

Christian Posthoff

# Computer und Künstliche Intelligenz

Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

SACHBUCH



Springer Vieweg



# Computer und Künstliche Intelligenz

---

Christian Posthoff

# Computer und Künstliche Intelligenz

Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft

Christian Posthoff  
Chemnitz, Deutschland

ISBN 978-3-658-37767-0      ISBN 978-3-658-37768-7 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-37768-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Petra Steinmueller

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

## Danksagung

Während der langen Tätigkeit an Universitäten und Hochschulen ist man natürlich vielen Leuten dankbar, mit denen man in unterschiedlicher Art und Weise zusammengearbeitet hat. Eine lange Liste von Namen würde aber die Gefahr in sich bergen, dass man jemand vergisst. Deshalb möchte ich an dieser Stelle nur die Zusammenarbeit mit Professor Bernd Steinbach (Abb. 1) betonen, mit dem ich über einen Zeitraum von 40 Jahren hinweg zusammengearbeitet habe. Mit ihm habe ich viele Probleme bis zum letzten Komma diskutiert. Er ist ein kreativer Diskussionspartner, er verfeinert jeden Algorithmus und setzt ihn erfindungsreich um. Ohne ihn hätte es nur die Theorie gegeben, die praktischen Ergebnisse sind allein ihm zu verdanken.

**Abb. 1** Professor Dr. Bernd Steinbach



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	5
<b>3</b>	<b>Wie definiert man Intelligenz?</b> .....	9
3.1	Unterschiedliche Konzepte für die Definition von Intelligenz .....	9
3.2	Intelligenztests .....	15
<b>4</b>	<b>Die historische Entwicklung</b> .....	17
4.1	Die Anfänge .....	17
4.2	Die Dartmouth-Konferenz .....	25
4.3	Algorithmen und Programmiersprachen .....	26
4.3.1	Die 1930er- und 1940er-Jahre: Logische Kalküle .....	27
4.3.2	Die 1950er-Jahre: Erste moderne Programmiersprachen .....	28
4.3.3	Die 1960er- und 1970er-Jahre: Entwicklung neuer Paradigmen .....	29
4.3.4	Objektorientierte Programmierung .....	30
4.3.5	Die 1980er-Jahre .....	31
4.3.6	Die weitere Entwicklung .....	32
4.4	Die Turing-Maschine .....	33
4.5	Die ersten Computer – der Turing-Test – die Einzelband- Turing-Maschine .....	34
4.6	LaTeX .....	37
4.7	Die Entwicklung der Computer .....	39
<b>5</b>	<b>Mathematik auf dem Computer</b> .....	43
5.1	Microsoft Mathematics .....	44
5.2	Mathematica .....	45
5.3	Maple .....	46

<b>6</b>	<b>Polynomiale und exponentielle Komplexität</b> . . . . .	51
6.1	Einführende Betrachtungen . . . . .	51
6.2	Mathematische Beschreibungen der Komplexität . . . . .	54
6.3	Erfüllbarkeitsprobleme. . . . .	57
6.4	Das Auffinden von Widersprüchen – Inkonsistenzbeweise . . . . .	58
6.5	Probleme aus der Kombinatorik. . . . .	59
6.6	Färbungsprobleme . . . . .	62
<b>7</b>	<b>Spieltheorie, Kybernetik und Informationstheorie</b> . . . . .	67
7.1	Spieltheorie . . . . .	67
7.2	Kybernetik . . . . .	68
7.3	Informationstheorie . . . . .	71
<b>8</b>	<b>Maschinelles Lernen und neuronale Netze</b> . . . . .	73
8.1	Neuronale Netze. . . . .	73
8.2	AlphaZero gewinnt bei Schach, Go und Shogi . . . . .	81
8.3	Übersetzung zwischen verschiedenen Sprachen . . . . .	82
<b>9</b>	<b>Weitere Anwendungen</b> . . . . .	87
9.1	Datenbanken. . . . .	87
9.2	Handel über das Internet . . . . .	90
9.3	Big Data . . . . .	95
9.4	Die Rolle der Simulation . . . . .	111
<b>10</b>	<b>Digitalisierung</b> . . . . .	121
10.1	Die Grundlagen der Digitalisierung . . . . .	122
10.2	Einige Anwendungen . . . . .	124
<b>11</b>	<b>Bildverarbeitung</b> . . . . .	131
11.1	Die Vorhersage von Erdbeben . . . . .	131
11.2	Tumore, Alzheimer, Herzkrankheiten . . . . .	133
11.3	Erkennung von Viren . . . . .	136
11.4	Medizinische Anwendungen . . . . .	137
11.5	Weitere Anwendungen . . . . .	140
11.6	Die Grundlagen der Bildverarbeitung . . . . .	141
11.7	Die Bearbeitung von Bildern . . . . .	144
<b>12</b>	<b>Robotik</b> . . . . .	157
12.1	Roboter in der Chirurgie . . . . .	171
12.2	Roboter helfen in der Pflege. . . . .	173
12.3	Weitere interessante Anwendungen . . . . .	174
<b>13</b>	<b>Künstliche Intelligenz in der Finanzwirtschaft</b> . . . . .	181

