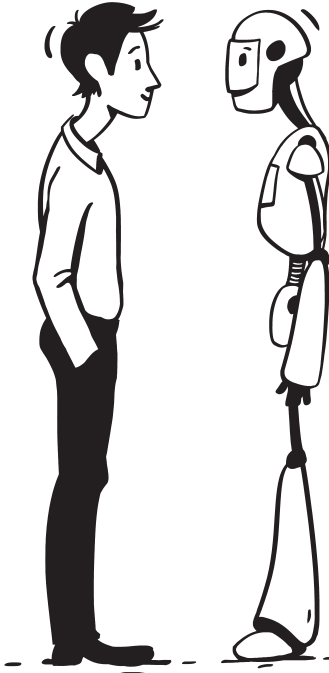


Ramge | Mensch und Maschine

[Was bedeutet das alles?]



Thomas Ramge

Mensch und Maschine

Wie Künstliche Intelligenz und Roboter
unser Leben verändern

Mit 8 Abbildungen von Dinara Galieva

Reclam

Für meine Mutter

RECLAMS UNIVERSAL-BIBLIOTHEK Nr. 19499

2018 Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG,

Siemensstraße 32, 71254 Ditzingen

Gestaltung: Cornelia Feyll, Friedrich Forssman

Druck und Bindung: Canon Deutschland Business Services GmbH,

Siemensstraße 32, 71254 Ditzingen

Printed in Germany 2018

RECLAM, UNIVERSAL-BIBLIOTHEK und

RECLAMS UNIVERSAL-BIBLIOTHEK sind eingetragene Marken

der Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG, Stuttgart

ISBN 978-3-15-019499-7

Auch als E-Book erhältlich

www.reclam.de

Inhalt

Einleitung: Der Kitty-Hawk-Moment – Warum jetzt alles ganz schnell gehen wird 7

- I. Die nächste Stufe der Automatisierung: Maschinen treffen Entscheidungen 13
 - II. Turings Erben: Eine (sehr) kurze Geschichte der Künstlichen Intelligenz 29
 - III. Wie Maschinen das Lernen lernen: Künstliche Neuronale Netze, Deep Learning, Feedback-Effekte 43
 - IV. Mensch fragt, Maschine antwortet: KI als Alltagsassistent, Verkäufer, Anwalt und Arzt 53
 - v. Kollege Roboter: Cyber-physische Systeme, Cobots und Maschinen, die Gefühle berechnen 67
 - VI. Superintelligenz und Singularität: Übernehmen Künstliche Intelligenz und Roboter die Macht? 81
- Zum Autor (mit Danksagung und ausgewählten Quellen) 95



Einleitung

Der Kitty-Hawk-Moment – Warum jetzt alles ganz schnell gehen wird

*1901 habe ich zu meinem Bruder Orville gesagt:
Menschen werden in 50 Jahren noch nicht fliegen.*
Wilbur Wright, Flugpionier

Eine Million Dollar Preisgeld. Für 241 Kilometer Strecke auf einem abgesperrten Militärgelände in der Mojave-Wüste im US-Bundesstaat Kalifornien. Das waren die Bedingungen beim ersten DARPA Grand Challenge des US-Verteidigungsministeriums für autonome Fahrzeuge im Jahr 2004. Rund hundert Teams traten an. Das beste blieb nach 14 Kilometern stecken; alle anderen scheiterten noch schneller. Acht Jahre später, 2012, gibt Google eine unscheinbare Pressemitteilung heraus: Seine Roboter-Fahrzeuge, bekannt aus Youtube-Filmchen, hätten bereits Hunderttausende Kilometer unfallfrei im Straßenverkehr zurückgelegt. Inzwischen sind Tesla-Fahrer Millionen von Meilen im Autopilot gefahren. Zwar müssen Fahrer in kniffligen Situationen immer mal wieder das Steuer übernehmen, worauf der Autopilot sie rechtzeitig hinweist. Aber ein scheinbar unlösbares Problem ist im Grundsatz gelöst. Der Weg zum vollautomatischen Vehikel für die Massen ist gut ausgeschildert.

Künstliche Intelligenz (KI) erlebt gerade ihren Kitty-Hawk-Moment. Den KI-Forschern ergeht es wie den Pionieren des Motorflugs. Jahrzehntlang sind sie immer wieder gescheitert, nach vollmundigen Ankündigungen ein ums andere Mal abgestürzt. Doch dann gelingt den Brüdern Wright in Kitty Hawk im US-Staat North Carolina der Durchbruch. Die Technologie hebt ab und plötzlich klappt, was vor wenigen Jahren nur eine

großsprecherische Behauptung war. Seit rund drei Jahren können Computerprogramme menschliche Gesichter deutlich zuverlässiger erkennen als die meisten Menschen. Bei der Diagnose bestimmter Krebszellen sind Rechner heute schon genauer als die besten Ärzte der Welt – geschweige denn als durchschnittliche Ärzte in einem Provinzkrankenhaus. Computer schlagen den Menschen nicht nur im intuitiven Brettspiel Go, seit Januar 2017 ist amtlich: Sie bluffen auch besser als die besten Pokerspieler der Welt. Bei der japanischen Versicherung Fukoku Mutual prüft das IBM-System Watson die Rückerstattungsansprüche der Versicherten. Bei Bridgewater, dem größten Hedgefonds der Welt, entscheiden Algorithmen nicht nur über Investitionen. Ein mit umfangreichen Mitarbeiterdaten gefüttertes System wird zum Robo-Boss: Es kennt die wahrscheinlich beste Geschäftsstrategie, die beste Zusammensetzung eines Teams für bestimmte Aufgaben, und es gibt Empfehlungen zu Beförderungen und Entlassungen.

