Physikalisch
Technische
Bundesanstalt

PTB-Bericht

Werner Gitt

Künstliche Intelligenz

- Möglichkeiten und Grenzen -

PTB-TWD-34
Braunschweig, Januar 1989

ISSN 0931-7813
ISBN 3-88314-852-0

Die Serien der PTB-Berichte

Abteilung Atomphysik	PTB-APh
Abteilung Technisch-Wissenschaftliche Dienste	PTB-TWD
Abteilung Elektrizität	PTB-E
Abteilung Fertigungsmeßtechnik	PTB-F
Abteilung Mechanik und Akustik	PTB-MA
Abteilung Optik	PTB-Opt
Abteilung Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle	PTB-SE
Abteilung Wärme	PTB-W
Dosimetrie	PTB-Dos
Elektronische Entwicklung	PTB-EW
Forschungs- und Meßreaktor Braunschweig	PTB-FMRB
Literaturzusammenstellungen und Veröffentlichungsverzeichnisse	PTB-L
Medizinische Meßtechnik	PTB-MM
Neutronendosimetrie	PTB-ND
Internationale Organisation für Gesetzliches Meßwesen	PTB-OIML
Physikalische Grundlagen	PTB-PG
Radioaktivität	PTB-Ra

Ausgelaufene Serien

Institut Berlin der PTB	(bis 1980)	PTB-IB
Abteilung Akustik	(bis 1985)	PTB-Ak
Abteilung Mechanik	(bis 1985)	PTB-Me

Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Bundesallee 100
Postfach 3345
3300 Braunschweig

Telefon: 0531/5920
Telex: 9 52 822 ptb d
Telegramme: bundesphysik braunschweig

Institut Berlin
der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Abbestraße 2 - 12
1000 Berlin 10 (Charlottenburg)

Telefon: 030/34811
Telegramme: bundesphysik berlin

Vertrieb:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
Am Alten Hafen 113-115
2850 Bremerhaven

Telefon: 0471/46093-95

Vorwort aus Anlass der Neuauflage des PTB-Berichtes PTB-TWD-34

Diese elektronische Version des PTB-Berichtes PTB-TWD-34 ist durch Digitalisierung der 1989 erschienen Druckversion erzeugt worden. Die folgenden Seiten sind Bilddateien.

Der Begriff „Künstliche Intelligenz“ (KI) suggeriert, dass Intelligenz maschinell generiert werden kann, derart, wie man künstliche Gelenke oder Kunstseide herstellen kann. Zuweilen macht sich eine Angst breit, die künstliche Intelligenz werde eines Tages die menschliche Intelligenz überflügeln, was zu ungeahnten Gefahren für die Menschheit werden kann. In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, wo die Grenzen des Machbaren liegen und dass KI nur das bewerkstelligen kann, was menschliche Intelligenz in Maschinenprogramme umsetzen kann. Was ist der Grund dafür? Intelligenz und Information, die Basis aller KI, sind nicht-materielle Größen, die darum von materiellen Systemen nicht erzeugt werden können. Diese Mauer kann durch kein Artefakt übersprungen werden. Der Computer denkt nicht; er tut, was sein Name sagt: Er rechnet. Keine noch so gut programmierte Maschine wird selbst in der Lage sein, neue kreative Information hervorzubringen, weil hierzu ein geistiger Prozess vonnöten ist.

Schlagworte: Grenzen der Künstliche Intelligenz, Expertensysteme, Kennzeichen natürlicher Sprachen, Pragmatik, Apobetik, nicht-materielle Größen, menschliche Intelligenz.

Dr. Werner Gitt, Dir. und Prof. a.D., Braunschweig im November 2018

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:
Gitt, Werner. Künstliche Intelligenz : Möglichkeiten und Grenzen. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), 1989. Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de).

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Abteilung Technisch-Wissenschaftliche Dienste

PTB-Bericht TWD-34

"Künstliche Intelligenz"
- Möglichkeiten und Grenzen -

von

Werner Gitt

PTB-TWD-34
Braunschweig, Januar 1989

ISSN 0931-7813
ISBN 3-88 314-852-0

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Was ist Intelligenz?	2
3	Die Erscheinungsformen von Information	4
4	KI-Systeme	8
	4.1 Expertensysteme	8
	4.2 Robotik	15
	4.3 Bildverarbeitung	15
	4.4 Sprachverarbeitung	16
5	Grenzen von KI	35
6	Zusammenfassung	41
7	Literatur	42

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

"Künstliche Intelligenz"
- Möglichkeiten und Grenzen -

Die Computertechnik hat in Hard- und Software eine so stürmische Entwicklung mit sich gebracht, daß es kaum Bereiche gibt, in denen der Einfluß nicht spürbar geworden ist. Mit diesem Fortschritt haben sich bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Computern Bilder und Redewendungen eingeschlichen, die ihnen menschliche Eigenschaften und Fähigkeiten zuzuschreiben scheinen. So werden Wörter, die zur Charakterisierung des Menschen dienen, unversehens auf Maschinenleistungen übertragen. An der Wortschöpfung "Künstliche Intelligenz" (KI) wird dies besonders deutlich. Im folgenden sollen die Möglichkeiten und Grenzen von KI untersucht und mit den menschlichen Fähigkeiten verglichen werden.

"Artificial intelligence" - potentialities and limitations
Computer technology has brought about such a rapid development in the hardware and software sector that there are scarcely any fields in which this influence has not made itself felt. With the progress achieved, in descriptions of the efficiency of computers, metaphors and terms of speech have crept into use which seem to attribute to them human features and abilities. As a result, words which serve to characterize man are suddenly used to describe the performance of machines. This becomes particularly evident when we consider the coining of the phrase "artificial intelligence". In the following, the potentialities and the limitations of artificial intelligence will be examined and compared with human abilities.

1 EINLEITUNG

Der Begriff "Künstliche Intelligenz" - kurz KI genannt - taucht in den Schlagzeilen vieler Fachzeitschriften, aber auch in populären Beiträgen zunehmend häufiger auf. Dieses Schlagwort suggeriert die Annahme, daß es künftig wohl keinen Unterschied mehr zwischen der Intelligenz des Menschen und der eines Computers geben wird. Im folgenden soll geprüft werden, ob diese Annahme gerechtfertigt ist. Die ersten Rechner nannte man in den 50er Jahren vielversprechend Elektronengehirne. Erfreulicherweise gehört dieser

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Begriff nun der Vergangenheit an, denn das menschliche Gehirn hat mit einem Computer kaum Gemeinsamkeiten. Ebenso hat das aus dem Amerikanischen kritiklos übernommene und zudem nicht korrekt übersetzte Schlagwort "Artificial Intelligence" mehr zur Verwirrung als zur Klärung dessen beigetragen, um was es hierbei in der Sache geht bzw. gehen sollte:

- Es geht wohl nicht darum, Systeme zu schaffen, mit deren Hilfe sich eine bei Menschen auftretende Intelligenz-Insuffizienz (in Analogie zur Nieren-Insuffizienz, der durch eine künstliche Niere abgeholfen werden kann) künstlich beheben läßt.

- Das englische "intelligence" steht nicht nur für Intelligenz, sondern auch schlichtweg für das Sammeln, Mitteilen und Auswerten von Nachrichten. Ein "Intelligence Bureau" ist ja auch kein "intelligentes Büro", sondern ein Nachrichtendienst.

Für KI gibt es keine feststehende Definition, dennoch läßt sich die anvisierte Aufgabenstellung wie folgt umreißen: Es handelt sich in erster Linie weder um die Hardware einer neuen Computergeneration noch um neuartige Rechnerarchitekturen, sondern um eine Software-Technologie, d.h. um Programmsysteme, von denen wir hier auf die vier wichtigsten eingehen wollen:

1. Expertensysteme
2. Robotik
3. Bildverarbeitung
4. Sprachverarbeitung

Die größten Fortschritte wurden bislang auf dem Gebiet der Expertensysteme erzielt, darum soll dieser Bereich besonders behandelt werden. Um die Möglichkeiten und Grenzen von KI beurteilen zu können, wollen wir zunächst auf die beiden Begriffe "Intelligenz" und "Information" eingehen.

2 WAS IST INTELLIGENZ?

Das lateinische Wort "intellegere" setzt sich zusammen aus "*inter*" (zwischen) und "*legere*" (lesen; buchstäblich: pflücken, sammeln, anhäufen und damit wählen und einen Eindruck gewinnen) und bedeutet soviel wie einsehen oder durchschauen, d. h. sich in bestimmten Situationen einsichtig und umsichtig zurechtzufinden. Die Komplexität des Intelligenzbegriffes bringt es mit sich, daß es keine allgemein anerkannte Definition hierfür gibt. Grundlegende Arbeiten auf diesem Gebiet stammen von *L. L. Thurstone* ("Primary mental abilities", 1938) und *J. P. Guilford* ("Nature of human intelligence", 1967), die ein multiples Faktorenmodell bzw. ein dreidimensionales Modell von Intelligenzfaktoren vorschlugen. Unter Intelligenz (lat. *intel-*

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

ligentia) subsumiert *H. Westhoff* [22] folgende allgemeine Fähigkeiten: Erkenntnisvermögen, Erfassen von Möglichkeiten, Urteilsbildung, Begreifen von Zusammenhängen, Einsichten haben und geistige Auffassungskraft entwikkeln. Nach der *Brockhaus Enzyklopädie* [2] "wird im Begriff der Intelligenz eine nur diffus abgrenzbare Gruppe von mehr oder minder unabhängigen Einzelfähigkeiten und -funktionen subsumiert, die verknüpft ist mit anderen Begabungen sowie emotionalen und motivationalen Komponenten der Persönlichkeit". Im folgenden wollen wir eine Liste solcher Einzelfähigkeiten nennen. Diese Aufzählung ist weder vollständig noch sind die 25 genannten Faktoren als unabhängig voneinander aufzufassen:

- Sprachbeherrschung
- Erkenntnisfähigkeit
- Fähigkeit zur Einsicht
- Lernfähigkeit
- Beurteilung und Bewältigung neuartiger Situationen
- Auffassungsgeschwindigkeit und -genauigkeit
- Assoziationsfähigkeit
- Kombinatorische Fähigkeit
- Fähigkeit zur Abstraktion
- Konzentration auf wesentliche Aspekte
- Gedächtnisleistung
- Visuelles Vorstellungsvermögen (z. B. Bildverarbeitung, Muster erkennen, vergleichen und schaffen)
- Räumliches Vorstellungsvermögen
- Denkfähigkeiten (z.B. Denken in übergreifenden Zusammenhängen, logisches oder allgemein schlußfolgerndes Denken, Verknüpfung semantischer Strukturen)
- Rechengewandtheit
- Setzen von Zielvorstellungen
- Auffinden neuer methodischer Wege zu Problemlösungen (z. B. Entwicklung neuer Strategien, Konzeptionen, Algorithmen, Konstruktionen)
- Fähigkeit, Entscheidungen zu treffen, die nicht aus determinierbaren Regeln folgen, sondern im wesentlichen aufgrund persönlicher Ziele und Motive zustandekommen
- Kreativität (z. B. Erfindungsgabe, Entwicklung neuer Gedanken, Schaffung neuer Information)
- Intuition
- Phantasie
- Selbständigkeit
- Originalität
- Fähigkeit zur Kommunikation
- freie Willensentscheidung

Beim Vergleich mit KI stellt sich die Frage, ob diese Intelligenz-Faktoren mit Computern modellierbar sind.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

3 DIE DREI ERSCHEINUNGSFORMEN DER INFORMATION

Information begegnet uns auf Schritt und Tritt und beinhaltet so weite Bereiche, wie sie aus den folgenden Erscheinungsformen ersichtlich sind:

- Von der Mitteilung durch eine Urwaldtrommel bis zum Telefonat über einen Fernmeldesatelliten
- Von der prozeßrechnergesteuerten Synthese eines Kunststoffs bis zur adaptiven Regelung in einem Walzwerk
- Von der technischen Zeichnung für einen Benzinmotor bis zum Verdrahtungsplan eines Computers
- Vom Hormonsystem eines Organismus bis zur instinktgesteuerten Information bei den Zugvögeln
- Vom Genom einer Bakterienzelle bis zur genetischen Erbinformation des Menschen.

Um Information bezüglich Herkunft und Verarbeitung (Übertragung, Übersetzung, Ausführung, Ergebnis) hinreichend zu erfassen, bedarf es einer erheblichen Ausweitung über die nur den statistischen Aspekt erfassende Shannonsche Theorie hinaus. In [8] und [9] wurde erstmals neben den vier Informationsebenen *Statistik*, *Syntax*, *Semantik* und *Pragmatik* noch die notwendige *Apobetik* eingeführt, die sich für jede Information als obligatorisch herausstellt. *Bild 1* weist auf die Gültigkeit dieser fünf Ebenen sowohl auf der Sender- als auch auf der Empfängerseite hin. Neben dieser Gliederung nach Aspekten ist es vorteilhaft, auch *vom Zweck her* eine Aufteilung vorzunehmen. Es hat sich bewährt, die folgenden drei Kategorien einzuführen [10], in die die Einordnung aller uns begegnenden Informationsarten gelingt. Es ist darauf hinzuweisen, daß jegliche Information ein geistiges Konzept darstellt:

1. Herstellungsinformation: Hierzu wollen wir alle Information rechnen, die dem Zweck dient, eine Sache herzustellen. Bevor ein Erzeugnis geschaffen wird, setzt der Sender seine Intelligenz, seinen Ideenreichtum, sein Know-how, seine Erfindergabe ein und codiert seine Konzeption in geeigneter Weise. Dieser codierte Bauplan begegnet uns auf mannigfache Weise: z. B. als technische Zeichnung zum Bau einer Maschine, als Rezept für einen Kuchen, als chemisches Verfahren zur Synthese von Polyvinylchlorid, als Verdrahtungsplan für eine elektrische Schaltung oder als genetische Information zum Bau einer lebenden Zelle. Die Gütekriterien der gesuchten Lösung finden ihren Niederschlag sowohl im gedanklichen Konzept (semantischer Aspekt der Information) als auch in der Raffinesse der Ausführung (Pragmatik) und lassen sich je nach vorliegendem Fall durch die folgenden Stichworte kennzeichnen und bewerten: zugrundeliegendes Funktionskonzept, Grad der Erfindungshöhe, ausgeklügelte Lösungsmethode, erreichter Optierungsgrad, eingesetzte Strategie, kurze Herstellungszeit, verwendete Technologie, geschickte Programmierung und erreichter Grad der Miniaturisierung (z. B. Bauweise mit geringem Materialeinsatz und sparsamem Energieverbrauch). Die Qualität

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

des sichtbaren Ergebnisses (Apobetik) kann z. B. beurteilt werden nach dem erreichten Ziel, der Zweckmäßigkeit im Einsatz, der genialen Funktionsweise und der garantierten Funktionssicherheit (z. B. geringe Störempfindlichkeit).