---

<b>14 Künstliche Intelligenz und Ausbildung</b> .....	191
14.1 Die Ausbildung von KI-Fachleuten .....	191
14.2 Die Anwendung der Künstlichen Intelligenz in der Ausbildung .....	193
<b>15 Künstliche Intelligenz in der Kunst</b> .....	197
15.1 Künstliche Intelligenz und Musik .....	197
15.2 Künstliche Intelligenz und Architektur .....	199
<b>16 Künstliche Intelligenz im Rechtswesen</b> .....	203
<b>17 Zukünftige Entwicklungen</b> .....	213
<b>Literatur</b> .....	221
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	225



---

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Der Zeiss-Rechenautomat ZRA 1 . . . . .	2
Abb. 2.1	Die Leistungsfähigkeit der Computer nimmt ständig zu . . . . .	6
Abb. 2.2	Es wird eine Analogie zwischen Computer und Gehirn dargestellt. . . . .	6
Abb. 3.1	Die Masse von Tieren sichert das Überleben der meisten . . . . .	12
Abb. 3.2	Schwarmverhalten . . . . .	12
Abb. 3.3	Intelligenztest – wie viel Tiere kann man sehen? . . . . .	15
Abb. 4.1	Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) . . . . .	18
Abb. 4.2	Der Brief, in dem das Dualsystem beschrieben wird. . . . .	19
Abb. 4.3	George Boole (1815–1864) . . . . .	20
Abb. 4.4	Eine Additionsschaltung für vier Bits . . . . .	22
Abb. 4.5	Claude Shannon (1916–2001) . . . . .	23
Abb. 4.6	Eine Parallelschaltung realisiert die Disjunktion $y = a \vee b$ . . . . .	23
Abb. 4.7	Eine Reihenschaltung realisiert die Konjunktion $y = a \wedge b$ . . . . .	24
Abb. 4.8	Die Dartmouth-Konferenz 1955 . . . . .	25
Abb. 4.9	Ein Jacquard-Webstuhl, der mit Lochkarten gesteuert wird . . . . .	27
Abb. 4.10	Konrad Zuse (1910–1995) . . . . .	28
Abb. 4.11	Eine japanische Tastatur. . . . .	29
Abb. 4.12	Niklaus Wirth (* 1934) . . . . .	31
Abb. 4.13	ENIGMA – das zur Code-Entschlüsselung benutzte Gerät. . . . .	34
Abb. 4.14	Alan Turing (1912–1954). . . . .	35
Abb. 4.15	Eine Einzelband-Turing-Maschine . . . . .	36
Abb. 4.16	Ein kurzer LaTeX-Text . . . . .	39
Abb. 4.17	Das Moore'sche Gesetz für Supercomputer. . . . .	40
Abb. 4.18	Ein Supercomputer mit vielen parallel arbeitenden Prozessoren. . . . .	40
Abb. 5.1	Ein mechanischer Rechner aus den 1960er-Jahren . . . . .	43
Abb. 5.2	Der Arbeitsbildschirm von Microsoft Mathematics. . . . .	44
Abb. 5.3	In diesem Bild wird der Goldene Schnitt verwendet. . . . .	45
Abb. 5.4	Mathematica. . . . .	46
Abb. 5.5	Maple . . . . .	47
Abb. 6.1	Der Schmetterlingseffekt . . . . .	52

