

Kapitel 1

Einführung in die Thematik

» **K**ünstliche Intelligenz« – dieser Begriff ist heutzutage in aller Munde. Aber was soll das eigentlich sein? Intelligenz? Und jetzt auch noch künstlich. Für die meisten Menschen ist KI – wenn auch interessant – ein Buch mit sieben Siegeln. Wir wissen ja nicht einmal, was Intelligenz ist und jetzt soll sie sogar nachgebildet werden. Wie, worauf? Nun gut, Letzteres wissen wir. Künstlich meint auf jeden Fall technisch. Wir wollen Intelligenz auf technischen Geräten nachbilden. Überall erscheinen Roboter in den Zeitschriften oder Blockbustern. Bereits unsere frühere Bundeskanzlerin reichte nahezu auf jeder Messe einem Roboter zur Begrüßung die Hand. Ob sie wusste, wer oder was ihr Gegenüber war? Würde unser jetziger Bundeskanzler einem Kühlschrank die Hand geben? Oder dem Getriebe seines Autos? Die sind doch auch sehr »intelligent«. Oder etwa nicht? Das werden wir klären müssen.

Halten wir den Begriff »technisch« aber schon mal fest. Man könnte Intelligenz ja eventuell auch chemisch oder biologisch konstruieren oder wie auch immer, aber all dies ist nicht Inhalt des Buches. Uns geht es tatsächlich darum, Intelligenz auf technischen Geräten zu simulieren oder nachzubauen. Das ist ein bescheidener und vielversprechender Ansatz.

Wann betrachten wir das Verhalten eines Menschen als intelligent? Nun, wie in der Einführung besprochen, wenn er auf Reize aus der Umwelt adäquat, also angemessen reagiert. Und sollte er einmal unangemessen reagieren, sich zum Beispiel unnötig in Gefahr begeben, so erwarten wir, dass der Mensch daraus lernt. Wenn zum Beispiel jemand beim Anblick eines Tigers im Fernsehen aus dem Fenster springen will, so ist das nicht angemessen. Wir würden ihm Paranoia oder irgendeine andere Störung attestieren. Wenn jemand beim Diebstahl erwischt wird (eine weitere unangemessene Reaktion auf das zu verlockende Warenangebot der Händler), seinen Fehler aber später erkennt und dies nie wieder macht, würden wir das getrost als intelligent akzeptieren. Derjenige hat etwas gelernt. Unser ganzes Leben werden wir mit Reizen aus der Umgebung konfrontiert und bis ins hohe Alter müssen wir lernen, adäquat, also intelligent darauf zu reagieren.

Was ist Intelligenz?

Die Definition von Intelligenz ist deshalb schwierig, weil wir es selber sind, die einer Person, einem Tier oder eben einer Maschine die Eigenschaft der Intelligenz zuschreiben. Intelligenz ist eben keine objektiv messbare Eigenschaft wie das Gewicht eines Objekts. Wir legen mit unserer Anschauung selber fest, was wir unter der Eigenschaft »Intelligenz« verstehen wollen, und müssen uns deshalb – da sehr viele alternative Auffassungen existieren – auf einen Kompromiss verständigen: Alle Wissenschaftler sind sich (wahrscheinlich) darin einig, dass Intelligenz etwas mit (logischem) Denken zu tun hat. Dies führt zwangsläufig zum Begriff der »Angemessenheit«, denn, da unsere Welt nach (logischen) Gesetzen funktioniert, muss ein System, das in der Welt agieren soll, angemessen logisch denken können.

Intelligenz wird deshalb als eine Fähigkeit – als Summe und Ergebnis von Denk- und Wahrnehmungsprozessen – verstanden, hinreichend angemessen auf Umgebungseinflüsse zu reagieren. So möchte ich Intelligenz auch in diesem Buch verstehen.



Intelligenz ist die Summe von Denk- und Wahrnehmungsprozessen eines Objekts oder Subjekts, um auf Umgebungseinflüsse »angemessen« zu reagieren.

Am Ende des Buches werden wir sehen, dass technische Objekte noch nicht wahrnehmen können, sodass man lieber von Signalverarbeitungsprozessen sprechen sollte.

