

Philosophie / Informatik
Sekundarstufe II

Können Computer denken?

„Künstliche Intelligenz“ als Thema
für einen fächerübergreifenden Unterricht

Teil I: KI – Mythos und Technik

Amt für Schule
1994



Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Schule, Jugend und Berufsbildung

Können Computer denken?

„Künstliche Intelligenz“ als Thema
für einen fächerübergreifenden Unterricht

Teil I: KI – Mythos und Technik

Fachreferenten:	Dr. Uwe Heinrichs Ulrich Polzin	Amt für Schule S 13 Amt für Schule S 13/33
Verfasser:	Reinhard Golecki	Gymnasium Klosterschule

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Teil 1: KI — Mythos und Technik	7
1 Menschliche und künstliche Intelligenz	7
1.1 Computerschach	10
1.2 Themenkreise der KI	13
2 KI als Mythos	14
3 KI als Technik	17
3.1 Promotor Militär	18
3.2 Anwendungs- und Forschungsgebiete	19
3.3 Expertensysteme	26
4 Zwischenbilanz	32
Literaturhinweise	35
Eine kleine KI-Bibliothek	35
Hinweise zu Einzelproblemen	38
Literaturverzeichnis	44

Einleitung

Dem Kürzel „KI“ begegnete ich zum ersten Mal Anfang der achtziger Jahre. Mit meinem Mathematikleistungskurs besuchte ich einige Veranstaltungen zum „Schnupperstudium“ an der Universität Hamburg und wollte dem Kurs auch etwas im Fachbereich Informatik bieten. Besonders neugierig war ich auf einen Vortrag, in dem laut Ankündigung die intellektuellen Fähigkeiten von Computern mit denen von uns Menschen verglichen werden sollten. Nun stand ich im Foyer des ehrwürdigen, mir so vertrauten Gebäudes an der Rothenbaumchaussee und suchte nach einem Hinweis, wo denn dieser Vortrag stattfinden sollte; da fiel mein Blick auf eine Schiefertafel mit der Aufschrift „KI-Veranstaltung im Hörsaal 1“. Ratsuchend wandte ich mich an den nächststehenden, kompetent aussehenden Menschen — wie sich später herausstellte war es der Vortragende — mit der Frage, was denn „KI“ bedeuten solle und erhielt die Antwort „KI‘ steht für ‚Künstliche Intelligenz‘. Allerdings braucht man natürliche Intelligenz, um das zu verstehen.“ Oh wie peinlich, dachte ich mir, habe ich nun, ach, die Philosophie, Mathematik ... durchaus studiert mit heißer Müh ...

Im Vortrag wurden dann eine Reihe kognitiver Fähigkeiten des Menschen (z. B. Sprach- und Bildverstehen, Schachspielen, Beweise logischer Theoreme, Expertenwissen) mit denen von Computer(programme)n verglichen. Fazit: noch sei der Mensch auf den meisten Gebieten überlegen, aber die Erfolge maschineller Intelligenz seien so vielversprechend, daß keine prinzipielle Grenze für Computer zu sehen sei und sie an Intelligenzleistung den Menschen auf vielen, wenn nicht sogar auf allen Gebieten übertreffen werden. Ich war ein wenig schockiert; zwar hatte ich von solchen Ansichten gehört, aber nun saß ich erstmals einem Menschen gegenüber, der dies — offensichtlich im Vollbesitz natürlicher Intelligenz — im vollen Ernst und mit ruhiger Stimme behauptete. Ich erinnerte mich an die Seminare über KANT, an seine Unterscheidung von Verstand und Vernunft, und stellte mit der Emphase des Aufklärers (vielleicht wollte ich mich auch ein wenig rächen) in der abschließenden Diskussion eine Frage: für mich seien die herausragendsten und wertvollsten intellektuellen Fähigkeiten des Menschen Urteilskraft und praktische Vernunft; ob er denn glaube, daß auch auf diesen Gebieten Computer genauso gut oder besser sein werden. Die Antwort verblüffte mich noch mehr: ehrlich gesagt habe er über diese Frage noch nie nachgedacht; aber wenn man mal annehme, daß Menschen dabei nicht völlig willkürlich und voluntaristisch vorgehen, sondern nach bewußten oder unbewußten Regeln, so sehe er auch hier keinen prinzipiellen Einwand gegen die Möglichkeit, diese Regeln zu erkunden und einen Computer entsprechend zu programmieren.

Hier prallten offensichtlich nicht nur unterschiedliche Meinungen, sondern völlig unvereinbare Traditionen des Nachdenkens über das Denken in ihrem gegenseitigen Unverständnis aufeinander. Später überlegte ich mir, warum ich über diesen Vortrag und die Diskussion so erstaunt war; ich hielt mich nämlich für gut informiert über das Gebiet, von dem ich nun wußte, das man es kurz mit „KI“ bezeichnete. Hatte ich mich doch in vielen Veranstaltungen meines Lieblingsphilosophieprofessors Gotthard GÜNTHER (ein gelernter Hegelianer, der — nach seiner Emigration 1938 — in der USA eine neue Heimat fand und später am *Biological Computer Laboratory, Department of Electrical Engineering* der Universität von Illinois über reflexive, mehrwertige Logik-Systeme forschte) mit seiner These von der transklassischen Maschine als Objektivation und Bild der menschlichen Subjektivität und dem „Bewußtsein von Maschinen“ beschäftigt; und dabei immer wieder gerne und amüsiert seinen Berichten und Anekdoten über die Begegnungen und die Zusammenarbeit mit Kybernetikern und Computertheoretikern — z. B. W. Ross ASHBY und Warren S. MCCULLOCH — gelauscht (amerikanischer Pragmatismus meets deutschen Idealismus: „Sie sprechen hier immer von ‚Reflexion‘, ‚Bewußtsein‘ und ‚Selbstbewußtsein‘. Sagen Sie mal, können Sie das bauen?“ „Natürlich nicht!“ „Wenn Sie das nicht bauen können, dann haben Sie nicht wirklich verstanden, wovon Sie reden. Wenn Sie mir aber *genau* sagen können, was Sie damit meinen, dann baue ich Ihnen das auch.“). Hatte ich doch an Veranstaltungen der (theoretischen) Informatik zusammen mit Logikern des philosophischen Seminars über Entscheidbarkeit und Berechenbarkeit teilgenommen; formale Sprachen, Automaten, Turingmaschinen und das Halteproblem waren mir durchaus vertraut. Wie gesagt, ich hielt mich für gut informiert — allerdings hatte ich noch nie einen Computer auch nur aus der Nähe gesehen, geschweige denn selbst programmiert.

Erst viel später — nach Diskussionen über Atomenergie und Gentechnologie mit ähnlichem Unverständnis auf beiden Seiten — begriff ich, daß der Vortrag über KI und meine Reaktion darauf Ausdruck waren der tiefen Kluft zwischen den von SNOW¹ so genannten „Zwei Kulturen“, der literarisch-geisteswissenschaftlichen und der naturwissenschaftlich-technischen „Kultur“. Bei Vertretern beider Denktraditionen findet sich häufig ein tiefes gegenseitiges Unverständnis, in extremen Fällen Verachtung und Feindseligkeit; ein Symptom dafür ist, daß sich selbst als durchaus gebildet einschätzende Vertreter einer „Kultur“ freimütig zugeben, von zentralen Begriffen der jeweils anderen „Kultur“ nicht das geringste zu verstehen und *auf dieses Unwissen auch noch stolz sind*. Nicht nur für den Umgang mit und der Bewertung von Technik, erst recht für die sozial und ökologisch verträgliche *Gestaltung* von Technik ist aber eine Überwindung dieser Kluft durch einen interdisziplinären Dialog und eine darauf folgende Zusammenarbeit in Forschung, Wirtschaft und Schule dringend geboten.² Das gilt — im Hinblick auf eine humane Gestaltung von Arbeit und Freizeit in Richtung einer „Ökologie des Geistes“ — auch für die Informations- und Kommunikationstechnik und speziell für die Künstliche Intelligenz (bei einem Gebiet, an dem so viele und so unterschiedliche Disziplinen — u. a. Informatik, Elektronik, Meß- und Regelungstechnik, Philosophie, Linguistik, Psychologie, Neurobiologie — beteiligt und bei dem so unterschiedliche Anwendungen — von der Produktion bis zur medizinischen Diagnose — intendiert sind, gibt es viele Möglichkeiten, aneinander vorbei zu reden und zu arbeiten).

Ich begann, mich für die Frage „Können Computer denken?“ genauer zu interessieren (und

¹Vgl. Charles P. SNOW (1987).

²Dabei kann und sollte m. E. die Philosophie eine wichtige Rolle spielen, mehr dazu in GOLECKI (1992).

ich begann auch selbst mit Computern zu arbeiten); ich wollte wissen, wie Menschen dazu kommen, an eine positive Antwort zu glauben, welchen praktischen Problemdruck, welche ideengeschichtlichen Wurzeln, Grundannahmen und Hoffnungen, welches Welt- und Menschenbild sie haben; ich kam ins Nachdenken darüber, was andere und ich, die an eine negative Antwort glauben, dem entgegensetzen können; ich wurde neugierig, was Computer derzeit tatsächlich leisten, wie sie es tun und was für die absehbare Zukunft zu erwarten ist. Mein persönliches Hauptinteresse war dabei erstens ein „anthropologisches“: was vom Menschen läßt sich bauen und programmieren und was wird sich hartnäckig der technischen Nachbildung widersetzen, was ist der nicht mechanisierbare „Rest“ von „Subjektivität“, „Seele“, „Geist“, „Rationalität“, was sagen Erfolge und Mißerfolge beim Bemühen um „intelligente“ Computersysteme über *uns*? Zweitens ist der Computer — ähnlich wie früher Uhr und Dampfmaschine — auch Symbol einer ganzen Epoche, mit ihm sind nicht nur Hoffnungen, Erwartungen und Ängste sowie Veränderungen im Selbstverständnis der Menschen verbunden (z. B. wird der Computer in Umkehrung der ursprünglichen Verhältnisse mehr und mehr Metapher und Modell für das menschliche Denken), er ist auch *das* zeitgenössische Mittel zur Einwirkung auf Natur und Gesellschaft; wenn wir uns unsere Probleme dabei vergegenwärtigen und wenn wir bereit sind, aus der Geschichte (auch aus der Geschichte der Naturwissenschaften) zu lernen, welche Lehren können wir dann ziehen nicht nur für eine Technik-, sondern auch für eine *Ideenfolgenabschätzung* (z. B. für die Idee, daß wir mit Computern unsere Probleme weit besser als bisher lösen können oder daß uns demnächst intelligente Computer diese Sorgen ganz abnehmen werden)?

Ich begann, bei passender Gelegenheit mit den Schülerinnen und Schülern in meinen Philosophie- und Informatikkursen über diese Fragen und Probleme zu sprechen, stieß dabei auf großes Interesse, kontroverse Diskussionen und großen Bedarf an Orientierung, aber auch auf die Schwierigkeit, in diesen Kursen die Voraussetzungen, Herangehensweisen und Lernerfahrungen des jeweils anderen (nicht immer auch belegten) Faches in angemessener Zeit und Weise zu vermitteln. Daraus entstand der Plan, das Thema gleichzeitig in beiden Fächern, als fächerübergreifende Kurskombination, zu behandeln (das ist mir inzwischen auch dank der hilfreichen Unterstützung durch Oberstufenkoordination und Schulleitung zweimal gelungen) und die gewonnenen Erfahrungen in Form einer Handreichung weiterzugeben.

In der guten alten Tradition klassischer Lehrprobenentwürfe schien mir dazu auch eine genauere „Sachanalyse“ nötig, zumal die Zielgruppe fachlich recht inhomogen ist (was für eine Informatiklehrerin selbstverständlich ist, kann nicht unbedingt bei einem Philosophielehrer vorausgesetzt werden und umgekehrt). Ich weiß nicht, ob ich das ganze Unternehmen begonnen hätte, wenn ich gewußt hätte, was dabei auf mich zukommt. Ein Buch ergab das andere, ich stieß auf Titel von „Künstliche Intelligenz auf dem ATARI ST in GFA-BASIC“ bis „Untersuchung der Cepstrumtechnik zur Querdisparitätsbestimmung für die Tiefenschätzung bei fixierenden Stereokonfigurationen“, von „An Effective Decision Algorithm for Propositional Temporal Logic“ bis „Das Metonym ‚KI‘ — Soziologische Anmerkungen zum Projekt der implementierten Theorie“. Erst allmählich begriff ich, wie unterschiedlich die Motive, Erkenntnisinteressen, Fragestellungen und Methoden der Forschungsprogramme sind,³ die sich unter dem Kürzel „KI“ locker um die nur scheinbar einheitliche Problemstellung einer technischen Realisierung von Intelligenz gruppiert

³„Calling this a single discipline, it is argued, is like lumping together automobile engineering, classical dynamics and biomechanics because they are all concerned with movement.“ (Daniel G. BOBROW & Patrick J. HAYES (1985), S. 375)

haben. Erst allmählich lernte ich dabei zu unterscheiden:

- das Getöse in den Medien und die Realität in den Labors (uns werden denkende Computer versprochen und entwickelt werden elektronische Checklisten und Manuale zur automatisierten Diagnose von Getriebschäden);
- die unterschiedlichen Ansprüche an die als „intelligent“ in den Blick genommene Leistung (Orientierungsfähigkeit einer Katze, Sprachfähigkeit eines Kindes, Expertise eines Akademikers, Schachspiel eines Weltmeisters);
- Grundlagenforschung und kommerzielles Interesse (ein besserer Formalismus für nicht-monotones Schließen oder Bordcomputer in jedes Auto);
- die ingenieurwissenschaftliche und die kognitionswissenschaftliche Sicht (effektive und sichere Methoden zur Auswertung von Satellitenbildern oder das Geheimnis der Intelligenz lüften);
- schließlich (und sicher nicht vollständig) die unterschiedlichen Positionen bei den offenen und versteckten Kontroversen innerhalb und zwischen den verschiedenen Richtungen der KI.

Bei der Philosophie war die Lage nicht viel besser. Die Diskussion hat sich naturgemäß erst in den letzten Jahren entwickelt, dann aber explosionsartig und zumeist einige tausend Kilometer entfernt von unseren Schulen. Auch wenn man nicht fachfremd Philosophie unterrichtet, ist es nicht ganz einfach, ein wenig Ein- und Überblick zu bekommen (auch hier fehlen die jüngeren Kolleginnen und Kollegen). Außerdem wurden Ausflüge in Gebiete (Psychologie, Sprachwissenschaft, Neurobiologie) nötig, die ich vorher nur vom Hörensagen kannte.

Das alles mag erklären, warum die „Sachanalyse“ viel umfangreicher als geplant wurde. Im **Teil 1** stelle ich kurz einige Probleme mit dem Intelligenzbegriff und mit dem Vergleich menschlicher und maschineller Leistungen dar; nach einem Schwenk über die Mythen und die Übertreibungen stehen dann die Forschungsinteressen, Ergebnisse und Schwierigkeiten der technisch orientierten KI im Mittelpunkt. **Teil 2** zeichnet nach, welchen Weg das Denken über das Denken in der Philosophie der Neuzeit genommen hat und wie dabei zentrale Konzepte der KI (mentale Repräsentation, Kalküle zur Formalisierung des Denkens) einerseits und ihrer Opponenten andererseits (Bewußtsein, Verstehen, Intentionalität) entstanden sind; nicht nur die KI hat mit diesen Begriffen Probleme, sondern auch die Philosophie selbst: Vorschläge von Philosophen, sie gerade durch eine Orientierung an den Konzepten und empirischen Ergebnissen der KI zu lösen (nach dem Geben nun ein Nehmen), werden abschließend kurz vorgestellt. Im **Teil 3** geht es dann (endlich) um den eigentlichen und umstrittenen Kern der Titelfrage: das „Computermodell des Geistes“, KI als Teil der neuen Kognitionswissenschaft, die Grundannahmen und die Abfolge der wechselnden Ansätze, Bewertung der Erfolge und Mißerfolge; den Abschluß bildet eine Reflexion über die interdisziplinären Herausforderungen der KI.

Zu diesen drei „theoretischen“ Heften kommen drei weitere mit kurzen Beschreibungen und Kommentaren zu den oben genannten Versuchen zur unterrichtlichen Umsetzung, die

„Unterrichtsmodule“.⁴ Das **Unterrichtsmodul 1** widmet sich ganz der Frage, was wir denn genau meinen, wenn wir nach der Intelligenz und der Denkfähigkeit von Computern fragen, wodurch wir sie testen könnten und wie es damit bei uns Menschen steht; dazu paßt ein **Exkurs** über den Behaviorismus. Thema vom **Unterrichtsmodul 2** ist die Sprache: können Computer Sprache verstehen, welche Probleme ergeben sich auf der syntaktischen, semantischen und pragmatischen Ebene? Was genau tun wir mit Sprache, wieweit läßt sie sich formalisieren, welche Bedeutung hat sie für uns beim Verständnis der Welt und unserer Mitmenschen? Zur Vertiefung ein **Exkurs** über die Aussagenlogik. Im **Unterrichtsmodul 3** geht es um die angemessene Beschreibungsebene bei der Suche nach der Quelle von Intelligenz und Denken (Elektronen- und Molekülströme? Materielle Realisierung oder funktionale Architektur? Input-Output-Verhalten?), es wird der Aufbau des Gehirns mit dem eines Computers verglichen und die Frage nach der Rolle der Hardware (oder „Ware“⁵) gestellt; eingebettet ist ein kurzer **Exkurs** über das Leib-Seele-Problem.

Es versteht sich wohl von selbst, daß mit dieser Handreichung und speziell mit den Unterrichtsmodulen nicht das Ansinnen verbunden ist, jeder Unterricht zur KI in Philosophie und Informatik solle *genau so* ablaufen (dazu sind die Voraussetzungen und Interessen der am Unterricht Beteiligten, die organisatorischen Bedingungen und die Eigendynamik des konkreten Unterrichts viel zu unterschiedlich). Aus diesem Grund zielte mein Ehrgeiz auch nicht auf eine detaillierte Dokumentation der einzelnen Unterrichtsstunden und auf ausführliche methodische Hinweise, vielmehr möchte ich Vorschläge machen zur eigenen fachlichen und didaktischen Orientierung und zur eigenen unterrichtlichen Umsetzung (möglichst im Dialog und in der Zusammenarbeit mit anderen). Deshalb habe ich zusätzliche Literaturhinweise aufgenommen,⁵ auch und gerade zu den Fragen, die ich nur kurz oder gar nicht behandle.

Ich persönlich denke, daß es wichtigere Fragen gibt als die, ob Computer denken können. Aber richtig verstanden und gewendet kann eine Reflexion über die Frage sehr wohl ein Beitrag sein zur Entwicklung einer sozialen Technik (statt einer bloßen Sozialtechnologie), zur Gestaltung von Arbeit und Gesellschaft, zu einem durch empirische Erkenntnisse über intelligente Lebewesen und Systeme gestützten Bild von uns selbst als rationale und moralisch verantwortliche Personen, zur Selbstaufklärung und Selbstvergewisserung.⁶ Ein Ergebnis könnte sein, daß sowohl die Vorstellungen über Sinn, Möglichkeiten und Grenzen der KI seitens ihrer Vertreter als auch das Menschenbild innerhalb der Geisteswissenschaft gewisser Modifikationen oder Revisionen bedürfen — ein wichtiger Baustein zur Klärung der immer aktuellen Frage „Was ist der Mensch?“

Die Titelfrage dieser Schrift liegt quer zu den traditionellen Disziplinen und Fächern. Zur Stärkung der Menschen und zur Klärung der Sache ist ein interdisziplinärer Dialog

⁴Dieser etwas seltsame Name soll andeuten, daß ich zwar die drei Teile als miteinander verbundene Einheit geplant habe, daß die Teile aber auch einzeln einen unterrichtlichen Sinn haben können und daß eine sinnvolle Kurseinheit auch entstehen kann, wenn einzelne Teile durch ganz andere ersetzt werden. Mehr dazu (und zur Frage, ob dieser modulare Aufbau auch Ausdruck des „Computer-Denkens“ ist) in den Vorbemerkungen zum Unterrichtsmodul 1.

Für eine möglicherweise empfundene „Fallhöhe“ zwischen den Ausführungen in den Teilen 1–3 und den Umsetzungen im Unterricht bitte ich um Nachsicht: ich habe — als Anfänger bei diesem speziellen Vorhaben — Unterricht mit Anfängern in den Fächern Philosophie und Informatik gemacht.

⁵Und das ist auch ein Grund für die vielen Fußnoten.

⁶„Die Untersuchung, was Computer leisten können, verwickelt uns in Fragen, was Menschen mit Computern anstellen, und schließlich in die grundlegende Frage, was es heißt, ein Mensch zu sein.“ (Terry WINOGRAD & Fernando FLORES (1989), S. 25.)

(und ein fächerübergreifender Unterricht) nötig, um — im Bewußtsein der Grenzen disziplinärer Methoden, Sichtweisen und Zuständigkeiten sowie ihrer Ergänzungsbedürftigkeit — die Grundannahmen und Ergebnisse der einzelnen „Fachkulturen“ miteinander zu konfrontieren und zu reflektieren, um sie einzuordnen und zu transzendieren.

Die folgende Schrift ist als ein Versuch zu verstehen, für den Bereich Informatik und Philosophie (und mit einer ausdrücklichen Einladung in Richtung Psychologie, Sprachwissenschaft und Biologie) einen Beitrag zu einem solchen Dialog und zur interdisziplinären Zusammenarbeit im Bildungsbereich zu leisten. Computer mit wirklicher Intelligenz sind (erstmal?) nicht zu erwarten, zu erhoffen aber ist ein wirklich intelligenter Umgang mit Computern.

Für vielfältige Anregungen, Kritik, Ermunterungen und Unterstützung danke ich
Barbara BRAUN, Heiner HASTEDT, Uwe HEINRICHS,
Ekkehard MARTENS, Wolfgang MENZEL, Christine PINCK,
Ulrich POLZIN, Peter SCHEFE und Thomas SCHNEIDER.

Teil 1

KI — Mythos und Technik

1 Menschliche und künstliche Intelligenz

„Können Maschinen denken?“, oder, ein wenig zeitgenössischer, „Wird es Computer geben, die Menschen an Intelligenz gleichwertig oder gar überlegen sind?“. Vielen Menschen erscheint schon die Fragestellung absurd, ja fast blasphemisch: wie soll ein „etwas“ aus Silizium, Draht und Plastik — ohne die Jahrtausende der Evolution, die Jahrtausende der Kultur, die Jahrzehnte einer Gesellschaft, ohne Geburt, Kindheit, Sexualität, Arbeit und Gewißheit des Todes — auch nur annähernd so wie ein Mensch denken können? So berechtigt diese Einwände sind, wer sie benutzt, um gar nicht erst die Frage zuzulassen, muß sich dem Einwurf stellen, ob sie nicht nur Ausdruck einer tiefsitzenden Abwehr gegen jedes Infragestellen der Sonderstellung des Menschen sind: KI als — nach KOPERNIKUS, DARWIN und FREUD — vierte Kränkung der Menschheit?

Unter denen, die die Frage zulässig und interessant finden, ist die Antwort heftig umstritten. Bevor man aber Argumente, Positionen und technische Beispiele prüft, lohnt es sich, den genauen Sinn der Frage näher zu untersuchen. Was genau ist mit „Denken“ bzw. „Intelligenz“ des Menschen gemeint und wie kann man das messen und vergleichen (weiter wäre zu klären, was genau unter „Maschine“ verstanden wird)? Die offensichtlichen Schwierigkeiten, die hier einer begrifflichen Klärung und Einigung im Wege stehen, haben vor mehr als vierzig Jahren Alan TURING veranlaßt, als operative Umformulierung die neue Frage „Kann ein Digitalcomputer erfolgreich am ‚Imitationsspiel‘¹ teilnehmen?“ vorzuschlagen (dazu wie auch zum Problem der Adäquatheit dieser Neuformulierung mehr im Unterrichtsmodul 1).