Abb. 6.2	Der Lorenz-Attraktor . . . . .	53
Abb. 6.3	Lineare, exponentielle und logarithmische Komplexität . . . . .	55
Abb. 6.4	Miniaturisierung der Schaltkreise . . . . .	57
Abb. 6.5	Exponentielle Komplexität eines Stammbaums. . . . .	57
Abb. 6.6	David Hilbert (1862–1943) . . . . .	59
Abb. 6.7	Vier Damen auf einem kleinen Schachbrett, die sich nicht gegenseitig bedrohen . . . . .	60
Abb. 6.8	Acht Damen auf einem Schachbrett $8 \times 8$ . . . . .	61
Abb. 6.9	Neun Damen und ein Bauer – zehn Damen und zwei Bauern. . . . .	62
Abb. 6.10	Zu untersuchen ist die Folge $1 - 2 - 3 - 4 - 1$ . . . . .	63
Abb. 6.11	Eine Lösung für die Matrix $18 \times 18$ . . . . .	64
Abb. 6.12	Es gibt viele verschiedene Rundreisen durch die gleichen Städte. . . . .	65
Abb. 6.13	Das Königsberger Brückenproblem. . . . .	65
Abb. 7.1	John von Neumann (1903–1957). . . . .	68
Abb. 7.2	Norbert Wiener (1894–1964). . . . .	69
Abb. 7.3	Eine hoher Wert von $p$ ergibt eine geringe Information. . . . .	71
Abb. 8.1	Warren McCulloch (1898–1969) . . . . .	74
Abb. 8.2	Walter Pitts (1923–1969) . . . . .	74
Abb. 8.3	Eine mögliche Struktur eines Perzeptrons . . . . .	76
Abb. 8.4	Frank Rosenblatt (1928–1971). . . . .	77
Abb. 8.5	Ein Perzeptronennetz . . . . .	77
Abb. 8.6	Ein Ausschnitt aus einem Neuronennetz . . . . .	78
Abb. 8.7	Korrektur der Gewichte von rechts nach links. . . . .	79
Abb. 8.8	Die Architektur eines tiefen CNN . . . . .	80
Abb. 8.9	Computer contra Go-Weltmeister . . . . .	81
Abb. 8.10	Eine Übersetzung ins Japanische . . . . .	84
Abb. 8.11	Eine Übersetzung ins Chinesische . . . . .	84
Abb. 9.1	Die erste Briefmarke von Britisch-Guyana . . . . .	89
Abb. 9.2	Alle erreichbaren Daten werden gespeichert . . . . .	96
Abb. 9.3	Eine Welle von Erwärmung und Abkühlung . . . . .	115
Abb. 10.1	Eine Digitalkamera der Firma Sony. . . . .	121
Abb. 10.2	Ein Museum für digitale Kunst in Tokio . . . . .	126
Abb. 10.3	Gravitationswellen . . . . .	126
Abb. 10.4	Auch in der Landwirtschaft ändert sich das Berufsbild. . . . .	128
Abb. 10.5	Das Bildungswesen der Zukunft?!. . . . .	129
Abb. 11.1	Erdbeben der Stärke 3,6 in der Schweiz . . . . .	133
Abb. 11.2	Magnetresonanztomographie. . . . .	134
Abb. 11.3	Innere Organe des Menschen. . . . .	138
Abb. 11.4	Steuerung des Straßenverkehrs . . . . .	141
Abb. 11.5	Ein typisches Pixelbild. . . . .	142
Abb. 11.6	Eine Schwarz-Weiß-Darstellung . . . . .	143
Abb. 11.7	Die Verwendung von Farben mit dem Wert 30 . . . . .	144

---

Abb. 11.8	Die Erhöhung der Farbwerte auf 60. ....	144
Abb. 11.9	Die Erhöhung der Farbwerte auf 90. ....	145
Abb. 11.10	Schräg unten befindet sich ein anamorphes Bild des Stehenden. ....	148
Abb. 11.11	Monstrositäten. ....	150
Abb. 11.12	Das Mae West Lips Sofa. ....	151
Abb. 11.13	Eine unmögliche geometrische Konstruktion. ....	151
Abb. 11.14	Verzerrungen in allen Richtungen. ....	152
Abb. 11.15	Eine im Bild versteckte Nachricht. ....	153
Abb. 11.16	Pablo Picasso: Die einsame kauernde Nackte. ....	154
Abb. 11.17	Ein Bild im Stil von Modigliani (1884–1920). ....	155
Abb. 12.1	Eine Wasserorgel aus der Antike. ....	158
Abb. 12.2	Eine Drohne. ....	159
Abb. 12.3	Star Trek. ....	170
Abb. 12.4	Ein gesunder und ein von Krebs befallener Lungenflügel. ....	175
Abb. 12.5	Schwarzer Hautkrebs. ....	178
Abb. 13.1	Diese Informationen bzgl. des DAX werden in Echtzeit angeboten. ....	185
Abb. 13.2	Benoît Mandelbrot (1924–2010). ....	185
Abb. 13.3	Mittlere Trendlängen. ....	187
Abb. 14.1	Die 3D-Nachbildung einer Hand. ....	194
Abb. 14.2	Komplizierte Formen machen keine Schwierigkeiten. ....	195
Abb. 15.1	Die Architektur der Zukunft. ....	200
Abb. 17.1	Der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt. ....	216

---

## Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1	Konjunktion und Disjunktion .....	21
Tab. 4.2	Antivalenz and Äquivalenz .....	21
Tab. 4.3	Negation.....	22
Tab. 6.1	Implikation.....	58
Tab. 6.2	Lösungsraum für das Problem mit vier Damen.....	61
Tab. 9.1	Pearson'sche Rangkorrelation für Laufzeit und Alter .....	98
Tab. 10.1	Beispiele für die Nutzung des Unicodes .....	123



Am Ende der Arbeit an einem solchen Manuskript stellt man sich die Frage, wann und warum man auf die Idee gekommen ist, ein solches Buch zu schreiben. Der unmittelbare Anlass war die Einladung zu einer Tagung

„Was war Künstliche Intelligenz? Konturen eines Forschungsfeldes 1975–2000 in Deutschland“

am Lehrstuhl für Medientheorien der Humboldt-Universität zu Berlin im Medientheater, Georgenstraße 47, 10117 Berlin.

