

# Kapitel 1

## Einführung in das Thema

»Künstliche Intelligenz« (KI) – diesen Begriff hat heutzutage wohl jeder schon mal gehört. Aber was soll das sein? Intelligenz? Und jetzt auch noch künstlich. Für viele von uns ist KI – wenn auch interessant – ein Buch mit sieben Siegeln. Das hat gute Gründe, denn wir wissen ja nicht einmal, was Intelligenz ist. Erklären Sie mal einem Freund, was Sie unter Intelligenz verstehen. Jede Wette, er wird eine andere Meinung haben. Also schaut man auf Wikipedia. Aber das hilft auch nicht weiter, denn dort findet man Aussagen wie, »Intelligenz ist ein Sammelbegriff ... für die kognitive Leistungsfähigkeit«. Und nun? Um die Erläuterungen zu strukturieren, möchte ich zuerst den Begriff »künstlich« erklären und dann den Begriff der »Intelligenz«.

Kommen wir zum Begriff »künstlich«: Nun, künstlich meint in unserem Fall technisch. Wir wollen Intelligenz auf technischen Geräten nachbilden. Halten wir den Begriff »technisch« also schon mal fest. Man könnte Intelligenz auch chemisch oder biologisch konstruieren wollen oder wie auch immer. Ja, Sie haben richtig gelesen. Man kann chemische Moleküle zum Addieren oder Multiplizieren nutzen. Man kann auch biologische Zellen nutzen, damit diese für uns Rechenaufgaben durchführen. Oder denken wir an die bereits heute existierende organische Elektronik. Mittlerweile wird sogar an sogenannten DNA- beziehungsweise RNA-Computern geforscht, denn unsere DNA scheint sehr intelligent zu sein. Solche biologischen Computer könnten eine Rechenleistung erreichen, die die eines Supercomputers bei Weitem übertrifft. Aber all das möchte ich in diesem Buch nicht vorstellen. Uns geht es tatsächlich darum, Intelligenz auf *technischen Geräten* zu simulieren oder nachzubauen. Das ist ein bescheidener, aber auch vielversprechender Ansatz.

## Das verstehen wir unter Intelligenz

Wann betrachten wir das Verhalten eines Menschen als intelligent? Hier mein Antwortversuch: Viele von uns halten jemanden für intelligent, 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 einer Vogelspinne im Fernseher 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 Verhaltensweise auf das zu verlockende Warenangebot der Händler), seinen Fehler aber später erkennt und dies nie wieder tut, 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. Das erscheint uns als eine Grundanforderung für Intelligenz. Damit sind bereits erste Schlüsselbegriffe gefallen: *adäquate Reaktion* und *Lernen*. Darauf werde ich gleich zurückkommen.

### Intelligenz definieren

Die Definition von Intelligenz ist deshalb schwierig, weil wir es selber sind, die einer Person, einem Tier oder einer Maschine die Eigenschaft der Intelligenz zuschreiben. Intelligenz ist eben keine objektiv messbare Eigenschaft wie das Gewicht eines Objekts. Wir müssten nicht über den Begriff Gewicht verhandeln, denn jeder weiß, was das Gewicht eines Menschen bedeutet. Wir nennen das Gewicht genau deshalb eine objektive Eigenschaft einer Person, weil das Gewicht unabhängig von unseren persönlichen Anschauungen existiert. Beim Gewicht geht es nicht um Meinungen. Könnte ich mit Meinungen meine eigene Waage beeinflussen, wäre mir sehr geholfen. Aber das geht nicht. Bei der Eigenschaft Intelligenz ist das aber anders. Wir legen mit unserer Anschauung selbst 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 korrektem Denken zu tun hat. Intelligenz wird von vielen deshalb als eine Fähigkeit verstanden, hinreichend angemessen, also *adäquat*, auf Umwelteinflüsse zu reagieren.

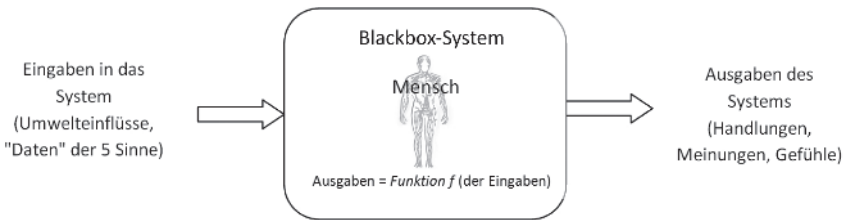


#### **Vorläufige Definition von Intelligenz:**

Intelligenz ist die Summe von Denk- und Wahrnehmungsprozessen eines Objekts oder Subjekts, um auf Umwelteinflüsse angemessen, also *adäquat*, zu reagieren.