2. **Betriebsinformation:** Unter dieser Kategorie der Information wollen wir all jene Konzepte einordnen, die den Zweck haben, einen "Betrieb" in allgemeinster Form aufrechtzuerhalten. Ohne Betriebsinformation würden zahlreiche Systeme überhaupt nicht funktionieren; diese Programme sind eine unabdingbare Voraussetzung für den konzeptionell festgelegten Ablauf. So funktioniert eine Drehorgel ohne das Programm der Drehwalze ebensowenig wie der menschliche Körper ohne das ihm beigegebene Informationskonzept mit allen Interaktionen über das Nervensystem zwischen Gehirn und allen Organen des Körpers. Die unbewußten Informationsflüsse im menschlichen Körper betragen täglich $3 \cdot 10^{24}$ bit [19]. Das derzeitige in den Bibliotheken der Welt gespeicherte Wissen wird auf 10^{18} bit geschätzt. Vergleicht man diese Zahl mit der vorgenannten, so kommt man zu einem atemberaubenden Ergebnis: In unserem menschlichen Körper wird täglich ein drei Millionen mal größere Informationsmenge umgesetzt als in allen Büchern der Welt gespeichert ist. Weitere Beispiele aus Technik und Natur für Betriebsinformation sind:

- das als "Betriebssystem" bezeichnete Programm eines jeden Computers
- die Programme eines Roboters oder eines Prozeßrechners
- die Warnsysteme für Flugzeuge und Schiffe
- die Pheromonsprache der Insekten
- der Schwänzeltanz der Bienen
- das Hormonsystem des Körpers
- Betriebsinformation im Tierreich, die wir in Unkenntnis ihrer Codierung und Übertragung mit dem Begriff "Instinkt" belegen (z. B. das Navigationssystem der Zugvögel).

3. **Kommunikationsinformation:** Alle anderen auftretenden Informationen wollen wir unter Kommunikationsinformation zusammenfassen. Hierzu gehören z. B. Gespräche, Briefe, Bücher, Telefonate, Rundfunksendungen oder der Gesang eines Vogels. Der Apobetikaspekt dieser Informationen ist hier weder die Herstellung eines Erzeugnisses noch die Aufrechterhaltung eines Vorgangs, sondern hier sind die Ziele: Berichterstattung, Auslösung von Freude, Unterhaltung, Wissenserweiterung, Gedankenaustausch.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Bild 1 Zum Wesen der Information

Von jeder beliebigen Information gilt, daß sie von jemandem ausgesandt ist (Sender) und an jemanden gerichtet ist (Empfänger). Es sind grundsätzlich fünf wesensmäßig verschiedene Ebenen zu unterscheiden, um den Informationsbegriff angemessen zu erfassen. Auf der höchsten Ebene, der Apobetik (Zielaspekt; griech. *apobainon* = Ergebnis, Erfolg, Ausgang), geht es um das Informationsziel bzw. -ergebnis. Die darunterliegende Ebene der Pragmatik (griech. *pragmatike* = "Kunst, richtig zu handeln") erfaßt die beabsichtigte/bewirkte Handlung. Eine Stufe tiefer geht es um die gedachte/verstandene Bedeutung (Semantik). Die vorletzte Stufe (Syntax) befaßt sich mit der sprachlichen Codierung/Decodierung der Gedanken, und die letzte Stufe behandelt das technische Übertragungskonzept mit allen damit verbundenen statistischen Angaben. Diese fünf Aspekte haben sowohl beim Sender als auch beim Empfänger ihre spezifische Ausprägung. Die einzelnen Ebenen bedingen einander. Das Informationsziel ist nicht erreicht, wenn es schon auf irgendeiner unteren Ebene zum vorzeitigen Abbruch kommt.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

4 KI-SYSTEME

4.1 EXPERTENSYSTEME

Neben den verknüpfbaren materiellen Grundgrößen *Masse* und *Energie* bilden auf der geistigen Seite *Information* und *Wille* ein ebenso grundlegendes Double. Information ist für ein Unternehmen neben Boden, Kapital und Arbeit zum gleichrangigen Produktionsfaktor geworden. Wissen gilt darüber hinaus als einer der wichtigsten Entwicklungsfaktoren unserer Gesellschaft. Das menschliche Wissen hat derzeit eine atemberaubende Wachstumsgeschwindigkeit erreicht: Es vergrößert sich stündlich um etwa 200 Millionen Wörter. Wie kann diese Wissensmenge noch angemessen ausgewertet werden? Expertensysteme wollen eine mögliche Antwort auf diese Herausforderung sein.

Bei Expertensystemen geht es um dialogfähige Auskunftsysteme für kleine, sehr spezielle Fachgebiete, bei denen ein in Form von programmierten Wenn-Dann-Regeln speicherbares Erfahrungswissen eingesetzt wird. Dabei geht es nicht nur um logische, wissenschaftlich erhärtete, mathematisch beschreibbare Verknüpfungen, sondern auch um heuristische Verknüpfungen von Sachzusammenhängen, die aus einem reichen Erfahrungsschatz stammen, wie sie ein Experte bei der täglichen Arbeit einsetzt. In der medizinischen Diagnose, bei der Fehlerdiagnose von technischen Systemen [3], bei der Erkundung von Bodenschätzen, bei Terminplanungen, bei Reservierungen, bei der Steuerberatung sowie bei Wetterberichten sind wegen der Verzweigbarkeit des betreffenden Wissensstoffes bis zu einem gewissen Grad Programme einsetzbar. In seinem Kern besteht ein Expertensystem aus der *Wissensbasis*, die die Einzelfakten (Zahlen, Daten, Zusammenhänge, Erfahrungen) und die Regeln in Form einer Datenbank enthält und dem *Inferenzmechanismus*, der den Regelinterpreter und die Strategie beinhaltet. Die Möglichkeiten solcher Systeme reichen natürlich nur so weit, wie sich Wissen formalisieren läßt (Regelwissen), denn Programme können weder semantische Bezüge erkennen noch verknüpfen.

Wissensrepräsentationsformalismen: Seit Ende der sechziger Jahre wird an Methoden der wissensbasierten Verarbeitung von Texten gearbeitet. Bei den Formalismen zur Repräsentation von Realitätsausschnitten handelt es sich um folgende inzwischen übliche abstrakte Modelle: Semantische Netze, Frames, Conceptual Dependency Graphs, Scripts und Plans. *Semantische Netze* sind Notationen zusammenhängender Graphen, die aus Knoten zur Darstellung von Objekten, Konzepten oder Situationen und aus gerichteten markierten Kanten bestehen, die die Beziehungen zwischen den Kanten darstellen. *M. Minsky* führte 1975 *Frames* ein, die eine detailliertere Strukturierung der Datenbasis erlauben. Sie sind einem Setzkasten mit einer Reihe von "Slots" (Fächer des Setzkastens) vergleichbar, bei dem jeder Slot einen Wert repräsentiert (Value, Inhalt des Faches). Für die von *R. Schank* (1970) entwickelte *Conceptual Dependency Theory* ist kennzeichnend, daß für die Wissensrepräsentation nicht lexikalische Einheiten, sondern semantische Primi-

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

tive verwendet werden (z.B. PTRANS für physical transaction, das die Verben tragen, bringen, fahren ... erfaßt). Um Folgen von Ereignissen darzustellen, führten *Schank* und *Abelson* 1977 *Scripts* ein, die Drehbüchern aus der Sicht eines Beteiligten vergleichbar sind. Bei *Plans* sind zielorientierte Aktionszusammenhänge vorstrukturiert.

Heutiger Stand der Expertensysteme: Die Systeme stehen und fallen mit der Mächtigkeit der Wissensrepräsentation, die nicht dem leisesten Vergleich mit den natürlichen Sprachen standhält. Folgende Mängel wirken sich besonders gravierend aus [12]:

- Die formalen Wissensrepräsentationen sind inflexibel.
- Zahlreiche Zusammenhänge sind nicht direkt ausdrückbar.
- Unvollständiges, vages und widersprüchliches Wissen läßt sich nur schlecht erfassen.
- Die formale Beschreibung bestehender Repräsentationskonzepte ist nicht hinreichend für eine allgemeine Verwendbarkeit.
- Es fehlen Kriterien, um die repräsentierten Objekte zu bestimmen und um den Vorrat zu erweitern.

Aus diesen Gründen bleiben die Systeme auf Anwendungen begrenzt, die sich durch eine sehr feste und wohlgeordnete Terminologie sowie Ausschnitte mit sehr geringem inhaltlichen Umfang auszeichnen. Bisher hat sich herausgestellt, daß kein Expertensystem, das nach Regeln verfährt, die von Experten ermittelt werden, so gute Ergebnisse erzielen kann wie der Experte selbst, obgleich der Computer das, was man für die Regeln der Experten hält, mit sehr hoher Geschwindigkeit und unfehlbarer Genauigkeit verarbeitet.

Definition, Wesen, Funktion: Für KI bzw. Expertensysteme sind folgende Definitionen gewagt worden:

(1) Künstliche Intelligenz ist die Wissenschaft, Maschinen dazu zu bringen, Dinge zu tun, die Intelligenz erfordern, wenn sie durch den Menschen getan werden.

(2) Expertensysteme sind Computerprogramme, die die Fähigkeit von Experten simulieren.

(3) Expertensysteme sind wissensverarbeitende Computersysteme, die auf einem abgegrenzten Wissensgebiet die Kompetenz eines Experten haben und Beratungs- und Problemlösungsleistungen vollbringen.

(4) "Wir gehen davon aus, daß die 'Hardware' von Computern der von Gehirnen insofern ähnlich ist, als beide universelle Apparate zur Bearbeitung von Symbolen sind, und daß ein Computer so programmierbar ist, daß er *elementare Informationsprozesse* ausführt, die von ihrer Funk-

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

tion her ganz den im Gehirn ablaufenden Prozessen entsprechen." (*A. Nevell, H. A. Simon*, zitiert in [4, S. 105])

(5) Zu der Frage: "Kann eine elektronische Maschine denken wie ein Mensch?" schreibt der russische Informatiker *I. Bestushew-Lada*: "Diese Frage verrät die lächerliche Arroganz, die den Vertretern der Gattung Homo sapiens eigen ist. Der heutige Mensch ist aufrichtig davon überzeugt, daß seine Gedankengänge überaus tiefschürfend, logisch und originell sind. Es kommt ihm gar nicht in den Sinn, wie stereotyp, verworren und primitiv seine Gedanken sind, von einigen Ausnahmen abgesehen. Könnte der Computer sich gekränkt fühlen, würde er eine solche Frage als tödliche Beleidigung auffassen. Die Maschine kann nicht so denken wie der Mensch, sie kann viel tiefgründiger, logischer und origineller denken." (zitiert in [7, S. 91]).

Es gibt aber auch zurückhaltendere oder gegenüber (1) - (5) völlig gegenteilige Auffassungen:

(1) "Unter der Schaffung Künstlicher Intelligenz versteht man den Versuch, bisher dem Menschen vorbehaltene Intelligenzleistungen mit dem Computer nachzubilden. Umstritten ist dabei jedoch, inwieweit es jemals möglich ist, Computerintelligenz zu schaffen, die dem Menschen ebenbürtig beziehungsweise überlegen ist." ("Aktuelles Lexikon" der Computer Zeitung vom 10.02.1988)

(2) "Eines freilich kann der Computer nicht: sich die binäre Logik und den Algorithmus ausdenken oder sie aufgeben oder sie abwandeln oder rechtfertigen; er kann nicht einmal die Wahrnehmungen selbständig sammeln, genauer: er kann nur Wahrnehmungen, nicht aber ihren Begriff aufnehmen - Lautunterschiede, nicht aber die Bedeutung der Wörter. Er erkennt Karthago nicht wieder, wenn ich es mit C schreibe, es sei denn, ich hätte auch 'K'='C' in ihm eingetragen (im Telephonbuch hätte er dann wieder Probleme mit 'Kurd' und 'Curt' Müller). Er hält bei sonst völlig gleicher Adresse Prof. Dr. Hartmut von Hentig für einen anderen als Professor Hartmut von Hentig und schickt mir den Prospekt doppelt." (*H. v. Hentig*, [7, S. 90])

(3) "Wir Menschen verstehen es sehr gut, Sinnessignale in kognitive Symbole zu verwandeln und Probleme zu lösen, die gesunden Menschenverstand erfordern. Vor großen Datenmengen zucken wir aber zurück. Wir sind unsystematisch und vergeßlich, langweilen uns, lassen uns ablenken. Schrift und Buchtechnologie haben uns geholfen, einige dieser Probleme zu überwinden; interaktive, intelligente Computer werden noch nützlicher sein. Wir sollten es als positiv betrachten, daß wir die Intelligenz besitzen, unsere Grenzen zu erkennen, und daß wir eine Technologie erfunden haben, die einen Ausgleich für sie schafft." (*E. A. Feigenbaum, P. McCorduck*, [6, S. 55/66])

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

(4) "Jüngst wurde eine Anzahl neuester Programme aus dem Bereich der artifiziellen Intelligenz als 'denkend' hingestellt. Dennoch konnte es niemandem entgangen sein, der aufmerksam hinsah, daß eine riesige Kluft zwischen menschlicher selbstbewußter Fluidität und derartigen Programmen bestehen bleibt. Selbst das beste von ihnen ist immer noch relativ starr und allem gegenüber unbewußt, seiner selbst natürlich auch." (*D. R. Hofstadter*, [14, S.517])

(5) "Ich glaube nicht, daß Maschinen, deren Programme sie nicht befähigen, in einem differenzierten Sinn des Wortes zu lernen, je imstande sein werden, durchweg hochwertige Übersetzungen zu produzieren." (*Y. Bar-Hillel*, zitiert in [4, S. 59])

(6) "Außer der Anhäufung von Tatsachen gibt es zur Zeit keine Datenverarbeitungstechniken. Nachdem die traditionellen philosophischen Annahmen, die der Erforschung Künstlicher Intelligenz zugrundeliegen, in Frage gestellt worden sind, gibt es keinen Grund mehr anzunehmen, daß die digitalen Datenspeicherungs- und -abrufverfahren jemals ausreichen werden, mit der Masse von Daten zu Rande zu kommen, die sich ergibt, wenn wir unser Wissen von der Welt explizit zu machen versuchen. Da sehr wohl die Möglichkeit besteht, daß die Daten über die Welt unendlich sind und die Formalisierung der menschlichen Lebensform versagt, wäre es vernünftiger, davon auszugehen, daß die digitalen Speicherungsverfahren diese Aufgabe niemals werden meistern können. Wenn diese phänomenologische Beschreibung der menschlichen Intelligenz zutrifft, dann gibt es außerdem prinzipielle Gründe dafür, daß Künstliche Intelligenz niemals vollständig verwirklicht werden kann." (*H. L. Dreyfus*, [4, S. 234])

(7) "Künstliche Intelligenz ist das Studium, wie Computer jene Tätigkeiten verrichten können, die der Mensch zur Zeit besser kann." (*E. Rich*, [13, S. 312])

(8) "So ist es heute kaum mehr das Ziel, eine - im menschlichen Sinne - intelligente Maschine zu bauen, sondern man gäbe sich zufrieden, wenn mittels künstlicher Intelligenz die Computer und der Umgang mit ihnen menschengerechter gemacht werden könnten." (*O. G. Folberth*, Phys. Bl. 44 (1988), S. 161)

(9) "An intelligent System is a System which understands you, so that you do not need to understand the System." (zitiert in *O. G. Folberth*, Phys. Bl. 44 (1988), S. 161)

(10) "Jeder Computer würde bei einem der eingeführten Intelligenztests kläglich versagen. Man kann *A. Turings* Frage einfach durch die Aussage umgehen, daß Intelligenz eine Eigenschaft des Menschen ist und des-

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

wegen Computern nicht zukommt."
"Bedrohende Computerpersönlichkeiten sind auf lange Sicht nicht auszumachen. Auch die angebliche Fähigkeit der Computer zu lernen - eine Disziplin der Künstlichen Intelligenz trägt diesen Namen - ist bisher nur eine Adaption von Entscheidungsregeln an neue Situationen in sehr eingeschränktem Kontext." (*B. Radig*, Hrsg. d. Zeitschrift "KI", etz 109 (1988), S. 998)

Von *A. Turing* stammt die These, daß denkende intelligente Maschinen möglich sind. Zur Prüfung hat er den sog. *Turing*-Test vorgeschlagen:

> Ein Tester ist ausschließlich über je eine Fernschreiberleitung mit einem Computer und einem Menschen verbunden. Die Zeit, die er braucht, um herauszufinden, mit wem er jeweils kommuniziert, ist ein Maß für die Intelligenzleistung des Computer-Partners.