Ich wurde eingeladen, über die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz in der DDR zu sprechen, was den Anlass gab, den Zeitraum von 1975 bis heute zu überblicken. Zuerst kam ich mit diesem Gebiet als Student in Berührung. Ich studierte am Mathematischen Institut der Karl – Marx – Universität Leipzig und war seit meiner Schulzeit ein aktiver Schachspieler. In den beiden letzten Studienjahren gab es die ersten Vorlesungen zur Programmierung und ein Praktikum am ZRA 1 (Zeiss – Rechenautomat), der in Jena gebaut wurde (siehe Abb. 1.1).

Es lag deshalb nahe zu probieren, ob man mit Hilfe eines Programms vernünftige Züge auf dem Schachbrett zustande bekommt. Das Programm verwendete eine Suchtiefe von vier Zügen, und damit kann man bei Positionen, die nicht sehr verzwickelt sind, schon etwas anfangen.

Der nächste Schritt, die Promotion, wies schon 1976 auf ein Problem hin, das es noch heute gibt, nämlich die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Der Titel der Arbeit weist schon darauf hin: „Die Anwendung mathematischer Methoden in der Kommunikativen Psychotherapie“. Die Mathematiker sagten, dass nichts Neues für die Mathematik herausgekommen ist, die Mediziner meinten, Dr. med. kann er nicht werden. Nach zwei Jahren des Herumirrens zwischen den Fakultäten und Dekanen hat dann schließlich der Rektor eine positive Entscheidung getroffen, und das Verfahren wurde durchgeführt.

Nach dem Studium habe ich dann vier Jahre als Programmierer und in der Operationsforschung gearbeitet und 1972 an der TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Informationstechnik, als Assistent angefangen. Hier wurde die Boolesche Algebra das wesentliche

**Abb. 1.1** Der  
Zeiss-Rechenautomat ZRA 1



Forschungsgebiet; sie wird ja ganz wesentlich beim Entwurf von Schaltkreisen verwendet, spielt aber auch in der Künstlichen Intelligenz eine wichtige Rolle.

1982 wurde dann an der TU Karl-Marx-Stadt (heute Chemnitz) die Sektion Informatik gegründet mit einem Lehrstuhl „Theoretische Informatik und Künstliche Intelligenz“, den ich von 1983 bis 1993 innehatte. Zuerst kam es natürlich darauf an, die Lehre für die fünf Studienjahre bis zum Diplom zu sichern. Es musste jede geplante Vorlesung neu ausgearbeitet werden. Die Forschungsarbeiten führten aber ab 1986 zu guten Ergebnissen. Ab 1988 war der Aufbau im Wesentlichen abgeschlossen; alles, was zu einem normalen Universitätsalltag gehört, also Vorlesungen, Diplomarbeiten, Promotionen und Habilitationen, war vorhanden.

1993 wurde das Hochschulleben in den neuen Bundesländern umstrukturiert. Ich wechselte aber zur „University of The West Indies in Trinidad & Tobago“.

Hier war die gleiche Reihenfolge einzuhalten. Die Lehre wurde zu einem vollwertigen Studiengang (Bachelor, Master, Ph. D.) entwickelt, und danach konnte ich mich weiter mit den Problemen der Künstlichen Intelligenz beschäftigen. Es existierte schon eine Forschungsgruppe „Medizinische Physik“, der ich mich anschloss und um das Spektrum „Computer Science – Artificial Intelligence“ erweiterte.

Eine wichtige Erkenntnis war ein juristisches System für das Familienrecht, das Teil des „Common Law“ ist, ein in vielen englischsprachigen Ländern vorherrschender Rechtskreis, der sich nicht nur auf Gesetze, sondern auch auf maßgebliche richterliche Urteile der Vergangenheit – sogenannte Präzedenzfälle – stützt (Fallrecht) und durch richterliche Auslegung weitergebildet wird (Richterrecht). In dieser Bedeutung bildet es den Gegensatz zum sogenannten „Civil Law“ der kontinentaleuropäischen Länder. Civil Law basiert auf kodifiziertem Recht der jeweiligen Gesetzgeber. Richterrecht spielt dort eine lediglich untergeordnete Rolle [21].

---

Der Schwerpunkt dieser Arbeiten war die Modellierung der Ähnlichkeit der Fälle. Wenn sich die Fälle nicht sehr unterschieden, durfte auch das neue Urteil nicht sehr von früheren Urteilen abweichen. Das geschaffene System funktionierte zur Zufriedenheit des Justizministeriums, wurde aber von den Anwälten nicht verwendet. Wahrscheinlich war ihnen die Verwendung von Computern zu ungewohnt.

