

Unverkäufliche Leseprobe



Manuela Lenzen
Künstliche Intelligenz
Fakten, Chancen, Risiken

2020. 128 S., mit 6 Abbildungen
ISBN 978-3-406-75124-0

Weitere Informationen finden Sie hier:
<https://www.chbeck.de/30315178>

© Verlag C.H.Beck oHG, München

Im Zentrum der Digitalisierung, die wir gerade erleben, steht die Künstliche Intelligenz (KI). Erst durch eine intelligente Analyse kann man mit den erhobenen Datenmengen etwas anfangen, und diese Analyse wird von Algorithmen geliefert, die mit verschiedenen Verfahren aus dem Werkzeugkasten der KI arbeiten. Mit diesen Möglichkeiten verbinden sich große Hoffnungen und ebenso große Befürchtungen, von Durchbrüchen in der medizinischen Forschung bis zur Machtübernahme der Roboter. Dieser Band folgt einer realistischen Perspektive. Manuela Lenzen beschreibt die Grundlagen, die Möglichkeiten und Grenzen der Künstlichen Intelligenz, ihre wichtigsten Einsatzmöglichkeiten und bereits eingetretene oder anstehende Folgen. Die KI-Forschung steht noch am Anfang. Die Weichen für die Nutzung ihrer Ergebnisse aber müssen wir heute stellen.

Manuela Lenzen hat in Philosophie promoviert und schreibt als freie Wissenschaftsjournalistin über Digitalisierung, Künstliche Intelligenz und Kognitionsforschung. Bei C.H.Beck ist von ihr lieferbar: *Künstliche Intelligenz. Was sie kann & was uns erwartet* (32019).

Manuela Lenzen

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Fakten, Chancen, Risiken

C.H.Beck

Originalausgabe

© Verlag C.H.Beck oHG, München 2020

www.chbeck.de

Satz: C.H.Beck.Media.Solutions, Nördlingen

Druck und Bindung: Druckerei C.H.Beck, Nördlingen

Reihengestaltung Umschlag: Uwe Göbel (Original 1995, mit Logo),

Marion Blomeyer (Überarbeitung 2018)

Umschlagabbildung: Android/© Shutterstock

Printed in Germany

ISBN 978 3 406 75124 0



klimateutral produziert
www.chbeck.de/nachhaltig

Inhalt

Einleitung	7
1. Was ist Künstliche Intelligenz?	10
Die Krux mit der Intelligenz	12
Digitalisierung und Big Data	15
Künstliche und natürliche Intelligenz	16
2. Ein Ausflug in die Geschichte	18
3. Ein Blick in das Gehäuse	25
4. Der Werkzeugkasten der Künstlichen Intelligenz	29
Der Algorithmus	29
Repräsentieren, suchen, schließen	30
Wie Maschinen lernen	33
<i>Aus dem Zoo der Lernverfahren</i>	35
<i>Lernen mit Künstlichen Neuronalen Netzen</i>	37
<i>Besser lernen</i>	43
<i>Schwarz und Weiß macht Grau: Hybride Systeme</i>	47
5. Nachteile und Risiken der lernenden Algorithmen	50
Daten, Daten, Daten	51
Vorurteile	51
Die Black Box	54
Seltsame Fehler	55
6. Eine kleine Philosophie der Künstlichen Intelligenz	57
Der elektronische Spiegel	57
Die Sache mit dem Bewusstsein	59
... und die mit der Moral	62
Künstliche Kreativität	65

7. Künstliche Intelligenz praktisch	69
Künstliche Intelligenz in der Wissenschaft	69
<i>Daten – ein schwieriger Rohstoff</i>	77
Roboter	80
Autonome Waffensysteme	86
Künstliche Intelligenz für Umweltschutz und Nachhaltigkeit	88
Künstliche Intelligenz in der Arbeitswelt	93
Mensch und Maschine: Verwirrende Begegnungen . . .	99
8. Fakes, Filterblasen und falsche Versprechen	105
9. Wer kontrolliert die Künstliche Intelligenz?	112
10. Ein Blick nach vorn	112
Keine Superintelligenz in Sicht	119
Wo sind unsere Träume?	123
Anmerkungen	125
Literatur	127

Einleitung

Intelligente Maschinen, die uns anstrengende, langweilige oder gefährliche Arbeiten abnehmen, mit denen wir sprechen können, die uns bedienen oder beschützen, Maschinen, die ein bisschen so sind wie wir – davon träumen Menschen seit der Antike. Doch erst in den 1950er Jahren ist eine Disziplin entstanden, die uns der Realisierung dieses Traums ein Stück weit näher bringt: die «Künstliche Intelligenz», KI.

Die längste Zeit zog sie nur sporadisch größere Aufmerksamkeit auf sich, wenn Forscher einen interessanten Roboter oder ein frühes Dialogsystem präsentierten. In den letzten Jahren nun haben die Digitalisierung und Entwicklungen auf dem Gebiet der Computertechnik und des maschinellen Lernens zu rasanten Fortschritten und einem Boom marktfähiger Produkte geführt. Ob Privatleben oder Arbeitswelt, Schule, Wissenschaft oder Politik, Rechtswesen, Kommunikation, Einkaufen oder Verkehr – an kaum einem Bereich geht diese Entwicklung spurlos vorüber.

Algorithmen sortieren, klassifizieren, verknüpfen und durchsuchen Daten und stellen Prognosen über zukünftige Entwicklungen. Wir haben mit ihnen zu tun, wenn wir im Internet eine Suche starten, mit Chatbots sprechen, das Handy als Dolmetscher verwenden, wenn wir eine Hotline anrufen, einen Kredit beantragen, und immer häufiger auch, wenn wir eine Bewerbung abschicken. Wetterprognosen greifen auf KI-Verfahren ebenso zurück wie manche Sportberichterstattung, die Lagerlogistik ebenso wie die Polizei, und aus der medizinischen Forschung ist KI schon lange nicht mehr wegzudenken. Manchmal ist gar von einer Revolution die Rede, deren Anfänge wir gerade erleben, ausgelöst durch Digitalisierung und Künstliche Intelligenz.