Intelligenz messen

Diese eher qualitative Aussage zur Intelligenz ist natürlich nicht befriedigend. Daher sind wir bestrebt, Intelligenz zu quantifizieren, zum Beispiel durch IQ-Tests. Viele von uns haben derartige Tests schon absolviert. Und doch ahnen wir, dass dies nicht alles sein kann. Wir können heute eine Art mathematisch-logischer Intelligenz quantifizieren und der wissenschaftlichen Analyse zugänglich machen. Im Durchschnitt hat ein Erwachsener in Europa einen IQ von 100. Aber es gibt auch Erwachsene mit IQs von kleiner 70 und welche mit IQs von größer 160. Letztere hat der Autor persönlich kennengelernt und mit ihrer Hilfe komplizierte mathematische Probleme lösen dürfen. Aber mathematische Intelligenz ist natürlich nicht alles. Wir sollten mit sogenannter *emotionaler Intelligenz* auch auf soziale Reize angemessen reagieren können. Und wer Karriere machen möchte, sollte die sozialen Regeln dafür kennen. Wirklich Hochbegabte finden sich meistens nicht in den Vorstandsetagen dieser Welt. Man muss kein Mathegenie sein, um einen Konzern zu leiten, man muss auch kein Physiker sein, um ein Land zu führen. Doch ganz ohne Intelligenz geht das auch nicht, aber dafür benötigt man eine andere Art von Intelligenz, die man eher *politische Intelligenz* nennen könnte.

Man kann sich jedoch schwerlich irgendein System als intelligent vorstellen, wenn es nicht logisch denken kann. Der IQ-Test ist zwar umstritten, denn er prüft nur eine bestimmte Art der Intelligenz ab. Aber genau diese Art der Intelligenz ist es, die heute hoch bewertet wird und die, das ist für uns interessant, automatisiert werden kann. Versuchen wir es mal anders: Eine gewisse Art des menschlichen Denkens kann mechanisiert werden. Der Begriff

mechanisiert wurde gerade bewusst gewählt, weil man sich ein riesengroßes Getriebe vorstellen könnte, das viele Aufgaben des mechanischen Denkens nachvollzieht. Zum Beispiel, dass ein Mensch zwei Zahlen addieren oder dass ein Mensch logische Abfolgen durchführen soll. All das lässt sich auch durch ein komplexes Gewerk von Zahnrädern realisieren. (Mechanische Rechner dieser Art gab es in den 40er-Jahren des 20. Jahrhunderts.) Natürlich wird heute niemand mehr Zahnräder verwenden, denn seit der Erfindung des Computers haben wir eine Universalmaschine, um algorithmische Abläufe zu automatisieren. Wenn wir also »geistige Tätigkeiten« wie die Addition zweier Zahlen automatisieren wollen, wird niemand mehr ein mechanisches System für diese Aufgabe entwickeln. Wir benutzen einen Taschenrechner, bei dem dieser Algorithmus bereits vorverdrahtet in den Schaltkreisen hinterlegt ist, oder wir setzen uns an unsere Universalmaschine und tippen » $3 + 4 = ?$ «. Die Lösung dieser Aufgabe durch die elektronische Maschine ist eine einfache Form der Intelligenz, eine, die uns, aber auch die Maschine sicher von den meisten Tieren unterscheidet. Das sollte einen aber nicht überheblich werden lassen, denn man kann getrost vermuten, dass es auch Intelligenzformen bei Tieren gibt, die nicht mechanisiert werden können.

Künstliche Intelligenz meint natürlich nicht, dass wir ein System bauen, das Zahlen addieren kann; dies gibt es bereits schon. Etwas viel Größeres, viel Mächtigeres soll konstruiert werden. Aber was?

Gibt es nicht die eine richtige Antwort?

Wir müssen uns trotz unserer ersten Definition noch ein bisschen mit dieser Frage auseinandersetzen. Wir wissen bereits, dass es keine eindeutige Antwort auf die Frage nach Intelligenz gibt. Begriffe beschreiben ja nicht nur die objektive Welt, sondern legen die Welt (für uns) auch fest. Begriffe sind damit der Filter, mit dem wir – und später unsere Kinder – die Welt sehen oder besser: sehen sollen. Es ist immer ein Kampf der Experten um die Deutungshoheit, also darüber, wie wir die Welt zu sehen haben.

