



MARTIN  
FORD

HERRSCHAFT

DER

Wie künstliche Intelligenz alles transformieren wird – und wie wir damit umgehen können

ROBOTER

PLASSEN  
VERLAG

Martin Ford · Herrschaft der Roboter

MARTIN FORD

HERRSCHAFT

DER

ROBOTER

Wie künstliche Intelligenz  
alles transformieren wird –  
und wie wir damit umgehen können

PLASSEN  
VERLAG

Die Originalausgabe erschien unter dem Titel  
Rule of the robots: how artificial intelligence will transform everything  
ISBN 978-1-5416-7473-8

Copyright der Originalausgabe 2021:

© 2021 by Martin Ford.

This edition published by arrangement with Basic Books, an imprint of Perseus Books LLC,  
a subsidiary of Hachette Book Group, Inc., New York, New York, USA. All rights reserved.

Copyright der deutschen Ausgabe 2022:

© Börsenmedien AG, Kulmbach

Übersetzung: Petra Pyka

Gestaltung Cover: Timo Boethelt

Gestaltung, Satz und Herstellung: Timo Boethelt

Lektorat: Christoph Landgraf

Druck: GGP Media GmbH, Pößneck

ISBN 978-3-86470-836-7

Alle Rechte der Verbreitung, auch die des auszugsweisen Nachdrucks,  
der fotomechanischen Wiedergabe und der Verwertung durch Datenbanken  
oder ähnliche Einrichtungen vorbehalten.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten  
sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

BÖRSEN  MEDIEN  
AKTIENGESELLSCHAFT

Postfach 1449 • 95305 Kulmbach

Tel: +49 9221 9051-0 • Fax: +49 9221 9051-4444

E-Mail: [buecher@boersenmedien.de](mailto:buecher@boersenmedien.de)

[www.plassen.de](http://www.plassen.de)

[www.facebook.com/plassenverlag](https://www.facebook.com/plassenverlag)

[www.instagram.com/plassen\\_buchverlage](https://www.instagram.com/plassen_buchverlage)

Für meine Mutter Sheila

# INHALT\_

1_	Die Disruption beginnt	9
2_	KI – der neue Strom?	19
3_	Mehr als nur Hype? Künstliche Intelligenz als Versorgungsgut – eine realistische Einschätzung	41
4_	Die Mission, eine intelligente Maschine zu bauen	105
5_	Deep Learning und die Zukunft der künstlichen Intelligenz	121
6_	Arbeitsplatzverluste und wirtschaftliche Folgen von KI	175
7_	China und der Siegeszug des KI-Überwachungsstaats	217
8_	Die Risiken der KI	251
*_	Fazit: Zwei Zukunftsszenarien für künstliche Intelligenz	285
	Danksagung	291
	Endnoten	293

## KAPITEL 1

# Die Disruption beginnt

**A**m 30. November 2020 meldete DeepMind – eine auf künstliche Intelligenz spezialisierte Londoner Tochter der Google-Muttergesellschaft Alphabet – einen erstaunlichen und vermutlich sogar historischen Durchbruch in der Computerbiologie: eine Innovation, die Wissenschaft und Medizin wirklich revolutionieren könnte. Dem Unternehmen war es gelungen, mithilfe tiefer neuronaler Netze vorherzusagen, wie sich ein Eiweißmolekül auf der Grundlage des genetischen Codes, aus dem das Molekül von Zellen gebildet wird, in seine Endform faltet. Das war ein Meilenstein – der Gipfelpunkt von 50 Jahren medizinischer Forschung, der vom Aufkommen einer ganz neuen Technologie zeugte, die dazu angetan schien, uns ein ganz neues Verständnis von den ureigenen Bausteinen des Lebens zu vermitteln und damit ein neues Zeitalter medizinischer und pharmazeutischer Innovation einzuläuten.<sup>1</sup>

Proteinmoleküle sind lange Ketten, deren einzelne Glieder jeweils aus einer von 20 verschiedenen Aminosäuren bestehen. Die in der DNA verschlüsselten Gene geben die genaue Abfolge dieser Aminosäuren vor, aus denen das Eiweißmolekül gebildet wird – quasi das Rezept. In diesem genetischen Rezept fehlen aber genaue Angaben zur Form des Moleküls, die für seine Funktion entscheidend ist. Diese Form ergibt sich vielmehr aus der Art und Weise, wie sich das Molekül in Millisekunden nach seiner Herstellung in der Zelle automatisch zu einer komplexen dreidimensionalen Struktur auffaltet.<sup>2</sup>

Die exakte Faltkonfiguration eines Eiweißmoleküls vorherzusagen gehört zu den größten Herausforderungen in der Wissenschaft. Die Zahl möglicher Formen ist praktisch unbegrenzt. Wissenschaftler haben diesem Problem schon ganze Karrieren gewidmet, doch auch mit vereinten Kräften nur sehr bescheidene Erfolge erzielt. Das System von DeepMind bedient sich Methoden der künstlichen Intelligenz (KI), die das Unternehmen in Pionierleistung bereits für die Systeme AlphaGo und AlphaZero einsetzte – mit spektakulären Triumpfen über die besten menschlichen Gegner bei Brettspielen wie Go und Schach. Doch die Zeiten, in denen KI in erster Linie mit spielerischen Kompetenzen assoziiert wird, neigen sich ihrem Ende zu. AlphaFold kann die Form von Proteinmolekülen so genau vorhersagen wie teure, zeitraubende Messungen im Labor unter Einsatz von Techniken wie der Kristallstrukturanalyse. Damit liefert das System den unwiderlegbaren Beweis, dass wir der Forschung an vorderster Front der künstlichen Intelligenz ein praktisches, unverzichtbares wissenschaftliches Instrument verdanken – mit dem Potenzial, die Welt zu verändern.

