

1

Einführung

1.1 Worüber reden wir?

Künstliche Intelligenz (KI) ist in aller Munde, doch das bedeutet nicht, dass auch aus jedem Mund Wertvolles dazu beigetragen wird. In den letzten Jahren kam noch der Begriff Maschinenlernen (Machine Learning, ML) hinzu, und auch er wird täglich in den Medien ausgeschlachtet. Die Themen sind breit gefächert und betreffen etwa die Auswirkungen der KI auf den Menschen, ihre Bedeutung für das tägliche Leben und Arbeiten, ihre Chancen und ihre Gefahren. Ein Anwendungsfeld ist dabei sehr selten zu finden und kommt erstaunlich kurz, obwohl es möglicherweise in naher Zukunft mehr Bedeutung haben wird als alle anderen zusammen genommen, und das ist die Industrie, genauer: die Branchen der Fertigungsindustrie und des Anlagenbaus und -betriebs. Das vorliegende Buch beschäftigt sich nur am Rande mit der allgemeinen Debatte über die Künstliche Intelligenz und verweilt nicht lange bei der Begriffsklärung von KI und ML. Thema dieses Buches ist der beginnende und bevorstehende Einsatz von KI in den industriellen Wertschöpfungsprozessen und in deren Ergebnissen, den Produkten – und künftig

auch immer mehr in den Diensten, die nun auf Basis vernetzter Produkte angeboten werden können.

Es ist nicht erstaunlich, dass das Großthema Künstliche Intelligenz gerade in der Industrie relativ spät adressiert wird. Hier sind die Anforderungen an neue Technologien sehr viel höher als beispielsweise bei deren Nutzung auf dem Smartphone, sei es privat oder beruflich. Die Voraussetzungen für einen wirtschaftlich erfolgreichen Einsatz sind in der Industrie noch keineswegs gegeben, wenn etwas schon leidlich gut funktioniert. Es muss sicher sein, es muss industriellen Standards genügen, und es muss vor allem eins: einen Mehrwert erbringen, der über den mit herkömmlichen Technologien erreichbaren hinausgeht. Das war bis vor sehr kurzer Zeit bei Künstlicher Intelligenz nicht der Fall. Jetzt hat die KI für eine Reihe von Anwendungsfällen bereits bewiesen, dass sie ausgesprochen nützlich und wertvoll sein kann. Außerdem ist sie an einer Schwelle zum massenhaften Einsatz, der sie für viele bislang noch gänzlich unerschlossene Anwendungen gerade in der Industrie interessant werden lässt. Dies gab mir den Anstoß, das Buch zu schreiben.

Orientierungshilfe für Entscheidungsträger

Da es bis vor wenigen Jahren so aussah, als werde KI vor allem – wenn nicht ausschließlich – für den E-Commerce, für die Konsumenten und die an sie gerichtete Werbung Entscheidendes bieten, haben sich viele Entscheidungsträger in der Industrie, viele IT-Verantwortliche und selbst Softwareingenieure noch kaum damit beschäftigt. Also mangelt es in doppelter Hinsicht an Expertise. Einerseits ist noch wenig Wissenswertes über industrielle KI zu finden, andererseits gibt es nur wenige Experten, die sich damit befassen haben. Zudem sind diese bekanntlich selten im eigenen Haus anzutreffen, sondern meist ausgerechnet bei der Konkurrenz –

und in diesem Fall häufig sogar nur in der Forschung. Deshalb soll dieses Buch vor allem eine Orientierungshilfe sein. Was macht KI für die Industrie wichtig und tatsächlich schon in naher Zukunft wirtschaftlich interessant? Welche Anwendungsgebiete sind denkbar oder werden schon bespielt? Was muss ein Unternehmen berücksichtigen, wenn es KI nutzen will? Welche Player und welche Anbieter spielen hier die Hauptrolle?

Eine kurze Geschichte der Industrie – nicht nur für Historiker ■

Der Einstieg ins Buch ist – nach einem kurzen Rückblick auf die Geschichte der KI und auf die jüngsten Entwicklungen der Industrialisierung – eine Analyse des aktuellen Stands der Technik, die erklärt, warum Künstliche Intelligenz für die Industrie brandheiß und hoch aktuell ist und möglicherweise schon in wenigen Jahren zum „Game Changer“ wird, wie man es neuerdings gerne nennt. Warum es also wettbewerbsentscheidend sein kann, ob ein Unternehmen sich auf KI einlässt und darin investiert oder nicht, und was dafür sorgt, dass KI und ML in den Augen vieler Experten zum voraussichtlich wichtigsten Treiber industrieller Innovation werden.