Schon diese Vorgehensweise zeigt, welch stark vereinfachtes Modell des Menschen hier zugrundegelegt ist. Die geistigen Eigenschaften des Menschen werden in unangemessener Weise reduziert und zum Maßstab von Computerintelligenz gesetzt. Menschliche Kommunikation läßt sich nicht auf das beschränken, was über eine Fernschreibleitung übertragen werden kann. Gegenüber traditionellen DV-Verfahren heben sich Expertensysteme dennoch durch folgende Qualitätsmerkmale ab *(Bild 2)*:

- Sie verfügen über ein in Regeln (Wissensrepräsentationsformalismen) gespeichertes Wissen. Expertensysteme setzen Menschen voraus, die Experten sind, d. h. deren Wissen abgefragt werden kann.

- Sie verwenden Schlußfolgerungsmechanismen (Inferenzmechanismen, engl. *inference* = Folgerung, Schluß), die verschiedene Alternativen durchsuchen und dadurch dem Anwender helfen, seine Entscheidung vorzubereiten. Diese Mechanismen entstehen nicht von selbst, sondern sind vom Programmierer zur Verfügung zu stellen.

- Sie verfügen über eine Dokumentationskomponente, die einzelne Ergebnisschritte erläutert und nachvollziehbar macht.

Expertensysteme sind somit als Datenbanken auf höherem Niveau aufzufassen. Der grundlegende Unterschied gegenüber numerischen Algorithmen besteht darin, daß neben Fakten und Regelwissen (Faustregeln, Abhängigkeiten, Nebenbedingungen) auch Heuristiken und vages Wissen verwendet werden. *F. di Primio* [17] bezeichnet Expertensysteme lediglich als eine neue Textsorte, sog. "aktive Bücher". Im Gegensatz zu traditionellen passiven Büchern, in denen das Wissen abgelegt ist und die Reaktivierung ausschließlich in der Verantwortung des Lesers liegt, sind Expertensysteme aktive Bücher: Sie können nicht nur vom Leser entdeckt werden, sondern stellen selbst extensiv Fragen und führen damit aktivierend auf das gespeicherte Wissen. Ein weite-

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

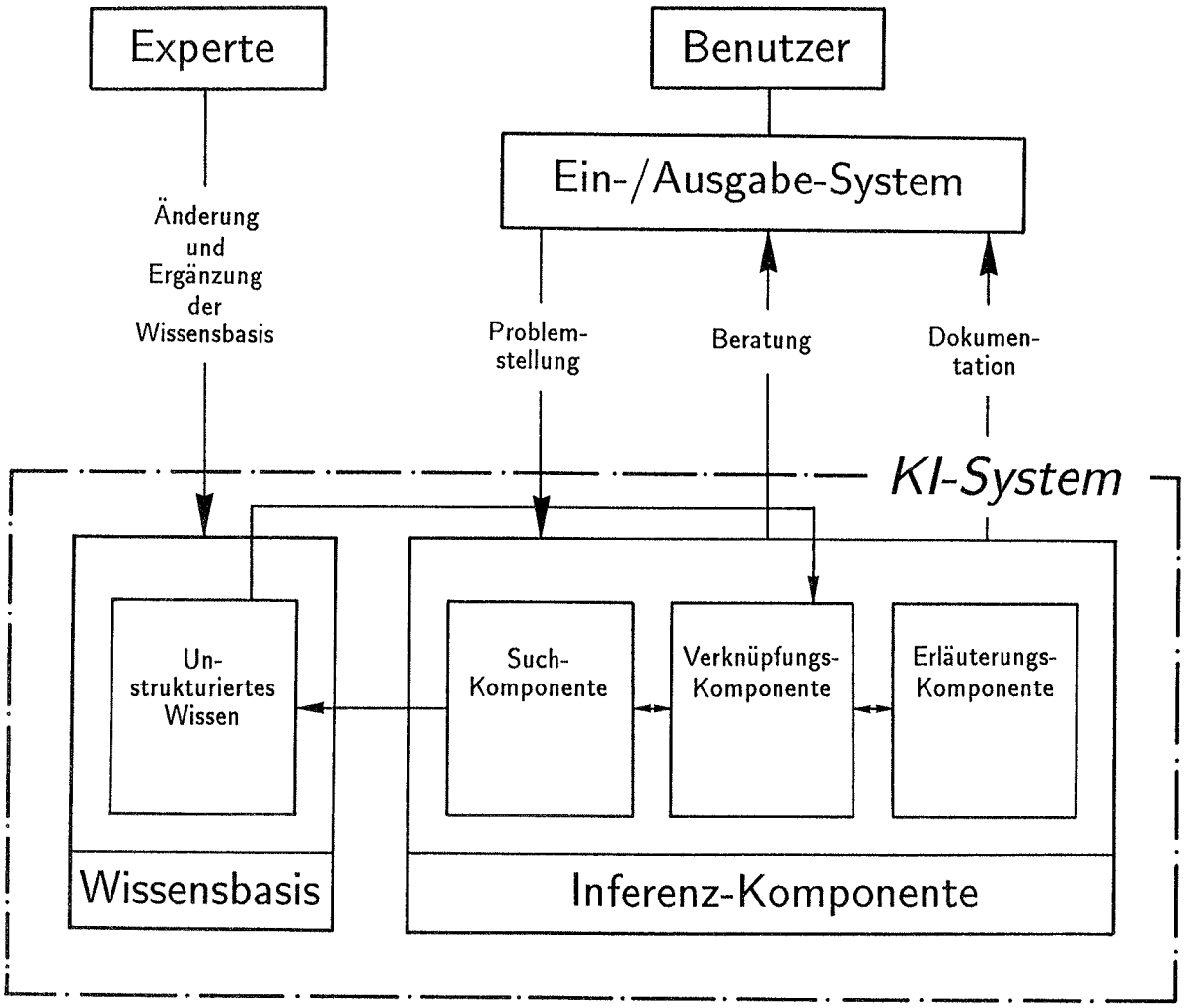


Bild 2 Prinzipieller Aufbau eines Expertensystems

Kennzeichnend für diese Software-Architektur ist die Trennung von Wissensbasis und Inferenzkomponente.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

rer markanter Unterschied zwischen einem Expertensystem und einem gewöhnlichen Programm besteht in der Trennung zwischen dem Wissen (Expertenwissen) und der Wissensverarbeitung (Inferenzkomponente). Expertensysteme sind im wesentlichen in zwei Fällen anwendbar: Zur Arbeitserleichterung des Experten und als intelligente Checkliste über anzuwendende Arbeitsmethoden. Ein *Expertensystem* wäre somit als ein Programmsystem definierbar, das das Spezialwissen eines Experten über ein beschränktes, klar abgegrenztes Gebiet enthält. Das Expertenwissen ist insbesondere auf solchen Gebieten erforderlich, in denen zur Aufgabenlösung keine formalen Algorithmen vorliegen. Die Gebiete sind nicht durch eindeutige Theorien erfaßt, sondern weitgehend durch schlecht strukturierbares Detailwissen repräsentiert (Heurismen, diffuses Wissen).

Die Funktion eines Expertensystems wird durch *Schlußfolgerungsregeln* und *Aktionsregeln* (Vorschlag für die weitere Vorgehensweise) bestimmt. Die zuweilen vertretene Auffassung, daß Expertensysteme in der Lage seien, neues Wissen zu generieren, ist falsch, da es sich nicht um einen kreativen Prozeß der Informationserzeugung handelt, sondern um die geschickte Zusammenstellung bereits zur Verfügung gestellten Wissens. Da auch die Strategie vorzugeben ist, kann das Ergebnis kein neuartiges, sondern lediglich algorithmisch kombiniertes, vorhandenes Wissen sein. Eine den Ergebnissen angemessene Definition könnte darum lauten:

> "Künstliche Intelligenz ist die Auswertung und Verarbeitung von *vorgegebenen* Wissensinhalten und -strategien nach in Maschinen abbildbaren Grundsätzen."

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

4.2 ROBOTIK

Roboter (aus dem Slawischen; poln., tschech. *robota* = Arbeit) stellen die Weiterentwicklung teilautomatisierter Werkzeugmaschinen dar und spielen in der Fertigungstechnik eine zunehmende Rolle. Sie können über Sensoren (Druck, Wärme, Licht) Daten aus der Umwelt aufnehmen und diese über Programme auswerten. Über Manipulatoren werden die programmgesteuerten Bewegungen ausgeführt. Wie weitreichend solche Systeme konzipiert sein können, zeigt der von dem Japaner *Ichiro Kato* (Wasedo Universität) entwickelte orgelspielende Roboter [20]. Es ist wichtig, auch hier festzuhalten, daß Roboter nicht mehr leisten als ihnen durch Voraussicht und Gründlichkeit des Programmierers an modellhaftem Wissen aufgeprägt wurde.

Der heutige Automobilbau wäre ohne den Robotereinsatz kaum noch denkbar. So sind allein im Volkswagenwerk 2470 Roboter, davon 587 in Wolfsburg (Stand Dezember 1988), eingesetzt. Die bekannte Montagehalle 54 mit einer Grundfläche von 8 Fußballfeldern wurde mit einem Kostenaufwand von 550 Mill. DM erstellt. Davon entfallen 220 Mill. DM allein auf die Mechanisierung. Durch den starken Robotereinsatz sind derzeit 25% der Montage automatisiert. Dieser Wert gilt heute als Weltspitzenwert im Bereich der Automontage.

4.3 BILDVERARBEITUNG

Zu diesem Bereich gehört die Konstruktion oder Rekonstruktion von Bildern aus Daten. Besonders geeignete Anwendungsgebiete sind die Tomographie (griech. *tome* = Schnitt, *graphein* = schreiben; Röntgenschichtverfahren) und die Aufbereitung von Satellitenbildern. Die Aufgabe besteht im wesentlichen darin, nach vorgegebenen Algorithmen bildhafte Objekte in ihrem Kontrast zu erkennen, sie evtl. dort herauszulösen, zu verändern und an anderer Stelle wieder einzufügen. Bei der Bildverarbeitung werden Verfahren zum Erkennen, Beschreiben und Vergleichen von Mustern eingesetzt. Vergleicht man die "Rechenleistung" (ausgedrückt in Bits pro Zyklus und in der Speicherkapazität) mit der visuellen Wahrnehmung, so zeigt sich, daß das menschliche Auge bei der Erkennung von Bildern und Gegenständen etwa 1,6 Millionen mal schneller ist als modellierte computergesteuerte Einrichtungen [21]. Unvergleichlich ist die menschliche Fähigkeit, sich augenblicklich auf ein wesentliches Bilddetail zu konzentrieren und nach einem subjektiven Kriterium Information zu abstrahieren. So reicht zum Erkennen eines Gesichtes schon ein flüchtiger Blick aus. Augen und menschliche Intelligenz sind zusammen in der Lage, das unvorstellbar große, durch das Auge erfaßte bildhafte Informationsangebot in extrem kurzer Zeit auf eine äußerst knappe Information zu reduzieren, nämlich auf den Namen eines Menschen, der uns gerade begegnet. Wenn wir den Namen eines Vorbeigehenden nicht wissen, so sind wir dennoch spontan in der Lage, mit Sicherheit zu entscheiden, ob wir den Namen nur vergessen haben oder ihn niemals kannten.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

4.4 SPRACHVERARBEITUNG

Die natürliche Sprache ist das umfassendste und differenzierteste Ausdrucksmittel des Menschen. Sprache ist das notwendige Kalkül zur Formulierung von Gedanken aller Art. Weiterhin ist Sprache grundlegend mit den Denkprozessen des Menschen verknüpft:

> "... daß Sprache nicht der Träger, sondern das bestimmende Medium des Denkens ist. Denken ist internalisierte Sprache." (*G. W. Leibniz*)

> "... Sprache ist ein drittes Universum zwischen der empirischen Welt und den internalisierten Strukturen des Bewußtseins." (*W. v. Humboldt*)

> "Wir können ohne Übertreibung behaupten, daß sogar unsere Definition vom Menschen weitgehend von der Fähigkeit abhängt, sich sprachlich auszudrücken, wie das traurige Geschick derer zeigt, die wir mit dem Etikett 'taubstumm' versehen." (*H. Lane*)

"Die menschliche Sprache ist artikulierte Lautsprache, die nicht nur der Kommunikation und der Verständigung dient, sondern zugleich und vor allem Erkenntnismittel, besser noch: Medium der Erkenntnis, ist. Jede Sprache ist kulturbedingt und enthält eine historisch gewachsene Weltansicht unverwechselbarer Prägung. Mit dieser Bestimmung ist die menschliche Sprache hinreichend von allen tierischen Zeichensystemen und Kommunikationsmitteln abgehoben." (*H. Gipper*, Sprachforscher)

Zu den im Rahmen von KI gestellten Aufgaben gehören:

- das gesprochene Wort möglichst sprecherunabhängig in eine Zeichencodierung umzusetzen ("Sprach-Schreibmaschine")
- Sprachübersetzung
- Dialogfähigkeit in natürlicher Sprache.

Inwieweit diese Ziele oder nur Teilaspekte erreichbar sind, soll im folgenden an Hand der Wesensmerkmale natürlicher Sprachen diskutiert werden.

Eines der Probleme der *Europäischen Gemeinschaft* ist die Vielfalt der Sprachen auf unserem Kontinent. So müssen allein in diesem Bereich derzeit 175 000 Übersetzer jährlich 150 Millionen Seiten Text in mindestens sieben verschiedene Sprachen übertragen.

Der computermäßige Umgang mit der natürlichen Sprache war schon seit den fünfziger Jahren eine Herausforderung. Man begann mit dem Versuch, Übersetzungen zu automatisieren. Dabei wurden ein Lexikon und zu jedem Wort das Äquivalent in der Fremdsprache abgespeichert. Das damalige Programm suchte die zugeordneten Begriffe mittels einfacher Regeln von Wortstellung und Satzbau anzugleichen. Alle diese Versuche landeten jedoch in der Sackgasse.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Oft zitiert worden ist der Satz "Der Geist ist willig, aber das Fleisch ist schwach", der ins Russische und wieder zurück übertragen ergab: "Der Wodka ist stark, aber das Steak ist vergammelt." (vgl. auch Pkt. 13, S. 25 + 33)

Der bekannte Informatiker *Joseph Weizenbaum* (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA) beschritt mit dem Programm ELIZA einen Weg, der linguistische Analysen umging und sich stattdessen eines raffiniert erdachten, aber festen Antwortschemas bediente. Auf den ersten Blick fühlt sich ein Benutzer von dem Programm verstanden, obwohl es nichts anderes kann als einzelne Schlagworte herauszusuchen und damit einen scheinbaren Dialog fortsetzt, der trotz seiner Oberflächlichkeit ein Verständnis vortäuscht, das in Wirklichkeit gar nicht da ist. Das Programm sucht in den Aussagen des Eingabetextes nach Worten oder Wortmustern und wählt davon ausgehend aus einem Vorrat fest gespeicherter Sätze oder Satzmuster passende Antworten aus. Wird z. B. ein Satz mit dem Wort "Mutter" eingegeben, so sucht das System einen Standardsatz, in dem dieses Wort wieder auftritt: "Erzählen Sie mehr von Ihrer Mutter." Das Programm ignoriert die meisten der eingegebenen Worte, dennoch ist eine sehr umfangreiche Bibliothek als Hintergrund erforderlich, um mit der großen Zahl möglicher Aussagen seines menschlichen Dialogpartners wenigstens scheinbar zurechtzukommen.