Selbst wenn man diesen Vorschlag TURINGs akzeptiert oder zumindest — wie auch hier im Unterrichtsmodul 1 — zum Ausgangspunkt einer Debatte nimmt, kommt man, spätestens wenn eine solche Maschine wirklich gebaut werden soll, um ein Nachdenken über das „Wesen“ des Denkens bzw. der Intelligenz nicht herum. In der öffentlichen Debatte hat sich dabei der Akzent immer mehr von der (philosophischen) Frage nach dem „Denken“ zu der (psychologischen) nach „Intelligenz“ verschoben. Eine große Rolle spielt dabei auch

¹Etwas verkürzt geht es darum, ob über Fernschreiber kommunizierende Menschen feststellen können, ob sie mit einem Menschen oder mit einem Computer verbunden sind.

die zunehmende normative Bedeutung dieses Begriffes (Ansehen, Prestige, Verteilung von Lebenschancen). Was ist nun Intelligenz? Als Laie wird man wohl mit Umschreibungen wie „durch Lernen, schlußfolgerndes Denken und Kreativität Probleme lösen und sich auf neue Situationen flexibel und erfolgreich einstellen können“ antworten. In der psychologischen Fachwissenschaft wird versucht, die dazu nötigen Fähigkeiten, Fertigkeiten und geistigen Prozesse genauer zu ergründen und zu beschreiben. Aber auch im Rahmen dieses Forschungsprogrammes gibt es viele offene Fragen (und kontroverse Antworten):

- ist unsere Sicht der Intelligenz (und die damit verbundene Wertung) für die gesamte Menschheit gültig oder ist sie zeit- und kulturabhängig (in anderen Zeiten mag die Beschaffung von Nahrung durch die Jagd oder Erinnern und Vortrag langer Epen und Balladen als die herausragende geistige Leistung gegolten haben, in anderen Kulturen z. B. die Navigation ohne Hilfsmittel zu winzigen, Hunderte von Kilometern entfernten Inseln)?
- ist die *menschliche* Intelligenz von der der Tiere nur graduell oder auch qualitativ unterschieden? Gibt es Fähigkeiten und Fertigkeiten (z. B. Sprache, formaler Umgang mit digitalen Symbolen, Durchspielen von Alternativen bei zeitlicher und örtlicher Entfernung, Planung — nicht nur Gebrauch — von Werkzeugen), über die der Mensch exklusiv verfügt, wie unabhängig sind sie von anderen, „niedrigeren“ Prozessen der Informationsverarbeitung wie Reizverarbeitung, Wahrnehmung und Gedächtnis, die wir mit Tieren gemeinsam haben?
- läßt sich der kognitive Bereich (um den es TURING in seinem Test und dem Großteil der KI heute vorwiegend geht) ohne weiteres von dem voluntativen, affektiven, sensomotorischen isolieren?
- handelt es sich bei „Intelligenz“ um *eine* übergeordnete Fähigkeit, um die Gesamtheit unterschiedlicher geistiger Prozesse oder gar um einen sehr künstlichen Sammelbegriff für völlig unabhängige Fähigkeiten, Fertigkeiten und Dispositionen; ist sie nur ein Konstrukt, ein Streich, den uns die Sprache spielt (so wie uns die zufällige und sehr enge Sicht auf Hunderte von Lichtjahren voneinander entfernte Sterne zusammen mit der Sprache die Existenz eines „Sternbild Orion“ suggeriert)?

Ist schon das in Frage stehende *Merkmal* unklar und umstritten, so muß sich das selbstverständlich auch auf die Frage nach den geeigneten *Indikatoren* auswirken (es gibt allerdings Leute, die — bewußt oder unbewußt einer wissenschaftstheoretischen Position folgend — hier aus der Not eine Tugend machen und einen Indikator zum Merkmal erheben; abgesehen von der offensichtlichen Zirkularität wird man dann allerdings spätestens beim Bau „intelligenter“ Computer eine Theorie über das Merkmal selbst sehr vermissen). Am populärsten — aber auch am umstrittensten — sind „Intelligenztests“ und der daraus errechnete „Intelligenzquotient“ (IQ). Ich möchte hier nicht näher auf den IQ eingehen (mehr dazu in den Literaturhinweisen), aber aus den oben genannten Schwierigkeiten mit dem Intelligenzbegriff dürfte deutlich geworden sein, daß diese buchstäblich eindimensionale Betrachtungsweise und die Reduktion auf einen Zahlenwert für einen Vergleich menschlicher und maschineller Intelligenz wenig tauglich ist. Wie aber vergleicht man am besten zwei fremde, ganz anders entstandene und agierende „Intelligenzen“? (Mal angenommen, Delphine wären wirklich so intelligent, wie manche behaupten, und weiter angenommen,

uns gelänge es, mit ihnen zu kommunizieren: worüber sollten wir uns unterhalten? Über die letzte Steuererklärung, den nächsten Autokauf, die Schulnoten der Kinder, den Pinselstrich von VELÁZQUEZ? Das ist nicht anthropozentrisch gemeint, die Delphine hätten ähnliche Probleme mit uns.)

Wenn man keine genauen Kenntnisse über die Komponenten, Prozesse und das Zustandekommen von Intelligenz hat (und zumindest beim Menschen ist das so), kann man Intelligenz nur „von außen“ betrachten und vergleichen: an Beispielen für „intelligentes“ Handeln und Verhalten. Aber läßt sich dabei einfach die Leistung unabhängig von ihrem Zustandekommen vergleichen? Für die Menschheit war es beispielsweise eine große Intelligenzleistung, von Dänemark nach Nordafrika fliegen zu können; die gleiche Leistung bei Vögeln würden nur wenige Biologen als intelligent bezeichnen. Nun haben Computer mit Flugzeugen gemeinsam, daß sie von Menschen als Werkzeuge zur Erfüllung menschlicher Bedürfnisse entwickelt wurden; insofern erscheint es hier nicht so weit hergeholt, ihre Leistungen mit denen des Menschen zu vergleichen. Aber welche Leistungen sollen nun — mit der gebotenen Fairneß für beide Seiten — zur Beantwortung der Frage, ob Computer genauso intelligent wie Menschen werden können, verglichen werden?

Hier taucht nun auch die Frage nach dem Selbstverständnis der KI-Forschung und ihrer Abgrenzung zur „konventionellen“ elektronischen Datenverarbeitung auf. Die häufig zitierte Definition von Marvin MINSKY „Artificial Intelligence is the science of making machines do things that would require intelligence if done by men“ ist wenig hilfreich.² Sicherlich erfordert die Berechnung (eines rationalen Näherungswertes) der dritten Wurzel aus 42,8 oder die Erfüllung des Auftrages „Suchen Sie mal aus unserer Registratur alle Kunden aus dem Postleitzahlbereich 6 heraus, die in den letzten zwei Jahren bei uns Schleifscheiben bestellt haben“ durch den Menschen Intelligenz (auch wenn mir beide Tätigkeiten in der Schule und beim Ferienjob äußerst stupide vorkamen); trotzdem würde kaum ein Informatiker Taschenrechner und Dateiverwaltungsprogramme als KI-Produkte bezeichnen. Der Arbeitsweise der Maschine liegt in beiden Fällen ein streng deterministischer *Algorithmus* zugrunde, d. h. eine Vorschrift, die zu jeder zulässigen Eingabe (unzulässige werden entweder durch Fehlermeldungen „abgefangen“ oder führen zum „Absturz“) in endlich vielen, eindeutigen und zwangsläufigen Schritten mit Sicherheit das erwünschte Ergebnis liefert. Dieser Algorithmus wurde von Menschen entwickelt und in ein für die Maschine ausführbares Programm übertragen, d. h. die Maschine wurde *programmiert*: Denkarbeit des Menschen wurde benutzt, um Denkarbeit zu mechanisieren. Vergleicht man die Vorge-

²Margaret A. BODEN (1990, S. 1; nebenbei: sie spricht lieber von „done by people“ als von „done by men“) hält die Definition „the study of how to build and/or program computers to enable them to do the sort of things that minds can do“ für besser, weil sie sowohl den Bereich abdeckt, für den man im alltäglichen Sprachgebrauch Intelligenz für erforderlich hält („giving legal or scientific advice, proving theorems in logic or mathematics“), als auch jenen, den jeder normale Erwachsene (und zum Teil auch Tiere) unabhängig von der Ausbildung und auch meist ohne bewußte Kontrolle beherrscht („seeing things in sunlight and shadows, finding a path through cluttered terrain, . . . speaking one’s native tongue“). Für diejenigen, denen die darin enthaltene Voraussetzung („that computers could do, what minds can do, that they might really diagnose, advise, infer, and understand“) zu weit geht, schlägt sie als mildere Fassung „the development of computers whose observable performance has features which in humans we would attribute to mental processes“ vor. Das trifft recht gut das Selbstverständnis derer, denen es in erster Linie um die Entwicklung technischer Werkzeuge und kommerzieller Anwendungen geht (vgl. Abschnitt 3). „But many others would favor a more controversial definition, seeing AI as *the science of intelligence in general* — or, more accurately, as the intellectual core of cognitive science. As such, its goal is to provide a systematic theory that can explain (and perhaps enable us to replicate) both the general categories of intentionality and the diverse psychological capacities grounded in them.“ Dazu mehr im Teil 3.

hensweise der Maschine mit dem oben angeführten Alltagsverständnis von Intelligenz, so fehlen alle wesentlichen Elemente: Lernen, Schlußfolgern, Kreativität, Flexibilität, Lösungen für völlig neue oder überraschende Probleme. Andererseits: Computer brauchen für ihre „Arbeit“ Algorithmen (in Form lauffähiger Programme). Läßt sich Intelligenz überhaupt programmieren, ist das nicht ein Widerspruch in sich? Das ist eine der (wenn nicht *die*) Grundfragen der KI.

1.1 Computerschach

Die bisher angesprochenen Fragen — Kränkung des Menschen durch die Maschine, Wesen der und Indikatoren für Intelligenz, Vergleichbarkeit der Leistung — lassen sich recht gut am Beispiel Computerschach illustrieren. Von Beginn an hat die Entwicklung von Schachcomputern (bzw. -programmen) in der KI-Forschung eine große Rolle gespielt. Das hatte vor allen zwei Gründe:

- die Regeln von Schach lassen sich vollständig formal beschreiben und in syntaktische Operationen übersetzen (es ist kein implizites, zusätzliches Wissen nötig, Schach ist unabhängig von speziellen Eigenschaften des Materials spielbar), das Spiel endet nach endlich vielen Schritten unter genau angebbaren Bedingungen für Erfolg und Mißerfolg. Insofern läßt sich Schach viel einfacher programmieren als die meisten Probleme, mit denen wir es sonst zu tun haben.
- Schach hat ein sehr hohes Prestige, gutes Schachspiel gilt als herausragende Intelligenzleistung. Dadurch ist es eine spannende und stark emotional besetzte Herausforderung für das Kräftemessen von Mensch und Maschine (bzw. deren Konstrukteuren und Programmierern) mit hoher öffentlicher Aufmerksamkeit.³

Während es recht einfach ist, Computer für *regelmäßiges* Schach zu programmieren, ist es keineswegs trivial, sie *gut* spielen zu lassen. Dazu müssen die Stärken und Schwächen einer Position sehr genau beurteilt und mögliche eigene und gegnerische Züge betrachtet werden. Je besser die (bei menschlichen Spielern z. B. aus Erfahrung gewonnene) Bewertung der Position ist, um so weniger Züge müssen vorausberechnet werden und umgekehrt. Das Hauptproblem bei letzterem ist die unvorstellbare *kombinatorische Explosion*. Bei als Durchschnitt angenommenen 38 möglichen Zügen pro Position wären für sechs Halbzüge schon mehr als drei Milliarden Alternativen zu betrachten. Claude SHANNON schätzte die Zahl der möglichen Spielverläufe auf 10^{120} (diese Zahl überschreitet jedes Vorstellungsvermögen: selbst wenn ein Rechner drei Milliarden Milliarden Positionen pro Sekunde berechnen könnte, würde das ca. 10^{94} Jahre dauern). Auch bei Einsatz superschneller

³Herbert A. SIMON und Allen NEWELL wagten 1957 die Voraussage, daß ein Computer zehn Jahre später Schachweltmeister sein werde. David LEVY, ein schottischer Schachgroßmeister, der auch viel von Computern versteht, wettete 1968 um 1250 Pfund gegen einige prominente KI-Forscher (u. a. John MCCARTHY), daß ihn in den nächsten zehn Jahren kein Schachprogramm schlagen werde, und erneuerte 1978 die Wette für weitere sechs Jahre; 1984 bot er 100 000 Pfund für die modifizierte Wette an, daß jedes Programm durch einen von ihm bestimmten menschlichen Spieler geschlagen wird. KASPAROW war noch Ende 1987 überzeugt, daß ein Computer niemals einem starken Schachspieler überlegen sein werde (*Der Spiegel* 44/1989, S. 284); nun befürchtet er, der letzte menschliche Weltmeister zu sein, und sagt angesichts einer (zutreffenden) „Ansage“ eines Computers, daß „er“ in 76 Zügen gewinnen werde, „Ich habe Gott gesehen“ (*Der Spiegel* 13/1991, S. 236).

Rechner bleibt gar nichts anderes übrig, als die Zahl der zu untersuchenden Kombinationen drastisch einzuschränken, z. B. dadurch, daß man dem Gegner immer den vermeintlich besten Zug unterstellt und andere unberücksichtigt läßt. Egal wie gut die Verfahren zur Begrenzung der untersuchten Kombinationen optimiert wurden, die durchschnittliche Anzahl der in der Vorausschau betrachteten Halbzüge (die sog. Suchtiefe) muß, um beispielsweise im Zeitrahmen von Turnierschach zu bleiben, begrenzt werden, es kann nicht jede Alternative bis zum sicheren Matt zu Ende gerechnet werden. Um nun den besten Zug zu finden, müssen die verschiedenen Positionen bewertet werden. Das geschieht durch eine *Bewertungsfunktion*, die jeder Position eine Zahl zuordnet. Im einfachsten Fall kann das dadurch geschehen, daß nur das „Material“, d. h. die Anzahl und Stärke (z. B. Bauernäquivalente) der Figuren, betrachtet wird. Aber auch weitere Faktoren (Beherrschung des Zentrums, Beweglichkeit der Figuren, offene Linien und deren Beherrschung, Frei- und Doppelbauern . . .) können berücksichtigt werden, indem auch diese Faktoren durch Zahlen bewertet werden und ihnen eine weitere feste Zahl als „Gewicht“ je nach Anteil dieses Faktors an der Gesamtbeurteilung der Position zugeordnet wird. Die Auswahl der Faktoren, ihre Bewertung und ihre Gewichtung durch den Programmierer erfordern viel Erfahrung und Wissen und sind häufig gut gehütete Geheimnisse. Die schematische Bewertung einer Position nach einer fest vorgegebenen Anzahl von Halbzügen birgt offensichtlich ein Risiko: eine vom Gegner großzügig angebotene Dame, die sich erst einige Züge später als „vergiftet“ erweist, kann im Rahmen der Suchtiefe zu einer zu guten Bewertung der Position und damit zu Verlusten führen (Horizont-Effekt). Hier können zusätzliche Algorithmen helfen, durch die in bestimmten Situationen (eindeutig erzwungene Züge (z. B. bei Mattdrohung), un abgeschlossener Figurentausch) selektiv die Suchtiefe erhöht wird. Weiter können für in der Schachliteratur gut untersuchte Standardsituationen (Eröffnung, Endspiel) spezielle Programme und Bibliotheken eingesetzt werden.

Angesichts der geschilderten kombinatorischen Explosion besteht kurz gesagt die Kunst darin, möglichst nur die *sinnvollen* statt aller *möglichen* Züge zu betrachten. Die oben genannten, in die Bewertungsfunktion eingehenden Regeln sind Beispiele für sogenannte *heuristische* Verfahren zur Einschränkung des Suchraumes: sie garantieren — im Gegensatz zu „echten“ Algorithmen — nicht den jeweils *besten* Zug, sollen aber — wie die Anfängern angeratenen Faustregeln — möglichst immer gute Züge liefern (die Verwendung solcher Heuristiken ist typisch für die KI, die Bezeichnung „heuristisch“ ist aber etwas mißverständlich: der Gegensatz zu „algorithmisch“ ist nur eine Frage der Perspektive, auch die heuristischen Verfahren müssen vom Menschen für den Rechner durch Algorithmen verfügbar gemacht werden). Der Zeitgewinn durch solche Verfahren ist beträchtlich, wie beim Schach können häufig Probleme gar nicht anders durch Computer bearbeitet werden; das dabei eingegangene Risiko liegt andererseits klar auf der Hand: sehr ungewöhnliche, „geniale“, erst später voll wirksame Züge können übersehen oder unzutreffend bewertet werden.

Zur Leistungssteigerung von Schachcomputern kann man also zwei Wege gehen bzw. kombinieren: immer größere Suchtiefen durch immer schnellere und mächtigere *hardware* (so wird z. B. diskutiert, ob ein *brute force* Rechner mit einer Suchtiefe von 20 Halbzügen, „der nur auf das Material achtet“, Weltmeister werden kann) oder sehr ausgefeilte Bewertungsfunktionen und Algorithmen (bei kommerziellen Schachcomputern mit bezahlbarer Technik wird darauf viel Mühe verwendet). Das gegenwärtig (1992) stärkste Schachsystem DEEP THOUGHT verfügt über mehrere speziell entworfene Chips zur verteilten Erzeugung und Bewertung von Positionen mit einer Leistung von mehr als einer Million Po-

sitionen pro Sekunde. Die „normale“ durchschnittliche Suchtiefe beträgt zehn Halbzüge. In die Bewertungsfunktion gehen ca. 120 Faktoren ein, deren Gewichte mit Hilfe einer Datenbank mit 900 Meisterpartien durch aufwendige Algorithmen zur linearen Optimierung und zur statistischen Annäherung automatisch bestimmt wurden. Weiter verfügt es über einen *singular extension* Algorithmus mit erweiterter Suchtiefe zur Vermeidung des Horizont-Effektes in erzwungenen Situationen.

Die Maschine berechnet in jeder Phase des Spiels jeweils neu „ihren“ Zug ganz mechanisch mittels fest verdrahteter und programmierter Algorithmen (d. h. die jeweilige Problemlösung ist — als Kondensat der geistigen Arbeit vieler Menschen — implizit vorgegeben), sie hat keinen Plan, keine Strategie, sie kann nicht lernen (das können bisher nur die Programmierer, die dann das Ergebnis *ihres* Lernprozesses z. B. durch Änderung der Wichtigkeitszahlen oder durch neue Algorithmen wieder starr implementieren können)⁴. Man weiß nicht genau, wie Schachexperten Stellungen analysieren und ihre Züge auswählen, aber auf keinen Fall *so*. Untersuchungen (z. B. Unterschiede bei der Rekonstruktion aus dem Gedächtnis zwischen kurz gezeigten „echten“ und zufällig erzeugten Spielstellungen, Analyse der Augenbewegungen beim ersten Betrachten einer Stellung) deuten darauf hin, daß Experten einen ganzheitlichen Blick für die Stärken, Schwächen und Entwicklungsmöglichkeiten einer Position haben und nicht Schritt für Schritt die Zugmöglichkeiten der einzelnen Figuren untersuchen.⁵ Aus ihrer umfangreichen Erfahrung stehen ihnen ohne jede bewußte Suche augenblicklich mehrere Tausend typische Positionsmuster und -strukturen zur Verfügung, denen fast ebenso unmittelbar die aktuelle Stellung zugeordnet wird. Mit diesen Mustern ist in der Regel eine hochwirksame Intuition für den besten Zug verbunden. Ist in bestimmten Situation doch eine genauere Analyse nötig (absolute Spitzenspieler sind in Simultan- oder Blitzpartien nicht sehr viel schlechter), werden meist höchstens die drei erfolgversprechendsten Alternativen über nur vier, fünf Halbzüge bedacht und nur in Ausnahmefällen wird ein einzelner Zug tiefer verfolgt.

Was wäre eigentlich genau bewiesen, wenn sich definitiv herausstellen sollte, daß entweder bestimmte Schachmaschinen alle Menschen schlagen können oder umgekehrt sich einige Menschen als unbesiegbar erweisen? Wäre die „prinzipielle Überlegenheit maschineller Intelligenz“ gezeigt, wäre „die menschliche Ehre gerettet“ oder wären nur in beiden Fällen ehrgeizige Männerphantasien⁶ verwirklicht? Ist Schach ein geeigneter Indikator für eine umfassende, typisch menschliche Intelligenz? Die Tatsache, daß viele als hochintelligent

⁴Ein von Arthur SAMUEL Anfang der 50er Jahre entwickelter Dame-Computer ist eins der ganz wenigen erfolgreichen Beispiele für ein lernendes Programm. Je nach Erfolg oder Mißerfolg bei Anwendung der Bewertungsfunktion wurden die Gewichte automatisch verändert. Bei komplexeren Problemen wie Schach ist aber die Gefahr sehr groß, daß dieses Verfahren schnell „aus dem Ruder“ läuft.

⁵Ulric NEISSER (*Psychologie heute* (1987a), S. 68) zitiert in diesem Zusammenhang die Anekdote vom früheren Schachweltmeister CAPABLANCA, der auf die Frage, wie viele alternative Züge er in einer schwierigen Stellung prüfe, antwortete: „Einen, und zwar den richtigen“. Diese Anekdote ist zu schön, als daß sie nur einem gehören dürfte: Wolfgang COY (1988b, S. 349) schreibt sie Richard RÉTI zu.

⁶Bei den Begründern der KI im engeren Sinne handelt es sich ausschließlich um Gründungs*väter*, und auch heute ist der Frauenanteil in der Informatik recht gering.

KASPAROW hält es für ausgeschlossen, daß jemals eine Frau die Weltmeisterschaft im Schach gegen einen Mann gewinnen kann. KARPOW ist im gleichen Gespräch vorsichtiger. Für ihn hängt es davon ab, wann die Intuition im Schach eine größere Rolle spielt als Rechnen. KASPAROW hält dagegen, daß die für Schach nötige Intuition eine ganz andere sei als „die Intuition der Frauen“; seine eigene Intuition hält er auf der anderen Seite für niemanden auf ein Computerprogramm übertragbar (*Der Spiegel* 40/1990, S. 253). KARPOWS Position wird von Hubert und Stuart DREYFUS gestützt, die einerseits die Intuition als wesentliches Element des Expertentums in allen Fachgebieten ansehen, andererseits den geringen Anteil von Frauen im Spitzenschach damit erklären, daß sich auf Grund eines falschen Bildes über die für Schach nötigen

geltende Menschen recht lausige Schachspieler sind, daß auf der anderen Seite viele Spitzenspieler hier sehr einseitig begabt und im alltäglichen Leben gelinde gesagt wunderlich sind, spricht eher dagegen. Genauerer ließe sich allerdings erst sagen, wenn detaillierter untersucht ist, welche geistigen Prozesse und Faktoren bei Schachspielern und bei anderen Beispielen intelligenten Verhaltens eine Rolle spielen; davon sind wir weit entfernt. Daß Maschinen wie DEEP THOUGHT Spitzenspielern Mühe machen, beweist nur eins: Schach kann auch durch stures Rechnen, durch rein mechanische Symbolmanipulation — etwas, das von unserem Alltagsverständnis von Intelligenz weit entfernt ist — erfolgreich gespielt werden, wenn es nur schnell genug geschieht und in die Mechanismen viel menschliche Intelligenz und geistige Arbeit investiert wurde. Das sagt über die künftigen Intelligenzfähigkeiten von Maschinen wenig aus, es sei denn, man hängt dem *Glauben* an, daß auch menschliches Denken *genau so* abläuft (alternativ kann man die mechanische Symbolmanipulation als Denken bzw. Intelligenz *definieren* und offen lassen, welche Prozesse beim Menschen darüber hinaus stattfinden und welchen Namen man ihnen geben soll).

1.2 Themenkreise der KI

Wenn Maschinen wie DEEP THOUGHT immer billiger und für jeden verfügbar werden, könnte das zur Folge haben, daß Schach als intellektuelle Herausforderung für den Menschen jeden Wert verliert. Einige wenige würden sich vielleicht darauf spezialisieren, durch genaues Studium der verwendeten Algorithmen Wege zu finden, die Maschine „auszutricksen“ (so wie wir unseren Schülern gerne vorführen, daß Taschenrechner bei geschickter Ausnutzung von Rundungsfehlern völlig falsche Ergebnisse liefern). Sie könnten damit bei „Wetten daß“ auftreten, neben Leuten, die auswendig zu jeder Telefonnummer aus Wanne-Eickel den Namen nennen oder die Farbe von Buntstiften mit der Zunge erkennen können (so wie auch die früher im Varieté auftretenden „Rechenkünstler“ nicht so sehr als hochintelligent, wohl eher als *freaks* galten). Wir sind damit im Bereich der Spekulation und spinnen den Faden auch gleich weiter. Welche liebgewonnenen oder lästigen intellektuellen Tätigkeiten lassen sich noch durch spezialisierte Computerprogramme ersetzen? Wie wird das unsere Einstellung dazu und zu uns selbst, unser Zusammenleben verändern?

Richtig spannend werden diese Fragen aber erst, wenn man die Ebene der Spezialprogramme und Werkzeuge für genau begrenzte Aufgaben verläßt und sie auf eine umfassende, den Menschen in allen Bereichen vergleichbare maschinelle Intelligenz bezieht (das war die ursprüngliche, von TURING aufgeworfene Frage). Es wird sich nämlich vermutlich herausstellen, daß auf vielen Gebieten die Leistungsfähigkeit von Computern recht bescheiden bleibt, wenn es nicht gelingt, sie auch mit Alltagsverstand, allgemeinem Wissen über die Welt und einer menschenähnlichen Flexibilität auszustatten. Unabhängig davon, ob das möglich ist (wenn, dann wird es noch sehr lange dauern), kann man das wollen? Sind „sie“ dann *Personen*? Werden „sie“ uns beherrschen?