Mit den Möglichkeiten, die die Künstliche Intelligenz bietet, verbinden sich große Hoffnungen und ebenso große Befürch-

tungen: Mithilfe von lernenden Algorithmen könnten wir ein viel tieferes Verständnis der Welt erlangen, indem sie uns Muster zeigen, die uns sonst in der Überfülle der Informationen verborgen blieben. Mit ihrer Hilfe könnten individualisierte Therapien entwickelt, die Auswertung wissenschaftlicher Daten verbessert, die Umwelt enger überwacht, der Straßenverkehr besser geregelt, die Landwirtschaft ressourcenschonender organisiert und die Stromversorgung effizienter koordiniert werden. Zudem könnten neue Modelle des Austauschs von Wissen, des Zusammenlebens und der demokratischen Partizipation entstehen, die Arbeitszeit für alle kürzer und das Leben insgesamt besser, gesünder und angenehmer werden. Vielleicht, so ist bisweilen zu lesen, ist die intelligente Technik sogar die einzige Möglichkeit, mit Herausforderungen wie dem Klimawandel, der Organisation von Megacitys und der Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung zurechtzukommen.

Kritiker befürchten hingegen, die neue Technologie werde uns vor allem mehr Überwachungs- und Manipulationsmöglichkeiten bescheren, ohnehin bestehende Monopole vergrößern, die Arbeitslosigkeit erhöhen, dazu beitragen, dass demokratische Verfahren immer mehr unterlaufen werden, das Ende des Solidarprinzips in den Versicherungen mit sich bringen und die soziale Spaltung vertiefen. Vielleicht könne die intelligente Technik uns eines Tages gar überflügeln, sich selbständig machen und sich im schlimmsten Fall gegen uns wenden.

Tatsächlich hat die Künstliche Intelligenz wie kaum eine andere Technologie das Potential, uns zu verwirren: Unweigerlich blicken wir durch die Brille all der Science-Fiction, die wir gesehen oder gelesen haben, auf Algorithmen, Chatbots und Roboter. Und diese Geschichten sind voll von menschenähnlichen Automaten, die ihrem Schöpfer über den Kopf wachsen und sich gegen ihn wenden, und von den Irritationen, die entstehen könnten, wenn Mensch und menschenähnliche Maschine sich begegnen. Da geht es um Maschinen, die irrtümlich für Menschen gehalten werden (und umgekehrt), um Maschinen, die plötzlich zu Bewusstsein kommen, um Menschen, die sich in den als Haussklaven gekauften Roboter verlieben, und so fort.

Diese Brille lässt uns in den Produkten der KI-Forschung leicht mehr erkennen, mehr erhoffen und mehr befürchten, als die Technik derzeit realisieren kann.

Dies wird noch dadurch verstärkt, dass die Evolution uns nun einmal so eingerichtet hat, dass wir eher zu schnell als zu zögerlich Maschinen, die sprechen, die herumgehen oder mit den Augen rollen, menschenähnliche Eigenschaften zuschreiben: Wünsche, Pläne und Absichten, vielleicht auch Bewusstsein und Gefühle. Und auch der so griffige wie werbewirksame (dabei aber alles andere als unumstrittene) Name des Unternehmens «Künstliche Intelligenz» rückt die Technik zu nah an den Menschen heran.

Diese Faktoren tragen dazu bei, dass wir uns leicht darüber täuschen, womit wir es bei der Künstlichen Intelligenz zu tun haben, was sie leisten kann und wann sie überfordert ist.

Die KI-Forschung hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten mächtige Werkzeuge entwickelt, die zahlreiche neue Möglichkeiten eröffnen, und Systeme, die unsere eigenen Fähigkeiten in manchen Bereichen längst übertreffen. Die Frage, wie Maschinen herzustellen wären, die so intelligent sind wie wir, ist allerdings noch lange nicht beantwortet.

Gerade weil diese Technologie uns so leicht verwirrt, ist es wichtig, sie realistisch einzuschätzen: Denn was wir den KI-Systemen zutrauen, entscheidet mit darüber, wo sie zum Einsatz kommen, wie wir sie kontrollieren und wie weit wir uns auf ihre Ergebnisse verlassen. Es macht einen Unterschied, ob wir uns einer, wenn auch künstlichen, «Intelligenz» gegenübersehen oder lediglich einem «Entscheidungsunterstützungssystem».

Die KI zu überschätzen kann dazu führen, dass Systeme in Bereichen eingesetzt werden, in denen sie überfordert sind, und dort Schaden anrichten. Es kann auch dazu führen, dass auf die große Euphorie, die wir gerade erleben, eine – ebenso übertriebene – Enttäuschung folgt. In der Geschichte der Künstlichen Intelligenz sind solche Phasen als «KI-Winter» bekannt, Zeiten, in denen Forschungsgelder massiv gekürzt wurden, weil sich zu vollmundige Versprechungen nicht einlösen ließen. Käme es zu einem erneuten Wintereinbruch, könnten wichtige Entwicklun-

gen ausgebremst und Chancen vergeben werden. Die KI zu unterschätzen kann hingegen bedeuten, die rasanten Veränderungen, die durch diese Technologie auf uns zukommen, nicht ernst zu nehmen und ihre Gestaltung und auch ihre Regulierung zu vernachlässigen.

Dieses Buch soll einer realistischen Perspektive den Boden bereiten. Nicht alles, was derzeit als «smart» verkauft wird, hat mit Künstlicher Intelligenz zu tun. Ein Computerprogramm oder eine Internetverbindung machen noch kein intelligentes System, Digitalisierung und Künstliche Intelligenz sind nicht dasselbe und auch Big Data hat zwar mit KI zu tun, bezeichnet aber etwas anderes. Auf den folgenden Seiten werden die Grundlagen, die Möglichkeiten und Grenzen der Künstlichen Intelligenz, die wichtigsten Einsatzmöglichkeiten ihrer Produkte und bereits eingetretene oder anstehende gesellschaftliche Auswirkungen beschrieben. Denn auch wenn die KI-Forschung noch am Anfang steht und ihre Produkte auf absehbare Zeit nicht so intelligent sein werden wie wir: Die Auswirkungen ihres Einsatzes sind bereits massiv. Die Weichen für die sinnvolle Nutzung der KI müssen wir heute stellen.