## Intelligenz als Blackbox-Konzept

Ohne dass Sie es vielleicht gemerkt haben, haben wir einen Trick der Wissenschaftler angewendet, denn wir haben die Komplexität dramatisch vereinfacht. Um die Intelligenz eines Menschen zu veranschaulichen, betrachten wir den Menschen einfach als ein System, in das Eingaben hineingehen (Umwelteinflüsse) und Ausgaben herauskommen (Handlungen, Meinungen). Da uns das Innenleben dabei total gleichgültig ist, nennen wir diese Methode, die aus der Systemtheorie kommt, Blackbox-Methode.



**Abbildung 1.1:** Intelligente Systeme

Ein System ist dann intelligent, wenn die Ausgaben des Systems irgendwie zu den Eingaben »passen«, wenn wir sie als vernünftig erachten oder aber – noch besser – wenn sie für das System selbst vorteilhaft sind. Diese eher qualitative Aussage zur Intelligenz ist natürlich nicht befriedigend. Denn wir wollen ja nicht nur entscheiden, ob ein System intelligent ist oder nicht (ja oder nein, eine binäre Entscheidung), sondern wir wollen auch erkennen, ob ein System klüger als ein anderes System ist. Und solche Vergleiche sind möglich. Obwohl wir Intelligenz noch nicht ganz exakt erklären können, so können wir sie zumindest messen und miteinander vergleichen. Wir können eine Art mathematisch-logischer Intelligenz mit konkreten Zahlen ausdrücken. Im Durchschnitt hat ein Erwachsener in Europa einen Intelligenzquotienten (IQ) von 100. Aber es gibt auch Erwachsene mit IQs von kleiner 70 und welche mit IQs von größer 160.

Seit den 1990er Jahren nimmt die Intelligenz in den westlichen Industrienationen ab. Unser mathematischer IQ geht zurück. Unsere Menschen können immer weniger mathematische Probleme durchschauen und lösen. In China gibt es diesen Trend (noch) nicht. Aber mathematische Intelligenz ist natürlich nicht alles. Wir sollten mit sogenannter *emotionaler Intelligenz* auch auf soziale Reize angemessen reagieren können. Wer Karriere machen möchte, muss die sozialen Regeln gut kennen. Wirklich Hochbegabte finden sich meistens nicht in den Vorstandsetagen dieser Welt. Dazu benötigt man eine ganz andere Art von Intelligenz. Und trotzdem ahnen wir, dass jemand, der keine große mathematische Intelligenz besitzt, also letztlich nicht logisch (»um die Ecke«) denken kann, gewisse

Aufgaben nicht erfüllen könnte. Man kann sich schwerlich irgendeine Maschine oder einen Menschen als intelligent vorstellen, wenn er/sie/es nicht logisch denken kann.

Wir wissen, dass der Mensch zum Leben und Zusammenleben mehr als nur Logik und Mathematik benötigt, aber wenn er gar keine Logik und gar kein Mathematikverständnis hat, ist er sehr schnell verführbar, und zwar von Pseudowissenschaft, also einer »Wissenschaft«, die irgendetwas Plausibles konstruiert (was immer möglich ist) und dies dann als Wahrheit ausgibt. »Nicht-Logiker« sind dann so davon fasziniert, weil sie eine Logikkette endlich mal verstanden haben, dass das Plausible für sie wahr sein muss. Aber Fachleute wissen, wenn etwas plausibel klingt, muss es eben nicht wahr sein. Wahrheit und Beweisbarkeit sind völlig verschiedene Konzepte zum Verständnis von Natur und Gesellschaft. Auch Dinge, die offensichtlich sind, müssen nicht wahr sein und umgedreht. Erinnern wir uns an das Genie Kopernikus. Offensichtlich und plausibel ist, dass die Sonne um die Erde kreist, jeder kann es sehen, aber es ist trotzdem falsch.

Doch jetzt zu den »Logikern«. Diese denken gegebenenfalls, nur weil sie eben ein gutes logisches und damit mathematisches Verständnis haben, dass sie dadurch *in toto* viel klüger sind als die anderen. Aber auch das ist absurd, denn nur ein gewisser Teil des menschlichen Denkens beruht auf logischem beziehungsweise mathematischem Denken. Menschen haben eine viel mächtigere Intelligenz, als Logik und Mathematik annehmen lassen. Warum? Die Natur ist (wahrscheinlich) nicht »mechanisierbar«, und genau deshalb benötigt man verschiedene Arten von Intelligenz, um mit der Natur zurechtzukommen.

## **MATHEBOX: Hintergrundwissen zur Mechanisierbarkeit von Abläufen**

Der Begriff *mechanisierbar* wurde bewusst gewählt, weil man sich als Metapher ein mechanisches Getriebe vorstellen könnte, das viele Aufgaben des mechanischen (algorithmischen) Denkens nachvollzieht, zum Beispiel, wie ein Mensch zwei Zahlen addiert oder wie ein Mensch logische Abfolgen durchführt. 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 elektronische Universalmaschine, um algorithmische Abläufe zu automatisieren, aber trotzdem bleiben all diese Algorithmen im Prinzip mechanisierbar. Wenn wir also »geistige Tätigkeiten« wie die Addition zweier Zahlen automatisieren wollen, wird niemand mehr ein mechanisches System für diese Aufgabe entwickeln, aber

trotzdem, man könnte es rein *mechanisch* umsetzen. Wir benutzen natürlich lieber einen elektronischen 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.

