

vorlegt, verdankt er seinem Fachwissen im Bereich der KI. Für die Zukunft rechnet er damit, dass Menschen durch technologische Modifikationen verbessert werden.

An dieser Stelle sollte man gleich darauf hinweisen, dass nicht nur Historiker und Science-Fiction-Schriftsteller, sondern auch manche unserer geachteten Wissenschaftler glauben, dass die gesamte Menschheit durch Technologie verändert werden wird. Der britische Astronom Lord Rees etwa behauptet, wir könnten keineswegs damit rechnen, dass in ein paar Jahrhunderten die intelligenten Wesen, die dann die Erde beherrschen, uns emotional irgendwie ähnlich sind – obwohl sie möglicherweise mit einem Algorithmus verstehen, wie wir uns damals verhalten haben.⁵

In die gleiche Kerbe schlägt er, wenn er sagt: »Abstraktes Denken mit einem biologischen Gehirn liegt aller Kultur und Wissenschaft zugrunde. Doch diese Aktivität – die höchstens einige Zehntausend Jahre umfasst – wird nur ein kurzlebiger Vorläufer des viel mächtigeren Intellekts der nicht organischen nachmenschlichen Ära sein. In der fernen Zukunft wird es also nicht der menschliche Verstand, sondern der von Maschinen sein, der den Kosmos umfassend versteht.«⁶

Dieses Thema wird nicht einfach verschwinden. Es ist nicht nur für Menschen interessant, die unmittelbar in der KI-Forschung arbeiten, sondern auch für Mathematiker und andere Wissenschaftler, deren Arbeit in zunehmendem Maße davon beeinflusst wird. Weil die Forschungsergebnisse und Ideen, die mit KI zusammenhängen, unweigerlich auf uns alle Auswirkungen haben werden, denken ebenso viele Nicht-Naturwissenschaftler darüber nach und schreiben etwas dazu. Ihre Aussagen verdeutlichen, wie wichtig es ist, dass sich zum Beispiel Philosophen, Ethiker, Theologen, Kulturwissenschaftler, Romanschriftsteller und Künstler an der Debatte beteiligen. Schließlich muss man kein Nuklearphysiker oder Klimatologe sein, um mitreden zu können, wenn es um Kernenergie oder die Auswirkungen des Klimawandels geht.

Was ist KI?

Reden wir zunächst einmal über Roboter. Der Begriff stammt von dem tschechischen (und russischen) Wort für Arbeit *robota*. Ein Roboter ist eine Maschine, die von einem mit Intelligenz ausgestatteten Menschen entworfen und programmiert wurde, um typischerweise eine bestimmte Aufgabe zu erledigen, die physische Interaktion mit ihrem Umfeld erfordert – eine Aufgabe also, mit der man normalerweise einen mit Intelligenz ausgestatteten Menschen betrauen müsste. In diesem Sinne ahmt ein Roboter mit seinem Verhalten menschliche Intelligenz nach. Deshalb wird intensiv darüber diskutiert, ob man Roboter in gewissem Sinne als intelligent bezeichnen sollte, selbst wenn diese Art von Intelligenz nichts mit dem zu tun hat, was wir unter menschlicher Intelligenz verstehen – und was menschliche Intelligenz ausmacht, ist eine andere große Frage.

Der Begriff Künstliche Intelligenz wurde 1956 auf einem Sommerkurs des Fachbereichs Mathematik an der Dartmouth University geprägt, der von John McCarthy organisiert worden war. Er sagte: »KI ist die Wissenschaft und die Konstruktion von intelligenten Maschinen.«⁷

Heute wird der Begriff für die intelligenten Maschinen selbst und für die Wissenschaft und Technologie, die zu diesem Ziel führen, gebraucht.