Für den Hersteller oder Konstrukteur kommerzieller Computer — sei es nun für Schach oder für „seriösere“ Anwendungen in Wirtschaft und Wissenschaft — stellt sich das Pro-

Fähigkeiten hauptsächlich Frauen mit ausgeprägter Entwicklung der logisch-analytischen Veranlagungen vom Schach angezogen fühlen. Diese bleiben dann — ebenso wie die allermeisten Männer — auf der Stufe der Kompetenz (zwei Stufen unter dem Expertentum) stecken (1987, S. 48). Vielleicht ist das auch eine Erklärung für die Informatik.

blem aus einer anderen Perspektive. Der Sinn dieser Produkte ist es ja gerade, daß zur Lösung genau bestimmter Aufgaben allzeit verfügbare, absolut zuverlässige „Rechenknechte“ zur Verfügung stehen. Ein „mensenähnlicher“, eventuell mit Intentionen, Affekten, Emotionen ausgestatteter Computer (vielleicht ist ja ein Computer erst dann wirklich unschlagbar, wenn „er“ unbedingt gewinnen *will* und den Gegner *bluffen* kann) wäre für Käufer und Verkäufer eine echte Horrorvorstellung: man stelle sich als Reaktion auf den Startbefehl die Reaktion „Keine Lust!“ oder „Wieviel bekomme ich dafür?“ vor. Auch weniger spekulativ eröffnet sich hier mittelfristig für die Entwickler von KI-Techniken ein Dilemma: wie läßt sich flexible, kreative „Intelligenz“ mit Berechenbarkeit und garantierter Leistungsfähigkeit verbinden? Im kommerziellen Bereich zählt nur der Leistungsaspekt, der Mensch ist dabei nur bedingt ein Vorbild.

Eine ganz andere Sicht der Dinge ergibt sich, wenn gerade die menschlichen Denkprozesse und -leistungen zum Gegenstand der Untersuchung werden. Von Anfang an gehörte es zum Selbstverständnis der akademischen KI, nicht nur eine dem Menschen unter dem Leistungsaspekt vergleichbare maschinelle Intelligenz zu schaffen, sondern — teils in Konkurrenz zu, teils in Zusammenarbeit mit Philosophen, Psychologen, Linguisten und Biologen — das menschliche Denken selbst zu untersuchen, Modelle zu bilden und in Programme zu übersetzen. Ziel war und ist es, als experimentelle Überprüfung der Modelle menschliche Intelligenz mit Maschinen zu simulieren oder nachzubilden.

Es lassen sich also grob drei Themenkreise, Motive, Erkenntnisinteressen bei der Beschäftigung mit und Diskussion über KI unterscheiden:

- KI als Mythos,
- KI als Technik,
- KI als Kognitionswissenschaft.

Der Spekulation, dem Fabulieren, dem „Was wäre, wenn . . .“ steht als nüchterne Antithese die Arbeit an verwertbaren Produkten gegenüber. Und — mit Überschneidungen — als Drittes die Maschine als Spiegel und Bild des Menschen.

2 KI als Mythos

Neben den bekannten Schöpfungsmythen gibt es viele Beispiele für *Schöpfermythen*, Geschichten, Fabeln und Legenden über mehr oder weniger erfolgreiche Versuche des Menschen (nicht ganz zufällig fast nur Männer), auf andere als die vertraute Art ein Wesen — und zwar nach nach *seinem* Bilde — zu schaffen. Pandora, Golem und *homunculus*, Pygmalion, Faust und Frankenstein seien hier nur stellvertretend für viele als legendäre Gestalten des Geschöpfes und Schöpfers genannt. Sie stehen für den Wunsch nach willfährigen Sklaven, nach nützlichen Dienern, nach Gefährten für den Misanthropen, nach Erkenntnis und Macht; aber auch für die Unabsehbarkeit und Unbeherrschbarkeit der Folgen, für die Bestrafung menschlicher Hybris. Sie sind damit auch Symbol für die gerade in unserer Zeit immer deutlicher werdende Ambivalenz von Wissenschaft und Technik, für die Bedrohung der Menschheit gerade durch die Intention ihrer Wohlfahrt, kurz für Wahrheit und Tod.

In den jeweiligen Herstellungsverfahren für die künstlichen Wesen spiegelt sich nicht nur der Stand von Wissenschaft und Technik (Metallverarbeitung, Mechanik, Hydraulik, Chemie, Elektrizität . . .), noch interessanter sind die metaphysischen Aspekte, insbesondere die Hinweise auf das Selbstverständnis der Menschen, auf ihre Stellung zu Gott und Natur. Während anfangs noch die Hilfe von Göttern, von schwarzer oder weißer Magie nötig war, kann später darauf verzichtet werden. Es tritt das autonome Subjekt der Neuzeit auf, das sich sein Gegenüber, die materielle Natur, dienstbar macht, indem es — BACON folgend — ihre Gesetze erforscht und sich ihnen (und nur ihnen) unterwirft.⁷ Erst mit der Entdeckung, daß sich „Information“ nicht auf „Materie“ reduzieren läßt, mit der Entdeckung eines zweiten „Grundstoffes“, verschiebt sich das Thema vom „lebenden“ Kunstwesen zur „denkenden“ Maschine. Nun erst kann der alte Traum sich erfüllen: war der Mensch vorher, bei der Verkürzung der Evolution vom Anorganischen zum Organischen im Labor, nur Moderator der unabhängig vom Menschen ablaufenden Naturgesetze, besteht nun, bei der postulierten Unabhängigkeit der Intelligenz von ihrer materiellen Realisierung, erstmals die Chance, etwas ganz *Eigenes* herzustellen, *wirklich* Schöpfer zu sein. Die Mythen der Computerkultur deuten — nach Animismus und zweiwertiger Trennung von Subjekt und Objekt — ein neues, nachmechanistisches Weltbild an.

Technischer Ausdruck eines solchen „dreiwertigen“ (Materie, „objektive“ Information, menschliche Subjektivität) Weltbildes ist der *robot*, die nach dem Bild des Menschen entworfene mechanische und zusätzlich *kybernetische* Maschine. Auch er gehört zum Mythos, sein Namensgeber Karel ČAPEK und sein Prophet Isaac ASIMOV führten ihn in die Literatur ein, bevor es den Begriff und die Wissenschaft der Kybernetik und „Elektroengehirne“ gab. Der Roboter ist uns aus Romanen und Filmen der *Science Fiction* so vertraut, daß man sich manchmal mühsam in Erinnerung rufen muß, daß solche mit Sinnen und Denkfähigkeit ausgestatteten, sich autonom bewegenden Maschinen noch nicht einmal im Ansatz existieren (und vielleicht nie existieren werden); und sicher bestimmen R2D2 und HAL das öffentliche Bewußtsein über KI mehr als irgendwelche realen Expertensysteme. Hier werden auch die alten Fragen neu gestellt: Welche Komplikationen ergeben sich aus dem Zielkonflikt zwischen braver Nützlichkeit und relativer Autonomie? Wenn wir erfolgreich Maschinen konstruieren, die uns gleichwertig oder gar überlegen sind, wie menschenähnlich werden sie sein? Werden sie Gefühle, Persönlichkeit und eigenen Willen entwickeln, Rechte beanspruchen, die Macht übernehmen, uns vernichten⁸ wollen?

Während man der phantasievollen Science Fiction — als bildhaften, vorbegrifflichen Ausdruck unbewußter Wünsche und Ängste — wie auch schon den traditionellen Mythen sicher viele Anregungen, Einsichten und Unterhaltung abgewinnen kann, gilt das für eine andere — als Mythos im schlechten Sinne auftretende — Literaturgattung höchstens, wenn man sie gegen die Absichten der Autoren liest: *die als Sachbuch verkleidete Science Fiction*. Zu deren Zutaten gehören erstens die zeitgenössischen Vermutungen aus den Bereichen

⁷Ein Prototyp dafür ist Dr. Victor Frankenstein. Sein ganzer wissenschaftlicher Ehrgeiz gilt der Entschlüsselung des Geheimnisses des *Lebens*, um — also in bester Absicht — künftiges Leid und Schmerz zu vermindern. Er brauchte keinen Pakt mit dem Teufel, sein — für ihn äußerst enttäuschender — Erfolg beruhte auf der Erforschung und Organisation von Naturkräften (u. a. Galvanismus als Essenz des Lebendigen). Insofern gehört er eher in die Ahnenreihe der Biotechnologie als in die der KI.

⁸Um das zu verhindern, sind bei ASIMOV die „drei Grundregeln der Robotik“ unlöschar in die Positroengehirne einprogrammiert — eine festverdrahtete Moral. Wahrscheinlich wird späteren, mit dem Scheitern von Sicherheitsvorkehrungen noch besser vertrauten Lesern diese sehr ingenieurmäßig-pragmatische Lösung des Golem-Frankenstein-Dilemmas auch nicht plausibler erscheinen als das Auswischen eines Buchstabens auf der Stirn aus Lehm durch den Rabbi Löw.

Evolution, Gehirnforschung, Molekularbiologie; weiter wird der exponentielle Anstieg der Rechnerleistung (und die Miniaturisierung sowie die Verkaufspreise) betrachtet, fortgeschrieben und mit einem geschätzten Wert für das menschliche Gehirn verglichen (ausgesprochen beeindruckend ist das, wenn man bei der graphischen Darstellung die Leistungsachse logarithmisch skaliert; man erhält dann eine Gerade, die sich besonders suggestiv in die Zukunft fortsetzen läßt). Auf diese Weise kommt man leicht zu dem Ergebnis, daß es schon in naher Zukunft persönliche Computer mit menschlicher Leistungsfähigkeit geben wird. Aber dabei bleibt es selbstverständlich nicht: als nächste Stufe der Evolution (wohl-gemerkt: des Kosmos) versprechen die Autoren — von der Verlagswerbung regelmäßig als intime Kenner der KI und seriöse Wissenschaftler angepriesen — uns weit überlegene ultra- bzw. hyper-intelligente Roboter oder auch direkt mit dem Hirn verbundene Biochips; und — so die Autoren — das ist auch gut so, denn mit der immer komplexer werdenden Welt werden wir alleine ja doch nicht fertig.

Eine weitere mythenbildende Quelle ist die *Propaganda*. Forschungsinstitute brauchen immer Geld,⁹ und so müssen die Öffentlichkeit und die staatlichen Stellen davon überzeugt werden, daß erstens die eigene Forschungsarbeit sehr erfolgreich ist und man genau weiß, wie man die großen Probleme lösen kann, wenn man nur — zweitens — dafür die nötigen Mittel bekommt, andernfalls würde — drittens — gegenüber anderen Bundesländern, Staaten, Kontinenten ein nicht mehr einzuholender Rückstand mit unabsehbaren wirtschaftlichen Einbußen entstehen. Zur Propaganda gehört die Presse- und Medienarbeit mit einer tendenziellen Übertreibung des Erreichten und demnächst zu Erwartenden. So entsteht in der Öffentlichkeit ein zu positives Bild vom Stand der Technik in der KI, Computersysteme werden für weit „intelligenter“ gehalten als sie sind.¹⁰ Die Journalisten verstärken diesen Trend noch dadurch, daß sie — sei es aus mangelnder Fachkenntnis, sei es nach dem Motto: nur „Briefträger beißt Hund“ ist eine Nachricht — ihrerseits die erreichten Erfolge und die künftigen Entwicklungen übertreiben und das wahre Leistungsvermögen höchstens im Kleingedruckten erwähnen.¹¹ Für die KI-Forscher ergibt sich daraus die Notwendigkeit, mit immer sensationelleren Meldungen an die Öffentlichkeit zu treten, um überhaupt Aufmerksamkeit zu erregen. So entsteht — kybernetisch gesprochen — ein Aufschaukeln im positiven Rückkopplungskreis; eine realistische Einschätzung der KI-Technik wird für die Öffentlichkeit immer schwieriger.

⁹Nach Pamela MCCORDUCK wurde der erste Dame spielende Computer (von Arthur SAMUEL) ausdrücklich für diesen Zweck gebaut (1987, S. 147 f.). Eine weitere schöne Geschichte: in den frühen fünfziger Jahren erregte auf einer Handelsmesse in Berlin ein NIM spielender britischer Computer u. a. dadurch großes Aufsehen, daß „er“ Ludwig ERHARD dreimal hintereinander schlug (TURING (1987c), S. 118).

¹⁰Den großen Herstellern von Computern für den Büro- und Produktionsbereich ist ein solches Image eher unangenehm. Computer sollen hier eine genau definierte und berechenbare Leistung bringen, die Erwartung oder Befürchtung einer ihnen eigenen Intelligenz oder Kreativität ist eher verkaufshemmend. MCCORDUCK beschreibt sehr anschaulich das Bemühen von IBM, die Leistung der auf ihren Rechnern entwickelten Dame- und Schachprogramme ihren Kunden gegenüber zu verharmlosen bzw. realistisch darzustellen (1987, S. 149, 156 f.).

¹¹Nur ein Beispiel von vielen: unter der Überschrift „Neurocomputer liest Handschrift nahezu fehlerfrei“ — ich bin schwer beeindruckt, lese ich doch erstens täglich mit viel Mühe Handgeschriebenes und weiß zweitens, um wieviel mühsamer es noch ist, auch nur Ansätze dieser Fähigkeit einem Computer beizubringen — wird erst einmal die gigantische Überlegenheit einer neuentwickelten 16-Prozessor-Maschine gepriesen. Gegen Ende des Artikels wird dann beiläufig erwähnt, daß diese Maschine in der Lage ist, mit einer Fehlerquote unter 0,1 % handgeschriebene *Ziffern* zu erkennen (*Die Welt*, 28. März 1989, S. 21).

3 KI als Technik

Von alters her hat der Mensch Werkzeuge, Maschinen und Verfahren ersonnen, mit deren Hilfe menschliche Tätigkeiten schneller, präziser, ohne Ermüdung, automatisch, auch unter ungünstigen Bedingungen, billiger usw. ausgeführt werden können (nach GEHLEN ist diese planmäßige Herstellung von Werkzeugen zum späteren Gebrauch gerade das, was den Menschen zum Menschen macht). Waren es früher nur technische Hilfsmittel zur Verbesserung und Erweiterung der mit den *Gliedmaßen* verrichteten Arbeit (Bewegung, Heben, Materialbearbeitung . . .), so entstanden spätestens mit den ersten mechanischen Rechenmaschinen auch Werkzeuge für die Arbeit mit dem *Gehirn*. Der programmierbare Universalcomputer ist also keineswegs das erste „Denkzeug“, dennoch handelt es sich bei ihm um einen völlig neuen Typ von Maschine. Diese „zweite“¹² Maschine wandelt nicht mehr (in erster Linie) Kraft, Energie oder Stoff um, sondern *Information*. Während es sich bei den traditionellen Maschinen um die materielle Realisierung je eines zuvor erdachten und beschriebenen Verfahrens handelt, ist der programmierbare Digitalcomputer nur materieller Träger beliebig vieler als Programm geschriebener Verfahren; die formale Darstellung des Verfahrens selbst bestimmt den Ablauf, die *Software* ist nun die „eigentliche“ Maschine.

Im Bereich der Technik zählt beim Nachbau natürlicher Prozesse nur die *Leistung*, nicht die *analoge Funktion*: Räder sind zur Fortbewegung meist besser geeignet als künstliche Beine, ein Hubschrauber imitiert nicht den Vogelflug. Entsprechend interessieren sich Ingenieure bei der Entwicklung und Produktion von KI-Systemen für den tatsächlichen Ablauf menschlicher Denkprozesse und intelligenter Handlungen nur insofern, als daß sie daraus Anregungen für eine eigene Umsetzung gewinnen können — ihr Ziel ist nicht der technische Nachbau des Gehirns. Dabei ist — wie schon erwähnt — die Grenze zwischen konventioneller EDV und KI im engeren Sinne nur schwer zu ziehen.¹³ Versuchsweise kann man sagen, daß es bei der KI um komplexere Wahrnehmungs- und Verstehensleistungen statt bloßen Rechnens und Datenabgleichs, um Heuristiken anstelle streng algorithmischer Lösungen, um die Darstellung von Wissen und die Verarbeitung von komplexeren Symbolen statt alphanumerischer Daten geht. Aber eine solche Charakterisierung ist nicht ganz befriedigend, es bleibt das Problem der angemessenen Beschreibungsebene: auch bei KI-Programmen werden „letztlich“ nach festen Algorithmen Dualzahlen verrechnet. Überhaupt erscheint die Arbeit erfolgreicher KI-Programme (nicht die der Programmierer!) bei näherer Analyse als erstaunlich simpel, es fällt schwer, die „Intelligenz“ im umgangssprachlichen Sinne zu entdecken (daher auch die spöttische Definition „If it works it’s no AI!“).¹⁴

¹²Vgl. den von Gotthard GÜNTHER (1963c) gewählten Aufsatztitel.

¹³„Heute sind zwei völlig verschiedene Definitionen der KI allgemein im Gebrauch:

KI-1: Die Verwendung von Computern zur Lösung von Problemen, die bisher nur durch Anwendung der menschlichen Intelligenz zu lösen waren.

KI-2: Die Verwendung einer bestimmten Reihe von Programmiertechniken, die als heuristische bzw. regelbezogene Programmierung bezeichnet werden. Bei diesem Ansatz werden menschliche Experten einer Untersuchung unterzogen, um festzustellen, welche heuristische Methoden bzw. Faustregeln sie bei der Problemlösung anwenden. [...] Diese Regeln werden dann verschlüsselt als Eingaben für ein Programm verwendet, das sich demgemäß verhalten soll. Mit anderen Worten, das Programm soll ein Programm so lösen, wie Menschen es zu tun scheinen. Bemerkenswert ist, daß KI in der ersten Definition als eine Reihe von Problemen angesehen wird, während KI in der zweiten als eine Reihe von Techniken betrachtet wird.“ (David L. PARNAS (1986), S. 63f.) Zur KI-2 mehr im Abschnitt 3.3.

¹⁴Dazu noch einmal D. L. PARNAS: „Die erste Definition hat eine gleitende Bedeutung. Im Mittelalter dachte man, die Arithmetik erfordere Intelligenz. Heute haben wir erkannt, daß es sich um eine mechanische

Im Bereich der Technik und der kommerziellen Anwendung ist es deshalb jenseits aller Propaganda üblich geworden, für die Programme gar keine allgemeine, mit dem Menschen vergleichbare Intelligenz zu beanspruchen; in diesem Zusammenhang wird von einigen gerne darauf verwiesen, daß man mit der deutschen Übersetzung „künstliche Intelligenz“ nicht ganz glücklich sei, da sie mehr verspreche als das amerikanische Original („intelligence“ auch im Sinne von „Information, Meldung“ so wie das „I“ in „CIA“).

3.1 Promotor Militär

Man muß nicht HERAKLIT bemühen, um die Bedeutung des Militärs für die Entwicklung von KI-Systemen richtig einzuschätzen, ein Blick in die Geschichte der Datenverarbeitung und in die Tageszeitungen genügt. Die Rolle der ersten Großcomputer COLOSSUS und ENIAC sowie der ersten Von-Neumann-Maschinen bei der Dechiffrierung, der Erstellung von ballistischen Zieltabellen und der Entwicklung der Wasserstoffbombe ist weitgehend bekannt. Weniger bekannt ist vielleicht der Ursprung von *Operations-Research* aus der Auswertung von Radardaten und der Simulationsprogramme aus der Planung von Invasionen und Bombereinsätzen. Bis heute werden in den USA die meisten Neuerungen in der Informatik (superschnelle Parallelrechner, neuronale Netze, höchstintegrierte Chips, Programmiersprachen usw.) vom Militär nachgefragt und gefördert; die Computerwissenschaften an den nordamerikanischen Universitäten erhalten mehr als 70 % ihrer Mittel vom Militär.¹⁵

1983 wurde — parallel zum SDI-Programm — die „Strategic Computing Initiative“ (SCI) beschlossen. Dieses Forschungsprogramm — auf zehn Jahre angelegt, in den ersten sechs Jahren mit ca. einer Milliarde Dollar ausgestattet — hat zum Ziel, superschnelle Rechner und sprach- und bildverstehende Software mit entsprechenden Mensch-Maschine-Schnittstellen zu entwickeln. Die Einsatzmöglichkeiten für solche — im Kernbereich der KI-Technik¹⁶ liegenden — Produkte sind vielfältig: automatische Auswertung von Satelliten- und Funkaufklärung, automatische Kartierung durch unbemannte Fahrzeuge, automatische Zielerkennung, ein automatischer Co-Pilot, der nicht nur rechtzeitig eine angreifende Rakete erkennt, sondern auch statt des infolge der Beschleunigung beim Ausweichmanöver ohnmächtigen Piloten die Steuerung übernimmt, Kriegsmanagementsysteme etc. Die *Fehlfunktion* solcher Systeme wurde einer breiten Öffentlichkeit spätestens am 3. Juli 1988 bekannt, als vom Kreuzer „Vincennes“ in der Golfregion ein ziviler iranischer Airbus abgeschossen wurde; die *planmäßige* Funktion wurde — unter strenger militärischer Zen-

Tätigkeit handelt. Es gibt auch heute Probleme, auf die die Definition KI-1 anwendbar wäre, aber sobald wir begriffen haben, wie das Programm funktioniert, und das Problem richtig verstehen, werden wir es nicht mehr als KI betrachten.“ (a. a. O.)

¹⁵Nach EURICH (1991, S. 140).

¹⁶Die im Projektvorhaben vorweggenommene Beschreibung des fertigen Resultates ist eine der präzise-
sten Formulierungen der Zielvorstellungen für das gesamte Gebiet der KI, die je vorgenommen wurde: „Im
Gegensatz zu bisherigen Computern wird die neue Generation menschenähnliche, ‚intelligente‘ Fähigkeiten
zum Planen und Denken aufweisen. Die Computer werden ebenfalls Fähigkeiten besitzen, die durch visuelle
Wahrnehmung und Sprache direkte natürliche Interaktionen mit ihren Benutzern und ihrer Umgebung
ermöglichen. Bei Benutzung dieser Technologien werden Maschinen komplexe Aufgaben mit nur geringer
menschlicher Intervention oder sogar vollständig autonom ausführen.“ (zitiert nach KEIL-SLAWIK (1990),
S. 88). Das ist wohl zu schlimm, um wahr zu werden, aber auf jeden Fall ein illustres Beispiel für das
Aufschaukeln der informationstechnischen Hybris, für den sich selbstverstärkenden Machbarkeitswahn im
Dreieck Militär, Informatik, kognitive Psychologie.

sur und generalstabsmäßiger (Des-) Information der Öffentlichkeit¹⁷ — Anfang des Jahres 1991 in derselben Region erprobt.

Die militärische Geheimhaltung macht es häufig schwer, den Stand der Technik richtig einzuschätzen. Auf der anderen Seite lassen sich die im zivilen Bereich gewonnenen Lösungen ohne weiteres auf den militärischen übertragen (*Dual Use*). So ist es im Bereich der KI für einen Forscher so gut wie unmöglich, den militärischen (Haupt-) Nutzen seiner Arbeit auszuschließen, ein Umstand auf den insbesondere Joseph WEIZENBAUM immer wieder hingewiesen hat.¹⁸ Das *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), an dem er selbst früher arbeitete, eines der renommiertesten KI-Institute der Welt, duldet keine geheime Forschung auf dem Gebiet der Universität. Allerdings ist beispielsweise im dort angesiedelten *Media Lab*, einer „Zukunftswerkstatt“ für „intelligente“ Kommunikation und neue Medien, die *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) des Pentagon einer der Hauptgeldgeber in den Bereichen *Speech*, *Spatial Imaging* und *Human-Machine Interface*.¹⁹

3.2 Anwendungs- und Forschungsgebiete

Die anwendungsorientierte KI ist eine bunte Landschaft teils eng, teils lose verbundener Teilgebiete mit unscharfen Grenzen zur konventionellen Datenverarbeitung (und die folgende Einteilung ist wie jede andere problematisch: die Teilgebiete überschneiden sich und es entstehen immer wieder neue). Beim **Sprachverstehen** geht es um die *inhaltliche* Analyse von Sätzen und Texten, z. B. Anfragen und Anweisungen von Benutzern an Computersysteme. Ein solcher „Dialog“ ist heute in eingeschränkten, genau umrissenen Themenbereichen (Datenbanken, Fahrplanauskunft etc.) möglich, wenn die Sätze nicht zu kompliziert oder zu unvollständig sind; dann werden auch einige Bezüge zu früheren Sätzen (Pronomen usw.) verstanden. Ein allgemeines, beliebige Themen des Alltags betreffendes Sprachverständnis ist noch nicht einmal in Sicht, geschweige denn in Ansätzen realisiert. Ganz analoge Einschränkungen gelten damit auch für die **automatische Übersetzung**. Eine brauchbare Übersetzung mit relativ wenigen Fehlern ist zur Zeit nur für eng umgrenz-

¹⁷Theodore A. POSTOL vom MIT fand heraus, daß das Raketenabwehrsystem Patriot „bei der Abwehr von irakischen Scud-Raketen bei weitem nicht so erfolgreich war, wie die Medien in der Kriegszeit den Eindruck erweckten. Die Zahl der in Israel durch Scud-Raketen zerstörten Wohnungen war in der Zeit des Einsatzes von Patriot dreimal so hoch wie in der sonstigen Zeit des Krieges, obwohl es in beiden Zeitabschnitten gleich viele Scud-Angriffe gab. Eine wichtige Ursache dieser falschen Einschätzungen war, daß die Bedienungsmannschaften Bilder auf den Radarschirmen wahrnahmen, die sie zu der Annahme verführten, sie seien gegen Scuds erfolgreich gewesen. Dagegen scheint es tatsächlich so gewesen zu sein, daß die Software in den Patriots immer dann einen ‚Treffer‘ anzeigte, wenn der Raketenkopf das vorher anvisierte Ziel erreicht hatte, unabhängig davon, ob dabei eine Scud getroffen wurde.“ (*Wechselwirkung* Nr. 57, Oktober 1992, S. 20)

¹⁸Z. B. hat er dargelegt, daß auch die Programmierung eines interaktiven, natürliche Sprache verstehenden Fantasy-Spiels für Kinder sich nicht von der eines elektronischen „Kopiloten“ zur Feinderkennung und -bekämpfung im Kampfflugzeug unterscheidet (1991, S. 53 f.).

