

Cogitandum igitur unice est, quanam ratione Organon aliquod paretur menti, quale est dioptra et funiculus mensori, libra docimastae, numerus Mathematico, vel quale est Telescopium oculo, quo scilicet non tantum dirigamur in iudicando, sed et ad inveniendum promoveamur.

Es ist also vor allem zu bedenken, wie man dem Geist ein Instrument verschafft, wie es das Visiergerät und die Schnur für den Feldmesser, die Waage für den Scheidekünstler, die Zahl für den Mathematiker oder das Fernglas für das Auge sind; dadurch werden wir nämlich nicht nur beim Beurteilen geleitet, sondern auch zum Erfinden angeleitet.

(G.W. Leibniz: Elementa Rationis. 1686)

Künstliche Intelligenz und Wissenschaftspraxis

Ein Orientierungsversuch

Martin Schneider*

Teil I

- I. Künstliche Intelligenz: Programmatik — Terminus — Definition — Gegenstandsbereich
- II. Formen der Wissenschaftspraxis
- III. Formen der Wissenschaftspraxis und Techniken der Künstlichen Intelligenz
 - 1. Nicht-sprachlicher, wahrnehmungsorientierter Wissenserwerb
- (Fortsetzung:
 - 2. Wissensfixierung und Wissensdistribution
 - 3. Wissensverarbeitung
 - a. Textverarbeitung und Information Retrieval
 - b. Konzeptuelle Graphen und semantische Netze
 - 4. Wissensbegründung
 - a. Automatische Theorem-Beweiser
 - b. Expertensysteme
- IV. Ausblick: Wissenschaftsverständnis und Künstliche Intelligenz)

I. Künstliche Intelligenz: Programmatik — Terminus — Definition — Gegenstandsbereich

Die ersten programmatischen Äußerungen zum Problem der Künstlichen Intelligenz werden i.a. dem englischen Mathematiker Alan M. Turing zugeschrieben, der 1950 in seinem bereits klassisch gewordenen Aufsatz „Computing Machinery and Intelligence“¹ die provokative Frage stellte „Können Maschinen denken?“. Zwecks Überprüfung dieser Frage schlug er eine in einem behavioristischen Sinn reduzierte Modalität, das sog. „imitation game“, d.h. ein Frage-Antwort-Spiel, vor, und behauptete, ein Computer könne in diesem Spiel das sprachliche Antwort-Verhalten eines der Antwortenden so simulieren, daß der Fragesteller dies von einem menschlichen Verhalten nicht unterscheiden könne. Nach der Erörterung einer Reihe von theoretisch möglichen Gegenpositionen verallgemeinerte

Turing seine These und gelangte zu einer vorsichtig positiven Beantwortung der Frage.

Die hierauf im englischsprachigen Raum einsetzende Diskussion dieser Problematik führte anfangs — besonders angesichts der Turings Erwartungen noch weit übertreffenden Entwicklung im Bereich der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) — zu euphorischen Prognosen über die Leistungsfähigkeit moderner Rechenmaschinen, ohne daß man sich dabei immer der Einschränkung, die Turing für diese Frage noch explizit formuliert hatte, bewußt blieb. Im Zuge dieser ersten Begeisterung ist der Terminus „Artificial Intelligence“ in den 50er Jahren entstanden. Man pflegt seine Entstehung auf John McCarthy, den Begründer der Programmiersprache LISP, zurückzuführen². Der Terminus, lange Zeit auch im deutschen Sprachraum nur in englischer Version üblich, ist mittlerweile auch in der entsprechenden deutschen Version geläufig geworden.

Bei einer so jungen Problemstellung, wie sie mit dem Namen „Künstliche Intelligenz“ verbunden ist, finden sich naturgemäß noch keine gefestigten oder verbindlich gewordenen Definitionen vor. Sie schwanken je nach Betonung der beiden Bezeichnungskomponenten zwischen mehr technologischer Orientierung am Aspekt des „intelligenten“ *Artefakts* oder mehr kognitiv-psychologischer Orientierung am Aspekt einer allgemeinen, d.h. trägerneutralen Theorie der *Intelligenz*.

* Dr. Martin Schneider ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Leibniz-Forschungsstelle (Münster). Er hat früher an einem Projekt der Universität Konstanz über Interrogativlogik und automatische Fragebeantwortung mitgearbeitet.

(1) In: Mind 59, 10 (1950), S. 433–60.

(2) S. Herberger, Maximilian: im Editorial von IuR, 1987, Nr.4, S. 127. Vgl. MacCorduck, Pamela: Machines Who Think. A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence. San Francisco 1979.