Auf der Grundlage meiner fast fünfzigjährigen Tätigkeit auf diesem Gebiet kam ich dann zu dem Entschluss darzustellen, was aus diesen Anfängen insgesamt geworden ist, in einer populärwissenschaftlichen Art und Weise, die zu einem breiteren Verständnis dieses Wissenschaftsgebietes führen soll. Leider ist es so, dass die Medien auf der einen Seite Visionen über ein entstehendes Paradies verbreiten; als Gegenstück dazu werden Katastrophen heraufbeschworen, die bis zur Vernichtung der Menschheit führen sollen.



Die digitale Revolution führt zu gewaltigen Entwicklungen auf allen Gebieten von Wissenschaft und Technik und wird das Leben aller Menschen in den nächsten Jahrzehnten weiter ganz wesentlich verändern. Künstliche Intelligenz wird die wirtschaftlichen und sozialen Transformationen, die durch die erste Welle der Digitalisierung bereits angestoßen wurden, noch verstärken. Es sind große Chancen vorhanden, aber es zeichnen sich auch Risiken ab, die sicher nicht zu unterschätzen sind.

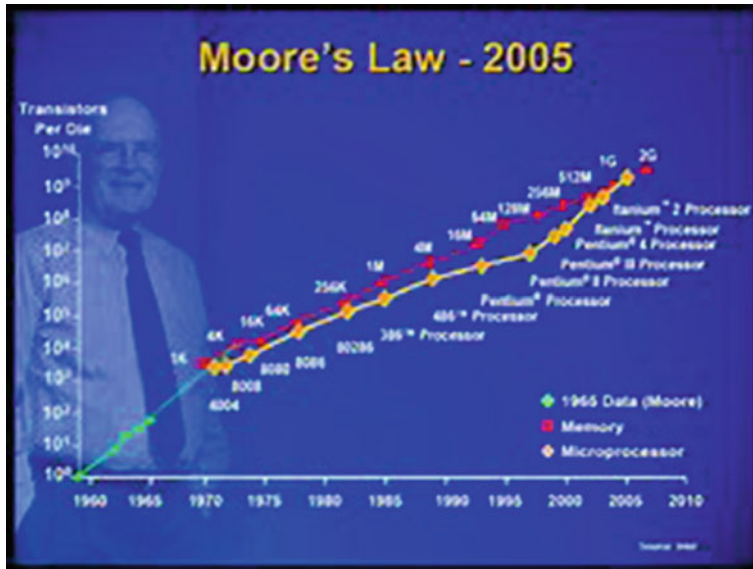
Gegenwärtig kann man sehen, dass sich die Arbeitsgeschwindigkeit von Computern ständig erhöht. Gordon Moore (\* 1929) veröffentlichte 1965 einen Artikel, in dem er den heute „Moore'sches Gesetz“ genannten Zusammenhang für die vorhergehenden Jahre feststellte (Abb. 2.1). Er beschrieb anhand der damals vorliegenden Daten einen Zusammenhang zwischen der Zeit und der Anzahl der elektronischen Bauteile einer integrierten Schaltung; er nahm eine jährliche Verdopplung an und stellte die Frage, was wäre, wenn es die nächsten zehn Jahre so weiterginge. Das Gesetz wurde später geringfügig korrigiert; man geht gegenwärtig von einer Verdopplung nach achtzehn Monaten aus.

In den letzten zwanzig bis dreißig Jahren hat die Diskussion um Künstliche Diskussion an Breite und an Tiefe zugenommen. Es gibt dafür mehrere Gründe: Zum Ersten gibt es derart überraschende und weitreichende Ergebnisse, die in Wissenschaft und Technik, aber auch im Alltag viele Dinge grundlegend verändern. Das hängt im Wesentlichen damit zusammen, dass die Arbeitsgeschwindigkeit der Computer gewaltig zugenommen hat. Die Größe und die Menge der zur Verfügung stehenden Speichermedien erreicht astronomische Größenordnungen. Viele Probleme waren mathematisch schon seit längerer Zeit modelliert oder sogar im Prinzip gelöst, sie waren aber bisher nicht berechenbar, was eine Anwendung ausschloss. Das hat sich jetzt ganz wesentlich geändert, und die Möglichkeiten erweitern sich fast täglich (siehe Abb. 2.2).

Wir nehmen als Beispiel den Wettbewerb um die größte Primzahl. Im Internet kann man lesen, dass die Zahl

