

---

## Weiterführende Literatur

- Arora S, Barak B (2009) Computational Complexity. A Modern Approach. Cambridge University Press, Cambridge
- Bibel W (2000) *Intellectics and Computational Logic*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Boston, London
- Bishop CM (2006) *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, New York
- Boersch I, Heinsohn J, Socher R (2007) *Wissensverarbeitung. Eine Einführung in die Künstliche Intelligenz für Informatiker und Ingenieure*, 2. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Bostrom N (2014) *Superintelligenz. Szenarien einer kommenden Revolution*. Suhrkamp, Berlin
- Brynjolfsson E, McAfee A (2015) *The Second Machine Age*, 2. Aufl. Plassen Verlag, Kulmbach
- Braitenberg V (1986) *Künstliche Wesen. Verhalten kybernetischer Vehikel*. Vieweg+Teubner Verlag, Braunschweig
- Brooks RA (2005) *Menschmaschinen*. Campus Sachbuch, Frankfurt
- Ertel W (2013) *Grundkurs Künstliche Intelligenz. Eine praxisorientierte Einführung*, 3. Aufl. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Fogel DB (1995) *Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine intelligence*. Wiley-IEEE Press, Piscataway N.J.
- Glymour C, Scheines R, Spirtes P, Kelley K (1987) *Discovering Causal Structures. Artificial Intelligence, Philosophy of Science, and Statistical Modeling*. Academic Press, Orlando
- Görz G, Schneeberger J (Hrsg) (2003) *Handbuch der Künstlichen Intelligenz*, 4. Aufl. Oldenbourg, München
- Hall JS (2007) *Beyond AI: Creating the Conscience of the Machine*. Prometheus Books, Amherst
- Hausser R (2014) *Foundations of Computational Linguistics: Human-Computer Communication in Natural Language*, 3. Aufl. Springer, Berlin
- Holland J (1975) *Adaption in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor

- Hopcroft JE, Motwani R, Ullman J (2001) Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation. Addison Wesley, Readings
- Hromkovic J (2011) Theoretische Informatik. Formale Sprachen, Berechenbarkeit, Komplexitätstheorie, Algorithmik, Kommunikation und Kryptographie, 4. Aufl. Vieweg Teubner, Wiesbaden
- Jerison HJ (Hrsg) (1988) The Evolutionary Biology of Intelligence. Springer, New York
- Kaku M (2013) Die Physik der Zukunft. Unser Leben in 100 Jahren. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek b. Hamburg
- Kasabov N (Hrsg) (2000) Future Directions for Intelligent Systems and Information Sciences. The Future of Speech and Image Technologies, Brain Computers, WWW, and Bioinformatics. Physica, Heidelberg
- Koza JR et al (2003) Genetic Programming IV: Routine Human-Competitive Machine Intelligence, 2. Aufl. Springer, Norwell (Mass.)
- Knoll A, Christaller T (2003) Robotik. Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt
- Lämmel U, Cleve J (2008) Künstliche Intelligenz, 3. Aufl. München
- LMU-Forschungsverbund: Intelligente Infrastrukturen und Netze (2014) Informations- und Kommunikationstechnologien als Treiber für die Konvergenz Intelligenter Infrastrukturen und Netze. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Projekt-Nr. 39/13)
- Lunze J (2010) Künstliche Intelligenz für Ingenieure, 2. Aufl. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München
- Mainzer K (1994) Computer – Neue Flügel des Geistes? Die Evolution computergestützter Technik, Wissenschaft, Kultur und Philosophie. De Gruyter, Berlin/New York
- Mainzer K (1997) Gehirn, Computer, Komplexität. Springer, Berlin
- Mainzer K (2003) KI – Künstliche Intelligenz. Grundlagen intelligenter Systeme. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- Mainzer K (2010) Leben als Maschine? Von der Systembiologie zur Robotik und künstlichen Intelligenz. Mentis, Paderborn
- Mainzer K, Chua L (2011) The Universe as Automaton. From Simplicity and Symmetry to Complexity. Springer, Berlin
- Mainzer K, Chua L (2013) Local Activity Principle. Imperial College Press, London
- Mainzer K (2014) Die Berechnung der Welt. Von der Weltformel zu Big Data. C.H. Beck-Verlag, München
- Mainzer K (2016) Information: Algorithmus-Wahrscheinlichkeit-Komplexität-Quantenwelt-Leben-Gehirn-Gesellschaft. Berlin
- Mainzer K (2018) Wie berechenbar ist unsere Welt. Herausforderungen für Mathematik, Informatik und Philosophie im Zeitalter der Digitalisierung. Wiesbaden
- Mainzer K (2018) The Digital and the Real World. Computational Foundations of Mathematics, Science, Technology, and Philosophy. Singapur
- Metzinger T (Hrsg) (2009) Grundkurs Philosophie des Geistes, 2. Aufl. Mentis Verlag GmbH, Paderborn (3 Bde.)