Dieser Durchbruch kam, als die allermeisten Menschen auf der Welt bereits eine Illustration des berühmtesten Beispiels dafür gesehen hatten, wie die dreidimensionale Form eines Proteinmoleküls seine Funktion bestimmt. Damit meine ich das Spike-Protein des Coronavirus, eine Art molekularer Andock-Mechanismus, der es dem Virus ermöglicht, an seinem Wirt anzukoppeln und diesen zu infizieren. Dieser Erfolg weckte die Hoffnung, dass wir auf die nächs-

te Pandemie deutlich besser vorbereitet sein könnten. Vielleicht ließe sich das System ja praktisch nutzen, um vorhandene Medikamente rasch daraufhin abzuprüfen, welche davon gegen ein neu aufge- tauchtes Virus voraussichtlich die beste Wirkung zeigen. Dann stün- den den Ärzten bereits im Anfangsstadium eines Ausbruchs effekti- ve Behandlungsmöglichkeiten zur Verfügung. Darüber hinaus bietet die Technologie von DeepMind beste Voraussetzungen für eine ganze Reihe von Fortschritten, darunter die Entwicklung vollkom- men neuartiger Medikamente und die Gewinnung genauerer Er- kenntnisse darüber, wie es zu einer fehlerhaften Proteinfaltung kom- men kann – Erscheinungen, die mit Krankheiten wie Diabetes, aber auch Alzheimer und Parkinson in Zusammenhang gebracht werden. Die Technologie könnte eines Tages auch außerhalb der Medizin breit gefächert Anwendung finden und beispielsweise zur künstli- chen Herstellung von Mikroben beitragen, die Proteine freisetzen können, um Abfälle wie Plastik oder Öl abzubauen.<sup>3</sup> Es handelt sich dabei also um eine Innovation, die den Fortschritt in praktisch allen Disziplinen der Biochemie und Medizin vorantreiben könnte.

So hat etwa in den letzten zehn Jahren die Disziplin der künstli- chen Intelligenz einen revolutionären Sprung gemacht und eröffnet erstmals eine zunehmende Zahl praktischer Anwendungsmöglich- keiten, die unsere Umwelt bereits verändern. Der maßgebliche Be- schleunigungsfaktor für diesen Fortschritt ist „Deep Learning“ – eine Methode des maschinellen Lernens, bei der vielschichtige künstliche neuronale Netze zum Einsatz kommen, wie sie von Deep- Mind genutzt werden. Die Grundlagen tiefer neuronaler Netze sind seit Jahrzehnten bekannt. Die unlängst erzielten spektakulären Fort- schritte wurden möglich, weil zwei unaufhaltsame Trends in der In- formationstechnologie zusammentrafen: Zum einen wurden Com- puter mit enorm höherer Rechenleistung entwickelt, die erstmals die Voraussetzungen dafür schufen, neuronale Netze wirklich effektiv zu nutzen. Zum anderen stellt der immense Datenreichtum, der heute in der gesamten Informationswirtschaft erzeugt und erfasst wird, eine Ressource da, ohne die diese Netze nicht auf die Ausführung

sinnvoller Aufgaben trainiert werden könnten. Dass Daten in einem einst unvorstellbaren Umfang zur Verfügung stehen, ist wohl der wichtigste Einzelfaktor, der dem bisher beobachteten erstaunlichen Fortschritt zugrunde liegt. Wie tiefe neuronale Netze Daten einsaugen und nutzen, erinnert stark an einen riesigen Blauwal, der sich von winzigem Krill ernährt: Er nimmt eine gewaltige Menge für sich genommen unbedeutender Organismen auf, von deren kollektiver Energie ein Geschöpf von gewaltiger Größe und Kraft leben kann.

Während künstliche Intelligenz erfolgreich auf immer mehr Gebieten Anwendung findet, wird deutlich, dass sie sich zu einer Technologie von nie da gewesener Tragweite entwickelt. In manchen medizinischen Fachbereichen leisten diagnostische KI-Anwendungen bereits ebenso viel oder gar mehr als der beste Arzt. Die wahre Leistung einer solchen Innovation liegt aber nicht nur darin, dass sie einem erstklassigen Mediziner den Rang ablaufen kann, sondern vielmehr darin, wie problemlos die in der Technologie eingebettete Intelligenz skalierbar ist. Schon bald wird überragende diagnostische Kompetenz weltweit bezahlbar zur Verfügung stehen – auch dort, wo die Menschen kaum Zugang zu einem Arzt oder einer Pflegekraft haben, und bei den global führenden medizinischen Spezialisten sowieso.

Nun stellen Sie sich bitte vor, so eine extrem spezifische Innovation wie ein KI-gestütztes Diagnosetool oder vielleicht der von DeepMind erzielte Durchbruch bei der Proteinfaltung wird mit einer quasi unbegrenzten Anzahl von Möglichkeiten auf anderen Fachgebieten, von Medizin über Wissenschaft, Industrie, Verkehr, Energie und öffentliche Verwaltung bis hin zu jedem anderen menschlichen Tätigkeitsbereich, multipliziert. Daraus ergibt sich letztlich ein neues, beispiellos leistungsfähiges Versorgungssystem – im Grunde eine Art „Intelligenzstrom“: eine flexible Ressource, die – eines Tages womöglich auf Knopfdruck – kognitive Fähigkeiten auf praktisch jedes Problem anwenden kann, mit dem wir konfrontiert sind. Am Ende wird uns dieses neue Versorgungssystem die Möglichkeit eröffnen, nicht nur Entscheidungen zu analysieren und zu treffen, sondern komplexe Probleme zu lösen, und dabei sogar Kreativität beweisen.