KI ist die nächste Stufe der Automatisierung. Schweres Gerät erledigt schon seit Langem die schmutzige Arbeit. Fertigungsroboter wurden seit den 1960er Jahren immer geschickter. IT-Systeme halfen bis dato vor allem bei den Routine-schleifen der Wissensarbeit. Sie erleichtern die Buchhaltung, rechnen im Auftrag des Menschen oder verarbeiten Texte. Doch mit Künstlicher Intelligenz treffen jetzt Maschinen komplexe Entscheidungen, die bisher nur Menschen treffen konnten. Oder genauer formuliert: Wenn Datengrundlage und Entscheidungsrahmen stimmen, entscheiden KI-Systeme besser, schneller und billiger als LKW-Fahrer, Sachbearbeiter, Verkäufer, Ärzte, Investmentbanker oder Personal-Manager.

Zwanzig Jahre nach dem ersten Motorflug in Kitty Hawk war eine neue Industrie entstanden. Die Luftfahrt sollte die Welt alsbald grundlegend verändern. Bei Künstlicher Intelligenz könnte es ähnlich laufen. Sobald aus Daten lernende Maschi-

nen in einem bestimmten Bereich besser, billiger und schneller entscheiden als Menschen, ist ihr Siegeszug in diesem Bereich nicht aufzuhalten. Eingebaut in physische Maschinen wie Autos, Roboter oder Drohnen, schalten sie bisheriger Automatisierung in der anfassbaren Welt den Turbo zu. Miteinander vernetzt werden sie zu einem Internet der intelligenten Dinge, die zusammenarbeiten können.

Gil Pratt, der Leiter des Toyota Research Institutes, schlägt einen noch größeren historischen Bogen als in die Dünen der Outer Banks von Kitty Hawk. Pratt vergleicht die jüngsten Fortschritte in der KI mit der Kambrischen Explosion in der Evolutionsgeschichte vor 500 Millionen Jahren. Nahezu alle Tierstämme haben ihren Ursprung in dieser Zeit und es begann eine Art evolutionäres Wettrüsten, unter anderem, weil erste Arten die Fähigkeit zu sehen entwickelten. Mit Augen ließen sich neue Lebensräume erobern und biologische Nischen erschließen. Die Artenvielfalt explodierte. Die Analogie zur digitalen Bilderkennung mit KI liegt nahe. Erik Brynjolfsson und Andrew McAfee vom Massachusetts Institute of Technology führen den Vergleich mit der Frühphase der Evolution weiter: »KI wird eine Vielzahl neuer Produkte, Dienstleistungen, Prozesse und Organisationsformen hervorbringen und zugleich viel Bekanntes aussterben lassen. Und es wird sicher einige seltsame Irrwege der technischen Evolution geben und völlig unerwartete Erfolge.«

KI-Forscher und die Hersteller von lernenden Software-Systemen haben zurzeit mächtig Oberwasser. Startups mit Kapitalbedarf neigen dazu, jeder digitalen Anwendung das Label Künstliche Intelligenz aufzukleben. Dies geschieht oft unabhängig davon, ob das System tatsächlich aus Daten und Beispielen lernt und seine Lernerfahrungen abstrahieren kann, oder de facto klassisch programmiert ist und eher stupiden Programm-Anweisungen folgt. KI verkauft, aber viele Käufer –

Forschungsförderer, Investoren oder Verbraucher – können die technische Funktionsweise des Produkts nur schwer einschätzen. Künstliche Intelligenz umgibt zurzeit eine magische Aura. Das ist nicht zum ersten Mal der Fall.

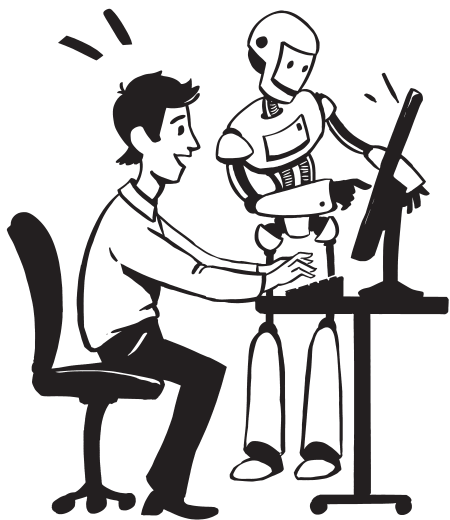
Die Künstliche Intelligenz hat schon mehrere Hype-Zyklen durchlaufen: Großen Versprechen folgten immer wieder Phasen mit großen Enttäuschungen. In den sogenannten »KI-Wintern« kamen dann selbst bei glühenden Anhängern Zweifel auf, ob sie nicht Hirngespinnsten nachrannten, angetrieben von den Visionen der Science Fiction-Autoren, die sie in ihrer Jugend verschlungen hatten.