Feigenbaum und Feldman bezeichnen 1963 als Ziel der Künstlichen Intelligenz (KI), „Computer-Programme zu entwerfen, welche ein Verhalten zeigen, das wir 'intelligentes Verhalten' nennen, wenn wir es bei Menschen beobachten.“³ Ähnlich lautet Marvin Minskys gern zitierte Definition der KI als „Wissenschaft, Maschinen Dinge tun zu lassen, die Intelligenz erfordern würden, wenn sie von Menschen getan würden“⁴.

Dem stehen Explikationen gegenüber wie die von P. Winston, für den es u.a. das Ziel der KI ist, „die Prinzipien zu verstehen, die Intelligenz möglich machen“⁵, oder die von Michie, für den KI die „Entwicklung einer systematischen Theorie intellektueller Prozesse, wo immer sie vorkommen“⁶, ist, oder schließlich die von P. Hayes, der KI kurz als „study of intelligence as computation“ umschreibt.⁷

Eine z.T. vermittelnde Position nimmt Margaret Boden ein, die in Auseinandersetzung mit einigen der hier wiedergegebenen definitiven Umschreibungen zu der folgenden eigenen Definition gelangt: „Künstliche Intelligenz ist nicht das Studium von Computern, sondern von Intelligenz im Denken oder Handeln. Computer sind ihre Werkzeuge, weil ihre Theorien als Computerprogramme formuliert sind, welche Maschinen befähigen, Dinge zu tun, die Intelligenz erfordern würden, wenn sie von Menschen getan würden.“⁸

Will man über diese relativ abstrakten und inhaltlich noch wenig aussagekräftigen Versuche der Begriffsklärung einer sich gerade erst konstituierenden Disziplin wie der KI hinausgehen, so dürfte es vielleicht informativer sein, den mit dem Namen „KI“ verbundenen Wissenschaftsbetrieb zu betrachten und sich die Problembereiche zu vergegenwärtigen, die dort faktisch abgehandelt werden. Englische Fachzeitschriften zur KI gibt es bereits seit den 70er⁹, deutsche seit den 80er Jahren¹⁰. Es haben sich in Europa inzwischen verschiedene nationale Gesellschaften für KI bzw. AI gebildet, so im deutschsprachigen Raum die ÖGAI (Österreichische Gesellschaft für Artificial Intelligence; Herausgeberin der gerade angeführten Zeitschrift), welche sich 1982 in einem europäischen Koordinationskomitee (dem ECCAI: European Coordinating Committee for Artificial Intelligence) zusammengeschlossen haben. Eine Vielzahl von Tagungen und „workshops“ beschäftigt sich mit Themenbereichen der KI. Auf internationaler Ebene findet seit 1969 alle 2 Jahre die „International joint conference on artificial intelligence“ (IJCAI) statt. Auch im Universitätsbereich hat sich die neue Disziplin mittlerweile so weit etabliert, daß Vorlesungen zu diesem Thema abgehalten werden.

Betrachtet man — insbesondere der Laie im Gebiet der Informatik — die Vielzahl und Vielfältigkeit der in solchen Organen und auf solchen Konferenzen behandelten Themen, so stellt sich zwar zunächst — noch verstärkt durch den oft mehr mystifizierenden als aufklärenden Gebrauch englischer Bezeichnungen in diesem Gebiet — eher Verwirrung ein als Orientierung. Aber ein gewisser Querschnitt der Tätigkeitsbereiche und Problemkomplexe läßt sich gleichwohl herausfil-

tern. Die erste Vorlesung, die in der Bundesrepublik Deutschland auf Video-Kassetten aufgezeichnet wurde¹¹, hat die KI zum Thema und unterteilt diese in die fünf Teilgebiete:

- Schließen und Folgern
- Planen
- Sprache
- Sehen
- Glauben und Fühlen.

Das kleine terminologisch orientierte „AI-Dictionary“, das Ernst Buchberger 1987 in einer Schriftenreihe der ÖGAI herausgegeben hat¹², unterscheidet die acht Bereiche:

- Automatisches Beweisen
- Cognitive Science
- Expertensysteme
- Heuristische Suche und Planen
- Lernen
- Sprachverstehende Systeme
- Vision und Robotics
- Wissensrepräsentation.

Für die im August dieses Jahres in Mailand stattfindende zehnte IJCAI sind folgende acht „topic areas“ vorgesehen:

- Architecture and Languages (including logic programming, user interface technology)
- Reasoning (including theorem proving, planning, explaining)
- Knowledge Acquisition and Learning (including knowledge-base maintenance)
- Knowledge Representation (including task domain analysis)
- Cognitive Modelling
- Natural Language Understanding
- Perceptual and Signal Understanding (including speech, vision, data interpretation)
- Robotics.

Bereits dieser summarische und nur grob klassifizierende Überblick zeigt den interdisziplinären, fächerverbindenden Charakter der KI. Offensichtlich findet im

(3) Feigenbaum, Edward A. und Feldman, Julian (Ed.): Computers and Thought. New York 1963, S. 3.