Natürlich ist es nachteilig, wenn sich die KI-Experten nicht auf eine Definition einigen können, so wie in anderen Wissenschaften. Die Mathematik und die klassischen Naturwissenschaften wären ohne klare Definitionen überhaupt nicht entwickelbar gewesen. Jeder weiß aus der Schule, was eine natürliche Zahl ist oder eine reelle Zahl; jeder weiß, was ein organisches Molekül ist oder ein Atom. Oder doch nicht? Wenn man genauer hinschaut, erkennt man, dass sich selbst in den klassischen Disziplinen Gewissheiten auflösen. Was ist ein Elektron? Das ist nicht mehr ganz klar, auch nicht für den Fachmann. Trotzdem wurde eine ganze Fachdisziplin, die Elektrotechnik, darauf aufgebaut, eine Disziplin, die unser aller Leben verändert hat. Ohne Strom und Nachrichtentechnik gäbe es unsere Zivilisation in der heutigen Form nicht. Wir müssen trotzdem nicht wirklich verstehen, was ein Elektron ist. Wir haben es *per Definition* zu einer Punktladung gemacht und darauf aufbauend eine Theorie, die Feldtheorie, entwickelt.

So darf man sicher auch in der Fachdisziplin der Künstlichen Intelligenz vorgehen: die Einigung auf eine Menge von Eigenschaften intelligenter Systeme. Schauen wir zu den Forschern. Einig sind sich die Forscher, dass Intelligenz etwas mit Gedächtnis zu tun hat, man muss also Fakten im Kopf haben beziehungsweise Informationen oder Wissen. Als Zweites geht es darum, diese Fakten (dieses Wissen) miteinander zu assoziieren, damit daraus neue

Fakten (neues Wissen) entstehen. Konkret geht es hierbei also um die Fähigkeit des logischen Schlussfolgerns und die Fähigkeit, aus Fakten neue Regeln (neues Wissen) zu generieren, und es geht natürlich auch um die Geschwindigkeit dieser Prozesse. Psychologen zählen weiterhin zur Intelligenz die Fähigkeiten der Konzentration, Abstraktion, Merkfähigkeit und Anpassungsfähigkeit. Aber letztlich hilft uns das nicht weiter, denn es scheint, als ob man unendlich viele Merkmale von Intelligenz finden kann.

Versuchen wir daher nicht eine Erklärung mit maximalen Eigenschaften, sondern bewusst eine mit minimalen. Wann finden wir, dass ein Objekt oder Subjekt intelligent ist? Im Folgenden ein neuer Antwortversuch:



- ✓ Intelligenz niedriger Stufe besitzt ein System, wenn es adäquat (angemessen) auf Reize seiner Umgebung reagieren kann, und zwar derart, dass das System entweder einen Vorteil, aber zumindest keinen gravierenden Nachteil aus der Interaktion mit der Umgebung zieht.
- ✓ Intelligenz höherer Ordnung besitzt ein System, wenn es im Fall einer nicht-adäquaten Reizantwort seine Reaktion selbstständig so nachjustieren kann, dass es bei einer erneuten Interaktion mit der Umgebung adäquat reagiert.

Der letzte Punkt bedeutet also, dass das System selbstständig lernen können muss, aber genau das haben wir bereits im Einführungsteil gefordert.

Nicht umsonst heißt es heutzutage, lebenslanges Lernen sei notwendig. Warum ist Lernen so wichtig? Weil wir mit einem rudimentären Modell über die Welt geboren werden. Dieses Modell lässt uns Mutter und Vater erkennen, nach Nahrung schreien und »süß aussehen«. Aber mit diesem Modell werden wir nicht weit kommen. Bereits im Kleinkindalter gilt es daher, ein Modell von der Umgebung aufzubauen, ein internes Reiz-Reaktions-Schema zu entwickeln und permanent zu testen. Viele Tiere können das. Alle Menschen können das. Und dieses Lernen hört nie auf.