¹⁹Vgl. S. BRAND (1990, S. 32 f.). Für die Bundesrepublik Deutschland gilt: „Untrennbar verwoben sind insbesondere Forschungs- und Verteidigungsministerium. 1990 stellte die Bundesregierung für Forschung und Entwicklung der Elektronik, Informations- und Kommunikationstechnik knapp 1,8 Milliarden DM zur Verfügung. Davon entfielen eine Milliarde DM auf das Verteidigungs- und der Rest auf das Forschungsministerium, wobei dort wiederum ein Großteil für Fördermaßnahmen mit Dual-Use-Charakter bestimmt war“ (EURICH (1991), S. 139). Dazu kommen interessierte Gelder aus der Wirtschaft. So hat beispielsweise die Stiftung der SEL, Hersteller u. a. von Sprachcodierungs- und Spracherkennungssystemen für den militärischen und zivilen Bereich, eine Reihe von Projekten zur Kommunikationsforschung und KI finanziert.

te Gebiete mit geringem, möglichst eindeutigem Wortschatz (z. B. technische Handbücher) in wenigen Sprachrichtungen erreichbar; allgemeine, gar literarische Texte liegen — bestenfalls — in weiter Ferne (mehr dazu im Unterrichtsmodul 2). Während Sprachverstehen bei formatierten und codierten Texten einsetzt, beschäftigt sich **Spracherkennung** mit der Umwandlung gesprochener oder (hand-) geschriebener Sprache in diese Form. Das Problem ist dabei das Verwischen der Grenzen zwischen einzelnen Buchstaben und Wörtern und die noch größere Mehrdeutigkeit bei gesprochener Sprache. Relative Erfolge gibt es bei speziell angepaßten Programmen für *einen* trainierten Sprecher, bei beliebigen Sprechern scheint ein Wortschatz von ca. tausend Worten seit Jahren eine kaum zu überwindende Grenze zu sein; das schon oft versprochene automatische Diktiergerät, der sogenannte „Sprechschreiber“ ist nicht in Sicht.²⁰ Ebenso ist das Erkennen von Handschriften weitgehend ungelöst. Die Probleme von Sprachverstehen und Spracherkennung hängen eng miteinander zusammen: einerseits ist im praktischen Gebrauch ein sinnvoller „Dialog“ mit einem Computersystem erst möglich, wenn man von der lästigen Tastatur befreit ist, andererseits sind bessere Erfolge bei der Spracherkennung (vor allen unter akustisch schwierigen Bedingungen, z. B. im Cockpit eines Flugzeuges) erst zu erwarten, wenn — wie bei uns Menschen — Mehrdeutigkeiten und Unvollständigkeiten durch inhaltliches Verstehen von Kontexten und dadurch bestehende Erwartungen ausgeglichen werden.

Über bloße Bildverarbeitung (Kantenglättung, Kontrastverstärkung etc.) und Mustererkennung (z. B. Buchstaben, Spektrallinien) hinaus zielt **Bildverstehen** auf die inhaltliche Analyse von Bildern und Szenen; also das, was wir ständig machen, ohne uns dessen besonders bewußt zu werden: das Foto in der Illustrierten zeigt einen von der Ölpest bedrohten Vogel, das Bild an der Museumswand ist eine Meerlandschaft und könnte vom Stil her ein TURNER sein, beim Blick durch die Windschutzscheibe erkennen wir am Rand ein spielendes Kind, das auf die Straße laufen könnte, bei der Stummfilmszene handelt es sich um eine wüste Prügelei, die durch einen Streit ausgelöst wurde. Nun sollen Computer nicht an unserer Statt ins Kino gehen, aber der Bedarf an automatisierten Verfahren ähnlicher Komplexitätsstufe ist groß. Spionage- und andere Satelliten produzieren laufend weit mehr Bilder, als die befugten Menschen auswerten können, und dennoch soll möglichst nicht übersehen werden, wenn statt der Mährescher eine Panzerformation über die Felder fährt. In allen Bereichen der Sicherheitsüberwachung sitzen Tausende von

²⁰Laut *Frankfurter Rundschau* vom 12. August 1992 kann das von IBM entwickelte Spracherkennungssystem *Tangora* (mit einem Wortschatz von 16 000 Wörtern) im speziellen Einsatzgebiet des Diktats von Röntgen-Diagnosen ca. 94 % eines gesprochenen Textes nach einigen Sekunden Rechenzeit richtig erkennen (d. h. etwa jedes 15. Wort muß korrigiert werden), wenn es vorher durch ein Trainingsprogramm aus 80 Sätzen mit rund 600 Wörtern (und nach einer Stunde Rechenzeit) auf die Aussprachenuancen der jeweiligen Sprecher geeicht wurde (einer dieser Trainingssätze ist der schöne, aber ein wenig ehrenrührige Satz „Abends bestellt der Gourmand Lafontaine beim Garçon Fondue und Entrecôte“).

Bei der Übersetzung gesprochener Sprache sind die Brötchen etwas kleiner: die Carnegie-Mellon-Universität in Pittsburgh (USA), die Universität Karlsruhe, das Advanced Telecommunications Research Institute in Kyoto (Japan) und das Siemens-Forschungszentrum in München arbeiten zusammen an einem Telefon-Dolmetscher. „Das Ziel der ersten Projektphase ist ein Telefonsystem mit elektronischem Simultandolmetscher und einem Wortschatz von rund 500 Wörtern. Für zwölf kurze Dialoge werden zunächst Frage-Antwort-Sätze entwickelt, die der Computer innerhalb weniger Sekunden in die jeweilige Landessprache übersetzen soll“ (FR v. 29. 8. 92). Mit 15 Millionen Mark jährlich wird vom Bundesforschungsministerium ein Projekt von Siemens (Koordinator), IBM und den Universitäten Berlin, Düsseldorf, Hamburg, Karlsruhe und Stuttgart gefördert, dessen Ziel es ist, bis zum Jahr 2000 ein tragbares Dolmetschgerät *Verbmobil* für gesprochene Sprache (zunächst mit der einheitlichen gesprochenen Ausgabesprache Englisch) zur besseren Verständigung zu entwickeln, „wenn sich beispielsweise ein Deutscher und ein Japaner“ unterhalten (FR v. 4. 1. 92). Wir sind gespannt!

Menschen vor Monitoren, deren ganze Zeit und Aufmerksamkeit dafür benötigt wird, die relativ seltenen Abweichungen vom Normalfall nicht zu verpassen. Auch das Bildverstehen hat sich als sehr viel schwieriger erwiesen als von den meisten Fachleuten erwartet. Die synthetisierenden (unvollständige und unscharfe Informationen werden hinreichend ergänzt) und abstrahierenden (trotz unterschiedlicher Erscheinung wird etwas als gleich oder ähnlich erkannt) Leistungen unserer Wahrnehmung sind enorm. Bei Computersystemen macht schon die korrekte Identifizierung von Gegenständen — trotz verdeckter Kanten, Schatten, Reflexionen, beleuchtungsabhängiger Farben, wechselnder Perspektiven und Entfernungen — große Schwierigkeiten, von der *Bedeutung* dieser Gegenstände ganz zu schweigen (wir erkennen einen unscharfen, leicht deformierten Kreis nicht nur sofort als Fußball, wir wissen dann auch sofort, warum sich die Menschen drumherum so seltsam benehmen — und umgekehrt). Bei der Analyse von bewegten Bildern in Echtzeit tritt als zusätzliches Problem noch die ungeheuer große Datenmenge auf. Relative Erfolge gibt es nur bei Bildern mit wenigen möglichen Gegenständen unter künstlicher, gezielt gewählter Beleuchtung (z. B. Qualitätskontrolle) und bei Bildern von Szenen unter Standardbeleuchtung, die auch uns nur zweidimensional zugänglich sind (z. B. Luftbildaufnahmen, Computer-Tomogramme, Zellschnitte). Bildverstehen unter nicht eingeschränkten, natürlichen Umständen wird selbst nach Einschätzung optimistischer Realisten auf Jahrzehnte nicht möglich sein.

Die **Robotik** ist das Teilgebiet der KI, das den durch Science-fiction-Romane und -Filme entstandenen Erwartungen am meisten entspricht. Allgemeiner gesprochen beschäftigt es sich mit der Entwicklung mobiler, unter nicht genau vorhersagbaren Umständen autonom handelnder Systeme, die mittels *Sensoren* ihre Umwelt wahrnehmen, Pläne fassen und mittels *Effektoren* umsetzen, durch geeignete Rückkoppelungsmechanismen den Erfolg überprüfen und gegebenenfalls korrigieren. Die intendierten Anwendungen sind vielfältig: vom militärischen Bereich über die Arbeit unter für Menschen ungünstigen Bedingungen bis zur hoch flexiblen industriellen Massenproduktion. Daran gemessen ist der Stand der Technik sehr bescheiden. Vor einigen Jahren wurde ein von der Bundeswehrhochschule München entwickeltes führerloses Fahrzeug unter großem Presserummel über eine leere Autobahn geschickt;²¹ im normalen, belebten Straßenverkehr, ohne Orientierung an Leitplanken und Spurmarkierungen, bei schlechtem Licht usw. wird das wohl auf lange Zeit niemand wagen. Die in der Industrie verwendeten Roboter haben mit KI wenig zu tun, hier — wo es auf Produktivität und Präzision ankommt — leistet man sich ungern die Unwägbarkeiten autonomer Systeme. Die von den Maschinen ausgeführten Arbeitsabläufe müssen im Detail Schritt für Schritt einprogrammiert werden, die Sensorik ist sehr bescheiden, Unvorhergesehenes (z.B. Hindernisse, Schatten, fehlende oder falsch liegende Teile) führt zum Stillstand oder zur Fehlfunktion (da wird dann schon mal ein Motor durch die geschlossene Haube hindurch eingebaut). Außerdem gibt es Probleme bei der Verarbeitung „biegeschlaffer“ Teile (Kabelbäume, Gummirahmen). Für das Erkennen und Verstehen der Umwelt gelten erst recht die oben im Zusammenhang mit Bildverstehen genannten Einschränkungen. Die Zusammenarbeit mit Menschen setzt Sprachverstehen voraus. Hier wird deutlich, daß intelligente Roboter nur durch die Integration — neben Maschinenbau und Steuer- und Regeltechnik — mehrerer sehr anspruchsvoller KI-Techniken verwirklicht werden können. Auf einen willigen und fähigen Haushaltsroboter, der uns ohne Aufsicht

²¹Als Beispiel einer Anwendung wird in diesem Zusammenhang gerne der „automatische Busfahrer“ genannt. Da eine solche Verwendung im öffentlichen Personen-Nahverkehr in *jeder* Hinsicht absurd ist, muß man wohl eher an anders geartete Fahrzeuge denken.

von den lästigen Arbeiten befreit, werden wir sehr lange oder ewig warten müssen. Scheinbar so einfache Aufträge wie „Saubermachen!“ erfordern viel Wissen und Flexibilität und sehr unterschiedliche Aktionen: ist der unscharf umrissene Fleck dort auf dem Teppich nun ein Rotweinfleck, ein Schatten, ein Papierknäuel, der Teddy des Kindes, der sich sonnende Kater, ein bewußtloses Kind?

Erst in den letzten beiden Jahrzehnten ist deutlich geworden, welche bedeutende Rolle bei der intelligenten Lösung von Aufgaben Spezial- vor allem aber auch Alltagswissen spielt (und es hat eine gewisse Schwerpunktverlagerung von der heuristischen Suche hin zu diesem Problem gegeben). Mit dem Grundlagenproblem, solches Wissen in einer für den Computer verfügbaren Form aufzubereiten und darzustellen, beschäftigt sich das Teilgebiet **Wissensrepräsentation**. Im Kern geht es um eine formale Darstellung von Teilen der „Welt“ (bzw. was wir dafür halten) durch Symbole, wobei alle (semantischen) Bedeutungsaspekte und -beziehungen durch bloße (syntaktische) Regeln zur Symbolmanipulation möglichst effizient erschlossen werden können. Die möglicherweise naheliegende Idee, die „Encyclopaedia Britannica“ in eine mit vielen Querverweisen clever organisierte Datenbank einzutippen, hilft hier aus mehreren Gründen nicht weiter. Einerseits würde dabei für jede konkrete Problemlösung unnötig viel Information (aber weiß man vorher, welche entbehrlich sind?) gespeichert und so der Rechenaufwand ungeheuer erhöht werden. Andererseits steht vieles, was wir wissen, in keinem Lexikon. Zum einen betrifft das den großen Bereich des *Alltagswissens* (dazu gehört z. B. unsere „naive Physik“, unsere Vorstellungen von Raum und Zeit, der Umgang mit Körpern und Flüssigkeiten etc., aber auch die „naive“ Psychologie und Soziologie beim Umgang mit Personen), das jedem von uns als so selbstverständlich erscheint, daß es keiner ausdrücklichen Erwähnung bedarf, einem Computer aber mangels eigener Lebenserfahrung eigens mitgeteilt werden müßte.²² Zweitens besteht unser Wissen nicht nur aus Fakten (*deklaratives Wissen*), sondern auch aus der Kenntnis von Verfahren (*prozedurales Wissen*), die sich nur schwer in Worte fassen lassen (z. B. wie man sich einen Schuh zubindet). Drittens verfügen wir über viel *Meta-Wissen*, d. h. Wissen darüber, daß unser Wissen in bestimmten Gebieten unsicher, unzureichend oder gar nicht vorhanden ist, und darüber, was andere wissen. Kurz, unser bei intelligenten Problemlösungen benötigtes Wissen ist vage, kontextabhängig, veränderlich, oft nur implizit vorhanden und vielschichtig; es geht also um mehr als um die bloße „Übersetzung“ intersubjektiv gegebenen, sprachlich verfaßten Faktenwissens in die symbolische Darstellung einer formalen Sprache (das allein ist schon schwer genug). Menschliches Wissen — z. B. wie man näherungsweise eine Quadratwurzel berechnet — schlägt sich auch in den Programmzeilen der konventionellen Datenverarbeitung nieder.²³ In Abgrenzung dazu zielt man in der KI auf die *explizite* — und damit leichter durchschau- und modifizierbare — Repräsentation von Welt- und Denk-„Objekten“ in einer geeigneten formalen Sprache. Zu diesem Zweck wurden spezielle Programmiersprachen (z. B. LISP, PROLOG, KL-ONE) und besondere Datenstrukturen und Repräsentationskonzepte entwickelt (Vererbungs bäume, „semantische Netze“, *frames*, *scripts* etc., dazu mehr im Unterrichtsmodul 2 und im Teil 3; weiter wird auch über bildhafte, analoge Repräsentation z. B. räumlichen

²²Der ungeheuren Aufgabe, auch unser Alltagswissen zu erfassen und mit dem enzyklopädischen zu verbinden (also nicht nur, wann Abraham LINCOLN lebte, sondern beispielsweise auch, daß seine Kinder zeit seines Lebens jünger waren als er), widmet sich das 1984 von Doug LENAT gestartete und auf zehn Jahre geplante CYC-Projekt. Nicht nur in den Augen von DREYFUS ist dies die letzte Hoffnung der klassischen KI (NDR (1991)).

²³In diesem Sinne repräsentieren *alle* Programme Wissen (vgl. dazu auch den Kommentar zu ELIZA im Unterrichtsmodul 1).

Wissens nachgedacht). Dabei wird die Wahl und konkrete Ausgestaltung weniger durch eine allgemeine und bewährte Theorie der Wissensrepräsentation bestimmt als vielmehr durch das spezielle Anwendungsgebiet sowie das Vorverständnis und die Vorlieben der Entwickler und Programmierer. Trotz der zentralen Bedeutung dieses Grundlagenproblems ist vieles *ad hoc* und wenig übertragbar.

Intelligente Problemlösungen erfordern nicht nur die Anwendung schon verfügbaren, explizit vorhandenen, sondern fast immer das Erschließen neuen bzw. nur implizit gegebenen Wissens. Diese Schlußfolgerungsprozesse durch Computer ausführen zu lassen, die Entwicklung sogenannter **Inferenzsysteme**, ist ein weiteres zentrales Problem der KI. Hier geht es um die formale, algorithmisierbare Darstellung dessen, was wir im Alltag häufig „logisches Denken“ nennen. Zur Lösung dieses Problems bietet sich zu allererst die gut untersuchte und in bestimmten Zusammenhängen äußerst erfolgreiche formale (mathematische) Logik an (man sucht ja einen verlorenen Schlüssel gerne dort, wo die Straßenlaterne scheint). Als wichtigstes System der Logik ist hier die *Prädikatenlogik erster Stufe* zu nennen, deren Vorteil hinreichend differenzierte Ausdrucksmittel, deren Nachteil die *Unentscheidbarkeit* ist (d. h. es gibt kein rein mechanisches Verfahren, mit dem in endlich vielen Schritten festgestellt werden kann, ob eine beliebige vorgelegte Schlußfigur logisch gültig ist oder nicht; in der Praxis setzt darüber hinaus wieder die kombinatorische Explosion weitere Grenzen). Im Rahmen der Mathematik geht es um das *deduktive* (streng wahrheitserhaltende, d. h. bei wahren Prämissen kann die Konklusion nicht falsch sein) Ableiten aus *zeitlos wahren* (bzw. für wahr gehaltenen), *kontextfreien*, *allgemeingültigen* Aussagen (z. B. Axiomen). Das Übertragen der dafür in der formalen Logik entwickelten Mittel auf die Darstellung unseres alltäglichen, aber auch wissenschaftlichen Schließens wirft einige Probleme auf. Wir schließen häufig *induktiv* bzw. *abduktiv*, indem wir z. B. einzelne Beobachtungen verallgemeinern oder Schlußfolgerungen ziehen, die nicht notwendig wahr, sondern bloß wahrscheinlich oder gut begründet sind.²⁴ Zwar gibt es Versuche, auch für solche Fälle z. B. „probabilistische“ Logikkalküle zu entwickeln, aber diese Verfahren stoßen spätestens dann auf große Schwierigkeiten, wenn statt errechneter oder empirisch gewonnener „objektiver“ Wahrscheinlichkeiten nur subjektive Schätzungen vorliegen (wie wahrscheinlich — quantifiziert! — ist es, daß nach 19 nebenwirkungsfreien Einsätzen eines neuen Medikamentes das auch für alle weiteren gilt? Und nach 23?). Mindestens ebenso schwierig ist die Nachbildung unserer Fähigkeit, assoziativ Schlüsse durch *Analogie* zu ziehen oder *kausale* Begründungen zu geben. Weiter ist unser Wissen wesentlich zeit-, orts- und situationsabhängig; wir wissen (auch) das, wir können damit umgehen und beziehen es in unsere Schlußfolgerungen ein (daß unser damals unverheirateter Jugendfreund es heute noch ist, scheint uns nicht selbstverständlich; trotz unserer Kenntnis der Polarkreise stimmen wir dem — in der Regel ohne Einschränkungen formulierten — Satz „jeden Morgen

²⁴In der Alltags- und Wissenschaftspraxis gehen Ab-, De- und Induktion sowie Evidenzschätzungen Hand in Hand. Wir betreten ein Zimmer, betätigen den Lichtschalter, das Licht brennt nicht. Durch *Abduktion* entstehen sofort eine oder einige wenige konkurrierende Hypothesen („Wenn der Glühfaden durchbrennt, dann brennt das Licht nicht. Das Licht brennt nicht. Also wird wohl die Birne kaputt sein.“ bzw. „Wenn der Strom ausfällt, dann ...“). Welche Hypothese bevorzugt wird, hängt von der Erfahrung und den Umständen ab (wurde die Birne erst kürzlich erneuert, fällt im Viertel öfter der Strom aus?). Durch *Deduktion* werden Tests zur Widerlegung der oder Entscheidung zwischen den Hypothesen durchgeführt (brennt das Licht mit einer neuen Birne, funktionieren andere elektrische Geräte?). Mittels Evidenzschätzungen und *Induktion* wird entschieden, wann eine Hypothese als bestätigt gelten kann (auch die neue Birne oder die anderen Geräte könnten kaputt sein, der Stromausfall könnte gerade behoben sein, als die Birne gewechselt wurde). Auch z. B. in der Medizin werden auf ganz ähnliche Weise Diagnosen gestellt (vgl. Abschnitt 3.3 und M. STEFANELLI (1989), S. 74 ff.).

geht die Sonne auf“ zu).

In der Mathematik kann und darf sich die Gültigkeit der Ableitung einer Konklusion aus gegebenen Prämissen (z. B. Axiomen) nicht ändern, wenn zu den Prämissen weitere hinzukommen oder später auch noch eine andere Schlußfolgerung gezogen wird (diese Eigenschaft nennt man *Monotonie*). Im Alltag und in den empirischen Wissenschaften ist das ersichtlich anders, hier gibt es ständig eine Revision des Wissens. Solches — *nicht-monotones* — Denken zu formalisieren, ist eine grundlegende, aber bisher nicht in der nötigen Allgemeinheit gelöste Aufgabe der KI. Insbesondere hat sich die Modellierung und Formalisierung *zeitlicher* Zusammenhänge und Schlußweisen als ausgesprochen schwierig erwiesen (wir beziehen uns dabei auf logisch und mathematisch gesehen sehr unterschiedliche Entitäten: absolute und relative *Zeitpunkte*, scharf und unscharf abgegrenzte *Zeitintervalle*). Im engen Zusammenhang damit steht das schon klassisch zu nennende *Rahmen-Problem* der KI: wir sehen jemand mit einem Karton unterm Arm aus einem Geschäft heraus kommen; wir nehmen dabei ganz selbstverständlich an, daß sich abgesehen von dieser leichten Veränderung des Waren- und Kassenbestandes ansonsten im Geschäft nichts wichtiges geändert hat, daß „im wesentlichen“ alles „normal“ ist und daß andere Wahrnehmungen, die wir nur am Rande unseres Bewußtseins haben (Autos fahren vorbei, irgendwelche Lichter gehen an und aus), unwichtig sind. Das alles ändert sich schlagartig, wenn wir entdecken, daß die Person eine Strumpfmütze trägt (in der Sprache der KI wechselt der „Rahmen“ unseres Wissens, Wahrnehmens und Schließens von „Einkauf“ zu „Raub“). Je nach Situation und Kontext erschließen wir uns nicht nur neue Fakten, wir entscheiden auch blitzschnell, was sich alles *nicht* geändert hat und was davon und von den Veränderungen *relevant* bzw. *irrelevant* ist. Die Übertragung dieser Fähigkeit in ein formales System ist außerordentlich schwierig (als Lösungsansätze wurden u. a. die oben genannten *frames* und *scripts* entwickelt), da bei jeder Stufe neben den intendierten Veränderungen und möglichen Seiteneffekten auch explizit angegeben werden muß, was gleich bleibt und was davon ignoriert (aber nicht vergessen!) werden kann, um von dieser Basis aus weiter Schlüsse ziehen und dabei zwischen relevanten und uninteressanten unterscheiden zu können. Ein weiteres Problem bei der Formalisierung unserer Alltagslogik ist unser lockerer und meist problemloser Umgang mit unscharfen Begriffen (ab wieviel Zentimeter genau ist eine Frau „groß“? für wen, zu welcher Zeit und an welchem Ort?). Auch hier gibt es eine lebhaftige Grundlagenforschung mit einigen Lösungsansätzen, die bisher allerdings weder allgemein anwendbar noch akzeptiert sind. Durch Medien und Werbung wird insbesondere die *fuzzy logic* ins öffentliche Bewußtsein gehoben. Die bisher vorliegenden technischen Realisierungen dieser „verschwommenen“ Logik gehören eher zum Bereich der *Regeltechnik* (z. B. Steuerung chemischer Prozesse, Autofocus in einer Kamera) in recht gut überschaubaren, eingegrenzten Gebieten; wieweit sich damit auch Schlußfolgerungen in allgemeineren Zusammenhängen im Kernbereich der KI realisieren lassen, bleibt abzuwarten.

In den letzten Absätzen ist deutlich geworden, daß sich die Grundprobleme der adäquaten Wissensrepräsentation und der formalen Beschreibung von Schlußfolgerungen nicht wirklich trennen lassen; beim Schließen kann nur auf solche Aspekte Bezug genommen werden, die symbolisch repräsentiert sind, die symbolische Darstellung nützt nichts, wenn nicht auch dazu passende Ableitungsregeln existieren. Wissen und Schlußfolgern allein reichen allerdings für in der Praxis verwendbare KI-Systeme nicht aus. Je größer das Wissen, je vielfältiger die Ableitungsregeln, desto größer wird die Anzahl der zu untersuchenden Möglichkeiten. Dabei tritt — wie oben am Beispiel Schach demonstriert — sehr schnell

eine „kombinatorische Explosion“ auf. Auch mit immer schnelleren Computern sind dann „Echtzeitanalysen“ von Sprache und bewegten Bildern schnell an ihren Grenzen; ein Roboter, der alle zwei Meter zehn Minuten lang die neue Lage analysieren muß, nützt wenig. Vom Beginn an gehört es zum Kern der KI, **heuristische Problemlösungs- und Suchverfahren** zu finden und für den Computer verfügbar zu machen. Neben problemspezifischen Lösungen wurden dafür eine Reihe von Methoden zur Beschneidung des sogenannten Suchraumes entwickelt.