- Minsky M (2006) *The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial intelligence, and the Future of the Human Mind*. Simon & Schuster, New York
- Mittelstrass J (Hrsg) (2004) *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*. Metzlersche J.B. Verlagsb, Stuttgart (4 Bde.)
- Moravec HP (1990) *Mind Children. Der Wettlauf zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz*. Hoffmann und Campe, Hamburg
- Murphy KP (2012) *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. Adaptive Computation and Machine Learning. The MIT Press, Cambridge (Mass.)
- Nilson NJ (2009) *The Quest for Artificial Intelligence: A History of Ideas and Achievements*. Cambridge University Press, New York
- Penrose R (2001) *Computerdenken: Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewusstsein und die Gesetze der Physik*. Heidelberg
- Peters J, Janzing D, Schölkopf B (2017) *Elements of Causal Inference. Foundations and Learning Algorithms*. Cambridge (Mass.)
- Pfeifer R, Scheier C (2001) *Understanding Intelligence*. Bradford Books, Cambridge (Mass.)
- Picard RW (1997) *Affective Computing*. MIT Press Ltd, Cambridge (Mass.)
- Ritter H, Martinetz T, Schulten K (1991) *Neuronale Netze*. Addison Wesley, Bonn
- Russel I S, Norvig P (2004) *Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz*. Pearson Studium, München
- Shapiro SC (Hrsg) (1992) *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, 2. Aufl. New York
- Shulman C (2010) *Whole Brain Emulation and the Evolution of Superorganisms*. The Singularity Institute, San Francisco, CA
- Siegert H, Norvig P (1996) *Robotik: Programmierung intelligenter Roboter*. Springer, Berlin
- Sutton R, Barto A (1998) *Reinforcement-Learning: An Introduction*. A Bradford Book, Cambridge (Mass.)
- Schwichtenberg H, Wainer SS (2012) *Proofs and Computations*. Cambridge University Press, Cambridge
- Vapnik VN (1998) *Statistical Learning Theory*. New York (NY)
- Wegener I (2003) *Komplexitätstheorie. Grenzen der Effizienz von Algorithmen*. Springer, Berlin
- Zöllner-Greer P (2010) *Künstliche Intelligenz. Grundlagen und Anwendungen*. Dornstetten, Composita Verlag GbR

---

# Personenverzeichnis

## A

al-Chwarismi, 27  
Austin, J.L., 70

## B

Babbage, C., 8  
Bayes, T., 118  
Boltzmann, L., 188  
Brooks, R. A., 150, 208

## C

Capek, K., 9  
Chomsky, N., 68, 70  
Chua, L., 190  
Church, A., 20, 30  
Conway, J., 88  
Cook, A., 36  
Crick, F., 134

## D

Damásio, A., 126  
Darwin, C., 92  
Dreyfus, H., 53  
Dyson, F., 231

## E

Einstein, A., 2  
Euklid, 38

## F

Feigenbaum, E.A., 13, 43

Flohr, H., 135  
Fodor, J., 69  
Ford, H., 13, 174, 178  
Fucks, W., 268, 271

## G

Gates, B., 227  
Gentzen, G., 34  
Gödel, K., 33  
Good, I.J., 226

## H

Hebb, D., 104  
Hinton, G. E., 108, 113, 164  
Hodgkin, A. L., 192, 194  
Hopfield, J., 110  
Hornik, K., 108  
Huxley, A. F., 192, 194