(4) Minsky, Marvin L. (Ed.): Semantic Information Processing. Cambridge / Mass. 1968. Nach Boden, Margaret: Artificial Intelligence and Natural Man. Hassocks, Sussex 1979. S. 4.

(5) Winston, P.: Artificial Intelligence. Reading / MA 21984. Nach Ringle, Martin: Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence. Brighton, Sussex 1979. S. 10.

(6) Michie, Donald: On Machine Intelligence. Edinburgh 1974. S. 156.

(7) P. Hayes: Some Comments on Sir James Lighthill's Report on Artificial Intelligence. In: AISB [Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour] Study Group European Newsletter, Issue 14 (July 1973), S. 40.

(8) M. Boden: Artificial Intelligence and Natural Man. Hassocks, Sussex 1977. Vorwort.

(9) So das Journal „Artificial Intelligence“ seit 1970.

(10) So das ÖGAI-Journal seit 1982.

(11) Autor: J. Siekmann, vertrieben von der Universität-Gesamthochschule Duisburg; vgl. ÖGAI-Journal 5 (1986) Nr. 2, S. 14.

(12) Buchberger, Ernst (Ed.): AI-Dictionary. Die Begriffswelt der Wissensverarbeitung und Künstlichen Intelligenz. Wiesbaden 1987.

Bereich der KI eine neue Besinnung auf die Struktur von Sprachen, methodische Verfahren, wissenschaftstheoretische Begründungen und erkenntnistheoretische Prozesse statt, also auf Gegenstandsbereiche, die bisher traditionellen Disziplinen wie etwa Philosophie (hier vor allem Erkenntnis-, Wissenschaftstheorie, Logik), Psychologie und Sprachwissenschaft oder Linguistik zugewiesen waren. Denn auch der Logiker befaßt sich mit Schlüssen, Folgerungen und Beweisen; auch der kognitive Psychologe und der Erkenntnistheoretiker beschäftigen sich mit Denken und Wahrnehmen, allgemein mit der Entwicklung von Erkenntnismodellen und mit der Frage der Lernfähigkeit; auch der Wissenschaftstheoretiker bemüht sich um die Entwicklung angemessener Methoden für wissenschaftliches Planen und Suchen sowie um die Begründung von Wissen und Wissenssystemen; und auch der Sprachwissenschaftler bzw. Linguist untersucht Sprachen und deren Semantik. Wie so oft bei der Entstehung neuer Wissenschaften ist es auch bei der KI: Nicht ein neuer Gegenstandsbereich ist für sie kennzeichnend, sondern die neue Zusammenschau von ursprünglich in anderen Wissenschaften beheimateten Problemen unter einer neuen Perspektive: Diese Perspektive hat dabei einerseits einen mehr technologischen Aspekt, der sich auf die Frage nach der Simulierbarkeit menschlicher Denk-, Wahrnehmungs-, Sprach-, Beweis-, Begründungsleistungen durch Maschinen bezieht, andererseits einen mehr wissenschaftstheoretischen, der die Forderung nach einer durchgängigen Beschreibung solcher Phänomene durch formale Prozeduren stellt. Dem trägt die zehnte IJCAI dadurch Rechnung, daß sie für alle gerade genannten Problembereiche zwei verschiedene Aspekte (tracks) ansetzt, „science“ und „engineering“.

Diese neue Blickrichtung der KI hat zwar auch bereits zu einer gewissen Grundlagendiskussion innerhalb dieser Disziplin geführt (etwa im Bereich der Automatentheorie, Cognitive Science oder Computersemantik)¹³, aber ihre Innovationskraft und Flexibilität bezieht die KI wohl weniger aus theoretischen Grundsatzdiskussionen als aus ihrem Bemühen um praktische Bewältigung konkreter Probleme der verschiedensten Wissensbereiche. Dieser praxis- und anwendungsorientierte Aspekt der KI ist es, der sie als heuristische Disziplin für die anderen Wissenschaften prädestiniert und die Vielgestaltigkeit und Interdisziplinarität ihrer Themen und Problemstellungen begründet, gleichzeitig aber auch eine Orientierung unter den zahlreichen neuen in der KI benutzten Verfahren und methodischen Ansätze erforderlich macht.

Es liegt also nahe, nach den Beziehungen zwischen KI und wissenschaftlicher Praxis zu fragen, einerseits danach, ob und inwiefern ein neues Instrumentarium, wie es die KI mit dem Computer bereitstellt, Folgen zeitigen kann für neue Verfahren der Wissenschaftspraxis, andererseits danach, wie die neuen Techniken in den Gesamtzusammenhang der Wissenschaftspraxis einzuordnen sind.