Der Begriff Künstliche Intelligenz ist schon mehr als 60 Jahre alt, aber wie vom ersten Tag an bewegt er die Gemüter. Im letzten Jahrzehnt hat die KI sich nicht grundsätzlich gewandelt. Vieles von dem, was uns heute auf Schritt und Tritt unter diesem Kürzel begegnet, hat seinen Ursprung in technologischen Erfindungen und wissenschaftlicher Forschung, die schon seit mehreren Jahrzehnten verfügbar sind. Künstliche neuronale Netze etwa standen in der Mitte des letzten Jahrhunderts ganz am Anfang der Entwicklung. So wie sie heute eingesetzt werden, gibt es sie seit dem Ende der Neunzigerjahre. Was also ist geschehen, dass sie jetzt eine gera-

dezu revolutionäre Rolle spielen? Bei genauer Betrachtung verliert diese Fragestellung alles Mysteriöse. Es ist nämlich eigentlich eher eine Frage der Quantität – generell an verfügbaren Daten, an Rechenleistung und Speicherkapazität, aber auch an Geld, das in Forschungsprojekte gesteckt wurde – als eine Frage der Qualität, was KI derzeit zu einem der wichtigsten Treiber gerade auch industrieller Innovation macht.

USA, China, Zentraleuropa – wer macht das Rennen? ■

Noch vor einigen Jahren wäre kaum jemand auf die Idee gekommen, dass solch ein Einsatz überhaupt möglich ist. Jetzt stehen die KI-Anbieter auf der größten Industriemesse der Welt in Hannover, weil sie offenbar davon überzeugt sind, in den Industrieunternehmen gerade auch am industriell wichtigen Standort Deutschland ihren wohl zentralen Markt für die kommenden Jahre und vielleicht Jahrzehnte zu finden, denn ihr Thema ist das Internet der Dinge oder Internet of Things (IoT). Zunehmend tummeln sich in Hannover auch alle möglichen Partner und Beteiligten der neuen Art von Ökosystem. Die Messe ist ein Spiegel der industriellen Entwicklung. Nach der globalen Erweiterung des Industrieunternehmens durch Zulieferer und Partner in den letzten Jahrzehnten entsteht nun eine Erweiterung der industriellen Wertschöpfungskette hin zu einem Ökosystem, in dem der Anbieter eines Produktes tatsächlich nur einer unter vielen Beteiligten ist – und die Rollen in der zukünftigen Industrielwelt sind beileibe noch nicht verteilt.

Haben uns die USA und ihr Silicon Valley längst abgehängt und können wir nur noch schauen, in welchen Nischen wir wenigstens eine erträgliche Nebenrolle spielen dürfen? Diese Frage wird landauf, landab diskutiert, und von der Antwort hängt ab, ob wir uns grundsätzlich um unsere Fortexistenz als bedeutender Industriestandort Sorgen machen müssen.

Dazu ist es wichtig zu verstehen, dass sich die westliche Industrieland im Verlaufe der letzten Jahrzehnte einerseits in mehr auf die Optimierung der Fertigungsindustrie und andererseits in unmittelbar auf den Computer und die Entwicklung der Informationstechnologie orientierte Richtungen aufgespalten hat.

Für die hardwareorientierte Seite spielt Deutschland heutzutage vor allem mit seinem Maschinen- und Anlagenbau, mit seiner umfassenden Automatisierungsbranche, mit den Geräteherstellern in der Medizintechnik und mit dem Automobilbau durchaus eine Vorreiterrolle in der Welt. Wie weit trägt dieser Vorsprung, wenn es nun um den Einzug der KI auch in diese Branchen geht?

Bei den anderen, mehr Softwareorientierten, waren bis vor gar nicht langer Zeit die großen Internetkonzerne der USA diejenigen, die den Weltmarkt angeführt haben. Was bedeutet dieser Vorsprung, wenn KI und digitale Vernetzung ein Internet der Dinge ermöglichen, bei dem es nicht mehr um Dienste auf dem Smartphone oder Computer, sondern um Dienste auf Basis beliebiger industrieller Produkte und unendlich vieler anderer Dinge geht?

Wenn man KI sagt, ist mittlerweile auch sehr schnell von China die Rede; von den auf vielen Feldern der Digitalisierung und des Internets an den USA vorbeiziehenden Konzernen im Reich der Mitte; von den finanziellen und politischen Anstrengungen der chinesischen Regierung, die neuesten Technologien nicht nur zur Festigung ihrer Macht und Kontrolle, sondern möglicherweise auch zur Eroberung einer neuen Weltmachtposition zu nutzen. Die künftige Rolle des Industriestandorts Deutschland ist – insbesondere hinsichtlich der KI – also nicht mehr nur in Bezug auf die USA, sondern mindestens genauso gründlich auch in Bezug auf das aufstrebende China zu bestimmen. All dies ist Gegenstand von Kapitel 2 bis 4 dieses Buches.

1.2 Das Besondere an der industriellen KI

Natürlich interessieren die Entscheidungsträger in der Industrie und ihre IT- und Engineering-Experten nicht nur diese grundsätzlichen, globalen, historisch und technologisch wichtigen Einordnungen von Künstlicher Intelligenz und Maschinenlernen. Besonders interessant wird es für sie alle erst, wenn sie die Technologie in ihre Bestandteile zerlegt vor sich haben, wenn sie wissen, was es zu kaufen gibt und was sie selbst entwickeln müssen, und welche Rolle dabei welche Komponenten spielen. Das ist der zweite Themenkomplex, den das Buch in Kapitel 5 und 6 behandelt.