Dieses Buch soll ausloten, wie sich die künstliche Intelligenz künftig auswirkt, allerdings ohne sie als eine spezifische Innovation zu betrachten, sondern vielmehr als eine einzigartig skalierbare und potenziell revolutionäre Technologie – ein hochpotentes neues Versorgungssystem, das uns eines Tages ähnlich revolutionäre Umwälzungen bescheren kann wie seinerzeit der elektrische Strom. Die von mir angeführten Argumente und Erklärungen stützen sich stark auf drei Aspekte meiner persönlichen Berufserfahrung.

Erstens wurde ich seit der Veröffentlichung meines Buches „Aufstieg der Roboter: Wie unsere Arbeitswelt gerade auf den Kopf gestellt wird – und wie wir darauf reagieren müssen“ im Jahr 2015 zu Dutzenden von Technologiekonferenzen, regionalen Gipfeln und Veranstaltungen von Wirtschaft und Lehre geladen, um über die Auswirkungen künstlicher Intelligenz und Robotik zu referieren. Ich habe über 30 Länder bereist und hatte Gelegenheit, Forschungslabore zu besuchen, mir modernste Technologie vorführen zu lassen und mit Fachleuten, Wirtschaftsexperten, Topmanagern, Investoren und Politikern, aber auch mit ganz normalen Menschen, die die Veränderungen, die um sie herum stattfinden, wahrnehmen und allmählich bedenklich finden, über die Folgen der laufenden KI-Revolution zu sprechen und zu diskutieren.

Außerdem arbeite ich seit 2017 mit einem Team von der französischen Bank Société Générale an der Entwicklung eines eigenen Aktienmarktindex, der es Anlegern ermöglichen soll, direkt von der Revolution der Robotik und der künstlichen Intelligenz zu profitieren. In meiner Funktion als beratender Fachmann zum Thema wirkte ich an der Formulierung einer Strategie mit, der die Auffassung zugrunde liegt, dass KI zu einem wirkmächtigen neuen Versorgungsgut wird und daher in vielen verschiedenen Branchen Wert generieren und Unternehmen revolutionieren dürfte. Daraus ging der „Rise of the Robots“-Index der Société Générale hervor – und anschließend der Lyxor Robotics and AI ETF<sup>4</sup> (Exchange Traded Fund), der sich auf diesen Index stützt.

Und schließlich hatte ich im Verlauf des Jahres 2018 die Chance, mich mit 23 der führenden Forscher und Unternehmer für künstliche Intelligenz zusammzusetzen und über viele verschiedene Themen zu sprechen. Diese Männer und Frauen sind wahrhaftig die „Einsteins“ ihres Fachs – vier davon Träger des Turing Award, der sozusagen der Nobelpreis für Informatiker ist. Die Gespräche, die sich um die Zukunft der künstlichen Intelligenz und um die Risiken und Chancen drehten, die dieser Fortschritt birgt, sind in meinem 2018 erschienenen Buch „Die Intelligenz der Maschinen: Mit Koryphäen der Künstlichen Intelligenz im Gespräch: Innovationen, Chancen und Konsequenzen für die Zukunft der Gesellschaft“ aufgezeichnet. Diese einzigartige Gelegenheit habe ich ausgiebig genutzt, um zu erfahren, was in den allerklügsten Köpfen vorgeht, die sich mit künstlicher Intelligenz befassen. Ihre Erkenntnisse und Prognosen haben unmittelbar großen Anteil am Stoff dieses Buches.

Begreifen wir die künstliche Intelligenz als neue Elektrizität, so liefert uns das ein geeignetes Modell für Überlegungen dazu, wie sich die Technologie weiterentwickeln und letztlich fast jeden Aspekt der Wirtschaft, Gesellschaft und Kultur berühren wird – allerdings mit einem wesentlichen Vorbehalt: Der elektrische Strom wird allgemein als eindeutig positive Kraft wahrgenommen. Vom verschrobensten Einsiedler einmal abgesehen, gibt es wohl kaum einen Einwohner eines Industrielands, der Grund hat, die Elektrifizierung zu bedauern. Bei KI ist das anders: Sie hat eine dunkle Seite und geht mit echten Gefahren für jeden Einzelnen und für die ganze Gesellschaft einher.

Macht die künstliche Intelligenz weiterhin Fortschritte, so hat sie das Potenzial, den Arbeitsmarkt und auch die gesamte Wirtschaft in bisher beispiellosem Ausmaß auf den Kopf zu stellen. Praktisch jede Aufgabe, die im Grunde routinemäßig abläuft und vorhersagbar ist – also so ziemlich jeder Arbeitsplatz, der Menschen immer wieder vor ähnliche Herausforderungen stellt –, könnte ganz oder teilweise automatisiert werden. Studien zufolge ist immerhin die Hälfte aller amerikanischen Arbeitnehmer mit solchen vorhersagbaren Tätig-

keiten befasst. Allein in den Vereinigten Staaten könnten sich zig Millionen Arbeitsplätze früher oder später in Luft auflösen.<sup>5</sup> Das werden nicht nur ungelernte Niedriglöhner spüren. Auch viele Angestellte und Fachkräfte erfüllen überwiegend Routineaufgaben. Vorhersagbare Wissensarbeit ist besonders automatisierungsgefährdet, denn sie könnte auch von einer Software erledigt werden. Für manuelle Tätigkeiten sind dagegen teure Roboter erforderlich.