$$M_{82589933} = 2^{82589933} - 1$$

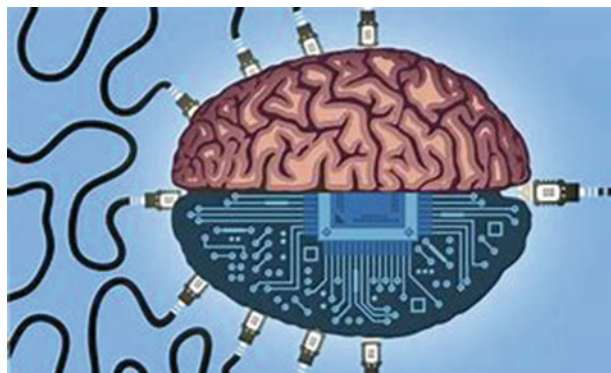




**Abb. 2.1** Die Leistungsfähigkeit der Computer nimmt ständig zu

(wahrscheinlich) eine Primzahl ist, die größte bisher gefundene Primzahl. Ausgeschrieben hätte sie über 24 Mio. Dezimalstellen. Gefunden wurde die Zahl von einem Teilnehmer des Projektes *GIMPS* (*Great Internet Mersenne Prime Search*), einem Netzwerk, bei dem eine Vielzahl von Teilnehmern auf verteilten Rechnern nach sogenannten *Mersenne-Primzahlen* suchen. Diese Mersenne-Zahlen haben die Form  $2^n - 1$  und sind nach dem französischen Mathematiker *Marin Mersenne* (1588–1648) benannt. Bis 1947 waren die Zahlen  $p_1 = 2^2 - 1 = 3$ ,  $p_2 = 2^3 - 1 = 7$ ,  $p_3 = 2^5 - 1 = 31$  und  $p_4 = 2^7 - 1 = 127$  als Mersenne'sche Primzahlen bekannt.

**Abb. 2.2** Es wird eine Analogie zwischen Computer und Gehirn dargestellt



Dann begann man, Computer zu verwenden, und der oben angegebene Rekord zeigt, welche Lücke durch die Computer geschlossen werden konnte. Für den Menschen ist es unmöglich, einen solchen Wert zu überprüfen, die Akzeptanz einer solchen Lösung wird zur Glaubens- oder Vertrauensfrage. Man muss sowohl dem Programmierer als auch dem Elektroniker vertrauen, und es darf während der Berechnungen kein Fehlverhalten irgendeines Schaltkreises auftreten. Diese Situation, dass man Ergebnisse nicht überprüfen kann, werden wir noch sehr oft antreffen.

Dass die Technik die Leistungen des Menschen übertrifft, ist nicht neu. Diese Probleme werden jetzt vor allem deshalb so heftig diskutiert, weil die Leistungen der Computer jetzt in Gebieten eine Rolle spielen, die bisher ausschließlich den Menschen, ihrer Kreativität und ihrer Intelligenz vorbehalten waren. Die Intelligenz des Menschen wird immer mehr durch Computer unterstützt oder überhaupt nur mit deren Hilfe wirksam, was schließlich den Namen „Künstliche Intelligenz“ hervorbrachte.

Es ist wohl ganz selbstverständlich, dass in diesem Buch keine Vollständigkeit erreicht werden kann, dazu ist dieses Gebiet schon viel zu breit. Die Forschungsgebiete am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz zeigen das sehr eindrucksvoll:

- Smarte Daten und Wissensdienste
- KI in der medizinischen Bildverarbeitung
- Cyber-Physical Systems
- Planbasierte Robotersteuerung
- Interaktive Textilien
- Robotics Innovation Center
- Institut für Wirtschaftsinformatik
- Kognitive Assistenzsysteme
- Institute for Information Systems
- Eingebettete Intelligenz
- Smart Service Engineering
- Intelligente Analytik für Massendaten
- KI in der biomedizinischen Signalverarbeitung
- Speech and Language Technology
- Stochastische Relationale KI im Gesundheitswesen
- Educational Technology Lab
- Innovative Fabrikssysteme
- Intelligente Netze
- Agenten und Simulierte Realität
- Interaktives Maschinelles Lernen
- Erweiterte Realität
- Smart Enterprise Engineering
- Sprachtechnologie und Multilingualität
- Marine Perception

Und das ist nur der Standort in Kaiserslautern. Weitere Standorte befinden sich in Berlin, in Bremen, in Osnabrück/Oldenburg, in Saarbrücken und in Lübeck. Dort sind weitere Forschungsgebiete vertreten, und in anderen Ländern findet man natürlich auch viele weitere leistungsfähige Forschungszentren.

Zusätzlich erschwert wird die Darstellung dadurch, dass sich viele Gebiete überlappen und zusammenwirken. Gerade diese Kooperation ist ein wesentliches Merkmal der Künstlichen Intelligenz. Das Buch bemüht sich, Grundkenntnisse zu vermitteln, die die Diskussionen versachlichen und etwas von den Gruselszenarien utopischer Filme abbauen. Es muss auch verstanden werden, dass Forschungsergebnisse eine notwendige Bedingung für den Fortschritt sind; hinreichend sind sie erst dann, wenn sie in Programme eingebettet in die Praxis überführt werden können. Dieses schwierige Verhältnis zwischen Theorie und Praxis ist schon lange bekannt.

