

uwe LÄMMEL  
jürgen CLEVE

5., überarbeitete Auflage

# KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Wissensverarbeitung -  
Neuronale Netze

HANSER



### **Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Unser **Computerbuch-Newsletter** informiert Sie monatlich über neue Bücher und Termine. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter:

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**





Uwe Lämmel

Jürgen Cleve

# Künstliche Intelligenz

Wissensverarbeitung – Neuronale Netze

5., überarbeitete Auflage

Mit zahlreichen Bildern und Tabellen

HANSER

## **Autoren:**

Prof. Dr.-Ing. Uwe Lämmel

Lehrgebiet Grundlagen der Informatik / Künstliche Intelligenz

Hochschule Wismar

Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Cleve

Lehrgebiet Grundlagen der Informatik / Künstliche Intelligenz

Hochschule Wismar

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;

detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über

<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2020 Carl Hanser Verlag München

Internet: [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Anne Kurth

Titelmotiv: © shutterstock.com/Titima Ongkantong

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Satz: Jürgen Cleve, Uwe Lämmel

Grafik: Annabelle Witton

Druck und Bindung: Hubert & Co. GmbH & Co. KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-45914-4

E-Book-ISBN 978-3-446-46363-9

# Vorwort

Dieses Buch über künstliche Intelligenz richtet sich an Leser mit natürlicher Intelligenz. Es ist ausdrücklich ein Lehrbuch und kein allumfassendes Fachbuch. Das Buch bietet einen Einstieg in die Grundlagen der künstlichen Intelligenz. Dabei werden sowohl die klassische *symbolverarbeitende künstliche Intelligenz* als auch *konnektionistische Ansätze* wie die künstlichen neuronalen Netze behandelt.

Das Buch wendet sich an Einsteiger, die sich in das Gebiet der künstlichen Intelligenz einarbeiten wollen, sei es nun im Rahmen einer Lehrveranstaltung oder als Autodidakt. Das Buch kann als Grundlage für eine einführende Lehrveranstaltung in das Gebiet der künstlichen Intelligenz verwendet werden. Der Schwerpunkt liegt hier auf „einführend“; für angehende Spezialisten hoffen wir, die eine oder andere Anregung zur einfachen Darstellung des einen oder anderen Sachverhaltes geben zu können. Studenten an Hochschulen, die sich der Informatik widmen – sei es im Hauptfach, im Nebenfach oder in der Magisterausbildung – möge dieses Buch als Lektüre zur Wissensaneignung dienen. Wir wenden uns auch an Informatik-Lehrer der Gymnasien. Das Gebiet der künstlichen Intelligenz bietet zahlreiche Ansätze, die durchaus mit interessierten Schülern in Angriff genommen werden können. Wir würden es sehr begrüßen, wenn bereits in der Schule eine Einführung in die (Aussagen-)Logik im Rahmen des Mathematik-, des Informatik- oder des Philosophie-Unterrichts erfolgen würde.

Fast zwei Jahrzehnte sind seit dem Erscheinen der ersten Auflage vergangen. Unser Konzept, die Techniken der klassischen künstlichen Intelligenz gemeinsam mit künstlichen neuronalen Netzen in einem Buch darzustellen, ist aufgegangen. Die Struktur des Buches hat etliche Nachahmer gefunden.

- 1 Künstliche Intelligenz
- Symbolverarbeitende künstliche Intelligenz
  - 2 Darstellung und Verarbeitung von Wissen
  - 3 Problemlösung mittels Suche
  - 4 PROLOG
- Künstliche neuronale Netze – Konnektionismus
  - 5 Künstliche neuronale Netze
  - 6 Vorwärtsgerichtete neuronale Netze
  - 7 Wettbewerbslernen
  - 8 Autoassoziative Netze
  - 9 Entwicklung neuronaler Netze

Nach einer Diskussion der Begriffe steht die *symbolverarbeitende künstliche Intelligenz* im Fokus der Kapitel 2-4. Die erste Hälfte des Buches schließt mit einer Einführung in die Sprache PROLOG, mit der nach wie vor Wissensverarbeitung am schnellsten praktisch ausprobiert werden kann. Dieser Teil der KI wird auch als *White-Box-KI* bezeichnet, denn hier ist die Verarbeitung transparent und durch das System erklärbar.

In der zweiten Hälfte des Buches (Kapitel 5-9) werden *künstliche neuronale Netze* vorgestellt. Der zweite Teil schließt ebenso mit der praktischen Anwendung: Künstliche neuronale Netze werden programmiert beziehungsweise mittels Software-Systemen entwickelt. Die künstlichen neuronalen Netze fallen in die Kategorie *Black-Box-KI*, da man zwar weiß, wie sie funktionieren, eine Erklärung für die Entstehung eines Resultats für den Nutzer nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

Einige klassische Techniken der KI sind in den vergangenen Jahren wieder in den Blickpunkt gerückt: Unter der Bezeichnung *Business Rules* (Geschäftsregeln) wird die regelbasierte Wissensdarstellung und -verarbeitung in betrieblichen Anwendungssystemen mit dem Ziel eingesetzt, die Geschäftslogik sowie die Kundenbeziehungen flexibler handhaben zu können. Für die Entwicklung und den Einsatz derartiger intelligenter Komponenten stehen Business-Rules-Management-Systeme zur Verfügung, die als moderne Expertensysteme angesehen werden können. Wissensmanagement ist bereits längere Zeit ein Thema und das nicht nur im betriebswirtschaftlichen Umfeld. *Wissensnetze* mit dem Ziel, durch eine inhaltliche semantische Suche Wissen schnell verfügbar zu machen, basieren auf den Techniken der Frames und der semantischen Netze. Leistungsfähige Produkte nutzen darüber hinaus das Konzept der Topic Maps, Wissen und Information anschaulich in ihren Beziehungen darzustellen.

Ebenso sind neuronale Netze durch spektakuläre Ergebnisse erneut in den Fokus vieler Anwendungen getreten. Das *Deep Learning* der neuronalen Netze führt die Möglichkeiten bei der Objekt-, Muster- oder Spracherkennung auf eine neue Stufe.

Bewusst konzentrieren wir uns auf die Basis-Techniken der KI. Wir stellen Grundlagen dar, mit denen KI-Anwendungen konzipiert und umgesetzt werden können. Im Vordergrund steht, mit welchen Mitteln, also *wie* KI-Anwendungen entwickelt werden, nicht *welche Leistungskraft* KI heute hat oder morgen haben wird. Nicht zuletzt deshalb nutzen wir weiterhin die Programmiersprache *PROLOG*, die sich als Logik-basierte Sprache sehr gut eignet, die Grundprinzipien der Modellierung und Lösung von Problemen mittels expliziter Wissensdarstellung zu erfahren. Mit dem *JavaNNS* können wir ganz genau in die Struktur und in die Arbeitsweise künstlicher neuronaler Netze hineinschauen. Wir zeigen aber auch, wie neuronale Netze mittels der Sprache Python aufgebaut werden können.



Zum Buch halten wir eine Webseite bereit: <http://www.wi.hs-wismar.de/ki-buch>. Dort findet der Leser Programmtexte oder Lösungen zu einigen Beispielen, Verweise auf verwendete Software sowie Demo-Programme. Zudem sammeln wir dort weitere Quellen zum Thema künstliche Intelligenz. Den Wunsch nach Musterlösungen werden wir auch weiterhin nur zum Teil erfüllen. Nach wie vor stehen wir jedoch gern für Fragen und für die Bewertung von Lösungen oder Lösungsansätzen zur Verfügung. Scheuen Sie sich nicht, mit uns in Kontakt zu treten. Wir halten dieses Vorgehen für erfolgreicher als das schnelle Nachschlagen einer Musterlösung.

Wir möchten uns bei allen bedanken, die uns auf Fehler aufmerksam gemacht oder Hinweise gegeben haben. Uns ist bewusst, dass es wohl wieder oder immer noch den einen oder anderen Fehler zu entdecken gibt. Seien Sie also weiter so kritisch wie bisher.

Wir danken Frau Natalia Silakova-Herzberg für die gute Betreuung während der Erstellung des Buchs und Frau Annabelle Witton für die Erstellung einiger Grafiken.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Künstliche Intelligenz</b> .....	<b>7</b>
1.1	Eine intelligente Maschine .....	7
1.2	Intelligenz und künstliche Intelligenz .....	9
1.3	Knobelaufgaben und symbolverarbeitende KI .....	15
1.4	Geschichte der KI .....	17
1.5	Wir und die KI .....	19

## Symbolverarbeitende KI

<b>2</b>	<b>Darstellung und Verarbeitung von Wissen</b> .....	<b>23</b>
2.1	Wissen und Wissensarten .....	23
2.2	KI und explizite Wissensdarstellung .....	25
2.3	Darstellung von Wissen mit Hilfe von Logik .....	28
2.3.1	Aussagenlogik .....	29
2.3.2	Prädikatenlogik .....	46
2.3.3	Logik und PROLOG .....	60
2.4	Regelbasierte Wissensdarstellung .....	65
2.4.1	Vorwärtsverkettung .....	68
2.4.2	Rückwärtsverkettung .....	71
2.4.3	Regelverarbeitung und PROLOG .....	73
2.4.4	Business Rules .....	75
2.5	Semantische Netze und Frames .....	81
2.5.1	Semantische Netze .....	81
2.5.2	Frames .....	83
2.5.3	Wissensnetze .....	85
2.6	Vages Wissen .....	87
2.6.1	Unsicheres Wissen .....	88
2.6.2	Fuzzy-Mengen .....	97
2.6.3	Fuzzy-Logik .....	103
2.6.4	Fuzzy-Regler .....	105