1. Was ist Künstliche Intelligenz?

«Künstliche Intelligenz ist die Wissenschaft von der Entwicklung und Herstellung intelligenter Maschinen, vor allem von Computerprogrammen. Sie ist mit dem ähnlichen Projekt verwandt, Computer zu verwenden, um die menschliche Intelligenz besser zu verstehen, aber KI muss sich nicht auf Methoden beschränken, für die es biologische Vorbilder gibt.»¹ So fasste der amerikanische Informatiker und Pionier der KI-Forschung John McCarthy das Anliegen der KI so knapp wie treffend zusammen.

Künstliche Intelligenz steht nicht für eine bestimmte Technologie, sondern für ein Projekt, von dem nicht recht klar ist, was

es genau umfasst und auf welchem Weg man es verwirklichen kann. Es umfasst ein ganzes Bündel unterschiedlicher und immer wieder weiter oder neu entwickelter Verfahren. Es ist also irreführend, von «der KI» oder «einer KI» zu sprechen, wenn man ein System meint, in dem auch, aber meistens nicht ausschließlich, Verfahren aus dem Werkzeugkasten der KI-Forschung zum Einsatz kommen.

Akademisch gesehen ist die KI ein Teilgebiet der Informatik, denn andere Möglichkeiten, künstliche intelligente Systeme zu bauen, als mithilfe von Software, Computern und Robotern sind derzeit nicht in der Diskussion. In den allermeisten Fällen geht es dabei nicht darum, ein Gehirn nachzubauen. Die KI-Forschung beruht vielmehr auf der Annahme, dass sich Prinzipien oder Regeln finden lassen, die es erlauben, kognitive Prozesse durch Berechnungsprozesse nachzubilden, die ein Computer ausführen kann.

In KI-Projekten kooperieren Forscherinnen und Forscher aus ganz verschiedenen Disziplinen: Außer der Informatik und den Ingenieursdisziplinen sind Fachleute aus Mathematik und Psychologie, Biologie, Linguistik, Neurowissenschaften, Philosophie und Ethnologie beteiligt.

Sie arbeiten daran, Systeme zu entwickeln, die Sprache verschriftlichen, Sätze analysieren und Fragen zum Inhalt eines Textes beantworten können; die Dolmetschen und Übersetzen. Sie arbeiten an Systemen, die erkennen, was auf Bildern zu sehen ist, die Bilder sortieren und vergleichen und die selbst neue Bilder generieren können. Sie arbeiten an Systemen, die Menschen bei Entscheidungen unterstützen, indem sie große Mengen an Daten – Bilder, Tondokumente, Texte – durchforsten und wichtige Informationen herausheben; an Systemen, die simulieren, welche Auswirkungen eine Entscheidung hätte; an Verfahren, unser Wissen über die Welt für diese Systeme lesbar zu machen und neues Wissen aus bereits Bekanntem zu destillieren; an Systemen, die in großen Datenmengen selbständig interessante Muster finden; an Systemen, die Spiele wie Schach, Go, Poker oder Computerspiele meistern; an Robotern, die sich immer flexibler und selbständiger in der Welt bewegen – und

bisweilen auch an dem großen Projekt, eine Maschine zu bauen, die so flexibel, so vielseitig und intelligent ist wie wir.

Es hat sich eingebürgert, eine solche Maschine als «starke» oder «allgemeine» Künstliche Intelligenz zu bezeichnen und sie von «schwacher KI» zu unterscheiden. Schwach intelligent sind Systeme, die lediglich eine bestimmte Aufgabe, etwa das Übersetzen, bewältigen. Der allergrößte Teil der KI-Forschung und -Produktentwicklung zielt auf solche schwach intelligenten Systeme.

Die Krux mit der Intelligenz. Ein Problem mit der oben zitierten Definition von Künstlicher Intelligenz ist allerdings der Begriff der Intelligenz selbst. Was Intelligenz ist, ob natürliche oder künstliche, ist alles andere als klar. McCarthy bestimmte sie etwa nebulös als den berechenbaren Teil der Fähigkeit, in der Welt Ziele zu erreichen, und gestand zu, wir könnten nicht angeben, welche der Prozesse, die ein solches zielgerichtetes Handeln ermöglichen, intelligent genannt werden sollten. Weil nicht klar ist, was Intelligenz genau bedeutet, ist auch unklar, wann ein künstliches System als intelligent gelten kann. Marvin Minsky, ein weiterer Pionier der KI, hat vorgeschlagen, ein Programm dann als intelligent zu bezeichnen, wenn es etwas leistet, wozu ein Mensch Intelligenz benötigt. Doch auch das hilft nicht wirklich. Denn ein Mensch benötigt für fast alles, was er tut, Intelligenz. Man würde einen Taschenrechner nicht als intelligent bezeichnen wollen, nur weil ein Mensch Intelligenz benötigt, um eine Divisionsaufgabe zu lösen.

Ein anderes bekanntes Verfahren, um intelligente Maschinen zu identifizieren, ist der Turing-Test. Dabei kommuniziert ein Mensch über eine Tastatur mit einem Menschen und einer Maschine, ohne zu wissen, wer wer ist. Nach der Idee des britischen Mathematikers Alan Turing, der dieses zuerst «Imitationsspiel» genannte Verfahren erdacht hat, soll ein System dann als intelligent gelten, wenn der Mensch es für eine gewisse Zeit für einen Menschen hält.