Eine wesentliche Beschränkung der bisher angesprochenen technisch verwertbaren Computersysteme ist, daß das komplette „Wissen“ und die Ableitungs- und Suchregeln Schritt für Schritt einprogrammiert werden müssen und auch nur „von außen“ modifiziert werden können. Solche Systeme können zwar in dem Sinne „neue“ und „überraschende“ Lösungen generieren, daß sie implizites — auch den Systementwicklern nicht unmittelbar verfügbares — Wissen explizieren, nicht aber in dem Sinne, daß aus Erfahrung gelernt oder „kreativ“ der vorgegebene Rahmen verlassen und wirklich Neues gefunden wird.²⁵ Obwohl also größere Fortschritte in Richtung einer allgemeinen, menschenähnlichen Intelligenz anders kaum zu erwarten sind, ist **maschinelles Lernen** bisher so gut wie gar nicht realisiert. Lernen erfordert neben der Integration neuer Informationen in vorhandenes Wissen auch die völlige Um- und Neustrukturierung des Wissens bei nicht mehr „passenden“ Informationen (aber auch das nicht in allen, sondern nur in ausgewählten Fällen). Abgesehen davon, daß Lernprozesse auch beim Menschen nur unzulänglich verstanden werden, würde eine technische Umsetzung auch eine sehr viel genauere Klärung und Unterscheidung der Begriffe „Wissen“, „Information“ und „Daten“ als bisher erfordern. In der gegenwärtigen Anwendungspraxis ist den Systementwicklern die mühsam erstellte „Wissensbasis“ und deren Konsistenz viel zu kostbar, als daß sie die unabwägbaren Konsequenzen einer automatischen Revision riskieren könnten.

Als Alternative zu seriellen (Von-Neumann-) Computern werden zunehmend auch Systeme mit vielen, parallel arbeitenden Prozessoren untersucht und entwickelt. Ein Spezialfall sind — der Funktionsweise natürlicher Nervensysteme nachempfunden — **neuronale Netze**. Sie bestehen aus einer großen Zahl untereinander verbundener „Neuronen“, die abhängig von „Reizen“, die sie von anderen „Neuronen“ erhalten, unterschiedlich starke „Reize“ auf diese oder weitere „Neuronen“ ausüben. Nach Eingabe eines bestimmten Aktivierungsmusters bei den dafür vorgesehenen „Neuronen“ stellt sich ein spezifischer, über das gesamte System verteilter bzw. an der Aktivität der „Ausgabeneuronen“ ablesbarer Zustand ein. In neuronalen Netzen werden Wissen und Schließen nicht durch Symbole und Symbolverarbeitung repräsentiert, sie werden nicht im herkömmlichen Sinne *programmiert*, sondern durch Beispiele und Gegenbeispiele, durch positive oder negative Verstärkung *trainiert* (zum Unterschied der sich hier gegenüberstehenden Paradigmen der KI — „Symbolverarbeitung“ und „Konnektionismus“ — mehr im Teil 3). Die Entwicklung in der Praxis anwendbarer neuronaler Netze steckt derzeit noch in den Kinderschuhen,²⁶

²⁵ Als Gegenbeispiel zu dieser Aussage wird gelegentlich das Programm AM bzw. EURISKO von Douglas B. LENAT (1984, S. 184) angeführt, dem nachgesagt wird, daß es selbständig mathematische Entdeckungen gemacht hat. SCHEFE (1991, S. 10-13) zeigt überzeugend, daß hierbei — wie an anderer Stelle von LENAT selbst gesehen — nur implizite Strukturen der verwendeten Programmiersprache (LISP) wirksam wurden.

²⁶ Um zu illustrieren, welches Intelligenzniveau natürlicher Vorbilder zu beispielsweise welchem Zweck angestrebt wird, ein kurzes Zitat: „Zu den jetzt propagierten Forschungszielen des Pentagons im Gebiet der Neuronalen Netze gehört die Entwicklung eines Apparats, der die sensorischen, kognitiven und motorischen Fähigkeiten einer Fliege besitzen soll; diese Fliege soll jedoch vermutlich so groß sein, daß sie ein oder zwei Bomben unter ihren Flügeln transportieren kann. Freilich darf auch am planmäßigen Erreichen dieser Ziele

meist werden sie auch nicht wirklich gebaut, sondern nur auf herkömmlichen Rechnern simuliert. Erste Erfolge werden fast ausschließlich aus dem Bereich der *Mustererkennung* bei jeweils sehr eingeschränkten Bereichen (z. B. Gesichter wiedererkennen, Spracherkennung, U-Boot-Geräusche identifizieren, Börsenkurse) gemeldet; der Vorteil liegt hier im Lernen aus Beispielen, ohne daß die Systementwickler selber eine genaue Analyse des Problems vornehmen müssen, der Nachteil darin, daß man nach dem Training immer noch nicht weiß, woran genau die Unterschiede erkannt werden. Ob sich mit diesem Ansatz auch komplexere Anwendungen im Kernbereich der KI realisieren lassen (hier halten sich großer Optimismus und nachdrückliche Skepsis die Waage), bleibt abzuwarten.

3.3 Expertensysteme

Sogenannte „Expertensysteme“ verdienen einen eigenen Abschnitt, weil

- sie historisch und systematisch für die Trennung der produktorientierten, technischen KI von der theorieorientierten, kognitionswissenschaftlichen KI stehen;
- sie als *das* KI-Produkt überhaupt gelten (häufig wird fälschlich angenommen, KI-Forschung befaße sich mit nichts anderem);
- durch Mythen und Propaganda oft der falsche Eindruck vermittelt wird, sie seien tatsächlich so gut wie oder gar besser als menschliche Experten.

„Vater“, Namensgeber und Hauptprotagonist wie -propagandist der Expertensystemtechnik ist Edward A. FEIGENBAUM, der ab 1965 zusammen mit dem Biochemiker Yoshua LEDERBERG und anderen das System DENDRAL zur Bestimmung der Strukturformel organischer Moleküle durch Massenspektrographie entwickelte. Neu war daran die Abkehr von dem Vorhaben der KI, *umfassende* und *allgemeingültige Gesetze* intelligenter Problemlösung zu finden, die (später allgemein geteilte) Einsicht, daß zum Problemlösen eine große Menge *Wissen* gehört, die Konzentration auf eng umgrenztes, wenig übertragbares *Fachwissen* und die erklärte Absicht, Systeme zu entwickeln, die funktionieren (egal, ob menschenähnlich) und vor allem sich auch *verkaufen* lassen (insofern könnte man FEIGENBAUM als den Francis BACON der KI bezeichnen). Das alles widersprach weitgehend den *wissenschaftlichen* Ansprüchen der damaligen KI, und es dauerte eine Weile, bis sich diese Sichtweise durchsetzen konnte.²⁷ Was ist nun genau ein Expertensystem? Im Hinblick auf die intendierte *Anwendung* läßt sich mit den Worten des Erfinders definieren: „Es ist ein mit soviel Wissen und Fähigkeiten ausgestattetes Computerprogramm, daß es auf der Stufe des Experten tätig werden kann.“²⁸ D. h. also z. B. Diagnosen, Analysen und Handlungsvorschläge auf genau eingeschränkten Gebieten, ohne jeden Anspruch

gezweifelt werden.“ (COY & BONSIEPEN (1989), S. 24).

²⁷FEIGENBAUM (1984, S. 77 f.) und P. MCCORDUCK (1987, S. 268 f.) beschreiben anschaulich, wie degoutant diese Ideen innerhalb der etablierten KI-Gemeinde waren.

²⁸So FEIGENBAUM & MCCORDUCK (1984), S. 79. Dazu ein Zitat aus dem gegnerischen Lager (*kognitive* KI): „Aber wie die meisten KI-Ausdrücke ist das Wort „Expertensystem“ mit beträchtlich viel mehr implizierter Intelligenz befrachtet, als der tatsächliche Stand an Vervollkommenheit rechtfertigt. [...] „Expertensysteme“ ist eine schrecklich falsche Bezeichnung, da kaum etwas an ihnen „expertenhaft“ ist. [...] In gewissem Maße beinhalten sie das Wissen verschiedener Experten und können daher unter bestimmten Umständen ganz nützlich sein. Aber den menschlichen Experten schätzen wir deshalb, weil er mit Situationen umgehen kann, in denen das Geschehen eine neue Wendung genommen hat, eine, die nicht in die Regeln

auf eine allgemeine „Intelligenz“, kurz und ein wenig böswillig: es geht um ausgesprochene „Fachidioten“. Dadurch soll das Wissen rarer und teurer Experten vereinigt werden, ihre Fähigkeiten sollen zeitlich und räumlich unbeschränkt zur Unterstützung von Entscheidungen und zu Schulungszwecken zur Verfügung stehen, also z. B. auch wenn sie mit anderen dringenden Aufgaben beschäftigt sind oder aus der Firma ausscheiden oder sterben. *Technisch* gesehen kann man Expertensysteme definieren als Programme, bei denen

- das Wissen und vor allem die Problemlösungsregeln eines Fachgebietes getrennt sind vom übrigen Programm, d. h. diese Regeln sind *Daten* des Programmes (im Gegensatz zur konventionellen Datenverarbeitung, wo die Regeln — z. B. wie man eine Quadratwurzel berechnet — implizit im Programmaufbau verborgen sind), und können daher leichter verändert oder erweitert werden;
- dabei ausdrücklich auch und gerade *heuristische* (statt streng algorithmischer, also mit Sicherheit zur Lösung, und zwar zur besten, führender) Regeln und Verfahren verwendet werden;
- die Rolle, die diese Regeln bei der Errechnung von Zwischen- und Endergebnissen aus den durch den Nutzer eingegebenen Daten spielen, für den Nutzer nachvollziehbar ist (statt der üblichen *black box*).

Für Expertensysteme ergibt sich daraus eine idealtypische *Programmarchitektur* mit modularem Aufbau.²⁹ In der **Wissensbasis** sind die fachspezifischen Fakten, Regeln und Methoden, also die formale Darstellung des Expertenwissens gespeichert. Diese Wissensbasis kann nur von den Entwicklern, nicht jedoch von den reinen Nutzern oder vom Programm selbst geändert werden. Die **Inferenzkomponente** steuert den Ablauf des Programmes, fordert vom Benutzer die fallspezifischen Daten an und speichert sie im Arbeitsspeicher, verknüpft sie nach allgemeineren, nicht-fachspezifischen Prinzipien (z. B. Vorwärts- und/oder Rückwärtsverkettung) mit der Wissensbasis, kann dabei — je nach Programm — auch die Gesetze der Wahrscheinlichkeitsrechnung, subjektive Evidenzen und andere nicht-deduktive Schlußweisen berücksichtigen, regelt Prioritätsfragen, wenn mehrere Regeln der Wissensbasis angewandt werden können (Regeln dafür können allerdings auch als *Metaregeln* in die Wissensbasis aufgenommen werden), kurz: sie sorgt für

der Lehrbücher paßt. Expertensysteme sind — obgleich potentiell nützlich — kein theoretischer Fortschritt auf unser Ziel hin, eine intelligente Maschine zu erfinden. Wirkliche Intelligenz erfordert die Fähigkeiten, zu lernen, aufgrund der Erfahrungen zu überlegen, „aus der Hüfte zu schießen“, das Allgemeinwissen anzuwenden, mit der Intuition aus dem Bauch Schlüsse zu ziehen. Expertensysteme können nichts davon. Sie verbessern sich nicht infolge ihrer Erfahrung. Sie machen einfach mit der nächsten Wenn-dann-Regel weiter“ (SCHANK & CHILDERS (1986), S. 48 ff.). DREYFUS & DREYFUS (1987, S. 144) würden sie aus ähnlichen Gründen lieber „Kompetente Systeme“ nennen, da sie ihrer Meinung nach niemals über diese — dritte — Stufe hinauskommen und die — fünfte — Stufe „Expertentum“ erreichen werden (der Unterschied zu SCHANK liegt darin, daß sie es *seinen* Programmen auch nicht zutrauen). Viele anwendungsorientierte KI-ler vermeiden das Wort „Experte“ und sprechen lieber allgemeiner von „wissensbasierten Systemen“. FEIGENBAUM & MCCORDUCK rechtfertigen ihren Sprachgebrauch damit, daß auch für Sprach- und Bildverstehen viel (Allgemein-) Wissen nötig ist, über das aber in der Regel *jeder* Mensch verfügt, während es ihnen ausdrücklich nur um das Spezialwissen von Experten geht (a. a. O.).

²⁹Die hier gegebene Beschreibung bezieht sich auf *regelbasierte* Systeme. Die weiter unten dargestellten Unzulänglichkeiten solcher Systeme haben einige Forscher veranlaßt, es statt dessen mit *fallbasierten* Systemen zu versuchen, die sich am Lernen aus Beispielen orientieren. (Für die kommerzielle Entwicklung solcher Systeme hat denn auch der oben als Kritiker zitierte Roger SCHANK eine Firma gegründet; vgl. T. J. SCHULT (1992), S. 87.) Ein Beispiel dafür bieten ALTHOFF et al. (1989).

die Schlußfolgerungen, die Ergebnisse des Systems. Die Inferenzkomponente ist für die Benutzer (und — falls eine *Expertensystem-Shell* (dazu später) verwendet wird — meist auch für die Entwickler) eine *black box*, d. h. ihre Funktionsweise ist nicht transparent. Die im Programmablauf benutzten Regeln und Fakten können aufgezeichnet und den Nutzern auf Anfrage durch die **Erklärungskomponente** mitgeteilt werden. Mindestanforderung ist dabei die (durch Eintippen oder Menüwahl erfolgende) Anfrage „warum?“. Nach dieser Anfrage wird den Benutzern mitgeteilt, welche Regel und welche Fakten zu der aktuell gewünschten Benutzereingabe führten. Etwas anspruchsvoller ist die Anfrage „wie?“. Expertensysteme, deren Erklärungskomponente darauf eingerichtet ist, stellen danach den kompletten Weg ihrer Entscheidungsfindung aus Benutzerdaten und Wissensbasis dar.³⁰ Für die möglichst komfortable Eingabe der fallspezifischen Daten, der Ausgabe der Ergebnisse und der Nutzung der Erklärungskomponente, kurz für das, was man „Dialog“ des Systems mit den Nutzern nennt, ist die **Benutzeroberfläche** zuständig. Neben dieser Schnittstelle zu den Anwendern ist häufig auch eine für die Entwickler zur Ergänzung und Modifikation der Wissensbasis vorgesehen.

Während Inferenz-, Erklärungskomponente und Benutzeroberfläche für viele Problembe- reiche geeignet sein können (und heute schon häufig zusammengefaßt als fertige „Expertensystem-Shell“ angeboten werden), muß die Wissensbasis selbstverständlich für jedes Fachgebiet (die sogenannte „Domäne“) eigens erstellt werden. Schwierig ist dabei nicht so sehr die eigentliche Programmierung, das Hauptproblem — der „Flaschenhals“ jeder Expertensystementwicklung — ist vielmehr die *Erkundung* und *formale Darstellung* des Wissens menschlicher Experten auf diesem Gebiet. Da solche Experten sich nur selten der bei erfolgreichen Problemlösungen angewandten Strategien bewußt sind, da ihre Überlegenheit auf Erfahrung und Intuition, auf sinnvollem Verletzen der Lehrbuchregeln beruht, da also ihre Stärke eher ein Können (*knowing how*) als ein Wissen (*knowing that*) ist, bedarf es für diesen Prozeß der *Wissensakquisition* oft monatelanger Sitzungen mit den Systementwicklern und vieler Probe- und Korrekturläufe (auch dafür beginnen sich Experten zu etablieren: der oder die *Knowledge Engineer*).³¹ Ziel ist es dabei, möglichst viel Fachwissen und -können der Experten möglichst unverfälscht und widerspruchsfrei in eine überschaubare und für Computer verarbeitbare Form zu bringen, meist als heuristische Wenn-Dann-Regeln der Art:³²

³⁰Die Erklärungskomponente wird einhellig von den Verkäufern aus Akzeptanzgründen und von den Kritikern aus Akzeptabilitätsgründen gefordert. Sie steht und fällt mit ihrer Verständlichkeit, diese unterliegt wiederum den oben genannten Grenzen der Verarbeitung natürlicher Sprache. Vielleicht ist das aber auch ganz gut so, denn so wie diese Komponenten heute arbeiten können, gibt es für die Benutzer keinen Zweifel daran, daß sie es mit einer Maschine zu tun haben.

³¹Das widerspricht häufig den ingenieurmäßigen Ansprüchen der Informatik („gut definierte und verstandene Probleme, gut verstandene und verlässliche Lösungen“) und auch ein wenig dem Anspruch der technischen KI, daß die Lösung wichtiger ist als die korrekte Nachbildung menschlicher Denkprozesse. Allerdings gibt es häufig gar keinen anderen Weg, wenn man zu leistungsstarken und für die Anwender transparenten Systemen gelangen will. Damit ist — im Gegensatz zu einigen Vertretern der kognitiven KI wie Allen NEWELL — in der Regel nicht die Behauptung verbunden, daß die Denkprozesse von Menschen sich tatsächlich in der Anwendung der dann aufgestellten *Produktionsregeln* vollziehen.

³²Nach WINSTON (1987), S. 212. Um Mißverständnisse zu vermeiden, zwei Anmerkungen: erstens ist die inhaltliche Formulierung nur für den *Menschen* gedacht und verständlich (oder auch nicht), vom Programm werden sie nicht „verstanden“, sondern nur *syntaktisch*, als bloße Zeichenkette verarbeitet, d. h. an den Ergebnissen würde sich nichts ändern, wenn z. B. die erste „Prämisse“ überall, wo sie vorkommt, durch „\$P1₁₉“ ersetzt wird; zweitens hat auch „WENN ... DANN ...“ keine der von *uns* benutzten inhaltlichen Bedeutungen (also z. B. zeitlich oder gar kausal), es ist lediglich — als logische Verknüpfung formuliert — eine Aussage, die genau dann „falsch“ ist, wenn bei „wahren“ Vordergliedern der Satz nach

WENN Die Infektionsart ist eine primäre Bakteriämie
UND Der vermutete Eingang ist der Magen-Darm-Trakt
UND Die Entnahmestelle der Kultur ist eine der sterilen Stellen
DANN Der Organismus ist Bacterioides

In populären Büchern und Vorträgen zur KI werden, um die angebliche Leistungsfähigkeit von Expertensystemen zu illustrieren, gerne die Legenden verbreitet, ein solches System zur Bodenschatzsuche (PROSPECTOR) habe ein Molybdänvorkommen im Wert von einhundert Millionen US-Dollar entdeckt³³ oder medizinische Expertensysteme könnten mehr Krankheiten erkennen als ein Facharzt für dieses Gebiet. Ein Beispiel für letztere und Vorbild für weitere seiner Art ist MYCIN, ein System zur Erregerbestimmung und medikamentösen Therapie bakterieller Infektionskrankheiten des Blutes und Meningitis. In seiner Wissensbasis sind ca. 500 Regeln³⁴ gespeichert (die im letzten Absatz zitierte ist eine davon). Je nach den schon erfolgten Benutzereingaben werden gezielt weitere Fragen gestellt („Rückwärtsverkettung“), deren Beantwortung gegebenenfalls vom Benutzer mit einem Unsicherheitsfaktor bewertet werden kann. Diese Unsicherheitsfaktoren werden bei der weiteren Bearbeitung nach bestimmten (nicht gerade mit den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung immer übereinstimmenden) Regeln der Inferenzkomponente berücksichtigt (in einen Teil der Regeln der Wissensbasis gehen weitere von den Experten und Entwicklern geschätzte Einschränkungen ein, z. B.: WENN Die Gramfärbung des Organismus ist positiv UND Der Organismus wächst in Ketten UND Der Organismus hat die Gestalt einer Kugel DANN gilt zu 70 %: Der Organismus ist ein Streptokokkus).³⁵ Der Programmablauf endet mit nach Unsicherheit geordneten Vermutungen über die Identität des Erregers und — nach einer vom Benutzer anzugebenden Einschätzung des Grades der Erkrankung auf einer Skala von 0 bis 4 — mit einer Empfehlung spezifischer Antibiotika und ihrer Dosierung. Nach einer Untersuchung des *Journal of the American Medical Association* bewertete ein Ausschuß von acht Experten die Empfehlungen des Programmes bei wirklichen Meningitiserkrankungen in 7 von 10 Fällen als akzeptabel.³⁶

Was nützt ein solches System in der Praxis? Zum ersten muß betont werden, daß es sich um ein äußerst eingeschränktes Spezialgebiet mit gut strukturiertem Wissen und recht „harten“ Fakten (z. B. Laborbefunde) handelt (Systeme, die den gesamten Bereich einer internistischen oder gar einer allgemeinen Praxis mit allen „weichen“ Befunden und Einschätzungen abdecken, existieren nicht und sind auch nicht in Sicht). Aber auch innerhalb dieses Bereiches ist zu allererst die Erfahrung und Intuition der behandelnden Ärzte gefordert, nämlich bei der Entscheidung, ob der Allgemeinzustand der Patienten so schlecht ist, daß sofort vor jedem Laborbefund und der ausführlichen Konsultation

dem „DANN“ „falsch“ ist, bzw. — als Produktionsregel formuliert — ein bedingter Imperativ („wenn die und die Zeichenreihe vorhanden ist, erzeuge die folgende“).

³³Das Expertensystem wurde auf einem Gelände eingesetzt, auf dem schon Molybdän gefunden wurde und auf dem von menschlichen Experten weitere Vorkommen vermutet wurden. Wie wertvoll der „Fund“ wirklich war, konnte nie festgestellt werden, weil sich u. a. wegen der großen Tiefe eine Ausbeutung nicht lohnte. Einzelheiten finden sich bei COY & BONSIEPEN (1989, S. 99–102) und DREYFUS & DREYFUS (1987, S. 159 f.).

³⁴Nach HAYES-ROTH ist dieser Regelumfang die untere Grenze für die Abbildung von Expertenkompetenz in einem *speziellen Bereich*. Die für eine Expertise in einem *Wissensgebiet* nötige Anzahl schätzt man auf 10 000 (zitiert nach SEETZEN & STRANSFELD (1989), S. 33). Allerdings gilt: „Systeme mit über 2000 Regeln sind nach bisherigen Erfahrungen kaum noch beherrschbar.“ (a. a. O., S. 35)

³⁵Nach PUPPE (1987), S. 299.

³⁶Zitiert nach DREYFUS & DREYFUS (1987), S. 160 f.

von MYCIN unspezifische Breitbandantibiotika gegeben werden müssen, oder ob andererseits so viel Zeit ist, daß die nach 2–3 Tagen erfolgenden genauen Laborbefunde statt der Schätzungen des Systems abgewartet werden können (diese vom Benutzer erfolgende Diagnose geht — wie oben erwähnt — auch in die Therapievorschläge des Systems ein). Weiter ist das „Wissen“ des Systems auch innerhalb des engen Fachgebietes sehr beschränkt und in keiner Weise mit dem menschlicher Experten zu vergleichen: selbst so einfache Fragen wie „Was versteht man unter der Gramfärbung eines Bakteriums und wie stellt man sie fest?“ oder „Wie gefährlich ist denn Meningitis?“ können nicht beantwortet werden (ganz zu schweigen von solchen: „Wie stehen sie zu dem von Albert SCHWEITZER aufgeworfenen Problem, daß der Einsatz von Antibiotika Töten von Leben ist?“). Zugegebenermaßen sind das nicht die Fragen der in Klinik und Praxis tätigen Ärzte, aber es macht deutlich, daß solche Systeme Ärzte nur unterstützen, nicht aber ersetzen können. Das Hauptproblem für die in diesem Bereich arbeitenden Ärzte ist, daß sich das Wissen ständig ändert: neue Erregerstämme und Medikamente entstehen, Bakterien werden gegen bestimmte Medikamente resistent, andere Medikamente produzieren zu starke Nebenwirkungen und werden vom Markt genommen, jede Klinik „züchtet“ in der Klimaanlage ganz eigene, spezifische Keime, so daß sich auch die Erkrankungswahrscheinlichkeiten verändern usw. usf. D. h. die Wissensbasis des Systems müßte ständig modifiziert und erweitert werden, eine in der Praxis sehr mühsame und unsichere Angelegenheit; da ist es einfacher und sicherer, daß die Ärzte von den bakteriologischen Abteilungen der Kliniken regelmäßig mit Listen der neuesten Daten versorgt werden (zum manchmal vorgebrachten Argument, daß solche Systeme für jene nützlich sind, die fern ab von der medizinischen Zivilisation tätig sind, muß nachgefragt werden, ob die dann wohl eher über die entsprechenden Computer und vor allem über die hochspezifischen Medikamente verfügen). Dies alles erklärt sicherlich, warum das vielzitierte MYCIN kein praktischer Erfolg wurde und die Entwicklungsumgebung nie verlassen hat.³⁷ Als *Assistenzsysteme* — z. B. zur Entlastung von Routinearbeit, bei der Verwaltung vieler Parameter oder als Gedächtnisstütze — können weitere Entwicklungen durchaus nützlich sein, aber insbesondere in Bereichen, wo Laborbefunde keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen, ist nicht zu sehen, wie sie wirklich „auf der Stufe von Experten tätig werden“ könnten (mal abgesehen von der Wünschbarkeit); der berühmte „klinische Blick“, der es beispielsweise Neurologen ermöglicht, aus minimalen Bewegungsstörungen auf einen bisher nicht bemerkten Schlaganfall zu schließen, wird kaum technisch nachgebildet werden können.