Aber 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. Doch all das beruht immer auf der Annahme, dass Symbole oder Zeichen »mechanisch« hin und her bewegt, also verarbeitet werden könnten, um damit logische oder mathematische Abläufe nachzubilden.

Ich schätze, dass keine zehn Prozent der Intelligenz eines Menschen auf dieser Fähigkeit der Symbolmanipulation (und damit auf Logik) beruhen. Aber nur das »mechanisierbare« Denken und Lernen wollen (beziehungsweise können) wir aktuell in der Künstlichen Intelligenz simulieren. Implizites Wissen, Bauchgefühl, Bilderkennung, Intuition, Kreativität, Menschenkenntnis, Empfinden von Schönheit und vieles mehr basiert nicht alleine auf (uns bekannten) Symbolmanipulationen im Gehirn und kann damit aktuell nicht auf eine Maschine übertragen werden. Ich komme darauf zurück.

## Was also ist Intelligenz?

Wir müssen uns trotz unserer obigen (vorläufigen) Definition noch ein bisschen mit dieser Frage auseinandersetzen. 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. Heute sagt man auch Framing dazu! »Denken, das in einem Rahmen eingebettet ist.«

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. Die Einigung auf ein Minimum von Eigenschaften intelligenter Systeme ist also notwendig.

Schauen wir zu den Forschern. Einig sind sie sich, dass Intelligenz etwas mit **Gedächtnis** zu tun hat, man muss also Fakten im Kopf haben oder Informationen oder Wissen. Als Zweites geht es darum, diese Fakten miteinander zu verbinden,

damit daraus neue Fakten entstehen. Konkret geht es hierbei also um die genannte Fähigkeit des **logischen Schlussfolgerns**. Wenn ich weiß, dass Hans bei schönem Wetter immer baden geht, und heute ist schönes Wetter, so kann ich schlussfolgern, dass Hans heute baden gehen wird. So geht logisches Denken. Wenn ich weiß, dass Menschen im Vorstand einer Bank viel Geld verdienen, und ich treffe einen Menschen im Urlaub, der Vorstand ist, so weiß ich, dass er viel Geld verdient. Aber manchmal stimmen die Regelketten auch nicht. Wenn ich weiß, dass glühende Holzkohle heiß ist, werde ich diese nicht anfassen, wenn ich vor einem Grill stehe. Aber wenn die Holzkohle nicht glüht, fasse ich sie vielleicht an, um aufzuräumen. Dabei kann ich mich verbrennen. Und in diesem Augenblick beginnt das Lernen, das Lernen von neuen Regelketten. »Holzkohle kann auch heiß sein, wenn sie nicht mehr glüht.« Intelligenz bedeutet also auch die Fähigkeit, aus Fakten neue Regeln zu erlernen. Psychologen zählen zur Intelligenz weiterhin Fähigkeiten der Konzentration, Abstraktion, Merkfähigkeit oder Anpassungsfähigkeit. Aber letztlich hilft uns das nicht weiter, denn es scheint, als ob man unendlich viele Merkmale von Intelligenz finden kann. Versuchen wir aber nicht eine Erklärung mit einer maximalen Zahl von Eigenschaften, sondern bewusst eine mit einer minimalen. Wann finden wir, dass ein äußeres Objekt oder Subjekt intelligent ist? Hier ein Antwortversuch:



### **Erklärungen zur Intelligenz (1)**

- ✓ Intelligenz niederer 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.

Nicht umsonst heißt es heutzutage, lebenslanges Lernen ist 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.

Werden wir basierend auf Abbildung 1.1 von Seite 29 formaler. Ein System besitzt eine *Übertragungsfunktion*  $f$  (in Abbildung 1.1 »Funktion  $f$ « genannt), die dafür sorgt, dass man bei bestimmten Eingaben mit bestimmten Ausgaben antwortet. Mathematisch nennen wir eine solche Funktion *Systemfunktion*. Wenn die *Funktion*  $f$  korrekt ist, generiert man immer die »richtigen« Antworten, das System reagiert also adäquat. Wir könnten »weit hergeholt« sagen, das System denke korrekt. Die *Funktion*  $f$  kann ein Softwareprogramm in einem Computer sein oder eine Funktion in unserem Gehirn.