Notwendige Randbemerkungen zur Intelligenz

Aber die obige Beschreibung schließt erneut nur einen Teil von Intelligenz ein, denn das Lernen aus Reizen (Umgebungsdaten) ist, wie wir später sehen werden, zwar ein wichtiger, aber nicht der einzige Weg, um neues Wissen, neue Modelle über die Umgebung aufzubauen. Ein anderer Weg wäre das bereits erwähnte *Nachdenken*. Dies ist teilweise aus der Mode gekommen, ist aber tatsächlich ein möglicher Weg, um sein Wissen über die Welt zu erhöhen und später seine Fehlerquote bei der Interaktion mit der Welt zu minimieren. Wir sprechen bei diesem Teil über einen sogenannten deduktiven Wissenserwerb. Hier wird das Wissen nicht aus Reizen und einer Korrektur von Soll-und-Ist-Verhalten erworben, sondern man hat durch tiefes Nachdenken (nennen wir es ruhig *Deep Thinking*) ein neues Modell der Umgebung aufgebaut, um angemessen auf Umgebungsreize zu reagieren.

Die Idee, deduktive Modelle der Welt zu bauen, ist eine Methode, die für viele Anwendungen gut geeignet ist. Man muss an ein Axiom glauben (leider ja, das geht nicht anders), zum Beispiel, die Welt sei aus kleinen Atomen aufgebaut, und kann dann durch folgerichtiges Schlussfolgern zu neuen Aussagen über die Welt kommen. Diese Aussagen sind, da aus den Axiomen folgerichtig abgeleitet, im Allgemeinen richtig. Will man beispielsweise wissen, ob

man eine Information von Amerika nach Europa drahtlos übertragen kann, eine Idee von Hertz, Tesla und Marconi um circa 1900, so benötigt man Annahmen (Axiome) und eine Menge folgerichtiger Ableitungen, bis man ein technisches Konzept erdacht hat (zum Beispiel einen Radiosender). Das deduktive Konzept, das tiefe Nachdenken, war bei den Griechen sehr populär, heute ist jedoch induktives »tiefes Lernen« (*Deep Learning*) die Methode der Wahl zur Wissensgenerierung geworden. Es ist unser moderner Zeitgeist, der Wissen aus Daten automatisch generieren will. Es gilt daher, später auch die Risiken und Chancen, die sich aus diesem Ansatz ergeben, zu verstehen. Wenn man über KI berichtet, muss man also über Deep Learning, Machine Learning, Data Science, Data Mining und Big Data berichten.



Wir präzisieren unser Konzept von Intelligenz daher nochmals: Intelligenz bedeutet das Schaffen eines inneren Modells der Umgebung, um auf Reize der Umgebung adäquat zu reagieren und bei beobachteten Fehlern das eigene Modell über die Umgebung durch *Denken* oder *Lernen* selbstständig so anzupassen, dass beim nächsten Mal eine adäquate Reaktion erfolgen kann.

Mit dieser Einschätzung zu Intelligenz muss man auch Tieren eine Intelligenz zusprechen, denn ihr inneres, »hart verdrahtetes« Modell von der Welt erzeugt durch Auslese die richtigen Instinkte, letztlich ein adäquates Reiz-Reaktions-Schema. Natürlich ist das Verhalten der Tiere deutlich differenzierter zu sehen, zahlreiche Tiere sind zu intelligentem Verhalten – auch nach unserem Maßstab – in der Lage. Da vielen Tieren jedoch die Möglichkeit fehlt, ihr Modell von der Außenwelt beliebig zu ändern, ist ihre Intelligenz natürlich beschränkt. Aber das kann für Menschen auch gelten, insbesondere dann, wenn man mit einem Modell sehr lange erfolgreich war, es dann aber irgendwann nicht mehr der veränderten Umwelt entspricht. Genau deshalb kommt es oftmals zu großen Umbrüchen in der Wissenschaft, weil auch hochkarätige Fachleute ein inneres Modell ihres Fachgebietes besitzen können, das die Umwelt nicht mehr adäquat abbildet. Wer sich einmal damit beschäftigt hat, wie es Kopernikus gelang, gegen das damals vorherrschende Modell des ptolemäischen Weltbilds vorzugehen, kann nur noch staunen über dieses Genie. Hier war wahrlich große Intelligenz im Spiel, denn Kopernikus, ein Astronom und Theologe, musste gegen sein eigenes Weltmodell ankämpfen und gegen äußere Widerstände sowieso. Und obwohl sehr viele Messdaten vorlagen, war das neue Weltbild keineswegs statistisch entworfen. Es war in einer Meisterleistung von Deduktion (logischem Denken) und Induktion (Lernen aus Daten) abgeleitet worden. Falls wir mal wieder hören, etwas müsse richtig sein, weil 99 Prozent aller Fachleute dieser oder jener Meinung seien, dann denken wir an Kopernikus. Einer gegen alle, und der eine hatte auch noch recht.