Über die Folgen der Automatisierung für die Erwerbsbevölkerung der Zukunft wird nach wie vor lebhaft diskutiert. Werden genügend neue, nicht automatisierbare Jobs entstehen, um die Arbeitnehmer unterzubringen, die durch wegfallende Routineaufgaben freigesetzt werden? Und wenn ja, werden diese Arbeitnehmer über die nötigen Qualifikationen, Kompetenzen und persönlichen Voraussetzungen verfügen, um sich erfolgreich auf diese neu geschaffenen Funktionen umzustellen? Wir dürfen wohl eher nicht davon ausgehen, dass aus den meisten ehemaligen Fernfahrern oder Beschäftigten der Fast-Food-Branche Robotikingenieure werden können – und wohl auch keine Pflegehelfer für ältere Menschen. Meiner Einschätzung nach, die ich in „Aufstieg der Roboter“ dargelegt habe, läuft ein großer Teil unserer Erwerbsbevölkerung letztlich Gefahr, auf der Strecke zu bleiben, während KI und Robotik weiter voranschreiten. Und wie wir sehen werden, gibt es ausgesprochen guten Grund zu der Annahme, dass die Coronavirus-Pandemie und der damit verbundene Konjunkturreinbruch die Effekte künstlicher Intelligenz auf den Arbeitsmarkt noch beschleunigen.

Selbst wenn wir den kompletten Wegfall von Arbeitsplätzen durch die Automatisierung außen vor lassen, wirkt sich Technologie bereits auf andere, für uns durchaus bedenkliche Art und Weise auf den Arbeitsmarkt aus. Für Mittelschicht-Arbeitsplätze besteht ein Herabqualifizierungsrisiko. Sie könnten künftig von einem schlechter ausgebildeten Geringverdiener übernommen werden, der mit technischer Unterstützung Aufgaben erfüllen kann, die bisher höher dotiert waren. Menschen arbeiten immer häufiger unter Kontrolle von Algorithmen, die ihre Arbeit überwachen oder takten und sie

im Grunde wie virtuelle Roboter behandeln. Viele der neu entstehenden Chancen betreffen die sogenannte „Gig Economy“, in der gewöhnlich nicht zu festen Zeiten und Löhnen gearbeitet wird. All das weist auf zunehmende Ungleichheit und möglicherweise weniger humane Bedingungen für einen wachsenden Anteil unserer Erwerbsbevölkerung hin.

Neben den Auswirkungen auf Arbeitsmarkt und Wirtschaft gibt es noch verschiedene andere Gefahren, die mit dem fortgesetzten Aufstieg künstlicher Intelligenz einhergehen. Am unmittelbarsten davon bedroht ist unter anderem unsere allgemeine Sicherheit. Das betrifft zum Beispiel KI-gestützte Cyberangriffe auf physische Infrastruktur und kritische Systeme, die immer stärker vernetzt und von Algorithmen gesteuert werden, aber auch Bedrohungen des demokratischen Prozesses und des Gesellschaftsgefüges. Der russische Eingriff in die US-Präsidentenwahlen von 2016 liefert einen noch einigermaßen harmlosen Vorgeschmack auf kommende Entwicklungen. Durch künstliche Intelligenz könnten „Fake News“ ganz andere Formen annehmen, wenn es dadurch möglich würde, Foto-, Audio- und Videodokumente zu erzeugen, die von echten praktisch nicht mehr zu unterscheiden sind, während Armeen wirklich hoch entwickelter Bots eines Tages die sozialen Medien unterwandern, Verwirrung stiften und erschreckend wirkungsvoll die öffentliche Meinung beeinflussen könnten.

Weltweit, doch vor allem in China, werden Überwachungssysteme, die mit Gesichtserkennung und anderen KI-gestützten Technologien arbeiten, bereits so eingesetzt, dass sich Einfluss und Reichweite autoritärer Regierungen deutlich vergrößern und jede Erwartung an einen Schutz der Privatsphäre zunichtegemacht wird. In den Vereinigten Staaten haben Gesichtserkennungssysteme bereits nachweislich Tendenzen gezeigt, Menschen aufgrund ihrer Hautfarbe oder ihres Geschlechts zu diskriminieren. Das Gleiche gilt für Algorithmen, die zur Sichtung von Bewerbungsunterlagen oder sogar zur Beratung von Richtern in der Strafjustiz eingesetzt wurden.

Die womöglich schwerwiegendste kurzfristige Bedrohung besteht in der Entwicklung vollständig autonomer Waffen, die töten können, ohne dass dafür eine konkrete Autorisierung durch einen Menschen erforderlich ist. Gut vorstellbar, dass derartige Waffen massenhaft gegen ganze Bevölkerungen eingesetzt werden könnten. Sich dagegen zu verteidigen, wäre extrem schwer – vor allem, wenn sie in die Hände von Terroristen fielen. Diese Entwicklung wollen viele Angehörige der KI-Forschungsgemeinschaft unbedingt verhindern. Bei den Vereinten Nationen wurde bereits eine Initiative angestoßen, um solche Waffen zu verbieten.

In ferner Zukunft könnten noch größere Gefahren auf uns lauern. Könnte künstliche Intelligenz eine existenzielle Bedrohung für die Menschheit darstellen? Bauen wir vielleicht irgendwann eine „superintelligente“ Maschine, die uns dermaßen überlegen ist, dass sie uns vorsätzlich oder versehentlich Schaden zufügen kann? Diese doch eher spekulative Angst wäre nur begründet, wenn es uns eines Tages gelingt, eine wirklich intelligente Maschine zu entwickeln. Das ist nach wie vor Science-Fiction. Doch das Streben nach echter künstlicher Intelligenz, die der menschlichen ebenbürtig ist, ist der Heilige Gral dieser Disziplin, und eine ganze Reihe hochintelligenter Menschen nehmen solche Bedenken sehr ernst. Prominente wie der verstorbene Stephen Hawking und Elon Musk haben bereits vor dem Schreckgespenst einer außer Kontrolle geratenen KI gewarnt. Vor allem Musk löste einen Medienhype aus, als er sagte, die KI-Forschung „beschwört einen Dämon herauf“ und „KI ist gefährlicher als Atomwaffen“.<sup>6</sup>

