



RU DO LF
SE IS IN G

ES
DE NK T
NI CH T!

DI E
VE RG ES SE NE N
GE SC HI CH TE N
DE R
KI

VORWORT

7

EINLEITUNG

Intelligenz – ein schillernder Begriff

12

KAPITEL 1

Informationsübertragung von ihren Anfängen bis heute,
oder: Was wird eigentlich übertragen?

20

Zeichen und ihre Bedeutung – Von der Sicht-Telegrafie
zum Elektromagnetismus – Von der Intelligenz- zur
Informationsübertragung – Shannons mathematische
Kommunikationstheorie – Problemebenen der
Kommunikation – Die Kommunikationstheorie wird
zur Informationstheorie – Sozial- und Geisteswissen-
schaftler mischen sich ein – Thinking machines –
Ein Begriff wird geboren: »Künstliche Intelligenz« –
Die berühmte Dartmouth-Konferenz

KAPITEL 2

Neuronale Netze, Lernapparate und Mustererkennung,
oder: Wie simuliert man das menschliche Gehirn?

62

Die Neuronendoktrin des Santiago Ramón y Cajal –
Bewegungen der Körper: Von Zug und Stoß, Kraft und
Wellen – Rashevsky ergründet das menschliche
Gehirn – Ein Logikkalkül für die der Nerventätigkeit

immanenten Gedanken – Die Computermetapher des Gehirns – Die Suche nach einer wissenschaftlichen Theorie der Gehirntätigkeit – Versuche, mithilfe von Computern Gehirntätigkeiten zu simulieren – Muster erkennen – Was für ein Geschrei! – Der hilfreiche Dummkopf oder Das Idiotengehirn und sein Macher – »Zum ersten Mal haben wir eine Maschine, die in der Lage ist, originelle Ideen zu haben.« Wirklich?

KAPITEL 3

Digitale Nachahmung menschlichen Denkvermögens, oder: Was tut der Rechner, wenn er »denkt«?

110

Die Theorien von Heider, Brunswik und Gibson – Der menschliche Geist ist kognitiv – Die »denkende Maschine« des Alan Turing – Starke und schwache Künstliche Intelligenz – Ist unsere Geistestätigkeit reine Informationsverarbeitung?

SCHLUSS

Künstliche Intelligenz – ein sich ändernder Begriff

140

DANK

150

ANMERKUNGEN

153

If this be so, and the presence of electricity
can be made visible in any desired part of the circuit,
I see no reason why intelligence
might not be instantaneously transmitted
by electricity to any distance.

SAMUEL MORSE

VO RW OR T

Künstliche Intelligenz – KI: Kaum ein Tag vergeht, kaum eine Talkshow wird abmoderiert, kaum eine Zeitungslektüre beendet, kaum ein Smalltalk geführt, ohne dass dieser Begriff in Kurz- oder Langform gefallen ist. Was aber ist KI? Oder besser: Wie kam es zu dem, was Künstliche Intelligenz genannt wird?

Es ist ähnlich wie mit Gott, dem Stein der Weisen, einem guten Leben, einem sicheren Atommüllendlager, dem Weltfrieden und einer sauberen Umwelt: Wir wissen nicht, ob es sie gibt, wir wissen nicht einmal, ob es sie geben kann, aber es sind Ziele, nach denen einige von uns streben, manche sich sehnen, oder bei denen andere Zuflucht suchen.

Solche Fluchtpunkte begleiten unser Leben, und im 21. Jahrhundert ist ein solcher Fluchtpunkt die Künstliche Intelligenz. Was bedeutet dieses Wort? – Wenn ich mich recht erinnere, dann habe ich das Adjektiv »künstlich« erstmals als kleines Kind aufgeschnappt: »Künstliche Niere« hatte meine Mutter während eines Gesprächs mit einer Freundin gesagt, und ich hatte mir ein orangefarbenes, leicht gebogenes Gebilde aus Plastik vorgestellt. Später erfuhr ich, dass es um etwas ganz anderes ging. Die künstliche Niere, von der die Rede war, war keine Niere, hatte nicht einmal eine Nierenform; es war ein medizintechnisches Gerät, das Menschen, deren Nieren erkrankt waren und deshalb teilweise oder ganz versagten, einen lebenswichtigen Ersatz bot. Die künstliche Niere übernimmt anstelle der natürlichen Niere die sogenannte Blutwäsche. Dazu wird das Blut des Patienten durch Schläuche in eine Maschine außerhalb des

Patientenkörpers geleitet, die Giftstoffe und überschüssiges Körperwasser aus dem Blut filtert beziehungsweise entfernt.