Codierte Intelligenz

Ein Softwareprogramm kann nach dieser »Definition« natürlich bereits intelligent sein, denn man kann sich ein Programm vorstellen, das auf Eingangsdaten vernünftig (also adäquat) reagiert. Diese Intelligenz nennen wir codiert, und die meisten Programme funktionieren heute so. Die Intelligenz der Software ist natürlich durch einen Programmierer in das Programm hineinprogrammiert. Durch seine verschiedenen Befehle, Schleifen und If-then-else-Verzweigungen kann ein ziemlich intelligentes Verhalten simuliert werden. Und dennoch zählen wir ein solches Standardprogramm nicht zur KI, denn gerade das

selbstständige Verändern eines »inneren Programms« gilt als Kernkompetenz intelligenter Systeme. Dies muss auch ein technisches System gewährleisten können.

Schwache KI

Es geht bei der aktuellen KI also darum, Maschinen zu bauen, die a) aus Daten selbstständig lernen (»Machine Learning«), und b) aus gegebenen Axiomen durch Anwendung von Logik neue Daten/Modelle erzeugen können (»Machine Thinking«). Künstliche Intelligenz der Gegenwart hat sich aufgemacht, diese beiden Intelligenzformen technisch nachzubauen und zur *Kognitiven Intelligenz* zu vereinen. Man nennt diesen Zweig der KI *Schwache KI*. Von dieser KI sind wir heute bereits allseits umgeben, und diese KI wird in diesem Buch hauptsächlich beschrieben.

Man muss jedoch aufpassen, dass man bei dieser »elitären« Definition nicht alle Kreaturen als »dumme« Objekte betrachtet, die das Kriterium des selbstständigen Wissenserwerbs nicht erfüllen können. Zahlreiche Tiere mit ihren fest verdrahteten Instinkten haben zwar auch ein Modell der Welt (zum Beispiel ein Regenwurm oder ein Fisch), aber sie können es nicht ständig nachjustieren. Aber diese Tiere haben etwas ganz anderes. Sie haben Gefühle und sie haben ein Bewusstsein, wie auch immer das geartet sein mag. Und ihre inneren Modelle können hochgradig komplex sein. Wenn man sich vorstellt, zu welcher Bildererkennung eine Fliege in Echtzeit fähig sein muss, um in einem Raum umherzufliegen, ohne ständig mit irgendetwas zu kollidieren, erkennt man, dass wir heute mit keiner Technik so weit sind, dieses nachzubilden. Fliegen mögen nicht die Fähigkeit haben, ihre biologischen Modelle nachzujustieren, so wie unsere technische KI, aber ihre impliziten Modelle übersteigen trotzdem jedes technische Modell, das wir bis heute gebaut haben. Biologische Intelligenz spielt in einer ganz anderen Liga.