## J

Jacquet-Droz, P., 7  
Jobs, S., 163  
Jonze, S., 77

## K

Kahneman, D., 123  
Kardashev, N., 231  
Kirchner, A., 7  
Kohonen, T., 114  
Kreisel, G., 39  
Kurzweil, R., 227

**L**

Lady Ada Lovelace, 8  
Lametrie, J.O. de, 7  
Langton, C., 88  
Leibniz, G.W., 8, 11  
Leonardo da Vinci, 7  
Lindenmayer, A., 82  
Lord Byron, 8

**M**

Malsburg, C. von der, 117  
McCarthy, J., 11, 20  
McCulloch, W.S., 104  
Minsky, M., 45, 107  
Moser, J., 11

**N**

Neumann, J. von, 30, 87, 88, 229  
Newell, A., 11, 141  
Newton, I., 248, 249  
Norvig, P., 162

**O**

Onisawa, T., 128

**P**

Papert, S., 107  
Penrose, R., 216, 218  
Pitts, W., 104  
Prigogine, I., 187

**Q**

Quevedo, T. y, 9

**R**

Robinson, J.A., 16  
Rosenblatt, F., 105  
Rumelhart, D. E., 108  
Russell, B., 11

**S**

Sagan, C., 228  
Schrödinger, E., 187, 212  
Searle, J., 69  
Sejnowski, T.J., 71, 114  
Simon, H., 11, 141  
Stinchcome, M., 108  
Stone, P., 151

**T**

Tarski, A., 202  
Turing, A.M., 9, 26, 31, 34, 223, 225

**V**

Venter, C., 227  
Vinge, V., 227

**W**

Weizenbaum, J., 55, 73  
Weizsäcker, C.F. von, 267  
White, H., 108  
Whitehead, A.N., 11  
Wigner, E.P., 162  
Williams, R. J., 108  
Winograd, T., 12

**Z**

Zuse, K., 9, 30, 86, 229

---

# Sachverzeichnis

2-dimensionaler zellulärer Automat, 87,  
90, 92  
3D Drucker, 157  
 $\Psi$ -Orakelmaschine, 204  
 $\lambda$ -Kalkül, 20

## A

accountability, 245, 252, 275  
Affective computing, 125  
Aktionspotential, 193  
Algorithmus, 3, 27, 38, 81, 175, 225,  
226, 232, 233  
Alphabet, 59, 60, 85  
Analoge Berechenbarkeit, 203  
Analoges neuronales Netz, 200, 202  
Analytical engine, 8  
Arbeitswelt, 174, 178, 180  
Audi lunar Quattro, 165  
Aufzählbarkeit, 30, 33  
Aussagenlogik, 17, 37  
Automat, 7, 58, 59, 93  
Automatische Schlussfolgerung, 12, 43  
Automatisches Beweisen, 15, 27  
Autonomes Fahren, 165

## B

Backpropagation, 73, 108, 116  
Bayessches Netz, 121, 122, 147  
Bedingte Wahrscheinlichkeit, 121  
Berechenbarkeit, 29, 30, 226  
Berechenbarkeitsgrade, 36, 204

Beschränkte Boltzmann Maschine  
(BBM), 163, 164  
Bestärkendes Lernen, 119, 120  
Beweistheorie, 36, 225  
Bewusstsein, 3, 70, 125, 132, 134, 143,  
199, 206, 207, 232  
Big Data, 74, 157, 159, 160, 163, 164,  
224, 233  
Biologie, 94, 187  
Black Box, 245, 253–255, 275  
Blockchain, 259, 260, 263, 264  
BOLD Signal, 253  
Boltzmann-Maschine, 114, 115  
Breitensuche, 63  
British-Museum-Algorithmus, 25, 48

## C

CAD, 175  
CATHEXIS, 130  
Chaos, 131, 186  
Chomsky-Hierarchie, 67, 69, 75  
Churchsche These, 30, 59, 63, 172, 185,  
201, 202, 204, 205  
Cloud, 172, 179  
CNC-Drehmaschine, 176, 177  
Constraints, 47  
Cyberphysical system, 5, 169, 172, 174,  
206, 207, 209