*„Theorie ist Wissen, das nicht funktioniert. Praxis ist, wenn alles funktioniert und man nicht weiß warum.“ Hermann Hesse (1877–1962)*

Man sieht an der Struktur des DFKI und anderer ähnlicher Institutionen eine ganz hervorragende Eigenschaft der Forschungsergebnisse: Ein leistungsfähiges System kann sofort der ganzen Menschheit zur Verfügung gestellt werden. Dieses Buch soll den Leser auch befähigen, die Gebiete auszuwählen, deren Kenntnis notwendig oder wünschenswert sind, um seine speziellen Probleme zu lösen.



# Wie definiert man Intelligenz?

# 3

## 3.1 Unterschiedliche Konzepte für die Definition von Intelligenz

Intelligenz wurde in vielerlei Hinsicht definiert als die Fähigkeit:

- zum logischen oder kritischen Denken,
- zur Erfassung des Sinnes von etwas,
- zur Akzeptanz von Sachverhalten und Personen,
- zur Selbstwahrnehmung,
- zum Lernen,
- zum emotionalen Wissen,
- zur Argumentation,
- zur Planung,
- zur Kreativität,
- zur Problemlösung.

Intelligenz wird am häufigsten bei Menschen untersucht, wurde aber auch bei Tieren und bei Pflanzen beobachtet, obwohl umstritten ist, ob einige dieser Lebensformen Intelligenz aufweisen. Intelligenz kann man auch im Verhalten von Computern oder anderen Maschinen sehen, dann wird sie als *Künstliche Intelligenz* bezeichnet.

In der Psychologie ist Intelligenz ein Sammelbegriff für kognitive oder geistige Leistungen. Der Begriff bezieht sich in erster Linie auf die Fähigkeit, die Gesamtheit der unterschiedlich ausgeprägten kognitiven Fähigkeiten zur Lösung eines logischen, sprachlichen, mathematischen oder sinnorientierten Problems einzusetzen. Da die einzelnen kognitiven Fähigkeiten unterschiedlich stark ausgeprägt sein können und keine Einigkeit darüber besteht, wie sie zu bestimmen und zu unterscheiden sind, gibt es keine allgemeingültige Definition von Intelligenz.

Die allgemeine Psychologie, die differentielle Psychologie und die Neuropsychologie befassen sich alle mit der Intelligenz. Die Erforschung der Intelligenz im Bereich der allgemeinen Psychologie unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung wird heute oft als kognitive Psychologie bezeichnet. Diese wiederum stützt sich auf Methoden und Erkenntnisse der Hirnforschung, der Entwicklungspsychologie und zunehmend auch der Künstlichen Intelligenz.

- Individuen unterscheiden sich voneinander in ihrer Fähigkeit, komplexe Ideen zu verstehen, sich effektiv an die Umwelt anzupassen, aus Erfahrungen zu lernen, verschiedene Formen des Denkens anzuwenden und Hindernisse durch Nachdenken zu überwinden. Obwohl diese individuellen Unterschiede beträchtlich sein können, sind sie nie völlig einheitlich. Die intellektuelle Leistung einer Person variiert bei verschiedenen Gelegenheiten, in verschiedenen Bereichen und wird nach verschiedenen Kriterien beurteilt. Konzepte der „Intelligenz“ sind Versuche, diese komplexen Phänomene zu erklären und zu organisieren. Obwohl in einigen Bereichen beträchtliche Klarheit erreicht wurde, hat noch keine dieser Konzeptualisierungen alle wichtigen Fragen beantwortet, und keine findet allgemeine Zustimmung.

- **Menschliche Intelligenz**

Menschliche Intelligenz ist die intellektuelle Leistung des Menschen, die durch komplexe kognitive Leistungen und ein hohes Maß an Motivation und Selbstbewusstsein gekennzeichnet ist. Intelligenz ermöglicht es dem Menschen, sich an Beschreibungen von Dingen zu erinnern und diese Beschreibungen für künftige Verhaltensweisen zu nutzen. Sie ist ein kognitiver Prozess. Sie verleiht dem Menschen die kognitiven Fähigkeiten zu lernen, Konzepte zu bilden, zu verstehen und zu argumentieren, einschließlich der Fähigkeit, Muster zu erkennen, innovativ zu sein, zu planen, Probleme zu lösen und Sprache zur Kommunikation einzusetzen. Intelligenz ermöglicht es dem Menschen, Erfahrungen zu machen und zu denken.

Intelligenz ist etwas anderes als Lernen. Lernen bezieht sich auf den Akt des Behaltens von Fakten und Informationen oder Fähigkeiten und auf die Fähigkeit, sie für zukünftige Zwecke abzurufen, während Intelligenz die kognitive Fähigkeit einer Person ist, diese und andere Prozesse durchzuführen. Es hat verschiedene Versuche gegeben, Intelligenz durch Tests zu quantifizieren und aufgrund der Ergebnisse des Tests einen Intelligenz-Quotienten (IQ) zu berechnen.