Bei aller nötigen Vorsicht lässt sich heute sagen: In den letzten Jahren hat die Künstliche Intelligenz-Forschung Nüsse geknackt, an denen sie sich seit Jahrzehnten die Zähne ausgebissen hat. Ein interessanter Zug des Menschen in diesem Zusammenhang ist: Er sieht Maschinen vor allem als intelligent an, wenn sie neue Problemlösungsfähigkeiten erwerben. Wenn eine Maschine besser multipliziert als ein Rechengenie, schlauer Schach spielt als der amtierende Weltmeister oder uns zuverlässig den Weg durch die Stadt weist, sind wir für kurze Zeit beeindruckt. Doch kaum sind Taschenrechner, Schachcomputer oder Navigations-App günstige Massenprodukte, empfinden wir die Technologie als banal. Nehmen unsere eigenen Fähigkeiten zu, dann neigen wir hingegen individuell und kollektiv zu einer deutlich großzügigeren Bewertung.

Die Lernkurve der Maschinen scheint zurzeit deutlich steiler als jene des Menschen. Das wird das Verhältnis von Mensch und Maschine grundlegend verändern. Die Euphoriker im Silicon Valley wie der Erfinder, Autor und Google-Forscher Ray Kurzweil sehen darin den Schlüssel zur Lösung aller großen Probleme unserer Zeit. Apokalyptiker wie der Oxford-Philosoph Nick Bostrom fürchten dagegen die Machtübernahme der Maschinen und das Ende der Menschheit. Extrempositio-

nen sorgen für Schlagzeilen. Für ihre Vertreter sind sie ein gutes Geschäft auf dem Markt für Aufmerksamkeit. Dennoch sind sie wichtig, weil sie viele Menschen dazu bringen, sich mit Künstlicher Intelligenz näher zu beschäftigen.

Wer die Chancen und Risiken einer neuen Technologie erkunden möchte, muss zunächst die Grundlagen verstehen. Er muss verständliche Antworten auf die Fragen finden: Was ist Künstliche Intelligenz überhaupt? Was kann sie heute und in absehbarer Zeit? Und welche Fähigkeiten muss der Mensch weiterentwickeln, wenn Maschinen immer intelligenter werden und den Menschen zu überflügeln sich anschicken? Nach Antworten auf diese Fragen sucht dieses Buch.



I. Die nächste Stufe der Automatisierung: Maschinen treffen Entscheidungen

*Intelligenz ist das, was wir benutzen,
wenn wir nicht wissen, was wir tun sollen.*

Jean Piaget, Biologe und Entwicklungspsychologe

Erkennen, Erkenntnis, Handlung

Der Tesla fährt im Autopilot-Modus mit 130 Kilometern pro Stunde auf der linken Spur der Autobahn. Auf der rechten Spur fahren mehrere Lastwagen mit 90 km/h. Der Tesla nähert sich der Kolonne. Der letzte LKW setzt links den Blinker und will überholen. Der Autopilot muss eine komplexe Entscheidung treffen. Soll der Tesla mit gleicher Geschwindigkeit weiterfahren oder gar beschleunigen, um auf jeden Fall den Laster passiert zu haben, bevor dieser eventuell die Fahrbahn wechselt? Sollte er hupen, um den LKW-Fahrer zu warnen? Wäre das in dieser Situation erlaubt? Oder soll der Tesla bremsen und dem LKW das Überholmanöver höflich erlauben, auf Kosten der Reisegeschwindigkeit, aber zugunsten der Sicherheit? Wobei bremsen freilich nur dann sicher wäre, wenn von hinten kein von Testosteron gesteuerter Sportwagenfahrer mit zwei Metern Abstand drängelt.

Noch vor wenigen Jahren hätten wir diese Entscheidung unter keinen Umständen einer Maschine anvertraut – und dies vollkommen zu Recht. Die Technologie hatte noch nicht unter Beweis gestellt, dass sie uns statistisch gesehen mit höherer Wahrscheinlichkeit sicher ans Ziel bringt, als wenn wir selbst mit erlernter Regelkenntnis, Erfahrungswissen, den Fähigkeiten zur Antizipation von menschlichem Verhalten und unserem berühmten Bauchgefühl hinter dem Steuer sitzen.