II. Formen der Wissenschaftspraxis

Es soll hier nicht auf das vieldiskutierte Verhältnis zwischen Theorie und Praxis eingegangen werden. Eine theorielose wissenschaftliche Praxis gibt es nicht. Aber die konkrete Praxis in den Einzelwissenschaften vollzieht sich weitgehend ohne bewußte, systematische Diskussion eines Methodenkonzepts. Gewöhnlich werden Methoden ererbt, unreflektiert benutzt und weitervermletelt oder allenfalls problembezogen reflektiert, jedoch ohne eine systematische Reflexion über Sinnhaftigkeit, Relevanz und Tragweite dieser Methoden. Es soll hier daher zunächst eine nüchterne, Methodologiekonzeption und Wissenschaftstheorien vorgelagerte Bestandsaufnahme der praktischen Tätigkeiten des Wissenschaftlers vorgenommen werden, zumal sich von hier aus am ehesten ein Zugang zu den neuen von der KI entwickelten Techniken gewinnen läßt. Erst abschließend soll dann nach gewissen Implikationen für eine wissenschaftstheoretische Methodenreflexion und das Wissenschaftsverständnis gefragt werden. Es wäre dabei in diesem Rahmen kaum sinnvoll und möglich, die wissenschaftlichen Praktiken vollständig aufzählen und beschreiben zu wollen, vielmehr soll es um eine formale, fächerübergreifende Bestandsaufnahme unter systematisch-strukturellen Gesichtspunkten gehen, die sich nicht an den zufälligen Verfahren einer bestimmten Wissenschaft orientiert.

Betrachtet man die Wissenschaften generell als Wissensgewinnungs- und Wissensverwaltungsapparate, so lassen sich die verschiedenen Formen der wissenschaftlichen Praktiken — auch ohne daß man für eine bestimmte wissenschaftstheoretische oder methodologische Konzeption Partei ergreift — als Formen des Umgangs mit Wissen auffassen und unter diesem Aspekt ordnen.

Wir finden in allen Wissenschaften zunächst bestimmte Formen des *Wissenserwerbs* vor. Dieses individuell oder kollektiv erworbene Wissen dient nicht nur der Befriedigung des Wissensdurstes oder der Neugierde des wissenschaftlichen Forschers¹⁴, sondern auch praktischen Zwecken der Lebensbewältigung. Von da aus liegt das Bedürfnis nach Fixierung und Sammlung einmal erworbenen Wissens nahe, ja erscheint notwendig. Schon der einzelne Forscher muß — will er nicht erinnerungsbedingte Wissensverluste hinnehmen — einmal erworbenes Wissen festhalten, fixieren, um so mehr der Forscher, der zukünftigen Generationen den Neuerwerb alten Wissensbestandes ersparen will. D.h. die Wissenschaft hat es auch mit bestimmten Formen der *Wissenskonservierung* bzw. *Wissensfixierung* zu tun. Soll das aufbewahrte Wissen nicht „totes Kapital“ sein, so muß für seine Wirkungsmög-

(13) Vgl. Minsky, Marvin L.: *Computation: Finite and Infinite Machines*. Englewood Cliffs, N. J. 1967. Herschel, Rudolf: *Einführung in die Theorie der Automaten, Sprachen und Algorithmen*. München, Wien 1974.

(14) Aristoteles bestimmte als das Urmotiv für das philosophische Forschen das (neugierige) Staunen: *Metaphysik I 2*, 982 b 12.

lichkeit gesorgt sein, d.h. das festgehaltene Wissen muß mögliche Rezipienten der eigenen oder einer späteren Forschergeneration erreichen können bzw. auch dem einzelnen Forscher wieder neu zugänglich werden können. Insofern bedarf es gewisser Techniken der *Wissensdistribution*. Mit einer mosaikartigen Sammlung, Aufbewahrung und Verteilung von Wissen ist es aber nicht getan. Denn neues Wissen entsteht nicht unabhängig vom bisherigen Wissen, sondern die Wissenserwerbsformen sind abhängig von Anordnung, Akzentuierung und Klassifizierung des bisherigen Wissensbestandes, kurz von bestimmten Formen der Wissensorganisation oder des Wissensverbundes. Das macht bestimmte Praktiken der *Wissensbearbeitung* oder *Wissensverarbeitung* erforderlich. Wissen geht letzten Endes aus der individuellen Tätigkeit des Einzelforschers hervor, mag sie auch durch kollektive Bemühungen unterstützt sein. Individuell verschiedene Sehweisen, Akzentuierungen, Aufmerksamkeitsverteilungen u.ä. können zu Wissenskollisionen führen bzw. zu einem Wettstreit zwischen unverträglichen Wissensdaten. Dies führt zu Formen oder Praktiken der *Wissensbegründung*, Instanzen der Entscheidung darüber, was die Forschergemeinschaft als Wissensbestand akzeptiert bzw. gelten läßt. Solche Wissensbegründungstechniken beantworten aber noch nicht eine letzte Frage, nämlich die: warum Wissen überhaupt erworben, aufbewahrt, verbreitet, bearbeitet, begründet wird bzw. warum ein konkretes Wissensfaktum solchen Verfahren unterworfen wird, also die Frage nach dem Sinn oder Wert des Wissens. Es sind daher schließlich auch Formen der *Wissensrechtfertigung* geboten.