Wir merken uns also als eine wichtige Eigenschaft/Voraussetzung für Intelligenz:

### ✓ das Denken

Wenn das System aber mal »falsch« reagiert, so muss es die Funktion verändern, die Funktion  $f$  muss neu gelernt werden. Wir merken uns also als die zweite wichtige Eigenschaft für Intelligenz:

### ✓ das Lernen

Nehmen wir wieder ein plausibles Beispiel zur Erläuterung: Wenn ein Kind an eine heiße Herdplatte fasst, schreit es vor Schmerz. Und in diesem Augenblick passiert sehr viel in seinem Gehirn. Das Kind prägt sich die Herdplatte sehr genau ein und wird nie wieder ein solches Ding anfassen. Es hat gelernt, und zwar durch Erfahrung, durch Interaktion mit der Umwelt, dass etwas, das wie eine Herdplatte aussieht, schmerzhaft, also gefährlich ist. Es hatte vorher die Sinnesreize (Eingaben) falsch interpretiert, die rot glühende Herdplatte eventuell als sehr begehrenswert eingeschätzt und nun hat es gelernt, dass davon eine Gefahr ausgeht. Das Kind fasst nie wieder diese Herdplatte an.

Und jetzt besuchen Sie eine Freundin. Die hat eine andere Herdplatte. Wird das Kind diese anfassen? Was glauben Sie? Eventuell ja, eventuell nein. Wenn es bereits mit Symbolen und Begriffen denken kann, wird es im Kopf viele verschiedene Überlegungen anstellen und durch reines Nachdenken (ohne Interaktion mit der Umwelt) entscheiden, dort nicht anzufassen. Oder aber, es wird mit dem Denken zu keinem Entschluss kommen und vorsichtig mit einem Finger die neue Herdplatte berühren, also wieder mit der Umgebung interagieren und Erfahrungen durch Lernen aufbauen.

Lernen bedeutet also immer, neue *Funktionen* zwischen den Reizen der Umwelt und den Kenntnissen über die Umwelt oder bestimmten Handlungen zu erzeugen. Denken bedeutet, bereits vorhandenes Wissen (logisch) zu verknüpfen und neues Wissen selbstständig zu erarbeiten, ohne dass die Umwelt befragt werden muss. 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 in diesem Buch ruhig »Deep Thinking« ein neues Modell der Umgebung aufgebaut.

Denken und Lernen sind die beiden wichtigsten Handlungsweisen einer Intelligenz. In der Fachwelt bezeichnen wir das Denken oft als Deduktion und das Lernen als Induktion. Man deduziert neues Wissen, hat neues Wissen durch Nachdenken erworben oder man induziert neues Wissen, hat dieses also durch Lernen aus Umgebungsreizen erworben. Das deduktive Konzept war bei den Griechen sehr populär, heute ist induktives »tiefes Lernen« (»Deep Learning«) die Methode der Wahl zur Wissensgenerierung geworden. Das ist (leider!) unser moderner Zeitgeist, der Wissen aus Daten automatisch generieren will, ohne noch groß nachzudenken.

Deshalb: Bei jeder großen Herausforderung, so auch in der Coronakrise 2020/2021, die letztlich als globale *Wissenschaftskrise* bezeichnet werden kann, wird immer gesagt, wir brauchen Daten. Auch in der Medizin wollen wir immer mehr Daten erheben. Und auch die Bank will immer mehr Daten von uns. Oder die sozialen Medien. Daten. Daten. Daten. Wissensgenerierung aus Daten, Data Mining beziehungsweise Data Science, das ist der neue Zeitgeist. Sie werden später sehen, dass dies jedoch falsch, nein noch schlimmer, dass dies hochgefährlich ist. Um es ganz deutlich auszudrücken: Echtes Wissen entsteht durch die Verknüpfung von Lernen (dies ist die erste Stufe) und Nachdenken (dies ist die zweite Stufe, die heute meistens weggelassen wird).

Wenn man über KI berichtet, muss man selbstverständlich über maschinelles Lernen, Data Science, Data Mining und Big Data berichten. Aber eben auch über die Notwendigkeit des angemessenen Denkens.



### **Erklärungen zur Intelligenz (2) – Wir erweitern unser Konzept von Intelligenz**

Intelligenz bedeutet das Anwenden und Schaffen eines inneren Modells beziehungsweise einer inneren Funktion, um auf Reize der Umgebung adäquat zu reagieren und bei beobachteten Fehlern das eigene Modell über die Umgebung beziehungsweise die Übertragungsfunktion selbstständig so anzupassen, dass beim nächsten Mal eine adäquate Reaktion erfolgen kann.

Anmerkungen: Mit dieser Charakteristik von Intelligenz muss man auch Tieren eine Intelligenz zusprechen, denn ihr inneres, »hart verdrahtetes« Modell 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 menschlichen Maßstab – in der Lage. Da vielen Tieren jedoch die Möglichkeit fehlt, ihr Modell von der Außenwelt beliebig zu ändern, ist ihre Intelligenz natürlich beschränkt.