Expertensysteme sind keine „intelligenten“ Maschinen, sie können nicht aus Erfahrung lernen, nicht den Sinn der verwendeten Regeln und die Grenzen ihres „Wissens“ erkennen, sie können die Regeln nicht durchbrechen und neue Lösungen finden. Expertensysteme sind Produkte der „Wissenstechnik“, nicht so sehr der KI-Grundlagenforschung. Sie können uns

³⁷Nach PUPPE (1987, S. 299) und SEETZEN & STRANSFELD (1989, S. 30). Insgesamt sind weniger medizinische Expertensysteme im praktischen Einsatz, als man als Laie so denkt: JOHN & ENGELBRECHT (1989, S. 192) zitieren eine Studie, nach der sich 1988 zwölf Systeme in routinemäßiger praktischer Anwendung befanden (das kann auch Einsatz nur zu Ausbildungszwecken statt im praktischen Einsatz heißen). „Trotz inzwischen fünfzehn Jahren intensiver Forschung kann den Systemen bisher keine klinische Praxisreife bescheinigt werden“ (PUPPE, PUPPE & GROSS (1992), S. C-702). Auch außerhalb der Medizin sieht das kaum anders aus: nach einer Studie von B. BUCHANEN von 1987 befanden sich weltweit insgesamt 366 Expertensysteme im Einsatz, wenn man als Kriterium dafür die regelmäßige Nutzung durch andere Personen als die Entwickler annimmt, gemäß einer Studie von MERTENS aus dem Jahre 1988 sogar nur 171, wenn Universitäten und „Spielzeuge“, die nur weniger als fünfmal benutzt werden, ausgeschlossen werden (zitiert nach SAVORY (1989), S. 53). Seit Jahren steht der große Durchbruch immer kurz bevor. Noch gilt aber, daß der Umsatz für kommerzielle KI-Systeme weit weniger als 1% des gesamten DV-Bereiches ausmacht.

in eng abgegrenzten, gut strukturierbaren Spezialgebieten dabei helfen, Entscheidungen zu treffen und Probleme zu lösen, indem sie als aufmerksames, nichts vergessendes Nachschlagewerk oder als Schlußfolgerungsmaschine die kombinatorische Komplexität vieler Regeln und Fakten verwalten.

Bei der Entwicklung von Expertensystemen treten viele Probleme auf: das Erstellen der Wissensbasis ist sehr mühsam und zeitaufwendig, zudem ist immer unsicher, wieweit bei der formalen Darstellung wirklich das Wissen und Können der Experten „eingefangen“ wurde; im Labor entwickelte Systeme zeigen bei der praktischen Anwendung durch nicht an der Entwicklung beteiligte Nutzer deutlich schlechtere Resultate; die Wissensbasis veraltet schnell und kann nur mit hohem Wartungsaufwand auf dem laufenden gehalten werden; mit zunehmendem Umfang der Wissensbasis werden die Systeme immer langsamer und undurchschaubarer. Das alles sind Gründe dafür, daß der technische und kommerzielle Erfolg von Expertensystemen weit geringer ist als die Entwickler erwarteten und sie uns über die Medien glauben machten.³⁸

Neben den technischen Problemen — und erst recht nach ihrer Lösung — werfen Expertensysteme eine Reihe weiterer Fragen und Probleme auf, die hier nur kurz angerissen werden können: Kann man Spezialwissen sinnvoll abtrennen von Alltagswissen, Lebenserfahrung, Menschenbildung? Wird durch die von Expertensystemen eingeforderte Konzentration auf „harte“ Daten und Meßwerte der Blick für ganzheitliche Sichtweisen verstellt? Wird Expertenwissen entwertet, und wenn ja, wie steht es mit der Kooperation bei der Entwicklung? Tritt durch die bei Nutzung von Expertensystemen fehlende *eigene* Erfahrung eine Erosion des Wissens, ein *De-Skilling* ein, wo kommen dann die künftigen Experten her? Wie kann dabei ein blinder Glaube an richtige Resultate verhindert werden? Welches Menschenbild wird gefördert? Wird die Verantwortung für Entscheidungen immer weniger durchschaubar, wer haftet für fehlerhafte Entscheidungen?

Zu guter Letzt: wie schon gesagt, Expertensysteme verwenden *heuristische* Regeln, sie sind damit nach eigenem Anspruch bei ihren Entscheidungen *per definitionem* fehlbar (im Gegensatz zu konventionellen Datenverarbeitungssystemen, bei denen wegen der Verwendung von Algorithmen die Fehlerfreiheit zumindest theoretisch gegeben ist, allerdings häufig weder bewiesen noch praktisch erreicht werden kann).³⁹ Die Lehre daraus ist ganz einfach: verwende Expertensysteme niemals in Situationen, bei denen der Zeit- und Entscheidungsdruck so groß ist, daß Menschen nicht mehr über die vom System gegebenen Ratschläge nachdenken können; und das heißt vor allem: verwende Expertensysteme niemals bei einer *automatischen* Entscheidung in für Menschen relevanten Situationen.

³⁸„Bei näherer Betrachtung stellte sich heraus, daß die Heuristik eine kleine Anzahl von eindeutigen Fällen behandelte, aber nicht allgemein anwendbar war. Der Autor konnte für die Fälle, die vom Programm richtig behandelt wurden, ein spektakuläres Verhalten vorweisen. Die anderen Fälle sollten nach seiner Auffassung zukünftige Forscher beschäftigen. Tatsache ist, daß die verwendeten Techniken oft nicht allgemein anwendbar sind, und das verbesserte Programm kommt nie zustande.“ (PARNAS (1986), S. 65)

³⁹Noch einmal die ingenieurwissenschaftliche Sicht: „Die Regeln, die anhand von Untersuchungen des menschlichen Problemlösungsverhaltens aufgestellt werden, erweisen sich als inkonsequent, unvollständig und ungenau. Heuristische Programme werden durch praktisches Herumprobieren entwickelt, wobei eine neue Regel immer dann hinzugefügt wird, wenn ein Fall auftritt, der von den bisherigen Regeln nicht behandelt wird. Mit dieser Vorgehensweise entstehen meistens Programme, deren Verhalten schlecht zu verstehen und schwer voraussehbar ist. [...] Ich habe zu solchen Programmen noch weniger Vertrauen als zu unstrukturierten herkömmlichen Programmen. Man weiß nie, wann das Programm abstürzen wird. [...] KI bietet keine Zauberformel zur Lösung unserer Probleme. Heuristische Methoden liefern keine Systeme, auf die man sich verlassen kann.“ (PARNAS (1986), S. 65 f.)

4 Zwischenbilanz

Gemessen an unserem alltäglichen Verständnis von Intelligenz werden die durch die Medien hochgeschraubten Erwartungen beim konkreten Blick auf den Stand der Technik erheblich ernüchtert. Mythos und Realität klaffen weit auseinander.

„Künstliche Intelligenz impliziert, daß derartige Systeme

- über kognitive Komponenten (optische und akustische Wahrnehmung) verfügen,
- logische und bereichsspezifische Schlußfolgerungen ziehen können,
- heuristische Problemlösungsstrategien verfolgen können,
- und die Integration dieser Komponenten vollziehen können.

Bei Zugrundelegung dieser Definition ist fraglich, ob derartige Systeme bereits existieren.“⁴⁰

Das ist sicher eine Untertreibung. Verdüstert wird die Aussicht auf solche Systeme noch dadurch, daß dabei die Integration aller oben genannten Bereiche der Grundlagenforschung erforderlich ist und daß die Hoffnung auf Fortschritte in jeweils einem Bereich sich auf Fortschritte in den anderen Bereichen stützt. Als ein zentrales Problem der KI hat sich die adäquate und formal handhabbare Repräsentation von Wissen herausgestellt. „Die Rolle des Wissensingenieurs bei Expertensystemen ist trotzdem nur von vorübergehender Dauer. Was er zu leisten hat, ist so schwierig, so entscheidend und mühsam, daß es nach Auffassung fast aller Beteiligten bald automatisiert werden muß, soll AI nicht am eigenen Erfolg zugrundegehen.“⁴¹ Eine solche Automatisierung setzt zumindest Sprachverstehen und Schlußfolgern, wohl auch noch Bildverstehen und die Fähigkeit, mit Ähnlichkeiten und Analogien umzugehen, im gewissen Sinne auch maschinelles Lernen voraus (ein solches System ist nicht einmal in Ansätzen sichtbar). Daß man bei der Konstruktion intelligenter Computer mit maschinellem Lernen nicht beginnen kann, darüber ist man sich seit ca. zwei Jahrzehnten einig, denn Lernen ist Einordnen in und Modifizieren von Wissen, es bedarf einer Grundlage, auf die es aufbauen kann.⁴² Andererseits glaubt Roger SCHANK:

⁴⁰So Ipke WACHSMUTH als Einleitung zu einem Arbeitsgruppenbericht über mögliche Auswirkungen einer entwickelten KI (zitiert nach STRANSFELD (1991), S. 20). Nur noch teilweise determinierte Maschinen, die „Situationen, mit denen sie konfrontiert sind, absichtsvoll verbessern und umgestalten [können], indem sie aus sich selbst als Reaktion auf die Einwirkung der Umwelt intelligentes Verhalten zeigen“, werden von ihm erst in mehr als 30 Jahren erwartet. Anderen erscheint noch nicht einmal das realistisch und die technische Machbarkeit völlig ungewiß (a. a. O. S. 32).

⁴¹FEIGENBAUM & MCCORDUCK (1984), S. 103. Diese seltsame Idee, daß wir zur Überwindung unserer Schwierigkeiten, Computer mit Intelligenz auszustatten, Computer bauen, die das für uns tun, nennt R. KEIL-SLAWIK „die Suche nach einem *kognitiven Perpetuum mobile*“ (1990, S. 95). Man könnte es auch die „Komplexitätsfalle der informationstechnischen Hybris“ nennen: wir setzen (zunehmend komplexere) Technik ein, um (zunehmend komplexere) Probleme zu lösen; viel später entdecken wir dabei unerwartete und unerwünschte Nebenwirkungen und Rückkopplungen sowie unsere Unfähigkeit, Komplexität zu erfassen und vernetzt zu denken; um wiederum dieses Problem zu lösen, entwickeln wir informationsverarbeitende Technik (Expertensysteme, Simulationsprogramme etc.), die dann ...

⁴²Vgl. z. B. MCCORDUCK (1987), S. 235 oder HAUGELAND (1987), S. 10. Alan TURING hingegen glaubte — ganz in der Tradition der *tabula rasa* von John LOCKE — an eine recht einfache „Kind-Maschine“, der man alles Wesentliche beibringen kann (1987b, S. 177 ff.).

„Der endgültige KI-Durchbruch wäre der Bau einer Maschine, die lernen oder sich infolge ihrer eigenen Erfahrungen auf eigene Weise verändern kann.“⁴³ Allerdings befürchtet er, für die Realisierung eines lernfähigen Programmes, dem nicht „die riesigen notwendigen Informationsmengen löffelweise eingegeben werden“ müssen, „könnte es sich als notwendig herausstellen, erst die Entwicklung eines effektiven Hand-Auge-Systems und eines Verarbeitungsgeräts für Bilder abzuwarten“, Bert RAPHAEL dagegen, einer der Pioniere der Robotik, erwartet den entscheidenden Durchbruch auf seinem Gebiet erst dann, wenn „das grundlegende Problem der Wissensstrukturen“ gelöst ist.⁴⁴ Damit schließt sich der Kreis zum Zirkel.

Mit Hilfe von Computern können wir vieles, was wir ohne sie nicht könnten: exakte und schnelle Berechnungen, Verwaltung und Verknüpfung großer Datenmengen, lange Deduktionsketten mit vielen Prämissen, Simulationen von Prozessen mit einer großen Zahl wechselwirkender Faktoren. Auf der anderen Seite hat es die KI nicht geschafft, das Sprachverständnis eines vierjährigen Kindes oder auch „nur“ die kognitiven Fähigkeiten einer Katze nachzubilden. Vieles, was für uns schwierig und kompliziert ist, wurde erfolgreich als Programm geschrieben; erst spät wurde klar, wie schwer zu programmieren das ist, was uns leicht fällt, so leicht, daß wir es und seine Bedeutung kaum bemerken. Nicht das, wofür wir uns anstrengen müssen (und daher die Lösungsschritte recht gut beobachten und protokollieren können), sondern fast automatische Abläufe, Unbewußtes, Intuitionen und Assoziationen, unsere Lebenswelt, unser Alltagswissen und *Common sense* sind das Problem.

Wir können die unterschiedlichsten Handschriften lesen. Wir erkennen auch bei einer ganz neuen, ungewöhnlichen Designerschrift ein A als A und haben außerdem eine Vorstellung davon, wie in dieser Schrift ein B aussehen müßte.⁴⁵ Wir können in einer lauten Kneipe Gespräche führen und verstehen, auch wenn unser Gegenüber mit Akzent spricht und unvollständige oder grammatikalisch falsche Sätze bildet. Wir nehmen Mehrdeutigkeiten gar nicht erst als solche wahr, wir verstehen und ergänzen aus dem situativen Kontext, wir können aus wenigen Andeutungen Schlüsse ziehen.

Wir entdecken in einer unaufgeräumten Küchenschublade sofort das gesuchte Brotmesser. Wir erkennen ein Gesicht in der Menge, trotz Hut, Brille und Schnurrbart, das wir acht Jahre nicht gesehen haben. Im Museum bemerken wir nicht nur sofort, was die Bilder darstellen, sondern auch die besonderen Stilmerkmale der Pointillisten, Kubisten und Fotorealisten.

Auf einer Party können wir ein Glas hinter uns abstellen, uns dieser oder jenem zuwenden, am Käsegebäck naschen und danach mit traumhafter Sicherheit ohne hinzusehen wieder das Glas ergreifen; anschließend können wir uns mit dem Glas in der Hand durch das Gewühle drängeln, ohne einen Tropfen zu verschütten. Wir können ohne explizite Kenntnis der Gesetze von Trägheit und Schwerkraft diese berücksichtigen und sogar ausnutzen, wenn es z. B. gilt, ein an einem Kran hängendes, hin und her pendelndes Teil punktgenau abzusetzen.⁴⁶

⁴³SCHANK & CHILDERS (1986), S. 47.

⁴⁴Zitiert nach H. L. DREYFUS (1985), S. 311 f. u. 290.

⁴⁵Nach Douglas R. HOFSTADTER (1988, S. 689) ist das *das* zentrale Problem der KI.

⁴⁶Dieses von ihnen so genannte „Kranführerrätsel“ hat sich nach Igor ALEKSANDER & Piers BURNETT (1984, S. 28 f.) gegenüber einer Bewältigung durch Roboter „als bemerkenswert widerspenstig“ erwiesen.

Werden wir nach einem Buch gefragt, wissen wir nicht nur den Inhalt, wir können uns auch noch erinnern, wann und wo wir es gelesen haben, wie dabei das Wetter war, welchen Wein wir dabei getrunken haben und mit wem wir schon vorher darüber gesprochen haben; wir erinnern uns an andere Bücher über ein ähnliches Thema und an ähnliche Bücher über ein ganz anderes Thema, wir können Vergleiche ziehen zu Musikstücken und Bildern, die uns in eine ganz ähnliche Stimmung versetzt haben. Und — und das ist vielleicht das Erstaunlichste — wir wissen *sofort*, wenn wir einen Namen noch nie im Leben gehört haben.

Wir können eine angespannte Situation durch einen Witz entspannen und andere Menschen trösten, wenn sie traurig sind.

Wie wir das alles können, ist eine spannende und fast vollständig ungelöste Frage (und es ist für viele im Bereich der KI Tätige eine große Herausforderung, es zusammen mit Psychologen, Neurobiologen, Linguisten und Philosophen herauszufinden). Computer können das alles nicht (und es ist strittig, ob sie es jemals können werden). Für die meisten der genannten Fähigkeiten besteht nicht mal die leiseste Idee, wie sie in ein Computerprogramm umgesetzt werden könnten. Ist es nur unzulässiger Spott, wenn definiert wird: „KI ist das, was der Mensch besser kann“?

Literaturhinweise

Eine kleine KI-Bibliothek

Die *very idea* der KI, das theoretische Konzept der GOFAI (*Good Old Fashioned Artificial Intelligence*) ist die These, daß Denken auf regelgeleiteter Symbolmanipulation beruht und daß denkende Maschinen deshalb möglich sind, weil wir in diesem Sinne im Grunde genommen selbst Computer sind. Diese These hat ideengeschichtliche Wurzeln, sie bedarf einer inhaltlichen Präzisierung und sie hat ihre ungelösten Probleme (das gilt auch für ihre Gegner). John HAUGELAND, Philosoph und intimer Kenner und Dialogpartner der US-KI-Szene, hat sich mit seinem Buch ein dreifaches Ziel gesetzt: „verständlich und unvoreingenommen erklären, was KI eigentlich ist; ... die philosophischen und wissenschaftlichen Zeugnisse ihrer außerordentlichen Anziehungskraft vorlegen; ... einen Überblick verschaffen, was die KI bisher erreicht hat und wo ihre Schwächen liegen“ (1987, S. 2). Man muß sagen, das ist ihm alles ausgesprochen gut gelungen. Falls jemand vorhat, nur *ein* Buch über KI zu lesen, empfehle ich dieses.⁴⁷

Nach traditioneller Auffassung hat Sprache wesentlich die Funktion, die Wirklichkeit beschreibend abzubilden und als Kommunikationsmittel Informationen zu übertragen, im Rahmen von Wissenschaft möglichst objektiv, formalisiert und kontextfrei, situations- und interpretationsunabhängig. Diese Sicht der Sprache, die auch grundlegend für die Informatik und große Teile der KI-Forschung ist (Standardredeweise: „Modellierung von Weltausschnitten“), wird seit einigen Jahrzehnten von vielen Seiten (z. B. Phänomenologie und Hermeneutik, Neurobiologie und Konstruktivismus, Sprechakttheorie) kritisiert: dabei werde unterschlagen bzw. vernachlässigt, daß Gebrauch und Verstehen von Sprache geprägt sei durch einen niemals vollständig zu explizierenden „Hintergrund“, ein „Vorverständnis“ und „In-der-Welt-sein“, daß Worte Zeichen für die sprachliche Koordination von Handlungen zwischen Mitgliedern einer sozialen Gemeinschaft seien, die in einem ständigen schöpferischen, „autopoietischen“ Prozeß sich selbst und ihre Welt hervorbringen, Wirklichkeit konstituieren, daß Sprechen selbst Handeln sei, Handeln in vielfältiger Form, mit unterschiedlichen Intentionen, Geltungsansprüchen und Verpflichtungen, mit einer intersubjektiven Produktion von „Sinn“ und „Bedeutung“. Terry WINOGRAD & Fernando FLORES kritisieren — unter Rekurs auf die Arbeiten von HEIDEGGER, GADAMER, MATURANA, AUSTIN und SEARLE — die „rationalistische Tradition“ der Computertechnologie und verwerfen deren meist unhinterfragten Grundannahmen über Repräsentation, Berechenbarkeit, Intelligenz und Sprachverstehen. Bei Fragen wie „Können Computer denken?“ geht es ihnen „nicht so sehr um die Lösung als um die *Auflösung* dieser Fragen“ — zugunsten einer neuen Sicht auf den Computer in Hinblick auf „die Rolle, die er als Mittler und Förderer von sprachlichem Handeln als charakteristisch menschliche Tätigkeit spielt“, mit dem Ziel, „ein neues Verständnis für den Entwurf von Computerwerkzeugen zu verbreiten, die für menschliche Verwendungszwecke und Bedürfnisse geeignet

⁴⁷Es ist selbstverständlich erfreulich, wenn andere diese Einschätzung teilen — auch wenn man dabei auf Belege für den in der Einleitung beklagten Umgang der „Zwei Kulturen“ miteinander stößt: „Das Buch gehört zur Pflichtlektüre jedes Informatikers, aber auch zu der jedes Deutsch- oder Gemeinschaftskundelehrers, der — im Dienst einer sogenannten informationstechnischen Bildung — sich legitimiert glaubt, über Computer und ihre Auswirkungen auf Wirklichkeitsaneignung und Selbstverständnis des Menschen daherzureden.“ (Rüdeger BAUMANN, LOG IN 2/1989, S. 57; nebenbei: BAUMANN unterscheidet bei Büchern zur KI zwischen „wissenschaftlich-informatischen“ Werken einerseits und „allgemeinverständlich-philosophischen“ andererseits. Ist das nun ein Kompliment an die Philosophie?)

sind“ (1989, S. 14, 25, 27 f.). Besonders interessant ist das Buch wegen des Werdeganges seiner Autoren: Fernando FLORES war Wirtschafts- und Finanzminister unter ALLENDE und hat dabei an einem Großprojekt mitgewirkt, um kybernetische Theorien auf praktische Managementprobleme anzuwenden (CYBERSYN); Terry WINOGRAD gehört zu den großen Stars der KI-Szene (sein Programm SHRDLU und weitere Arbeiten galten lange als richtungsweisend und als Hoffnungsträger auf dem Weg zu sprachverstehenden und echtes Wissen verarbeitenden Computern), er weiß also, wovon er spricht, wenn er die einst selbst vertretenen Grundannahmen, Methoden und Ziele der KI nun als Holzweg einschätzt.⁴⁸

Die Proponenten der *kognitiven* KI erheben den Anspruch, durch den Versuch der Konstruktion von Systemen mit „wirklicher“ Intelligenz zur Aufklärung über unser Denken beizutragen. Zu den wenigen Büchern, die bei allem Optimismus diesen Anspruch vereinen können mit den Erfahrungen langjähriger eigener Forschung, einem Blick über die Grenzen des eigenen Faches und einer weitgehend seriösen Darstellung, die auch Probleme und Sackgassen nicht verschweigt und dabei auch für Nichtspezialisten verständlich und unterhaltsam ist, gehören die von Roger C. SCHANK & Peter G. CHILDERS (1986) und Igor ALEKSANDER & Piers BURNETT (1984). SCHANKS zentrale Problemstellung ist das Sprachverstehen und er gehört zu den Pionieren bei der Entwicklung spezieller Datenstrukturen zur Repräsentation von Wissen (*scripts*) und zu verfolgender Ziele. Er setzt zwar mehr als andere auf das Lernen statt auf fertig einprogrammiertes Wissen, steht aber ganz in der Tradition des „klassischen“ Ansatzes der Symbolverarbeitung. Ganz anders I. ALEKSANDER: sein Spezialgebiet sind Roboter und er hält die *top down* Ansätze der klassischen KI für viel zu begrenzt, statt dessen und zur Ergänzung setzt er auf die *bottom up* Methoden neuronaler Netze und knüpft auch an die kybernetischen Wurzeln der KI an. Besonders überzeugend sind seine Ausführungen dazu, daß Intelligenz untrennbar verbunden ist mit Sinneswahrnehmung, Körpergefühl und aktiver Interaktion mit der Außenwelt.

Zu den prominentesten Kritikern der KI gehören die Brüder Hubert L. & Stuart E. DREYFUS (1987) sowie Joseph WEIZENBAUM (1977, 1984, 1993). Hubert L. DREYFUS (1985) entdeckte bemerkenswerte Ähnlichkeiten zwischen Problemstellungen im Werke von Edmund HUSSERL und den Grundannahmen und Ansätzen der KI-Forschung. Geschult durch die Kritik HEIDEGGERS an seinem Lehrer und an den späteren Schriften WITTGENSTEINS gehört er mit der These, daß unser Hintergrundwissen in situativen Kontexten, unser „In-der-Welt-Sein“ niemals hinreichend in formalisierte Fakten und Regeln atomisiert werden

⁴⁸So hat denn auch das Buch viel Aufmerksamkeit erfahren und heftige Kontroversen ausgelöst („Every now and then a book about computers and AI sweeps through the community and divides opinion. Some people praise it while others deeply criticize it.“, *Artificial Intelligence* 31 (1987), S. 213; dort dann auf 49 Seiten gleich vier Rezensionen und die Antwort der Autoren). Rafael CAPURRO (1987) plädiert nachdrücklich für eine Fortführung der gegenseitigen Befruchtung von Hermeneutik und Informatik (und hofft dabei auch auf einen Beitrag zur Überwindung der Kluft zwischen den „Zwei Kulturen“, sieht aber interessanterweise beim dafür nötigen Abbau der „Barrieren des Mißtrauens und der Mißachtung“ eher Probleme bei der „etablierten“ Philosophie (S. 333)). Michael MOHNHAUPT & Klaus REHKÄMPER (1990) rezensieren — mit ausdrücklichem Bezug auf den Logischen Empirismus und den Kritischen Rationalismus — das Buch aus der Sicht des Paradigmas, gegen das es sich wendet (möglicherweise wäre ein Hinweis auf den erfolgreichen Abschluß des Projektes LILOG — *Linguistische und logische Methoden zum maschinellen Sprachverstehen des Deutschen*, ein von IBM gefördertes Projekt (vgl. DEKER (1989), S. 113 ff.), an dem die Rezensenten mitarbeiten —, als *empirischer* Beitrag zur „Falsifikation“ überzeugender). *Nota bene*: das Buch von WINOGRAD & FLORES gehört zur Pflichtlektüre jedes Informatiklehrers und -didaktikers, der sich legitimiert glaubt ...

kann, seit langem zu den bekanntesten Propheten des Scheiterns der KI.⁴⁹ Weniger das Können als vielmehr das Sollen der KI ist J. WEIZENBAUMS zentrales Thema. Die relevanten Probleme sind für ihn nicht technischer, sondern ethischer Natur: unabhängig von der tatsächlichen Leistungsfähigkeit von KI-Systemen ist schon der Glaube an sie und die Vorstellung ihres Einsatzes in bisher den Menschen vorbehaltenen Bereichen (z. B. Medizin, Justiz) ein „Imperialismus der instrumentellen Vernunft“ und ein entscheidender Beitrag zur Dehumanisierung unserer Welt.