Die folgende Begebenheit [24] mag kurios erscheinen, aber sie zeigt uns, wohin ein falsches Computerverständnis führen kann: *Weizenbaum* berichtet, wie seine Sekretärin mit ELIZA kommunizierte und ihn bat, er möge den Raum verlassen, damit er die Geheimnisse nicht mit anhören könne, die sie dem Computer anvertraute. Als er vorschlug, die vom Computer in mehreren derartigen Sitzungen gewonnenen Daten zu analysieren, wurde er empört zurechtgewiesen, das wäre im höchsten Maße unethisch!

Computerprogramme, die menschliches *Sprachverständnis* wirklich imitieren und korrekte *Übersetzungen* ausführen sollen, sind mit folgenden Problemen konfrontiert (siehe *Bilder 3 und 4*):

1. **Bedeutungsverständnis:** Sprache ist das notwendige Kalkül zur Formulierung und Übermittlung von Gedanken aller Art. Das Wesensmäßige aller sprachlichen Äußerungen ist die darin enthaltene Bedeutung. Die kognitiven Prozesse unseres Gehirns sind in der Lage, aus den Zeichenketten die Bedeutungszuordnungen zu generieren. Im *Formulierungsprozeß* werden die Gedanken des Senders mit Hilfe eines ihm geläufigen Formantenapparates (Muttersprache) in sendbare Information umgesetzt, und im *Verstehensprozeß* wird die Zeichenfolge in entsprechende Gedanken beim Empfänger abgebildet. Ein Programm ist nicht in der Lage, Bedeutungszusammenhänge zu "verstehen" und sie miteinander zu verknüpfen.

2. **Grammatische Analysen:** Zur Übersetzung von Texten ist zuerst eine grammatische Analyse erforderlich. Ein Programm, das einen Text zerlegt, ohne dessen Bedeutung zu berücksichtigen, kann zahlreiche Sätze nicht richtig analysieren.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

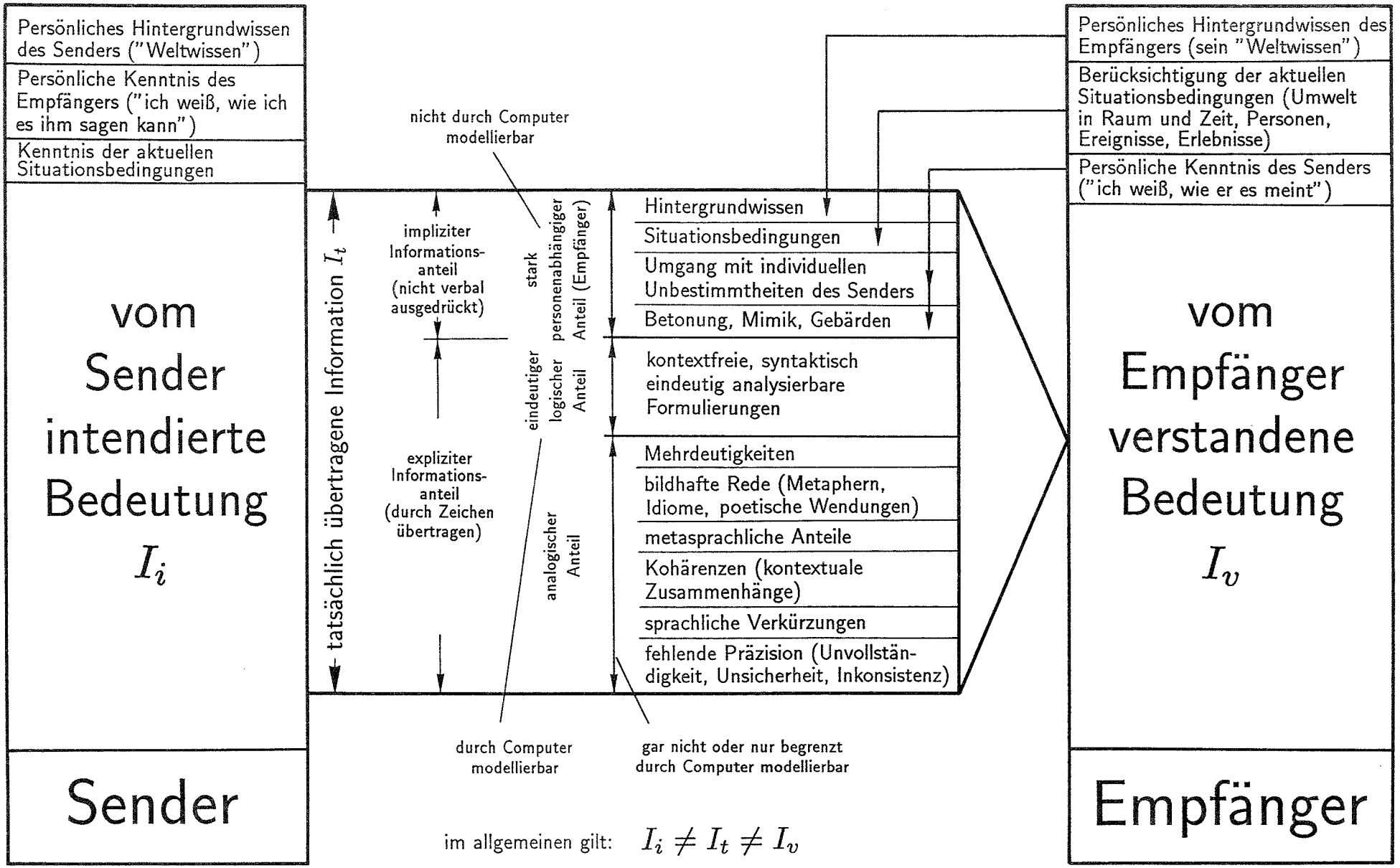
Bild 3 Der Informationsstrom vom Sender zum Empfänger

Die beabsichtigte Informationsweitergabe vom Sender zum Empfänger ist komplexer als man schlechthin annimmt. Wie es zur Informationsentstehung beim Sender kommt, ist eine wissenschaftlich noch ungeklärte Frage. Wiewohl das Gehirn eine zentrale Rolle bei diesem Vorgang spielt, so können neurale Netze nicht die Quelle individual-spezifischer Regungen, Empfindungen und Gedanken sein. Der Gehirnphysiologe und Nobelpreisträger *John C. Eccles* unterscheidet aufgrund seiner Forschungen deutlich zwischen Gehirn und Geist. Die Persönlichkeitsstruktur des Menschen kann angemessen nur dann erfaßt werden, wenn zwischen einem materiellen und immateriellen "Apparat" unterschieden wird. Grundlegend für die Kommunikation ist die Umsetzung der intendierten Bedeutung (Semantik der Gedanken) in sendbare Information. Dazu bedarf es eines geeigneten Codesystems (natürliche Sprache), mit dem in flexibler und routinierter Weise umgegangen werden kann. Neben den Grundvoraussetzungen des gespeicherten Wortschatzes und der Kenntnis der Grammatik spielen eine Reihe individueller Formulierungsparameter eine Rolle (s. oben links im Bild). Entscheidend aber ist: Sprache ist ein Gefäß des Geistes. Nach dem Formulierungsprozeß kommt es zu der tatsächlich übertragenen Information I_t, die immer das Ergebnis eines Kompromisses zwischen den empfundenen Gedanken und dem Formulierungsaufwand darstellt. Bei der Erstellung eines Textes mit besonders guter Ausdrucksqualität wird deutlich, wie stark die Lücke zwischen I_t und I_i häufig klafft.

Der dem Empfänger angebotene Informationsstrom setzt sich aus einem *expliziten* (in Zeichen codierten) und einem *impliziten* (nicht in Zeichen codierten) Informationsanteil zusammen, wobei der letztere nur durch die individuellen Verstehensparameter des Empfängers (s. oben rechts im Bild) erschließbar wird. Beim expliziten Anteil ist weiterhin zwischen einem logischen und analogischen Teil zu unterscheiden. Diese Aufteilung macht deutlich, welche Sprachanteile prinzipiell in Computern modellierbar sind und für welche dies kaum oder gar nicht gelingt.

Bei gleicher Sprache zwischen Sender und Empfänger hängt es weiterhin stark vom Empfänger ab, wie er die Information I_t versteht (I_v). Geistige Beweglichkeit, Hintergrundwissen und persönliche Prägung spielen eine Rolle, in welchem Maße die Information verstanden wird.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211



Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Bild 4 Zur Sprachübersetzung bei Menschen und Computern

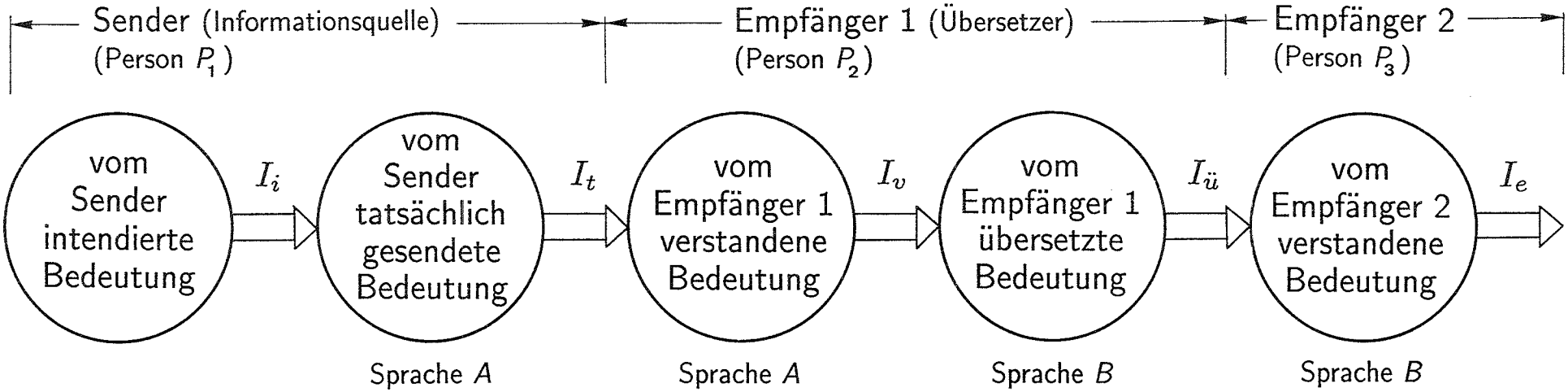
1. **Mensch:** Um einen Gedanken von der Person P_1 (Sender) zu P_3 (Empfänger 2) mit Sprachübersetzung durch P_2 (Empfänger 1) zu transferieren, ist folgende Kette der Informationsübertragung unumgänglich, bei der es mehr oder weniger starke Informationsverluste (oder -veränderungen) geben kann: Die gedanklich intendierte Bedeutung I_i der Informationsquelle wird im Formulierungsprozeß mit Hilfe der Muttersprache A in ein sendbares Zeichensystem codiert. Da dies nicht immer exakt gelingt, gilt $I_t < I_i$ bzw. $I_t \neq I_i$. Wie aus *Bild 3* hervorgeht, ist der Verstehensprozeß so komplex, daß auf dem Wege von I_t zu I_v mit einem weiteren Informationsdefizit zu rechnen ist. Wegen des grundsätzlichen Problems der semantisch nicht deckungsgleichen Wortbedeutungen und Redewendungen in den verschiedenen Sprachen kommt es trotz größter Mühe beim Übersetzungsvorgang zu einem weiteren unumgänglichen Informationsverlust bis zur Übersetzung $I_ü$. Die vom Empfänger 2 schließlich erfaßte Bedeutung I_e kann sich noch ein weiteres Mal verschieben. Trotz aller dieser Einschränkungen bleibt das entscheidende Qualitätskennzeichen aller vom Menschen durchgeführten Übersetzungen bestehen: diese basieren auf semantischem Verständnis und sind darum flexibel, originell und weisen eine Fülle individueller Freiheitsgrade auf.

2. **Computer:** Völlig anders geschieht der Übersetzungsvorgang mit dem Computer: Er verfügt über keinerlei semantisches Verständnis. Darum ist nur eine starre Umsetzung nach vorgegebenen Regeln möglich. Sie ist als inflexibel, stupide und algorithmisch zu kennzeichnen; sie arbeitet ohne Hintergrundwissen und kennt keine Freiheitsgrade im Sinne einer persönlichen Entscheidung. Die Eigenschaft der starren Umsetzung nach Regeln reicht jedoch zur Übersetzung formaler Sprachen aus. Compiler für Computersprachen liefern eine eindeutige, vollständige und widerspruchsfreie Übersetzung, weil sie ausschließlich im Nullpunkt des Wissensraums (s. *Bild 7*) arbeiten. Bei der Übersetzung von natürlichen Sprachen kommt man jedoch nur auf reduzierte Gebilde mit zahlreichen Einschränkungen. Als Ergebnis erhält man eine mehr oder weniger gute Rohübersetzung, die generell einer Überarbeitung durch einen Muttersprachler bedarf.

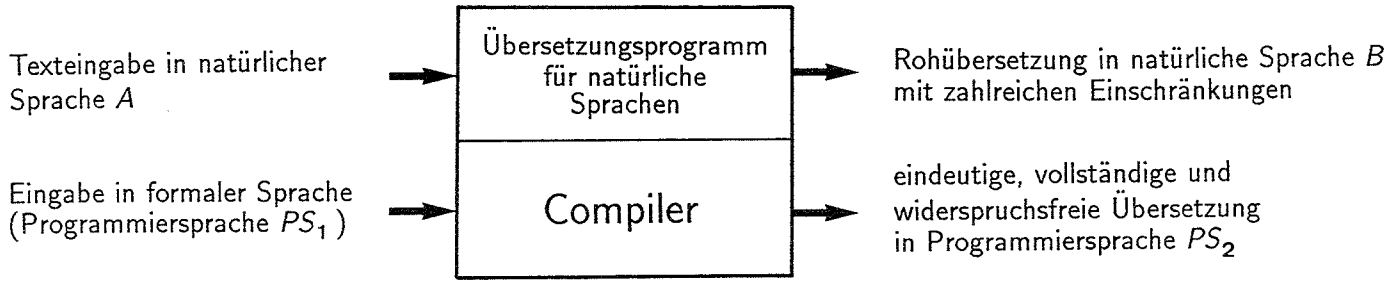
Anmerkung: Mit I wird hier die semantische Information bezeichnet. Zwei Informationen I_1 und I_2 sind dann gleich, wenn sie dieselbe Semantik aufweisen. Dabei ist es unerheblich, in welcher Sprache und mit welchen stilistischen Mitteln dies geschieht. Im Gegensatz dazu sind nach der *Shannon*schen Theorie zwei Informationen dann gleich, wenn sie durch dieselbe Informationsmenge in Bit beschrieben werden können. Der wichtige Aspekt der Semantik wird dabei allerdings unterdrückt.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Übersetzung durch den Menschen: flexibel, originell, individuelle Freiheitsgrade



Übersetzung durch Computer: starre Regelanwendung ohne semantisches Verständnis



Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

3. Sprache ist kontextabhängig: Die Bedeutung eines Satzes ergibt sich nicht aus der Summe der Einzelwortbedeutungen. Außerdem ist die Bedeutung eines einzelnen Wortes abhängig von dem Zusammenhang, in dem es steht. Darüber hinaus gibt es in den natürlichen Sprachen eine gedankliche Verknüpfung zwischen den Sätzen (Kontextabhängigkeit). Semantische Kategorien, die sich erst aus dem Kontext erschließen, sind der maschinellen Bearbeitung unzugänglich.