Die Forschung in diesem Bereich hat zwei unterschiedliche Richtungen eingeschlagen. Grob gesagt versucht man erstens, menschliche Denkprozesse zu verstehen und sie mit Computertechnologie zu modellieren. Zweitens sieht man sich menschliches Verhalten genau an und versucht, Maschinen zu konstruieren, die dies nachahmen. Das ist ein wichtiger Unterschied: Es ist eine Sache, eine Maschine zu konstruieren, die zum Beispiel eine menschliche Hand nachahmt, die etwas hochhebt. Aber es ist etwas völlig anderes, eine Maschine zu konstruieren, die die Gedanken eines Menschen simulieren kann, während dieser etwas hochhebt. Ersteres ist viel leichter, und wenn man nur auf Nützlichkeit aus ist, reicht das auch aus. Schließlich beschäftigt sich der Flugzeugbau auch nur damit, Maschinen zu konstruieren, die fliegen können, aber nicht damit, ein elektronisches Hirn zu konstruieren, das einen Vogel simuliert, damit das Flugzeug genauso fliegen kann wie ein Vogel – nämlich, indem es mit den Flügeln schlägt.⁸

Die Idee, Maschinen zu konstruieren, die bestimmte Aspekte menschlichen und auch tierischen Verhaltens imitieren können, hat eine lange Geschichte. Vor 2000 Jahren konstruierte der griechische Mathematiker Heron von Alexandria ein Becken, das mit mechanischen singenden Vögeln und einer Eule bestückt war, die den Kopf drehen und so die anderen Vögel zum Schweigen bringen konnte. Im Laufe der Jahrhunderte waren Menschen immer wieder fasziniert davon, Automaten zu bauen, also Maschinen, die irgendeinen Aspekt des Lebens imitieren. Eine eindrucksvolle Sammlung von solch ausgefeilten Automaten kann man sich zum Beispiel im *London Science Museum*, im Wiener Kunsthistorischen Museum oder im Museum *Speelklok* in Utrecht ansehen. Das Interesse an der Konstruktion solcher Maschinen nahm im 19. Jahrhundert ab, lebte aber in der erzählenden Literatur weiter, wie zum Beispiel in dem 1818 von Mary Wollstonecraft Shelley veröffentlichten Roman *Frankenstein*. Er gehört zum Urgestein der Science-Fiction-Literatur, seit es dieses Genre gibt.

Zahlen zu berechnen ist im Alltag wichtig, und man hat viel Aufwand betrieben, um diesen Prozess zu automatisieren. Im 17. Jahrhundert baute der französische Mathematiker Blaise Pascal eine mechanische Rechenmaschine,⁹ mit der er seinen Vater, einen Steuerinspektor, bei seinen langwierigen Berechnungen unterstützen wollte. Im 19. Jahrhundert legte Charles Babbage die Grundlagen der Programmierung, als er die erste Differenzmaschine erfand – eine automatische Additionsmaschine – und später die analytische Maschine, den ersten programmierbaren Rechner. Babbage wird zu Recht als Vater des modernen Computers betrachtet.

Während des Zweiten Weltkriegs nutzte der brillante britische Computerwissenschaftler Alan Turing ausgefeilte elektronische Computertechnologie,

um Geräte zu bauen – hier ist vor allem die sogenannte Turing-Bombe zu nennen –, die es ihm und seinem Team in Bletchley Park ermöglichte, den Code der deutschen Enigma-Chiffriermaschine zu knacken, die im militärischen Nachrichtendienst genutzt wurde. Turings Erfindungen und theoretische Arbeiten führten zu seinem Vorschlag einer »lernenden Maschine«. Ihm zufolge würde eine Maschine, die sich mit Menschen unterhalten konnte, ohne dass der Gesprächspartner wusste, dass es sich um eine Maschine handelte, das »Imitationsspiel« gewinnen und als »intelligent« gelten. Heute unter der Bezeichnung »Turing-Test« bekannt, lieferte diese Definition einen praktischen Test, ob man einer Maschine Intelligenz zusprechen könne. Wie wir später sehen werden, wurde dieser Ansatz von Philosophen infrage gestellt.

Etwa um dieselbe Zeit im Jahr 1951 bauten Marvin Minsky, Mitgründer des KI-Forschungslabors am MIT, und Dean Edmond den ersten Neurocomputer. Weitere bedeutende Schritte auf dem Weg, die auch in der Öffentlichkeit wahrgenommen wurden, waren der Deep-Blue-Rechner von IBM, der 1997 den Schachweltmeister Garry Kasparov besiegte, und 2016 das AlphaGo-Programm von Google, das erstmals einen menschlichen Go-Spieler schlug und dafür maschinelles Lernen nutzte. Wie wichtig KI ist, wurde 2018 durch den Turing Award – gewissermaßen der »Nobelpreis der Informatik« – noch einmal herausgestellt. Er wurde drei Forschern verliehen, die die Grundlage für den aktuellen KI-Boom legten, vor allem im Bereich Deep Learning.