Neben ihrer Hauptaufgabe, das Blut zu reinigen, erledigen Nieren noch viel mehr: Sie regeln den Blutdruck des Organismus, seinen Säure-Basen-Haushalt, den Knochenstoffwechsel und die Bildung der roten Blutkörperchen. Diese Funktionen werden nicht von der künstlichen Niere übernommen, sondern von Medikamenten oder anderen Therapien. Weil bei endgültigem Nierenversagen aber nur die Dialyse das Überleben ermöglicht, erhielt die Maschine die Bezeichnung »künstliche Niere«.

Die Medizingeschichte kennt viele weitere Beispiele, die hier angeführt werden könnten: etwa die künstliche Gebärmutter, wie der 1835 von Johann Georg von Rühl konstruierte Inkubator genannt wurde, künstliche Zähne, wie sie viele von uns haben, oder künstliche Knie- oder Hüftgelenke, die zu vielen Hunderttausenden jedes Jahr allein in Deutschland eingesetzt werden. Die Medizintechnik wird weiter Fortschritte auf dem Gebiet der Prothetik verzeichnen können und die Verheißungen der Biotechnologie klingen fantastisch, sollen doch schon bald Blutgefäße oder Harnröhren, Hohlorgane wie Magen und Blase und schließlich komplizierte Organe wie Herz, Leber und Niere nachgebaut werden können – Letztere dann in noch ferner Zukunft aus dem 3-D-Drucker kommend.

Wie die Niere unter anderem den Blutdruck regelt, so regelt auch das Gehirn wichtige Körperfunktionen. Es ist sozusagen die Steuerzentrale für nahezu alle lebenswichtigen Prozesse im Körper. Der technische Vergleich des Organs Gehirn mit einem zentralen Schaltwerk, in dem die gesamte Kommunikation eines komplexen Systems zusammenkommt, führte bald nach

der Konstruktion der ersten Digitalcomputer dazu, diese Maschinen »künstliche Gehirne« zu nennen. Ähnlich wie bei der künstlichen Niere waren es aber auch hier nur einige wenige Gehirnfunktionen, die von Computerprogrammen imitiert wurden und werden: Rechnen, logisches Schlussfolgern, Schachspielen, Verarbeiten von Symbolen, Erkennen von Mustern. Wenn wir Lebewesen und insbesondere Menschen sehen, die so etwas tun, nennen wir sie intelligent. Wir Menschen haben die Fähigkeiten dazu und wir haben weitere kognitive Fähigkeiten, die wir mit den eben genannten unter den Begriff »Intelligenz« fassen. Bis heute ist man sich allerdings nicht einig, was genau darunter zu verstehen ist: Es fehlt eine allgemein gültige Definition.

Wie schwer wir uns mit dem Begriff »Intelligenz« tun, zeigt seine historisch enge Verwandtschaft mit dem Begriff »Information«. Erst im 20. Jahrhundert lösten sie sich voneinander; zuvor sprach man davon, Intelligenz technisch übertragen zu können. Auch die Abgrenzung vom Begriff »Denken« ist schwierig. So wurden die ersten Digitalcomputer schon bald Thinking Machines, im Deutschen »Denkmaschinen«, genannt, was den Begriffswirrwarr noch verstärkte.

Die Ausbildung unserer Fähigkeiten, die wir Intelligenz nennen, ist sicherlich mit unserem Körperorgan Gehirn verbunden, aber es sind Fähigkeiten unseres Geistes, und wir wissen nicht, wie dieser mit unserem Gehirn verknüpft ist. Wir wissen nicht, wie unser Geist aus den Aktivitäten des Gehirns entsteht. Wieso halten wir Menschen uns für intelligenter als andere Lebewesen, und stimmt das überhaupt? Liegt es an den die Intelligenz unserer Meinung nach ausmachenden Fähigkeiten? Könnten auch andere Fähigkeiten intelligent sein, die

wir gar nicht besitzen? Wie verhalten sich unsere intelligenten Fähigkeiten zu unserem Denken und unserem Bewusstsein?