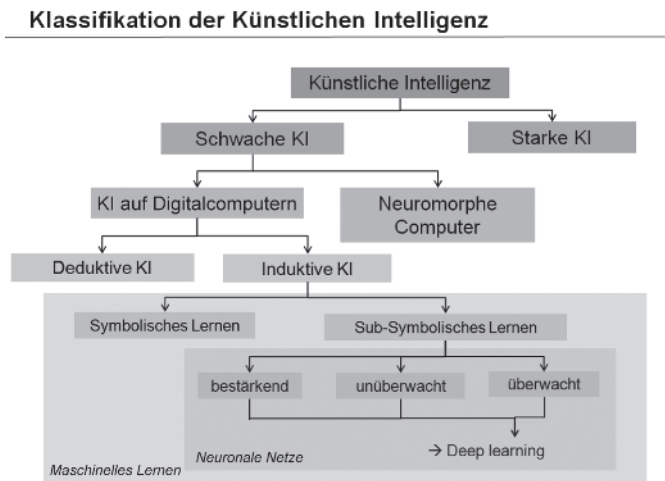
Auch ein Softwareprogramm kann nach dieser »Definition« bereits intelligent sein, denn man kann sich ein Programm vorstellen, das auf Eingangsdaten vernünftig (also adäquat reagiert). Diese Intelligenz nennen wir programmiert oder codiert, und die meisten Programme funktionieren heute so. Die Intelligenz 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 Programm nicht zur KI, denn gerade das selbstständige Verändern eines »inneren Programms« gilt als Kernkompetenz intelligenter Systeme. Selbstständiger Erwerb von Wissen, das heißt, der selbstständige Aufbau eines Modells der Welt, gilt heute als das Kriterium für Intelligenz und nicht nur das Anwenden des Modells.

## Klassifikation der Künstlichen Intelligenz

Für die weiteren Betrachtungen ist es zweckmäßig, eine Klassifikation der Künstlichen Intelligenz nach Schwacher KI und Starker KI durchzuführen.

Kommen wir zuerst zur Schwachen KI, Abbildung 1.2:

Die Schwache KI ist heute auf Digitalcomputern (DC) als KI-Software programmiert, aber sie könnte auch rein hardwaremäßig aufgebaut sein. Eine wichtige Entwicklungsrichtung hierbei sind *neuromorphe Computer*, denen ich mich in



**Abbildung 1.2:** Eine mögliche Klassifikation der Künstlichen Intelligenz

*Kapitel 12* kurz zuwenden werde. Die »KI auf Digitalcomputern« sind laut Abbildung 1.2 in die bereits erwähnten deduktiven und induktiven Algorithmen unterteilt, obwohl in den Anwendungen meistens Mischformen auftreten. Die induktiven Verfahren, die Verfahren des »maschinellen Lernens auf Daten«, können ihrerseits wieder in symbolisches und sub-symbolisches Lernen unterteilt werden. Letzteres realisieren die neuronalen Netze. Sie werden alle Verfahren noch kennenlernen.

## Schwache KI vs. Starke KI

Gehen wir weiter ins Detail und betrachten wir zuerst nochmals die Schwache KI. Es geht bei ihr - wie bereits gehört - darum, a) Maschinen zu bauen, die aus Daten selbstständig lernen können (»Maschinenlernen« oder »Machine Learning«) und b) aus gegebenem Wissen durch Anwendung von Logik neue Daten oder Modelle zu erzeugen (»Maschinenbeweise« oder frei übersetzt »Machine Thinking«). Von dieser KI sind wir heute allseits umgeben, um diese KI wird es in diesem Buch hauptsächlich gehen.

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

Stellen wir der Schwachen KI die wichtigsten Eigenschaften der natürlichen Intelligenz daher mal gegenüber. Was kann eine natürliche Intelligenz?

1. Denken und richtig schlussfolgern (bei Mensch und Tier sehr gut ausgeprägt)
2. Selbstständig lernen (beim Menschen sehr gut ausgeprägt, beim Tiere eingeschränkt)
3. Nutzung eines Bewusstseins (bei Mensch und Tier sehr gut ausgeprägt; der Mensch hat noch ein Selbstbewusstsein; sogar Tiere, wie Menschenaffen, Delfine, asiatische Elefanten oder Vögel, zum Beispiel Elstern, haben nach

neuesten Erkenntnissen ein Selbstbewusstsein; sie erkennen sich nämlich im Spiegel wie zahlreiche Versuche bewiesen haben)

Der Mensch besitzt die Fähigkeiten 1, 2 und 3. Tiere haben mindestens die Fähigkeiten 1 und 3. Und KI-Computer besitzen heutzutage die Fähigkeit 1 und 2.

Die letzte Aussage möchte ich etwas vertiefen. Es vergeht nämlich kaum eine Woche, bei der nicht ein Autor oder Filmemacher ein Werk auf den Markt bringt, in dem aufgezeigt wird, dass KI-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 das Gefühl, »den Menschen nicht zu mögen und ihn deshalb vernichten zu wollen«. Eine KI, die das technisch zu leisten vermag, wäre die in Abbildung 1.2 eingeführte *Starke KI*. Diese KI besäße die obigen Fähigkeiten 1, 2 und 3. 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 darauf hingewiesen: Starke KI gibt es heute und in naher Zukunft nicht, auch wenn sich viele Medienfachleute anders dazu äußern mögen. Es gibt heute keine Maschine mit Bewusstsein. Aber Menschen und auch Tiere haben eins. Mit unserem Bewusstsein sehen wir Bilder der Außenwelt, hören wir Töne, erleben wir 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.

