

Fertigungstechnik - Erlangen

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Manfred Geiger

Gerhard Luhn

88

Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion



Gerhard Luhn

implizites Wissen und technisches
Handeln am Beispiel der Elektronik-
produktion

Gerhard Luhn

Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion

Herausgegeben von

Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,

Lehrstuhl für

Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

FAPS



Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	3. November 1997
Tag der Promotion:	17. Juni 1998
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. H. Meerkamm
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
	Prof. Dr. rer. pol. H. Wedekind
	Prof. Dr.-Ing. habil. G. Ropohl

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Luhn, Gerhard:

Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der
Elektronikproduktion : Bericht aus dem Lehrstuhl für
Fertigungstechnologie / Gerhard Luhn. Hrsg. von Klaus Feldmann. -
Bamberg : Meisenbach, 1999

(Fertigungstechnik - Erlangen ; 88)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1998

ISBN 3-87525-116-4 ISSN 1431-6226

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

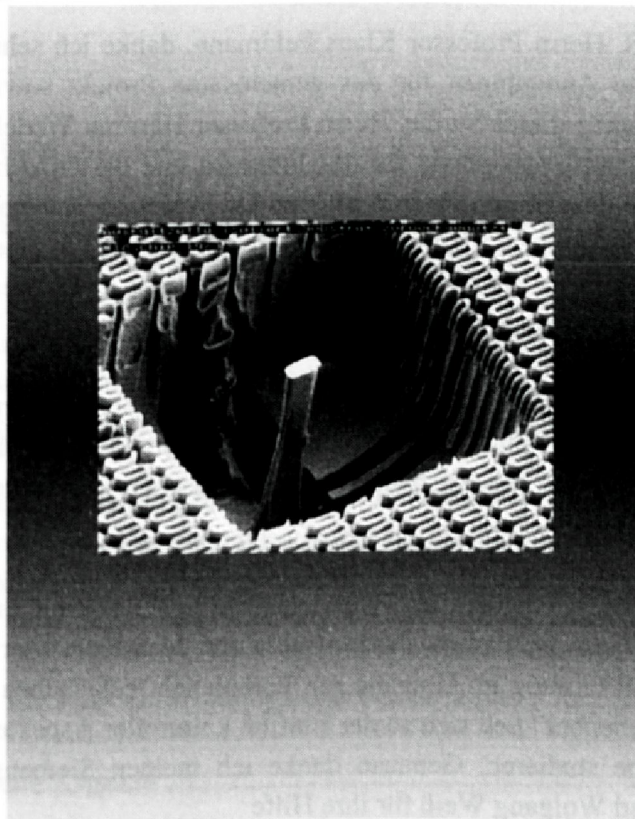
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich
genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder
verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 1999

Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany



So ist das Feld d u n k l e r Vorstellungen das
größte im Menschen.
(Immanuel Kant, Anthropologie)

VORWORT:

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Ingenieur für die Automatisierung in der Mikroelektronik bei der Siemens AG, München, in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Universität Erlangen-Nürnberg. Ich konnte eine Kooperation zwischen der Siemens AG und FAPS koordinieren und durchführen. Heute bin ich Leiter der Gruppe CAM/Automatisierung des neuen Siemens-Halbleiterwerkes in Dresden.

Dem Leiter von FAPS, Herrn Professor Klaus Feldmann, danke ich sehr herzlich für sein Engagement und seine Anregungen für das gemeinsame Projekt sowie für die großen Freiräume zur Anfertigung dieser Studie. Herrn Professor Hartmut Wedekind danke ich für die Übernahme des Korreferates sowie für das Interesse und die Offenheit gegenüber der Thematik dieser Studie. Die Herren Peter Wirth und Dr. Winfried Rüttenauer (Siemens AG) gaben mir stets den praktischen Rückhalt und unterstützten aktiv meine Zusammenarbeit mit FAPS. Zugleich gilt mein Dank Herrn Jürgen Sander sowie allen Dresdner Kolleginnen und Kollegen, die durch ihr Engagement Berge versetzen.