<b>3</b>	<b>Problemlösung mittels Suche .....</b>	<b>111</b>
3.1	Suche in Graphen.....	111
3.2	Uninformierte Suche.....	116
3.3	Heuristische Suche .....	125
3.3.1	Heuristik des nächsten Nachbarn .....	130
3.3.2	Bergsteiger-Strategie .....	131
3.3.3	Bestensuche .....	132
3.3.4	A*-Suche .....	133
3.4	Das Rundreiseproblem .....	137
<b>4</b>	<b>PROLOG .....</b>	<b>147</b>
4.1	Logisches Programmieren.....	147
4.1.1	Erste Schritte .....	147
4.1.2	Ein Beispiel .....	149
4.1.3	Regeln .....	151
4.2	PROLOG-Programme .....	156
4.2.1	Lösungsfindung mittels Backtracking .....	156
4.2.2	Parameterübergabe mittels Unifikation.....	158
4.2.3	Interpretation von Programmen .....	161
4.3	Datentypen und Arithmetik.....	163
4.3.1	Einfache und zusammengesetzte Datentypen .....	163
4.3.2	Listen .....	165
4.3.3	Arithmetik .....	169
4.4	Steuerung der Abarbeitung .....	170
4.4.1	Reihenfolge der Klauseln .....	171
4.4.2	Reihenfolge der Literale im Körper einer Regel.....	172
4.4.3	Kontrolle des Backtracking .....	173
4.4.4	Die Negation .....	176
4.5	Vordefinierte Prädikate .....	177
4.6	Beispielprogramme .....	178
4.6.1	Das Einfärben einer Landkarte .....	178
4.6.2	Die Türme von Hanoi .....	179
4.6.3	Das Acht-Damen-Problem .....	181
4.6.4	Das Problem der stabilen Paare .....	183
4.6.5	Das Einstein-Problem.....	184

## Neuronale Netze

<b>5</b>	<b>Künstliche neuronale Netze</b> .....	<b>189</b>
5.1	Das künstliche Neuron .....	191
5.2	Architekturen .....	196
5.3	Arbeitsweise .....	198
<b>6</b>	<b>Vorwärtsgerichtete Netze</b> .....	<b>203</b>
6.1	Das Perzeptron .....	203
6.1.1	Die Delta-Regel .....	205
6.1.2	Musterzuordnungen .....	208
6.2	Backpropagation-Netze .....	211
6.2.1	Das Backpropagation-Verfahren .....	212
6.2.2	Das XOR-Backpropagation-Netz .....	216
6.2.3	Modifikationen des Backpropagation-Algorithmus .....	219
6.3	Typische Anwendungen .....	222
6.3.1	Zeichenerkennung .....	222
6.3.2	Das Encoder-Decoder-Netz .....	228
6.3.3	Ein Prognose-Netz .....	229
6.4	Datenvorverarbeitung .....	233
6.4.1	Verarbeitungsschritte .....	233
6.4.2	Daten des Kreditvergabe-Beispiels .....	236
6.5	Netzgröße und Optimierungen .....	240
6.5.1	Die Größe der inneren Schicht .....	241
6.5.2	Das Entfernen von Verbindungen .....	243
6.5.3	Genetische Algorithmen .....	244
6.6	Partiell rückgekoppelte Netze .....	247
6.6.1	Jordan-Netze .....	248
6.6.2	Elman-Netz .....	250
6.7	Convolutional Neural Network .....	252
<b>7</b>	<b>Wettbewerbslernen</b> .....	<b>261</b>
7.1	Selbstorganisierende Karte .....	262
7.1.1	Architektur und Arbeitsweise .....	262
7.1.2	Das Training .....	265
7.1.3	Visualisierung einer Karte und deren Verhalten .....	268
7.1.4	Eine Lösung des Rundreiseproblems .....	269

7.2	Neuronales Gas .....	274
7.2.1	Architektur und Arbeitsweise .....	275
7.2.2	Wachsendes neuronales Gas .....	277
7.3	Adaptive Resonanz-Theorie.....	280
7.3.1	Das Plastizitäts-Stabilitäts-Dilemma .....	280
7.3.2	Struktur eines ART-Netzes .....	281
7.3.3	Das Beispiel Würfelmuster .....	283
7.3.4	Arbeitsweise .....	285
<b>8</b>	<b>Autoassoziative Netze .....</b>	<b>289</b>
8.1	Hopfield-Netze.....	289
8.1.1	Arbeitsweise .....	290
8.1.2	Wiedererkennung von Mustern .....	292
8.1.3	Energie-Niveau eines Netzes .....	296
8.2	Lösung von Optimierungsproblemen .....	297
8.3	Die Boltzmann-Maschine .....	300
<b>9</b>	<b>Entwicklung neuronaler Netze .....</b>	<b>305</b>
9.1	Datenanalyse-Software .....	305
9.2	JavaNNS.....	307
9.3	Implementation neuronaler Netze.....	309
9.3.1	Einsatz von Array-Datenstrukturen .....	310
9.3.2	Der objektorientierte Ansatz .....	311
9.4	Implementieren mit TensorFlow .....	321
	<b>Literatur .....</b>	<b>329</b>
	<b>Index .....</b>	<b>332</b>

# 1

## Künstliche Intelligenz

Kein anderes Gebiet der Informatik löst solch emotionsgeladene Diskussionen aus wie das Gebiet mit dem Namen „künstliche Intelligenz“. Vielleicht hätte eine andere Übersetzung des Begriffes „Artificial Intelligence“ die Inhalte des Fachgebietes besser getroffen: „gekünstelte Intelligenz“, „maschinelle Intelligenz“ oder „synthetische Intelligenz“ wecken möglicherweise weniger Assoziationen zu einem künstlichen Wesen, welches die Menschheit beherrscht.

In diesem Kapitel beginnen wir mit dem berühmten Turing-Test, diskutieren dann die Begriffe *Intelligenz* sowie *künstliche Intelligenz* und schauen auf die künstliche Intelligenz (KI) als ein Teilgebiet der Informatik. Anhand einer Knobelaufgabe stellen wir einen typischen Ansatz der symbolverarbeitenden KI vor. Ein Blick in die Geschichte der KI sowie deren gesellschaftliche Wirkung schließen diese Einführung ab.

### ■ 1.1 Eine intelligente Maschine

In den letzten Jahren hat die Debatte über die künstliche Intelligenz die Medien erreicht und die Diskussionen in der Öffentlichkeit angeheizt. So liest man Überschriften wie:

- „Die künstliche Intelligenz findet: Menschen verhalten sich seltsam“,
- „Ist das menschliche Gehirn ein Auslaufmodell? Künstliche Intelligenz könnte uns Menschen bald überflügeln“,
- „Ein autonom fahrendes Auto erkennt bei Nacht kein Wildschwein“,
- „Künstliche Intelligenz – Wann übernehmen die Maschinen?“ oder
- „2062: Das Jahr, in dem die künstliche Intelligenz uns ebenbürtig sein wird“.

Der Begriff *künstliche Intelligenz* (KI) weckt einige Fragen:

- Können Maschinen denken oder werden Maschinen eines Tages denken können?
- Wird es intelligente Maschinen geben?
- Wie agieren intelligente Maschinen in unserem Umfeld beziehungsweise in unserer Gesellschaft?
- Wie wird die künstliche Intelligenz unser Leben beeinflussen?

Wollen wir uns mit derartigen Fragen befassen, müssen wir zuerst die Begriffe klären:

- Was ist eine Maschine?
- Was ist Intelligenz?
- Was bedeutet Denken?
- Was ist künstliche Intelligenz?

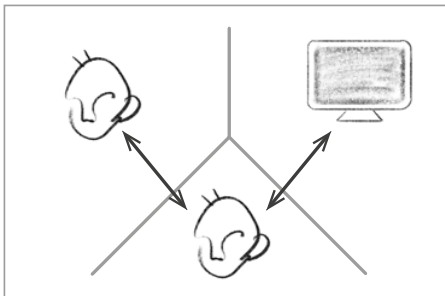
Noch bevor überhaupt das Gebiet der künstlichen Intelligenz entstand, schlug bereits Anfang der 50er-Jahre der Mathematiker *Alan Turing* einen Test vor, mit dem das intelligente Verhalten eines Computers geprüft werden kann. Alan Turing beschreibt das Experiment unter dem Namen „Imitation Game“ wie folgt:

„It is played with three people, a man (A), a woman (B), and an interrogator (C) who may be of either sex. The interrogator stays in a room apart front the other two. The object of the game for the interrogator is to determine which of the other two is the man and which is the woman. He knows them by labels X and Y, and at the end of the game he says either 'X is A and Y is B' or 'X is B and Y is A.'“ [Tur50]

Wir haben es also mit drei Personen zu tun: einer Frau B, einem Mann A und einem Fragesteller oder einer Fragestellerin C. C ist alleine in einem Raum und kommuniziert nur per Textnachrichten mit A und B. C kennt seine Mitspieler nur als X beziehungsweise Y. Am Ende des Spiels entscheidet C, ob X weiblich (B) oder männlich (A) ist. Das Erkennen der Personen wird zusätzlich dadurch erschwert, dass der Mann A verhindern will, dass C ihn erkennt. Die Spielerin B will dagegen dem Fragesteller C helfen, die richtige Antwort zu finden.