Dies ist allerdings ein sehr subjektives Maß und bis heute umstritten. Die Geschichte des Turing-Tests, der immer wieder ein-

mal durchgeführt wird, hat jedenfalls gezeigt, dass dort vor allem Systeme an den Start gehen, die gut bluffen können. Systeme also, die die Situation so definieren, dass der Mensch die Fehler der Maschine entschuldigt. So wurde etwa «Eugene Goostman», ein System, das sich 2014 in einem Turing-Test ganz gut hielt, als ein fünfzehnjähriger Junge aus der Ukraine präsentiert, der nur schlecht Englisch spreche. Google Duplex, eines der am weitesten fortgeschrittenen Sprachsysteme, machte 2018 damit Furore, einen Tisch im Restaurant und einen Termin beim Friseur zu vereinbaren, ohne dass der Mensch, mit dem es telefoniert hatte, bemerkte, dass er mit einer Maschine sprach. Doch auch Duplex kann keine freie Unterhaltung führen, sondern braucht eine vordefinierte Situation. Innerhalb dieses Rahmens kann es dann aber zum Beispiel Nachfragen stellen oder beantworten. Auch die Google-Forscher verzichteten nicht auf Schaelemente und ließen das System auch mal «Äh» und «Hm» einstreuen, um es glaubwürdiger erscheinen zu lassen. Doch bislang ist kein System in der Lage, Menschen über längere Zeit zu täuschen.

Soll AlphaZero, ein Programm, das in nur wenigen Stunden Training auf Weltklasse-Niveau Schach spielen lernte, als intelligent gelten? Auch wenn es nicht in der Lage ist, Mensch-ärgere-Dich-nicht zu spielen oder Äpfel von Birnen zu unterscheiden? Oder ein Übersetzungsprogramm, das chinesische Sätze auf dem Umweg über das Englische in koreanische verwandeln kann? Oder ein Fahrzeug, das sich mithilfe seiner Karten und Sensordaten einen Weg durch die Stadt sucht? Auf diese Fragen gibt es keine eindeutige Antwort. Vielmehr zeigt sich immer wieder ein paradoxes Phänomen: Wenn ein künstliches System eine Leistung erbringt, für die ein Mensch als intelligent gelten würde, wird dies gern als durch einen «bloßen Mechanismus» bewirkt abgetan. Bisweilen sind Menschen enttäuscht, wenn sie erfahren, wie ein Algorithmus, etwa ein Entscheidungsbaum (siehe S. 31), funktioniert. Was nachvollziehbar ist, erscheint nicht mehr intelligent. Dies könnte freilich bedeuten, dass wir es aus rein begrifflichen Gründen nie zu künstlicher Intelligenz bringen werden.

Alan Turing hielt sich mit der Frage, wann eine Maschine denn nun als intelligent gelten solle, nicht lange auf – und so halten es bis heute die meisten seiner Kolleginnen und Kollegen. Für ihn war es eine Frage der Gewohnheit und des Sprachgebrauchs: Er ging davon aus, dass es um das Jahr 2000 herum selbstverständlich geworden sei, von denkenden Maschinen zu sprechen.

Konsens ist, dass Intelligenz mit Flexibilität und Lernen zu tun hat, mit der Fähigkeit, sich auf wechselnde Anforderungen einzustellen und das eigene Verhalten auf der Basis von Erfahrungen angemessen zu gestalten, um die eigenen Ziele zu erreichen. Ein Programm, bei dem Input und Output starr verbunden sind, wie bei einem Reflex, würde demnach nicht als intelligent gelten, ein autonomes Fahrzeug vielleicht schon.

Die längste Zeit stand «Künstliche Intelligenz» für Verfahren, das Wissen, das Menschen über die Welt gesammelt haben, für Maschinen aufzubereiten und diese zu befähigen, daraus Schlüsse zu ziehen. Heute hat es sich hingegen eingebürgert, Programme, die mit einem Verfahren des maschinellen Lernens arbeiten, vor allem mit dem sogenannten Deep Learning auf Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN, siehe S. 37), als intelligent zu bezeichnen. Die älteren Verfahren firmieren hingegen nun unter «GOFAI»: Good Old Fashioned Artificial Intelligence. Bisweilen werden «Künstliche Intelligenz» und «Deep Learning» mehr oder weniger gleichbedeutend verwendet. Das ist umstritten: Weil es sich bei Letzteren um statistische Verfahren handelt, die viele nicht als «intelligent» bezeichnet sehen wollen, und weil auch sie von der Flexibilität der menschlichen Intelligenz noch weit entfernt sind. Häufig ist daher für einige Einsatzbereiche von KI heute von ADM: *automated decision making*, automatisierter Entscheidungsfindung, die Rede.

Vor allem aber wäre es eine starke Verkürzung, das Deep Learning mit dem Forschungsfeld KI insgesamt gleichzusetzen. Zwar dominieren diese Verfahren derzeit die Wahrnehmung und ein guter Teil des aktuellen Booms der KI geht auf Fortschritte in diesem Bereich zurück. Dennoch ist Deep Learning nur ein Teilbereich des viel umfassenderen Forschungsgebiets «Maschi-

nelles Lernen», das wiederum ein Teilgebiet der noch umfassenderen Disziplin Künstliche Intelligenz darstellt. Und natürlich fragen Forscher längst, was der nächste Schritt sein kann, mit dem sich die durchaus auch vorhandenen Beschränkungen und Nachteile des «tiefen Lernens» überwinden lassen.

Digitalisierung und Big Data. Geht es um Künstliche Intelligenz, fallen meist zwei weitere prominente Schlagwörter: Digitalisierung und Big Data. Digitalisierung ist nicht gleichbedeutend mit Künstlicher Intelligenz, sondern ihre Vorbedingung. Digitalisierung bedeutet, die Welt für informationsverarbeitende Systeme lesbar zu machen. Ohne sie kann digitale Datenverarbeitung, ob nun durch lernende Verfahren oder andere, nicht stattfinden, so wie man ohne Kaffeebohnen keinen Kaffee kochen kann. Technisch geht es dabei um die Aufzeichnung und die Umwandlung von analogen in digitale Signale, mit denen Computersysteme arbeiten können. Digitale Signale unterscheiden sich von analogen dadurch, dass sie in einzelnen Werten, nicht in einem Kontinuum vorliegen. Wenn wir einen Regenbogen sehen, gehen die Farben für uns ineinander über. Man kann nicht leicht sagen, wo Blau aufhört und Grün beginnt. Digitalisiert werden dagegen einzelne Abstufungen durch klar unterscheidbare Werte dargestellt: Blau 0000fc, 0000fd, 0000fe.