## D

DARPA, 167

- Data driven, 45  
 Data mining, 41  
 Datenbank, 11, 163  
 Deep learning, 111, 163, 164  
 Deklaratives (explizites) Wissen, 102  
 Delphi-Verfahren, 234  
 Demokratie, 264, 270, 271  
 DENDRAL, 47, 48  
 Deterministische Turingmaschine, 36, 63  
 Deterministischer endlicher Automat, 61, 81  
 Deterministischer linear beschränkter Automat, 67  
 DFKI, 75  
 Digital Humanities, 73  
 Digitale Berechenbarkeit, 204
- E**  
 Effizienz, 2, 3, 17  
 ELIZA, 55, 57, 75, 76  
 Embodiment, 145  
 Emergenz, 186, 191  
 Emotion, 100, 124, 125, 127, 135  
 Emotionale Intelligenz, 125  
 Endlicher Automat, 60, 82, 83, 87, 201, 202  
 Entscheidbarkeit, 18, 30, 34, 61, 202, 226  
 Entscheidbarkeitsgrade, 34, 36  
 Erfüllbarkeitsproblem, 37  
 Erweiterte Churchsche These, 202, 204  
 Eureka-Prometheus-Projekt, 167  
 Evolution, 3, 81, 84, 99, 132, 232  
 Evolutionärer Algorithmus, 4, 92  
 Expertensystem, 4, 11, 13, 43, 50, 55, 58, 76  
 explainability, 245
- F**  
 Feedforward, 108, 109, 115  
 Ferromagnet, 110  
 Fitnessgrad, 92  
 Formale Logik, 15, 145
- FORTRAN, 18  
 Frage-Antwort-System, 19, 76  
 Frame, 46  
 Freiheitsrechte, 267  
 Funktionalismus, 143  
 Fuzzy Logik, 52, 129
- G**  
 Game of Life, 88  
 Gehirn, 3, 99, 102, 190–192, 201, 206, 223  
 Generative Grammatik, 68, 83  
 Genetische Sprache, 81  
 Genetischer Algorithmus, 4, 92, 93  
 Gesichtserkennung, 127  
 Goal driven, 46  
 Golem, 7  
 Google, 73, 167, 179  
 Google Brain, 165  
 Grammatik, 64
- H**  
 Hashkodierung, 260  
 Hebbische Regel, 104, 107, 113, 117, 132  
 Hewlett-Packard, 198, 199  
 Hintergrundwissen, 54, 160  
 Hodgkin-Huxley Gleichungen, 192, 194, 197  
 Hopfield-System, 111, 113  
 HRP, 142  
 Human Brain Project, 199  
 Human Factor Engineering, 236  
 Humanoider Roboter, 4, 139–141, 145, 147, 148  
 Hybridarchitektur, 148  
 Hyper-Berechenbarkeit, 35  
 Hysterese, 197
- I**  
 IBM, 76  
 Industrieroboter, 4  
 Informatik, 2, 33, 36, 191  
 Information retrieval, 92  
 Informationsentropie, 84