Teslafahrer delegieren schon heute während des Fahrens viele Entscheidungen an die Maschine. Das ist nicht ohne Risiko. Autonomes Fahren funktioniert bei Weitem nicht perfekt, weder bei Tesla, Google oder den traditionellen Autobauern wie Mercedes, Audi, Nissan, Hyundai oder Volvo, die mit Hochdruck an Autopilot-Systemen arbeiten, aber viele ihrer Funktionen aus Sicherheitsgründen noch nicht freigeschaltet haben. Bei gutem Wetter und auf klar markierten Autobahnen sind Maschinen bereits heute nachweislich die besseren Fahrer. Es ist eine Frage der Zeit, bis dies auch in der Stadt oder bei Nacht und Nebel der Fall ist oder eine Maschine bei Blitzeis die Entscheidung trifft, gar nicht zu fahren, weil das Risiko schlicht zu hoch ist. Ein altes Bonmot in der KI-Forschung lautet: Maschinen fällt leicht, was Menschen schwerfällt, und umgekehrt. Autofahren mit seinen abertausend kleinen, aber dennoch komplexen Entscheidungssituationen während einer Fahrt war Computern bisher nicht möglich. Warum ändert sich das gerade? Abstrakt gesprochen lautet die Antwort: Weil aus Daten lernende Software in Verbindung mit steuerungs-fähiger Hardware den Dreischritt von Erkennen, Erkenntnis und Umsetzung in eine Handlung immer besser beherrschen.

Im konkreten Beispiel des Teslas und des blinkenden LKWs bedeutet dies: GPS-System, hochauflösende Kameras, Laser- und Radarsensoren sagen dem System nicht nur genau, wo sich das Auto befindet, wie schnell der Laster fährt, wie die Straße beschaffen ist und ob es rechts noch eine Notspur gibt. Die Bilderkennungsoftware des Systems identifiziert zudem zuverlässig, dass es der Laster ist, der blinkt und nicht eine Baustellenleuchte. Diese Fähigkeit des Erkennens haben Computer erst vor wenigen Jahren erworben. Die besten von ihnen können heute unterscheiden, ob auf der Straße ein Papierknäuel liegt, den das Fahrzeug getrost überfahren kann, oder ein Steinbrocken, dem es ausweichen muss.

Alle visuellen (und sonstigen sensorischen) Daten fließen in einen kleinen Supercomputer im Fahrzeug ein, zusammengesetzt aus vielen Rechenkernen und Grafikkarten. Die Recheneinheit muss die Informationen in Sekundenbruchteilen sortieren und dabei in Echtzeit gewonnene Daten, bereits gesammelte Daten und einprogrammierte Regeln miteinander abgleichen. Das Tesla-System weiß in diesem Moment, dass es Vorfahrt hat. Ihm wurde die Verkehrsregel mit auf den Weg gegeben, dass der Lasterfahrer nur ausscheren und überholen darf, wenn von hinten keiner kommt. Geschult durch maschinelle Lernerfahrung aus vielen Milliarden Meilen im Straßenverkehr – den sogenannten Feedbackdaten – weiß das System aber auch: LKW-Fahrer halten sich nicht immer an Verkehrsregeln. Es gibt eine signifikante Wahrscheinlichkeit, dass der Laster ausschert, obwohl der Tesla von hinten anrollt, und dass es ist keineswegs im Interesse seiner Passagiere ist, wenn ein Robo-Auto auf der Straßenverkehrsordnung beharrt, aber dabei einen schweren Unfall riskiert.

Aus Situation, Regeln und Erfahrung leitet das System eine Erkenntnis ab, nämlich die beste Möglichkeit aus vielen erdenklichen Szenarien, einen Unfall zu vermeiden und dennoch zügig voranzukommen. Im Kern handelt es sich dabei um eine kognitive Entscheidung, also die Auswahl einer Handlungsoption unter vielen. Die beste Lösung des Problems ist das Ergebnis einer Wahrscheinlichkeitsrechnung, in die viele Variablen einfließen.

Ein teilautomatisches Fahrassistenz-System bietet seine Erkenntnis dem Fahrer nur als Entscheidungsgrundlage an, zum Beispiel, indem es mit einem Piepton vor dem Laster warnt, wenn dieser nicht nur den Blinker gesetzt hat, sondern wenn kleine Schlingerbewegungen darauf hindeuten, dass der Fahrer nun tatsächlich gleich das Lenkrad nach links dreht. Der Mensch kann dann dem maschinellen Rat folgen oder ihn ig-

norieren. Ein Autopilot, der seinen Namen verdient, setzt die Erkenntnis dann direkt in eine Handlung um. Er bremst oder hupt oder fährt stoisch weiter. Der Computer kann die Entscheidung umsetzen, weil ein autonomes Fahrzeug ein hochentwickeltes cyber-physisches System ist. Das digitale System steuert die Funktionen der physischen Maschine wie Gas, Bremse und Lenkung mit großem Geschick. Autopiloten eines Airbus können bei normalen Bedingungen präziser starten oder landen als jeder Flugpilot in Uniform. Bei einem rein digitalen System, einem Trading-Bot für Hochfrequenzhandel beispielsweise, erfolgt die Umsetzung der Entscheidung naturgemäß rein digital, aber das Automatisierungs-Prinzip ist das gleiche: Muster erkennen in Daten. Erkenntnis durch Statistik und Algorithmen ableiten. Umsetzung der Erkenntnis in eine Entscheidung durch eine technische Routine. Die Maschine drückt den Kaufknopf.