Die ersten Roboter und KI-Systeme beherrschten das heute sogenannte »maschinelle Lernen« noch nicht. Der Schlüssel zu diesem maschinellen Lernen liegt in Algorithmen von ganz unterschiedlicher Art – zum Beispiel symbolischen oder mathematischen.¹⁰ Der Begriff *Algorithmus* leitet sich vom Namen des berühmten persischen Mathematikers, Astronomen und Geografen Muhammad ibn Musa Chwa-rizmi- (ca. 780–850) ab, der in Latein »Algorismi« heißt.¹¹

Heute meint ein Algorithmus eine »genau definierte Menge von mathematischen oder logischen Operationen für die Durchführung einer bestimmten Aufgabe« (OED). Die Idee dahinter kann man bis auf das alte Babylonien in der Zeit zwischen 1800 und 1600 v. Chr. zurückverfolgen. Der Informatiker Donald Knuth veröffentlichte einige dieser alten Algorithmen und kam zu dem Schluss: »Die Rechnungen, die auf babylonischen Tontafeln notiert wurden, sind nicht nur Lösungen für ganz spezielle Probleme, sondern allgemeine Verfahren, mit denen man eine ganze Klasse von Aufgabenstellungen lösen kann.«¹² Und das ist die entscheidende Eigenschaft eines Algorithmus: Wenn man einmal weiß, wie er funktioniert, kann man damit nicht nur eine spezielle Aufgabe, sondern eine ganze Reihe von Aufgaben lösen.

Einer der bekanntesten Algorithmen, den viele von uns schon in der Schule kennengelernt haben, ist der euklidische Algorithmus, mit dem man den größten gemeinsamen Teiler (ggT) zweier natürlicher Zahlen bestimmen kann. Zuerst wurde er von Euklid in seinem Werk *Die Elemente* beschrieben, das um 300 v. Chr. verfasst wurde. Es handelt sich um einen sehr effizienten Algorithmus, der in der ein oder anderen Form noch heute bei Computern benutzt wird. Dabei werden wiederholt Divisionen mit Rest

durchgeführt, bis man das erwünschte Ergebnis erhält. Wie der Algorithmus funktioniert, kann man am besten mit einem Beispiel nachvollziehen – obwohl er für jedes Paar natürlicher Zahlen funktioniert.

Nehmen wir an, wir möchten den ggT von 56 und 12 berechnen. Dann würden wir folgende Schritte machen:

Schritt 1: Teile die größere Zahl durch die kleinere. $56 : 12 = 4$ Rest 8

Schritt 2: Teile den Divisor aus der vorangegangenen Rechnung durch den Rest. $12 : 8 = 1$
Rest 4

Schritt 3: Wiederhole Schritt 2 so lange, bis die Division ohne Rest aufgeht (in diesem Fall gibt es nur noch einen weiteren Schritt). $8 : 4 = 2$ (ohne Rest)

In diesem Fall ist also der ggT 4.

Es ist nicht schwer, das in ein Programm umzusetzen und auf dem Computer ablaufen zu lassen. Ein Blick ins Internet zeigt, dass es Tausende von unterschiedlichen Algorithmen gibt, die wir heute in jedem nur vorstellbaren Bereich von Wissenschaft, Ingenieurwesen und Medizin einsetzen. Das bedeutendste Beispiel ist der Bereich der Robotik, denn Roboter wurden eigens dazu entworfen, eine einfache Aufgabe immer und immer wieder zu wiederholen.

In einem typischen KI-System von heute werden die relevanten Algorithmen in eine Computersoftware eingebettet, die die eingegebenen Daten sortiert, filtert und auswählt. Ein Ansatz verfolgt dabei das Ziel, die neuronalen Funktionen des menschlichen Cortex (neuronale Netzwerke) zumindest in einem gewissen Maße zu simulieren. Allgemein gesprochen kann solch ein System Trainingsdaten nutzen, um (durch maschinelles Lernen¹³) zu »lernen«, wie man digitale Muster wie Bilder, Klänge, gesprochene oder geschriebene Sprache und Daten erkennt, identifiziert und interpretiert. Ein anderer Ansatz nutzt Computeranwendungen, die auf der Bayesschen Wahrscheinlichkeitslogik basieren, um die verfügbaren Informationen aus einem statistischen Blickwinkel zu analysieren, um davon ausgehend die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Hypothese abzuschätzen. Kurz: Ein System, das mit maschinellem Lernen arbeitet, nimmt Informationen über die Vergangenheit auf und trifft Entscheidungen oder macht Vorhersagen, wenn es mit neuen Informationen gefüttert wird.

