

# 1

## Einleitung

*Digitalisierung* ist ein Reizwort unserer Zeit: für die einen die Hoffnung für die Lösung der Probleme der Zukunft, für die anderen eine meist diffuse Bedrohung. Seit wenigen Jahren beginnt Künstliche Intelligenz (KI) in den Mittelpunkt dieser Hoffnungen und dieses Bedrohungsgefühls zu rücken, als neue Speerspitze der Digitalisierung. Der Technikphilosoph Achim Grunwald sieht die Debatte über KI als neue Systemdebatte, in der verschiedene gesellschaftliche Lager ihre Hoffnungen und Befürchtungen formulieren. Anhand dieser gegensätzlichen Utopien bezüglich KI wird somit die Zukunft verhandelt.<sup>1</sup>

In der politischen Debatte werden in dieser Auseinandersetzung von beiden Seiten Ängste geschürt: einerseits die Angst vor einer immer weiteren Technisierung der Gesellschaft und zunächst vor allem vor dem Abbau von Arbeitsplätzen, andererseits die Angst davor, dass Deutschland oder Europa den Anschluss an die Entwicklung verlieren.

Praktisch durchdringt die Digitalisierung bereits seit einigen Jahrzehnten die Arbeits- und Lebenswelt. Künstliche Intelligenz beginnt aber gerade erst, eine ernsthafte Rolle zu spielen, weshalb ihre zukünftigen Folgen leicht unterschätzt und natürlich auch überschätzt werden können. Manches wird nur aus Marketinggründen als KI bezeichnet, um auf diesen Zug der Zukunft aufzuspringen, obwohl es nichts oder sehr wenig damit zu tun hat. Dennoch gibt es einige gute Gründe, die erwarten lassen, dass KI in den kommenden Jahrzehnten tiefgreifende Auswirkungen auf die Lebenswelt haben wird – ganz abgesehen davon, dass diese Entwicklung bereits begonnen hat, wie gleich deutlich werden wird.

## 2 1 Einleitung

Die Gründe, die KI eine wichtigere Rolle ermöglichen, sind neben Fortschritten der Informatik, die lange Zeit nur von akademischem Interesse waren, technische und ökonomische Randbedingungen.

Ein wichtiger Faktor ist in diesem Zusammenhang die Verfügbarkeit von entsprechender Rechenpower. Dabei spielt zunächst der allgemeine Fortschritt der Computertechnik beziehungsweise der Chipentwicklung („Moore'sches Gesetz“<sup>2</sup>) eine Rolle. Eine schon ältere Apple Watch 2 von 2015 in der Größe einer Armbanduhr hat fast die doppelte Rechenleistung des Cray-2, des leistungsfähigsten Supercomputers von 1985, der nur 30 Jahre früher gebaut wurde.<sup>3</sup> Dabei hat dieser Supercomputer so viel Strom verbraucht und damit Wärme erzeugt, dass er – wenn man ihn auf die Größe der Apple Watch geschrumpft hätte – diese Uhr in einer Sekunde um mehr als 5000 Grad erhitzt, sie also verdampft hätte.<sup>4</sup> Das zeigt unmittelbar, dass neben der reinen Rechenkraft auch die wachsende Energieeffizienz der Computerchips eine große Rolle spielt.<sup>5</sup>

Neben dieser allgemeinen Leistungssteigerung von Computerchips ist ein bedeutender Faktor für KI-Anwendungen, dass umfunktionierte Grafikkarten und spezialisierte KI-Chips zum Einsatz kommen. Für neuronale Netze, von denen die moderne Entwicklung geprägt ist, gilt ein anderes Anforderungsprofil als für gewöhnliche Prozessoren in Computern.<sup>6</sup> Sogar einige Smartphones werden bereits mit solchen spezialisierten KI-Chips ausgeliefert.

Ein weiterer Faktor, der die Entwicklung vorantreibt, ist die Verfügbarkeit großer Datenmengen in einer Form, dass sie von Computern verarbeitet werden können. Warum das von Bedeutung ist, wird im Abschnitt 1.3 erklärt.