Das Neue an Industrieplattformen und Plattformökosystemen

In den letzten Jahren haben sich viele Industrieplattformen gebildet, die Apps von der Industrie für die Industrie anbieten. Meist stehen dahinter große Industriekonzerne oder in der jeweiligen Industrie führende Unternehmen. Oft haben sich aber auch im selben Bereich tätige Firmen zu einem Netzwerk zusammengeschlossen, das nun als Betreiber einer solchen Plattform auftritt. Fast immer ist die KI bei diesen Industrieplattformen ein zentraler Baustein, ohne den wichtige Dienste gar nicht angeboten werden können. Für Anwender und Kunden solcher Plattformen ist dabei nicht unwichtig, welche Bestandteile des Plattformangebots vom Betreiber selbst stammen und welche von anderen Anbietern. Für den Anwender stellt sich darüber hinaus auch die Frage, ob er sich einem bestehenden Netzwerk solcher Plattformen anschließt und auf diese Weise unter Umständen auf die Entwicklung der Plattform selbst Einfluss nehmen kann.

Das Buch zeigt auch, warum nahezu jede neue Industrieplattform mit KI im Zentrum des Angebots schon bei ihrem

ersten öffentlichen Auftreten in der Regel mit einer erklecklichen Liste von Partnern und Mitwirkenden überrascht. Denn neben der Plattform selbst als Infrastruktur für Industrie-Apps braucht es zunächst eine Basis-Infrastruktur für Cloud und KI, und darauf positionieren sich IT-Anbieter, Berater, Systemintegratoren und Softwareentwickler mit ihren jeweiligen Produkten und Diensten. Niemand kann ein solches Angebot mehr aus eigener Kraft oder gar im eigenen Haus stemmen. Dazu waren die Kosten, die weltweit in den letzten Jahren bereits in die Vorarbeiten gesteckt wurden, viel zu hoch. Die Basistechnologie wird kaum jemand neu zu erfinden versuchen. Jeder konzentriert sich vielmehr auf sein Spezialgebiet.

Künstliche Intelligenz mit der Cloud, an der Edge oder auf dem Chip

KI und die Cloud werden fast immer in einem Atemzug genannt, als gäbe es die KI nur aus der Cloud und als seien bald ausnahmslos alle Daten – auch aus den Fabriken hierzulande – in die Cloud hochzuladen, wenn über ihre Analyse neue Geschäfte generiert werden sollen. Dabei wird nicht nur die Leistungsfähigkeit der Serverfarmen in der Cloud sowie die der Übertragungstechnik überschätzt. Es ist auch für etliche Aufgabenstellungen gerade in der industriellen Anwendung viel besser, die KI näher an die Maschine, an die Anlage, an das Produkt oder das Gerät zu bringen. Edge-KI (also KI-Einsatz am Rande der Anwendung, zum Beispiel auf einem Server in der Fabrik oder in deren Nähe) kann sehr viel wirtschaftlicher, schneller und sinnvoller sein. Und schließlich gibt es noch einen weiteren Trend, der ganz am Anfang steht: KI kann auch unmittelbar auf einen Chip gebracht werden, der dann – in ein Produkt integriert – tatsächlich beinahe in Echtzeit seine Aufgaben der Analytik

erfüllt. Welche Methode unter all diesen Möglichkeiten die richtige für welche Aufgabenstellung ist, wird eine sehr zentrale Frage für den industriellen KI-Einsatz sein und ist deshalb natürlich Gegenstand dieses Buches.

Auch wenn keineswegs alle Daten in der Cloud analysiert werden müssen, ist der breite Einsatz von KI in industriellen Prozessen ohne die Nutzung einer Cloud-Infrastruktur kaum denkbar. Insbesondere wenn es um neue Geschäftsmodelle jenseits des Produktverkaufs geht, etwa um die Nutzung von Funktionen ohne den Kauf der die Funktion liefernden Maschine (also um das Prinzip „Pay per Use“), ist die Cloud als Basis nicht durch irgendeine individuelle Anlage vor Ort zu übertreffen: weder hinsichtlich der Flexibilität noch hinsichtlich der Skalierbarkeit sowie der zu bietenden Sicherheit für Daten und Anwendungen.

Serviceorientiert und Microservice-Orientierung

Neben der Cloud-Technologie hat sich auch das Prinzip „Software as a Service“ (SaaS) in einem Maße weiterentwickelt, dass es die herkömmliche Programmierung in vielen Bereichen regelrecht in den Schatten stellt. So wie nun auch im Maschinenbau darüber nachgedacht wird, ob ein Unternehmen den Kompressor kaufen muss, wenn es die Druckluft genauso gut als Service nutzen kann, so denken immer mehr IT-Verantwortliche darüber nach, welche Software sie wirklich noch selbst installieren und warten wollen, wenn deren Funktionalität auch als Service zu haben ist.

Microservices sind in diesem Zusammenhang winzige Programmschnipsel, die beispielsweise eine einzelne Funktion bieten, die dann in Verbindung mit vielen anderen Funktionen zu einer Anwendung zusammengesetzt werden. Gerade beim Einsatz von KI werden diese Microservices immer wichtiger, denn sie sind ein zentrales Mittel für die Skalier-

barkeit, Flexibilität und Schnelligkeit der Lösungen, wie sie insbesondere die Industrie benötigt.