Über das Pro und Kontra der These „Digitale Computer können im Prinzip wirklich denken“ hält John L. CASTI (1990, S. 329–423) eine „Gerichtsverhandlung“ ab (d. h. er ist Ankläger, Verteidiger, Sachverständiger und Richter).⁵⁰ Eine gelungene Momentaufnahme der neueren Debatte ist die Kontroverse zwischen John R. SEARLE (1990) und Paul M. CHURCHLAND & Patricia SMITH CHURCHLAND (1990). SEARLE vertritt mit seinem berühmten Gedankenexperiment des „chinesischen Zimmers“ (oder „Chinesisch Zimmer“) die These, daß aus der regelgeleiteten, formalen Symbolmanipulation (zu allein der Computer fähig seien) niemals Verstehen von Bedeutung und Intentionalität (und somit Denken) entstehen könne. Die CHURCHLANDS lassen diesen Einwand nur begrenzt und nur für den klassischen Symbolverarbeitungsansatz gelten und setzen ihre auf neurobiologische Forschungen gestützte Hoffnung auf neuronale Netze dagegen (nach dem Computermodell des Geistes nun wieder das Gehirnmodell des Computers).

Einen leichten, von propagandistischer Übertreibung weitgehend freien Zugang zur KI als *Technik* bietet Uli DEKER (1989).⁵¹ Dieses Buch ist auch für Schülerinnen und Schüler geeignet (und man bekommt es mit Chance umsonst). Nach einem einleitenden kritischen Überblick über die (auch wechselnden) Ansätze und Ideen der KI stellt Peter SCHEFE (1991) grundlegende Methoden zur Realisierung (Suchen, Inferenz, Repräsentation von Wissen) vor, ohne dabei sprachphilosophische, erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fragen auszuklammern (die Neuausgabe wurde gegenüber der von 1986/7 erheblich erweitert, u. a. um mehr Beispiele in LISP und um das Schlußkapitel „Ethik und Verantwortung“). Ein Standardlehrbuch der KI hat Patrick Henry WINSTON (1987) geschrieben: zu fast allen Anwendungsbereichen werden leicht verständlich, aber doch detailliert die Arbeitsweise von beispielhaften Prozeduren und erfolgreichen Programmen vorgestellt. Weit umfassender als der Titel verspricht behandelt der von Günther GÖRZ (1993) herausgegebene Sammelband alle etablierten Teilgebiete der KI (39 Autoren von mehr als 15 Universitäten und Forschungsinstituten, das zur Zeit wohl aktuellste und ambitionierteste KI-Lehrbuch in deutscher Sprache).

Die Geschichte der KI (und viele Geschichten) bis zur Mitte der siebziger Jahre hat Pame-

⁴⁹Nun, wo sich der Pulverdampf der ersten, etwas aufgeregten Duelle verzogen hat, werden die Fronten etwas klarer: „So what I was criticizing — it’s clear to me now — wasn’t the digital computers. The question wasn’t whether computers can be intelligent. The question was whether computers used as physical symbol systems can be intelligent. So that much has become clearer with the neural networks.“ (KI 3/1991, S. 75; vgl. auch DREYFUS & DREYFUS (1989))

⁵⁰Sein Fazit: „wie in allen Fällen, an denen Philosophen beteiligt sind, endet auch diese Debatte in einem kompletten Chaos“ (S. 423). Mit guten Gründen ist die Gewaltenteilung und die Rollenverteilung vor Gericht ein unverzichtbares Erbe der Aufklärung: dem Mathematiker und Professor für *Operations Research* — und das hat wieder mit den „zwei Kulturen“ zu tun — gelingt es bei dieser „Streitfrage der Naturwissenschaften“ m. E. nicht ganz, den Positionen der Gebrüder DREYFUS und J. WEIZENBAUMS gerecht zu werden.

⁵¹Mit einem kleinen Schönheitsfehler: Alan TURING wird zum Amerikaner gemacht (S. 18)! Muß man das, wenn man für IBM arbeitet?

la MCCORDUCK (1987)⁵² aufgeschrieben; geprägt vom ungebrochenen Optimismus dieser Zeit ist es eine unverzichtbare und spannende Quelle zur Erkundung der Motive und Hoffnungen der Pioniere und Protagonisten der KI (andere sprechen von einer „Hofchronik“). Kürzer, neuer (allerdings wird man das Gefühl nicht los, vieles genau so schon anderswo gelesen zu haben), etwas distanzierter, auch mit Blick auf Entwicklungen in Deutschland, ist der Report von Stephanie SAND (1986). Frank ROSE (1986) macht in einer faszinierenden Mischung aus Roman und Sachbuch nicht nur deutlich, wie schwierig es ist, die Anwendung des gesunden Menschenverstandes beim Hereinholen einer Zeitung in ein in LISP geschriebenes *script* umzusetzen, sondern illustriert auch anschaulich, welche entscheidende Rolle der Kampf um Forschungsgelder, Konkurrenz zwischen den Universitäten und Veröffentlichungsdruck bei der Entwicklung einer Wissenschaft spielen (dabei treten fast alle prominenten KI-Vertreter und Kritiker auf).

Im Prachtband (viele Bilder und als Bettlektüre etwas zu groß und zu schwer) von Raymond KURZWEIL (1993) werden (etwas MIT-zentriert und mit Gastbeiträgen prominenter KI-ler) die Wurzeln, Ziele und Visionen der KI vorgestellt; der Autor gehört zu den ausgesprochenen Optimisten, für ihn ist KI das, was der Mensch *noch* besser kann (die Zeittafel im Anhang beginnt mit den Dinosauriern und endet mit „2020–2070: Ein Computer besteht den Turing-Test, der Intelligenz auf menschlichem Niveau nachweist“). Eine Übersicht der historischen, technischen, gesellschaftspolitischen und philosophischen Aspekte der KI bieten Bernhard IRRGANG & Jörg KLAWITTER (1990) als Einleitung zu einer Sammlung von einschlägigen Aufsätzen zu grundlegenden Einzelfragen (u. a. Technik, Militär, Ethik, Sprachverstehen, Philosophie; vgl. auch die Beiträge der beiden Autoren im ähnlich angelegten, von Joachim SCHMIDT (1992) herausgegebenen Band).

In Zusammenarbeit mit der BBC hat der NDR (1991) die Fernsehserie *Eine Maschine verändert die Welt* produziert. In der vierten Folge werden die zentralen Ansätze und Probleme der KI fundiert, fair und ohne unkritische Euphorie vorgestellt und sehr gut illustriert.

Hinweise zu Einzelproblemen

FREUD (1917) deutete den zeitgenössischen Widerstand gegen die Psychoanalyse als — nach der kosmologischen und biologischen — dritte **Kränkung des menschlichen Narzißmus**. Sherry TURKLE (1984, S. 382 ff.) nimmt diesen Gedanken auf und beschreibt die Frage nach dem Geist im Verhältnis zur Maschine als „Bedrohung und Obsession, Tabu und Faszination“. Matthias TICHY & Ekkehard MARTENS (1986, S. 68–72) druckten diesen Textabschnitt unter dem Titel „Die vierte Kränkung des Menschen“ nach.

Einen guten Überblick über Stand und Probleme bei der Erforschung und Messung menschlicher **Intelligenz** geben Robert KAIL & James W. PELLEGRINO (1988). In einem brillanten Buch hat Stephen Jay GOULD (1983) die Geschichte der Intelligenzmessung mit allen ihren methodischen Kurzschlüssen, Ideologien, rassistischen und sexistischen Vorurteilen und Auswirkungen beschrieben. Ebenfalls kritisch mit dem IQ setzt sich Howard GARDNER

⁵²Die deutsche Ausgabe durch einen auf Computerliteratur spezialisierten Verlag ist ein abschreckendes Beispiel für den Niedergang der Buchkultur durch zeitgenössische Produktionsmethoden. Offensichtlich wurden — unter Einsparung von Lektorat und Korrektur — die Disketten der Übersetzerinnen unmittelbar in den Belichter kopiert. Ergebnis: eine Fülle von Tipp- und Übersetzungsfehlern (als besonders krasses Beispiel vgl. das zweite WEIZENBAUM-Zitat auf S. 291 mit der Fassung in WEIZENBAUM (1977) S. 267).

(1991) auseinander; er plädiert statt dessen für eine „Theorie der vielfachen Intelligenzen“ (vgl. auch *Psychologie heute* (1987b)). Heike STACH (1992) unternimmt einen Streifzug durch die Entwicklung des Intelligenzbegriffes von seinen Anfängen bis zur Gegenwart aus feministischer Sicht. Recht unterhaltsam ist der nicht ganz ernst gemeinte Nachweis von A. K. DEWDNEY (1988b), daß schon sehr simple Computerprogramme beim IQ-Test hohe Werte erreichen können. Sehr viel seriöser als ich untersucht Gregory BATESON (1985) die Kommunikationsprobleme mit nichtmenschlichen natürlichen Intelligenzen.

Ausführliche Literaturangaben zum sogenannten **Turing-Test** finden sich im Unterrichtsmodul 1.

Eine umfassende historische und systematische Darstellung der Entwicklung des **Algorithmen**begriffes (als „symbolische Maschine“ und damit als vorläufiger Höhepunkt der seit Jahrhunderten verfolgten Idee, geistige Tätigkeiten durch Formalisierung zu entlasten) gibt Sybille KRÄMER (1988). Gerhard VOLLMER (1991, kürzer 1990 u. 1992) umreißt Nutzen und Grenzen⁵³ dieser Werkzeuge zum Problemlösen und vergleicht die Leistungsfähigkeit von Menschen und Computern. Aufbau, Entwicklung, Theorie, Effizienz- und Korrektheitsanalysen von Algorithmen sowie viele Beispiele werden ausführlich dargestellt von Les GOLDSCHLAGER & Andrew LISTER (1990) (das Buch eignet sich auch für eine erste und manche weitere Beschäftigung mit der Informatik und setzt nicht die Kenntnis einer Programmiersprache voraus).

Einen Überblick über die Geschichte des **Computerschach** geben MCCORDUCK (1987, S. 145 ff.) und COY (1988b), grundlegende Ideen dazu skizzierte schon Alan TURING (1987c). Die Strategien und Heuristiken zur Bewältigung der kombinatorischen Explosion und die dabei auftretenden Probleme finden sich z. B. bei WINSTON (1987, S. 131–149, dort auch weitere Literatur), populärer z. B. bei Manfred STEDE (1987, S. 77–99) und Lawrence STEVENS (1985, S. 145–151, nebenbei: recht guter allgemeinverständlicher erster Einstieg in das Gesamtgebiet der KI). DEWDNEY (1988a) stellt die „Teilnehmer“ der nordamerikanischen Computerschach-Meisterschaft von 1985 vor, HSU, ANANTHARAMAN, CAMPBELL & NOWATZKY (1990) beschreiben ihre Entwicklung DEEP THOUGHT, Udo NOWITZKE & Stephan EBERMANN (1992) die nächste Stufe der Aufrüstung dieser Supermaschine. Wolfram RUNKEL (1990) berichtet über zwei Partien des Großmeisters Helmut PFLEGER gegen diesen Schachcomputer.

Roboter und Androiden gehören zur Standardausstattung eines Großteils der *Science Fiction*-Literatur; als Einstiegsdroge empfehle ich von Isaac ASIMOV *Ich, der Robot* (der Klassiker!) sowie von Stanislaw LEM *Robotermärchen* und *Die Maske*. Den Wurzeln der KI in der **Mythologie** spüren ALEKSANDER & BURNETT (1984), COY (1984), MCCORDUCK (1987) und SAND (1986) nach. Der Pionier der Reflexion über die kybernetische Maschine und ihren Beitrag zum Entstehen eines „dreiwertigen“ Weltbildes (und immer noch zu wenig rezipiert) ist Gotthard GÜNTHER (1963b, 1963c, 1976, 1980a, 1980b).

Beispiele für **als Sachbuch verkleidete Science Fiction** tauchen immer mal wieder

⁵³Ob lediglich die nachgewiesene algorithmische Unlösbarkeit bzw. das Fehlen eines Algorithmus, der das Problem in „vernünftiger“ Zeit bearbeitet, auch die „Grenzen des Computereinsatzes“ markieren — wie es z. B. Norbert BREIER, LOG IN 10 (1990), Heft 1 u. 3, nahelegt (überhaupt scheint in der ehemaligen DDR die Ansicht verbreitet zu sein, daß sich gesellschaftliche Probleme durch „Messen, Steuern, Regeln“ lösen lassen) —, erscheint mir mehr als fraglich. Ich denke, daß beispielsweise bei der Frage, ob man Stundenpläne durch Computerprogramme erstellen sollte, mehr zu bedenken ist, als daß es sich um ein NP-vollständiges Problem handelt.

in den Bestsellerlisten auf. So verspricht uns Christopher EVANS (1983) schon für die neunziger Jahre hoch- und ultra-intelligente (d. h. ganz viel IQ) Maschinen als intellektuelle Partner, später werden sie dann unsere Mentoren und Tutoren in einer Weise sein, als hätte man EINSTEIN, RUSSELL und FREUD als persönliche Lehrer (S. 263 f.). David RITCHIE (1984) sieht den Tag nicht mehr fern, an dem wir unseren Verstand mit dem mächtigen Intellekt eines auf Biochips beruhenden Intelligenz-Systems direkt als „dritte Gehirnhälfte“ koppeln können. Während solche Bücher häufig von Wissenschaftsjournalisten ein wenig spekulativ und spielerisch geschrieben werden, handelt es sich bei Hans MORAVEC (1990) um einen echten Insider (Leiter des *Mobile Robot Laboratory* der in KI-Kreisen sehr renommierten *Carnegie Mellon University*) und er meint es todernst. Ausgehend von einer als Tatsache unterstellten Fortschreibung der weiteren Entwicklung („Wir sind dem Zeitpunkt schon sehr nahe, zu dem praktisch jede wichtige körperliche oder geistige Funktion ihr künstliches Pendant haben wird“, S. 11) zeichnet er seine Vision einer „genetischen Wachablösung“ durch Maschinen, die dann ohne unsere Mitwirkung die „kulturelle Evolution“ fortsetzen. Für uns „unglückliche Zwitterwesen“ erfüllt sich dann sein Traum von der Unsterblichkeit, wenn der menschliche Geist durch einen *Download*-Vorgang „aus seinem Gehirn befreit wird“ und in den sich selbst vervollkommenden „Kindern des Geistes“ fortlebt. Mit diesen Gedanken steht er innerhalb der KI-Forschung keineswegs allein da (vgl. MCCORDUCK (1987), S. 329 ff.), sein Buch wurde immerhin von der *Harvard University Press* veröffentlicht. Zu dieser extrem anti-humanistischen (und dualistischen) Position hat Joseph WEIZENBAUM (1990, 1991, S. 52 f. und im *Zeitmagazin* 12/90, dort auch der Prolog des Buches in einer anderen Übersetzung) Wesentliches gesagt. Ein besonders eindrucksvolles (andererseits: ist die Aussicht auf „Altenroboter“ (S. 112 f.) wirklich so attraktiv?) Beispiel für **Propaganda** geben Edward A. FEIGENBAUM (Mitinhaber einer Firma für Expertensysteme) & Pamela MCCORDUCK (1984). Was ist mit den versprochenen Computern der 5. Generation? Die zehn Jahre sind vorbei!⁵⁴

Über die Rolle des **Militärs** bei der Entwicklung von Datenverarbeitung und Künstlicher Intelligenz informieren Rolf OBERLIESEN (1982), Rudolf LINDNER, Bertram WOHAK & Holger ZELTWANGER (1984), Reinhard KEIL-SLAWIK (1985) und insbesondere Claus EURICH (1991). R. KEIL-SLAWIK (1990) zeigt zum einen die innere Logik immer stärkerer Integration und Automation von Verteidigungssystemen, zum anderen die damit verbundenen Gefahren und die Unmöglichkeit einer sicheren („ingenieurmäßigen“) Realisierung auf. Die Frage nach der Verantwortung von Informatikern im Zusammenhang mit der militärischen Anwendung war auch ein Themenschwerpunkt der Zeitschrift *Informatik Spektrum* (K. H. BLÄSIUS & J. H. SIEKMANN (1987), H. W. HOFMANN (1987), David L. PARNAS (1987), letzterer, zeitweilig Mitglied im SDIO-Ausschuß zur Computerunterstützung der Kampfführung, hat in einem offenen Brief (1986) begründet, warum er diesen Ausschuß verlassen hat und warum er komplexe Software und insbesondere KI-Techniken für unrettbar unzuverlässig hält). Joseph WEIZENBAUM hat zu dieser Frage in vielen Schriften, Interviews und Vorträgen pointiert Stellung bezogen, ein beeindruckendes Beispiel aus jüngster Zeit ist sein Vortrag auf dem *European Software Festival* in München (1991) (neben vielem anderen verdient seine Fortsetzung des Buchtitels „Ich strebe nach den Sternen“ von Wernher v. BRAUN durch den Halbsatz „... aber manchmal treffe ich London“ zitiert zu werden).

⁵⁴Das Projekt gilt inzwischen auch offiziell als gescheitert, was die MITI-Planer aber nicht hindert, nun gleich die Computer der „Sechsten Generation“ in Angriff zu nehmen (*Der Spiegel* 16/1992, S. 216 ff.).

Der Aufsatz von Manfred BROY (1990) ist ein gutes Beispiel dafür, wie nüchtern und programmatisch realistisch inzwischen der Blick auf die **KI als Technik** z. T. bei denen geworden ist, denen es wirklich nur um die Entwicklung weiterer Werkzeuge geht. In die grundlegenden Konzepte der unterschiedlichen Teilgebiete der KI führt der von Johannes RETTI (1986) herausgegebene Band ein. Eine kurze Darstellung der **Anwendungsgebiete** und des Standes der Technik geben — neben dem schon erwähnten Buch von DEKER (1989) — W. COY & L. BONSIEPEN (1989), Bernd NEUMANN (1990) und Jörg H. SIEKMANN (1992). Speziell zum Thema „Sprachverstehen“ werden im Unterrichtsmodul 2, zu „Neuronale Netze“ und „Konnektionismus“ im Teil 3 ausführliche Literaturhinweise gegeben. Lösungsansätze in den wesentlichen **Forschungsgebieten** stellen z. B. die o. a. Lehrbücher von SCHEFE (1991), WINSTON (1987) und GÖRZ (1993) dar. Der Übersichtsartikel zu den Grundbegriffen und -problemen der Wissensrepräsentation und Inferenz von Christopher HABEL (1990) vermittelt am Beispiel der IC-Züge der Bundesbahn einen guten Eindruck davon, wie schwer die formale Darstellung schon sehr einfacher realer Wissensgebiete ist. Dem überaus schwierigen Gebiet der Repräsentation von Alltagswissen ist das Buch von Ernest DAVIS (1990) gewidmet.

Eine naturgemäß sehr optimistische Darstellung von **Expertensystemen** und ihrer zukünftigen Entwicklung zeichnen E. A. FEIGENBAUM & P. MCCORDUCK (1984). H. L. DREYFUS & S. E. DREYFUS (1987) zeigen dagegen überzeugend den prinzipiellen Unterschied zwischen den Fähigkeiten menschlicher Experten und denen von Expertensystemen. Douglas B. LENAT (1984) stellt dar, wie verschiedene Systeme unterschiedliche „Kraftquellen“ nutzen (u. a. durch *Blackboard*-Technik), und plädiert einerseits für eine Vereinigung dieser Quellen, andererseits für die „Bereitwilligkeit, Programme zu verwenden, deren Leistungsfähigkeit in keiner Weise gesichert ist“ (S. 188). Das Buch von Nigel FORD (1988) ist ein gelungener Versuch, auch Anfängern zu zeigen, *wie* Expertensysteme das leisten, was sie leisten (dabei kann man PROLOG lernen, man muß es aber nicht). Eine thematisch umfassende, in den einzelnen Beiträgen knappe und gut lesbare Einführung in die Expertensystemtechnologie und ihr Umfeld (Wissensrepräsentation, *Knowledge Engineering*, Inferenzstrategien, Unsicheres Schließen, Benutzerschnittstellen u. a.) bietet der von Georg GOTTLOB, Thomas FRÜHWIRTH & Werner HORN (1990) herausgegebene Band. An ein breiteres Publikum wendet sich Barbara BECKER (1992) mit ihrer kenntnisreichen, kritischen und sehr gelungenen Darstellung der Grundlagen und Probleme von Expertensystemen, Wissensakquisition und Wissensrepräsentation (als Beispiel wird ausführlich MYCIN vorgestellt). Die mir bekannte beste *kritische* Monographie über Expertensysteme aus der Insider-Perspektive der Informatik haben Wolfgang COY & Lena BONSIEPEN (1989) verfaßt. In diesem sehr empfehlenswerten Buch werden neben den technischen Fragen und Perspektiven auch die ökonomischen, gesellschaftlichen und epistemologischen behandelt.

Mit den grundlegenden wissenschaftstheoretischen und epistemologischen Annahmen der „Wissenstechnik“ (im wesentlichen der „Logische Empirismus“, vgl. dazu Teil 2, Abschnitt 2), setzt sich auch Alfred Lothar LUFT (1988) auseinander; er plädiert dafür, auch die sprachkritische und die pragmatische Wende der Philosophie zu rezipieren und damit auch Geltungsansprüche von Wissen und Orientierungswissen einzubeziehen. Otto E. LASKE (1989) hält die ungelösten Probleme und Engpässe bei der Erstellung wissensbasierter Systeme nicht durch technische Lösungen für behebbar, sondern nur durch ein Umdenken weg vom *Rapid Prototyping* hin zu einem von der unmittelbaren Implementationsebene unabhängigen Wissensmanagement, das auch Methoden der empirischen Sozialforschung und

der angewandten Erkenntnistheorie einschließt. Das Problem der **Wissensakquisition** ist Schwerpunkt des Heftes 2/1990 der Zeitschrift *KI*. Die Adäquatheit der Darstellung und die Veränderung von Expertenwissen durch die formale Umsetzung in eine Wissensbasis ist darin Thema der Pro- und Kontra-Artikel von Barbara BECKER & Brigitte BARTSCH-SPÖRL (1990).

Über die „**Chancen und Risiken** des Einsatzes von Expertensystemen in Produktion und Medizin“ berichtet eine ENQUÊTE-KOMMISSION des Deutschen Bundestages (1990). Chancen und Risiken von Expertensystemen waren auch Thema des Kongresses ORAIS 1989 in Hamburg. Stand der Technik und Entwicklungsperspektiven wurden (realistisch-optimistisch) von Stuart E. SAVORY (1989) und kritischer im Koreferat von Jacques BERLEUR (1989) beleuchtet. Auf diesem Kongreß gab es u. a. aktuelle Einschätzungen speziell zum Thema Expertensysteme in der Medizin. Mario STEFANELLI (1989) beschäftigt sich — ausgehend von dem Widerspruch, daß es im Bereich der Medizin zwar viele Entwicklungsansätze, aber kaum in der Praxis verwendete Systeme gibt — mit dem weiten Feld der zu lösenden Probleme. J. JOHN & R. ENGELBRECHT (1989) berichten die Ergebnisse einer empirischen Studie über Verbreitung und Anwendereinschätzungen (vgl. R. ENGELBRECHT (1988) für einen etwas früheren Übersichtsartikel). Frank PUPPE, Bernhard PUPPE & Rudolf GROSS (1992) sehen „in medizinischen Expertensystemen weniger automatische Problemlöser, sondern mehr ein neuartiges Wissensmedium, dessen Potential in der medizinischen Ausbildung genutzt werden kann“. Einen Überblick über die bei Diagnosesystemen verwendeten Techniken und die damit verbundenen Probleme gibt F. PUPPE (1987). Gerhard SCHWABE, Dieter DOLINSKY & Helmut KRUMAR (1990) stellen das Ergebnis einer Studie über Einsatzstand und Nutzen von Expertensystemen im Bankbereich vor (im selben Heft der *KI* das Ergebnis einer Umfrage über den „Nutzen der KI-Technologie im praktischen Einsatz“ in unterschiedlichen Bereichen; vgl. auch bei Nina DEGELE (1994, S. 157–217) die Fallstudien über den betrieblichen Einsatz und das Scheitern des Bank-Beratungssystems ALEXIS, des medizinischen Diagnosesystems RHEUMA und des Telefon-Konfigurationssystems ExTel).