Weiterhin spielen neue ökonomische Strukturen eine Rolle. Die Entwicklung von KI wird einerseits von den großen neuen Internetkonzernen befördert, die über sehr viel Kapital verfügen und dieses bereitwillig in Forschung investieren. Ihre Zukunft hängt davon ab. Andererseits spielt auch eine neue Kultur von Start-ups und Risikokapital eine wichtige Rolle, die im Übrigen auch die heute großen Internetkonzerne begründet hat.

Ein weiterer treibender Faktor ist die wachsende Zahl von Informatikern, die in den neuen Methoden gut ausgebildet sind, und die in Forschungszentren in Unternehmen und an Universitäten in immer größeren Teams zusammenarbeiten. Der chinesische Spezialist Lee verweist darauf, dass in den nächsten Jahren der Fortschritt nicht von ganz neuen Techniken dominiert werden

wird, sondern von der Anwendung von im Prinzip schon entwickelten Techniken. Dafür werden keine Spitzenforscher gebraucht (die auch heute rar sind und die nicht in beliebiger Zahl ausgebildet werden können), vielmehr können das auch gute Fachleute.<sup>7</sup> Deren Zahl rasch wächst.

Die Entwicklung von intelligenten Robotern (die im Zentrum vieler Science-Fiction-Utopien und -Dystopien stehen) ist aber noch eine große technische Herausforderung. Roboter brauchen neben der KI auch gute Mechanik, Elektrotechnik und gute Sensorik. Dazu kommt, dass gerade Feinmotorik und die Verknüpfung von Sensorik und Motorik große Herausforderungen für KI darstellen. Viele andere, weniger leicht erkennbare Anwendungen von KI werden früher kommen.

Ein wesentlicher Faktor, der leicht dazu führt, den zukünftigen Einfluss von KI zu unterschätzen, ist, dass zunächst nur in den Blick kommt, wie bestehende Technik ersetzt werden kann.<sup>8</sup> Schon die Geschichte der Digitalisierung der letzten Jahrzehnte lehrt aber, dass viele neue Anwendungen nicht in Kontinuität zu bestehenden Abläufen, Produkten und Techniken stehen. In gewisser Weise passt sich die Gesellschaft an die neuen Möglichkeiten an. Zur Erläuterung seien einige Beispiele für solche diskontinuierliche Entwicklungen aufgezählt, die aus dem Alltag vertraut sind:

- In den Banken wurden nicht die Mitarbeiter am Schalter und im Hintergrund durch Roboter ersetzt, die ihre Rolle übernehmen hätten können. Diese zu bauen würde auch heute und in absehbarer Zeit technisch kaum möglich sein. Stattdessen wurde das Online-Banking entwickelt – eine ganz andere Weise, Überweisungen zu tätigen, die aber ebenso Bankmitarbeiter ersetzt hat. Vermutlich kann die jüngere Generation kaum nachvollziehen, dass es Zeiten gab, in denen man Überweisungsformulare mühsam von Hand ausgefüllt und dann am Schalter in der Bank abgegeben hat – oder sogar am Schalter ausfüllen lassen hat.
- Eine entsprechende Entwicklung gab es für das Erfragen von Zugverbindungen und beim Fahrkartenkauf. Wieder wurden nicht Mitarbeiter ersetzt, die in großen Büchern die Verbindungen nachschlagen konnten (was eine Kunst war), sondern die Online-Zugauskunft und der Online-Fahrkartenkauf funktionieren nach einem ganz anderen Schema.
- Dasselbe gilt für eine Vielzahl von Buchungssystemen für Reisen.

## 4 1 Einleitung

- Was Produkte angeht, ist das Smartphone eine solche disruptive Anwendung, ebenso wie zuvor schon das Internet.
- Ein weiteres Beispiel: Airbnb ersetzt nicht die Mitarbeiter in Hotels durch Roboter (obwohl auch die vermutlich in Zukunft zum großen Teil überflüssig werden), sondern es ermöglicht durch den Einsatz von Digitaltechnik eine völlig andere Weise, auf Reisen zu übernachten.
- Musik und Filme werden nicht mehr auf Datenträgern gekauft, sondern „gestreamt“, was viel einfacher zu automatisieren ist.
- Der Siegeszug des Versandhandels wäre ohne Digitalisierung nicht möglich gewesen.