Es ist umstritten, ob die menschliche Intelligenz auf vererbten Faktoren oder auf Umweltfaktoren beruht. Vererbte Intelligenz ist die Theorie, dass die Intelligenz bei der Geburt festgelegt ist und nicht wachsen kann. Umweltbedingte Intelligenz ist die Theorie, dass sich die Intelligenz im Laufe des Lebens in Abhängigkeit von der Umgebung der Person entwickelt. Ein Umfeld, das die Intelligenz kultiviert, fordert die kognitiven Fähigkeiten der Person heraus.

- Emotionale Intelligenz

Emotionale Intelligenz ist die Fähigkeit, anderen auf verständliche Weise Emotionen zu vermitteln und die Emotionen anderer genau zu lesen. Einige Theorien besagen, dass eine höhere emotionale Intelligenz neben der Genauigkeit auch zu einer schnelleren Erzeugung und Verarbeitung von Emotionen führen könnte. Außerdem geht man davon aus, dass eine höhere emotionale Intelligenz uns hilft, unsere Emotionen zu steuern, was sich positiv auf unsere Problemlösungsfähigkeiten auswirkt. Emotionale Intelligenz ist wichtig für unsere geistige Gesundheit und hat Verbindungen zur sozialen Intelligenz.

- Soziale Intelligenz

Soziale Intelligenz ist die Fähigkeit, die sozialen Signale und Motivationen anderer und der eigenen Person in sozialen Situationen zu verstehen. Man geht davon aus, dass sie sich von anderen Arten der Intelligenz unterscheidet, aber Beziehungen zur emotionalen Intelligenz aufweist. Die soziale Intelligenz hat sich mit anderen Studien überschritten, die sich damit befassen, wie wir andere beurteilen, mit welcher Genauigkeit wir dies tun und warum Menschen als Menschen mit positivem oder negativem sozialen Charakter angesehen werden. Es ist umstritten, ob diese Studien und die soziale Intelligenz auf denselben Theorien beruhen oder ob es einen Unterschied zwischen ihnen gibt, und man geht allgemein davon aus, dass es sich um zwei verschiedene Denkschulen handelt.

- Kollektive Intelligenz

Das Konzept der Kollektiven Intelligenz (Schwarm-Intelligenz) geht davon aus, dass größere Mengen von Individuen mit gleichartigen Zielen imstande sind, bestimmte Ziele tatsächlich zu erreichen.

Die Individuen, die Ursache des Phänomens Kollektive Intelligenz sind, werden gewissermaßen auf die Stufe von Ameisen gestellt, die ein sehr begrenztes Verhaltens- und Reaktionsrepertoire besitzen. In der Tierwelt ist diese Schwarm-Intelligenz dazu geeignet, in einer feindlichen Umwelt das Überleben des größten Teils der Individuen zu sichern. An der Grenze zwischen Tansania und Kenia versammeln sich zu bestimmten Zeiten viele Gnus, um einen Fluss zu überqueren. Die dort vorhandenen Krokodile können zwar einige Gnus fangen und fressen, aber der größte Teil überquert den Fluss ohne Probleme (Abb. 3.1).

Beim Schwarmverhalten, auch als Herdenverhalten bezeichnet, gibt es keine zentrale Steuerung für die einzelnen Individuen. Auf Finanzmärkten neigen Anleger manchmal dazu, sich in ihren Kauf- und Verkaufsentscheidungen wie eine Herde zu verhalten und mehrheitlich in ein Handelsobjekt zu investieren bzw. zu desinvestieren. Herdenverhalten ist eine Ausprägung massenpsychologischer Contagion-Effekte und kann somit eine Ursache für Finanzmarktkrisen oder Wirtschaftskrisen sein. Auch Hamsterkäufe zeigen Herdenverhalten wie vor Naturkatastrophen oder während der Covid-19-Pandemie ab März 2020, als es in deutschen Läden Regallücken bei bestimmten Waren (beispielsweise Mehl, Nudeln, Toilettenpapier) gab (Abb. 3.2).

Dem Herdenverhalten können verschiedene massenpsychologische oder marktpsychologische Ursachen zugrunde liegen. Der Verbraucher kann von der Furcht getrieben sein,



**Abb. 3.1** Die Masse von Tieren sichert das Überleben der meisten

**Abb. 3.2** Schwarmverhalten



angesichts von Regallücken seinen Bedarf nicht decken zu können, wenn er nicht sofort kauft. Auch die Erwartung eines Verbrauchers, dass andere Verbraucher nach ihm auch hamstern werden, drängt ihn zu Hamsterkäufen. Ebenfalls seine Befürchtung, dass es künftig zu Lieferengpässen kommen könnte, zwingt ihn zu nicht bedarfsgerechten Kaufentscheidungen. Zuweilen werden auch Ohnmachtsgefühle der Verbraucher als Ursache gesehen. Das Verhalten ist irrational, zumal Nahrungs- und Genussmittel oder Toilettenpapier als Massenprodukte jederzeit reproduzierbar sind. In Frankreich und Italien ist von Hamsterkäufen unter anderem der Rotwein betroffen, ein nicht jederzeit reproduzierbares Produkt.