III. Formen der Wissenschaftspraxis und Techniken der Künstlichen Intelligenz

Diese Praktiken oder Techniken des Erwerbs, der Fixierung, der Distribution, der Bearbeitung, der Begründung und der Rechtfertigung von Wissen finden sich in allen Wissenschaften in verschiedenster Weise realisiert; sie sind im gerade erörterten Sinn gewissermaßen noch vor aller Theorie der Erkenntnis, der Methode, der Wissenschaft aus den praktischen Bedürfnissen des Umgangs und der Handhabung von Wissen hervorgegangen. Diese Praktiken sollen im folgenden näher untersucht werden, um an diesem Leitfadensfunktion, Leistungsfähigkeit und Bedeutung von Techniken der KI für die wissenschaftliche Praxis zu beleuchten. Im Sinne unserer systematischen Intention sollen dabei diese Praxisformen möglichst allgemein und generell (die Einzelwissenschaften übergreifend) dargestellt werden, mit nur gelegentlichen Hinweisen auf Einzelwissenschaften. Wir folgen dabei der eben erläuterten strukturellen „Hierarchie“ der Formen der Wissenschaftspraxis.

1. Nicht-sprachlicher, wahrnehmungsorientierter Wissenserwerb

Die originären Formen des menschlichen Wissenserwerbs ergeben sich aus den dem Menschen eigenen

Organen zur Erkenntnisgewinnung: Sinnes- und Denkkapparat. Wissen entsteht ursprünglich immer durch Beobachtung mittels der Sinne und Bedenken des so gewonnenen Datenmaterials. Da wir uns hier möglichst aller richtungsgebundenen Theorie über Wissenschaft, Methode oder Erkenntnis enthalten wollen, soll uns hier etwa die Kantische Frage nach der Beziehung zwischen Anschauung und Denken, d.h. nach der Struktur bestimmter beim Wissenserwerb nötiger Erkenntnisformen nicht interessieren. Jedenfalls sind Beobachtung (sei es als Fremd- bzw. Umwelt- oder als Selbstbeobachtung) und Denken (im Sinne des Strukturierens von Sinnesdaten) wohl die ersten und ursprünglichen Mittel der Erkenntnis- oder Wissensgewinnung.

Die zunächst mehr oder weniger naive, d.h. ungeordnete, ziellose Welt- und Selbstbeobachtung wird überall in den Wissenschaften noch angewandt, ist aber im Laufe der Menschheits- und Wissenschaftsgeschichte zu der Praxis der geordneten, zweckvoll angestellten Beobachtung entwickelt worden: dem Experiment und der systematischen Befragung bzw. dem Test. In den Naturwissenschaften führt die systematisch angestellte Beobachtung zur künstlichen Herstellung und zur Auswertung wiederholbarer Naturvorgänge im Experiment; in den Sozialwissenschaften führt die Beobachtung von Handlungsabläufen oder Ereignisfolgen zu den systematischen, geordneten und zielgerichteten Beobachtungsstrategien der Befragung, des Interviews und des Tests; und auch in den textorientierten Wissenschaften ist die sammelnde Beobachtung und das gezielte Durchsuchen von Texten oder Quellen ein wesentliches Merkmal der Textauslegung.

Beobachtungen — sei es als Experimente oder Befragungen oder Textanalysen — werden nun in allen Wissenschaften (und erst dann kann zu Recht von Wissenschaft, d.h. rational verwaltetem und beherrschtem Wissen gesprochen werden) bestimmten Formen der denkenden Strukturierung unterworfen: es ist dies *zum einen* die assoziative Verknüpfung und induktive Verallgemeinerung, d.h. die Zusammenfassung vieler Beobachtungen zu einer Erkenntnis, die zu einer mehr oder weniger sicheren (wahrscheinlichen) Gesetzmäßigkeit führt, beziehe sie sich nun auf prinzipiell wiederholbare Vorgänge der Natur oder auf singuläre Vorkommnisse von handelnden Individuen. Wiederum seien hier Theorien wie die Leibnizsche unberücksichtigt gelassen, die eine solche Differenzierung in einem letzten philosophischen Sinne ablehnen, und nur Unwiederholbares, Singuläres, Individuelles in den Weltvorgängen zulassen. Durch assoziative Verknüpfungen und induktive Verallgemeinerungen findet der Naturwissenschaftler die Naturgesetze; der Literaturwissenschaftler gelangt so zu seinen Thesen über die Bedeutung und Gewichtung von Textelementen wie Metaphern, Bildern oder Begriffen; der Rechtswissenschaftler entwirft auf diese Weise seine Begriffe und legt seine Texte und Quellen aus. Auch hier soll damit jedoch nicht eine bestimmte Theorie von der Entstehung aller Naturgesetze (so z.B. des Kausalgesetzes) aus