Polanyis Paradox

Zur Natur künstlich intelligenter Systeme gehört, dass sie die Auswirkungen ihrer Entscheidungen messen und die Ergebnisse in künftige Entscheidungsfindung einbeziehen. Sie entscheiden mit Feedback-Schleifen. Wenn der Tesla in der beschriebenen Situation einen Unfall baut, funkt es dieses Feedback zurück in den Zentralrechner, und alle anderen Teslas werden nach dem nächsten Software-Update in vergleichbaren Situationen (hoffentlich) deutlich defensiver fahren. Verzeichnet eine KI-Software zur Kreditvergabe zu viele Ausfälle, die es selbst autorisiert hat, wird es die Kriterien für kommende Kreditbewerber verschärfen. Wenn eine Ernte-Maschine die Rückmeldung erhält, zu viele unreife Äpfel zu pflücken, wird es beim nächsten Durchgang besser entscheiden können,

ob ein bestimmtes Verhältnis der Färbung aus rot und grün auf der Apfeloberfläche ausreicht, um zuzugreifen. In dieser Fähigkeit, die eigenen Berechnungen und die Einordnung ihrer Ergebnisse selbstständig zu verbessern, liegt der wesentliche Unterschied zwischen Künstlicher Intelligenz und klassischen IT-Systemen. Die Selbstkorrektur ist im System eingebaut.

Seit den ersten Großrechnern in den 1940er Jahren bedeutete das Programmieren eines Computers: Der Mensch bringt einer Maschine mühsam ein theoretisches Modell bei. Dieses Modell besteht aus bestimmten Regeln, welche die Maschine anwenden kann. Wenn die Maschine die passenden Daten für bestimmte Aufgaben oder Fragen zugefüttert bekommt, kann sie diese dann in der Regel schneller, genauer, zuverlässiger und günstiger lösen als der Mensch. Auch das war im Ergebnis immer beeindruckend, aber im Kern wurde bei klassischer Programmierung existierendes Wissen aus den Köpfen der Programmierer in eine Maschine übertragen. Dieser technische Ansatz hat eine natürliche Grenze. Ein großer Teil unseres Wissens ist implizit.

Wir können zwar Gesichter erkennen, aber wir wissen nicht genau wie. Die Evolution hat uns diese Fähigkeit geschenkt, aber wir haben keine gute Theorie dafür, warum wir unseren Nachbarn oder George Clooney sofort identifizieren können, auch wenn das Licht schlecht und das Gesicht halb verdeckt ist. Es ist auch nahezu unmöglich, eine exakte Beschreibung zu verfassen, wie wir unserem Kind Skifahren oder Schwimmen am besten beibringen. Ein anderes berühmtes Beispiel für implizites Wissen ist die Antwort auf die Frage: Was ist eigentlich Pornografie? Der amerikanische Verfassungsrichter Potter Stewart fand darauf im zähen Ringen um eine juristisch waserfeste Definition nur die verzweifelte Antwort: »Ich weiß es, wenn ich welche sehe.« Dieses Problem hat einen Namen, Polanyis Paradox. Dieses beschrieb bis dato die Grenze, die für

Software-Programmierer unüberwindbar schien. Ohne eine Theorie, die in Regeln übersetzt und aufgeschlüsselt ist, können wir Maschinen unser Wissen und unsere Fähigkeiten nicht weitergeben.

Künstliche Intelligenz löst dieses Paradox auf, indem der Mensch nur die Rahmen setzt, in welchen die Maschine das Lernen lernt. Es gibt unzählige Methoden und Ansätze, die unterschiedliche KI-Schulen unter dem Begriff Künstliche Intelligenz einordnen. Die meisten, wichtigsten und erfolgreichsten allerdings folgen dem Grundprinzip, den Computern weniger Theorie und Regeln vorzugeben, sondern Ziele. Wie sie zu diesem Ziel kommen, lernen Computer in einer Trainingsphase durch viele Beispiele und Feedback, ob sie die vom Menschen gesteckten Ziele erreicht haben.

Oft wird in diesem Zusammenhang die Frage diskutiert: Ist maschinelles Lernen in Feedbackschleifen tatsächlich intelligent? Viele KI-Forscher mögen den Begriff Künstliche Intelligenz nicht besonders, darunter der Präsident des Deutschen Forschungszentrum für (sic) Künstliche Intelligenz. Wolfgang Wahlster interpretiert das Kürzel KI lieber als »künftige Informatik«. Eine große Fraktion der KI-Gemeinde nutzt durchgängig die Bezeichnung *machine learning*.