Viele KI-Forscher hoffen nun, dass dann, wenn die KI-Systeme komplexer werden, irgendwie Bewusstsein entstehen könnte. Man spricht hier oft von *Emergenz*. Die Idee folgt aus der Annahme, im menschlichen Gehirn habe es ab einer bestimmten Komplexität auch irgendwie funktioniert. Ich persönlich halte das Emergenzkonzept zur Entstehung völlig neuer KI-Eigenschaften bei der heutigen Technik für ausgeschlossen, da man schließlich auch nicht organische Moleküle so miteinander verknüpfen kann, so dass *emergent* die »Eigenschaft 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.



### Was wollen wir uns merken?

- ✓ Mit *Schwacher KI* bezeichnen wir Systeme, die versuchen, 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. Es sind keine Grenzen für das Vordringen dieser KI in Technik und Gesellschaft abzusehen.

- ✓ *Starke KI* ist ein gedankliches Konstrukt, das heute in keiner Weise realistisch ist. Ängste gegenüber einer Starken KI sind nicht angebracht. Natürlich gibt es Ansätze, Bewusstsein auf Maschinen zu erzeugen, aber selbst, wenn diese funktionieren sollten, wird es Jahrzehnte oder Jahrhunderte dauern, bis eine KI entsteht, die Bewusstsein ähnlich dem des Menschen besitzt.

Ich möchte abschließend anmerken, dass bereits die Schwache KI zu gravierenden Umwälzungen in der Gesellschaft führen wird. Bereits die Technologie der Schwachen KI 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.

## Künstliche Intelligenz – Wie konnte es so weit kommen

Der Traum von autonomen Maschinen ist eigentlich schon uralte. Bereits vor 2000 Jahren schrieb Heron von Alexandria das Buch der Maschinen (»Automata«). Darin beschrieb er unter anderem Tempeltüren, die sich selbstständig öffnen konnten. Von Leonardo da Vinci (1452–1519) wurden bereits im Mittelalter »Roboter« konstruiert, die ihre Arme bewegten, sich aufsetzten und ihren Kopf drehten.

Im 18. Jahrhundert wurde das Interesse der Bevölkerung an Automaten immer größer, sodass immer mehr Mechanismen konstruiert wurden, wobei sich allerdings viele als Fälschung herausstellten. Bekannt ist der »Schachtürke« (ein fiktiver Schachroboter, in dem aber ein Mensch steckte) Mitte des 18. Jahrhunderts. Schon immer wollte der Mensch Maschinen bauen, die sich autonom bewegen und den Menschen simulieren konnten. Davon geht eine ungeahnte Faszination aus. Ich vermute, dass damals jedermann klar war, dass alles nur Nachahmungen sind. Aber der Erfindergeist des Menschen hatte kein Ende: Es entstanden automatische Musikinstrumente, Uhrwerke, Webstühle und Spinnmaschinen. Diese Maschinen waren teilweise vollautonom, aber wir würden heute trotzdem nicht davon sprechen, dass sie intelligent waren, denn sie konnten nur die ihnen zugewiesenen Handlungen ausführen, und auch dies mehr schlecht als recht. Was all den früheren Maschinen fehlte, war eine Fähigkeit zum Lernen.

In den vergangenen Jahrhunderten wurden also hauptsächlich äußere Handlungen von Menschen »mechanisch« nachgebildet. Viel faszinierender ist es natürlich, geistige Prozesse nachzubilden. Und tatsächlich, seit dem 16. Jahrhundert tauchten immer wieder Legenden und Geschichten von Systemen auf, die angeblich denken konnten. Ein Homunculus (künstliches Menschlein) oder ein Schachautomat wurden da bereits angedacht, auch an Monstern wie Frankenstein fehlte es nicht. Oder denken Sie an den GOLEM; ein aus Ton erzeugtes, künstliches Wesen, das bereits im 12. Jahrhundert erwähnt wurde.

## Wie will man Denken nachbilden?

Eine Handlung, zum Beispiel das Türöffnen, kann man studieren und sich als Techniker eine Maschine überlegen, die diese Handlungen nachvollzieht. Aber Denken? Kann man auch das Denken studieren? Oh ja, das kann man. Schon die Griechen haben studiert, wie logisches Denken funktioniert. Die Grundlagen der Logik sind tatsächlich über 2000 Jahre alt. Bereits in der Antike beschäftigte sich Aristoteles mit dem logischen Schließen, ging also der Frage nach, ob man aus bekannten wahren Aussagen logisch korrekt auf andere wahre Aussagen schließen kann.