Daran schließt sich die Frage an: Wie weit ist die Entwicklung von KI schon? Vor allem: Welche Anwendungen sind schon im Einsatz?

Ein wichtiger schon jetzt praktizierter Einsatzbereich von KI ist die *Datenanalyse*, zum Beispiel für Marketingzwecke. Die berühmten und berüchtigten Empfehlungsalgorithmen von Facebook, Amazon und Co. setzen unter anderem auf KI. Auch Übersetzungsprogramme liefern bereits erstaunlich gute Ergebnisse und sind im praktischen Einsatz. Ihr Leistungsvermögen kann jeder im Internet testen (zum Beispiel „Google translate“ oder „DeepL“). Im Hintergrund der sogenannten Sprachassistenten Alexa, Siri, Cortana, Google Assistant und Bixby (der modernen Versionen der Televisoren aus dem Roman „1984“) arbeitet KI.

*Bilderkennung* ist ein weiteres wichtiges Feld. Hinter der Face ID, mit der neuere Apple-Smartphones entsperrt werden, steckt KI. China hat ein in Städten bereits fast flächendeckendes System von Kameras installiert. Die Regierung kann durch Gesichtserkennung überwachen, wer sich wo aufhält und wo auf der Straße geht. Entsprechend verwenden einige Systeme der Sprachanalyse KI-Technik. Es gibt viele kleine und spezialisierte Anwendungen in der Fertigung in Unternehmen. Die Firma Trumpf in Ditzingen löst zum Beispiel Steuerungsprobleme in der automatischen Fertigung durch KI und analysiert Maschinengeräusche, um Störungen zu erkennen.<sup>9</sup>

Bezeichnend für die gegenwärtige Situation ist aber auch, dass die spektakulärsten Durchbrüche für KI-Anwendungen aus den letzten Jahren mehr demonstrativen Charakter hatten, wie der Erfolg von AlphaGo, entwickelt von der Google-Firma DeepMind im Jahr 2016, und danach fast unbemerkt, aber

viel wichtiger AlphaGo Zero beziehungsweise AlphaZero im Jahr 2017. An den Erfolg von Schachcomputern hatte man sich schon gewöhnt. Dagegen galt für das im ostasiatischen Raum verbreitete Spiel Go aufgrund seiner weit größeren Komplexität und aufgrund der sehr intuitiven Spielweise, dass Computer den besten menschlichen Spielern weit unterlegen waren. 2016 aber besiegte das System AlphaGo den südkoreanischen Profi und Spitzenspieler Lee Sedol und dann auch den Weltranglistenersten Ke Jie aus China. Diese Siege wurden in Ostasien weit stärker als Sensation wahrgenommen als in Europa und spielen eine motivierende Rolle für die gewaltigen KI-Investitionen Chinas. Im Unterschied zu den klassischen und erfolgreichen Schachprogrammen waren für den Erfolg von AlphaGo die modernen Methoden des maschinellen Lernens (Machine Learning, vgl. Abschnitt 1.3) entscheidend.

AlphaGo Zero und die allgemeinere Version AlphaZero vom selben Unternehmen waren nicht einfach Weiterentwicklungen von AlphaGo, sondern ein ganz neuer Schritt, um Computern das Lernen beizubringen. Während AlphaGo noch mit vielen Musterspielen von großen Go-Spielern trainiert wurde („Trainingsdaten“, vgl. Abschnitt 1.3), also auf einen reichen Erfahrungsschatz und das damit verbundene intuitive Wissen von Menschen zurückgreifen konnte, war AlphaGo Zero in der Lage, das Go-Spiel allein aufgrund der Regeln innerhalb kurzer Zeit besser zu lernen als die Version von AlphaGo, die ein Jahr zuvor so spektakulär Lee Sedol besiegt hatte. Nach vierzig Tagen überflügelte dieses System, einfach durch Ausprobieren verschiedener Spielweisen, die Weiterentwicklung von AlphaGo. Dasselbe Computerprogramm konnte in der Version als AlphaZero auch das Schachspiel innerhalb weniger Stunden so gut lernen, dass sie herkömmliche Schachprogramme besiegen konnte.