4. Texte sind zusammenhängend: Der Ursprung des Wortes *Text* (lat. *textus* = Gewebe, Geflecht) weist auf die Verflechtung der artikulierten Gedanken hin. Zwei Arten der Verknüpfung sind zu unterscheiden: die *Kohäsion* bezüglich der sprachlichen Form und die *Kohärenz* bezüglich der Bedeutungszusammenhänge.

a) *Kohäsion:* Eines der wichtigsten Kohäsionsmittel sind anaphorische und kataphorische Ausdrücke, die definitionsgemäß auf vorangehende oder folgende Ausdrücke verweisen. Hierfür kommen Personalpronomina (wie: ich, du, es), Demonstrativpronomina (wie: diese, jene), der bestimmte Artikel, adverbiale Syntagmen (wie: im Gegensatz, als Konsequenz, auf der einen Seite, auf der anderen Seite), Satzadverbien (wie deshalb, jedoch, folglich) infrage. Kohäsion ist nicht unbedingt an Kohärenz gekoppelt wie die folgende Satzfolge von *M. Bierwisch* belegt [1]: "Es gibt niemanden, den ihr Gesang nicht fortreißt. Unsere Sängerin heißt Josephine. Gesang ist ein Wort mit sechs Buchstaben. Sängerinnen machen viele Worte."

b) *Kohärenz:* Kohärenzen konstituieren Bedeutungszusammenhänge. Um Kohärenzen zu erkennen, ist i. allg. Hintergrundwissen erforderlich. Es gibt aber auch Texte, in denen die Kohärenzen sukzessive aufgebaut werden.

5. Sprache ist abhängig von der Kommunikationssituation: Die Ausdrucksmittel der natürlichen Sprache sind primär angelegt auf die aktuelle Herstellung von Sachbezügen, d. h. auf die situationsabhängige Charakterisierung sinnlich wahrnehmbarer Gegenstände und Sachverhalte der Umwelt. Dialoge sind eingebettet in aktuelle Geschehnisse in Raum und Zeit. Nur in Kenntnis des Umweltfeldes von beteiligten Personen, gemeinsamen Erlebnissen, Anlaß und Zweck der Äußerung oder aktueller oder globaler Ereignisse wird die intendierte Bedeutung des Senders auch beim Empfänger richtig verstanden. Begriffe wie historischer Augenblick, Augenzeuge, Situationskomik markieren den Rang des momentanen Zeitaspekts im sprachlichen Gedankenaustausch. Die Einbettung sprachlicher Handlungen in einen situativen Kontext bildet die Grundlage dafür, daß verbale Interaktion so mühelos und schnell ermöglicht wird. Die jeweilig intendierte Bedeutung jeder Äußerung ist somit abhängig von der Kommunikationssituation, d. h. von der Folge der ihr vorangegangenen Ereignisse und Äußerungen.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

6. **Sprache verwendet Hintergrundwissen:** Jeder Satz ist in einen spezifischen Rahmen eingebettet und kann oft nur bei Vorhandensein des entsprechenden Hintergrundwissens verstanden werden. Die beabsichtigte Bedeutung ist abhängig von der Gesamtheit des beim Empfänger vorausgesetzten Vorwissens. Hier wird es besonders deutlich, warum der Vergleich zwischen KI-Systemen und Menschen so offenkundig hinkt. Menschliche Intelligenz ist keine isolierte Erscheinung, sie behauptet sich in einer äußerst komplizierten Welt und interagiert mit dieser und mit anderen Menschen. Damit verglichen sind die Softwaresysteme der KI Retortenprodukte, die von jedem unmittelbaren Weltbezug isoliert sind.

7. **Computersprachen und natürliche Sprachen:** Der semantische Informationsgehalt von Computersprachen entspricht nur der rein *expliziten* Information und ist allein darauf festgelegt. Bei natürlichen Sprachen kommt noch der *implizite* Informationsanteil hinzu, der häufig den Hauptanteil ausmacht (z. B. das "Zwischen-den-Zeilen-Lesen"). Um die Bedeutung der impliziten Information einem mit unserer Kultur, Lebensweise, Moral, Humor usw. nicht Vertrauten schriftlich klar zu machen, wären oft viele Seiten ausführlicher Erklärungen für nur einen treffenden Satz nötig. Diesen Aspekt verspürt auch ein Zuhörer eines Fachvortrages, der nicht mit diesem Fachgebiet vertraut ist. Der Anteil impliziter Information ist hier besonders hoch, da mindestens das gesamte Grundlagenwissen als Kenntnisstand vorausgesetzt wird.

8. **Bildhafte Rede:** Poetische Ausdrücke, Redewendungen (Idiome), Metaphern und Verballhornungen machen den Reichtum einer Sprache aus und tauchen auch in der alltäglichen Sprache häufiger auf als uns bewußt ist. Während die Computersprachen konsequent auf der bi-univoken, ein-eindeutigen Zuordnung von Formen und Funktionen aufgebaut sind, gründen sich unsere natürlichen Sprachen nicht auf logisches Denken, sondern weitgehend auf ein *analogisches*, ein Denken in Bildern, Metaphern, Gleichnissen und Analogien. Es sind Bilderlebnisse von anschaulichen, verdunkelten, verbrauchten, verballhornten oder inzwischen vergessenen Bildern, die von Gelegenheit zu Gelegenheit und von einer Verwendung zur anderen getragen werden und zum Sprachgebrauch werden. Im Ergebnis ist jede unserer Sprachen durchzogen von lebendigen, aktuellen und historischen, analogischen Polysemien (= die gleiche Form in verschiedenen und immer wieder neuen Funktionen) und ineinandergreifenden regionalen, soziokulturellen, stilistischen Polymorphien (griech. *polymorphos* = vielgestaltig; verschiedene Formen, Varianten, Variationen, Varietäten in gleicher Funktion). Es gibt somit zahlreiche Sätze, deren Bedeutung sich nicht aus der Bedeutung der Einzelwörter erschließen läßt. Eine wörtliche Übersetzung ist dann unmöglich oder unsinnig. Um eine metaphorische Redewendung zu verstehen, wird die normale Wortbedeutung zunächst außer Kraft gesetzt, weil in der Metapher das Wort nicht als Begriff, sondern als Bild wirkt. Bei der menschlichen Verständigung gelingt die Umwandlung von genannten Gegenständen, die gewisse Eigenschaften symbolisch verkörpern, in verwendete Sinnbilder nur deshalb, weil sie in unsere

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Lebensgeschichte (z. B. kulturelles Umfeld, Erfahrung, Beobachtung) eingebettet sind. So verstehen wir auch erstmalig verwendete Metaphern mühelos, ohne daß wir je zuvor das Wort in solcher Bedeutung verwendet gehört hätten. Für Computer aber gibt es diese Lebensgeschichte nicht.

9. Sprachliche Mehrdeutigkeiten (Ambiguitäten): Dieses Phänomen aller natürlichen Sprachen bezieht sich nicht nur auf die Wortebene (lexikalische Mehrdeutigkeit wie bei *Schloß:* a) Türverschluß, b) Bauwerk), sondern hat auf allen höheren Ebenen der Information (strukturelle, semantische, pragmatische und apobetische Mehrdeutigkeiten) eine noch tiefgreifendere personenabhängige Komponente, die nicht mehr maschinell erfaßbar ist. In *Bild 5* sind sowohl diese Mehrdeutigkeiten als auch die Identitäten erfaßt.

Beispiele für Mehrdeutigkeiten:

a) *syntaktisch* bedingte Mehrdeutigkeit (*Polymorphie*): "Er fährt mit dem Zug nach Hannover." ("Er fährt nach Hannover" oder "mit dem Zug, der nach Hannover fährt, steigt aber unterwegs aus").

b) *semantisch* bedingte Mehrdeutigkeit (*Polysemie*): "Er hat einen Vogel." ("Kanarienvogel" oder "Tick")
Manche Mehrdeutigkeiten sind durch Satzzeichen, Unterstreichungen, Kursivdruck oder Anführungszeichen auflösbar. An dem bekannten Kinderwitz: "Zehn Finger hab' ich an jeder Hand, fünfundzwanzig an Händen und Füßen", der mit korrekter Interpunktation lautet: "Zehn Finger hab' ich, an jeder Hand fünf - und zwanzig an Händen und Füßen", wird die entscheidende Rolle der Zeichensetzung bei der sprachlichen Übermittlung von Sinn und Bedeutung offenbar. Bei der gesprochenen Sprache spielen die reichhaltigen paralinguistischen Nuancen (Tonfall, Lautstärke, Gesichtsausdruck, Pausen, Lachen, Seufzen, Lautgesten) eine herausgehobene Rolle, um dem Empfänger die vom Sender intendierten Gedanken eindeutig zu übermitteln.

c) *pragmatisch* bedingte Mehrdeutigkeit (*Polypragmie*): siehe *Bild 5.*

d) *apobetisch* bedingte Mehrdeutigkeit (*Polyapobie*): siehe *Bild 5.*

In der menschlichen Kommunikation werden Ambiguitäten durch den Kontext, durch Hintergrundwissen oder aus der situativen Einbettung richtig interpretiert.

10. Fehlende Präzision natürlicher Sprachen (Unvollständigkeit, Unsicherheit, Inkonsistenz): Im Gegensatz zu formalen Sprachen (z.B. Programmiersprachen nach *Bild 6*, mathematische und chemische Formelsprache) zeichnen sich natürliche Sprachen durch eine ihnen eigene Unschärfe und fehlende Präzision (in negativem Sinne als "Schwammigkeit" bezeichnet) aus. In *Bild 7* ist dieser Wesenszug aller natürlichen Sprachen als Wissensraum

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

dargestellt. Schon im praktischen Sprachumgang führt diese Eigenschaft häufig zu Mißverständnissen, Unterstellungen oder verschiedenen Auslegungen bei ein und demselben Text. Ein Programm steht hier vor einem schier unlösbaren Problem. Um bei der textlichen Formulierung mathematischer Sachverhalte Unsicherheiten zu vermeiden, mußte die Sprache präzisiert werden. Will man etwa zum Ausdruck bringen, daß es *eine* gerade Primzahl gibt und nicht mehrere, so wird dieses nicht durch den Satz: "Es gibt eine gerade Primzahl" beschrieben, denn so wird offen gelassen, ob es eine einzige ist oder ob es mehr als nur eine gibt. Man präzisiert deshalb: "Es gibt genau eine gerade Primzahl." Der Gebrauch des Wortes "genau" hat in der Mathematik diese feste Bedeutung. So ist es zum Verständnis mathematischer Texte unumgänglich, die vereinbarten Redeweisen zu kennen, die die Unsicherheiten der deutschen Sprache (oder auch anderer natürlicher Sprachen) zu beseitigen versuchen.

11. **Natürliche Sprache ist verkürzbar:** In den natürlichen Sprachen wird im Verlaufe eines Dialogs mit jeder Äußerung zugleich ein neuer Erkenntniszustand definiert, auf den man im folgenden zurückgreifen kann. Da natürliche Sprache über längere Sequenzen kohärent verstanden wird, ist ein explizites Wiederholen von im selben Kontext Erwähntem überflüssig. Kurze Bezüge (z. B. "dies auch?"; "das größere") reichen häufig zum eindeutigen Verständnis aus. Ein Programm aber kann nicht auf semantische Bezüge zurückgreifen, die durch den Fortgang des Gesprächs indirekt definiert wurden.

12. **Mehrebenenkonzept der natürlichen Sprachen:** Jede natürliche Sprache verfügt über die ausgezeichnete Eigenschaft, daß man mit ihr auch über sie selbst reden kann (Hierarchiestufen in einer Sprache!). So kann man durch einen Satz, der sich auf den vorangegangenen bezieht, dessen Bedeutung festlegen. Ebenso sind selbstbezügliche Ausdrücke (z. B. "Dieser Satz enthält genau sechs Worte") ohne weiteres identifizierbar. Die natürliche Sprache ist zugleich auch Metasprache für sich selbst (Selbstreferenz), für alle einzelsprachlichen Ausprägungen und zugleich auch für alle formalen Sprachen. Oberste Metasprache - das Mittel der letzten Klärung - bleibt mithin stets die Umgangssprache. Bei Computern ist eine strikte Einhaltung der Ebenen von Objektsprache und Metasprache unerläßlich. Daraus folgt, daß man keinen Computer übergangslos in ein und derselben formalen Sprache befragen kann, wie die eben erhaltene Meldung gemeint ist.

13. **Beziehung zwischen natürlichen Sprachen:** Im Gegensatz zu künstlichen Sprachen haben natürliche Sprachen keine eindeutige funktionale Beziehung zueinander. Wäre eine solche Eindeutigkeitsbeziehung herstellbar, so gäbe es eine formal beschreibbare, nicht ambigue Beziehung zwischen Begriff und Gegenstand in den natürlichen Sprachen. Nur dann wäre eine eindeutige maschinelle Übersetzung möglich.

Wolfram Wilß ("Sprache und Datenverarbeitung", H. 1, 1978, S. 89) nennt

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Bild 5 Ambiguitäten (lat. *ambiguitas* = Doppelsinnigkeit, Zweideutigkeit) und Identitäten auf den verschiedenen Ebenen der Information