Starke und schwache KI

Der Begriff Künstliche Intelligenz ist umstritten, seit die Computer-Pioniere um Marvin Minsky ihn 1956 auf ihrer berühmten Dartmouth-Konferenz prägten. Dabei ist die Wissenschaft sich bis heute nicht einmal darin einig, was menschliche Intelligenz genau ausmacht. Kann so ein Begriff dann überhaupt für Maschinen taugen? Diskussionen um Künstliche Intelligenz driften schnell zu sehr grundsätzlichen Fragen ab wie: Ist Den-

ken ohne Bewusstsein möglich? Sind Maschinen bald intelligenter als Menschen, und bilden sie die Fähigkeit aus, sich selbst immer intelligenter zu machen? Und können sie dann unter Umständen ein Selbstbild, ein Bewusstsein und eigene Interessen entwickeln? Die Bewegung der Transhumanisten – eine wilde Mischung aus Techno-Utopisten oft mit esoterischem Einschlag – glaubt oder hofft, dass Menschen und Maschinen irgendwann verschmelzen, sich menschliches Bewusstsein auf Maschinen übertragen lässt und Cyborgs, Mensch-Maschinen, dann die nächste Stufe der Evolution bilden.

Diese Fragen zu sogenannter »starker KI« sind von großer Bedeutung. Die langfristigen Technikfolgen sollten diesmal im Gleichschritt mit der technischen Entwicklung gründlich abgewogen und kontrolliert werden und nicht erst im Nachhinein in Kauf genommen werden, wie im Fall des Verbrennungsmotors. Das letzte Kapitel dieses Buchs reißt diese Fragen an. Mein Hauptanliegen ist es allerdings, einen Überblick über das technisch heute Mach- und Absehbare zu geben, über die sogenannte »schwache KI«. Dabei hilft eine pragmatische Definition des Begriffs.

Die Unterscheidung zwischen starker und schwacher KI hat der US-amerikanische Sprachphilosoph John Robert Searle vor rund vier Jahrzehnten vorgeschlagen. Starke KI ist bis auf Weiteres Science Fiction. Schwache Künstliche Intelligenz hingegen ist im Hier und Jetzt am Werk, wenn ein Computersystem Aufgaben übernimmt, von denen man noch bis vor Kurzem dachte: Das kann nur ein Mensch erledigen, der in irgendeiner Form auch seinen Kopf anstrengen muss. Oft geht es dabei um althergebrachte Aufgaben der Wissensarbeit, Fallbearbeitung in Versicherungen zum Beispiel oder das Schreiben von Nachrichten- oder Sportmeldungen. Eingebettet in physische Maschinen macht KI nicht nur Autos, sondern Fabriken, landwirtschaftliches Gerät, Drohnen oder Rettungs- und Pflegeroboter

funktionstüchtiger. Es gibt immer wieder Parallelen zu menschlichem Verhalten, aber zu einem pragmatischen Verständnis von KI gehört, dass die schlaunen Maschinen die Vorgehensweise des Menschen beim Lösen der Aufgaben nicht imitieren müssen – und schon gar nicht die biochemischen Vorgänge im menschlichen Gehirn. Sie verfügen in der Regel über die Fähigkeit, eigenständig mathematische Lösungswege zu erkunden, ihnen dafür vorgegebene Algorithmen zu verbessern oder gar eigenständig Algorithmen zu entwickeln. Das Ergebnis ist dann, dass die Maschine den Job besser, schneller oder günstiger erledigt als der Mensch. Je größer wiederum die Überlegenheit der Maschine über menschliche Problemlöser ist, desto schneller verbreiten sich die Systeme. Dies geschieht allerdings nicht zu Null-Grenzkosten nach dem Prinzip, eine digitale Kopie kostet nichts, wie die Apostel der digitalen Revolution behaupten. Digitale Technologie ist teuer, und das wird auch noch eine Weile so bleiben. Aber empirisch nachweisbar ist: Die Zyklen der Einführung und Verbreitung neuer Technologien werden kürzer.

Kulturelle Haltungen beschleunigen oder verlangsamen die Akzeptanz von Innovationen. In Europa sind Roboter Feinde, in Amerika Diener, in China Kollegen und in Japan Freunde. Aber langfristig wirkt überall die Kraft des *return on investment*, also der Rendite auf das investierte Kapital. Diese Rendite misst sich oft, vielleicht meistens, in Geld. Wenn Amazon in kleine Shops in Innenstädten ohne menschliche Verkäufer investiert, bei denen Kameras, Sensoren und RFID-Chips automatisch addieren, was im Einkaufskorb landet, muss es x Millionen Dollar in automatische Regal- und Kassensysteme investieren, spart aber y Millionen Personalkosten, was sich in z Monaten oder Jahren rechnet. Doch wenn das New York Genome Center mithilfe von IBM Watson das Erbgut von Patienten in zehn Minuten analysieren kann, um eine voraussichtlich

wirksame Therapie vorzuschlagen, und wenn hochqualifizierte Ärzte für die gleiche Analyse 160 Stunden brauchen, misst sich die Rendite nicht in Dollar, sondern in geretteten Menschenleben.