- Informationssystem, 83, 84, 86, 99, 101, 230
- Informationstheorie, 84, 86
- Ingenieurwissenschaften, 2
- Intelligente Infrastruktur, 3, 157, 169, 173, 235, 237
- Intelligentes Schreibprogramm, 78
- Intelligenz, 2, 55, 149, 200, 205, 225, 228
- Intelligenzgrad, 35
- Internet der Dinge, 157, 158
- Intuitives Wissen, 50
- J**
- JAVA, 159
- K**
- kausale Verantwortung, 275
- kausales Lernen, 249, 251, 253, 255
- kausales Schließen, 249
- Kausalmodell, 249, 251
- Kellerautomat, 66, 82, 202
- Klassische Logik, 50, 52
- Kognition, 99, 101, 131, 135, 147, 191
- Kognitionsforschung, 26, 141, 143, 191
- Kognitive Verzerrung, 123, 124
- Kognitiver Roboter, 142
- Kohonenkarte, 118
- Kollektive Intelligenz, 149, 150, 222, 225
- Komplexe Muster, 91, 158, 185, 187, 188, 190–192, 194, 199
- Komplexes dynamisches System, 131, 186, 190, 195, 202, 204, 206, 208, 209, 222, 223, 228
- Komplexität, 2, 3, 34, 60, 83, 84, 160, 185, 200, 202, 205, 226
- Komplexitätstheorie, 36, 38, 83, 200
- Konditionierung, 103
- Konnektionismus, 143
- Kontextfreie Grammatik, 67, 83
- Kontextfreie Sprache, 67, 82, 83
- Kontextsensitive Grammatik, 67, 83
- Kontextsensitive Sprache, 83
- Korrelation, 162, 191
- KQML, 70
- Kryptowährung, 261, 263
- Künstliche Intelligenz, 2, 4, 7, 10, 17, 35, 71, 83, 122, 123, 164, 165, 185, 200, 202, 205, 228, 241
- Künstliches Leben, 5, 95
- L**
- Layered learning, 152
- Lernalgorithmus, 4, 73, 75, 104, 107, 110, 115, 224
- Linear beschränkter Automat, 67
- Lineare Mustererkennung, 108
- Linguistik, 64
- LISP, 20, 23, 25, 48
- Logische Allgemeingültigkeit, 15, 17, 33
- Lokale Aktivität, 158, 187, 193
- M**
- Machine Learning, 163, 252, 254–256, 267, 268, 271, 273, 275, 278
- MapReduce-Algorithmus, 160
- Markov Logik, 146
- Markov-Faktorisierung, 251
- Markov-Bedingung, 250
- Markov-Eigenschaft, 121
- Maschinensprache, 192
- Massenproduktion, 13
- Mathematik, 20, 35, 40, 172, 200, 202, 226
- Mathesis universalis, 8, 11
- McCulloch-Pitts-Neuron, 104, 200
- Mechatronik, 169, 180
- Medizin, 48, 162, 192, 194
- Mehrband-Turingmaschine, 63
- Mehrschichtiges Neuronennetz, 109, 116, 164
- Memristives System, 196–198, 223
- Memristor, 195, 197
- Metadaten, 161
- Microsoft, 179
- MINLOG, 41



Mooresches Gesetz, 76, 178, 185, 224  
 Mustererkennung, 113, 164  
 MYCIN, 49

## N

Nash-Gleichgewicht, 258  
 Natürliche Intelligenz, 185, 200  
 Natürliche Sprache, 12, 55, 58, 64  
 NETalk, 71, 73  
 Neuristor, 198  
 Neuroinformatik, 164  
 Neuromorpher Computer, 185, 200, 201, 203, 222  
 Neuronales Netz, 4, 100, 127, 201  
 Nichtdeterministischer Algorithmus, 61  
 Nichtdeterministischer endlicher Automat, 61  
 Nichtdeterministischer Kellerautomat, 67  
 Nichtlineare Diffusions- und Reaktionsgleichung, 188, 190, 192, 199  
 Nichtlineare Mustererkennung, 108  
 Nicht-berechenbare Zahl, 32  
 Nicht-deklaratives (implizites) Wissen, 102  
 Nicht-deterministische Turingmaschine, 36, 63, 204  
 Nicht-deterministischer linear beschränkter Automat, 67  
 Nicht-überwachtes Lernen, 116–118  
 NP-Probleme, 37  
 NP-vollständig, 37  
 Nutzentheorie, 123

## O

On demand production, 178

## P

Penrose-Hypothese, 216  
 Perzeptron, 105, 106  
 Physik, 110, 187, 202, 226, 231, 236  
 Pipeline-Modell, 76  
 Poker Libratus, 258

Prädikatenlogik, 17, 20, 33, 145  
 Problem des Handlungsreisenden, 34, 37, 203  
 Problemlösungsverfahren, 11, 15, 30, 34  
 Programmiersprache, 20, 67  
 PROLOG, 18, 20  
 Proof mining, 41  
 proof-of-work, 263  
 P-Probleme, 36