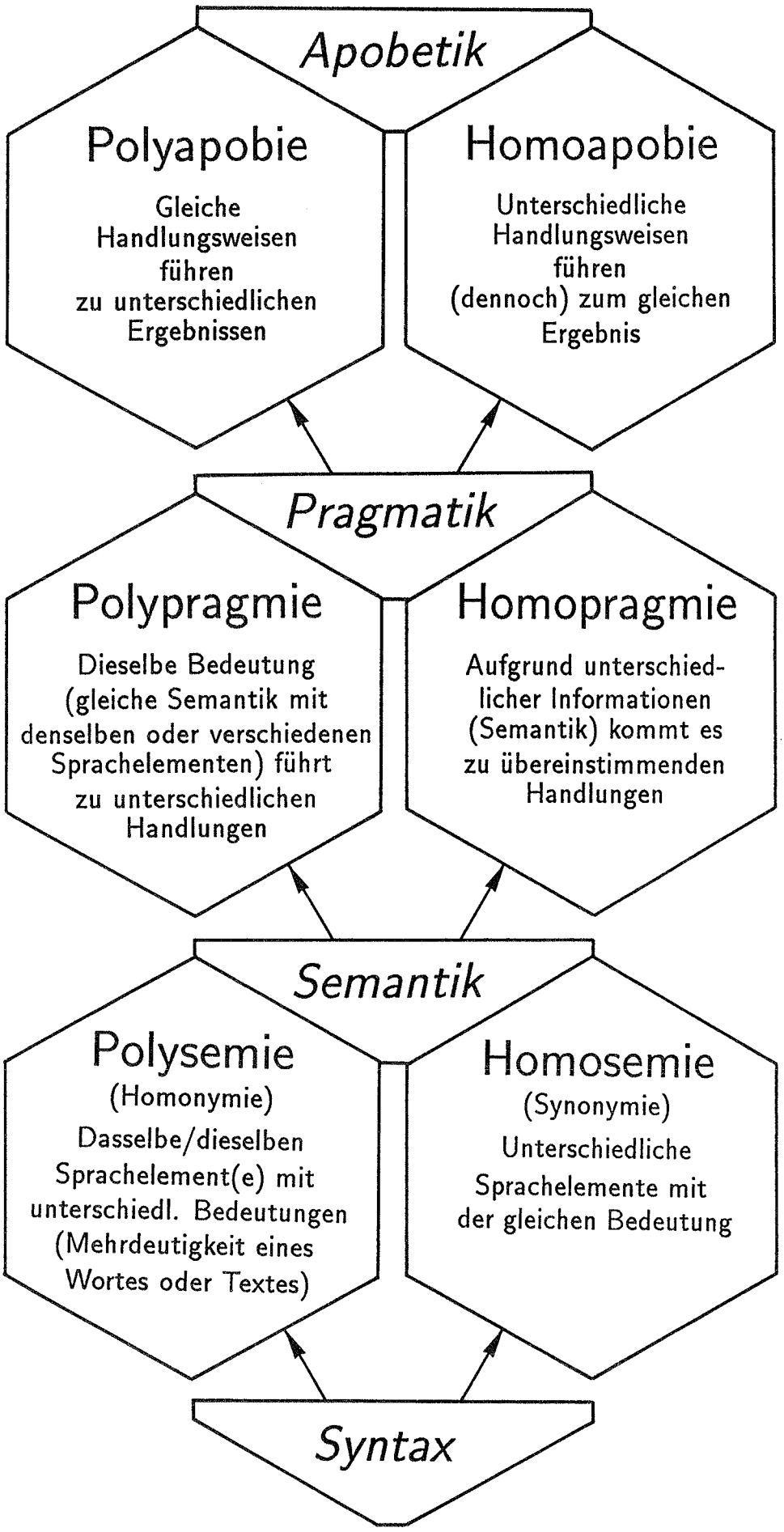
Semantische Ebene: ***Polysemie*** (griech. *polos* = viel; griech. *sema* = Zeichen, griech. *semantikos* = bezeichnend, bedeutend) und ***Homosemie*** (griech. *homo* = gleich) sind bereits eingeführte Fachwörter der Sprachwissenschaft. Polysemie und Homonymie (griech. *homonymos* = gleichnamig) entsprechen sich weitgehend; man versteht darunter die Mehrdeutigkeit ein und desselben Wortes (z. B. "Stock" kann sowohl ein Holzstab oder die Bezeichnung für eine Etage sein) oder derselben Folge mehrerer Sprachelemente (z. B. Wörter). Ebenso sind Homosemie und Synonymie (griech. *synonymos* = gleichbedeutend, sinnverwandt) einander entsprechende Bezeichnungen (z. B. Junge - Knabe, Antlitz - Gesicht - Visage). Poly- und Homosemie sind Merkmale auf der Informationsebene der Semantik; sie beziehen sich aber auf Relationen der darunterliegenden Ebene, in diesem Falle also der Syntax.

Der Informationsbegriff hat aber gemäß *Bild 1* noch zwei darüber liegende Ebenen, in denen ebenso Mehrdeutigkeiten und Identitäten auftreten. Aus diesem Grunde führen wir hier vier neue Begriffe ein, die in Analogie zur semantischen Ebene für die Pragmatik und Apobetik gelten und die die dort gegebenen Merkmale entsprechend erfassen sollen:

Pragmatische Ebene: Wenn Informationen derselben Bedeutung - unabhängig davon, ob die sprachliche Formulierung (syntaktische Ebene) gleich (identische Formulierung), ähnlich (synonyme Ausdrucksweise) oder völlig unterschiedlich (deutsch/chinesisch) vorliegt - zu unterschiedlichen Handlungen führt, spechen wir von ***Polypragmie*** (Bsp.: Unterschiedliche Handlungsweise von Autofahrern als Reaktion auf dieselben Verkehrsschilder). Für den Fall, daß es trotz unterschiedlicher Information (sich unterscheidende Semantiken) zu ein und derselben Handlung kommt, so sei dies mit ***Homopragmie*** bezeichnet.

Apobetische Ebene: Wir sagen im Volksmund: "Wenn zwei dasselbe tun, so ist es (im Ergebnis) noch lange nicht dasselbe". Diesen Effekt der unterschiedlichen Ergebnisse bei gleicher Handlungsweise erfassen wir mit dem Begriff ***Polyapobie***, dessen Wortbildung aus der zugehörigen Ebene der Apobetik leicht erkenntlich ist. Schließlich ist in bewährter Analogie noch ein Ausdruck nötig, der jenen Vorgang beschreibt, bei dem trotz unterschiedlicher Handlungsweisen dennoch dasselbe Ziel bzw. Ergebnis erreicht wird. Hierfür sei der Begriff ***Homoapobie*** eingeführt (Bsp.: Ein und derselbe Abszissenwert für die gesuchte Nullstelle einer mathematischen Funktion kann mit Hilfe unterschiedlicher numerischer Verfahren wie *Newton*-Verfahren oder Sekantenmethode gefunden werden).

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211



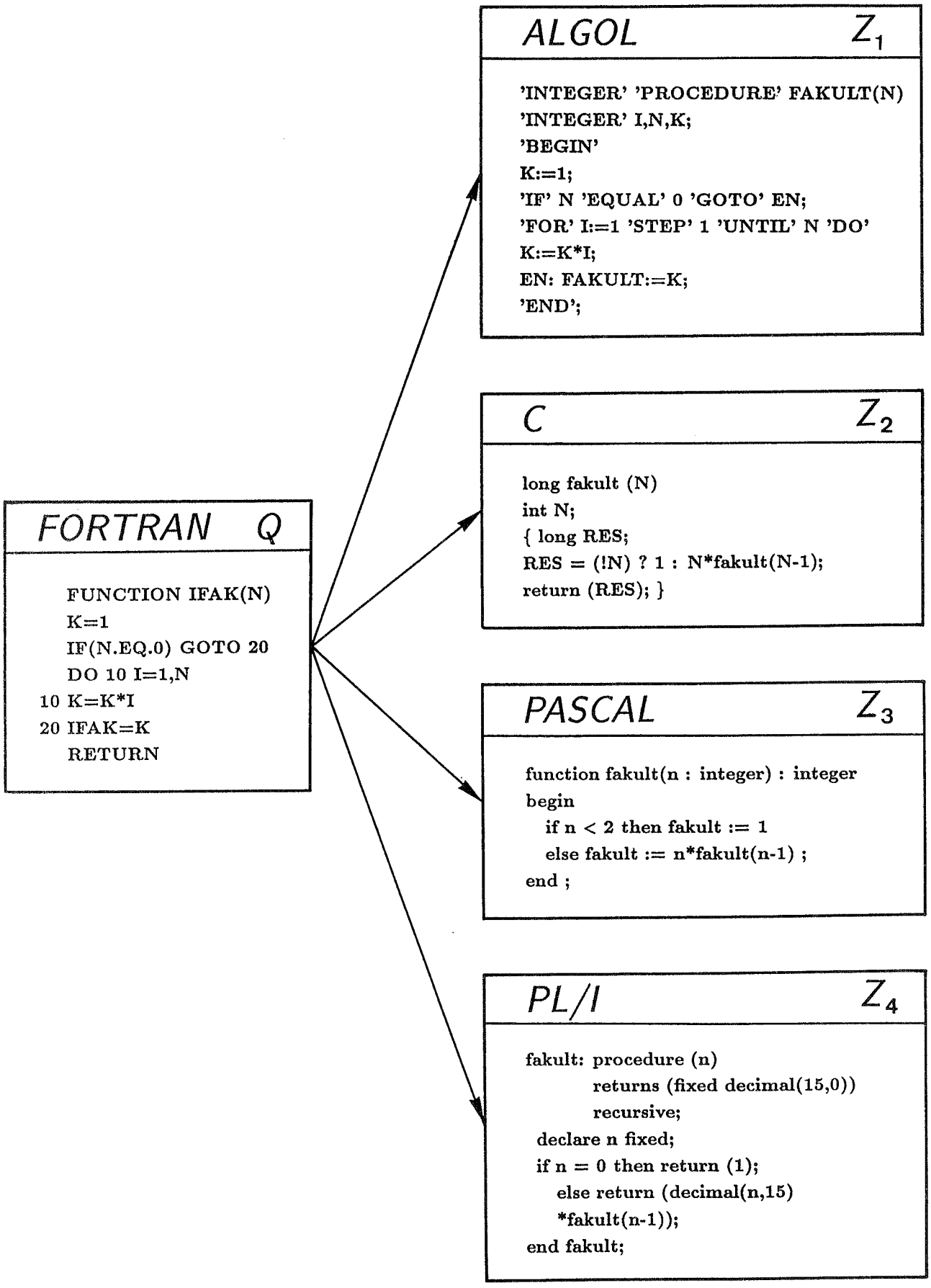
Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Bild 6 Zur Übersetzung bei formalen Sprachen

Bei den aufgeführten Programmiersprachen ist eine *eindeutige* und *vollständige* Übersetzung mit völlig identischem Ergebnis (Apobetikaspekt!) aus der Quellsprache in die Zielsprache möglich. In diesem Zusammenhang wird mit Quellsprache die vorgegebene Sprache bezeichnet, und Zielsprachen sind jene Sprachen, in die der apobetische Informationsgehalt übertragen werden soll.

Die Unterprogramme Z_1, Z_2, Z_3 und Z_4 in den Zielsprachen ALGOL, C, PASCAL und PL/I unterscheiden sich von der Quellsprache Q und auch untereinander hinsichtlich der Syntax z. T. erheblich. Auch die Ausführung (Pragmatikaspekt) der Unterprogramme auf einem Computer geschieht unterschiedlich, nur bezüglich der Apobetik sind sie völlig übereinstimmend, denn alle liefern dasselbe Ergebnis. Alle fünf Unterprogramme dienen zur Berechnung der Fakultät ($n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdots n$). Bei Z_2, Z_3 und Z_4 wird Gebrauch gemacht von der rekursiven Berechnungsmöglichkeit: $n! = n \cdot (n-1)!$

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211



Quellsprache Q ⟶ Zielsprachen Z_i

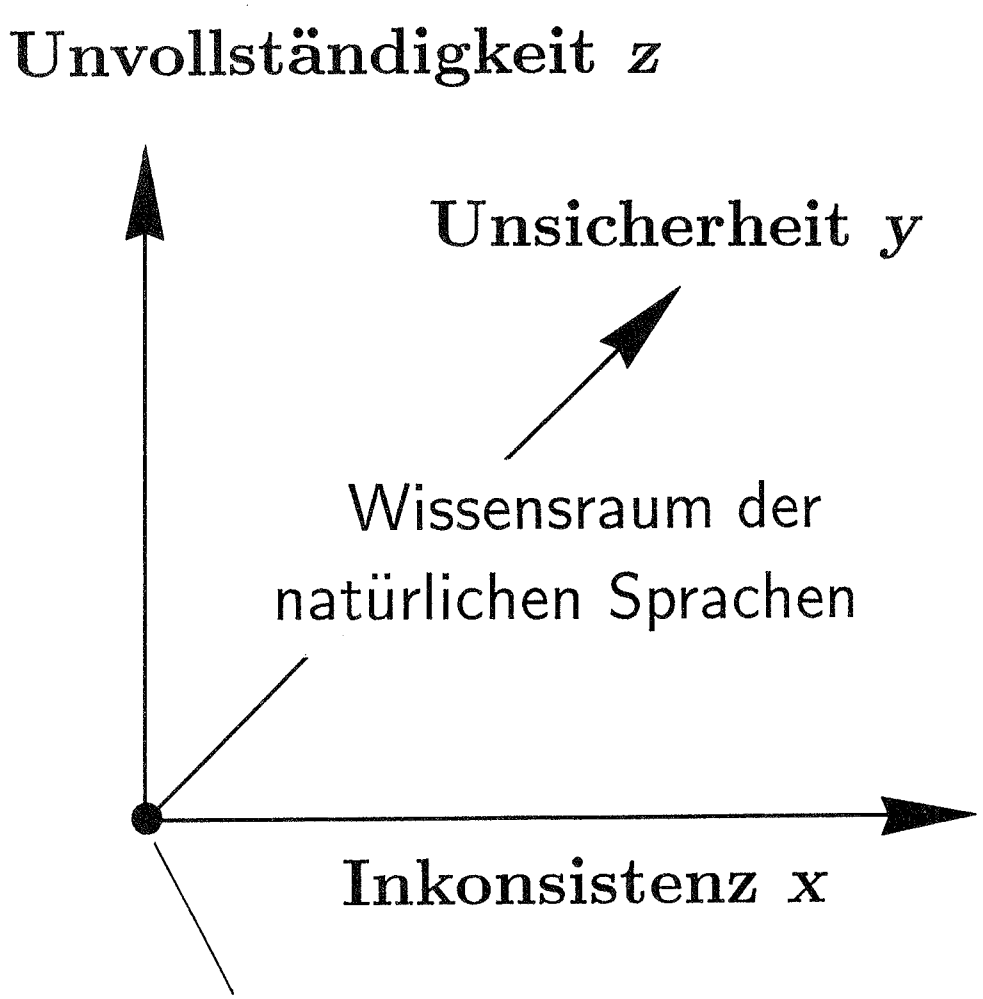
Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Bild 7 Der Wissensraum

Mit Hilfe des Wissensraumes (nach *H. Weiß*) ist es möglich, den Unterschied zwischen natürlichen Sprachen und Computersprachen auf sehr anschauliche Weise herauszustellen.

Mit unserem Wissen sind im allg. die Eigenschaften "unsicher", "unvollständig" und "inkonsistent" verbunden. Erstellt man ein dreidimensionales Koordinatensystem und trägt auf den Achsen diese drei Eigenschaften auf, so erhält man einen Wissensraum. Sämtliche Aussagen in natürlicher Sprache (z. B. Wissen, Unterhaltung, Berichte) sind dann durch einen bestimmten Koordinatenpunkt im Wissensraum beschreibbar, der einen mehr oder weniger großen Abstand vom Nullpunkt aufweist. Es ist bemerkenswert, daß die heutige konventionelle Datenverarbeitung sich ausschließlich im Nullpunkt dieses Raumes bewegt, der allerdings eine große Mächtigkeit besitzt. Dieser Nullpunkt ist durch folgende Bedingungen gekennzeichnet: keine Widersprüche ($x_0 = 0$), keine Mehrdeutigkeiten ($y_0 = 0$), kein fehlendes Wissen ($z_0 = 0$); mit anderen Worten: jegliche "Schwammigkeit" der Sprache ist nicht erlaubt. Der Mensch hingegen ist mit Hilfe seiner kognitiven Möglichkeiten in der Lage, erfolgreich mit Heuristiken umzugehen. Er hat die ausgezeichnete Fähigkeit, auch noch weit vom Nullpunkt entfernt, der durch strenge Logik bestimmt ist, - abgesehen von gelegentlichen Mißverständnissen - mit großem Erfolg zu operieren. Mit Hilfe von KI wird angestrebt, dem Rechner die Fähigkeit zu verleihen, den Nullpunkt des Wissensraumes zu verlassen. Dies ist bisher noch nirgends gelungen.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211



Arbeitspunkt $A(x_0,y_0,z_0)$ der heutigen konventionellen Datenverarbeitung:

$x_0 = 0$ *widerspruchsloses Wissen*
$y_0 = 0$ *eindeutiges Wissen*
$z_0 = 0$ *vollständiges Wissen*

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

fünf Faktoren, die der Maschine bei der Übersetzung nicht zugänglich sind:

1. die Zusammenfassung von Bedeutungseinheiten, ohne über eine formale Analyse der syntaktischen Beziehungen zu diesen Einheiten zu gelangen

2. das Überschreiten von Satzgrenzen in beiden Richtungen (nach vorn und nach hinten) zur Lösung von Ambiguitäten

3. das Erfassen extralinguistischer Komponenten (Pragmatik)

4. das Anwenden eines hermeneutischen Prinzips im Gegensatz zu dem mechanischen Vorgehen des Computers

5. der Wechsel zwischen verschiedenen Übersetzungsprozeduren.