Für all diese Basis-Komponenten von KI haben sich eine Reihe von Anbietern herauskristallisiert, die nun bereits über langjährige Erfahrung und Kompetenz verfügen. Es sind nicht immer dieselben, die schon für die IT der vergangenen Jahrzehnte führende Positionen hatten. Oft kommen sie aus Bereichen, die wir vor wenigen Jahren noch gar nicht als industrienah gesehen haben, wie die der Suchmaschinen oder des Online-Handels. Für zukunftsfähige Lösungen müssen die Entscheider in der Industrie wissen, wer hier welche Schwerpunkte hat und von wem welche Lösungen jetzt oder in nächster Zeit zu haben sind. Deshalb ist auch diese Frage ein wichtiger Bestandteil des vorliegenden Buches.

1.3 Theorie und Praxis

Damit sind – in Kapitel 2 bis 6 dieses Buches – die wichtigsten Komponenten behandelt, ohne die der Einsatz von KI in der Industrie nicht funktionieren kann. Dass ein bedeutender Aufwand durch die Anforderungen an bestimmte Daten entsteht, die akquiriert und dann auch zum Trainieren der KI-Systeme, zum Maschinlernen, benötigt werden, ist noch wenig in die Öffentlichkeit durchgesickert. Dies ist gleichzeitig der Punkt, an dem sich für alle KI-Anwendungen herausstellt, ob eine Anwendung rein auf KI beruhen soll, ob sie für entscheidende, sicherheitsrelevante Funktionen durch herkömmliche Algorithmen ergänzt werden muss oder ob sie sich überhaupt nicht für die KI eignet. Denn die Behauptung, dass KI alles ermögliche und vor allem alles besser könne als der Mensch, ist schlechterdings eine sehr in die Irre führende These, die schon an vielen Stellen eindrücklich wider-

legt wurde. Autonom ist der Mensch und sollte es bleiben. Wie weit und an welchen konkreten Stellen auch Maschinen teilweise autonom agieren können sollten, das muss sich – unter der weisen Gestaltungshoheit verantwortlicher Menschen – in den nächsten Jahren erweisen.

Was an Künstlicher Intelligenz schon real ist

In Kapitel 8 bis 13 stelle ich bzw. stellen sich Unternehmen und Organisationen vor, die an vorderer Stelle in Sachen KI unterwegs sind, kräftig in entsprechende Forschung investieren und teilweise schon erste Produkte und Dienste auf dem Markt haben. Diese Unternehmen und Institute haben sich bereit erklärt, nicht nur ihre KI-Strategie zu erläutern, sondern auch an konkreten Praxisbeispielen zu zeigen, wie groß das Potenzial der industriellen KI ist, aber auch, was noch fehlt, um die KI für die Industrie in größerem Umfang wirtschaftlich nutzbar zu machen. Es sind eher Pilotprojekte, also noch kaum in produktivem Einsatz befindliche Lösungen. Doch sie lassen ahnen, was auf uns zukommt, und deshalb sind sie für alle interessierten Entscheidungsträger und Verantwortlichen in den Unternehmen wie in der Forschung gute Beispiele, die zu eigenen Initiativen anregen.

Diesen Unternehmen und Institutionen möchte ich für ihre Beiträge besonders danken. Sie decken sich nicht unbedingt mit meinen eigenen Einschätzungen, sondern geben die Position der jeweiligen Autoren wieder. Sie waren entscheidend dafür verantwortlich, dass das Buch nicht nur theoretische Grundlagen liefert, sondern auch die Praxisrelevanz des Themas herausstellen kann. Es hat auch Input von zahlreichen weiteren Experten aus anderen Unternehmen und Instituten gegeben, der zwar nicht an den Umfang eines eigenen Kapitels herankommt, aber dennoch Aspekte beleuchtet, die sonst im Dunkeln geblieben wären. Auch dafür mein herzlicher Dank.

den hohen Anforderungen, die an die Experten zu stellen waren, die solche Systeme bauten. Hier mussten sich die Besten der Besten zusammentun und waren sich doch am Ende immer sicher, dass ihr System unmöglich alle Eventualitäten und Sonderfälle berücksichtigen würde.

Viele dieser Systeme schwacher KI waren durchaus erfolgreich und führten zum technisch gewünschten Ergebnis. Mir ist aber von keinem Fall bekannt, dass daraus eine in der Breite wirtschaftlich erfolgreiche Anwendung geworden wäre.

KI-Systeme bekamen insgesamt einen eher schlechten Ruf, je länger sich die Forschung hinzog, ohne zu sichtbarem wirtschaftlichem Erfolg zu führen. Zuletzt wollten die Hersteller entsprechender Software schon gar nicht mehr mit KI in Verbindung gebracht werden. Nicht einmal, als die künstlichen neuronalen Netzwerke einen so hohen Reifegrad erreicht hatten, dass mit ihnen größere Aufgaben angegangen werden konnten.