Mit dem Aufkommen der Digitalcomputer wurde es möglich, einige solcher Fähigkeiten der Menschen in Maschinen zu imitieren. Gleichzeitig begann eine grundsätzliche wissenschaftliche Beschäftigung mit Gehirn, Intelligenz und kognitiven Prozessen. Die Forschungen zur Imitation der natürlichen Intelligenz im Computer wurde von den US-amerikanischen Wissenschaftlern Artificial Intelligence – »Künstliche Intelligenz« – genannt. Wie kam es dazu? Davon erzählen die Geschichten in diesem Buch.

EI NL EI TU NG :

IN TE LL IG EN Z -
EI N

SC HI LL ER ND ER
BE GR IF F

Ich möchte, dass Sie diesen Text lesen, aber nicht nur das: Ich möchte, dass Sie ihn verstehen. Ich möchte, dass Sie beim Lesen auf ähnliche, wenn nicht die gleichen Gedanken kommen, die ich beim Schreiben hatte. Der Text dieses Buches, jedes Kapitel, jeder Abschnitt, jeder Satz und jedes Wort haben ihre Bedeutung. Während ich schrieb, habe ich versucht, das Gedachte in meiner Sprache auszudrücken. So ist der Text entstanden, den Sie nun lesen; er ist zwischen Buchdeckeln gespeichert und liegt bereit. Sie können in dem Buch lesen, wann immer Sie wollen, und werden sich Ihrerseits Gedanken machen, beim Lesen und vielleicht auch später. Ob ihre Gedanken dem ähneln, was ich mit diesem Text auszudrücken gedachte, ob Ihr gegenwärtiges Denken den von mir angestrebten Zweck erfüllt, das können wir beide nicht wissen. Die Gedanken sind frei.

Der Text in diesem Buch ist nicht mehr frei. Er ist unveränderlich, er ist zu etwas Starrem geronnen. Er ist so, wie ich ihn geschrieben habe und Sie ihn jetzt und in Zukunft lesen können. Er besteht aus schwarzen Partikeln auf Papier oder bestünde, wäre er ein E-Book, aus Nullen und Einsen im Speicher eines Computers, also in Systemen offener beziehungsweise geschlossener elektrischer Schaltkreise. So oder so besteht der Text aus Signalen oder Zeichen.

Seine Bedeutung ist kein materieller Bestandteil seiner Zeichen, und doch hege ich mit der Veröffentlichung dieses Buches gewisse Absichten: Ich hoffe, Ihnen damit nicht nur einen sich im Regal schön ausnehmenden Gegenstand und die darin

gedruckten Zeichen zu übermitteln, sondern vor allem auch deren Bedeutung mitzuteilen. Der Text soll für Sie Bedeutung haben, und diese soll der Bedeutung, die er für mich hat, möglichst nahekommen.

Die Übertragung von Zeichen von A nach B, von Autor zu Leser*in, von Sender zu Empfänger, wird Kommunikation genannt. Das lateinische Verb *communicare* bedeutet im Deutschen etwa »teilen, mitteilen, teilnehmen lassen«, und das lateinische Substantiv *communicatio* wird mit »Mitteilung« übersetzt. Um zu kommunizieren, müssen wir uns zumindest einiger Mittel bedienen, das lateinische Wort für »Mittel« ist *medium*, und ein Kommunikationsmedium ist die Sprache. Durch das vorliegende Buch kommunizieren wir miteinander mittels der deutschen Sprache – und zwar in ihrer schriftlichen Form. Die Sprachzeichen gelangen dabei als von mir über die Computertastatur ins Textverarbeitungssystem übertragene und dann später im Verlag gedruckte – und damit sowohl gespeicherte als auch übermittelte – Zeichen von mir zu Ihnen, vom Sender zur Empfänger*in. Für den Fall, dass es zu diesem Buch auch ein Hörbuch gibt, wären die sprachvermittelnden Zeichen elektronisch gespeicherte Laute, die durch die Luft zu Ihnen gelangen und so hörbar sind. Würde das Buch verfilmt, dann könnten Drehbuchautor*innen und Schauspieler*innen auch Möglichkeiten nutzen, neben verbalen Elementen non-verbale Kommunikation einzusetzen. Menschen gestikulieren und mimen in praktisch jeder Kommunikationssituation, und in besonderen Fällen werden dazu Verabredungen vonhaltungen oder Bewegungen von Körperteilen oder Gerätschaften festgelegt – zum Beispiel die Verwendung von Kellen oder Leuchtstäben beim Einwinken von Flugzeugen oder von Flag-