Linguisten, Mathematiker und Informatiker arbeiten seit Jahren daran, wie die komplizierte Satzstruktur der natürlichen Sprache durch Computer entschlüsselt und umgesetzt werden kann. Alle bisher entwickelten Übersetzungsprogramme (z. B. SYSTRAN, LITRAS, METEO) liefern nur sehr einfache Rohübersetzungen, wobei die Systeme Wort für Wort übertragen und dann nach bestimmten Regeln den Satzbau so anzupassen versuchen, daß eine halbwegs lesbare Sprache herauskommt. Einen vergleichsweise beachtlichen Stand hat das System LOGOS erreicht, das 30 000 Kollokationsregeln enthält. Damit gelingt es, zahlreiche Wörter richtig miteinander zu verknüpfen, wie in folgendem Beispiel: Das Verb "treffen" muß im Englischen häufig als "meet" übersetzt werden: "Wir treffen uns um vier Uhr." --> "We will meet at four o'clock." In Verbindung mit "Entscheidung" ist "treffen" jedoch mit "make" zu übersetzen: "Sie müssen eine Entscheidung treffen." --> "They must make a decision." Auch mit derartigem Aufwand gewonnene Übersetzungen bedürfen aus den zuvor genannten Gründen unbedingt der Korrektur durch den Menschen.

14. Das Verstehen natürlich-sprachlicher Äußerungen: "Neben der Kenntnis des *Vokabulars* (Lexikon) und der *Grammatik* einer Sprache bedarf es zum Sprachverstehen eines umfangreichen sowohl *begrifflichen* (semantischen) als auch *empirischen Wissens*, auf das die in sprachlicher Form mitgeteilten Sachverhalte abgebildet werden müssen, und darüber hinaus beträchtlicher Fähigkeiten des *Schlußfolgerns* (Inferenzprozesse)." [15]

15. Sprache ist personenabhängig: Zahlreiche sprachliche Ausdrücke sind nur demjenigen zugänglich, der mit der individuellen Persönlichkeitsstruktur des Senders vertraut ist. "Er weiß, wie er es meint" ist für die erkannte Bedeutung oft wichtiger als die sprachliche Äußerung. So versteht eine Mutter ihr Kind auch dann noch richtig, wenn es in unvollkommenen Satzgebilden spricht. Auch in der Literatur spielt die persönliche Eigenart des Autors eine wesentliche Rolle (Prägung durch Lebensumstände, weltanschaulicher Hintergrund, individuelle Sprachstilistik, Sprachform).

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

16. Sprachverstehen auch noch bei Regelverletzung: Der menschliche Hörer kann eine Aussage als eigenwillig und merkwürdig erkennen und ihr trotzdem einen Sinn geben, indem er sie in einen Kontext des menschlichen Lebens einordnet, ohne auf Regeln zurückzugreifen und ohne dabei willkürlich zu verstehen. Noch stärker bringt diese Fähigkeit ein völlig falscher Sprachgebrauch zu Ausdruck. Menschen verstehen sich häufig auch dann noch, wenn ein Sprecher einen grammatischen oder semantischen Fehler begeht. Eine Äußerung kann nicht nur außerhalb der Regeln liegen, sondern von ihnen geradezu verboten werden, und doch werden solche Regelverletzungen oft nicht einmal bemerkt, weil sie mühelos verstanden werden.

Wie weit die Lücke zwischen KI und menschlicher Intelligenz klafft, wird offenkundig, wenn man sich einmal vorstellt, ein Programm solle aus einem Buch eine Zusammenfassung erstellen, in der die wichtigsten Gedanken enthalten sein sollen. Bei dieser Aufgabe muß das gedanklich Zentrale erkannt und neu formuliert werden. Hier werden die maschinellen Grenzen besonders deutlich.

Zum Abschluß der "11. Internationalen Konferenz für Computerlinguistik" 1986 in Bonn resümierte Prof. *W. Lenders* vom Bonner Institut für Kommunikationsforschung und Phonetik, daß der "denkende" Computer - das Endprodukt von KI - eine Utopie bleibe. Die ganze Palette des menschlichen Denkens, in das Erfahrungen einfließen und das nicht nur von formalen Regeln, sondern auch von Stimmungen und Gefühlen beeinflußt ist, wird der Computer niemals simulieren können. Allenfalls kann der Rechner der Zukunft immer besser Ausschnitte des menschlichen Denkens simulieren und so bestimmte Prozesse der Problemlösung erleichtern helfen.

Halten wir fest: Auf dem Gebiet der Sprachverarbeitung werden die Grenzen von KI besonders offenkundig, denn Software, die wirklich Bedeutung erfassen und verarbeiten kann, wie es für Aufgaben mit sprachlichem Urteilsvermögen (z. B. Übersetzen, Zusammenfassen von Texten, Beantworten von Fragen) notwendig ist, ist prinzipiell nicht möglich. Das Verstehen von Sprache und der kreative Umgang damit ist eine der wesentlichen kognitiven Fähigkeiten des Menschen und bleibt seiner Intelligenz vorbehalten. Die Fähigkeit eines Computers, mit natürlicher Sprache umzugehen, ist ein ungelöstes Problem und wird es nach der Auffassung des Verfassers wohl auch immer bleiben. Das Verständnis semantischer Kategorien (z. B. Metaphern, Idiome, Humor, Übertreibungen), ungenannter Absichten und Überzeugungen des Erzählers, Gefühle und Motivationen ist nicht in Rechnern modellierbar. Was ein Mensch kann (gesunder Menschenverstand, Intelligenz, Kreativität), entzieht sich der maschinellen Simulation, weil der intelligente Umgang mit Sprache Wahrnehmung, Denken und Handeln gleichermaßen einschließt. Auch die besten Programme mit Sprachverarbeitung wissen im wahrsten Sinne des Wortes nicht, wovon sie reden.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Der amerikanische Informatiker *T. Winigrad* äußerte sich ähnlich (zitiert in [7, S. 133]):

> "Die begrenzten Möglichkeiten der Formalisierung von kontext-gebundener Bedeutung lassen ... es nicht zu, Computer-Programme zu entwerfen, die der Anpassungsfähigkeit menschlichen Sprachverstehens nahekommen."

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

5 GRENZEN VON KI

Hubert L. Dreyfus gehört zu den gewichtigen Stimmen in den USA, die die Zukunftsperspektiven der KI einschätzen. Dem euphorisch vorgetragenen Optimismus liegt nach seiner Analyse folgende Überzeugung zugrunde [4, S. 105]:

> "Menschliches intelligentes Verhalten sei das Ergebnis der Verarbeitung von Informationen durch einen Digitalcomputer: und da die Natur auf diese Art intelligentes Verhalten hervorgebracht habe, müßten entsprechende Programme bei digitalen Maschinen ein entsprechendes Verhalten erzeugen können - indem man die Natur nachahmt oder ihre Programme sogar übertrifft."

Dreyfus setzt sich mit den vier Annahmen jener KI-Forscher auseinander, die den Menschen als eine "Mehrzweckvorrichtung zur Verarbeitung von Symbolen" auffassen:

> *1. Die biologische Annahme:* Auf einer bestimmten Operationsebene - nach allgemeiner Vermutung die der Nervenzellen oder Neuronen - verarbeitet das Gehirn Informationen in einzelnen Arbeitsschritten, und zwar mit Hilfe eines biologischen Äquivalents von Ein-Aus-Schaltern.
>
> *2. Die psychologische Annahme:* Das Gehirn kann man als einen Mechanismus betrachten, der kleine Informationseinheiten nach formalen Regeln bearbeitet. Psychologisch gesehen, stellt der Computer also ein Modell des Denkens dar. Denken wird mit Datenverarbeitung gleichgesetzt, d. h. der eigentliche "Verarbeiter" spielt keine entscheidende Rolle.
>
> *3. Die erkenntnistheoretische Annahme:* Alles Wissen kann formalisiert werden. Das bedeutet: Alles, was verstanden werden kann, läßt sich in logischen Relationen ausdrücken, genauer gesagt in Booleschen Funktionen. Dieses logische Kalkül gibt an, wie die Informationseinheiten aufgrund von Regeln miteinander verknüpft sind.
>
> *4. Die ontologische Annahme:* Alles Seiende besteht aus einer Menge von Tatsachen, die allesamt logisch voneinander unabhängig sind. Da sämtliche Informationen in einem Digitalrechner als Binärziffern vorliegen müssen, setzt das Computermodell des Denkens konsequenterweise voraus: Das gesamte Wissen von der Welt, alles, was für ein intelligentes Verhalten wesentlich ist, muß prinzipiell als eine Menge kontextunabhängiger, festgelegter Elemente analysierbar sein.

Dreyfus weist in seinem beachtenswerten Buch "Die Grenzen künstlicher Intelligenz" nach, daß sich keine der obigen vier Annahmen rechtfertigen läßt: Schon der Unterschied zwischen der "stark strukturierten" Organisation des Gehirns und der nichtinteraktiven Organisation der Maschine sprechen dagegen, daß das Gehirn wie ein Digitalrechner als universaler Mechanismus

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

zur Verarbeitung von Symbolen arbeitet. Die psychologischen, erkenntnistheoretischen und ontologischen Annahmen haben eines gemeinsam: Sie gehen von der empirisch widerlegbaren Auffassung aus, daß der Mensch ein *Apparat* ist, der regelgeleitet mit Daten rechnet, die die Form von atomaren Tatsachen haben. Diese Ansicht ist gleichsam als Flutwelle aus dem Zusammenfluß zweier mächtiger Ströme entstanden: erstens aus der platonischen Reduktion jeglichen Denkens auf explizite Regeln und eine Welt atomarer Tatsachen, auf die allein diese Regeln angewandt werden konnten, ohne den Gefahren bloßer Deutung anheimzufallen; zweitens aus der Erfindung des Digitalcomputers, einem Mehrzweck-Datenverarbeitungsgerät, das nach expliziten Regeln rechnet und Daten in der Form logisch voneinander unabhängiger atomarer Elemete aufnimmt.

Einer anderen Kultur wäre der Digitalcomputer höchstwahrscheinlich als ein wenig erfolgversprechendes Modell zur Schaffung Künstlicher Intelligenz erschienen. In unserer Tradition hingegen scheint der Computer das Paradebeispiel logischer Intelligenz abzugeben, dem nur noch das richtige Programm fehlt, um an jener Eigenschaft teilzuhaben, die den Menschen auszeichnet: seiner Vernunft.

Zwischen der fälschlicherweise sogenannten "Künstlichen Intelligenz" und der menschlichen Intelligenz bestehen nicht nur graduelle, sondern grundlegende Unterschiede:

5.1 Zu beachtende Differenzierungen: Wir müssen unterscheiden zwischen Daten und Wissen, zwischen den algorithmisch bedingten Verzweigungen eines Programms und einer willentlichen Entscheidung, zwischen vergleichendem Aussortieren und Assoziieren, zwischen dem Ermitteln von Werten und dem Verstehen von Bedeutung, zwischen dem formalen Ablauf in einem Entscheidungsbaum und dem individuellen Auswählen, zwischen einer Folge von Operationen in einem Computer und einem kreativen Gedankengang, zwischen der Akkumulation von Daten und einem Lernprozeß. Ein Computer kann nur das erste; hier liegen seine Stärken, seine Einsatzgebiete, aber auch seine Grenzen.

5.2 Was Schachprogramme uns lehren: KI sollte man redlicherweise als Datenverarbeitung auf höherem Niveau bezeichnen, keineswegs aber als Beginn des selbständig denkenden Computers. Wir würden einem großen Irrtum anheimfallen, glaubten wir, man könne ein System so konzipieren, daß es sich als etwas anderes denn als Rechensystem ausgeben kann. Die wohl erfolgreichste KI-Anwendung ist die Entwicklung von Computer-Schachprogrammen. Der schachspielende Computer denkt nicht selbständig, sondern ist weder besser noch schlechter als die durch menschliche Intelligenz programmierte Strategie. Ein Schachspieler tritt nicht gegen die Intelligenz des Computers an, sondern gegen die seines Programmierers. Genauer: Er spielt gegen die im Gerät deponierte, d. h. computergerecht ausgedrückte und auf Hardware gespeicherte Intelligenz des Programmierers. Während der fünften Computer-

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Schachweltmeisterschaft in Köln (1986) traten 23 Teilnehmer aus 8 Ländern in einem Wettkampf der Schachprogramme an. Im Endspiel um die beiden ersten Plätze standen sich die Programme HITECH und CRAY BLITZ gegenüber. Das von *Robert Hyatt* und *Al Gower* (University of Alabama) entwickelte Sieger-Programm CRAY BLITZ lief auf dem Rechensystem Cray XMP mit vier Zentraleinheiten, das zusammen 420 000 000 Operationen pro Sekunde durchführen kann. HITECH lief auf einem Sun-Microcomputer, wobei je ein VLSI-Chip pro Schachfeld arbeitete und nach der *Brute-Force*-Methode bis zu 200 000 Schachstellungen pro Sekunde berechnete. Die sich instrumentell gebärdende Intelligenz ist somit keine künstliche, sondern - wie es nicht anders sein kann - humane. Schachprogramme spielen nicht Schach, wie es Menschen tun. Sie erkunden systematisch und blitzschnell Millionen möglicher Resultate. Sie haben keine Einsicht in die Situation. Der menschliche Spieler erkundet zwar vergleichsweise wenig Möglichkeiten, hat dafür aber Einsicht. Darüber hinaus erkundet er die Psyche seines Gegners: Läßt er sich verwirren? Wird er müde?

5.3 Computer und Denken: Die rasante Entwicklung im Bereich der Computertechnik hat in einer Art Übererwartung die Vermutung entstehen lassen, daß eine künftige maschinelle Intelligenz möglich sei, die sogar dem Menschen überlegen sein könnte. Dabei wird das ausschließlich Werkzeughafte des Computers völlig übersehen. Menschliche Intelligenz hingegen ist etwas Autonomes und an die immateriellen Kategorien von Bewußtsein und Persönlichkeit geknüpft. Eine Maschine kann nicht eigenständig denken, sondern nur eingegebene Information algorithmisch verarbeiten, die zuvor von Menschen gedacht wurde. Neue kreative Gedankengänge kann die Maschine nicht hervorbringen. Der Computer kann nur das abwickeln, was jemand für ihn vorgedacht und programmiert hat.

5.4 Computer und Intelligenz: Der Begriff Intelligenz ist auf Computer nicht anwendbar. Dem Informatiker *F. Dretske* [22] muß man zustimmen, wenn er feststellt, daß Maschinen weder den IQ eines zweijährigen Kindes noch den eines Fachidioten haben, sondern überhaupt keinen aufweisen. Sie lösen keine Probleme, sie spielen keine Spiele, sie beweisen keine Sätze, erkennen keine Strukturen, denken nicht. Zwischen Verstand und Maschine gibt es einen unüberbrückbaren Abgrund. Was geschieht bei der Addition von Zahlen in einem Computer? Addiert er wirklich? *Dretske* sagt richtig: "Der Computer weiß überhaupt nicht, was eine Zahl ist. Er operiert auf physikalischen Zuständen, die interpretiert werden, als stünden sie für Zahlen." Zwischen Zeichen und Bedeutung klafft eine Lücke. Die Maschine operiert mit Schalterstellungen, Magnetfeldrichtungen, Verteilungen von Bitmustern, aber sie hat keinen Zugang zur Bedeutung dieser Symbole. Sie "kennt" weder Zahlen noch Texte. Die Maschine weiß nichts von der Wirklichkeit, in der wir leben, sie besitzt keine Information über Objekte und Sachverhalte. Sie hat keinen kognitiven Zugang zu der Welt, die durch die Symbole repräsentiert wird.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

5.5 Computer und Lernen: Ein Kernproblem von KI ist die Lernfähigkeit (Analogielernen!). Programme, die aus ihren Erfolgen oder Mißerfolgen keine Schlußfolgerungen ziehen, kann keinerlei Intelligenz unterstellt werden. *Dreyfus* [4] stellt fest, daß allgemeine Lernprogramme noch nicht einmal am Horizont der KI-Forschung auszumachen sind. Dies wird auch solange nicht möglich sein, bis die Idee aufgegeben wird, nach einer zeichenhaften Darstellung der Welt zu suchen statt sich an einem neuralnetzartigen Modell des menschlichen Gehirns zu orientieren.