Da könnte man sich durchaus fragen, wieso wir die Büchse der Pandora vorsätzlich öffnen sollten. Die Antwort lautet: Weil es sich die Menschheit schlicht nicht leisten kann, auf künstliche Intelligenz zu verzichten. KI wird unsere intellektuellen Fähigkeiten und unsere Kreativität beflügeln und auf fast jedem Gebiet menschlichen Strebens Innovationen vorantreiben. Wir dürfen mit neuen Medikamenten und Behandlungsmöglichkeiten, effizienteren, sauberen Energiequellen und vielen anderen maßgeblichen Durchbrüchen

rechnen. KI wird sicherlich Arbeitsplätze vernichten, aber auch dafür sorgen, dass die von der Wirtschaft erzeugten Produkte und Dienstleistungen erschwinglicher und breiter verfügbar werden. Eine Analyse des Beratungsunternehmens PwC prognostiziert, dass KI die Weltwirtschaft bis 2030 um über 15,7 Billionen US-Dollar bereichern wird – und das ist mit Blick auf die Erholung von der schweren Wirtschaftskrise durch die Coronavirus-Pandemie noch bedeutsamer.<sup>7</sup> Der wichtigste Aspekt ist aber womöglich, dass sich künstliche Intelligenz zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel entwickeln wird, das eine entscheidende Rolle spielt bei der Bewältigung unserer größten Herausforderungen wie Klimawandel und Umweltschäden, die unvermeidliche nächste Pandemie, Energie- und Wasserknappheit, Armut und mangelnder Zugang zu Bildung.

Der Weg in die Zukunft ist daher, das Potenzial künstlicher Intelligenz umfassend zu nutzen – allerdings mit wachem Blick. Die Risiken dürfen nicht außer Acht gelassen werden. Bestimmte KI-Anwendungen müssen reguliert und in manchen Fällen auch verboten werden. Das alles muss heute noch beginnen, denn die Zukunft kommt, ob wir darauf vorbereitet sind oder nicht.

Dieses Buch als „Fahrplan“ in die Zukunft der künstlichen Intelligenz zu bezeichnen, wäre sicherlich verstiegen. Niemand kann sagen, wie schnell KI Fortschritte machen und wie sie konkret genutzt werden wird, welche neuen Unternehmen und Branchen entstehen oder welche Gefahren am bedrohlichsten sind. Die Zukunft der künstlichen Intelligenz dürfte ebenso unvorhersehbar wie disruptiv sein. Einen Fahrplan gibt es dafür nicht. Wir werden laufend mitdenken und flexibel reagieren müssen. Meine Hoffnung ist, dass dieses Buch aufzeigt, wie wir uns auf das Kommende vorbereiten können – dass es unsere Überlegungen zu der Revolution leitet, die gerade stattfindet, dass es Hype und Sensationslust sauber von der Realität trennt und uns erkennen lässt, wie wir als Einzelne und als Gesellschaft in der von uns gestalteten Zukunft am besten profitieren können.

# KI – der neue Strom?

**D**er elektrische Strom – eine Kraft, die zunächst nur zu Unterhaltungszwecken in Form publikumswirksamer Tricks und Experimente geschätzt wurde – hat die moderne Zivilisation fraglos geprägt und erst möglich gemacht. In einer Welt, in der ein garantierter Anschluss an das Stromnetz als selbstverständlich gilt, vergisst man leicht, wie lang und mühsam der Weg war, bis sich die Elektrizität durchgesetzt hatte. Von Benjamin Franklins berühmtem Drachenexperiment im Jahr 1752 vergingen ganze 127 Jahre, bis Thomas Edison schließlich 1879 seine Glühbirne perfektioniert hatte. Danach beschleunigte sich die Entwicklung. Noch im selben Jahr schuf im Vereinigten Königreich der Liverpool Electric Light Act die Voraussetzungen für die erste elektrische Straßenbeleuchtung des Landes. Nur drei Jahre später nahmen sowohl die Pearl Street Power Plant in New York als auch die Edison Electric Light Station in Lon-

don den Betrieb auf. Doch 1925 verfügte erst rund die Hälfte der Haushalte in den Vereinigten Staaten über einen Stromanschluss. Es bedurfte noch mehrerer Jahrzehnte und des Rural Electrification Act von Franklin Roosevelt, bis Strom zu der allgegenwärtigen Versorgungsleistung wurde, wie wir sie heute kennen.

Für alle, die in einem Industrieland leben, gibt es praktisch nichts, was nicht in irgendeiner Form vom Zugang zu Strom berührt oder dadurch erst ermöglicht wird. Der Strom stellt vermutlich das beste und sicherlich das beständigste Beispiel für eine Basistechnologie dar – anders formuliert: für eine Innovation, die jeden Aspekt der Wirtschaft und der Gesellschaft erfasst und verändert. Zu solchen Basistechnologien zählt auch die Dampfkraft, die die industrielle Revolution hervorbrachte, doch inzwischen auf wenige Anwendungen wie Atomkraftwerke zurückgefahren wurde. Eine transformative Wirkung hatte sicherlich auch der Verbrennungsmotor, doch mittlerweile ist durchaus eine Zukunft denkbar, in der Benzin- und Dieselmotoren praktisch vollständig ersetzt werden, vermutlich durch Elektromotoren. Außer in einem dystopischen Katastrophenszenario ist eine Zukunft ohne Elektrizität im Grunde gar nicht vorstellbar.

Dass sich künstliche Intelligenz zu einer Basistechnologie von ähnlicher Tragweite und Leistung entwickeln wird wie die Elektrizität, ist daher eine recht steile These. Dennoch gibt es gute Gründe, anzunehmen, dass es so kommen könnte: Ganz ähnlich wie der elektrische Strom wird auch KI früher oder später praktisch alle Aspekte des Lebens berühren und verändern.