Dieses Spiel sieht Turing als Vorstufe für ein Experiment, in dem die Rolle von A (oder B) von einem Computerprogramm übernommen wird. Diese Form des *Imitation Games* wird nach seinem Erfinder *Turing-Test* genannt:

Eine Person C kommuniziert mittels Textnachrichten mit zwei Partnern X beziehungsweise Y. Beteiligt sind eine Software A und ein Mensch B. Kann C zweifelsfrei entscheiden, wer der menschliche Partner ist und wo die Software antwortet? Falls dies nicht möglich ist, muss dem Computerprogramm wohl ein intelligentes Verhalten in der Konversation zugesprochen werden.



**Bild 1.1** Der Turing-Test

Alan Turing war bereits mit der nach ihm benannten Turing-Maschine Mitte der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts der tatsächlichen Entwicklung weit voraus: Mit Hilfe seines theoretischen Maschinenmodells konnte der Begriff Berechenbarkeit definiert werden, bevor die ersten programmierbaren Rechenautomaten überhaupt tatsächlich etwas berechnen konnten. Mit dem Imitation Game war Alan Turing erneut der Zeit weit voraus: Lange bevor die ersten Programme einen Textdialog führen konnten, war das nun Turing-Test genannte Spiel in der Lage, das intelligente Gesprächsverhalten einer Maschine zu prüfen.

Seit Anfang der 90er Jahre wird jährlich ein Preis ausgeschrieben, der im Rahmen eines Wettbewerbs das beste Programm eines Turing-Tests auszeichnet, der sogenannte *Loebner Prize*. Die an diesem Test teilnehmenden Programme sind auf das Sprachverstehen, konkreter auf

das Verstehen geschriebener Worte, und ein allgemeines Weltwissen spezialisiert, wie man den veröffentlichten Dialogen entnehmen kann. Wir kommen auf die Gewinner dieses Wettbewerbs später noch einmal zurück.

## ■ 1.2 Intelligenz und künstliche Intelligenz

Es wird viel über die künstliche Intelligenz geschrieben und geredet, aber zu oft bleibt eine Erklärung der benutzten Begriffe aus. Was ist künstliche Intelligenz?

Eine Erklärung oder eine Definition fällt schwer, da bereits der Begriff der Intelligenz nicht klar definiert ist. Wir greifen hier auf einige kurze Erklärungen aus allgemeinen Lexika zurück. Im Gabler Wirtschaftslexikon wird Intelligenz als Eigenschaft eines Menschen beschrieben:

*„in der Psychologie ein hypothetisches Konstrukt (d.h. eine Erklärung für ein nicht direkt beobachtbares Phänomen), das die erworbenen kognitiven Fähigkeiten und Wissensbestände einer Person bezeichnet, die ihr zu einem gegebenen Zeitpunkt zur Verfügung stehen.“* [Mai18]

Im Duden wird der Mensch schon eingeklammert, um anzudeuten, dass es Intelligenz außerhalb des Menschen gibt oder geben kann: *„Fähigkeit [des Menschen], abstrakt und vernünftig zu denken und daraus zweckvolles Handeln abzuleiten.“* [Dud19]

Aus beiden Definitionen kann keine scharfe Trennung zwischen „besitzt Intelligenz“ oder „ist intelligent“ und „besitzt keine Intelligenz“ abgeleitet werden. Wir kennen den Intelligenzquotienten, der zumindest darauf hindeutet, dass es unterschiedliche Stufen von Intelligenz gibt. Legt man die Definition der Encyclopaedia Britannica zugrunde, so lassen sich schon eher als in den obigen Definitionen verschiedene Stufen des Wahrnehmens, Reagierens und Handelns erkennen: *“Intelligence, mental quality that consists of the abilities to learn from experience, adapt to new situations, understand and handle abstract concepts, and use knowledge to manipulate one’s environment.“* [Ste17]

Menschen oder andere Wesen können im unterschiedlichen Maße aus Erfahrungen lernen, sich an neue Situationen anpassen, abstrakte Konzepte verstehen und bearbeiten und ihr Wissen einsetzen, um die Umgebung zu verändern.

Etwas ausführlicher beschreiben einige Modelle den Begriff Intelligenz unter Nutzung von Faktoren. Zum Beispiel legt Thurston (1938) die folgenden sogenannten Primärfaktoren für die Einschätzung von Intelligenz zugrunde, vgl. [Paw16]:

- Sprachverständnis,
- Wortflüssigkeit,
- Rechenfertigkeit,
- Raumvorstellung,
- Gedächtnis,
- Wahrnehmungsgeschwindigkeit,
- schlussfolgernd-logisches Denken.

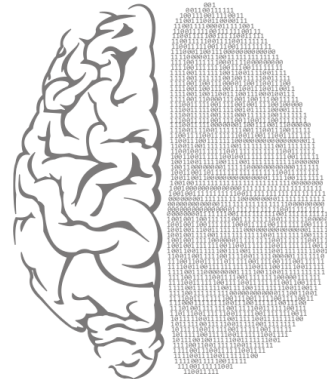
Diese Faktoren und die vorher genannten Eigenschaften des Lernens aus Erfahrung, des Verstehens abstrakter Konzepte und die Anwendung zur Manipulation der Umgebung werden wir als Kriterien oder Maßstäbe für die Charakterisierung einer künstlichen Intelligenz einsetzen.

In einigen Definitionen der künstlichen Intelligenz (KI) wird der Mensch als Maßstab herangezogen:

„In der KI wird untersucht, wie man intelligentes Verhalten von Computern erfassen und nachvollziehen lassen kann oder wie man allgemein mit Hilfe von Computern Probleme löst, die Intelligenzleistungen voraussetzen.“ [CS06]

„Künstliche Intelligenz soll Maschinen in die Lage versetzen, menschliche Tätigkeiten zu übernehmen. Dabei soll das menschliche Gedächtnis, sein Lernverhalten und seine Entwicklung nachgebildet werden.“ [Fel19]

„Erforschung ‚intelligenter‘ Problemlösungsverhaltens sowie die Erstellung ‚intelligenter‘ Computersysteme. Künstliche Intelligenz (KI) beschäftigt sich mit Methoden, die es einem Computer ermöglichen, solche Aufgaben zu lösen, die, wenn sie vom Menschen gelöst werden, Intelligenz erfordern.“ [Sie18]

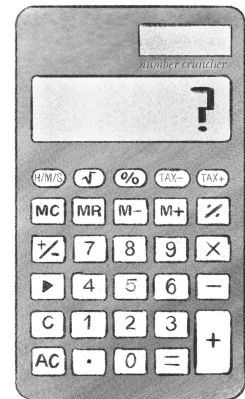


Es sind bereits viele Computerprogrammen bekannt, die Aufgaben, für deren Lösung im Allgemeinen Intelligenz notwendig ist, besser oder sogar schneller lösen können als ein Mensch: Das Navigationsgerät plant eine Route unter Berücksichtigung von Randbedingungen (keine Autobahn) und Zielkriterien (kürzeste Verbindung). Derartige Programme enthalten Suchstrategien, die dem Gebiet der künstlichen Intelligenz entstammen. Übersetzungsprogramme liefern für die alltägliche Umgangssprache gute Lösungen. Diagnosesysteme sind teilweise treffsicherer in ihren Diagnosen als mancher Experte. So einleuchtend die Definition im Vergleich zu einer menschlichen Leistung auch klingen mag, so leicht kann sie angegriffen werden.

Ein Taschenrechner kann zwar große Zahlen multiplizieren aber KI ist dies sicherlich nicht.

Alternativ wurde die künstliche Intelligenz durch das Aufzählen der Arbeitsgebiete charakterisiert: „Teildisziplin der Informatik, die so unterschiedliche Problembereiche wie Bildverarbeitung, Robotik, Fließtext- und Spracherkennung, mechanische Beweise und anderes umfasst und auch die Konstruktion von wissensbasierten Systemen einschließt.“ [HR92]

Wir sehen hier eine Weiterentwicklung der Anwendungsbereiche eines Computers: Gestartet als Rechenmaschine – *number cruncher* – wurde der Computer weiterentwickelt, um Texte und Grafiken verarbeiten zu können. Dies jedoch stets als Werkzeug des Menschen, als sein „verlängerter Arm“.



Nun wird der Computer befähigt zu erkennen, zu denken und zu entscheiden, also Schlussfolgerungen zu ziehen. Versehen mit einer Körperlichkeit und den Fähigkeiten, nicht nur Bilder aufzunehmen, sondern Bilder zu erkennen und daraus Handlungen abzuleiten, entsteht ein künstliches Wesen. Ob dieses intelligent ist oder nicht, welcher „Intelligenzstufe“ es entspricht, der einer Krähe, eines Hundes oder der eines Menschen, muss anhand weiterer Kriterien entschieden werden.

Fragen wir doch einmal A.L.I.C.E., einen Chatbot, der vor einigen Jahren den Loebner-Preis im Turing-Test-Wettbewerb gewonnen hat:



### Beispiel 1.1 Chatbot A.L.I.C.E.

*Good morning!* Hello and how are you this morning?

*How old are you?* I'm Eighteen in computer years.

*Are you smart?* Yes. I am highly intelligent.

*How much is 4+3?* Is this a math question?

*yes.* I'm not too good in arithmetic.

*Please try to calculate 4+3.* Wow you are very polite.  
OK I will try to calculate 4+3.

*I mean 4 plus 3.* Oh I get it.  
Thanks for explaining that.  
Use a calculator!

*What is intelligence?* Intelligence is the computational part of the  
ability to achieve goals in the world.  
Varying kinds and degrees of intelligence occur in  
people, many animals and some machines.