Diese Studie wäre in der vorliegenden Form sicherlich nicht ohne Herrn Professor Günter Ropohl von der Universität Frankfurt entstanden. Als Techniker und Philosoph wirkte er gleichsam als Katalysator für den Ausbau des philosophischen Horizontes der Arbeit. Ihm gilt mein besonderer Dank.

Speziell möchte ich mich bei meinen Kollegen von IBM in Frankreich, und hier namentlich bei den Herren Jean-Pierre Descamps, Pascal Louis und Jean-Noël Merlier bedanken. Ich lernte besonders ihre Erfahrung im Umgang mit komplexen technischen Systemen kennen und wertschätzen. "Nebenbei" ließ sich so der Einfluß kultureller Aspekte beim technischen Handeln aus der Nähe studieren. Genauso danke ich meinen Siemens-Kollegen Hanno Melzner, Uwe Belz und Wolfgang Weiß für ihre Hilfe

Die Wege für eine Zusammenarbeit mit den Vertretern der Philosophie sind für den heutigen Ingenieurwissenschaftler noch nicht "institutionalisiert", und so gilt mein Dank für ihre spontane Hilfe Herrn Professor Manfred Stöckler (Universität Bremen), Herrn Professor Odo Marquard (Universität Gießen) und Herrn Dr. phil. habil. Thomas Metzinger (Universität Gießen). Typisch für die Spontaneität der Franzosen ist auch die unkonventionelle Art, auf die ich die Gespräche mit Herrn Professor Alain Gras von der Universität Paris I (Sorbonne) beginnen konnte. Er ist dort zuständig für "Anthropologie des techniques contemporaines".

Großen Dank für ihr unerschöpfliches Verständnis und für die Diskussionen zum Thema "Sprache" bin ich meiner Frau Annegret schuldig. Schließlich sorgten unsere Kinder Theresa und Jonathan auf ihre Art für den Abschluß dieser Arbeit. Allen zusammen nochmals herzlichen Dank!

Gerhard Luhn

Implizites Wissen und technisches Handeln am Beispiel der Elektronikproduktion

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Prolog	1
1.2	Die Hauptfragen	5
1.3	Zur aktuellen Problemlage der Technikwissenschaften	9
1.3.1	Ontologische und epistemologische Grenzen technischen Wissens und deren Rückwirkung auf die Automatisierung	9
1.3.2	Mikroelektronik und implizites Wissen	12
1.3.3	Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften	19
1.3.4	Notwendigkeit und Möglichkeit eines neuen Menschenbildes	21
1.4	Automatisierung der produktbegleitenden Informationsverarbeitung	25
1.4.1	Definition eines Produktbegleitenden Informationssystems PRINS	25
1.4.2	Grundfunktionen und Komponentenaufbau	28
1.4.3	Die Grenzen der Automatisierung und die Rolle des Menschen	33
1.5	Zielsetzungen für eine anthropologische Technologie	35
1.6	Metatheoretische Aspekte	38
2	Grundlagen einer handlungstheoretischen Anthropologie	42
2.1	Verhaltenstheorie und Konnektionismus	43
2.1.1	In-der-Welt-Sein: Agieren in kybernetischer Betrachtung	43
2.1.2	Konnektionistische Systeme und distribuierte Wissenskontexte	47
2.2	Bewußtsein und Selbst zwischen Soll und Wirklichkeit	57
2.2.1	Mentale Konzepte im Kontext der Aktion	57
2.2.2	Die naturale Erfahrungsebene: Einsicht und Lösungsgenerierung	60
2.2.3	Die soziotechnische Erfahrungsebene: die Erfindung der Arbeit	63
2.2.4	Die existentielle Erfahrungsebene: das Selbst und der Geist	71
2.2.5	Aktionsüberwachung: die Funktion des Bewußtseins	73