gencodes für Schiffe im Hafen oder von Gestik, Mimik, Mundbewegung und Körperhaltung im Falle der Gebärdensprache –, aber immer benutzen wir einen Code, das heißt eine Menge von Zeichen oder Symbolen, deren Sinn durch Verabredung zwischen Sender*in und Empfänger*in geklärt sein sollte.

Offenbar ist die Schrift sowohl Speicher- als auch Kommunikationsmedium, denn eine Speicherung ermöglicht die Kommunikation über Zeiträume hinweg, möglicherweise über sehr große Zeitspannen. Wir können heute noch in alten Büchern und auf Mauern, Statuen oder Gebäude gemeißelt oder in Sarkophage geritzt lesen, was aus der Antike oder späteren Zeiten auf uns kam, und manche heutige Autor*in schreibt nicht nur für Zeitgenossen, sondern auch für Leser*innen in weiter Ferne und /oder naher Zukunft. Neuere Speicher- und Kommunikationsmedien, die es erst seit dem 20. Jahrhundert gibt, sind Magnetband, Schallplatte, CD und DVD und heute alle Arten von Festplatten. Sie können nicht nur Ton-, sondern auch Bild- und Filmträger sein.

Anders als die Schrift beruhen die modernen Medien zur Speicherung beziehungsweise Kommunikation von Tönen auf Prinzipien der Elektrizitätslehre, die vor allem im 20. Jahrhundert zu großen Veränderungen unter anderem in der Unterhaltungsindustrie führten. Neben der auch als Kommunikation interpretierbaren Langzeitspeicherung ermöglichte die Wirkung des elektrischen Stroms aber auch die ganz flüchtige Kommunikation mithilfe technischer Medien, und dies zunächst bei der Telegrafie.

Telegrafieren – Fernschreiben –, etwas in die Ferne schreiben, jemanden, der sich irgendwo in der weiten Welt aufhält, über ein Ereignis informieren oder selbst von jemandem weit Ent-

fernten informiert werden, das konnte vielerlei Vorteile sichern, sogar Kriege entscheiden. Vor der elektrischen Telegrafie hatte man sich optischer und teilweise akustischer Nachrichtenübermittlung bedient, die aber große Nachteile bargen. Mit Rauch- oder Feuerfackelzeichen zu kommunizieren funktionierte bei Nacht besser als am Tag und am helllichten Tag besser als bei Regen, Nebel oder Schneetreiben. Seit dem ersten Jahrzehnt des 17. Jahrhunderts nutzte man zur Erkennung weit entfernter Gegenstände Fernrohre, und in den 1680er-Jahren experimentierte der englische Gelehrte Robert Hooke mit allerlei optischen Geräten: Mit dem Mikroskop studierte er Gewebe und benannte als Erster die biologische Zelle; mit dem Fernrohr beobachtete er den Jupiter und seine roten Flecken – und: »Mr Hooke read a discourse shewing a Way how to communicate one's Mind at great Distances«, verrät uns »The History of the Royal Society of London for Improving of Natural Knowledge...«, herausgegeben von deren damaligem Sekretär Thomas Birch.¹

Das englische Wort *mind* bedeutet »Geist, Intellekt«, manchmal wird es auch mit »Vernunft, Verstand, Bewusstsein« übersetzt. Webster's Dictionary gibt als erste Bedeutung *recollection, memory* an, was mit »Erinnerung« oder »Gedächtnis« übersetzt werden kann. »To communicate one's mind« bedeutete also, dass das von einem Menschen Gedachte, von ihm geistig Erfasste, einem anderen zu denken, geistig zu erfassen ermöglicht wird. In seinem »Discourset of the Royal Society« für den 21. Mai 1684 schrieb Hooke selbst, dass es möglich sei, Intelligenz von einer erhöhten Stelle zu einer anderen zu übertragen, die in Sichtweite liege.