Angesichts der kaum zu leugnenden Tatsache, daß Leistung und Einsatz von Expertensystemen weit hinter den hochgesteckten Erwartungen zurückbleiben, diskutiert Thomas MALSCH (1991) mögliche Erklärungen dafür und ihren Zusammenhang: die zugrunde liegenden verengten erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Grundannahmen, das Verschwinden der Frage nach der Validität (leistet ein System, was es beansprucht?) bei der Wissensakquisition hinter dem Bemühen um bessere Softwareentwicklungsmethoden zur Steigerung der Reliabilität (Zuverlässigkeit und Konsistenz), ein instrumentell verkürztes Verständnis von kommunikativen und sozialen Prozessen in Arbeitsabläufen und in der Gesellschaft. Eine kritische, am Ziel der Entmythologisierung sowie der Skizzierung einer nicht im nachhinein, sondern schon bei der Entwicklung wirksamen und legitimierten **Technikfolgenabschätzung** orientierte Studie haben Jürgen SEETZEN & Reinhard STRANSFELD (1989) erstellt. Über die Unzulänglichkeiten, die Verbreitung und die Forschungsförderung von Expertensystemen sowie über die Perspektiven für die Arbeitswelt informiert die Schrift des Deutschen Gewerkschaftsbundes (1991). Burkart LUTZ & Manfred MOLDASCHL (1989) untersuchten (im Auftrag der o. g. Enquête-Kommission) ausgehend von der These einer Diskrepanz zwischen der impliziten Theorie von Qualifikation in der KI-Forschung und der Realität bei industriellen Fachkräften speziell die möglichen — intendierten und nicht-intendierten — Auswirkungen von Expertensystemen auf die Qualifikation. Peter SCHEFE (1990) erörtert die Bedingungen der Möglichkeit und die Kriterien

einer sozialorientierten KI; dem vorherrschenden Paradigma des „Maschinenmodell des Geistes“ und den kaum eingelösten „An-Sprüchen“ der KI setzt er die Ansprüche einer menschengerechten Gestaltung der Arbeit und das Plädoyer entgegen, „von solchen kognitivistischen Großmachtträumen Abschied zu nehmen zugunsten von *kleinen* dienstbaren Systemen“ (S. 10). Über die angestammten Gebiete der Soziologie (z. B. Akzeptanz- und Einstellungsforschung) hinaus verfolgt Nina DEGELE (1994) einen techniksoziologischen und interdisziplinären Mehrebenenansatz, bei dem die drei Dimensionen von Mensch, Maschine und betrieblicher Organisation verbunden und („soziokybernetisch“) ihre Wirkungskreisläufe betrachtet werden.

Literaturverzeichnis

- ALEKSANDER, I. & P. BURNETT (1984). *Die Roboter kommen: Wird der Mensch neu erfunden?* Basel, Boston, Stuttgart: Birkhäuser (Original: *Reinventing Man. The Robot Becomes Reality*. London 1983: Kogan Page)
- ALTHOFF, K., S. KOCKSKÄMPER, F. MAURER, M. STADLER & S. WESS (1989). Ein System zur fallbasierten Wissensverarbeitung in technischen Diagnosesituationen. In: J. Retti & K. Leidlmaier (Hrsg.), *5. Österreichische Artificial-Intelligence-Tagung. Proceedings* (S. 65–70). Berlin, Heidelberg, New York: Springer (Informatik-Fachberichte 208)
- BATESON, G. (1985). Probleme in der Kommunikation von Delphinen und anderen Säugetieren. In: ders., *Ökologie des Geistes: anthropologische, psychologische, biologische und epistemologische Perspektiven* (S. 468–485). Frankfurt a. M.: Suhrkamp (Original: *Steps to an Ecology of Mind*, 1972)
- BECKER, B. (1992). *Künstliche Intelligenz: Konzepte, Systeme, Verheißungen*. Frankfurt/Main, New York: Campus
- BECKER, B. & B. BARTSCH-SPÖRL (1990). Die Veränderung von (Experten-) Wissen durch den Prozeß der Wissensakquisition. *KI*, 2/1990, S. 31–36
- BERLEUR, J. (1989). There Are Expert Systems ... And Expert Systems! In: K. Brunnstein, S. Fischer-Hübner & R. Engelbrecht (Hrsg.), *Opportunities and Risks of Artificial Intelligence Systems (ORAIS 89). Proceedings* (S. 58–62). (Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Juli 1991)
- BLÄSIUS, K. H. & J. H. SIEKMANN (1987). Computergestützte Frühwarn- und Entscheidungssysteme. *Informatik Spektrum*, 10, S. 24–39
- BOBROW, D. G. & P. J. HAYES [HRSG.] (1985). Artificial Intelligence — Where Are We? *Artificial Intelligence*, 25, S. 375–415
- BODEN, M. A. [HRSG.] (1990). *The Philosophy of Artificial Intelligence*. Oxford: Oxford University Press
- BRAND, S. (1990). *MEDIA LAB: Computer, Kommunikation und neue Medien. Die Erfindung der Zukunft am MIT*. Reinbek: Rowohlt (Original: *The Media Lab*, 1987)
- BROY, M. (1990). Das Mißverständnis „Künstliche Intelligenz“. In: B. Irrgang & J. Klawitter (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz* (S. 55–63). Stuttgart: Hirzel, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
- CAPURRO, R. (1987). Die Informatik und das hermeneutische Forschungsprogramm: Anmerkungen zu einem neuen Ansatz. *Informatik-Spektrum*, 10, S. 329–333
- CASTI, J. L. (1990). *Verlust der Wahrheit: Streitfragen der Naturwissenschaften*. München: Droemer Knaur (Original: *Paradigmas Lost*, 1989)
- CHURCHLAND, P. M. & P. SMITH CHURCHLAND (1990). Ist eine denkende Maschine möglich? *Spektrum der Wissenschaft*, 3/1990, S. 47–54
- COY, W. (1984). METH — EMETH. Abenteuer der künstlichen Intelligenz. *Kursbuch 75*, S. 1–11
- COY, W. (1988b). Schach und Matt: Das Spielerische in der maschinellen Intelligenz. *Sprache im technischen Zeitalter*, 107, S. 342–351
- COY, W. & L. BONSIEPEN (1989). *Erfahrung und Berechnung: Kritik der Expertensystemtechnik*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (Informatik-Fachberichte 229)
- DAVIS, E. (1990). *Representations of Commonsense Knowledge*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann

- DEGELE, N. (1994). *Der überforderte Computer: zur Soziologie menschlicher und künstlicher Intelligenz*. Frankfurt/Main, New York: Campus
- DEKER, U. (1989). *Künstliche Intelligenz*. Stuttgart: IBM (Enzyklopädie der Informationsverarbeitung)
- DEUTSCHER GEWERKSCHAFTSBUND [HRSG.] (1991). *Expertensysteme: Taylorisierung geistiger Arbeit? Beiträge zur Forschungsförderung und Folgenforschung*. Düsseldorf (Informationen zur Technologiepolitik und zur Humanisierung der Arbeit Nr. 13, Bundesvorstand, Abteilung Technologie)
- DEWDNEY, A. K. (1988a). Schach dem Computer. *Spektrum der Wissenschaft, Computer-Kurzweil II*, S. 25–29
- DEWDNEY, A. K. (1988b). Computer im Intelligenztest. *Spektrum der Wissenschaft, Computer-Kurzweil II*, S. 111–115
- DREYFUS, H. L. (1985). *Die Grenzen künstlicher Intelligenz: Was Computer nicht können*. Königstein/Ts.: Athenäum (Original: What Computers can't do — The Limits of Artificial Intelligence, New York 1979: Harper & Row)
- DREYFUS, H. L. & S. E. DREYFUS (1987). *Künstliche Intelligenz: Von den Grenzen der Denkmachine und dem Wert der Intuition*. Reinbek: Rowohlt (Original: Mind over Machine, New York 1986: The Free Press)
- DREYFUS, H. L. & S. E. DREYFUS (1989). *Schöpfung des Geistes oder Modellierung des Gehirns? Künstliche Intelligenz am Scheideweg*. Klagenfurter Beiträge zur Technikdiskussion, Heft 23 (Original: Making a Mind Versus Modeling the Brain: Artificial Intelligence Back at a Branchpoint, auch in BODEN (1990))
- ENGELBRECHT, R. (1988). Expertensysteme in der Medizin. *Computer Persönlich*, 20/1988, S. 119–120
- ENQUÊTE-KOMMISSION (1990). *Chancen und Risiken des Einsatzes von Expertensystemen in Produktion und Medizin*. Bericht der Enquête-Kommission „Gestaltung der technischen Entwicklung, Technikfolgen-Abschätzung und -Bewertung“ des Deutschen Bundestages (Bundestagsdrucksache 11/7990, Zur Sache 21/90)
- EURICH, C. (1991). *Tödliche Signale: Die kriegerische Geschichte der Informationstechnik von der Antike bis zum Jahr 2000*. Frankfurt a. M.: Luchterhand
- EVANS, C. (1983). *Die winzigen Riesen: Mikroprozessoren revolutionieren die Gesellschaft*. Frankfurt a. M., Berlin, Wien: Ullstein (Original: The Mighty Micro: The Impact of the Computerrevolution)
- FEIGENBAUM, E. A. & P. MCCORDUCK (1984). *Die Fünfte Computer-Generation: Künstliche Intelligenz und die Herausforderung Japans an die Welt*. Basel: Birkhäuser (Original: The Fifth Generation, Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World, Reading MA 1983).
- FORD, N. (1988). *So denken Maschinen: Einführung in die Künstliche Intelligenz am Beispiel von PROLOG*. München: Oldenbourg (Original: How Machines Think. A General Introduction to Artificial Intelligence, illustrated in PROLOG, J. Wiley & Sons 1987)
- FREUD, S. (1917). Eine Schwierigkeit der Psychoanalyse. In: ders., *Gesammelte Werke*, Bd. XII, (S. 3–12). London: Imago (Gesammelte Werke chronologisch geordnet, First Printed 1947, Reprinted 1955)
- GARDNER, H. (1991). *Abschied vom IQ: Die Rahmen-Theorie der vielfachen Intelligenzen*. Stuttgart: Klett-Cotta (Original: Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences, New York 1985: Basic Books)

- GOLDSCHLAGER, L. & A. LISTER (1990). *Informatik: eine moderne Einführung*. München, Wien: Hanser (3., bearb. u. erw. Aufl. Original: Computer Science: a modern Introduction, London 1988, Prentice-Hall)
- GOLECKI, R. (1992). Philosophie und „Drittes Aufgabenfeld“: Plädoyer für eine weitere Orientierung in der Lehrerfortbildung. *Zeitschrift für Didaktik der Philosophie*, 2/1992, S. 127–134
- GÖRZ, G. [HRSG.] (1993). *Einführung in die künstliche Intelligenz*. Bonn: Addison-Wesley
- GOTTLOB, G., T. FRÜHWIRTH & W. HORN [HRSG.] (1990). *Expertensysteme*. Wien, New York: Springer
- GOULD, S. J. (1983). *Der falsch vermessene Mensch*. Basel: Birkhäuser (Original: The Mismeasure of Man, New York 1981: Norton & Co.)
- GÜNTHER, G. (1963b). Homunkulus und Robot. In: ders., *Das Bewußtsein der Maschinen* (S. 167–173). Krefeld: Agis
- GÜNTHER, G. (1963c). Die „zweite“ Maschine. In: ders., *Das Bewußtsein der Maschinen* (S. 179–203). Krefeld: Agis (Erstveröffentlichung als Kommentar zu I. Asimov: Ich, der Robot, Düsseldorf 1952. Nachdruck in: Günther, Beiträge ..., Bd. 1, S. 91–114)
- GÜNTHER, G. (1976). Seele und Maschine. In: ders., *Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik*, Band 1 (S. 75–90). Hamburg: Meiner
- GÜNTHER, G. (1980a). Schöpfung, Reflexion und Geschichte. In: ders., *Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik*, Band 3 (S. 14–56). Hamburg: Meiner
- GÜNTHER, G. (1980b). Maschine, Seele und Weltgeschichte. In: ders., *Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik*, Band 3 (S. 211–235). Hamburg: Meiner
- HABEL, CH. (1990). Repräsentation von Wissen. *Informatik Spektrum*, 13, S. 126–136
- HAUGELAND, J. (1987). *Künstliche Intelligenz — Programmierte Vernunft?* Hamburg: McGraw-Hill (Original: Artificial Intelligence: The Very Idea, 1985, MIT Press)
- HOFMANN, H. W. (1987). Einsatz moderner Informationstechnik im militärischen Bereich: Für den Verteidiger notwendig und verantwortbar. *Informatik Spektrum*, 10, S. 11–23
- HOFSTADTER, D. R. (1988). *Metamagicum: Fragen nach der Essenz von Geist und Struktur*. Stuttgart: Klett-Cotta (Original: Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Patterns. New York 1985: Basic Books)
- HSU, F., T. ANANTHARAMAN, M. CAMPBELL & A. NOWATZKY (1990). Eine Maschine als Schach-Großmeister. *Spektrum der Wissenschaft*, 12/1990, S. 94–101
- IRRGANG, B. & J. KLAWITTER (1990). Künstliche Intelligenz: Technologischer Traum oder gesellschaftliches Trauma? In: dies., *Künstliche Intelligenz* (S. 7–54). Stuttgart: Hirzel, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
- JOHN, J. & R. ENGELBRECHT (1989). Risks and Opportunities of Expert Systems in Medicine — Results from a Technology Assessment Follow-up Study. In: K. Brunnstein, S. Fischer-Hübner & R. Engelbrecht (Hrsg.), *Opportunities and Risks of Artificial Intelligence Systems (ORAI 89)*. *Proceedings* (S. 58–62). (Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Juli 1991)
- KAIL, R. & J. W. PELLEGRINO (1988). *Menschliche Intelligenz*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft (Original: Human Intelligence, New York und Oxford 1985: Freeman)
- KEIL-SLAWIK, R. (1985). Militärtechnologische Interessen und Computerentwicklung. *LOG IN*, 4/1985, S. 18–24
- KEIL-SLAWIK, R. (1990). Das kognitive Schlachtfeld. In: B. Irrgang & J. Klawitter (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz* (S. 79–97). Stuttgart: Hirzel, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft

- KRÄMER, S. (1988). *Symbolische Maschinen: Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriß*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- KURZWEIL, R. (1993). *KI: das Zeitalter der Künstlichen Intelligenz*. München, Wien: Hanser (Original: *The Age of Intelligent Machines*, Massachusetts Institute of Technology, 1990, 1992)
- LASKE, O. E. (1989). Ungelöste Probleme bei der Wissensakquisition für wissensbasierte Systeme. *KI*, 4/1989, S. 4–12
- LENAT, D. B. (1984). Software für Künstliche Intelligenz. *Spektrum der Wissenschaft*, 11/1984, S. 178–189
- LINDNER, R., B. WOHAK & H. ZELTWANGER (1984). *Planen, Entscheiden, Herrschen: Vom Rechnen zur elektronischen Datenverarbeitung*. Reinbek: Rowohlt
- LUFT, A. L. (1988). Was wissen Wissensingenieure? *Computer Magazin*, 4/1988, S. 12–15
- LUTZ, B. & M. MOLDASCHL (1989). *Expertensysteme und industrielle Facharbeit: ein Gutachten über denkbare qualifikatorische Auswirkungen von Expertensystemen in der fertigen Industrie* Frankfurt/Main, New York: Campus
- MALSCH, T. (1991). Expertensysteme in der Krise: Kinderkrankheiten oder frühteilige Vergreisung? *KI*, 3/1991, S. 70–74
- MCCORDUCK, P. (1987). *Denkmaschinen: Die Geschichte der künstlichen Intelligenz*. Haar: Markt & Technik (Original: *Machines who think*, San Francisco 1979: Freeman)
- MOHNHAUPT, M. & K. REHKÄMPER (1990). Gedanken zu einer neuen Theorie der Kognition. *Kognitionswissenschaft*, 1, S. 36–45
- MORAVEC, H. (1990). *Mind children: Der Wettlauf zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz*. Hamburg: Hoffmann und Campe (Original: *Mind Children. The Future of Robot and Human Intelligence*, Cambridge, Massachusetts 1988: Harvard University Press)
- NDR (1991). *Eine Maschine verändert die Welt*. Folge 4
- NEUMANN, B. (1990). *Künstliche Intelligenz — Anwendungen und Grenzen*. Labor für Künstliche Intelligenz, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg (LKI-M-2/90)
- NOWITZKE, U. & S. EHRMANN (1992). Matt durch MIPS: Schachrechner Deep Thought fordert die Weltelite heraus. *c't*, 3/1992, S. 38–47
- OBERLIESEN, R. (1982). *Information, Daten und Signale: Geschichte technischer Informationsverarbeitung*. Reinbek: Rowohlt
- PARNAS, D. L. (1986). Software Wars: ein offener Brief. *Kursbuch* 83, S. 49–69
- PARNAS, D. L. (1987). Warum ich an SDI nicht mitarbeite: Eine Auffassung beruflicher Verantwortung. *Informatik Spektrum*, 10, S. 3–10
- PSYCHOLOGIE HEUTE [HRSG.] (1987a). Intelligenz — gibt's die? Ein Gespräch mit Ulric Neisser. In: dies., *Wenn du denkst ... Thema: Intelligenz* (S. 67–81). Weinheim und Basel: Beltz
- PSYCHOLOGIE HEUTE [HRSG.] (1987b). Sieben Wege, an die Welt heranzugehen. Ein Gespräch mit Howard Gardner. In: dies., *Wenn du denkst ... Thema: Intelligenz* (S. 83–108). Weinheim und Basel: Beltz
- PUPPE, F. (1987). Diagnostik-Expertensysteme. *Informatik Spektrum*, 10, S. 293–308
- PUPPE, F., B. PUPPE & R. GROSS (1992). Lehrbuch/Expertensystem-Kombination für die medizinische Ausbildung. *Deutsches Ärzteblatt*, 89, S. C-702–705 (Heft 14/1992, A₁-1247–1253)

- RETTI, J. [HRSG.] (1986). *Artificial Intelligence — Eine Einführung*. Stuttgart: Teubner (Leitfäden der angewandten Informatik, 2., überarbeitete Auflage)
- RITCHIE, D. (1984). *Gehirn und Computer: Die Evolution einer neuen Intelligenz*. Stuttgart: Klett-Cotta (Original: *The Binary Brain. Artificial Intelligence in the Age of Electronics*, Boston/Toronto 1984: Little, Brown and Co.)
- ROSE, F. (1986). *Ins Herz des Verstandes: Auf der Suche nach der Künstlichen Intelligenz*. Reinbek: Rowohlt (Original: *Into the Heart of the Mind*, New York 1984: Harper & Row)
- RUNKEL, W. (1990). Brutaler Brüter. *Zeitmagazin*, 12/1990, S. 92–99
- SAND, S. (1986). *Künstliche Intelligenz: Geschichten über Menschen und denkende Maschinen*. München: Heyne
- SAVORY, S. E. (1989). The Expert Systems Vision: Reality vs. the Hype. In: K. Brunnstein, S. Fischer-Hübner & R. Engelbrecht (Hrsg.), *Opportunities and Risks of Artificial Intelligence Systems (ORAIS 89). Proceedings* (S. 43–57). (Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Juli 1991)
- SCHANK, R. C. & P. G. CHILDERS (1986). *Die Zukunft der Künstlichen Intelligenz: Chancen und Risiken*. Köln: DuMont (Original: *The Cognitive Computer: on Language, Learning, and Artificial Intelligence*. Reading, MA 1984: Addison Wesley)
- SCHEFE, P. (1990). Gibt es eine sozialorientierte KI? *KI*, 4/1990, S. 5–12
- SCHEFE, P. (1991). *Künstliche Intelligenz — Überblick und Grundlagen: grundlegende Methoden zur Realisierung von Systemen der künstlichen Intelligenz*. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut (Reihe Informatik, Band 53, 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage)
- SCHMIDT, J. [HRSG.] (1992). *Denken und denken lassen: Künstliche Intelligenz — Möglichkeiten, Folgen, Herausforderung* — Neuwied: Luchterhand
- SCHULT, T. J. (1992). Orientierung am Konkreten: Expertensysteme mit Gedächtnis. *c't*, 4/1992, S. 84–87
- SCHWABE, G., D. DOLINSKY & H. KRCMAR (1990). Umfragerrgebnisse zum Einsatzstand von Expertensystemen in Banken. *KI*, 3/1990, S. 59–63
- SEARLE, J. R. (1990). Ist der menschliche Geist ein Computerprogramm? *Spektrum der Wissenschaft*, 3/1990, S. 40–47
- SEETZEN, J. & R. STRANSFELD (1989). *Perspektiven der Expertensystemanwendungen und Begründung für eine Technikfolgenabschätzung*. (Schrift des VDI/VDE Technologiezentrums Informationstechnik, Berlin)
- SIEKMANN, J. H. (1992). Künstliche Intelligenz. In: J. Schmidt (Hrsg.), *Denken und denken lassen: Künstliche Intelligenz — Möglichkeiten, Folgen, Herausforderung* — (S. 57–88). Neuwied: Luchterhand
- SNOW, C. P. (1987). Die zwei Kulturen. In: H. Kreuzer (Hrsg.), *Die zwei Kulturen: Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. C. P. Snows These in der Diskussion* (S. 19–58). München: dtv
- STACH, H. (1992). Künstliche Intelligenz — schon wieder? *Wechselwirkung*, Nr. 55, S. 35–39
- STEDE, M. (1987). *Einführung in die künstliche Intelligenz: methodische Grundlagen und Anwendungsgebiete*. Hannover: Heise
- STEFANELLI, M. (1989). AI in Medicine. In: K. Brunnstein, S. Fischer-Hübner & R. Engelbrecht (Hrsg.), *Opportunities and Risks of Artificial Intelligence Systems (ORAIS 89). Proceedings* (S. 72–103). (Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Juli 1991)

- STEVENS, L. (1985). *Auf der Suche nach der künstlichen Intelligenz: Wege zur perfekten Maschine*. Landsberg a. L.: moderne verlagsgesellschaft (Original: Artificial Intelligence — the Search for the Perfect Machine, 1985, Hayden Book Co.)
- STRANSFELD, R. [HRSG.] (1991). „Das Menschenbild in der Künstlichen Intelligenz“. *Diskurs-Protokoll zur Technikfolgenabschätzung der Informationstechnik* (Schrift des VDI/VDE-Technologiezentrums Informationstechnik, Berlin)
- TICHY, M. & E. MARTENS (1986). *Computer-Denken*. Hannover: Schroedel (Forum Philosophie)
- TURING, A. M. (1987b). Rechenmaschinen und Intelligenz. In: B. Dotzler & F. Kittler (Hrsg.), *Alan Turing: Intelligence Service* (S. 147–182). Berlin: Brinkmann & Bose (Original: Computing Machinery and Intelligence, Mind 59, 1950)
- TURING, A. M. (1987c). Spielprogramme. In: B. Dotzler & F. Kittler (Hrsg.), *Alan Turing: Intelligence Service* (S. 115–145). Berlin: Brinkmann & Bose (Original: Digital Computers Applied to Games, in: B. V. Bowden (Hrsg.), *Faster than Thought*, London 1953)
- TURKLE, S. (1984). *Die Wunschmaschine: Vom Entstehen der Computerkultur*. Reinbek: Rowohlt (Original: The Second Self: Computers and the Human Spirit, New York 1984: Simon and Schuster)
- VOLLMER, G. (1990). Algorithmen als Denkzeuge. In: B. Irrgang & J. Klawitter (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz* (S. 145–163). Stuttgart: Hirzel, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft
- VOLLMER, G. (1991). Denkzeuge: Was sind und was können Algorithmen? In: E. P. Fischer (Hrsg.), *Mannheimer Forum 90/91. Ein Panorama der Naturwissenschaften* (S. 15–78). München: Piper
- VOLLMER, G. (1992). Gehirn und Computer als Denkmaschinen. *Information Philosophie*, 1/1992, S. 5–15
- WEIZENBAUM, J. (1977). *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp (Original: Computer Power and Human Reason. From Judgement to Calculation, 1976, Freeman a. Co.)
- WEIZENBAUM, J. (1984). *Kurs auf den Eisberg oder nur das Wunder wird uns retten, sagt der Computerexperte*. Zürich: pendo
- WEIZENBAUM, J. (1990). *Künstliche Intelligenz als Endlösung der Menschenfrage*. Klagenfurter Beiträge zur Technikdiskussion, Heft 32
- WEIZENBAUM, J. (1991). Wider enthemmter Forschung. *Chip Professional: Programmieren*, 13, S. 49–55 (Vortrag auf dem European Software Festival 1991, München)
- WEIZENBAUM, J. (1993). *Wer erfindet die Computermythen? Der Fortschritt in den großen Irrtum*. Freiburg: Herder (Herausgegeben von Gunna Wendt)
- WINOGRAD, T. & F. FLORES (1989). *Erkenntnis Maschinen Verstehen: zur Neugestaltung von Computersystemen*. Berlin: Rotbuch (Original: Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design, Norwood, NJ 1986: Ablex)
- WINSTON, P. H. (1987). *Künstliche Intelligenz*. Bonn: Addison-Wesley (Original: Artificial Intelligence, 1984)

Können Computer denken?

„Künstliche Intelligenz“ als Thema
für einen fächerübergreifenden Unterricht

Teil I: KI – Mythos und Technik

Fachreferenten:	Dr. Uwe Heinrichs Ulrich Polzin	Amt für Schule S 13 Amt für Schule S 13/33
Verfasser:	Reinhard Golecki	Gymnasium Klosterschule