Texte, Bilder und Tondokumente sind in den letzten Jahren in großem Umfang digitalisiert worden. Immer mehr Sensoren messen immer mehr Prozesse und Vorgänge in Unternehmen, in der Natur, im öffentlichen und privaten Leben, in der Kommunikation, im und am Körper. So bekommen immer mehr Dinge und Prozesse ein digitales Abbild in Form eines Datensatzes oder eines Datenstroms. Digitalisierung steht auch für die Verknüpfung immer mehr dieser mit Sensoren und Prozessoren versehenen Dinge zu einem Netzwerk, dem Internet der Dinge, Internet of Things, IoT. Dieses umfasst den großen Bereich miteinander kommunizierender Industriemaschinen (Industrial IoT), aber auch private Geräte und Gadgets von Fitness-Trackern über Rasenmäher bis zu (teil-)autonomen Fahrzeugen.

Für dieses Datenaufkommen steht «Big Data»: für Daten-

mengen, die so groß, komplex und unübersichtlich sind, dass Menschen sie nicht ohne maschinelle Hilfe analysieren können. Sie entstehen zum Beispiel in der wissenschaftlichen Forschung und in der Medizin, in der Industrieproduktion, aber auch durch das IoT und die Spuren, die wir in digitalen Medien hinterlassen. Big Data ist auf der einen Seite eine Herausforderung: Wir generieren und sammeln immer mehr Daten und benötigen Algorithmen, wenn wir mit ihnen etwas anfangen wollen. Zugleich bieten sie eine Chance, denn die lernenden Verfahren benötigen für ihre Lernprozesse, wie wir später sehen werden, genau dies: große Mengen an Daten.

Digitalisierung, Big Data und Künstliche Intelligenz sind also eng verflochten. Wenn nach den Auswirkungen der Künstlichen Intelligenz gefragt wird, etwa auf dem Arbeitsmarkt, sind oft diejenigen der Digitalisierung gemeint, auch wenn längst nicht alles, was mit digitalen Daten zu tun hat, in den Bereich der KI fällt. Spätestens, wenn es darum geht, regulierend einzugreifen, gilt es freilich, genauer hinzusehen, welche Technologie welche Auswirkungen hat.

Künstliche und natürliche Intelligenz. Eins ist sicher: Materie kann Intelligenz entwickeln. Der Mensch und, je nach Definition, einige Tierarten, sind der Beweis dafür. Daher hat sich die KI-Forschung im Laufe ihrer Entwicklung über weite Strecken am Wissen über die menschliche Intelligenz, also darüber, wie Menschen intelligentes Verhalten zuwege bringen, inspiriert. Was bei Menschen als intelligente Leistung gilt, etwa das Schachspielen, das sollten auch die Maschinen können.

Inzwischen hat die KI sich in vielen Bereichen von der Nachahmung menschlicher Intelligenz emanzipiert. Oft gibt es bessere, schnellere oder billigere Wege, eine Maschine dazu zu bringen, ein konkretes Problem zu lösen, als zu imitieren, wie der Mensch dieses Problem angehen würde. Immerhin kann der Programmierer sozusagen ganz von vorne beginnen und muss nicht mit dem weitermachen, was die Evolution an Flickwerk hervorgebracht hat. In vielen Bereichen gilt: Gerade, weil sie anders funktionieren als die menschliche Wahrnehmung, können

zum Beispiel Programme zur Bilderkennung unermüdlich Pixel für Pixel vergleichen, gerade weil sie anders funktionieren, können Algorithmen rasend schnell große Datenmengen durchmustern. Weil sie anders funktionieren, machen sie allerdings bisweilen auch kuriose und überraschende Fehler, die Menschen so nicht unterlaufen würden (siehe S. 55).

Hinzu kommt: Die menschliche Intelligenz ist noch längst nicht gut genug verstanden, als dass man sie einfach zum Modell nehmen und nachbauen könnte. Stattdessen wird – auch durch die KI-Forschung selbst – immer deutlicher, dass «die Intelligenz» ebenso wie «das Lernen» tatsächlich Konglomerate aus ganz unterschiedlichen Fähigkeiten sind. Ob man eine intelligente Maschine, die diesen Namen verdient, bauen kann, indem man verschiedene Module für einzelne intelligente Fähigkeiten kombiniert, oder ob man ein Verfahren entwickeln muss, bei dem sich eine vielfältige Intelligenz aus einfachen Anfängen entwickelt, ist bislang offen.

Bei diesen Fragen hat die KI-Forschung Berührungspunkte mit der Kognitionswissenschaft, ihrem auch von John McCarthy erwähnten komplementären Projekt. Die Kognitionswissenschaft, die etwa zeitgleich mit der KI in den 1950er Jahren entstand, nutzt technische Systeme, um die menschliche (oder tierische) Intelligenz besser zu verstehen. Computerprogramme dienen dabei nicht nur, wie in anderen Disziplinen auch, dazu, Forschungsdaten auszuwerten. Vielmehr werden sie verwendet, um Annahmen über die natürliche Kognition zu testen, nach dem Motto: Nur, was man nachbauen kann, hat man auch verstanden. Verhält sich ein Programm oder ein Roboter, der nach solchen Annahmen gebaut wurde, wie sein natürliches Vorbild, ist dies zwar kein Beweis, aber zumindest ein Hinweis, dass man mit diesen Annahmen nicht ganz auf dem falschen Weg ist.

Künstliche-Intelligenz-Forschung und Kognitionswissenschaft sind sich im Laufe ihrer Geschichte immer wieder einmal näher gekommen, mal haben sie sich voneinander entfernt. Aktuell sind zwei gegenläufige Trends zu beobachten: Während immer mehr konkrete KI-Anwendungen möglich sind, für die die

menschliche Art, zu denken und die Welt wahrzunehmen, kaum noch eine Rolle spielt, wächst in der KI-Grundlagenforschung das Interesse vor allem an den Ergebnissen der Neurowissenschaften wieder an. Für konkrete Anwendungen brauchen wir Systeme, die anders funktionieren als der Mensch, die sich nicht verrechnen, die schneller sind als wir, die unsere Gedächtnisleistung übertreffen, die keine Gefühle kennen. Schließlich sollen sie uns bei den Dingen entlasten, die uns Mühe machen. Was sollten wir mit einem vergesslichen Schweißroboter anfangen, einem pubertierenden Rasenmäher oder einer beleidigten Suchmaschine?