5.6 Verhältnis Mensch/Maschine: Als zu Beginn dieses Jahrhunderts mechanische Modelle des Menschen von der Psychologie übernommen wurden, deutete und interpretierte man psychische Prozesse auf mechanistische Weise. Stand früher die Maschinenähnlichkeit von Menschen im Vordergrund, so haben wir es heute mit der ebenso falschen Umkehrung, der Menschenähnlichkeit von Maschinen (Computern) zu tun. KI wird auch in Zukunft den Computer nicht menschenähnlicher machen. Dennoch werden KI-Systeme als besondere Softwaretechnologie dort eine glänzende ökonomische Karriere vor sich haben, wo sich menschliche Arbeit computergerecht darstellen läßt.

5.7 Zur Theorie des Wissenserwerbs: Wissenserwerb bedeutet für ein KI-System, daß maschinell "interpretierbare" mathematische Modelle für bestimmte Anwendungsgebiete zu bauen sind, die dann die zur Problemlösung erforderlichen Informationen über das jeweilige Gebiet formal repräsentieren. Der Informatiker *L. Fohrmann* hat auf einen wesentlichen Aspekt dieses Vorhabens hingewiesen [18]: "Sowohl auf der formalen als auch der semantischen Ebene gibt es Grenzen für das Bauen von Modellen und damit auch den Erwerb von Wissen. Diese Grenzen sind aus prinzipiellen Gründen weder überwindbar noch umgehbar .... Eine allgemein gültige semantische Grenze der Mathematisierbarkeit und damit auch des Erwerbs von (modellförmigem) Wissen folgt aus der fundamentalen Eigenart der Mathematik, daß sich nur extensionale Größen (Symbolumfänge), nicht jedoch intensionale Größen (Symbolinhalte) mathematisch behandeln lassen."

5.8 Herkunft von Information: Ihrem Wesen nach ist Information keine materielle, sondern eine geistige Größe (vgl. Kap. 3). Nach einem vielzitierten Ausspruch des bekannten Kybernetikers *Norbert Wiener* kann Information nicht physikalischer Natur sein [25]: "Information ist Information, weder Materie noch Energie. Kein Materialismus, der dieses nicht berücksichtigt, kann den heutigen Tag überleben." Auch der Dortmunder Informatiker *Werner Strombach* stellt das nichtmaterielle Wesen von Information heraus, wenn er sie als Ordnungsentfaltung auf der Stufe des reflektierenden Bewußtseins definiert. Der Prozeß der Entstehung neuer (kreativer) Information, wie er beim Menschen abläuft, ist ein bis heute unverstandener Vorgang. Häufig spielen bereits existierende Informationen I_1, I_2,..., I_n (vorangegangene Ideen) für eine neue Idee I^* eine wichtige Rolle, dennoch läßt sich I^* auch nicht durch komplexeste Kombination (z. B. Verkettung, Vermischung) bekannter Information darstellen. Auch wenn aufgrund vorangegangener Ideen eine

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

weitere Idee entwickelt wird, so ist der Weg zu *I** das Ergebnis eines kreativen Prozesses, der wiederum eine *eigene* geistige Leistung darstellt. Eine reine Kombination vorhandenen Wissens leistet bei vorgegebener Strategie (Verknüpfungsregeln) auch eine Maschine. Damit wäre das Arbeitsfeld von KI abgesteckt. Durch KI-Systeme entsteht aber grundsätzlich nichts Neues, d. h. wirkliche kreative Information darf nicht erwartet werden.

5.9 Informationsverarbeitung: Es ist darauf hinzuweisen, daß menschliche Informationsverarbeitung etwas grundlegend anderes ist als eine zwar hochkomplexe, aber im Prinzip auf Computern modellierbare Informationsverarbeitung. Beim Menschen spielen dabei Bewußtsein, Motivation, Emotion, Intention und freie Entscheidungsfähigkeit eine herausragende Rolle, die jedem Rechensystem wesensfremd sind. Insbesondere spielen sich im Bereich der menschlichen Kommunikation Vorgänge ab, die nicht auf eine Signalübertragung zwischen Sender und Empfänger reduzierbar sind, wie behavioristisch orientierte Sprachwissenschaftler ursprünglich glaubten. Der Formulierungs- und Verstehensprozeß ist keineswegs durch die Erzeugung und Umsetzung festgelegter Bedeutungsinhalte in Signalketten beschrieben. Es geht vielmehr darum, den gemeinten Sinn möglichst verlustfrei mit dem Sprachvehikel zum Hörer zu transportieren und dort einen Eindruck zu verschaffen, der über das formal Darstellbare hinausgeht, denn der Empfänger nimmt eine aktive Rolle ein, wobei er sich auf den Sprecher einstellt und sich auf seine Gedanken einläßt.

5.10 Generationsnummern als Marken des Technologiestandes: In der Vergangenheit geschah die Orientierung des Entwicklungsstandes der Rechenanlagen nahezu ausschließlich an der *Hardware*, wobei Generationsnummern den jeweiligen Stand charakterisierten:

1. Generation: Elektronenröhren, Trommelspeicher
2. Generation: Transistoren, Ferritkernspeicher
3. Generation: Mikroprozessoren, Halbleiterspeicher
4. Generation: Verteilte Computersysteme, VLSI
5. Generation: Parallelarchitekturen, ULSI, optische Komponenten

Die Qualität eines Rechensystems wird aber in besonderer Weise von der *Software* bestimmt. Die Unterscheidung von Hard- und Software erscheint somit dringend geboten. In Analogie zur Hardware wird darum vorgeschlagen, auch den Software-Entwicklungsstand nach Generationen zu unterscheiden:

0. Generation: Rechner ohne Software
   (Rechenmaschinen von *Ch. Babbage*, *Leibniz*)
1. Generation: Verarbeitung numerischer Daten
2. Generation: Datenverarbeitung mit arithmetischen und logischen Operationen (komplexe mathematische Rechnungen, numerische Algorithmen), Verarbeitung großer Datenbestände (Datenbanken), höhere Programmiersprachen (FORTRAN, ALGOL,

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

COBOL)

3. Generation: Höherer Level der Programmiersprachen, Strukturierte Programmierung, Timesharing, Computergrafik
4. Generation: Expertensysteme (Datenverarbeitung mit Operationen wie Verwendung von Heuristiken, Schlußfolgerungsketten)
5. Generation: Parallelsprachen, symbolische Datenverarbeitung

Der Vorteil einer solchen Vorgehensweise wäre, daß weitere künftige Meilensteine der Softwareentwicklung mit einer erhöhten Generationsnummer bezeichnet werden könnten, und nicht wie im Falle von KI zwar werbewirksame, aber wirklichkeitsferne Begriffe eingeführt werden.

5.11 Einsatzbereiche: In den vorangegangenen Überlegungen wurden die Grenzen von KI markiert. Die Möglichkeiten von KI-Systemen liegen in jenen Einsatzbereichen, wo die computertypischen Vorteile durchschlagen: hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit, nahezu fehlerfreie Problembearbeitung, Speicherung und Verarbeitung großer Datenmengen. Damit ist kein grundsätzlicher Unterschied zu anderen Softwareprodukten (z. B. wissenschaftliche Rechenprogramme, Datenbanksysteme, technische und administrative Anwendung) markiert. KI-Systeme machen den Computer nicht menschenähnlicher; sie sind dem Menschen dienende Werkzeuge, die nur dort einsetzbar sind, wo sich menschliche Arbeit computergerecht darstellen läßt: "Computer können alle diejenigen Aufgaben erledigen, die mit Hilfe formaler Sprachen ausdrückbar sind. Aber nicht alle Probleme lassen sich mit Hilfe formaler Sprachen fassen."

5.12 Sprachformulierung: Computer können alle diejenigen Wirklichkeiten modellhaft simulieren, die durch eine formale Sprache beschreibbar sind. Es gilt aber zu bedenken: Nicht alle anstehenden Aufgaben sind mit Mitteln formaler Sprachen beschreibbar und somit auch nicht mit Computern lösbar.

5.13 Künstliche Intelligenz in Zukunft: Die Frage, ob es wohl in Zukunft im wahren Sinne des Wortes *künstliche* Intelligenz geben wird, hat der Frankfurter Mathematiker *D. Mans* pointiert beantwortet [16]: "Sie ist ebenso offen wie die Frage, ob es jemals gelingen wird, künstliche Blumen zu schaffen, die wachsen und blühen."

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

6 ZUSAMMENFASSUNG

Wir haben die Fähigkeiten des Menschen immer wieder mit denen der Computer verglichen. Es gilt dabei festzuhalten: Der Computer denkt nicht; er tut was sein Name sagt: er rechnet. Komplexe Softwaresysteme in Verbindung mit schnell arbeitenden Rechnern bilden ein hervorragendes Werkzeug zur Bewältigung zahlreicher Probleme. Die im Rahmen der "Künstlichen Intelligenz" entworfenen Systeme sind Softwareprodukte, deren Entwicklungsstand sich im Laufe der nächsten Jahre noch steigern wird. Sie werden jedoch aus den ausführlich diskutierten Gründen nicht jene Eigenschaften aufweisen, die wir als Intelligenzfaktoren (s. Seite 3) markiert haben. KI ist ein stark vereinfachter Ausschnitt dessen, was menschliche Intelligenz wirklich ausmacht. Es wäre ein Gewinn, wenn die Hochglanzbroschüren neu entstandener KI-Firmen in diesem Sinne realistischer beschrieben, über welche Fähigkeiten die Systeme tatsächlich verfügen.

Die von KI-Programmierern entwickelten Systeme werden in Zukunft in mancherlei Gebieten zunehmend an Bedeutung gewinnen. Nur sollten wir aufgrund der Kenntnis des Informationsbegriffs stets eingedenk sein: Keine auch noch so gut programmierte Maschine wird sebst in der Lage sein, *kreative Information** hervorzubringen, denn hierzu ist grundsätzlich ein geistiger Prozeß notwendig.

* *Definition:* Das entscheidende Merkmal kreativer Information ist ihre Neuartigkeit, d. h. "zu denken, was niemand gedacht hat". Dieser Aspekt ist verbal beschreibbar durch die Begriffe: erfinderisch, schöpferisch, originell, unkonventionell, innovativ, fortschrittlich, ideenreich. Jegliche kreative Information stellt eine geistige Leistung dar und ist somit an einen personenhaften, mit freiem Willen ausgestatteten Ideengeber gebunden, der mit kognitiven Fähigkeiten ausgerüstet ist.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

7 LITERATUR

[1] *Bierwisch, M.*: Rezension von *Z. S. Harris:* Discourse Analysis (in: Language 28, 1952) in: Linguistics 13, 1965, S. 61-73.

[2] *Brockhaus Enzyklopädie* in 20 Bänden, F.A. Brockhaus, Wiesbaden, 1970.

[3] *Dal Cin, M., Philipp, T.*: Expertensysteme für die Fehlerdiagnose, Informationstechnik it 30 (1988), S. 237-246.

[4] *Dreyfus, H. L.*: Die Grenzen künstlicher Intelligenz - Was Computer nicht können -, Athenäum Verlag, 1985, 373 S.

[5] *Englert, N.*: Maschinelle Übersetzung, ein Überblick. Logos, 57 S.

[6] *Feigenbaum, E. A., McCorduck, P.*: Die fünfte Computer-Generation. Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Stuttgart, 1984, 322 S.

[7] *Gauger, H. M., Heckmann, H.*: Wir sprechen anders. Warum Computer nicht sprechen können. Fischer Taschenbuch Verlag, 1988, 165 S.

[8] *Gitt, W.*: Information und Entropie als Bindeglieder diverser Wissenschaftszweige, PTB-Mitt. 91 (1981), S. 1-17.

[9] *Gitt, W.*: Ordnung und Information in Technik und Natur.
in: *Gitt, W.* (Hrsg.): Am Anfang war die Information.
Technischer Verlag Resch KG, Gräfelfing, 1982, 211 S.
(Nachdruck des PTB-Berichtes ATWD-18, Oktober 1981)

[10] *Gitt, W.*: Ein neuer Ansatz zur Bewertung von Information.
Beitrag zur semantischen Informationstheorie.
in: *Kreikebaum, H.* et al. (Hrsg.): Industriebetriebslehre in Wissenschaft und Praxis. Duncker & Humblot, Berlin, 1985, S. 227-266.

[11] *Görz, G.*: Computerparadigma und Sprachverstehen. VDI-Tagung an der TU Braunschweig, 7.-8. Mai 1987.

[12] *Haenelt, K.*: Verarbeitung natürlichsprachlicher Texte und Unterstützung der Wissenskommunikation durch integrierte Publikations- und Informationssysteme, Jahresbericht 1987 der GMD, S. 107-117.

[13] *Hoeppner, W. (Hrsg.)*: Künstliche Intelligenz. Informatik-Fachberichte 181, GWAI-88, 12. Jahrestagung 1988, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1988, 333 S.

[14] *Hofstadter, D. R.*: Metamagicum, Klett-Cotta, 1988, 946 S.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

[15] *Lehmann, E.*: Computersimulation des Verstehens natürlicher Sprache. Nova acta Leopoldina, N.F. 54, Nr. 245, Halle, 1981, S. 125-174.

[16] *Mans, D.*: Eine Disziplin blüht auf. IBM-Nachrichten Nr. 285, Okt. 1986, S. 7-13.

[17] *di Primio, F.*: Darstellung von "Wissen": Der Computer auf dem Weg zum "aktiven Buch". Der GMD-Spiegel 3/4-86, S. 54-58.

[18] *Savory, S. E. (Hrsg.)*: Künstliche Intelligenz und Expertensysteme. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1985, 250 S.

[19] *Schäfer, E.*: Das menschliche Gedächtnis als Informationsspeicher. Elektronische Rundschau 14 (1960), S. 79-84.

[20] *Schiff, J.*: Computer sind dem Menschen untertan. Siemens-Magazin COM 2/85, S. 11-15.

[21] *Spoerl, J. R.*: Stand und Aussichten der Wissensverarbeitung: Der Computer auf dem Wege zum persönlichen Assistenten. Der GMD-Spiegel 3/4-86, S. 68-72.

[22] *Strombach, W., Tauber, M. J., Reusch, B. (Hrsg.)*: Der Intelligenzbegriff in den verschiedenen Wissenschaften. R. Oldenbourg Verlag, Wien, München, 1985, 171 S.

[23] *Strombach, W.*: Was ist Information? Vorlesungsreihe Schering, Berlin, H. 12, 1986, 22 S.

[24] *Taylor, G. R.*: Die Geburt des Geistes. Fischer Taschenbuch Verlag, 1985, 496 S.

[25] *Wiener, N.*: Kybernetik. Rowohlt Verlag, 1968, 252 S.

[26] *Winograd, T.*: Computer Software for Working with Language, Scientific American, Sept. 1984, S. 91-101.

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211

Verfügbar unter: https://doi.org/10.7795/110.20181211