2.3 Künstliche neuronale Netze (KNN)

Was wir heute unter Künstlichen neuronalen Netzen (KNN) verstehen, sind im Grunde nichts anderes als Expertensysteme mit expliziten Zielvorgaben. Nur können sie statt manueller Eingabe heute weitgehend automatisiert mit Terabyte von Daten gefüttert werden.

Die späteren Erkenntnisse zu neuronalen Netzen vorausgeahnt ■

Diese spezielle Technik nahm ihren Anfang mit einem mathematischen Modell biologischer Neuronen. Doch dieses

Modell wurde nicht etwa gebaut, um damit KI-Lösungen zu entwickeln, sondern um zu erklären, wie das menschliche Gehirn vermutlich funktioniert, und das zu einem Zeitpunkt, als dies kaum erforscht und mit bildgebenden Verfahren überhaupt noch nicht darstellbar war. Zu jenem Zeitpunkt gab es übrigens, wie wir in Abschnitt 2.2 gesehen haben, noch nicht einmal den Begriff Künstliche Intelligenz.

1943 nämlich – im selben Jahr, als mit Mark I der erste elektromechanische Computer in den USA fertiggestellt wurde – lieferten der US-amerikanische Neurophysiologe und Kybernetiker Warren McCulloch und sein Landsmann, der Logiker Walter Pitts, der auf dem Gebiet der kognitiven Psychologie arbeitete, das erste Modell eines künstlichen Neurons, das deshalb McCulloch-Pitts-Neuron heißt. Sie gingen davon aus, dass die biologischen Neuronen in den Gehirnen von Säugetieren Informationen aufnehmen, verarbeiten und ein Ergebnis an andere Neuronen weiterreichen. Nach ihrem Modell hieß Informationsverarbeitung im Neuron das Umlegen eines Schalters auf null oder eins. Informationen einer unbestimmten Anzahl $(1-n)$ führten demnach in einem einzelnen Neuron zu einem eindeutigen Ergebnis, zu einer eindeutigen Schalterstellung [Se2016].

Milliarden von Neuronen sind dabei im Gehirn lose miteinander „verdrahtet“. Sie tauschen untereinander Informationen aus und bilden ununterbrochen neue Verknüpfungen, die Synapsen. Ebenso ununterbrochen lassen sie Synapsen wieder absterben. Was etwa der Mensch in einer konkreten Situation entscheidet, ist also das Endergebnis einer unbekannt Anzahl von Einzelschaltungen von vernetzten Neuronen, die im Resultat eben zu dieser Entscheidung führen.

Heutzutage wissen wir, dass die damaligen Annahmen der US-Wissenschaftler und ihr Modell weitgehend der Realität entsprachen. Doch es dauerte rund 50 Jahre, bis die Künst-

lichen neuronalen Netze, die derzeit die Grundlage wohl der meisten KI-Anwendungen bilden, ihre heutige Form annehmen konnten. Ähnlich verhielt es sich übrigens nach der Erfindung der Dampfmaschine durch Thomas Newcomen im Jahr 1712, als es 57 Jahre dauerte, bis James Watt 1769 mit seiner Version den wirtschaftlichen Durchbruch schaffte, der als einer der Grundbausteine der ersten industriellen Revolution gilt [Se2016].

Long Short-Term Memory (LSTM) – ein Verfahren mit immenser Wirkungskraft

Erst in den Neunzigerjahren des 20. Jahrhunderts entwickelte ein Team um Jürgen Schmidhuber, Direktor des schweizerischen Forschungsinstituts für Künstliche Intelligenz, mit Long Short-Term Memory (LSTM) ein Verfahren, das dann 1997 der Öffentlichkeit vorgestellt wurde und laut Schmidhuber heute den Kern der meisten Anwendungen von KI in Form Künstlicher neuronaler Netze auf den Smartphones dieser Welt darstellt [Se2018].

Ein ganzes Netzwerk künstlicher Neuronen ahmt dabei die Funktionsweise eines Säugetiergehirns nach. Daten – zum Beispiel Bilder von Tieren – werden von einer ganzen Schicht von Neuronen aufgenommen, bewertet oder „gewichtet“, wie dies genannt wird, und das Ergebnis wird an eine nächste Schicht von Neuronen weitergereicht. Zusammen mit weiteren Daten und vorausgegangenen Gewichtungen werden sie erneut analysiert, bewertet, gewichtet und wiederum weitergereicht. Am Ende des künstlichen neuronalen Netzes, das gigantische Ausmaße annehmen kann, steht ein Output, ein Endergebnis, das die Grundlage einer Entscheidung oder eine Entscheidung selbst sein kann. Es könnte heißen: Bei einem analysierten Bild handelt es sich um das Bild einer Katze.

Nach der öffentlichen Vorstellung der Methode LSTM dauerte es noch einmal 15 Jahre, bis sie als neue Technologie ins öffentliche Bewusstsein drang. Das lag daran, dass einige zentrale Voraussetzungen und Randbedingungen nicht früher gegeben waren. Es fehlte beinahe noch an allem.