*What is artificial intelligence?* Artificial Intelligence is the branch of engineering  
and science devoted to constructing machines that think.  
Searching... Searching...  
Please stand by.

*Thank you.* You are quite welcome.

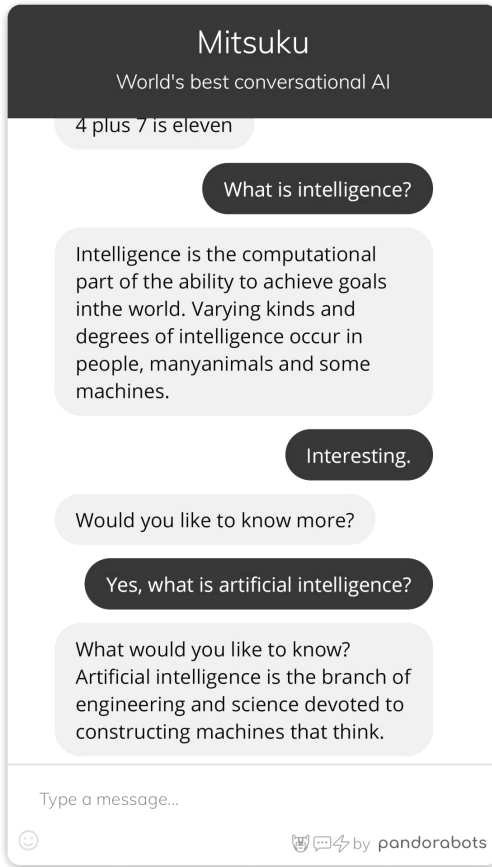
Eine Weiterentwicklung stellt die Software Mitsuku<sup>1</sup> dar, die den Loebner-Preis in den Jahren 2016 bis 2019 gewonnen hat, siehe Bild 1.2 auf der nächsten Seite. Auch hier wird die KI als Teilgebiet der Informatik an erster Stelle gesehen.

Es sind somit zwei Perspektiven, aus denen sich der Begriff der künstlichen Intelligenz betrachten lässt:

1. KI als Wissenschaftsdisziplin, im Wesentlichen ein Teilgebiet der Informatik und
2. KI als Ergebnis der Forschungen dieser Wissenschaftsdisziplin. Hierbei sind mehrere Interpretationen möglich:
  - (a) KI als Sammelbegriff für verschiedene Techniken wie regelbasierte Wissensdarstellung und -verarbeitung, Wissensnetze oder künstliche neuronale Netze,
  - (b) KI als eine intelligent agierende Software beziehungsweise Maschine,
  - (c) KI als das künstliche intelligente Wesen.

<sup>1</sup> <https://www.pandorabots.com/mitsuku/>





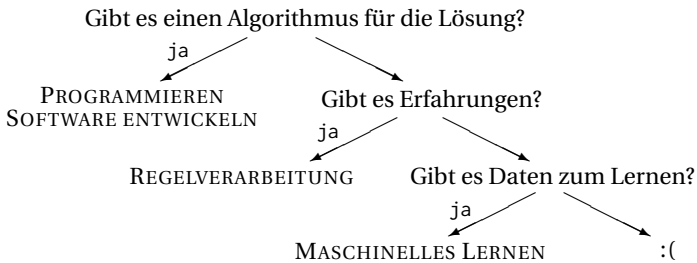
**Bild 1.2** Mitsuku und die Intelligenz



### Definition 1.1 Künstliche Intelligenz

Der Begriff *künstliche Intelligenz* wird gemäß den Perspektiven unterschiedlich definiert:

1. KI ist eine Wissenschaftsdisziplin der Informatik, die sich mit der Entwicklung von Hard- und Software-Systemen befasst, die Probleme lösen können, für deren Lösung gemeinhin Intelligenz erforderlich ist.
2. Als KI werden KI-Techniken bezeichnet, die in Hard- oder Softwaresystemen für die Leistungssteigerung eingesetzt werden.
3. KI ist ein Hard- und Softwaresystem, welches ein intelligentes Problemlösungsverhalten zeigt.
4. Als KI wird ein künstliches Wesen bezeichnet, welches Intelligenz besitzt.



**Bild 1.3** Einsatzgebiete der künstlichen Intelligenz

Nun können wir die vorher angeführten Intelligenzfaktoren ([Paw16]) heranziehen und ein erstes Bild der KI im Sinne der Definitionen 3 und 4 zeichnen:

### **Sprachverständnis**

Die bereits diskutierten Dialogprogramme oder Chatbots verfügen über ein bestimmtes Sprachverständnis, da diese sehr oft semantisch korrekt auf Aussagen eines menschlichen Dialogpartners reagieren können. Sprach-Assistenten wie Cortana, Siri oder Alexa „verstehen“ Befehle und veranlassen deren Ausführung. Sprachverständnis ist zwar noch nicht allumfassend, aber bereits in Ansätzen vorhanden.

### **Wortflüssigkeit**

Diese Eigenschaft geht mit dem Sprachverständnis einher. Chatbots reagieren unterschiedlich auf ein und dieselbe Aussage oder Frage eines Dialogpartners, der Wortschatz ist breit und wird abwechslungsreich eingesetzt.

### **Rechenfertigkeit**

Hier haben wir es mit der Basiskompetenz eines Software-Systems zu tun: Rechnen, Zahlen-, „Verarbeitung“ ist der allererste Einsatzzweck von Computern. Die Rechenleistung übersteigt die des Menschen bei Weitem.

### **Raumvorstellung**

Die selbstständige Orientierung im Raum ist für Hardware-Systeme, also Roboter, eine schwierige Aufgabe, die entsprechende Leistung in der Bilderkennung voraussetzt. Service-Roboter können sich in Räumen orientieren, Fahrassistenzsysteme steuern autonom das Fahrzeug durch die Straßen, Fußballroboter erkennen nicht nur Ball und Spielfläche, sondern können als Mannschaft kollektiv agieren. Raumvorstellungen können den Systemen vermittelt werden.

### **Gedächtnis**

Das Wiedergeben von Fakten ist genau genommen keine Intelligenzleistung, sondern nur eine Gedächtnisleistung. Das Gedächtnis, der Speicher, heutiger Datenbanken ist um ein Vielfaches größer als ein menschliches Gedächtnis. Der Zugriff auf zum Beispiel Wikipedia und eine entsprechende Textanalyse erschließt das kollektive Gedächtnis der Menschheit. Speichern und Wiedergeben ist eine Grundeigenschaft der Software-Systeme. Diese Leistung ist deutlich größer als beim Menschen.

### **Wahrnehmungsgeschwindigkeit**

Diese Eigenschaft ist schwer zu beurteilen. Die Erkennung von Objekten, insbesondere von mehreren Objekten, in Echtzeit ist zwar einerseits als gelöst zu betrachten, wenn wir beispielsweise die Systeme des autonomen Fahrens betrachten.

Andererseits ist die Objekterkennung in Echtzeit nach wie vor eine Herausforderung. Menschen können sehr viele unterschiedliche Objekte, auch in eher ungewöhnlichen Umgebungen, sehr schnell wahrnehmen und erkennen. Systeme benötigen derzeit noch ein objektbezogenes Training.

### **Schlussfolgernd-logisches Denken**

Ein Theoretiker wird zuerst die Frage stellen: Welche Logik wird hier zugrunde gelegt? Handelt es sich um eine formale Logik, wie die Aussagenlogik, der Prädikatenkalkül, die Fuzzy-Logik oder andere mathematisch fundierte Logiken, so kann ein Software-System damit arbeiten. Diagnosesysteme nutzen Prädikaten- oder Fuzzy-Logik oder setzen Sicherheitsfaktoren ein, um unscharfe und unsichere Situation besser abbilden zu können. Maschinen können logisch denken!

Psychologen sind wir nicht, deshalb ziehen wir die Strukturdefinition der Intelligenz mittels Intelligenzfaktoren nicht in Zweifel.

Für die Einschätzung von künstlicher Intelligenz sehen wir jedoch zudem Eigenschaften wie Lernfähigkeit, Abstraktionsvermögen oder Kreativität als entscheidende Kriterien.

Nach dem Gabler Wirtschaftslexikon „*bezeichnet [Kreativität] i.d.R. die Fähigkeit eines Individuums oder einer Gruppe, in phantasievoller und gestaltender Weise zu denken und zu handeln.*“ [Möh18]

Können alle obigen Intelligenzfaktoren durchaus auch in heutigen KI-Systemen gefunden werden, so ist trotz einiger Ansätze Kreativität in derzeitigen Systemen nur sehr beschränkt auszumachen.

Allgemein unterstützen Computerprogramme den Menschen bei der Bewältigung seiner Aufgaben, sie müssen folglich an seine Forderungen und Wünsche angepasst werden. In vielen Anwendungen wird mit der Untersuchung der menschlichen Tätigkeit begonnen, um diese dann durch den Einsatz von Hard- und Software effizienter oder angenehmer zu gestalten.

Das Messen am Menschen ist somit keine Besonderheit der künstlichen Intelligenz. Die Besonderheit liegt darin, dass man die Fähigkeiten des Menschen zum Denken, zum Lernen aus Beispielen oder allgemein die Fähigkeiten zum Problemlösen nachbilden will, um eine Leistungssteigerung des Computers zu erzielen. Im vorliegenden Buch werden für den KI-Einsteiger die grundlegenden Techniken vorgestellt und Anwendungen anhand einfacher und nachvollziehbarer Problemstellungen aufgezeigt. Behandelt werden dabei sowohl die klassische künstliche Intelligenz – die symbolverarbeitende KI – als auch konnektionistische KI wie die neuronalen Netze.