Um das besser zu verstehen, möchte ich mit einem Paradebeispiel aus der Antike beginnen und treffe folgende Aussagen:

- ✓ a1: Alle Menschen sind sterblich.
- ✓ b1: Alle Griechen sind Menschen.

Was würden Sie nun selber schlussfolgern, wenn Sie nach der Sterblichkeit der Griechen gefragt werden? Sind Griechen sterblich oder nicht? Ohne viel nachzudenken erhalten wir:

- ✓ c1: Alle Griechen sind sterblich.

Wir schlussfolgern also, wenn Aussage a1 wahr ist und Aussage b1 wahr ist, dann muss auch die Aussage c1 wahr sein. Und damit haben wir unseren ersten logischen Schluss geführt. (Natürlich war das mitnichten unser erster logischer Schluss. Seit unserer Kindheit können wir logisch korrekt schließen.)

Nehmen wir ein zweites Beispiel. Es fällt uns leicht, zu schlussfolgern:

- ✓ a2: WENN Klaus gut in Mathematik ist, DANN ist Klaus gut in Mathematik.

Die Schlussfolgerung fällt uns sogar so leicht, dass wir es für Zeitverschwendung halten, sie aufzuschreiben, »denn das ist ja wohl logisch«. Bitte glauben Sie nicht, dass es Zeitverschwendung ist, »a2« zu schlussfolgern. Wir wollen ja auch einem

Computer später beibringen, logisch zu denken, da sind solche Schlussfolgerungen sehr hilfreich.

Betrachten wir eine dritte Schlussfolgerung, eine, die wir alle seit unserer Kindheit verstehen lernten:

- ✓ a3: Wenn ich etwas kaputt mache, sind Mama und Papa böse.
- ✓ b3: Wenn Mama und Papa böse sind, dann bekomme ich eine Strafe.

Jedes Kind wird dann schlussfolgern:

- ✓ c3: Wenn ich etwas kaputt mache, dann bekomme ich eine Strafe.

Diese logische Kettenregel (wie der Fachmann sie nennt) beherrscht jeder von uns, und auch noch viel komplexere Formen. Logik ist also hochgradig intuitiv und leicht verständlich. Wäre sie das nicht, dann wäre alles vom Empfinden her nur noch unlogisch. Der Mensch kann also seit alters her mit Logik umgehen, nicht jeder, nicht immer, aber meistens schon. Viele Eignungstests testen im Verborgenen die Logikfähigkeit ihrer Bewerber. Also, wenn Sie lesen: »Der Goldpreis ist gestiegen. Das liegt entweder am sinkenden Aktienmarkt oder an den fallenden Zinsen. Die Zinsen waren es diesmal aber nicht. Woran liegt es Ihrer Meinung nach?« Und wenn Sie jetzt zum Beispiel antworten: »Am Wetter oder weil die Beatles nicht mehr in den Charts sind«, dann wird es nichts mit Ihrem Traumjob. Jeder sucht immer und überall nach Logik, außer vielleicht in der Partnerschaft, aber solche Beziehungen wollen wir auch nicht automatisieren.

Wie aber automatisiert man logisches Denken? Das geht leider nur mit Mathematik. Wenn wir wollen, dass ein Computer später denken kann und wir wissen, dass dieser nur mit Nullen und Einsen umzugehen versteht, müssen wir eine Mathematik entwickeln, die das oben genannte logische Denken *formalisiert*, wie die Fachleute sagen. Und das war ein großes Problem. Die Menschheit hatte fast 2000 Jahre kein mathematisches Gerüst, Denken zu formalisieren. Dies änderte sich erst durch das Auftreten großer Philosophen und Mathematiker wie Boole, Leibnitz oder Hilbert. Ihre Ergebnisse bildeten die Basis, die Logik später auf einen Computer zu implementieren.

## **MATHEBOX: Die Formalisierung der Logik**

Boole entwickelte 1847 die Grundlagen für eine nach ihm benannte *Algebra*, mit der logische Operationen (wie »WENN es regnet, DANN wird die Erde nass« oder »Susi hat NICHT blonde Haare« oder »WENN es regnet UND ich

stehe draußen, DANN werde ich nass«) formal zu behandeln waren. Er führte logische Operationen wie UND, ODER, NICHT ein, mit denen man sehr komplexe logische Sachverhalte formal aufschreiben konnte. Logik war damit nicht mehr nur via Sprache ausdrückbar (wie bei den Griechen), sondern mittels neuartiger Gleichungen. Ob wir es mögen oder nicht, die Mathematik ist seit dieser Zeit das Fundament der Logik.

Im Jahr 1900 stellte der Göttinger Mathematikprofessor David Hilbert auf dem internationalen Mathematiker-Kongress in Paris sogar sein Ziel vor, die gesamte Mathematik zu *formalisieren*. Das klingt verwunderlich, denn was ist nicht bereits formaler als die Mathematik selbst? Aber die großen Mathematiker der damaligen Zeit suchten nach einer Sprache, um die Mathematik selbst zu beschreiben. Und sie waren der Meinung, dass jedes (mathematische) Problem grundsätzlich gelöst werden kann.