Der dänische Großmeister Peter Heine Nielsen kommentierte das mit den folgenden Worten:

„Ich habe mich immer gefragt, wie es sei, wenn eine überlegende Spezies auf der Erde lande und uns ihre Art Schach zu spielen zeige. Nun weiß ich es.“<sup>10</sup>

Der ehemalige Schachweltmeister Garri Kasparow meinte, er sei erstaunt darüber „was man von AlphaZero und grundsätzlich von KI-Programmen lernen kann, die Regeln und Wege erkennen können, die Menschen bisher verborgen geblieben sind“. Und weiterhin:

„Die Auswirkungen sind offenbar wunderbar und weit jenseits von Schach und anderen Spielen. Die Fähigkeit einer Maschine, menschliches Wissen aus Jahrhunderten in einem komplexen, geschlossenen System zu kopieren und zu überflügeln, ist ein Werkzeug, das die Welt verändern wird.“<sup>11</sup>

Weitere, teilweise in ihren Möglichkeiten auch erschreckende Anwendungen, funktionieren zwar, haben aber noch keinen bedeutenden Einsatz gefunden, zum Beispiel Stimmimitation, mit der beliebige Texte mit der Stimme einer anderen Person gesprochen werden können, oder die Bearbeitung von Videos, wobei Gesichter ersetzt werden können (vgl. dazu Abschnitt 6.3).

Ein bezeichnendes Beispiel für den Stand der Anwendungen und den KI-Hype ist die Spannung zwischen einerseits einer seriösen und erstzunehmenden Prognose von McKinsey, dass 70 - 90 % der Sachbearbeiter für Schadensmeldungen in Versicherungen bis 2030 durch künstliche Intelligenz ersetzt werden können,<sup>12</sup> und andererseits dem teilweisen Scheitern einer ersten Welle des Einsatzes von KI in diesem Bereich. Die japanische Lebensversicherung „Fukoku Mutual Life Insurance“ ersetzte immerhin 2017 fast 30 % der Mitarbeiter in der Zahlungsstelle durch KI. Andere Versicherungen (Sompo, Munich RE, Swiss RE) haben aber entsprechende Projekte zurückgezogen,<sup>13</sup> wobei offensichtlich ein wichtiger Faktor die überzogenen Erwartungen an das System Watson von IBM waren. Entsprechende Erfahrungen gibt es auch aus dem Medizinbereich.<sup>14</sup> Insider sprechen diesem System zwar sehr gute Rechenleistung in der Datenverarbeitung zu, aber nur beschränkte Fähigkeiten im Bereich des maschinellen Lernens. Weiterhin wird gerade im Medizinbereich über mangelnde oder schlecht aufbereitete Daten für das Training der KI geklagt. Andererseits gibt es dort auch bereits gut funktionierende Anwendungen. Zum Beispiel wird im Massachusetts General Hospital KI erfolgreich zur Erkennung von Brustkrebs auf Röntgenfotos eingesetzt.

Für dieses Hin und Her gibt es zwei Interpretationsmöglichkeiten:

- Entweder ist KI zwar eine große Verheißung, die sich aber nur wenig praktisch realisieren lassen wird,
- oder KI ist gerade auf dem großen Sprung in die Praxis, wobei viele der Enttäuschungen auch damit zusammenhängen, dass - wie oben schon gesagt - das Label KI zu Marketingzwecken missbraucht wurde, ohne für die Funktion entsprechender Systeme bedeutsam zu sein.

Dieses Buch geht vom zweiten Szenario aus. Die wichtigsten Gründe dafür wurden oben schon benannt. Die sehr großen Investitionen, die gerade im letzten und in diesem Jahr vor allem in China und den USA angekündigt wurden, zeigen, dass auch die Unternehmen so denken. Ramge<sup>15</sup> spricht vom Kitty-Hawk-Moment, der gerade in Bezug auf KI stattfindet. Kitty Hawk ist die amerikanische Kleinstadt, in deren Nähe die Gebrüder Wright im Jahr 1903 den ersten motorisierten Flug absolvierten. Nach Jahrtausenden Menschheits-traum vom Fliegen dauerte dieser erste Flug klägliche 12 Sekunden, in denen das Flugzeug 37 Meter zurücklegte. Doch dieser Flug war der Startschuss für eine gewaltige Entwicklung, für einen Umbruch der Zivilisation durch den Flugverkehr – mit großartigen Folgen für das Zusammenwachsen der Welt und der Kulturen, aber auch mit nachfolgenden heftigen Umweltproblemen, die zunehmend in den Blick geraten.