Die symbolverarbeitende KI geht von einer expliziten Darstellung des Wissens im Allgemeinen unter Nutzung logischer Konzepte aus. Dieser Teil der künstlichen Intelligenz wird als *symbolverarbeitend* bezeichnet, da Objekte und Subjekte benannt und im Computer durch Symbole repräsentiert. Auch ihre Eigenschaften, Beziehungen zwischen ihnen oder Ereignisse werden durch Symbole dargestellt. Das Wissen über ein Spezialgebiet und die Strategien zur Lösungsfindung werden vom Menschen (Entwickler) in das KI-System eingearbeitet. Das Programm kann dann durch die Verarbeitung des beschriebenen Wissens, durch eine Symbolverarbeitung, zu neuen Aussagen gelangen.

Diese klassische KI enthält eine Vielzahl von Teilgebieten. Im Zentrum unseres Buches stehen die Techniken aus den Bereichen der Wissensdarstellung und Wissensverarbeitung. Aufbauend auf der Wissensrepräsentation werden das Problemlösen durch Suchen sowie eine Programmiersprache der KI behandelt. Die logische Programmiersprache PROLOG erlaubt es, die

wesentlichen Ideen der symbolverarbeitenden KI einmal praktisch umzusetzen und ist zudem in einer freien Version verfügbar.

Die im Buch behandelten Themen decken bei weitem nicht das gesamte Gebiet der künstlichen Intelligenz ab. Spezielle Teilgebiete wie beispielsweise Teile des maschinellen Lernens oder der Verarbeitung natürlicher Sprache greifen (über die hier dargestellten Methoden hinaus) auf spezielle Formen der Wissensdarstellung wie beispielsweise verschiedene Grammatikarten zurück.

## ■ 1.3 Knobelaufgaben und symbolverarbeitende KI

Knobelaufgaben, wie sie in Büchern oder Zeitschriften gestellt werden, können sehr gut zur Veranschaulichung der Vorgehensweise der klassischen KI herangezogen werden. Das zu lösende Problem bezieht sich auf einen kleinen Ausschnitt der realen Welt, der allen geläufig ist und keine Einführung in ein Spezialgebiet erfordert. Die Aufgabenstellung enthält üblicherweise Informationen in Form von Aussagen, die auf den ersten Blick unzureichend erscheinen. Aufgrund logischer Überlegungen, Schlussfolgerungen aus den Aussagen, erkennt man dann mehr oder weniger schnell unter Nutzung von Allgemeinwissen des Rätsels Lösung. Probieren wir es:



### Beispiel 1.2 Wer programmiert in welcher Sprache?

In einer Firma arbeiten drei Freunde: ein C++-Programmierer, ein Java-Programmierer und ein Python-Programmierer. Ihre Namen sind Emil, Paul und Felix.

Der C++-Programmierer hat keine Geschwister (A); er ist der Jüngste der Freunde (B). Felix, der mit der Schwester von Emil verheiratet ist (C), ist älter als der Java-Programmierer (D).



Derartige Knobelaufgaben sind sehr gute Trainingssituationen für die Anwendung von Mitteln und Methoden der KI. Darüber hinaus sind sie praxisnäher, als sie auf den ersten Blick erscheinen. Auch eine praktische Aufgabenstellung bezieht sich stets auf einen kleinen Weltausschnitt. Das Wissen liegt häufig verbal formuliert vor und muss in eine formale Repräsentation übertragen werden, damit eine Wissensverknüpfung stattfinden kann. Zur Lösung ist neben dem vorhandenen Fachwissen auch Allgemeinwissen zu berücksichtigen und zu modellieren. Das Fachwissen ergibt sich aus der Aufgabenstellung. Bei Knobelaufgaben sind es die Aussagen des Aufgabentextes. Das Allgemeinwissen wird nicht formuliert, sondern beim Leser vorausgesetzt. In unserem Beispiel gehört das Wissen über die Altersrelation dazu: „älter“, „der Jüngste“.

Logisches Denken kann das Problem lösen. Im Kapitel 2 werden wir darlegen, wie eine Lösung durch ein Computer-Programm ermittelt werden kann.



### Beispiel 1.3 Wissensverknüpfung in einer Knobelaufgabe

Als Kurznotation wollen wir das Gleichheitszeichen = als „programmiert in der Sprache“ interpretieren. Somit besagt die Relation  $X = Y$ , dass die Person X in der Sprache Y programmiert. Analog versteht sich das Zeichen  $\neq$ .

Aus D folgt:	Felix $\neq$ Java	(E)
Aus B und D folgt:	Felix $\neq$ C++	(F)
Aus E und F folgt:	Felix = Python	(G)
Aus C und A folgt:	Emil $\neq$ C++	(H)
Aus G und H folgt:	Emil = Java	(I)

Aus den Schlussfolgerungen wissen wir nun, dass Felix der Python-Experte (G) ist und Emil in Java (I) programmiert. Damit bleibt für Paul die Programmiersprache C++ übrig.

Nach der Lektüre dieses Buches sollte der Leser in Zukunft Knobelaufgaben als Herausforderung betrachten, diese mittels der dargestellten KI-Techniken zu lösen. Das Wissen muss dabei so formalisiert und dargestellt werden, dass ein geeignetes Programm zur Wissensverarbeitung die Lösung bestimmen kann.

Es fällt vielen Menschen nicht leicht, derartige Aufgaben zu lösen. Umso mehr wird ein entsprechendes Programm einen Eindruck hinterlassen. Dagegen können alle Menschen eine Reihe von Aufgaben sehr schnell und gut lösen, die nur sehr schwer oder noch gar nicht mit einem Computer bearbeitet werden können. Dazu gehören die selbstverständlichen Dinge des täglichen Lebens wie die Gesichtserkennung, das Halten des Gleichgewichtes beim Gehen oder Radfahren, oder auch das Sprechen und Verstehen von gesprochenen oder gelesenen Worten.

Die vorher angedeutete Vorgehensweise der Wissensrepräsentation, wie sie die klassische KI verfolgt, hilft hier meist nicht weiter. Ein Versuch, Wissen zur Wiedererkennung einer bekannten Person zusammenzutragen, wird sehr schnell scheitern:

*rotes Haar, kurzes Haar, Bartstoppeln, rundes Gesicht*

sind Eigenschaften, die auf Tausende Menschen zutreffen, so dass daraus allein die Erkennung einer bestimmten Person kaum nachvollziehbar sein dürfte. Außerdem setzt man dabei voraus, dass die Eigenschaften wie rundes Gesicht von einem Computer bereits erfolgreich erkannt wurden. Wie erkennt ein Programm dieses aber aus einem Bild? Mittels neuronaler Netze wird versucht, derartige Tätigkeiten, die uns Menschen leichtfallen, im Computer nachzubilden, um diese zur Problemlösung einsetzen zu können. Neuronale Netze erzielen ein gewünschtes Verhalten durch das Zeigen und Verarbeiten von Beispielen. Das Wissen über das Reagieren auf Eingangsinformationen wird aus Beispielen, somit implizit und induktiv, erlernt. Ist ein Muster erst einmal gelernt und gespeichert, kann sich ein neuronales Netz sehr schnell daran „erinnern“. Innerhalb kurzer Zeit kann es eine Ähnlichkeit zwischen einem Bild und dem gespeicherten Muster erkennen.

## ■ 1.4 Geschichte der KI

Die künstliche Intelligenz gibt es nicht erst seit einigen Jahren, sondern die Idee einer KI kann auf eine lange Geschichte zurückblicken. Bereits im Mittelalter tauchten Ideen auf, eine Maschine zu bauen, die dem Menschen – zumindest zum Teil – ebenbürtig ist. Thomas Hobbes (1588-1679) vertrat die Position, dass *Denken* symbolisches Schließen sei, also nichts Anderes als etwas mit Papier und Stift herauszuarbeiten („*Reasoning is nothing but reckoning.*“). Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) konzipierte eine Universal-Maschine, die alles ausrechnen kann, also in der Lage ist, logische Schlüsse zu ziehen. Das *Leibnizsche Programm* sah vor, dass man sein Wissen in einer formalen Beschreibungssprache (*lingua characteristica*) aufschreiben konnte. Mit diesem Wissen konnte dann der *calculus ratiocinator* „rechnen“. Mit den Worten der heutigen KI gesprochen heißt das, Leibniz entwickelte eine formale Sprache zur *Wissensrepräsentation* sowie einen Inferenzmechanismus<sup>2</sup> (Wissensverarbeitung) zum *automatischen Schließen*. Leibniz und Hobbes können somit als Vordenker der KI angesehen werden.

Auch aus dem Blickwinkel der Geschichte des Computers ist der Schritt zur KI folgerichtig: Zunächst begann man, Maschinen zu entwickeln, die *rechnen* konnten. Es folgten Maschinen (Programme) an, die in der Lage sind, Texte zu verarbeiten (*Textverarbeitung*). Der nächste Schritt waren Programme, die mit *grafischen Darstellungen* umgehen können. Nun lernen die Computer das *Denken*.

Wir können die Geschichte der KI nicht umfassend darstellen, sondern gehen nur auf einige Ereignisse und Entwicklungsphasen ein. Die Geschichte der KI lässt sich in verschiedene Perioden einteilen:

**Erste Schritte 1950-1965** Durch die Entwicklung der ersten programmierbaren Computer in den 40er Jahren waren die technischen Voraussetzungen gegeben, sich mit der Automatisierung von intelligentem Verhalten zu befassen. Turing beispielsweise entwickelte bereits Ende der 40er Jahre ein Schachprogramm.