Doch je weiter sich Roboter aus den Labors herauswagen, je breiter die Einsatzmöglichkeiten komplexer Algorithmen werden, desto deutlicher wird auch, dass die intelligent genannten Systeme unserer Tage nach wie vor extrem spezialisiert sind. Der Schritt von den klaren Regeln des Schachspiels in das bunte Durcheinander der Welt ist für diese Systeme noch immer sehr groß. Der Mensch mag schlechter Schach spielen als eine Maschine und langsam und fehlerhaft rechnen, dafür aber kann er sich auf immer wieder neue Herausforderungen einstellen. Wie es gelingen kann, dieser flexiblen Intelligenz des Menschen näher zu kommen, ist aktuell offen. Dass es mit der Analyse von noch mehr Daten in noch leistungsfähigeren Computern gelingen kann, bezweifeln Forscher mehr und mehr. Stattdessen wird diskutiert, wie sich die Künstliche-Intelligenz-Forschung wieder stärker an den Prinzipien der menschlichen Kognition orientieren könnte.

2. Ein Ausflug in die Geschichte

Versuche, Gedanken zu formalisieren, sie also ohne Rücksicht auf ihren Inhalt, allein ihrer Form nach zu betrachten und so darüber zu entscheiden, ob Argumente gültig sind, gehen bis auf die antike Logik zurück. Auch automatisierte Beweisverfah-

ren wurden, in Form von gegeneinander verdrehbaren Papierscheiben, früh erprobt, etwa im 13. Jahrhundert von dem mallorquinischen Philosophen Ramon Llull. Zu den Wegbereitern der KI gehört auch der Philosoph und Mathematiker Gottfried Wilhelm Leibniz, der an einer «Algebra des Geistes» arbeitete, mit deren Hilfe man «gleichsam wie durch die Tätigkeit einer Maschine» sicher zu einem Ergebnis kommen sollte. Wie Llull hatte auch Leibniz den Gedanken, die Formalisierung von Denkprozessen könne dazu beitragen, Streit aus der Welt zu schaffen, ließe sich doch mit einem objektiven Verfahren feststellen, wer recht hat. Auch Logiker wie George Boole und Gottlob Frege, die die Erkenntnisse der Antike weiterentwickelten, gehören zu den Vorvätern der KI.

Doch erst mit der Entwicklung der Computer ließen sich viele der Ideen zur Automatisierung des Denkens realisieren. Auch die Geschichte der Rechenmaschinen lässt sich weit zurückverfolgen, bis zum Abakus, dessen Alter Forscher auf etwa 4500 Jahre schätzen. Zu den moderneren Vorläufern der Computer zählen die mit Lochkarten programmierbaren Webstühle des frühen 19. Jahrhunderts und die von Charles Babbage 1837 als Modell präsentierte «Analytische Maschine» – deren erstes «Programm» im Übrigen eine Frau entwickelte: Ada Lovelace. Als erster funktionsfähiger Computer gilt der 1941 von Konrad Zuse entwickelte Z3, der mit elektromagnetischen Relais arbeitete, wie sie für die Telekommunikation entwickelt worden waren. ENIAC, ein im Auftrag der US-Armee entwickelter und 1946 fertiggestellter Rechner auf Röhrenbasis, konnte bereits die Grundrechenarten ausführen und Quadratwurzeln ziehen. Während Z3 für eine Berechnung mehrere Sekunden benötigte, arbeitete ENIAC in Millisekunden.

Als Beginn der modernen Künstliche-Intelligenz-Forschung gilt eine Tagung, die 1956 am Dartmouth College in Hanover, New Hampshire, stattfand. Vier junge Forscher, unter ihnen John McCarthy und Marvin Minsky, hatten Kollegen eingeladen, um zwei Monate lang darüber nachzudenken, «wie Maschinen dazu gebracht werden können, Begriffe zu bilden, Sprache zu verwenden, Probleme zu lösen, die zu lösen zuvor

dem Menschen vorbehalten waren, und sich selbst zu verbessern». Für dieses Projekt prägten sie den Namen «Artificial Intelligence» – «Künstliche Intelligenz».

Sie starteten freilich nicht aus dem Nichts. Alan Turing hatte schon in den 1930er Jahren nachgewiesen, dass eine Maschine, die jedes Problem lösen kann, das sich in klar definierte Einzelschritte zerlegen lässt, im Prinzip möglich ist: die heute sogenannte Turing-Maschine. In den 1940er Jahren hatten Walter Pitts und Warren McCulloch erste vom Gehirn inspirierte künstliche neuronale Netze aus sogenannten formalen Neuronen entworfen: Gleichungen, die verschiedene Eingangswerte und einen Schwellenwert zu einem Ergebnis verrechnen, so, wie Neuronen des Gehirns Eingangssignale von anderen Neuronen erhalten und erst ihrerseits ein Signal weiterleiten, wenn ein Schwellenwert erreicht ist. 1947 hatte wiederum Alan Turing einen Vortrag vor der London Mathematical Society gehalten, in dem er von den Möglichkeiten intelligenter Maschinen sprach, von der Notwendigkeit, sie von Menschen lernen zu lassen, und dem Schachspiel als möglichem Testfeld.² 1950 beschrieb der amerikanische Mathematiker und Elektrotechniker Claude Shannon ein erstes Schachprogramm.³

Ebenfalls 1956 fand am Massachusetts Institute of Technology eine zweite wichtige Tagung statt: Allen Newell, Herbert Simon und John Shaw präsentierten dort ihren «Logical Theorist», ein Programm, das einige mathematische Theoreme beweisen konnte, und der Linguist Noam Chomsky stellte seine Theorie der Sprache vor, der zufolge ein unbewusst bleibendes Regelsystem es Sprechern erlaubt, immer neue Sätze zu bilden. Könnte man diese Regeln finden, so sein Gedanke, könnte man sie vielleicht auch in einen Computer programmieren. 1956 wurde zudem der Nobelpreis für Physik für die «Entdeckung des Transistoreffekts» verliehen, diejenige Technologie, die die Röhrenrechner ablöste und, um Dimensionen verkleinert, bis heute die Computertechnik bestimmt.⁴