solchen induktiv verallgemeinerten, assoziierten Beobachtungen behauptet werden, wie sie bekanntlich Hume vertrat. *Zum andern* treten als Formen (be)denkender Strukturierung und Verarbeitung von beobachtetem Datenmaterial bzw. auch als kontrollierende Instanz für die Durchführung, Anordnung und Assoziierbarkeit von beobachteten Daten schließlich irgendwelche Formen des folgernden Beurteilens oder auch Ausschöpfens des vorhandenen Wissensmaterials auf, also bestimmte Formen der Deduktion.

Setzt man den Sprachbesitz als im Laufe der biologischen Evolution erworbenes Konstituens des Menschen voraus, so können sich solche Beobachtungs- und Denkakte auf Sprachliches wie auf Nicht-Sprachliches beziehen. Als ursprüngliche Erkenntnisgewinnungsstrategie darf man jedoch wohl die Beobachtung und denkende Verarbeitung des nicht-sprachlichen Bereichs ansehen, auf den wir uns in diesem Abschnitt weitgehend beschränken. Philosophische Theorien wie die Wittgensteinsche, die das sprachlose Denken ablehnen, seien hier wiederum außer acht gelassen.

Da die hier dem Denken zugewiesenen Tätigkeiten der Induktion und Deduktion auch spezielle Praktiken der Wissenverarbeitung und -begründung darstellen, soll auf sie erst dort näher eingegangen und erst dort die Bedeutung der KI für sie erörtert werden.

Ebenfalls außer Betracht bleiben soll weitgehend der reflexive Charakter der Wissensgewinnung. Der Wissenserwerb muß nicht in dem hier fingierten ursprünglichen Sinn ablaufen, sondern kann sich (wie schon rudimentär bei der verstandesmäßigen Bearbeitung des Beobachtungsmaterials durch induktive oder deduktive Techniken) auch auf bereits erworbenes oder fixiertes Wissen bzw. Praktiken des Erwerbs oder der Konservierung von Wissen selber beziehen, ebenfalls auf Praktiken der Vertiefung, Verarbeitung und Begründung von Wissen, schließlich auf die Wissensrechtfertigungspraxis. Lediglich die Wissensgewinnungspraktiken, die sich auf gleichsam höherer Stufe an bereits fixiertem Wissen vollziehen, werden später behandelt, weil sie gleichzeitig Verarbeitungs- oder Begründungsformen des Wissens sind.

Unsere Frage richtet sich also zunächst auf die Bedeutung der KI für die ursprüngliche nicht-sprachliche, wahrnehmungsorientierte Wissenserwerbspraxis durch Beobachtung, wie sie sich als sensuelle Welt- und Naturerfassung oder in der systematischen Form des Experiments manifestiert.

Nicht Beschleunigung oder Vermehrung der Datenaufnahme sind die entscheidenden Gesichtspunkte, die zum Terminus „KI“ im Bereich der beobachtenden Wahrnehmung Anlaß gegeben haben: Weder Teleskop noch Mikroskop noch Infra-Rot-Kamera führten etwa zum Begriff des „künstlichen Sehens“. Noch sind es relative Menschenunabhängigkeit bei Datenaufnahme und Datenverwertung: Weder der Temperaturdaten aufnehmende Thermostat, der selbständig (d.h. unabhängig von menschlichem Eingriff) eine Heizung anschaltet, noch der mit einer Alarmanlage gekoppelte Anemograph, der automatisch bei gewissen Windstärken und -richtungen ein Alarmsystem in Gang setzt,

haben die Bezeichnung „künstliche Wahrnehmung“ oder „Beobachtung“ im Sinne komplexer, intelligenter Gewinnung und Verwertung von Sinnesdaten hervorgerufen. Vielmehr scheint wohl vor allem dies zur Verwendung des Terminus Anlaß gegeben zu haben: ein im Vergleich zur menschlichen Wahrnehmung ähnlich komplexer Grad der Verarbeitung von Sinnesdaten durch Artefakte, aufgrund dessen ähnlich komplexe und variable Entscheidungs- und Orientierungsleistungen ermöglicht werden, wie sie der Mensch bei Orientierungen im Raum, bei Strukturierungen ungeordneter Datenmengen und bei durch Entscheidungszwänge hervorgerufenen Datenselektionen aus redundanten Datenmengen vornimmt.