In dieser Perspektive sind in den kommenden Jahren und Jahrzehnten viele Anwendungen von KI zu erwarten, zu erhoffen oder zu befürchten. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind hier einige aufgezählt:

- Viele Büroarbeiten werden durch KI automatisiert werden. Tatsächlich wird voraussichtlich der erste große Einfluss auf den Arbeitsmarkt – also die Ersetzung von menschlicher Arbeit – in diesem Bereich stattfinden. Die Beantwortung von Kundenanfragen, die Bearbeitung von Rechnungen, Buchhaltung und Steuererklärungen, einfachere Rechtsangelegenheiten und vieles mehr, was heute „Sachbearbeiter“ erledigen, wird an KI übertragen werden. Die gesellschaftlichen Auswirkungen werden in Kapitel 2 diskutiert.
- Viel in der öffentlichen Diskussion ist das autonome Fahren. Tatsächlich ist es in seiner reinen Ausprägung eine große Herausforderung für KI (vgl. Kapitel 4), die vermutlich nicht in naher Zukunft verwirklicht wird. Voraussichtlich werden zunächst Assistenzsysteme kommen, die, wie in Grundzügen schon bei Tesla-Fahrzeugen sichtbar, eine teilweise Abgabe der Kontrolle über das Fahrzeug ermöglichen. Autobahnfahrten werden sich am einfachsten automatisieren lassen, Stadtfahrten am schwersten.
- Autonome Fahrzeuge und Flugdrohnen können im Transportsektor eine große Rolle spielen und sich mit einer durchgehenden Automatisierung des Logistikbereichs verknüpfen.

- Im Produktionsbereich werden viele kleine Verbesserungen und Veränderungen durch KI kommen. Gerade (S. 3f.) wurde schon erwähnt, dass voraussichtlich auch unvorhergesehene Entwicklungen durch die Anwendung von KI möglich werden, was auch den Produktionsbereich betrifft. Ein Beispiel ist die Verschleißkontrolle anhand von Motorengeräuschen.
- KI wird in der ärztlichen Diagnostik eine große Rolle spielen, möglicherweise auch bei Operationsrobotern.
- Die Automatisierung der Infrastruktur wird mit KI-Steuerungen arbeiten, zum Beispiel in der Energieversorgung und im Verkehr, vor allem auch im Bahnverkehr.
- Intelligente Roboter werden im Fabrikbereich, in der Pflege und im Haushalt zum Einsatz kommen.
- In der Gastronomie lassen sich viele Tätigkeiten automatisieren. Für den Ersatz von Köchen braucht es wahrscheinlich gar nicht viel KI, sondern eher konventionelle Robotik und Digitaltechnik. Für die Bedienung der Kunden aber schon.
- Autonome Waffen mit KI werden schon entwickelt. Der Physiker Max Tegmark warnt insbesondere eindringlich vor winzig kleinen (Insektenformat) automatisierten Killer-Flugdrohnen, die auch außerhalb der militärischen Verwendung vielfach missbraucht werden könnten.<sup>16</sup> Vgl. zu autonomen Waffen das Kapitel 5.
- Noch viel problematischer sind Pläne zur Steuerung der Kriegsführung durch KI, vgl. dazu ebenfalls das Kapitel 5.
- Eine große Hoffnung sind autonome Roboter für den Reparatur- und Rettungseinsatz in gefährlichen und/oder schwer zugänglichen Situationen. Bekannt geworden ist der Wettbewerb der DARPA – die Technik- und Entwicklungsagentur des US-Verteidigungsministeriums – von 2013 bis 2015, wo Roboter ihre Tauglichkeit in Katastrophensituationen beweisen mussten. Filme, die groteskes Fehlverhalten der Roboter in diesem Wettbewerb zeigen, wurden auf YouTube populär. Die Ergebnisse lassen tatsächlich großen Spielraum für Verbesserungen. Dabei geht es aber meist um Detailverbesserungen, nicht um prinzipielle Probleme. Motiviert wurde dieser Wettbewerb unter anderem durch die Katastrophe von Fukushima, wo geeignete Roboter möglicherweise den Schaden hätten vermindern können. Bezeichnend ist allerdings, dass die DARPA den Wettbewerb veranstaltet