»Künstliche Intelligenz wird die Welt verändern wie der elektrische Strom.« Dieser Satz steht in vielen Artikeln und Studien zu KI. In Zeiten technologischer Paradigmenwechsel sind Experten-Orakel – besonders die euphorischen – mit Vorsicht zu betrachten. Die Zukunft lässt sich aus den Daten der Vergangenheit nur halbwegs zuverlässig vorhersagen, wenn sich nichts Grundsätzliches ändert. Die Digitalisierung schafft hier selbst ein interessantes Paradox. Mehr Daten und Analytik erhöhen die Prognosefähigkeit des Menschen. Doch der radikal verändernde Charakter der digitalen Technologie schafft unberechenbare Veränderung. Dennoch bewegen wir uns auf sicherem Grund mit der Vermutung: Intelligente Maschinen werden in den kommenden zwei Jahrzehnten unser Leben, die Wirtschaft und die Arbeitswelt und unsere Gesellschaften gründlich durcheinanderwirbeln. Die Analogie zur Einführung des elektrischen Stroms stimmt insofern, als aus Daten lernende Systeme eine Querschnittstechnologie sind. Sie wirkt wie der Verbrennungsmotor, die Entwicklung von Kunststoffen oder das Internet in viele Bereiche hinein und schafft zugleich die Voraussetzung für Innovationen, von denen wir heute noch keine Vorstellung haben können, wie sie aussehen und was sie verändern werden.

Der elektrische Strom ermöglichte die effiziente Eisenbahn, das Fließband, Licht in Bibliotheken, das Telefon, die Filmindustrie, die Mikrowelle, Computer und die batteriegetriebenen Erkundungsmissionen eines Mars-Rovers durch unwegsames, extraterrestrisches Gelände. Ein modernes Leben ohne Strom ist nicht vorstellbar. Niemand weiß heute, ob die Querschnittstechnologie Künstliche Intelligenz eine ähnlich große

Wirkung haben wird. Andrew Ng, Professor in Stanford und ehemaliger Leiter der KI-Teams bei Google und Baidu, antwortet auf die Frage, welche Branchen KI durchdringen wird: »Es ist wohl deutlich einfacher, die Branchen aufzuzählen, bei denen KI nicht zum Fortschritt beitragen kann.« Das ist eigentlich keine Aussage mehr, die sich auf die Zukunft bezieht. Sie beschreibt die Gegenwart, im Guten wie im Bedenklichen.

Rage against the machine?

Es kann heute niemand voraussagen, ob künstlich intelligente Systeme vor allem menschliche Arbeitsplätze vernichten werden oder ob sie in zweiter Welle mehr neue Arbeit schaffen, wie dies bei früheren technologischen Umbrüchen immer der Fall war. Die Maschinenstürmer des frühen 19. Jahrhunderts zertrümmerten mit Vorschlaghämmern die ersten mechanischen Webstühle Mittelenglands. *Rage against the machine!* Macht kaputt, was Euch kaputt macht. Ihre Wut half ihnen wenig. Die Produktivität und das Bruttoinlandsprodukt stiegen zwar schnell an, doch für sie selbst verschlechterten sich die Arbeitsbedingungen. Es dauerte Jahrzehnte, bis die Automatisierungsrendite bei ihren Kindern und Enkeln in Form höherer Löhne und besserer sozialer Absicherung ankam. Die Maschinenstürmer wurden zu einer verlorenen Generation eines wirtschaftlichen und sozialen Umbruchs, den der liberale Ökonom David Ricardo unter dem Schlagwort *machinery question* zusammenfasste. Der Historiker Robert Allen benennt die Stagnation der Löhne von 1790 bis 1840 mit dem fast literarischen Begriff »Engels' Pause« – eine Anspielung an die Schriften Friedrichs Engels aus der Zeit.

Langfristig fand der Fortschritt eine befriedigende Antwort auf die Maschinen-Frage. Die Mechanisierung der Landwirt-

schaft ersetzte Landarbeiter durch Mähdrescher. Die Industrialisierung erfand dafür nicht nur den Beruf des Maschinenbauers, der unter anderem Mähdrescher baute. Sie zog sich auch Heere von Buchhaltern heran und brauchte später viele Marketing-Experten, um die Produkte an den Kunden zu bringen, welche die Fabriken mithilfe von Skaleneffekten in immer größeren Stückzahlen immer günstiger in immer besserer Qualität ausspuckten.

Optimistische Studien und Politiker hoffen auf ähnliche Anpassungs- und Zugewinneffekte im Zeitraffer – und diesmal ohne Engels' Pause. Sie gehen davon aus, dass lernende Computersysteme in den nächsten Jahren für erhebliches Wachstum bei Produktivität und Bruttoinlandsprodukten sorgen werden und betonen die Chancen für den Einzelnen, für Unternehmen und Gesellschaften, diesen Produktivitätszuwachs in mehr Bildung und bessere Arbeit zu investieren. Die Unternehmensberatung Accenture rechnet in einer aufwändig recherchierten Studie vor, dass die US-amerikanische Volkswirtschaft bis 2035 mit jährlich 4,6 Prozent dank KI fast doppelt so schnell wachsen kann wie in einem Szenario ohne KI. In Deutschland soll sie das Wachstum gar mehr als verdreifachen, auf 2,7 Prozent jährlich. Die japanische Politik sieht Künstliche Intelligenz und Robotik als einzigartige Möglichkeit, die demografischen Probleme des Landes in den Griff zu bekommen. KI und Robotik sollen das Land endlich aus seiner hartnäckigen Stagflation reißen.