Beschränken wir uns hier exemplarisch weitgehend auf den wohl wichtigsten Wahrnehmungsvorgang, das Sehen, so wäre es demnach erst dann legitim, von künstlichem Sehen zu sprechen, wenn es visuelle Datenaufnahme- und Datenverarbeitungssysteme gäbe, die einte gleich oder zumindest ähnlich vollkommene visuelle Orientierung im Raum ermöglichte, wie sie dem Menschen zur Verfügung steht. Es ist von hier aus nicht verwunderlich, daß im Bereich der KI des öfteren — wie bereits erwähnt — „vision and robotics“ als Bezeichnung für eine Disziplin gewählt werden, die es sich zur Aufgabe macht, den (wie der Mensch) beweglichen und mit Greifwerkzeugen, nämlich mit Manipulatoren und Effektoren ausgestatteten Roboter zu untersuchen, der mittels gewisser Sensoren Wahrnehmungsdaten empfängt, aufgrund derer er Bewegungsabläufe vollzieht bzw. Entscheidungen zu bestimmten Handlungen trifft.¹⁵ Nicht das ferngesteuerte, sondern das mittels Rezeptoren sich orientierende und die Wege zu einem vorgegebenen Ziel durch Verarbeitung weitgehend optischer Daten selbst auswählende Auto wäre insofern „intelligent“.

Gehören solche Lebensvorgänge wie das Autofahren bzw. deren Simulationen eher zur Praxis der Lebensbewältigung, so ist zu fragen, inwiefern automatische sensuelle oder speziell visuelle Systeme *wissenschaftliche* Handlungen, d.h. Formen der Wissenschaftspraxis simulieren können, im Sinne unserer eingangs gestellten Frage: inwiefern bzw. inwieweit können Artefakte Beobachtungen selbständig durchführen?

Ausgangspunkt des Computersehens ist das in Pixel (*picture elements*), die kleinsten Bildbestandteile, zerlegte (durch eine Kamera übermittelte) Rohbild, in welchem mittels einer Bildfunktion für jedes Pixel die Helligkeitsintensitäten bestimmt sind. Bei der Deutung des Bildes unterscheidet man die low-level-vision von der high-level-vision. Erstere bewegt sich noch unterhalb der Objektebene, d.h. stellt als sog. „primal sketch“¹⁶ bestimmte Bildelemente zur Verfügung, wie z.B. Flecken, Endpunkte, Linien, Kanten, Oberflächen, Volumina, die zu einer Objektidentifizierung führen können. Die high-level-vision bewegt sich hingegen auf bzw. oberhalb der Objektebene und umfaßt die

(15) Robotics ist die „intelligente Verbindung von Wahrnehmung und Aktion“, so lautet die im AI-Dictionary, S. 70 wiedergegebene Definition von M. Brady.

Vorgänge der Bildanalyse, die aufgrund identifizierter (erkannter) Objekte höhere Einheiten wie Objektkonfigurationen, Situationsabläufe und Ereignisfolgen erkennt. Die beiden Hauptprobleme, die das Computersehen zu bewältigen hat, sind daher Mustererkennung (*pattern recognition*) und Szenenanalyse (*scene analysis*).¹⁷ Unter Mustererkennung versteht man in erster Linie die Klassifizierung von Objekten mittels bestimmter feststehender Merkmalscharakteristika (in einem Bild), unter Szenenanalyse die Prozesse einer Bildanalyse, die es gestatten, mittels übergeordneter Begriffe typische Objektkonfigurationen oder Bewegungsabläufe einer Szene zu erkennen oder zu entdecken.

Bildanalyse wird also wie beim menschlichen Sehen durch bestimmte Segmentierungen des Rohbildes vorgenommen. Dabei handelt es sich jedoch nicht durchweg um „gleichartige“ Segmentierungen, die alle Bildelemente gleich behandeln oder werten, sondern es werden (ebenfalls wie beim Menschen) bestimmte Filterungen durchgeführt, indem für den Intensitätsverlauf der Bildfunktion an bestimmten Stellen des Bildes Angleichungen oder Normierungen bei bestimmten Verzerrungen vorgenommen werden: *entweder* in Form von Kontrastverschärfungen (*contrast enhancements*), indem Diskontinuitäten der Bildfunktion verstärkt werden, um gewisse ausgezeichnete Bildsegmente wie z.B. Kanten hervorzuheben; *oder* durch Glätten (*smoothing*), welches umgekehrt Diskontinuitäten der Bildfunktion abschwächt, um das Bild überlagernde Störungen zu beseitigen (analog der durch Dolby-Verfahren bewirkten Beseitigung des Rauschens auf Tonband-Kassetten, der *noise-reduction*). Man erreicht letzteres z.B. durch das Ersetzen des Intensitätswertes eines Pixels durch den Mittelwert der Pixel seiner lokalen Umgebung. Hierzu gehören auch (wiederum analog speziellen Vervollständigungsverfahren bei insuffizientem oder disparatem Informationsmaterial in Gestalterkennungsvorgängen) Verfahren wie die Kanten-Relaxation, die bei unsicherer Kanten-Richtung die Kanten wiederholt an einer geraden Linie ausrichtet, bzw. die Mehrbildanalyse, die zwecks Tiefeninformation eine Zuordnung gleicher Objektteile in verschiedenen Ansichten (mittels besonders markanter Punkte wie etwa Krümmungsextrema) vornimmt (das sog. Korrespondenzproblem).