An dieser Stelle ist der Hinweis wichtig, dass Algorithmen ausdrücklich so programmiert sind, dass sie Funktionen approximieren, normalerweise mittels numerischer Optimierung, und in den meisten Fällen werden sie auch mit beispielhaften Datensätzen von Ein- und Ausgaben gefüttert sowie mit Kriterien, wann dieser Prozess abgebrochen werden soll, um Leitlinien für die Optimierung zu liefern. Sie verarbeiten aber nicht einfach Daten, ohne dass irgendwo in der Schleife ein Mensch sitzt, der den gesamten Prozess leitet (selbst wenn das in der Form geschieht, dass ein Mensch einen

»kritischen« Algorithmus entwirft und ihn in die Schleife einbaut usw.). Der Mensch handelt bewusst. Die Maschine nicht.

In der Frühphase der KI ersonnen Menschen Algorithmen, die bestimmte Probleme lösen sollten. Heute ist das anders. Man entwirft einen allgemeinen lernfähigen Algorithmus, der dann die Lösung eines Problems »erlernt«. Häufig kennt der menschliche Entwickler keinen speziellen Algorithmus für die Lösung des betreffenden Problems und weiß nicht, wie das System zu seinen Schlussfolgerungen gelangt. Die frühen Schachprogramme gehörten zum ersten Typ (sogar Deep Blue ist eher dieser Kategorie zuzurechnen), die moderne Go-Software dagegen zum zweiten.

Hier sind einige Beispiele von KI-Systemen, von denen viele in der Öffentlichkeit bekannt sind:

- Amazon setzt Algorithmen ein, die die Produkte, die Sie und Millionen anderer Kunden online kaufen, zurückverfolgen. Dann wird diese gewaltige Datenbank durchforstet und die Listen werden mit ähnlichen Produkten verglichen, die Sie noch nicht besitzen könnten. Zuletzt werden statistische Methoden eingesetzt, um diejenigen Produkte auszuwählen, die Leute »wie Sie« gekauft haben und die dann auf Ihrem Bildschirm eingeblendet werden.
- Ein computerbasierter Algorithmus kann eine Datenbank mit Bewerbungen durchkämmen und die am besten geeigneten Kandidaten identifizieren. Stellenausschreibungen, die Tausende von Bewerbern anziehen, werden nun von KI-Systemen ausgewertet. Sie führen die ersten Bewerbungsgespräche, wo nicht nur die Antworten der Bewerber auf die gestellten Fragen gesammelt, sondern auch ihre emotionalen Reaktionen gefilmt werden, um zu sehen, wer im Bewerbungsprozess weiterkommt.
- KI wird mit Erfolg bei der Konstruktion energieeffizienter Gebäude, bei Haushaltsgeräten, die mit dem Internet der Dinge verbunden sind, und bei integrierten Transportsystemen eingesetzt.
- Schon heute gibt es KI-Systeme, die mit Datenbanken arbeiten, in denen Tausende Röntgenaufnahmen gespeichert sind, beispielsweise von Lungen in unterschiedlichem Gesundheitszustand, jede mit einer erstklassigen medizinischen Analyse. Das System vergleicht dann eine Röntgenaufnahme Ihrer Lunge mit der Datenbank, um zu überprüfen, ob Sie zum Beispiel an einer bestimmten Form von Krebs leiden oder nicht. Genauer gesagt extrahiert es statistische Daten über visuelle Muster in der Röntgenaufnahme und vergleicht sie mit anderen extrahierten Mustern in der Datenbank. Solche Systeme können in manchen Fällen genauere Diagnosen stellen als die besten menschlichen Ärzte.
- Astronomen setzen KI und maschinelles Lernen ein, um schnelle Radioblitze aus weit entfernten Galaxien zu identifizieren, und zwar auf Grundlage einer gewaltigen Datenbank, in der Signale von Radioteleskopen gesammelt werden. Bis September 2018 wurden zum Beispiel 72 neue Signale gefunden, die nun im Rahmen