl jeden Tag etwa 100 000 Neuronen verloren gehen, lassen seine kognitiven Fähigkeiten kaum nach – und es begnügt sich mit dem Energiebedarf einer 20-Watt-Lampe. Zudem kann es Ideen aus unterschiedlichen Bereichen sinnvoll verknüpfen. Wie aber lässt sich bei künstlichen Neuronalen Netzen erreichen, dass sie etwa neue Objektklassen aus bisher gelerntem Wissen ableiten?

Eine andere Herausforderung besteht darin, Roboter in virtuellen Welten das Greifen von Gegenständen üben zu lassen, damit sie das Gelernte in die reale Welt übertragen. Doch oft stimmen simulierte und reale Reibungskräfte nicht überein [10]. Bei der sensomotorischen Intelligenz, also dem Zusammenspiel von Auge, Hand und Fingern, tun sich Roboter besonders schwer. Laut Sami Haddadin von der TU München ist es für Maschinen weit herausfordernder, beim Schach oder Go die Steine zu bewegen, als das Spiel zu gewinnen [11]. Haddadins Forscherteam brauchte Jahre, um herauszufinden, wie sie einem Roboterarm am besten beibringen, mit beliebigen Schlüsseln Schlösser zu öffnen. Dazu musste die Maschine zuerst den eigenen „Körper“ kennenlernen, indem sie physikalische Grundgleichungen mit Daten aus der realen Welt abglich, also etwa: Wie viele Gelenke habe ich, wie sind sie angeordnet und wie bewegt sich mein Körper, wenn ich welche Kräfte wo wirken lasse? Mit einem solchen Modell des eigenen Körpers lernte der Roboter, die Aufgabe zu erfüllen, und zwar kostengünstiger, schneller und präziser als mit den konventionellen Lernverfahren der Neuronalen Netze.

Nun liegt die Frage nahe, ob Maschinen auch eigene Modelle der Welt entwickeln könnten, um zu besseren Lösungen für die jeweilige Aufgaben zu kommen? Und wenn ja: Ist es dazu unerlässlich, KI-Systeme in reale (Roboter-) Körper mit einer reichhaltigen Sensorstimulation aus visuellen, akustischen und haptischen Reizen einzubauen (Embodiment)? Müssten uns solche Roboter zunächst in der realen Welt begleiten, um auf ähnliche Weise zu lernen wie kleine Kinder?

Kein Zweifel: Das Gebiet der Künstlichen Intelligenz boomt wie nie zuvor, aber vieles steht nach wie vor am Anfang. Physikerinnen und Physiker werden für alle Aspekte der smarten Maschinen gebraucht: bei der Weiterentwicklung der Hardware ebenso wie bei den neuesten Verfahren des maschinellen Lernens und der Wissensverarbeitung und natürlich auch bei allen Anwendungen – von den intelligenten Stromnetzen bis zum autonomen Fahren.

Literatur

- [1] S. Russell und P. Norvig, *Künstliche Intelligenz*, Pearson, München (2012)
- [2] U. Eberl, *33 Fragen – 33 Antworten zur Künstlichen Intelligenz*, Piper, München (2020)
- [3] D. Silver et al., *Nature* **550**, 354 (2017)
- [4] *Künstliche Intelligenz, Sonderheft Bild der Wissenschaft*, S. 56 ff. (2019) und *Lernende Systeme im Gesundheitswesen, Berichtsheft Plattform für Künstliche Intelligenz*, acatech (2019)
- [5] A. Roessler et al., *FaceForensics++: Learning to Detect Manipulated Facial Images*, ICCV proceedings (2019)
- [6] www.deutscher-zukunftspreis.de/de/team-2-2019
- [7] U. Eberl, *Smarte Maschinen*, Hanser, München (2016)
- [8] M. Tegmark, *Leben 3.0: Mensch sein im Zeitalter Künstlicher Intelligenz*, Ullstein, Berlin (2017)
- [9] L. Fei-Fei, R. Fergus und P. Perona, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* **28**, 594 (2006)
- [10] U. Eberl, *Bild der Wissenschaft*, Juni 2018, S. 30 ff.
- [11] Interview mit Sami Haddadin in: *Bild der Wissenschaft, Sonderheft Künstliche Intelligenz*, S. 16 ff. (2019)

Der Autor



Ulrich Eberl (FV Biologische Physik und FV Molekülphysik) promovierte 1992 an der TU München über die ersten Pikosekunden der Photosynthese, arbeitete bei Daimler und leitete 20 Jahre lang bei Siemens die Kommunikation über Forschung, Innovationen und Zukunftstrends. 2015 machte er

sich als Wissenschaftsjournalist, Buchautor und Keynote-Speaker selbstständig. Sein besonderes Interesse gilt der Künstlichen Intelligenz – ein Feld, zu dem er lange in Japan, den USA und Europa recherchierte. 2016 veröffentlichte er bei Hanser das Buch „Smarte Maschinen“, 2020 bei Piper „33 Fragen – 33 Antworten zur Künstlichen Intelligenz“. Tatkräftig unterstützt wird er bei seinen Vorträgen von seinem Roboter Nao Bluestar. Seit 2013 ist Eberl Herausgeber des Physik Journals.

Dr. Ulrich Eberl, SciPress Redaktionsbüro für Wirtschaft, Wissenschaft, Technik, Altlaufstraße 9, 85635 Höhenkirchen-Siegertsbrunn, www.zukunft2050.wordpress.com