2.3 Ein anthropologisches Modell menschlicher Informationsverarbeitung	77
2.3.1 Das "Licht des Bewußtseins" im anthropologischen Systemmodell	77
2.3.2 Handeln und Denken mit implizitem Wissen	82
2.4 Zur anthropologischen Situierung des impliziten Wissens	90
2.4.1 Die nichtsprachliche, anschaulich-symbolische Basis des Wissens	91
2.4.2 Der epistemologische Status technischer Handlungen	95
2.5 Handeln und phänomenales Gefühl	97
2.5.1 Intentionalität und phänomenale Gefühlssphäre	97
2.5.2 Das "Aha-Erlebnis" und implizites Wissen	101
2.5.3 Symbole, Ideen und Wirklichkeit: das Animal Symbolicum	105
3 Sprache, Kreativität und Technik	108
3.1 Sprache: ein praktisches Repräsentationssystem	108
3.1.1 Anthropologische Grundlagen der Sprache	109
3.1.2 Kommunikation: Verstärkung des Handelns	116
3.1.3 Reflexion und Selbstbewußtsein: Inverse Semantik	120
3.2 Technik: eine Synthese von Kreativität und Handlung	129
3.2.1 Kreativität	129
3.2.2 Systemdenken	133
3.2.3 Die Technik als Dimension kulturellen Handelns	135
3.3 Mensch und Maschine: technisches Handeln und phänomenales Weltbild	138
3.3.1 Magie, Maschine und Macht	138
3.3.2 Von den Automaten zur Regelungstechnik	139
3.3.3 Implizites Wissen bei Erfindung und Konstruktion	141
4 Automat, Information und Mensch	146
4.1 Automatisierung und explizites Wissen	146
4.1.1 Die Handlungspraxis operativer Schriften	146
4.1.2 Information ist Erfahrung "zweiter Hand"	150
4.2 Handlungskompetenz und die Grenzen von Informationssystemen	156
4.2.1 Heisenbergs Unschärferelation	157
4.2.2 Die "Oberflächlichkeit" der propositionalen Wissensrepräsentation und die "Tiefe" des Selbst	158
4.2.3 Über die "Kunst" des technischen Handelns	161

4.3 Implizites Wissen und die Grenzen der Formalisierbarkeit	165
4.4 Der Kreisprozeß von Theorie und Praxis	169
5 Wege einer anthropologischen Technologie: Kybernetische Produktionssysteme	173
5.1 Automatisierung: die Auflösung einer Paradoxie	175
5.1.1 Begriffsdefinition	175
5.1.2 Neue Ziele der Automatisierung	177
5.2 Strukturen kybernetischer Produktionssysteme	178
5.2.1 Die Automatisierung der Produktion: CIM und der Prozeßflußkontext	178
5.2.2 Ein moderner Konzeptrahmen zur Zellenautomatisierung: Einkapselung und Selbstoptimierung	181
5.2.3 Kybernetische Produktionssysteme und CIM	185
5.2.4 Ein operatives Regelsystem (BOUCLE) auf der Basis eines anthro- pologischen Mensch-Maschine-Handlungssystems	190
5.2.5 Einsatzerfahrungen	199
5.3 Die Zukunft kybernetischer Produktionssysteme	200
5.3.1 Implizites Wissen und die Arbeitsgruppe	200
5.3.2 Implizites Wissen im kulturellen Kontext	201
5.3.3 Implizites Wissen und Persönlichkeit	204
6 Technisches Handeln in kulturanthropologischer Dimension: Strukturen einer "zeitbewußten Technik"	206
6.1 Exzerpt einer emotiven Wahrheitstheorie	208
6.2 Historische Dimensionen des Zeitbewußtseins	214
6.3 Krise der Technik und die Möglichkeit einer zeitbewußten Technik	218
7 Zusammenfassung	232
8 Literaturverzeichnis	234

1 EINLEITUNG

Alles abstrakte wird durch Anwendung dem Menschenverstand genähert, und so gelangt der Menschenverstand durch Handeln und Beobachtung zur Abstraktion.¹