Es gibt bereits keinen Wirtschaftssektor mehr, auf den sich die künstliche Intelligenz nicht auswirkt, Landwirtschaft, Produktion, Gesundheitswesen, Finanzbranche, Einzelhandel und praktisch sämtliche übrigen Industriezweige eingeschlossen. Die Technologie dringt sogar schon in Bereiche vor, die wir als zutiefst menschlich erachten. KI-fähige Chatbots bieten bereits rund um die Uhr Zugang zu psychologischer Beratung. Deep-Learning-Technologie bringt neue Formen bildender Kunst und Musik hervor. Eigentlich

sollte uns nichts davon überraschen. Immerhin ist im Grunde jede Wertschöpfung durch den Menschen ein direktes Produkt unserer Intelligenz – unserer Fähigkeit, zu lernen und innovativ und kreativ zu sein. Verstärkt, erweitert oder ersetzt KI unsere eigene Intelligenz, so wird sie sich unweigerlich zur einflussreichsten, am breitesten verwendbaren Technologie überhaupt entwickeln. Möglicherweise wird sich künstliche Intelligenz sogar letztlich als eines der effektivsten Instrumente erweisen, die uns zur Verfügung stehen, wenn wir versuchen, uns von der Krise zu erholen, die das Coronavirus ausgelöst hat.

Außerdem dürfte sich die künstliche Intelligenz mit hoher Wahrscheinlichkeit schneller durchsetzen als der elektrische Strom. Der Grund dafür: Die für den Einsatz von KI erforderliche Infrastruktur – wie Rechner, das Internet, mobile Datendienste und vor allem die von Unternehmen wie Amazon, Microsoft und Google vorgehaltenen immensen Cloud-Computing-Kapazitäten – ist bereits vorhanden. Stellen Sie sich vor, wie schnell man die Welt hätte elektrifizieren können, wenn es die meisten Kraftwerke und Leitungen bereits gegeben hätte, als Edison die Glühbirne erfand. Künstliche Intelligenz ist im Begriff, unsere Welt zu verändern – und zwar möglicherweise viel früher, als wir es erwarten.

## **EIN „INTELLIGENZSTROM“**

Die Analogie zur Elektrizität trifft insofern zu, als sie den Eindruck vermittelt, dass künstliche Intelligenz allgegenwärtig und universell zugänglich sein und letztlich fast jeden Aspekt unserer Zivilisation berühren und verändern wird. Es bestehen jedoch entscheidende Unterschiede zwischen den beiden Technologien. Beim Strom handelt es sich um eine fungible Ware, die örtlich wie zeitlich statisch ist. Ungeachtet Ihres Standorts oder des Unternehmens, das Sie mit Strom versorgt, ist die Ressource, auf die Sie über das Stromnetz Zugriff nehmen, im Grunde dieselbe. Ebenso gilt: Der heute angebote-

ne Strom unterscheidet sich kaum von dem 1950 verfügbaren. Künstliche Intelligenz ist dagegen längst nicht so homogen und sehr viel dynamischer. KI wird eine Fülle von Möglichkeiten und Anwendungen bieten, die sich ständig verändern, und je nachdem, wer genau die Technologie bereitstellt, kann sie auch selbst drastisch variieren. Wie wir im fünften Kapitel erfahren werden, wird die künstliche Intelligenz unaufhaltsam voranschreiten, an Potenzial gewinnen und immer näher an eine Intelligenz auf menschlichem Niveau herankommen – möglicherweise sogar irgendwann darüber hinaus.

Während der Strom die Kraft für den Betrieb anderer Innovationen liefert, stellt KI direkt Intelligenz bereit – unter anderem die Fähigkeit, Probleme zu lösen, Entscheidungen zu treffen und aller Wahrscheinlichkeit nach früher oder später auch logisch zu denken, innovativ zu werden und auf neue Ideen zu kommen. Strom kann vielleicht eine arbeitssparende Maschine antreiben, doch KI ist selbst eine arbeitssparende Technologie, und je mehr Bereiche unserer Wirtschaft sie erfasst, desto gewaltiger werden die Auswirkungen auf die menschliche Erwerbsbevölkerung und die Struktur von Unternehmen und Organisationen sein.

Da sich künstliche Intelligenz kontinuierlich zu einem universellen Versorgungsgut entwickelt, wird sie die Zukunft ganz ähnlich prägen, wie die Elektrizität die Grundlagen für die moderne Zivilisation schuf. Genau wie Gebäude und andere Infrastruktur so konzipiert und konstruiert werden, dass sie das bestehende Stromnetz nutzen, wird künftige Infrastruktur von Grund auf so gestaltet werden, dass sie sich der Kraft der KI bedient. Dieses Konzept wird sich nicht auf die physischen Strukturen beschränken, sondern das Design fast aller Aspekte unserer Wirtschaft und Gesellschaft verändern. Neue Unternehmen oder Organisationen werden gegründet werden, um von Anfang an von KI zu profitieren. Künstliche Intelligenz wird eine entscheidende Komponente jedes künftigen Geschäftsmodells sein. Unsere politischen und sozialen Institutionen werden sich ebenfalls so weiterentwickeln, dass sie dieses allgegenwärtige neue Versorgungsgut einbeziehen und sich darauf stützen.