Warum die KI nicht früher bereit für die Industrie war

- Die Daten sind für Künstliche neuronale Netze der Dreh- und Angelpunkt, waren aber noch nicht in solchem Übermaß vorhanden, dass sie für eine breitere Palette von Anwendungsfällen hätten genutzt werden können.
- Es fehlte an funktionstüchtigen Algorithmen und Softwaretechnologien zur Analyse extrem großer Datenmengen, was heute unter dem Begriff Big Data Analytics bekannt ist.
- Es fehlte an Rechen- und Speicherkapazitäten, um mit solchen Datenmengen umzugehen, sowie an Methoden, entsprechende Kapazitäten dann auch effizient und sinnvoll einzusetzen.

Google investierte im Rahmen des Großprojektes Google Brain massiv in diese Entwicklung und brachte Tausende Rechner und Graphical Processing Units (GPU) parallel zum Einsatz, um Künstliche neuronale Netze erstmals in einem Umfang anwenden zu können, der zumindest mit einem kleinen Säugetiergehirn vergleichbar war. Die Ergebnisse waren erstaunlich. In zahlreichen Einsatzfeldern, etwa der Spracherkennung von Google im Rahmen der Eingabe von Text am Smartphone, wurden innerhalb eines einzigen Jahres Fortschritte erzielt, für die der Hersteller sonst zehn Jahre angesetzt hätte.

Schon etwas früher hatte Amazon begonnen, für Amazon Web Services (AWS) die gesamte Softwarefunktionalität auf winzige Services herunterzubrechen und entsprechend neu

zu programmieren. Nun konnten auch Microservices für Künstliche neuronale Netze entwickelt werden, mit denen eine umfangreiche Bibliothek von Anwendungstools entstand, die jetzt den Kunden zur Verfügung stehen, um eigene KI-Anwendungen zu bauen.

Für Big Data Analytics hat ein Spin-off der Technischen Universität Dortmund eine Standardsoftware entwickelt. Rapid Miner mit Sitz in Dortmund und Boston und mittlerweile vielen Standorten weltweit bietet seit 2007 mit der gleichnamigen Software eine führende Technik, um aus Daten aller Art statistisch relevante Ergebnisse abzuleiten [Se2016].

Erst jetzt waren die Voraussetzungen geschaffen, um schwache KI so stark werden zu lassen, dass heute wieder ernsthaft darüber gestritten wird, ob und wann die KI den Menschen an Intelligenz übertrifft. Jetzt war der Umfang an Daten, Speicher und Rechenleistung so groß, dass die Expertensysteme den Sprung von der Quantität zur Qualität schafften. Es war also keine neue Technologie hinzugekommen, sondern nur genug von dem, was das längst Bekannte zu seiner Entfaltung brauchte.

Von Ausnahmen abgesehen, kamen die Anstöße wie die ursprünglichen Erfindungen aus den USA. Deshalb gibt es heute nicht nur eine Debatte über den Sieg der KI über die menschliche Intelligenz, sondern es wird auch die Frage gestellt, ob „uns“ – also Zentraleuropa oder ganz Europa – die USA hinsichtlich der KI nicht inzwischen hoffnungslos abgehängt haben. Oder ob China, das lange Jahrzehnte als verlängerte Werkbank der westlichen Industrieländer fungierte, mit seiner Auf- und Überholjagd mittlerweile sogar noch weiter ist als das Silicon Valley. Deshalb lohnt sich ein Blick auf die weltweite Entwicklungsgeschichte der Industrialisierung, die die Entstehungsgeschichte der Künstlichen Intelligenz und der Künstlichen neuronalen Netze begleitet hat.

mittelständisches Familienunternehmen lohnten. Bei der KI wird diese Vorgehensweise nicht funktionieren.

Deshalb wird dieses Kapitel nun anders aufgebaut sein als ursprünglich geplant. Ich versuche zu erklären, warum und inwiefern es bei der KI-Technik eigentlich (fast) nur um Statistik geht und warum dabei in den letzten Jahren immer mehr von Data Scientists die Rede ist. Ich will die wichtigsten Begriffe aus dem KI-Einsatz erläutern, denn wie in allen Fachdisziplinen hat sich auch hier längst eine eigene Fachsprache mit den entsprechenden Akronymen entwickelt – eine Sprache, von der wir zumindest die wichtigsten Vokabeln lernen müssen. Die wichtigsten Methoden des KI-Trainings sind ebenso Gegenstand wie die verschiedenen Netzstrukturen, und auch auf die Anwendungsfelder der KI, die wir heutzutage schon kennen, werfen wir einen Blick.

4.1 Datenwissenschaft (Data Science)

Je tiefer man in das Thema Künstliche Intelligenz eintaucht, desto klarer wird, dass es sich im Wesentlichen um nichts anderes als um eine moderne, auf digitale Vernetzung gestützte Art von Statistik und Mathematik handelt. Dieses Fachgebiet war über Jahrhunderte nichts anderes und konnte nichts anderes sein als das Beschreiben gesammelter Daten und aus ihnen berechneter beziehungsweise geschätzter Werte – etwa der Durchschnittswert oder die prozentualen Verhältnisse zwischen Datengruppen. Man spricht von geschätzten Werten, da die Statistik nie mehr als eine Annäherung an wahre Werte ist. Das unterscheidet sie von der reinen Mathematik und auch von der herkömmlichen Informatik, bei denen es um die eindeutige Lösung von Problem-

stellungen geht. Als ein typisches, frühes Beispiel für statistische Schätzung kann die Bestimmung des Längenmaßes „1 Fuß“ gelten: 16 erwachsene Männer stellten ihre Füße möglichst exakt hintereinander, und die Gesamtlänge wurde durch die Zahl der Beteiligten dividiert.