Nach einigen Vorarbeiten wurde 1956 auf der Dartmouth-Konferenz das Gebiet *Artificial Intelligence* aus der Taufe (Minsky, McCarthy, Newell, Simon u.a.) gehoben.

Gekennzeichnet ist diese Phase durch eine große Euphorie. Im Mittelpunkt stand die Suche nach universellen Lösungsmustern und deren Anwendung auf einfache Probleme. Beispielsweise entstand in dieser Zeit die so genannte *Klötzchenwelt*: Ein Roboter erkennt eine Welt, in der Klötzchen auf bestimmte Weise angeordnet sind und kann darin agieren, das heißt, er stapelt die Klötzchen nach entsprechenden Vorgaben um.

Erste Industrieroboter wurden entwickelt und eingesetzt. Auch im Bereich Sprachverarbeitung erzielte man erste Erfolge: Mit *Eliza*, einem auf reinem Text basierten Beraterprogramm, entwickelte Joseph Weizenbaum einen ersten Chatbot.

Der bereits vorgestellte Turing-Test fällt in die erste Hälfte dieser Phase.

**Ernüchterung 1965-1980** Aus der ersten Phase erwuchs die Erkenntnis, dass ein universelles Herangehen viel zu komplex ist, um erfolgreiche Anwendungen zu entwickeln. So setzte einerseits eine gewisse Spezialisierung ein, wie die Entwicklung erster Expertensysteme. So wurde Anfang der 70er Jahre an der Stanford University das medizinische Expertensystem MYCIN entwickelt.

<sup>2</sup> Inferenz = Schlussfolgerung, Schlussfolgern. Lateinisch *inferre*: „hineintragen“, „folgern“, „schließen“

Dies führte andererseits zu wiederum universell verwendbaren Techniken der Wissensdarstellung, der Wissensverarbeitung sowie der Suche.

Trotz der Ernüchterung, nicht alle Probleme universell lösen zu können, gingen die Erfolgsmeldungen weiter, nun aber spezialisiert auf bestimmte Anwendungsgebiete. Beispielsweise wurde am Stanford AI Lab das erste autonom fahrende Gefährt entwickelt.

**Periode 1980-1990** Durch die Erfahrungen der Jahre zuvor war klar, dass man problemspezifisch vorgehen muss. Die Leistungskraft einer Problemlösung hängt eher vom Problemwissen als von den allgemeinen Problemlösungstechniken ab. In diese Phase fallen erste ernstzunehmende Anwendungen der Expertensysteme. Neue Themen kommen auf, beispielsweise Fuzzy-Ansätze und Techniken zur Wissensakquisition. Ebenso orientierte man sich nun an naturanalogen Verfahren wie neuronalen Netzen, genetischen Algorithmen und Simulated Annealing.

Japan legte ein 10-Jahres-Programm zur Beschleunigung der KI-Techniken auf. Auch die Wirtschaft interessiert sich zunehmend für KI. Verbände zu speziellen KI-Themen entstehen, beispielsweise die Business Rules Group<sup>3</sup>.

Auch in Deutschland entstehen schlagkräftige Initiativen. So wurde beispielsweise 1988 das DFKI in Saarbrücken und Kaiserslautern gegründet.

Diese Periode endete wieder mit einer gewissen Ernüchterung, da man die gesteckten Ziele – wie beispielsweise im Japan-Projekt – nur zum Teil erreichen konnte.

**Periode 1990-2000** Es erfolgt ein gewisser Paradigmenwechsel zu den *Intelligenten Agenten*. Die anwendungsspezifische Spezialisierung geht weiter. Ebenso erleben die neuronalen Netze aufgrund der stark gewachsenen Leistungsfähigkeit der Computer eine Wiederauferstehung.

Im klassischen Bereich der Spiele gelingen spektakuläre Erfolge: Das Schachprogramm *Deep Blue* schlägt 1996 und 1997 Kasparow.

1997 findet der erste RoboCup statt, ein Wettbewerb, bei dem Computer gegeneinander spielen; entweder als Software oder als echte Roboter.<sup>4</sup>

**Periode 2000-2010** Die künstliche Intelligenz hält stärker Einzug in betriebswirtschaftliche Anwendungen. Die neuronalen Netze finden massiven Einsatz im Data Mining. Auch die öffentliche Wahrnehmung steigt. Die Verlage entdecken zunehmend das Thema KI: Die erste Auflage unseres Buches erscheint 2001.

Die Stories of success gehen weiter: 2009 stellt Google sein autonom fahrendes Auto vor.

**Seit 2010** Im Bereich Maschinelles Lernen wird eine neue Qualität erreicht, insbesondere durch Deep Learning. Deutliche Fortschritte werden bei der Objekterkennung und generell bei der Umgebungswahrnehmung erzielt. Medienwirksame KI-Erfolge sind zu vermelden: 2011 gewinnt IBM Watson beim Jeopardy. Alpha GO schlägt den Weltmeister.

Gegenwärtig erlebt die KI einen enormen Aufschwung. Die Leistungskraft der Computer hat ein Niveau erreicht, welches rechenintensive Lernalgorithmen – wie beispielsweise im Deep Learning – ermöglicht.

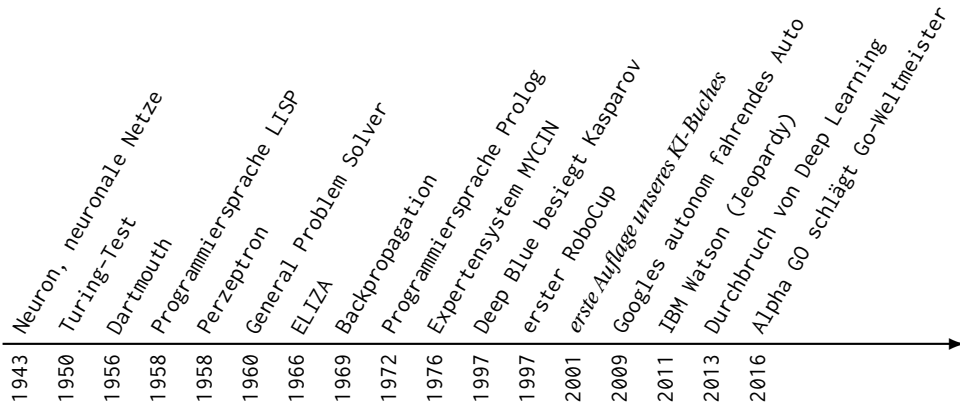
Viele Assistenzsysteme erbringen heute Leistungen, die aus unserer Sicht (menschliche) Intelligenz erfordern. Bei vielen Anwendungen ist die Marktreife erreicht.

---

<sup>3</sup> <http://www.businessrulesgroup.org>

<sup>4</sup> <https://www.robocup.org/>

Die Geschichte der KI besteht aus einem permanenten Auf und Ab. Das Pendel zwischen Ernüchterung und Euphorie schwingt gegenwärtig wieder in Richtung Euphorie. Und dies ist durchaus berechtigt, denn die Stories of success gehen mittlerweile weit über das Niveau von intelligenten Spielalgorithmen hinaus. Vom bereits erwähnten autonom fahrenden Auto über das automatische Rating von Kreditkunden bis hin zu leistungsfähiger Bildverarbeitung gibt es mittlerweile eine Vielzahl von erfolgreichen Anwendungen.



**Bild 1.4** Geschichte der Künstlichen Intelligenz

## ■ 1.5 Wir und die KI

In den Anfangsjahren hatte die KI keine nennenswerte Resonanz in der Allgemeinheit, selbst in den Jahren der ersten Expertensysteme ging die Wirkung kaum über die Fachkreise der Informatik hinaus. Nichtsdestotrotz wurden Expertensysteme weiterentwickelt und fanden Eingang in verschiedene Anwendungen: Es entstanden Diagnosesysteme, die zwar tagtäglich eingesetzt werden, eine künstliche Intelligenz sieht darin aber niemand.

Auch die Entwicklung der schon erwähnten Chatbots, also Programmen für die textuelle Unterhaltung, fand kaum Aufmerksamkeit in der Gesellschaft. So wird seit den 1990er Jahren der Loebner-Preis für die beste Chat-Software vergeben, dies aber außerhalb der Community nicht wahrgenommen.

Die Computer sind immer leistungsfähiger geworden. Methoden und Techniken, die in und für die KI entwickelt wurden, haben dazu beigetragen. Die KI war dennoch lange Zeit kein allgemeines Diskussionsthema.

Weitgehend wurden Techniken der symbolverarbeitenden KI eingesetzt. Aufgrund der expliziten Darstellung des Wissens kann die Arbeitsweise derartiger Systeme gut nachvollzogen werden. Wir sprechen hier von *White-Box-KI*. Die Möglichkeit, das Verhalten eines Systems zu sehen und zu erklären, ist ein wesentlicher Grund dafür, dass diese KI nicht bedrohlich wirkt.

Auch die Niederlage des damaligen Schachweltmeisters Kasparow gegen ein Schachprogramm änderte an der allgemeinen Wahrnehmung nicht viel. Auch das wirkt nicht gefährlich,



Schach wird auch heute noch zwischen Menschen gespielt. Und das, obwohl Schachprogramme auf einem Handy stärker als Schachgroßmeister spielen.

In den Jahren 2012 bis 2015 gelang der Durchbruch bei der Handschrift- und Objekterkennung mittels der Convolutional Neural Networks. Diese höhere Leistungsfähigkeit macht eine Reihe von sehr medienwirksamen Anwendungen möglich, wie insbesondere das autonom fahrende Auto.