Das alles läuft darauf hinaus, dass KI letztlich zwar dieselbe Reichweite erlangen wird wie Elektrizität, doch nie deren Stabilität oder Prognostizierbarkeit. Sie wird stets eine weitaus dynamischere und disruptivere Kraft bleiben, die fast alles auf den Kopf stellen kann, mit dem sie in Berührung kommt. Intelligenz ist schließlich die ultimative Ressource – die fundamentale Fähigkeit, die allem zugrunde liegt, was der Mensch je geschaffen hat. Eine folgenreichere Entwicklung als die Umwandlung dieser Ressource in ein universell verfügbares, bezahlbares Versorgungsgut ist kaum vorstellbar.

## **DIE NEUE HARDWARE- UND SOFTWARE-INFRASTRUKTUR FÜR KI**

Wie jedes Versorgungsgut braucht auch KI eine Infrastruktur zu ihrer Bereitstellung – ein Leitungsnetz, das es ermöglicht, die Technologie überall hinzuliefern. Das fängt natürlich mit der umfassenden Computerinfrastruktur an, die bereits vorhanden ist – darunter Hunderte Millionen Laptops und PCs sowie Server in gewaltigen Rechenzentren und ein rasch expandierendes Universum immer leistungsfähigerer mobiler Geräte. Die Effektivität dieser verteilten Rechenplattform als Methode zur Bereitstellung von KI wird noch drastisch gesteigert durch die Einführung eines Spektrums von Hardware und Software zur Optimierung tiefer neuronaler Netze.

Diese Entwicklung setzte ein mit der Entdeckung, dass spezielle Grafik-Mikroprozessoren, die in erster Linie eingesetzt wurden, um schnelle Action-Videospiele zu ermöglichen, Deep-Learning-Anwendungen effektiv beschleunigen konnten. Grafikprozessoren (Graphic Processing Units oder kurz GPUs) wurden ursprünglich entwickelt, um die für die nahezu unverzögerte Wiedergabe hochauflösender Grafik erforderlichen Berechnungen quasi mit Turbo durchzuführen. Seit den 1990er-Jahren haben diese speziellen Computerchips vor allem für High-End-Videospiele-Konsolen besondere Bedeutung erlangt – für Produkte wie die PlayStation von Sony

und die Xbox von Microsoft. GPUs sind daraufhin optimiert, eine immense Zahl von Berechnungen in raschem Tempo parallel auszuführen. Während der Prozessor Ihres Laptops vielleicht über zwei, vielleicht auch über vier Rechenkerne verfügt, dürfte ein aktueller High-End-GPU Tausende spezialisierter Kerne aufweisen, die alle gleichzeitig in Hochgeschwindigkeit rechnen. Als Forscher entdeckten hatten, dass die für Deep-Learning-Anwendungen erforderlichen Berechnungen den zur Wiedergabe von Grafik benötigten sehr ähnlich waren, griffen sie eifrig zu GPUs, die sich rasch zur primären Hardware-Plattform für künstliche Intelligenz entwickelten.

Tatsächlich war diese Umstellung eine wesentliche Voraussetzung für die Deep-Learning-Revolution, die Anfang 2012 Fuß fasste. Im September desselben Jahres brachte ein Team von KI-Forschern der University of Toronto Deep Learning auf den Radarschirm der Technologiebranche – und zwar durch seinen Erfolg bei der ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge, einer richtungweisenden jährlich stattfindenden Veranstaltung mit Schwerpunkt auf maschinellem Sehen. Hätte das Siegerteam nicht auf GPU-Chips zurückgegriffen, um seine tiefen neuronalen Netze zu beschleunigen, hätte es kaum die Leistung bringen können, um den Wettbewerb für sich zu entscheiden. Doch auf die Geschichte des Deep Learning wollen wir im vierten Kapitel noch näher eingehen.

Das Team der University of Toronto nutzte GPUs des Herstellers Nvidia, eines 1993 gegründeten Unternehmens, dessen Geschäft sich ausschließlich auf die Entwicklung und Herstellung modernster Grafichips fokussierte. Im Nachgang zum ImageNet-Wettbewerb von 2012 und der anschließenden breiten Anerkennung der gewaltigen Synergie zwischen Deep Learning und GPUs veränderte sich der Kurs des Unternehmens drastisch. Es verwandelte sich in einen der führenden Technologieanbieter im Zusammenhang mit dem Aufstieg der künstlichen Intelligenz. Die Deep-Learning-Revolution manifestierte sich unmittelbar im Marktwert des Unternehmens: Von Januar 2012 bis Januar 2020 explodierte der Kurs der Nvidia-Aktien um über 1.500 Prozent.

Mit der Migration von Deep-Learning-Projekten zu GPUs begannen KI-Forscher in führenden Tech-Unternehmen mit der Entwicklung von Softwaretools, die die Umsetzung tiefer neuronaler Netze auf Touren bringen sollten. Google, Facebook und Baidu brachten allesamt auf Deep Learning ausgerichtete quelloffene Software heraus, die sich jedermann herunterladen, verwenden und aktualisieren konnte. Die bekannteste und meistverwendete Plattform ist TensorFlow von Google. Sie wurde 2015 veröffentlicht. TensorFlow ist eine umfassende Softwareplattform für Deep Learning, die Wissenschaftlern und Technikern bei der Arbeit an praktischen Anwendungen optimierten Code zur Umsetzung tiefer neuronaler Netze zur Verfügung stellt und ebenso etliche Tools, die eine effizientere Entwicklung konkreter Anwendungen gestatten. Pakete wie TensorFlow und PyTorch, eine konkurrierende Entwicklungsplattform von Facebook, ersparen Forschern Programmier- und Testaufwand, um unbedeutende technische Details zu lösen. Stattdessen können sie sich bei der Entwicklung ihrer Systeme auf anspruchsvollere Aufgaben konzentrieren.