In dieser Aufbruchszeit kannte der Optimismus der Forscher kaum Grenzen. Innerhalb von nur zwei Monaten gedachten die in Dartmouth Versammelten, in ihrem Projekt wesentliche Fort-

schritte zu erzielen, Fortschritte, die sich zum Teil erst in jüngster Zeit tatsächlich einstellten.⁵

Dass sie die vor ihnen liegende Aufgabe so sehr unterschätzten, lag zum einen daran, dass sie keine Vorstellung von der Komplexität der Probleme hatten, die vor ihnen lagen, und von der Leistungsfähigkeit der Computer, die dafür benötigt würden. Vor allem aber unterschätzten sie, wie wenig die menschliche Intelligenz verstanden war und ist und wie sehr sich die Vorstellung von Intelligenz im Zuge der Versuche, diese in Maschinen nachzubauen, verändern würde. «Wir gehen davon aus, dass jeder Bereich der menschlichen Kognition im Prinzip so genau beschrieben werden kann, dass man eine Maschine dazu bringen kann, sie zu imitieren», heißt es in dem Antrag, mit dem die Forscher Fördergelder für ihre Tagung einwarben. Wie sich herausstellen sollte, ist dies nicht der Fall. Stattdessen hat sich im Laufe von über 60 Jahren KI-Forschung gezeigt, dass Intelligenz mehr umfasst als die klassischerweise von Intelligenztests gemessenen Fähigkeiten, dass sie einen Körper benötigt, eine Umwelt und die Möglichkeit, in dieser zu handeln, die Interaktion mit Mitmenschen, eine Kindheit und auch die Vorprägung durch die Evolution. Wie weit eine Künstliche Intelligenz ohne diese Aspekte kommen kann, ist eine offene Frage.

Es war abermals Alan Turing, der 1950 visionär zwei Wege skizzierte, um intelligente Maschinen zu realisieren. Man könne entweder mit einer abstrakten Tätigkeit wie dem Schachspielen beginnen, oder man könne eine Maschine mit Sinnesorganen ausstatten und sie dann wie ein Kind unterrichten. Er plädierte dafür, beide Ansätze zu erproben.⁶

Der Mainstream der frühen KI-Forscher begab sich auf den ersten von Turing beschriebenen Weg und begann mit den abstrakten Tätigkeiten. Programme für Spiele wie Dame, Schach und Tic Tac Toe wurden entwickelt, logische, geometrische und mathematische Probleme behandelt. Ausgehend von der Art, wie Menschen solche Probleme angehen, hoffte man, grundlegende Prinzipien des Denkens zu erfassen. So nannten Herbert Simon und Allen Newell ihr 1957 präsentiertes Programm «General Problem Solver», allgemeinen Problemlöser, und beschrie-

ben es als ein «Programm, das das menschliche Denken simuliert». Tatsächlich war der Name etwas hoch gegriffen; das Programm konnte lediglich einige wohldefinierte Probleme lösen.

Doch auch die Grundlagen für die aktuellen lernenden Verfahren wurden bereits in den 1950er Jahren gelegt. 1956 stellte der Psychologe Frank Rosenblatt Mark 1 vor, einen Computer mit einem Künstlichen Neuronalen Netz, basierend auf den künstlichen Neuronen von McCulloch und Pitts und dem Gedanken des Psychologen Donald Hebb, dass Gehirne lernen, indem sich die Verbindungen zwischen Neuronen, die oft gemeinsam aktiv sind, verstärken. Das sogenannte Perzeptron konnte nach Trainingsläufen, bei denen die Verbindungen zwischen den künstlichen Neuronen eingestellt wurden, mithilfe einer Schicht von Fotozellen einfache Muster erkennen. Rosenblatt postulierte damals, die Zukunft der KI liege eindeutig in diesen statistischen, nicht in den logischen Verfahren. Doch das Perzeptron funktionierte nicht besonders gut und deckte längst nicht die Bandbreite der klassischen Programmierung ab. So konnte es etwa die Funktion XOR, A oder B, aber nicht beide zugleich, nicht berechnen. Für Netze mit mehreren Schichten, die dieses Problem behoben hätten, kannte man noch kein Lernverfahren. In der Folge kehrte die Zunft den Künstlichen Neuronalen Netzen erst einmal den Rücken, es kam zum ersten KI-Winter: Die DARPA, die Forschungsabteilung des US-Militärs, das die KI-Forschung von Beginn an unterstützt hatte, kürzte ihre Fördergelder massiv.

Es folgte eine Phase der Orientierung, in der die KI allmählich und zuerst in den USA als Fach an Universitäten etabliert wurde. In den 1960er Jahren entstanden dann die ersten Dialogsysteme. Das berühmteste unter ihnen war ELIZA, ein Programm von Joseph Weizenbaum, das im Gespräch einen Psychotherapeuten mimte. Obwohl es recht einfach gestrickt war und im Wesentlichen mit vorgefertigten Antworten auf Signalwörter reagierte, fanden viele Menschen Gefallen am «Gespräch» mit dem Programm. So machte dieses frühe Experiment bereits deutlich, dass die Interaktion von Mensch und Maschine nicht unproblematisch ist. Es braucht offenbar nicht viel, um Men-

schen das Gefühl zu geben, es mit einer intelligenten Maschine zu tun zu haben.

In den 1970er und 1980er Jahren entstanden auch in Europa Forschungsgruppen und Förderprogramme zur KI. Diese Jahre sahen die ersten Expertensysteme: Anstelle der allgemeinen Problemlöser entstanden nun Programme für klar umgrenzte Aufgaben, wie «Mycin» zur Diagnose von Blutinfektionen und «Dendral» zur Analyse von Daten aus dem Massenspektrometer. Dazu kodierte man zum einen das bestehende Wissen zu einem Fachgebiet in einer für die Computer handhabbaren Weise. Zum anderen befragte man Experten, also Mediziner, Biologen, Chemiker, nach ihrem Vorgehen und versuchte, auch dieses in Form von Wenn-dann-Regeln in Programmen nachzubilden. Weil sie auf das Wissen der menschlichen Experten setzt, heißt diese Art der Programmierung «wissensbasiert».