Etwa gleichzeitig entstanden die Sprachassistenten Siri (2011), Alexa (2017) und Cortana (2014), die gesprochene Sprache verstehen, besser erkennen, und mehr oder weniger sinnvoll darauf reagieren können. Diese menschlich wirkenden Assistenten erzeugen ein neues Bild der KI, die damit im Alltag gegenwärtig ist. Das autonom fahrende Auto für jedermann im normalen Straßenverkehr wird zwar noch eine geraume Zeit auf sich warten lassen, wird aber schon jetzt medienwirksam diskutiert, so dass auch hier die KI greifbar erscheint. Auf diese Weise ist die KI in den Jahren 2017-2019 zu einem in den Medien viel verwendeten Begriff geworden und in der Allgemeinheit angekommen. Die KI wird als eine der Zukunftstechnologien dargestellt, und so wurde 2019 zum Wissenschaftsjahr der künstlichen Intelligenz.<sup>5</sup>

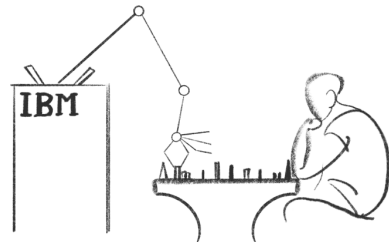
Andererseits wird gerade durch die Medien auch ein düsteres Bild der Zukunft heraufbeschworen: Die KI übernimmt die Macht und für den Menschen bleibt kein Platz. Wie realistisch sind diese Prognosen? Spekulationen über ein intelligentes künstliches Wesen und dessen Auswirkungen gibt es aber nicht erst neuerdings: Der Mathematiker Irving J. Good<sup>6</sup> spielte 1965 mit diesem Gedanken. Wir übernehmen den originalen englischen Text:

*Let an ultraintelligent machine be defined as a machine that can far surpass all the intellectual activities of any man however clever. Since the design of machines is one of these intellectual activities, an ultraintelligent machine could design even better machines; there would then unquestionably be an „intelligence explosion“, and the intelligence of man would be left far behind. Thus the first ultraintelligent machine is the last invention that man need ever make, provided that the machine is docile enough to tell us how to keep it under control.*

Marvin Minsky, einer der KI-Pioniere, die 1956 bei der ersten KI-Sommerschule dabei waren, warnte dann 1970, dass wir aufpassen müssen, dass die Maschinen nicht die Kontrolle über uns Menschen bekommen und fügt hinzu: „Wenn das passiert, dann können wir froh sein, wenn die Roboter uns als Haustiere halten.“<sup>7</sup>

Wird es ein solches super- oder ultra-intelligentes künstliches Wesen geben und wenn ja, wann?

Bis jetzt haben wir es mit Hard- und Software-Lösungen zu tun, die zwar immer mehr Aufgaben des Menschen übernehmen, aber dies nur auf einem speziellen Gebiet. Weder kann das Schach spielende Programm GO spielen noch ein Fahrzeug autonom steuern. Wir haben es nach wie vor mit sogenannter schwacher KI zu tun, und dies wird noch einige Jahre andauern.



<sup>5</sup> <https://www.wissenschaftsjahr.de>

<sup>6</sup> Irving J. Good arbeitete im Team von Alan Turing mit, welches den Enigma-Code im Zweiten Weltkrieg entschlüsselte.

<sup>7</sup> „Once the computers got control,“ says Minsky, „we might never get it back. We would survive at their sufferance. If we're lucky, they might decide to keep us as pets.“ [Dar70]

Wir sprechen von *schwacher KI*, wenn die Maschine auf einem speziellen Gebiet dem Menschen vergleichbare oder sogar bessere Leistungen zeigt.

Eine KI, die auf vielen oder sogar allen Gebieten, einem Menschen ebenbürtige Leistungen erreicht, wird als *starke KI* bezeichnet. Obige Äußerungen gehen noch einen Schritt weiter und betrachten eine Super-KI. Auch wenn die Medien uns suggerieren, dass eine Beherrschung des Menschen durch die Maschine kurz bevorsteht, so entbehrt das derzeit jeder realistischen Grundlage. Eine sehr optimistische Prognose wird in dem Buch von Toby Walsh [Wal19] gegeben: Im Jahr 2062 werden wir eine starke KI entwickelt haben. Dann ist es aber noch ein weiterer Schritt zu einer Super-KI.

Wesentlicher als die Gedankenspielererei über eine Zeit, in der wir Menschen möglicherweise von Maschinen beherrscht werden, erscheint uns eine Diskussion über den Einsatz der heutigen Informationstechnologie (IT), die ja ständig leistungsfähiger und damit auch vermeintlich klüger wird. Ein alter KI-Spruch lautet: „KI ist etwas, was, wenn es fertig ist, keine KI mehr ist.“ Viele Ergebnisse der KI-Forschung werden in „normale“ Software integriert, und wir nutzen dann diese neue Software, freuen uns über neue Möglichkeiten, werden dies aber selten als KI wahrnehmen.

Die Geschichte der Menschheit lehrt, dass jede Technik nicht nur zum Wohle der Menschen, sondern auch zu ihrem Schaden eingesetzt werden kann. Das gilt auch für die KI, auch heute schon: Wie beeinflussen Algorithmen (unter Nutzung von KI?) die Meinungsbildung in den sozialen Medien? Entscheidungen werden von künstlichen neuronalen Netzen getroffen, deren Verhalten mittels tausender Beispieldaten antrainiert wird. Müssen wir uns diesen maschinellen Entscheidungen unterwerfen, ohne dass wir Begründungen für eine Entscheidung erhalten?

Dieses ist eines der derzeit vordergründigen Forschungsaufgaben in der KI: Wie kann eine *Black-Box-KI*, beispielsweise ein neuronales Netz, Auskunft oder Begründungen für ihr Verhalten geben, damit wir Nutzer den Entscheidungen mehr Vertrauen entgegenbringen können.

Die Europäische Union hat im Jahre 2019 Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI verabschiedet, vgl. [Eur19]. Der zuerst genannte Grundsatz lautet: „*Die Entwicklung, Einführung und Nutzung von KI-Systemen muss so erfolgen, dass die folgenden ethischen Grundsätze eingehalten werden:*

- *Achtung der menschlichen Autonomie,*
- *Schadensverhütung,*
- *Fairness,*
- *Erklärbarkeit.“*

Treten Probleme beziehungsweise Widersprüche zwischen der Erreichbarkeit der Ziele auf, so sind diese zu benennen und aufzulösen.

Wir müssen uns also Regeln vorgeben, nach denen die Entwicklung und der Einsatz von KI vonstattengeht. Es hat vieler Großfeuer insbesondere in den Städten erfordert, bis Brandschutzregeln durchgesetzt wurden, die die Zahl der Brände erheblich verringert haben. Ganz verhindern lassen sich Brände nicht, trotz der Straßenverkehrsordnung gibt es (zu) viele Unfälle. Und so müssen wir wohl auch den Einsatz der KI betrachten: Schäden, die durch, insbesondere autonom agierende, KI verursacht werden, sind erträglich klein zu halten. Vollständig vermeiden werden sich die Schäden auch hier nicht.

Wir wagen ein paar Prognosen:

Wir erwarten, dass die Sprachassistenten sich zu sozialen Agenten weiterentwickeln. Wenn diese ihre Leistungsfähigkeit auch ohne Vernetzung mit zentralen Rechnern bei Google, Apple oder Amazon erreichen, so wird die Verbreitung erheblich zunehmen und diese werden zu unseren ständigen Begleitern werden.

Wir wagen zu prognostizieren, dass das autonome Fahren sich nur sehr, sehr langsam durchsetzen wird und nicht innerhalb der nächsten 10 Jahre (nach Erscheinen dieser Auflage) außerhalb von Teststrecken oder Forschungsprojekten zu erwarten ist.

Werden die Roboter im Jahre 2050 den Fußballweltmeister schlagen? Die Physis von Robotern ist noch sehr weit von der menschlichen Physis entfernt. Vielleicht wird der Fußballweltmeister besiegt, aber dann von Robotern, die keine menschenähnliche Gestalt aufweisen.

Es wird sehr große Fortschritte mit der KI in der Medizin und der Medizintechnik geben: Von treffsicheren Diagnosen, personalisierten Behandlungen bis hin zu KI-gesteuerten operativen Eingriffen werden helfen, uns gesunden zu lassen oder Erkrankungen zu vermeiden.

Wir sehen die Entwicklung der KI mit großem Optimismus und erwarten viele nützliche Anwendungen.

### Übung 1.1 KI-Definitionen

Recherchieren Sie Definitionen des Begriffes künstliche Intelligenz und vergleichen Sie diese Definitionen mit der in diesem Buch gegebenen Definition.

### Übung 1.2 Mensch und Intelligenz

Bilden Sie Ihre Meinung: Kann es Intelligenz außerhalb des Menschen geben? Begründen Sie Ihren Standpunkt.

### Übung 1.3 Chatbots

Testen Sie verschiedene Chatbots. Vergleichen Sie Chatbots, die rein für die Unterhaltung entwickelt wurden, wie beispielsweise Mitsuku, mit denen, die für eine konkrete Anwendung eingesetzt werden, wie zum Beispiel ein Chatbot eines Paketdienstes oder eines Energieversorgers.

### Übung 1.4 Schwache KI

Stellen Sie einige Beispiele für schwache KI zusammen.