Im Zuge der Deep-Learning-Revolution verlegten sich Nvidia und eine Reihe von Mitbewerbern auf die Entwicklung noch leistungsfähigerer Mikroprozessor-Chips, die spezifisch für Deep Learning optimiert waren. Intel, IBM, Apple und Tesla entwickeln mittlerweile ausnahmslos Computerchips mit Schaltungen, die die für tiefe neuronale Netze erforderlichen Berechnungen beschleunigen sollen. Deep-Learning-Chips bahnen sich ihren Weg in eine Fülle von Anwendungen wie Smartphones, selbstfahrende Autos und Roboter sowie High-End-Computerserver. Das Ergebnis ist ein ständig wachsendes Gerätensetz, das eigens dafür entwickelt wurde, künstliche Intelligenz zu liefern. Google stellte 2016 seinen eigenen spezifischen Chip vor, der Tensor Processing Unit oder TPU genannt wurde. TPUs sind speziell dafür konzipiert, Deep-Learning-Anwendungen, die auf der TensorFlow-Softwareplattform des Unternehmens entwickelt wurden, zu optimieren. Zunächst setzte Google die neuen Chips in seinen eigenen Rechenzentren ein, doch ab 2018

wurden die TPUs in die Server integriert, die den Cloud-Computing-Funktionen des Unternehmens zugrunde liegen. Für Kunden, die den Cloud-Computing-Dienst des Unternehmens nutzten, wurden damit modernste Deep-Learning-Kapazitäten leicht zugänglich. Diese Entwicklung trug zur Dominanz dessen bei, was sich zum wichtigsten Einzelkanal für die starke Verbreitung von KI-Kapazitäten entwickelt.

Der Wettbewerb zwischen den etablierten Herstellern von Mikroprozessor-Chips und einer neuen Gattung von Start-ups um Anteile am rasch wachsenden Markt für künstliche Intelligenz hat der Branche einen kräftigen Innovations- und Energieschub versetzt. Manche Forscher drängen mit dem Chipdesign in ganz neue Richtungen. Die spezialisierten Deep-Learning-Chips, die sich aus GPUs entwickelt haben, werden optimiert, um die anspruchsvollen mathematischen Berechnungen zu beschleunigen, die von der Software ausgeführt werden, von der tiefe neuronale Netze implementiert werden. Eine neue Klasse von Chips kommt der Nachahmung des Gehirns schon sehr nahe. Sie verzichtet weitgehend auf die ressourcenhungrige Softwareschicht und implementiert neuronale Netze in Hardware. Dieses neue „neuromorphe“ Chipdesign instanziiert Hardware-Versionen von Neuronen direkt im Silizium. Sowohl IBM als auch Intel investieren maßgeblich in Forschung über neuromorphes Computing. Intels experimentelle Loihi-Chips implementieren beispielsweise 130.000 Hardware-Neuronen, von denen sich jedes mit Tausenden anderen vernetzen kann.<sup>1</sup> Werden keine Software-Berechnungen in immensem Umfang mehr benötigt, so hat das unter anderem den maßgeblichen Vorteil der Energieeffizienz. Das menschliche Gehirn, das weit leistungsfähiger ist als jeder bisher verfügbare Computer, verbraucht lediglich rund 20 Watt – deutlich weniger als eine durchschnittliche Glühbirne. Deep-Learning-Systeme, die mit GPUs betrieben werden, haben dagegen einen gewaltigen Stromverbrauch, wie wir im fünften Kapitel noch erfahren. Eine Hochskalierung dieser Systeme, in deren Folge sie noch mehr Ressourcen verbrauchen, dürfte kaum nachhaltig sein. Neuromorphe

Chips, deren Design sich unmittelbar am neuronalen Netz des Gehirns orientiert, sind längst nicht so energiehungrig. Intel behauptet, seine Loihi-Architektur sei bis zu 10.000 Mal so energieeffizient wie traditionelle Mikroprozessor-Chips in manchen Anwendungen. Werden Designs wie Loihi erst kommerziell produziert, dürften sie rasch Eingang finden in mobile Geräte und andere Anwendungen, für die Energieeffizienz eine wichtige Rolle spielt. Manche KI-Experten lassen sich sogar zu der Prognose hinreißen, dass neuromorphe Chips die Zukunft der künstlichen Intelligenz darstellen. Eine Analyse des Research-Unternehmens Gartner projiziert beispielsweise, dass neuromorphe Designs GPUs als primäre Hardwareplattform für KI bereits 2025 weitgehend abgelöst haben werden.<sup>2</sup>

## **CLOUD-COMPUTING ALS PRIMÄRE INFRASTRUKTUR FÜR KÜNSTLICHE INTELLIGENZ**

Die heutige Cloud-Computing-Industrie nahm ihren Anfang 2006 mit der Markteinführung von Amazon Web Services oder AWS. Amazon verfolgte die Strategie, die Kompetenzen im Aufbau und im Management gewaltiger Rechenzentren zu nutzen, die seinem Onlineshopping-Dienst zugrunde lagen, indem es einem breiten Kundstamm flexiblen Zugang zu Rechenressourcen bieten wollte, die in ähnlichen Anlagen untergebracht waren. 2018 betrieb Amazon Web Services über 100 Rechenzentren an Standorten in neun verschiedenen Ländern weltweit.<sup>3</sup> Die von Amazon und seinen Mitbewerbern angebotenen Cloud-Dienste expandieren in atemberaubendem Tempo. Einer aktuellen Studie zufolge wird Cloud-Computing inzwischen von ganzen 94 Prozent aller Organisationen genutzt, von multinationalen Konzernen bis zu Kleinbetrieben und Mittelständlern.<sup>4</sup> 2016 wuchs AWS so schnell, dass die neuen Rechenressourcen, um die Amazon sein System *täglich* aufstocken musste, mehr oder minder der Gesamtkapazität entsprachen, über die das Unternehmen Ende 2005 verfügte.<sup>5</sup>