Der von Birch benutzte Begriff *mind*, aber auch der von Hooke gewählte Begriff *intelligence* erscheinen uns heute als

ungewöhnliche Bezeichnungen für das zu Übertragende: Die miteinander korrespondierenden Partner (Männer!) sollen sich auf erhöhte und zueinander in Fernrohrsichtdistanz befindliche Stationen stellen. Zu verabredeten (Pendel-)Uhrzeiten sollen sie zueinander schauen, dann könne der eine die vom anderen gezeigten Zeichen (Buchstaben) sehen, aufschreiben und weitergeben. Zusätzlich würden Sonderzeichen benötigt, die besagen, dass man auf das nächste Zeichen warte, dass das letzte Zeichen nochmals gesendet werden solle, dass der Kommunikationspartner langsamer senden möge etc. Hooke entwarf auch ein erstes Alphabet für derartige »Sicht-Telegrafie«, indem er Punkte und Kommata unterschiedlich anordnete. Mit großem Optimismus hielt er die praktische Umsetzung seiner Erfindung für durchführbar und glaubte, »that the same Characters may be seen at Paris, within a Minute after it hath been exposed at London, and the like in proportion for greater Distances; and that the Characters may be exposed so quick after one another, that a Composer shall not much exceed the Exposer in Swiftness.«²

Wenn hier von der Idee gesprochen wurde, *intelligence* oder *mind* zu übertragen, dann waren Zeichen gemeint, mit deren Hilfe Nachrichten vom Sender zum Empfänger gelangen sollten: Buchstaben, Satzzeichen, Sonderzeichen. Weder Hooke noch Birch verwendeten wohl einen Gedanken darauf, dass diese Zeichen verschieden gedeutet, diese Nachrichten unterschiedlich verstanden werden und möglicherweise nicht vorhersehbare Aktionen auslösen könnten. Hooke hatte zwar Menschen im Sinn, wenn er an die Kommunikationspartner dachte, ihre geistigen Fähigkeiten spielten dabei aber wohl keine besondere Rolle. Ihren Verstand mussten sie in dem vorge-

stellten Setting jedenfalls nicht ausdrücklich bemühen. Den Kommunikationsverlauf stellte er so dar, als würde mit den Zeichen auch gleich deren Bedeutung transportiert, als gäbe es hier eindeutige Beziehungen und als könnte die Bedeutung einer aus mehreren Zeichen bestehenden Nachricht nur die Summe der Bedeutungen der Einzelnachrichten sein.

Wäre dies eine realistische Vorstellung davon, was bei der Kommunikation geschieht, dann wären intelligente Kommunikationspartner nicht vonnöten, denn alles, was zum Verstehen einer Nachricht gebraucht würde, wäre schon in den Zeichen enthalten, und Intelligenz und Verstand wären zwischen den Partnern übertragbar. Etwas zu verstehen wäre dann nicht von geistigen Fähigkeiten abhängig, und Intelligenz wäre keine den Menschen (und anderen Lebewesen) vorbehaltene Eigenschaft, sondern prinzipiell auf alle Systeme übertragbar, die Zeichen übertragen beziehungsweise austauschen können. Wäre, wäre, wäre – an der Wirklichkeit dieser Vorstellung darf wohl gezweifelt werden. Aber um die Bedenken zu begründen, werden Argumente und Belege gebraucht. Mit diesem Buch werde ich zeigen, dass die obige Vorstellung absurd ist, dass Intelligenz nicht technisch übertragen werden kann und dass technische Systeme nicht in dem Sinne wie wir Menschen intelligent sein können.