hat. Die Anforderungen an einen solchen Rettungsroboter sind denen an einen Kriegerroboter sehr ähnlich. Auch dieser soll in einer gefährlichen Situation möglichst schnell und autonom komplexe Aufgaben erfüllen.

- Intelligente Systeme für Unterricht und Weiterbildung können das Schulsystem ergänzen und flexibilisieren und der zunehmenden Anforderung des „lebenslangen Lernens“ gerecht werden.
- Persönliche Assistenzsysteme sind in ihren ersten Formen schon vom Smartphone und von Alexa und Co bekannt. Solche Systeme könnten die ganze Arbeit und Freizeit von Menschen begleiten, organisieren und optimieren, so man das will. Sie können damit den betroffenen Menschen auch ihre Selbständigkeit nehmen und sie perfekt überwachen.
- Computer-Spielwelten werden intelligenter und damit flexibler werden, verbunden mit Virtual Reality (VR). Die Intelligenz dient in diesem Zusammenhang dazu, das Spiel interessanter zu machen. „Interessanter“ bedeutet allerdings auch, dass das Spiel einen höheren Suchtfaktor bekommt. Die Grenze zwischen Spielfilmen und Spielen könnte verschwimmen, indem Menschen in die Filme, die sie betrachten, durch VR eintauchen und die Handlung beeinflussen können.
- Sexroboter können eine individuell abgestimmte „Persönlichkeit“ vortäuschen. Auch Sex-VR (Virtual Reality) kann viel flexibler und individueller werden.
- Ein breiter Einsatz von Gesichtserkennung/Spracherkennung sowie Erkennung von Emotionen in Gesichtern und Sprache, verbunden mit umfassender Datenanalyse, schafft perfekte Möglichkeiten zur zielgenauen Werbung, zu kundenorientiertem (und gleichzeitig gewinn-maximiertem) Verkauf, aber auch für Überwachungsmöglichkeiten.
- Die Manipulation von Videos und die künstliche Imitation von Stimmen schaffen neue Möglichkeiten für die Filmindustrie, aber auch die Gefahr der Fälschung von Nachrichten.
- Schriftliche und mündliche Übersetzungssysteme werden menschliche Übersetzer nicht ganz, aber weitgehend überflüssig machen.
- Automatisierter Journalismus („Robo-Journalismus“) mit KI wird in vielen Bereichen schon erprobt und ist in kleinem Maßstab schon im Einsatz. Dabei sind die ersten Bereiche etwa Sport-, Wetter-, Börsen-, Unternehmens-

und Wahlberichterstattung, also alles was schnell gehen soll und wenig Denkarbeit, aber die Analyse von Daten verlangt. In China werden bereits künstlich animierte Nachrichtensprecher eingesetzt.

- Manche sehen Computer als idealen Ersatz für menschliche Richter, da sie – so scheint es – objektiv und frei von menschlichen Vorurteilen entscheiden können. Bei genauer Betrachtung zeigt sich aber, dass KI keineswegs frei von Vorurteilen ist. Über die Trainingsdaten, die aus früheren Gerichtsentscheiden kommen, werden menschliche Vorurteile in die KI eingespeist. Die scheinbare Objektivität des Computers wird damit zu einer gefährlichen Täuschung. Ebenso ist es fragwürdig, ob die Rolle eines Richters auf objektive Entscheidungen reduziert werden kann und soll.
- Der fragwürdige Traum von einer industrialisierten Landwirtschaft kann mit KI zu Ende gedacht werden. Inmitten der bewirtschafteten Felder steht ein intelligent gesteuerter Maschinenpark, von dem aus die Felder mit Flugdrohnen automatisch überwacht werden. Bei Bedarf setzen sich automatische Landmaschinen in Bewegung, um zielgenau gegen Schädlinge vorzugehen oder sonstige Arbeiten zu verrichten.
- Es gibt schon erste Experimente, Kunst mit KI zu produzieren. Es lassen sich zum Beispiel Malstile imitieren und damit neue Kunstwerke im Stil von bestimmten Malern erzeugen – wenn das als Kunst bezeichnet wird. In diesem Bereich sind brauchbare Ergebnisse erst in jüngster Zeit erzielt worden.<sup>17</sup> Musik für den Alltagsgebrauch lässt sich in bestimmten Stilrichtungen schon produzieren.