## Q

Quantencomputer, 210, 212–214  
 Quanteninformation, 220, 221  
 Quantenparallelismus, 213  
 Quantenteleportation, 220, 221

## R

Rand des Chaos (edge of chaos), 190, 194  
 Rechenzeit, 36, 205  
 Redundanz, 84, 225  
 Regret-Based Pruning(RBP)-Algorithmus, 258  
 Reguläre Grammatik, 82  
 Reguläre Sprache, 61, 82, 83  
 Regulärer Ausdruck, 61  
 Rekursiv aufzählbare Sprache, 62, 67  
 Rekursive Sprache, 62  
 Resilienz, 235  
 Resolutionsmethode, 16  
 Roboter, 9, 120, 131, 139–141, 143, 145, 147, 148, 178, 209, 222, 227, 229  
 Roboterfußball, 151–153  
 Rückwärtsverkettung (backward reasoning), 44, 45

## S

Satz von Bayes, 122  
 Schachautomat, 9  
 Schreibroboter, 78  
 Schwarmintelligenz, 5, 149, 150  
 Science Fiction, 2, 227, 231  
 Selbstmonitoring, 136

- Selbstorganisation, 113, 117, 158, 159, 186, 190, 200
- Selbstreproduktion, 87, 89, 90
- Semantische Tiefenstruktur, 69, 75
- Semantisches Netz, 47, 73, 95, 161
- Sensortechnologie, 4, 158, 174, 178, 200, 222
- Silicon Valley, 5, 167, 227, 230
- Simulated annealing, 114
- Singularität, 5, 222, 227, 230, 232, 241
- Smart city, 5, 239
- Smart grid, 2, 5, 171, 239
- Software-Engineering, 3
- Soziale Intelligenz, 4, 150
- Spieltheorie, 258
- Spinglas-Modell, 110, 111
- Sprache, 58
- Spracherkennung, 60, 62, 83
- Statistische Thermodynamik, 114, 188
- statistisches Lernen, 246–248, 253
- Statistisches Schließen, 51, 247
- Stochastischer Lernalgorithmus, 163, 170, 205
- Stopp-Problem, 32, 33
- Suchalgorithmus, 76
- Supercomputer, 34
- Superintelligenz, 185, 221, 224, 225, 232
- Superposition, 211, 213–216
- Survival of the fittest, 92
- Symbolisch-kognitive Architektur, 149
- Szenarien-Technik, 233
- T**
- Technikgestaltung, 5, 232, 233, 235, 236, 239
- Temporales Schließen, 53
- Tertium non datur, 50
- Tiefensuche, 63
- Transhumanismus, 227, 241
- Transistor, 187, 224
- Tugendethik, 271
- Turingmaschine, 28, 30, 31, 33, 35, 36, 62, 67, 83, 201, 204, 224
- Turing-berechenbar, 29
- Turing-Test, 10, 58, 76, 127, 168
- Twitter, 161
- U**
- überwachtes Lernen, 115, 118
- Ubiquitous computing, 170
- Unabhängigkeitsrelation, 250
- Unabhängigkeitstest, 251
- Uneingeschränkte Grammatik, 67
- Unentscheidbarkeit, 32, 33, 209
- Universelle Turingmaschine, 88, 228
- Unvollständigkeitssätze, 33, 203, 209
- Unwinding proofs, 40
- V**
- Vapnik-Chervonenkis (VC) Dimension, 247
- Velodyne HDL-64E LiDAR, 167
- VERBMOBIL, 75
- Verhaltensbasierte Architektur, 147, 153
- von-Neumann-Architektur, 63, 223
- Voraussagemodelle (predicative modeling), 161
- Vorwärtsverkettung (forward reasoning), 44, 45
- W**
- Wahrnehmungssystem, 101, 134
- Wahrscheinlichkeitsverteilung, 246
- WATSON, 76, 77, 185
- Wearables, 2, 167
- Widerspruchsbeweis, 38
- Wissensrepräsentation, 45, 81, 143, 145, 147, 199, 207
- Z**
- Zellulärer Automat, 87, 88, 228
- Zustandsraum, 112
- Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik, 188