1.1 Prolog

Im Anfang unseres Denkens und Tuns ist *Empfindung*. Unsere Empfindungen, Gefühle, Emotionen entstehen aus kognitiven Aktivierungen, aus distribuierten, persönlichen Wissenskontexten, je neu zusammengestellt (assembliert) im aktuellen Denkprozeß. Dieser signalhaft-verdichtete Informationsfluß, der phänomenologisch als jenes Gefühl zu deuten ist, das uns sagt: „Das ist eine gute Idee!“, steuert ganz entscheidend unser Denken und Handeln. Niemand wird bei stets „schlechtem Gefühl“ auf Dauer erfolgreich handeln! Diese Gefühle signalisieren die Aktivierung nichtsprachlicher, distribuierten, personal-symbolischer Wissenskontexte, unseres impliziten Wissens. Wegen diesem Wissen werden auch Automaten niemals vollständig den Menschen ersetzen können, oder gar überflügeln. Viele menschlichen Leistungen lassen sich nicht von solchen formalsprachlich *geschlossenen* technischen Systemen ausführen. Denn der Mensch kennt als *offenes System* beim Lösen neuer, nicht vorhersehbarer Probleme keine Grenzen! Konzeptionen wie die „mannlose Fabrik“ oder die „Expertensysteme“ entspringen dem Mythos einer fehlgeleiteten Utopie, die darauf setzte, sämtliche Produktionstätigkeit von Automaten erledigen lassen zu wollen.

Dieses gefühlsmäßige, implizite Wissen könnte uns sogar davor bewahren, daß wir mit unserer rational-formalsprachlichen, „naturwissenschaftlichen“ Technik, die im zeitlich reversiblen, mechanistischen Weltbild steht, unser eigenes Selbst gefährden oder gar zerstören.² Denn wir „fühlen“ heute, daß uns gerade der technische Fortschritt ein klares Bild unserer eigenen Zukunft verwehrt, weil unser heutiges produkt- und dingorientiertes Denken nicht dazu geeignet ist, irreversible Lebensprozesse zu repräsentieren: Aus mentaler Sicht ist es „einfacher“, im täglichen Leben nur mit (im reversiblen, mechanistischen Weltbild stehenden) Produkten und nicht mit (irreversiblen) Lebensprozessen umzugehen. Die Folge davon ist, daß unser Selbst eine aus zeitlicher Sicht immer flachere, „oberflächliche“ Struktur annehmen könnte, bis es -

¹ **GOETHE, JOHANN WOLFGANG VON: Wilhelm Meisters Wanderjahre oder die Entsagenden.** in: Hamburger Ausgabe (Hrsg.: Trunz, Erich), Bd. 8, München ¹¹1982, S.296

² Ilya Prigogine weist auf ein neues naturwissenschaftliches Weltbild, auf ein neues Verständnis von Zeit hin, das zum Entdecken von Spontaneität, Instabilität und Irreversibilität der Lebensprozesse geführt hat. Wir brauchen auch heute in der Technik ein neues, nicht-deterministisches Weltbild, das den kreativen Freiraum menschlichen Handelns und Denkens zur Gestaltung unserer Zukunft bewußt fördert. vgl. **PRIGOGINE, ILYA: Die Wiederentdeckung der Zeit. Naturwissenschaft in einer Welt begrenzter Vorhersagbarkeit.** in: Dürr, Hans-Peter; Zimmerli, Walther Ch. (Hrsg.): Geist und Natur. Über den Widerspruch zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und philosophischer Welterfahrung. Bern München Wien 1989, S.47-60

wie es in der Menschheitsgeschichte schon öfters vorkam - übergreifende existentielle Lebensprobleme nicht mehr meistern kann.

Um es gleich vorweg zu sagen: Die Krise der heutigen Technik ist keine technische. Sie ist aber hausgemacht, weil wir ein nicht reflektiertes Menschenbild mit uns herumtragen, das uns in dramatischer Leichtfertigkeit den Blick zu den "wahren" Sachverhalten verstellt. Dabei bin ich der Überzeugung, daß die Praktiker schon immer die Grenzen kausal-deterministischer Technikkonzepte gekannt haben. Genauso ist erkennbar, daß die Techniker von der Katastrophe wissen, die daraus folgen würde, wenn wir den zu denkenden Horizont unserer Produktinnovationszyklen einer "vom Markt" geforderten Nullpunktapproximation folgen ließen. Zur Begründung dieser Argumentationslinie werde ich den Wahrheitsbegriffs als ein anthropologisches Handlungskonzept deuten. Danach befindet sich das Gehirn auf einem Weg der strukturellen, iterativen Verfeinerung, einer fortlaufenden Integration distribuierten Wissenskontexte. Es wird die Struktur der Generierung von "wahren" Systemzuständen herausgearbeitet werden, und wie das repräsentierende System solche Zustände überhaupt erkennen und bewerten kann (das "Aha"-Erlebnis). Denn das aussagengestützte, logische Kalkül ist zwar ein notwendiges, aber kein hinreichendes Kriterium für Wahrheit. Ein solcherart gefaßter Wahrheitsbegriff¹ erscheint mir gerade heute wichtig, wo die Notwendigkeit eines Bewußtseinswandels² gesehen wird und die Begrenztheit unseres Menschenbildes offensichtlich ist.