Welche Sprache spricht ein Computer? Nun, er spricht verschiedene Programmiersprachen, wie C oder R oder Python, aber so auf ganz tiefem Grund spricht er nicht mal diese Sprachen, sondern er spricht in der Sprache der Mathematik beziehungsweise Logik. Ein Computer kann letztlich nur mathematische und logische Berechnungen durchführen (» $3 + 4 = 7$ « oder » $\log_{10} 1000 = 3$ « oder » $900 : x = 3$ ,  $x = 300$ « oder » $1 \text{ UND } 1 = 1$ « oder »NICHT  $1 = 0$ «).

Vor über 100 Jahren wurde die Logik formal entwickelt und am Horizont entstanden neuartige Geräte, die Computer. Dies war die Basis der Entwicklung der Künstlichen Intelligenz.

## Die Vorentwicklungen zur KI

- ✓ 1936 entwickelte Alan Turing, der maßgeblich Anteil an den Arbeiten zur Decodierung der *Enigma* (eine Maschine zur Verschlüsselung von Nachrichten im Zweiten Weltkrieg) hatte, ein Modell, das später *Turing-Maschine* genannt wurde. Turing bewies damit, dass ein universeller Computer gebaut werden kann. Die technische Geburtsstunde des Computers nahte.
- ✓ Im Jahr 1941 schuf der Deutsche Konrad Zuse mit seiner Z3 eine Maschine, die Turing-mächtig war. Diese Maschine ist als erster *Universalcomputer* der Welt anzusehen. Auf der anderen Seite des Atlantiks ging die Entwicklung ebenso schnell voran. Während Zuse noch elektromechanische Relais verwendete, wurde 1944 in den USA die Mark1 fertiggestellt, die erste Maschine, die rein elektronisch arbeitete.

- ✓ In den 1940er Jahren wurden die Universalcomputer geboren und ihr Siegeszug war nicht mehr aufzuhalten, wenn auch der damalige IBM-Chef Thomas Watson 1943 geschätzt haben soll, dass der Weltbedarf an Computern bei ca. fünf Stück liegen würde. Er hat sich verschätzt.

Mit diesen neuen Computersystemen waren die »Universalbehälter« gebaut, die man brauchte, um in ihnen »echte Denkprozesse« ablaufen zu lassen. Nun gab es formale Beschreibungen für logisches Denken und gleichzeitig eine technische Maschine, auf der diese mathematischen Sprachen implementierbar waren. Nun war es nicht mehr weit bis zur Geburtsstunde der Künstlichen Intelligenz.

## Die Geburtsstunde der KI

- ✓ Im Sommer 1956 lud John McCarthy zahlreiche führende Forscher der Zeit nach Dartmouth in New Hampshire (USA) ein, um ein ganz neues, aber eigentlich doch schon sehr altes Thema zu erörtern. Diese Konferenz legte den Grundstein für neue Forschungsaufgaben, die viele Bereiche im Ingenieurwesen, in der Mathematik, der Informatik oder der Psychologie beeinflussen sollten. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Begriff »Künstliche Intelligenz« geboren. In Europa nannte man es zu jener Zeit noch »Kybernetik«.
- ✓ Der Konferenz ging ein Forschungsauftrag an die Rockefeller-Stiftung voraus, in dem McCarthy und andere ihre Ideen zu Lernen, Zufall, Regelwerken und Möglichkeiten der technischen Umsetzung erörterten.

Man deutet heute diese Sommermonate in New Hampshire als den Startpunkt der Künstlichen Intelligenz. Und die Anfangszeit war wie so oft von grenzenloser Euphorie geprägt.

## Die erste große Euphoriewelle der KI

- ✓ 1957 wurde prognostiziert, dass innerhalb der nächsten zehn Jahre ein Computer gebaut werden könne, der den Schachweltmeister besiegen würde.
- ✓ 1957 wurde auch vorausgesagt, dass innerhalb der nächsten zehn Jahre ein Computer einen wichtigen mathematischen Beweis finden könnte.

Beide Prognosen trafen nicht zu (sie traten allerdings verspätet ein). Diese euphorischen Phasen gilt es immer zu erkennen, da man heute wieder Prognosen hört, dass bei der KI bald die *Singularität* erreicht werden würde, wir also bald einen KI-Supercomputer haben werden, der die Komplexität des menschlichen Gehirns übersteigt und der die Geburtsstunde einer eigenen, neuen Evolution



darstellt, nämlich die Evolution einer Klasse von Computern, die sich ohne Menschen selbstständig weiterentwickeln könnten.

Glauben Sie, dass es passieren könnte?

Nun, KI-Supercomputer wird es mit Sicherheit bald geben, aber dennoch werden sich auch diese nicht von selbst weiterentwickeln können, wie ich noch zeigen werde. Die Singularität fällt (zumindest vorerst) aus.