So entstanden beeindruckende Datenbanken und mächtige Algorithmen, um diese zu durchforsten. Das umfänglichste und ambitionierteste unter den Expertensystemen ist Cyc, kurz für Encyclopedia. Forscher um Douglas Lennat haben über 30 Jahre und vier Millionen Arbeitsstunden damit verbracht, dieses System mit Weltwissen zu füttern, mit Begriffen, Sätzen und Verknüpfungen zwischen ihnen. Wasser macht nass, Regen ist Wasser, das in Tropfen vom Himmel fällt. Also macht Regen nass. Vögel fliegen und flattern dazu mit den Flügeln, Flugzeuge fliegen, ohne zu flattern. Sie hofften, so die Grundlage für eine Art künstlichen gesunden Menschenverstand zu schaffen. Damit könnte eine Frage-Antwort-Maschine dann zum Beispiel vermeiden, falsche Antworten zu geben, weil es ihr an Hintergrundwissen fehlt, das uns selbstverständlich ist. Heute wird Cyc als Datenbank, als Planungsassistent und Anlageberater vermarktet. Expertensysteme bewährten sich in Bereichen des sogenannten deklarativen Wissens – Wissen, das man ausbuchstabieren kann. Sie waren die ersten kommerziell verwertbaren Produkte der KI-Forschung und machten diese einer größeren Öffentlichkeit bekannt.

Wissensbasierte Systeme spielen bis heute in der KI eine wichtige Rolle. Sie kommen zum Einsatz, wo Probleme mit klassi-

scher Programmierung gelöst werden können, und ergänzen lernende Systeme. Sie werden geschätzt, weil ihr Vorgehen, anders als das mancher lernender Verfahren, nachvollziehbar ist. Meist firmieren die Nachfolger der Expertensysteme heute unter der Bezeichnung «Knowledge Graph», Wissensgraph, einem Begriff, der ursprünglich von Google-Forschern für die Wissensbasis ihrer Suchmaschine geprägt wurde.

Doch Expertensysteme stoßen an ihre Grenzen, wenn es um Ausnahmen geht, um Aufgaben, die eben nicht klar umrissen sind, bei denen wir nicht einmal selbst genau wissen, wie sie zu lösen sind, und die sich daher nicht auf herkömmliche Weise programmieren lassen. Zudem ist es sehr aufwändig, sie mit Wissen auszustatten und dieses aktuell zu halten. Obwohl Forscher immer mehr Daten zusammentrugen, wurden die Expertensysteme nicht wirklich intelligent. Auch die 1980er Jahre sahen daher einen KI-Winter: eine Phase enttäuschter Hoffnungen und zurückgefahrener Forschungsgelder.

Zugleich besannen sich die Forscherinnen und Forscher wieder auf lernende Verfahren. Unter dem Namen «Konnektionismus» oder «subsymbologische Informationsverarbeitung» erlebten die mehr am Gehirn orientierten Verfahren einen zweiten Aufschwung. In der klassischen Programmierung stehen Symbole für Dinge in der Welt, Regeln geben an, wie mit ihnen zu verfahren ist, wie sie zu «manipulieren» sind, und richten sich dabei nach den Vorgaben der Logik. Wenn Geschwister dieselben Eltern haben und A und B die Eltern von C und D sind, sind C und D Geschwister. Die subsymbolischen Verfahren beruhen hingegen auf dem Gedanken, dass die Systeme selbst lernen sollen, worauf es bei einer Problemlösung ankommt. Die Strukturen, die sich dabei bilden, stehen nicht wie Wörter oder Bilder für Dinge in der Welt, sie sind weniger abstrakt als diese und damit «subsymbologisch». Auch Möglichkeiten, beide Ansätze zu kombinieren, wurden schon früh diskutiert.

Seit den 2000er und vor allem seit den 2010er Jahren bestimmen Fortschritte in maschinellen Lernverfahren, vor allem dem sogenannten «tiefen Lernen», Deep Learning, auf der Basis Künstlicher Neuronaler Netze (KNN) die Entwicklung der KI.

Die letzten Jahre sind geprägt von immer mehr marktreifen Produkten, die diese Verfahren verwenden. Die Grundlagenforschung blickt schon darüber hinaus.

Die Fortschritte der KI haben auch die Robotik verändert. Zu den schweren, schnellen, aber unflexiblen Arbeitsmaschinen, die festgeschraubt an den Fließbändern der Industrie und durch Zäune oder Lichtschranken von Menschen getrennt, immer dieselben Bewegungen ausführen, sind leichtere, flexiblere Maschinen getreten. Sie können ihre Umwelt wahrnehmen, sich ihren Weg selbst suchen, ihre Handlungen in einem gewissen Umfang selbst planen. Auch Roboter profitieren von den Möglichkeiten des maschinellen Lernens, von Verfahren, sich Bewegungen bei Menschen abzuschauen oder sie in der Simulation zu erproben (siehe S. 80).

Nachdem die KI-Forschung die längste Zeit hinter den Labortüren der Wissenschaft und des Militärs stattgefunden hat, sind Anwendungen, die auf lernenden oder klassischen Verfahren beruhen, und auch der eine oder andere Roboter inzwischen im Alltag präsent. So kommen zu aktuellen Forschungsfragen, die sich mit den Möglichkeiten der lernenden Verfahren und der Überwindung ihrer Grenzen befassen, weitere Themen: Fragen nach der Interaktion von Mensch und Maschine, die Frage, wo welche Systeme zum Einsatz kommen sollen, und die nach den Auswirkungen der Verwendung algorithmischer Verfahren für den Einzelnen und die Gesellschaft. Aus einem ein wenig esoterischen Forschungsfeld ist eine Technologie geworden, die die Welt verändert.

Mehr Informationen zu [diesem](#) und vielen weiteren Büchern aus dem Verlag C.H.Beck finden Sie unter: www.chbeck.de