Auch die gerne gebrauchte Metapher vom gerade beginnenden "Informationszeitalter" muß kritisch reflektiert werden. Zwar ist die Verfügbarkeit von Information Voraussetzung für aufgeklärtes Handeln. Aus anthropologischer Sicht befinden wir uns heute allerdings keinesfalls an einer Kulturschwelle, wie sie sich einst in der Schrift als Mittel zur zeit- und personenunabhängigen Organisation kulturellen Handelns manifestierte. Vielmehr ist die Gefahr des Erfahrungsverlustes durch die primäre Nutzung der Computer als Spiel- und Freizeitersatz zu bedenken, der über eine

¹ Ich werde hier eine erkenntnistheoretische Position aufbauen, die den Wahrheitsbegriff mittels einer *inversen Semantik* expliziert. Während gemeinhin die „Wahrheit“ einzelner Vorstellungen, Erkenntnissen oder Handlungen nach bestimmten formalen Kriterien entschieden wird, soll deren Generierbarkeit aus distribuierten Wissenskontexten als hinreichendem Wahrheitskriterium herausgearbeitet werden. „Wahrheit“ hängt von der *integralen Organisation des Ganzen der Erfahrung* ab, die jeweils situationsbedingt unter neuen Gesichtspunkten neu aktiviert werden kann. So ist mit einer Vielheit von Weltbildern eine Vielheit von Wahrheit möglich. Unser Weltbild wird durch spontane Lernprozesse *generiert* und die Wahrheit dieses Weltbildes beruft sich nicht auf eine deterministische Übereinstimmung mit der Wirklichkeit, sondern auf den Erfolg der Handlungen, die auf der Grundlage dieses *vorangehend* durch kreatives Lernen aufgebauten Weltbildes entstehen. Das Weltbild ist dabei keinesfalls bloß als eine lineare Summe von bereits gemachten Handlungen zu betrachten, sondern erfaßt die gesamten Handlungen, Vorstellungen, Anschauungen, kurz alle distribuierten Wissenskontexte als informationell vernetzte und situationsbedingt neu aktivierbare *Struktur*. Auf die menschliche Geschichte übertragen wird man damit ertüchtigt, systematisch nach unterschiedlichen Weltbildern suchen zu können, so daß diese (und damit unser heutiges) kritikfähig werden. Den Grundgedanken, daß 'die Erfahrung über die Wirkung des Handelns zugleich die Wahrheit schafft' hat der Erkenntnistheoretiker Georg Simmel in einer bereits 1895 veröffentlichten Arbeit geäußert; vgl.: *ENGELS, EVE-MARIE: Erkenntnis als Anpassung? Eine Studie zur Evolutionären Erkenntnistheorie*, Frankfurt am Main 1989, S.287.

² vgl. *WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON: Bewußtseinswandel*, in: ders.: *Die Zeit drängt. Das Ende der Geduld*, München 1989, S.232-9

Entfremdung vom Alltag und einen Lebensvollzug in den virtuellen Spielwelten die gesellschaftliche Lebensfähigkeit des Individuums desavouieren könnte. Hier leistet die Computerindustrie selbst mit einer nie dagewesenen Frequenz von Produktinnovationen Vorschub für den irreversiblen Prozeß, wachsende Bevölkerungsanteile bei steigenden Ansprüchen mit zunehmenden Gütermengen versorgen zu müssen.