Die Umbenennung der Statistik in Datenwissenschaft

1997 aber wurde die Statistik in einer Antrittsrede mit dem Titel „Statistics = Data Science?“ von Professor Jeff Wu an der Universität von Michigan zu einem neuen Gebiet der Wissenschaft erklärt. Zufall oder nicht, im selben Jahr machten Jürgen Schmidhuber und sein Team in der Schweiz mit Long Short-Term Memory die Methode öffentlich zugänglich, mit der Künstliche Neuronale Netze für die Verarbeitung von Daten effizient genutzt werden konnten (vergleiche Abschnitt 2.3).

Bereits 1992 waren auf einem japanisch-französischen Statistiksymposium in Montpellier die Weichen gestellt worden. Dort wurde nämlich die Entstehung einer neuen Fachdisziplin beschrieben, die sich auf die wissenschaftliche Bearbeitung von Daten unterschiedlicher Herkunft und Dimension, verschiedenen Typs und verschiedener Struktur konzentriert und dafür eben etablierte Prinzipien und Methoden der Statistik mit Hilfe neuester Computertechnologien einsetzt. Jeff Wu ging einen Schritt weiter und nannte diese neue Disziplin explizit Data Science (Datenwissenschaft). Er definierte sie als die Wissenschaft zur Erfassung, Modellierung und Analyse von Daten mit dem Ziel der Entscheidungsfindung. Das sei eben mehr als die bis dato vorherrschende beschreibende Statistik, und entsprechend sollten Statistiker auch in Datenwissenschaftler (Data Scientists) umbenannt werden. Damit bekam dieser Begriff die heutige

Bedeutung, nachdem er jahrzehntelang höchstens als Synonym für Informatik verwendet worden war [JeWu1997].

Wenn also heutzutage in vielen Unternehmen und Forschungseinrichtungen von Data Scientists geredet wird, die sich um KI-Projekte kümmern und die entscheidenden – und am schmerzlichsten fehlenden – Fachkräfte dafür sind, dann ist damit im Umkehrschluss gesagt: KI in ihrer aktuellen Form ist nichts anderes als statistische Berechnung – ohne freilich damit die große Bedeutung dieser nun zu völlig neuen Ufern strebenden wissenschaftlichen Richtung schmälern zu wollen. Es nimmt jedoch eine Menge mysteriösen Ballast aus dem Begriff Künstliche Intelligenz, der unnötig Verwirrung stiftet. Überdies lässt es einen besser verstehen, welche Art von Problemen hier gelöst werden können und welche nicht. Menschliches Denken wird die KI nicht lernen, Empathie zu entfalten auch nicht, menschliche Intuition, Kreativität und Gefühle ebenso wenig. Sie hilft uns, Statistik auf wissenschaftlich fundierte Art auf Probleme anzuwenden, die mit Daten unterschiedlicher Art zu tun haben.

Statistische Methoden sind vielfältig. Es gab ja bereits eine ganze Wissenschaft innerhalb der Mathematik, die sich damit beschäftigt hat, bevor sich die Datenwissenschaft etablierte. Schon für die Erfassung von Daten und ihre statistische Beschreibung und Berechnung waren unzählige Wege beschrritten sowie Methoden und Werkzeuge entwickelt worden. Mit Data Science und der gesamten KI ist es nicht anders. Es gibt nicht die eine Technologie und Methode, nicht das eine Hauptwerkzeug, sondern ihrer sehr viele, und jeden Tag kommen neue hinzu.

Das Künstliche neuronale Netz ist eine der Methoden und Techniken, die dabei zur Anwendung kommen. Mag es auch derzeit die am meisten genutzte und beliebteste Methode sein, es ist nicht die einzige, und ob es die wichtigste und am

weitesten verbreitete bleibt, ist keineswegs absehbar. Das Künstliche neuronale Netz hat den Charme, dass seine Struktur der von Säugetiergehirnen nachempfunden ist, und diese – insbesondere die menschlichen – haben eben Strukturen, die mit Zahlen und Mathematik umgehen können.

Was aber ist geschehen, dass statistische Methoden heutzutage für ganz andere Aufgaben herangezogen werden als für die Annäherung an einen Durchschnittswert oder die Bestimmung der Stärke einer Abweichung von einem zu erwartenden Normalwert? Der erste und durchaus zentrale Punkt betrifft die Daten selbst.

Wer sagt, es mangelt an Daten, sieht den Wald vor lauter Bäumen nicht.