Welche Möglichkeiten ergeben sich hieraus für den Einsatz automatischer Bildverarbeitungssysteme oder Roboter im Bereich der Wissenschaft?

Werden Roboter bislang vorwiegend in der Fertigungstechnik eingesetzt, so liegt es nahe, Roboter auch als „Gehilfen“ im Experimentierbereich des Naturwissenschaftlers zu verwenden, insbesondere dann, wenn man neben visuellen Sensoren auch noch akustische oder taktile Sensoren miteinbezieht. Der (flexibel programmierbare bzw. sogar lernfähige, sich an sein Umgebung einstellende) Roboter würde z.B. die manuell durchzuführenden Kontrollfunktionen, Zwischenschritte und Instandsetzungstätigkeiten des Experimentators vornehmen können, die in erster Linie durch dessen Wahrnehmungsvorgänge gesteuert wer-

den (d.h. vom Gesamtzustand des Experiment-Umgebung-Feldes abhängig sind) und nur sehr kostspielig oder gar nicht (weil unvorhersehbar) durch automatische Warnsysteme veranlaßt werden könnten, wie etwa gewisse Handreichungen, Materialüberprüfungen, Kontroll- und Sicherungsmaßnahmen bei normalem oder (durch unerwartete Vorkommnisse gestörtem) unnormalem Experimentverlauf.

Es ist weiterhin einleuchtend, daß die (dem menschlichen Wahrnehmungsprozeß angenäherten) automatischen Bildanalysevorgänge (ohne Roboterunterstützung) überall da in den Wissenschaften Anwendung finden können, wo es um die Auswertung von Foto- oder Filmmaterial bzw. um die Erkennung optisch erfaßbarer Strukturen geht. Die Auswertung von Röntgen- oder Ultraschall-Aufnahmen in der Medizin, das Bestimmen von landschaftlichen Elementen und morphologischen Strukturen aus dem Luftbild in der Geographie (*remote sensing*), das Feststellen von Geweben und Strukturen aufgrund licht- und elektroneumikroskopischer Bilder in der Biologie, aber auch die Identifizierung von Wasserzeichen in alten Handschriften zum Zwecke der Datierung in den Geisteswissenschaften, sind auf der Hand liegende Einsatzmöglichkeiten der automatischen Bildverarbeitung und Mustererkennung.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für automatische Mustererkennung liegt zwar bereits im hier noch außer acht gelassenen sprachlichen Bereich, nämlich in den mit Texten operierenden Wissenschaften, aber betrifft nur die „sensorielle“ Textaufnahme: die automatische Texterfassung durch Lesemaschinen. Gab es anfänglich nur Lesegeräte, die bestimmte (vorher auf einer elektrischen Schreibmaschine geschriebene) normierte Schriften automatisch einlesen konnten, indem sie die einzelnen Buchstaben optisch identifizierten (*optical character recognition*), so sind mittlerweile bereits preiswerte „Scanner“ im Handel, die zusammen mit geeigneten Programmen mehrere Schriftsätze erfassen können. Darüber hinaus gibt es teurere Omnifont-Lesemaschinen, die im Prinzip jede Schrift automatisch lesen können, werden sie vorher hinreichend lange und gut trainiert. Solche Lesemaschinen erreichen bei guten „Trainingsbedingungen“ eine Lesegenauigkeit bis zu annähernd 100%. Geisteswissenschaftlern oder Juristen, denen es um Volltexterfassung oder die Erstellung von Datenbanken für bereits fixierte Textbestände geht, erspart dies eine mühsame, zeitraubende und wohl nicht weniger fehleranfällige Neueingabe alter Textbestände.

Was den Grad der Komplexheit der zu erkennenden Strukturen angeht, so ist die Mustererkennung etwa bis zur automatischen Identifizierung von Fingerabdrücken gelangt; noch nicht gelöst ist z.B. die Frage der Personenidentifizierung.

(wird fortgesetzt)

(16) Vgl. D. Marr: *Vision*. San Francisco 1982.

(17) Vgl. G. Simons: *Are Computers Alive? Evolution and New Life Forms*. Brighton, Sussex 1983, S. 91.