## 1.1 Was ist KI, was kann sie und was wird sie können?

Nur kurz sollen hier einige wichtige Meilensteine der Entwicklung von KI dargestellt werden.<sup>18</sup>

Der Mathematiker Alan Turing legte in den 30er-Jahren des letzten Jahrhunderts die theoretischen Grundlagen für die moderne Computertechnik.<sup>19</sup> Sein Ausgangspunkt waren mathematische Probleme, die zur damaligen Zeit diskutiert wurden. Er entwickelte das Modell einer Maschine, die alles berech-

nen kann, was mathematisch „berechenbar“ ist. Grob gesagt sind das alle Probleme, die sich durch einen klaren „Algorithmus“ (siehe unten) lösen lassen. Diese Maschine wurde später Turing-Maschine getauft. Auch heutige Computer folgen in der Grundstruktur dem Aufbau, den Turing entwickelt hatte, mit einigen Erweiterungen.

Der Name von Turing wird noch heute in Bezug auf KI in Zusammenhang mit dem Turing-Test genannt.<sup>20</sup>

Auch in der späteren Entwicklung kamen wesentliche Anstöße für die Computertechnik und insbesondere für die KI-Forschung aus der Mathematik. Die Entwicklung von Computern beruht darauf, dass sich Mathematik und Technik begegnen. Dazu kommt – nicht zu vergessen – die verbreitete Anwendung, die zu preiswerter Massenproduktion führt.

Als Startschuss für die eigentliche KI-Forschung gilt der Dartmouth-Workshop 1956. Dieser trat mit dem Anspruch an, „dass grundsätzlich alle Aspekte des Lernens und anderer Merkmale der Intelligenz so genau beschrieben werden können, dass eine Maschine zur Simulation dieser Vorgänge gebaut werden kann“<sup>21</sup>. Auf diesem Workshop wurde der Begriff Künstliche Intelligenz (beziehungsweise Artificial Intelligence) geprägt. Er endete mit großen Verheißungen, aber ohne konkrete Ergebnisse. Die Teilnehmer waren die späteren Protagonisten der KI-Forschung.

Schon auf diesem Workshop entwickelte sich eine Auseinandersetzung zwischen zwei Strängen der KI-Forschung. Die „Logiker“ entwickelten Systeme, die auf der Grundlage von formalisierter Logik Probleme lösen sollten (vgl. Abschnitt 1.2 „Top-down“, Expertensysteme). Die „Konnektionisten“ setzten darauf, den Aufbau eines menschlichen Gehirns zu simulieren (vgl. Abschnitt 1.3 „Bottom-up“).<sup>22</sup>

Zunächst triumphierten die Logiker. Ein beispielhafter Erfolg war ein System zum Dame spielen, programmiert von Arthur Samuel im Jahr 1959; später wurde es noch entscheidend verbessert. Das System konnte sogar lernen und sehr gut spielen, war allerdings nicht in der Lage, die besten menschlichen Spieler zu schlagen. Samuel war bei IBM angestellt. Als Vorreiter der Computertechnik betrieb IBM auch freie Forschung im Bereich KI. Eine wesentliche Triebkraft für die weitere Forschung war dann seit 1960 die Förderung durch die DARPA, also durch die Forschungseinrichtung des amerikanischen Verteidigungsministeriums. Insofern war KI von Anfang kein unschuldiges Spiel.