Einerseits sind Sensoren, digitale Kameras und Mikrophone so klein und günstig herzustellen, dass sie beinahe überall eingebaut werden können. Tatsächlich werden sie auch mittlerweile in einer Unzahl von Geräten verbaut. Seit ein paar Jahren gibt es deshalb Daten aller Art, an die wir vor zehn Jahren noch nicht gedacht haben und die es nicht gab. Terabyte an Messdaten von laufenden Maschinen, Bilder von Produkten, Fabrikhallen und Menschen, Videos von allen erdenklichen Ereignisabläufen, Audioaufnahmen von Stimmen, Maschinengeräuschen und Hallenlärm wie Tonaufzeichnungen von Tiergeräuschen und Flugzeugen – es ist sinnlos zu versuchen, alle Arten von Daten, die heute für Analysen herangezogen werden, aufzulisten. Es gibt fast nichts, von dem nicht Datenmassen (Big Data) zur Verfügung stehen oder zumindest stehen könnten.

Diese ungeheure Menge an Daten macht es möglich, mit mathematischen und informationstechnischen Methoden an ihre Untersuchung heranzugehen. Und weil sie vorhanden sind, haben erste Unternehmen schon vor etlichen Jahren da-

mit begonnen, sie auf ihre Nutzbarkeit zu untersuchen. Es waren vor allem und zuallererst jene Unternehmen, die nicht nur wussten, dass es die Daten gab, sondern die auch direkten und bis heute kaum eingeschränkten Zugriff darauf hatten: Amazon, Google, Microsoft, Apple – um einige wichtige Player zu nennen. Die Verfügung über die unterschiedlichen Nutzungsdaten ihrer Nutzer – von der Suche nach einem Produkt oder Begriff über das Kaufverhalten vor Weihnachten bis zu den beliebtesten Urlaubsorten der männlichen Angehörigen der Mittelschicht – setzten die großen Internetkonzerne ein, um ihren Kunden (den werbenden Produzenten oder Anbietern) und sich selbst noch bessere Geschäfte zu ermöglichen. Sie setzten die Daten natürlich auch dafür ein, ihre für die Nutzer kostenlos erscheinenden Dienste immer weiter zu optimieren, denn das war eine Voraussetzung für Ersteres. Wie wir wissen, waren sie dabei in einigen Feldern sehr erfolgreich, in anderen lässt der Erfolg noch auf sich warten.

Die anderen – bereits in Kapitel 2 erwähnten – Gründe, warum sich vor allem in den letzten Jahren die Datenwissenschaft zu einem Renner entwickeln konnte, sind die nun ausreichenden Rechnerleistungen und Speicherkapazitäten, die Reife der Cloud-Technologie, aber auch Softwaremethoden und Systeme, die diese neuen Potenziale der Big Data-Analyse auszuschöpfen vermögen. Erst dadurch konnte es zu einer Situation kommen, in der Künstliche neuronale Netze und mit ihnen erreichte Leistungen den Eindruck zu erwecken vermögen, sie seien besser als die natürlichen neuronalen Netze des Menschen. In Wahrheit ist es nur die unvorstellbare Geschwindigkeit, mit der eine ungeheure Datenmenge so berechnet und geschätzt werden kann, wie es kein natürliches Gehirn je könnte. Die Fähigkeiten und Besonderheiten des menschlichen Gehirns liegen nicht im Tempo und in der Massendatenverarbeitung. Darin ist ihm

der Computer überlegen. Ansonsten behält mein Elektronik-Professor aus dem Ingenieurstudium recht: Der Computer bleibt auch mit KI ein Hochgeschwindigkeitsidiot.

4.2 Wie Maschinen lernen

Wie eingangs versprochen, sollen einige Vokabeln aus dem inzwischen schon recht verbreiteten KI-Slang erläutert werden. Ich nutze dazu ein Thema, das bei der KI eines der wichtigsten überhaupt ist: das Trainieren von KI-Systemen.

Auf das richtige Training kommt es an. ■

Maschinenlernen (Machine Learning) ist der Begriff, mit dem das Trainieren der KI mittels erfasster Daten bezeichnet wird. Es ist – wie viele Begriffe in der KI – meist eher ein Marketingslogan. Die Maschine lernt nämlich nicht, sondern sie wird trainiert. Sie schaut sich keine Daten an und lernt wie ein kleines Kind, mit was sie es da zu tun hat. Was wie Lernen aussieht, ist in Wirklichkeit ein Vorgang, der viel besser mit dem Einstellen der Parameter eines komplexen Programms oder Algorithmus oder eben einer Rechenmaschine zu beschreiben wäre. Nur dass diese Parametereinstellung nicht mehr wie bei einem herkömmlichen Algorithmus vom Menschen manuell vorgenommen werden muss. Niemand steht an einem Computer und dreht Regler in die eine oder andere Richtung wie bei einem Verstärker von E-Gitarren. Die KI-Technik ist heutzutage vielmehr auf dem Stand, dass sie – natürlich nach vom Menschen vorgegebenen Regeln und ausgehend von vorher festgelegten Anfangswerten – die Parameter zur Erreichung eines konkreten Ziels immer wieder selbst einstellt. Bei diesem „Lernvorgang“ geht es in sehr