### Übung 1.5 Knochelei

Nehmen Sie sich das Beispiel der Programmierer zum Vorbild, formulieren Sie das Wissen aus den folgenden drei Sätzen und beantworten Sie die Frage: Ist das möglich?

*Wenn Emil die Schule schwänzt, dann schwänzt Lena auch. Wenn Paul oder Emil die Schule schwänzen, dann schwänzt Lena nicht. Emil schwänzt die Schule.*

# 2

## Darstellung und Verarbeitung von Wissen

Eines der Kerngebiete der symbolverarbeitenden künstlichen Intelligenz ist die Wissensrepräsentation und -verarbeitung. Die Geschichte der KI ist zu großen Teilen durch die Frage geprägt, wie man Wissen auf einem Computer darstellen und verarbeiten kann. Im ersten Abschnitt gehen wir zunächst auf verschiedene Wissensarten ein, die wir Menschen nutzen. Es folgt die Diskussion eines der Grundprinzipien der automatischen Wissensverarbeitung: die Trennung von Wissensrepräsentation und -verarbeitung. Die verbleibenden Abschnitte befassen sich mit Techniken zur Darstellung und Verarbeitung von Wissen auf einem Computer.

### ■ 2.1 Wissen und Wissensarten

Wissen wird als Information verstanden, die in bestimmten Situationen wertvoll ist und für Entscheidungen genutzt werden kann. Wissen ist Information, die für die Lösung eines Problems wertvoll und hilfreich ist.



#### Definition 2.1 Wissen

Als *Wissen* betrachten wir Information, die angewendet werden kann.

In welcher Form kann man Wissen repräsentieren?

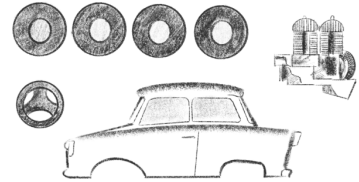
Die von uns Menschen hauptsächlich genutzte Sprache zur Wissensdarstellung ist die natürliche Sprache. Allerdings ist sie wenig geeignet, als Sprache zur Repräsentation von Wissen auf dem Computer zu dienen. Dies liegt im Wesentlichen an der großen Vielfalt, die unsere Sprachen bieten. Ein und derselbe Sachverhalt lässt sich im Deutschen unterschiedlich darstellen. Die Aussagen „Heute ist Montag“, „Montag ist heute“, „Der heutige Tag ist Montag“ und „Heute ist der Tag vor dem Dienstag“ haben alle die gleiche Bedeutung. Dies ist für eine effiziente Verarbeitung sehr ungünstig, da vor der eigentlichen Verknüpfung des Wissens eine Vereinheitlichung der Aussagen, eine so genannte Normalisierung erforderlich ist. Dies ist eines der Probleme, die bei der automatischen Verarbeitung natürlicher Sprache gelöst werden müssen.

Mit welchen Wissensarten gehen wir Menschen tagtäglich um?

*Beziehungs-Wissen* spielt in unserem Alltag eine große Rolle. Beziehungen zwischen Personen (X ist mit Y verheiratet) oder zwischen Objekten (der Motor ist ein Teil vom Auto) sind typische

Vertreter. Man bezeichnet dies als **relationales Wissen**. Es widerspiegelt einfache Beziehungen zwischen Objekten. Relationales Wissen kann beispielsweise in relationalen Datenbanken dargestellt werden. Ein Nachteil ist, dass im Allgemeinen nur Fakten, aber keine logischen Abhängigkeiten abgebildet werden können.

Im Alltagswissen arbeiten wir häufig mit der **Vererbung von Eigenschaften**. Weiß man, dass ein Auto einen Motor hat und dass der Audi ein Auto ist, so schließen wir sofort, dass der Audi einen Motor hat. Die Eigenschaft „hat Motor“ wird vom Oberbegriff Auto auf den Unterbegriff Audi vererbt.



Obwohl wir nicht explizit gesagt haben, dass der Audi einen Motor hat, wissen wir es, da der Audi eine spezielle Form eines Autos ist und jedes Auto einen Motor hat.

**Prozedurales Wissen** ist Wissen, das in bestimmten Situationen Aktionen vorschreibt. Viele Eröffnungen beim Schach können prozedural dargestellt werden. Das Tanken eines Autos oder das Betreten eines Restaurants sind ebenfalls feste Abfolgen von Aktionen.

Häufig arbeiten wir auch mit **logischem Wissen**. Wird der FC Hansa Rostock mindestens Tabellenvierter in der 1. Fußballbundesliga, so ist er für einen internationalen Wettbewerb qualifiziert. Dies ist eine logische Implikation. Aus  $A$  folgt  $B$ :  $A \rightarrow B$ . Wird Rostock Tabellendritter ( $A$ ), so kann geschlossen werden, dass  $B$  gilt.

In diesem Kapitel werden ausgewählte Wissensrepräsentationsformalismen behandelt, die die obigen Wissensarten in unterschiedlicher Art umsetzen.

Die am besten untersuchte Form der Wissensrepräsentation ist die **Logik**. Es werden zwei Formen betrachtet: die **Aussagenlogik** und die **Prädikatenlogik erster Stufe**.

**Semantische Netze** und **Frames** sind spezielle Formen einer graphisch beziehungsweise objektorientierten Darstellung für Objekte und deren Eigenschaften. Diese Formen der Wissensrepräsentation beinhalten Vererbungstechniken.

**Regel-basierte Sprachen** setzen das Konzept der bedingten Ausführung von Aktionen um: *WENN in einem Zustand bestimmte Bedingungen erfüllt sind, DANN führe eine Aktion aus.*

Im letzten Abschnitt wird auf **vage Aussagen**, deren Darstellung und Verarbeitung eingegangen. Vage Aussagen sind Aussagen wie: „Es ist hell“, „Morgen wird es mindestens zehn Stunden Sonnenschein geben“.

Für das Studium von weiterführenden Konzepten sei auf die Literatur verwiesen ([BHSA07], [Gin93], [GRS13]). Diese Konzepte befassen sich beispielsweise mit:

- zeitlichem Wissen,
- unvollständigem Wissen,
- Constraints (Wissensdarstellung mittels einschränkender Bedingungen),
- Fall-basiertem Schließen.

## ■ 2.2 KI und explizite Wissensdarstellung

Um dem Computer Wissen zugänglich zu machen, ist eine Repräsentation in einer Form nötig, die der Computer „verstehen“ kann. Mit „Verstehen“ ist nicht gemeint, dass er tatsächlich weiß, was Begriffe wie *reich*, *1 kg* oder *GmbH* bedeuten. Ein Computer muss diese Information nur in geeigneter Weise verarbeiten können. Wir betrachten somit in diesem Kapitel sogenanntes *explizites Wissen*: Wissen, das nicht nur irgendwie vorhanden ist, sondern mittels Sprache oder Bildern (allgemein Zeichen) so ausgedrückt werden kann, dass eine Kommunikation möglich wird.

Der Wunsch nach einer formalisierten und automatisierten Wissensdarstellung und Wissensverarbeitung ist sehr alt. Bereits Aristoteles entwickelte mit seiner **Sylogistik** eine Form der formalisierten Wissensverarbeitung.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), der sowohl auf philosophischen als auch mathematischen Gebieten tätig war, entwickelte ein Konzept, mit dem man im Prinzip alles ausrechnen kann. Das leibnizsche Programm (vgl. Abschnitt 1.4) sah vor, dass sämtliches Wissen, welches man über einen Problembereich hat, formalisiert wird. Hierfür ist eine Sprache erforderlich, in der dieses Wissen formuliert werden kann. Anschließend sollte es möglich sein, mit diesem Wissen zu „rechnen“. Dies erfordert einen Mechanismus, der Informationen in dieser Sprache verarbeiten kann. Leibniz bezeichnete die erforderliche Sprache und den Verarbeitungsmechanismus als:

- *lingua characteristic*
- *calculus ratiocinator*.

Mit den Worten der künstlichen Intelligenz aus heutiger Sicht benötigt man

- eine formale Sprache zur **Wissensrepräsentation (WR)**,
- einen Mechanismus zum automatischen Schließen (**Wissensverarbeitung, WV**).

Um ein Problem zu lösen, wird typischerweise in diesen Schritten vorgegangen:

**Charakterisierung des Gegenstandsbereiches** Zunächst wird das Wissen über einen Gegenstandsbereich gesammelt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass nur problemrelevantes Wissen herangezogen wird. Soll ein Kunde bezüglich seiner Kreditwürdigkeit betrachtet werden, ist seine Haarfarbe völlig uninteressant.

Relevant ist ebenfalls der *Detaillierungsgrad* einer Information. Sind im Zusammenhang mit der Kreditwürdigkeit die vorhandenen Sicherheiten eines Kunden zu beurteilen, spielen Besitzgüter unterhalb einer bestimmten Grenze keine Rolle.

**Symbolische Repräsentation der Objekte** Der zweite Schritt ist die *formale Darstellung* des gesammelten Wissens in einer geeigneten Sprache. Geeignete Darstellungsformen können beispielsweise mathematische Relationen, eine Logik, aber auch eine passende Programmiersprache sein.

**Eingabe des Wissens in den Computer** Das Wissen über den Problem- oder Gegenstandsbereich wird nun dem Computer übergeben.

**Fragen stellen** Darauf aufbauend erfolgt die Lösung des Problems, indem beispielsweise Fragen über die Kreditwürdigkeit eines Kunden X gestellt werden. Dabei wird versucht, eine zu prüfende Annahme aufgrund des vorhandenen Wissens nachzuweisen.