Am besten scheinen die Aussichten für einen wirtschaftlichen Schub durch KI allerdings in China zu sein. Das Land hat alle wichtigen Komponenten für Entwicklung und Einsatz Künstlicher Intelligenz im Überfluss: Kapital, günstige Rechenkapazitäten und kluge Köpfe, die gerade von amerikanischen Universitäten und Startups zurück nach China drängen, aber zunehmend auch an eigenen Universitäten ausgebildet

werden. Vor allem jedoch ist China so reich an Feedback-Daten wie Saudi-Arabien an Öl. Rund die Hälfte aller Internetdaten werden von den 700 Millionen chinesischen Nutzern erzeugt und dies vor allem von mobilen Endgeräten, die für lernende Systeme besonders wertvoll sind. Bezogen auf Privatheit und staatliche Kontrolle ist das sehr bedenklich. Rein ökonomisch betrachtet hat China aber die Chance, mit KI-Systemen seinen Aufstieg zur wirtschaftlichen Supermacht weiter zu beschleunigen und damit viele Millionen Menschen aus der Armut herauszuführen.

Gegen diese freundlichen Szenarien stehen lange Listen von Arbeitswissenschaftlern, die vorrechnen, wie hoch der Anteil von Tätigkeiten ist, die durch KI ersetzbar werden. Die niedrigen Kosten dank der enormen Skalen- und Netzwerkeffekte digitaler Technologien, so die düstere Prognose, werden weltweit zu Massenarbeitslosigkeit führen. Die Oxford-Ökonomen Michael Osborne und Carl Benedikt Frey rechneten 2013 vor, dass rund die Hälfte aller Jobs in den USA ernsthaft bedroht ist. Die Studie wurde von Kollegen methodisch stark angezweifelt, aber sie löste eine notwendige Debatte aus. Denn umgekehrt wirkt die Vorstellung naiv, man könne mit ein wenig gutem Willen und staatlichen Weiterbildungsprogrammen für die Verlierer der dritten großen Automatisierungswelle rasch neue und gute Arbeit finden. Schon heute haben viele Menschen in den USA und Europa den Eindruck: Die Digitalisierung spaltet den Arbeitsmarkt in *lovely and lousy jobs*. Angenehme und gut bezahlte für gut ausgebildete Digitalisierungsgewinner, und zwar besonders für jene, welche die Werkzeuge des Datenkapitalismus bauen und bedienen. Der Rest muss bei Regen Pakete ausfahren.

Das Bild ist gewiss überzeichnet, aber der Befund heute ist eindeutig: Die Beschäftigungseffekte von Künstlicher Intelligenz und beschleunigter Robotisierung sind unklar. Alle Prog-

nosen – optimistische wie pessimistische – haben zu viele Wackelkandidaten unter den Variablen ihrer Gleichungen. Wir können schlicht nicht abschätzen, wie gut die nächsten Generationen von KI-Systemen welche Aufgaben übernehmen und mit welcher Dynamik sie sich ausbreiten. Die Unfähigkeit zu solider Prognose ist im Kern eine Frage der Geschwindigkeit. Je schneller sich KI am menschlichen Arbeitsplatz ausbreitet, desto weniger Zeit bleibt dem Menschen für die Anpassung seiner individuellen Qualifikationen und der kollektiven Sicherungssysteme. Eine neue Generation von Automatisierungsverlierern wird dann wahrscheinlicher. Bei aller Unsicherheit in der Vorschau ist allerdings sicher, dass Politiker weltweit bis heute nur wenige kluge Antworten auf die Herausforderungen des nächsten großen Automatisierungsschubs gefunden haben. Wir sind nicht gut vorbereitet auf die Rückkehr der Maschinenfrage.

Der maschinelle Makel

Die für die Menschheit noch drängendere Frage könnte freilich sein: Wird sich eine starke KI, eine Super-Intelligenz entwickeln, die sich autonom und in Feedbackschleifen ein immer besseres Bild von der Welt und sich selbst errechnet? Ein System, »das den Menschen von der Spitze der Denkerkette verdrängt«, wie Nick Bostrom formuliert, der Leiter des Future of Humanity Institute in Oxford. Die Folge wäre: Das superintelligente System wäre vom Menschen nicht mehr kontrollierbar. Und könnte diese Superintelligenz sich gar wie im Science Fiction gegen den Menschen wenden und am Ende die Maschine den Menschen auslöschen?

Die gute Nachricht gleich vorab: Künstlich intelligente Systeme werden den Menschen vorerst nicht unterjochen. Der