Starke KI

Auf der anderen Seite vergeht kaum eine Woche, bei der nicht ein Autor oder Filmemacher ein Werk auf den Markt bringt, in dem aufgezeigt wird, dass Computer nicht nur intelligent sein können, sondern dass sie auch einen eigenen Willen bekommen werden und ein eigenes Selbstbewusstsein. Und die Computer sollen auch Gefühle haben, zum Beispiel, »den Menschen nicht zu mögen und ihn deshalb vernichten zu wollen«. Eine KI, die das technisch zu leisten vermag, heißt in Fachkreisen *Starke KI*. Auf diesen Punkt gehe ich in späteren Kapiteln näher ein. An dieser Stelle sei jedoch bereits betont, dass dies alles sehr schöne (oder schlechte) Science-Fiction ist, aber nichts mit der Wirklichkeit zu tun hat. Niemand hat bis heute auf der Welt ein System gebaut, das auch nur ansatzweise (nachweislich) ein Bewusstsein besitzt, geschweige denn ein Selbstbewusstsein. Heutige KI hat keinen eigenen Willen, keinen Geist, keine Emotionen. Gleich zu Beginn sei deshalb bemerkt: Starke KI gibt es heute und in naher Zukunft nicht, auch wenn sich viele Medienfachleute anders dazu äußern mögen. Es gibt nicht einmal eine Theorie dazu, wie man eine Starke KI erzeugen könnte. Selbstverständlich gibt es Meinungen und Hypothesen, aber es gibt noch keinen Beweis, der aufzeigt, wie man mit der heutigen Technik ein System bauen kann,

das Bewusstsein entfalten könnte. Aber wir Menschen haben eines. Mit dem Bewusstsein sehen wir die Bilder der Außenwelt, wir hören Töne, wir erleben Gerüche. Die Wissenschaft bezeichnet diese Phänomene als *Qualia*. Qualia bedeutet also das innere Erleben eines Menschen, zum Beispiel das subjektive Erlebnis einer Farbe oder eines Schmerzes oder Liebe oder Trauer. Der Begriff wird später genauer erklärt (Kapitel 3 und 17). Noch brauchen wir keine Qualia in der KI und die Maschinen haben auch keine.

Kann eine KI ein Bewusstsein entwickeln?

Viele KI-Forscher hoffen nun, wenn die KI-Systeme komplizierter werden, dass dann irgendwie Bewusstsein entstehen könnte. Die Idee folgt aus der Annahme, im menschlichen Gehirn habe es auch irgendwie funktioniert. Ich persönlich halte das jedoch für ausgeschlossen, da man auch nicht einfach organische Moleküle in ein Wasserglas geben und umrühren kann, sodass dann irgendwie Leben entsteht. Das funktioniert nicht. Um dieser Position sichtbar Rechnung zu tragen, spreche ich oftmals von KI-Geräten, um hervorzuheben, dass diese zwar intelligentes Verhalten an den Tag legen, aber kein Bewusstsein besitzen. Es sind und bleiben Geräte. Der gesamte Teil IV wird das im Detail weiter ausführen. Allerdings möchte ich bereits hier betonen, dass es möglich sein könnte, in den nächsten Jahren eine KI mit rudimentärem Bewusstsein zu erzeugen, jedoch nicht mit den klassischen Computern. Ich komme in den Kapiteln 16 bis 18 darauf zurück. Technisch interessierte Fachleute können die Beschreibung eines möglichen Tests auf Bewusstsein unter [Otte 2024a] nachlesen.



- ✓ Schwache KI ist der Versuch, menschliche Intelligenz auf (technischen) Maschinen zu simulieren, um sie für den Menschen gewinnbringend und nutzbringend einzusetzen. Diese Art von KI ist bereits sehr erfolgreich und wir stehen bei ihrer Nutzung trotzdem erst am Anfang.
- ✓ Starke KI ist ein Konstrukt, das heute in keiner Weise realistisch ist. Ängste gegenüber einer Starken KI sind nicht angebracht. Es ist mit heutigen technologischen Mitteln eventuell möglich, prototypische Maschinen mit Bewusstsein zu entwickeln, aber dennoch wird es Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte dauern, bis eine KI entsteht, die Bewusstsein und Willen, ähnlich dem des Menschen, besitzt.

Ich möchte anmerken, dass bereits die Schwache KI zu gravierenden Umwälzungen in der Gesellschaft führen wird. Eine KI ohne begleitende Ethiküberlegungen einzuführen, wäre daher fahrlässig. Diese Technologie ist geeignet, genauso wie vormals die Dampfmaschine, später die Elektrizität und wieder später die Informationstechnologie, eine grundlegende technische Revolution auszulösen. Es lohnt sich daher, genau zu erkennen, wie die KI funktioniert, was sie kann und was sie nicht kann.

Doch bevor wir uns das ansehen, schauen wir mal, wie sich die KI überhaupt so weit entwickeln konnte.