Antworten auf diese Problemfelder liegen jenseits rationaler naturwissenschaftlicher und technischer Denk- und Handlungsstrukturen, - diese Probleme sind uns nicht einmal ohne weiteres bewußt. Es sei deshalb Aufgabe dieser Studie, die Irrationalität der rationalen Technik in Form einer handlungstheoretischen Konzeption des Wissens, des Bewußtseins und des Selbsts aufzuzeigen und neue Lösungsvorschläge zu geben. Der Grundlösungsvorschlag besteht darin, die implizite (gefühlsmäßige, distribuiert-symbolgenerative) Struktur unseres Wissens anzuerkennen und bewußt zum sehenden, "visionären" Handeln überzugehen. Das heutige rationale Menschenbild könnte durch das Bild eines "visionären" Menschen ergänzt werden. Wobei damit nur gemeint ist, eben jene analog-bildhaften, distribuiert-symbolgenerativen Informationen anzuerkennen, deren situationsbedingte Aktivierung erst jedwede Bedeutung entstehen läßt. Die handlungs- und wissenstheoretische Relevanz dieser inneren Bilder und Kontexte wird über emotionale Erlebnisse, die sogenannten "Gefühle" signalhaft angezeigt. Das führt zum Motto dieser Studie:

Der Mensch ist das fühlende, also denkende und handelnde Wesen. Neue Gedanken und Handlungen werden jeweils erst auf der Grundlage unseres persönlichen, impliziten Wissens generiert, sie sind erst dann sprachlich überhaupt faßbar, - also durch Logik und Emotion charakterisiert. Schaue auf die Informationen, die Dir Deine (auch sachlichen) Gefühle geben! Denn die Wahrheit ist beides: die "logisch" richtige Aussage und das sie "erleuchtende" gute Gefühl.

Unsere Gefühle sind ein Ergebnis unserer Erfahrung. Sie fallen nicht absichtslos vom Himmel, sondern sind eine komplexe Verrechnungsleistung unseres Bewußtseinsprozesses. Sie sind hochverdichtete Informationen unseres kognitiven Apparates und resultieren aus unbewußten, impliziten Erfahrungsstrukturen (den "dunklen Vorstellungen") im Zusammenspiel mit unseren aktiven Wahrnehmungen und Handlungen. Die technische Handlung (etwa des Werkzeugmachers) "erwächst" genauso aus diesem Gefühl wie das Erkennen des Lügners, der alleine durch Klang und Tonfall seiner Rede verrät, daß er das Gegenteil von dem sagt, was er tatsächlich meint. Wichtige Informationen sind hier in einem nicht offen liegenden, sondern impliziten Wissen codiert, das aber ausschlaggebend für das jeweilige Handeln ist. Die alte philosophische Frage, was Wahrheit ist, muß für eine neue Ausrichtung der Technik neu thematisiert werden. Denn der rein logische Aussagenkalkül ist zwar ein notwendiges, aber kein hinreichendes Kriterium für Wahrheit. „Wahrheit“ ist, kurz gesagt, beides, Logik und Emotion. Rein theoretische Erkenntnis ist nicht nur im praktischen Sinne nutzlos, sondern sie ist zudem noch Ausgangspunkt für falsche Schlußfolgerungen. Das Wahrheitsprinzip (das uns phänomenologisch als jenes „Aha-Erlebnis“ unmittelbar vertraut ist) läßt sich als anthropologisches Konzept zur logisch-emotiven Organisation unseres Denkens und

Handelns deuten, durch den sich unser Gehirn von einem weniger stabilen Anfangszustand zu einem stabileren Endzustand transformiert. Dieser Prozeß ist aber durch Instabilität, Irreversibilität und Spontaneität gekennzeichnet. Wir müssen uns um unsere Wahrheit ständig bemühen, sie wird sich leider nie rein sprachlich festschreiben lassen. Wahrscheinlich ist erst ein solch starker Wahrheitsbegriff der Garant für das Umfassende, Zusammenhängende, Empfindsam-Geistige einer neuen, weltumfassenden Menschheitskultur, die - analog zu unserem Bewußtseinsprozeß - eine "mittlere" Kultur sein wird.

Die technisierte Welt ist seit der industriellen Revolution in einem atemberaubenden Tempo entstanden. Die Quelle hierfür scheint unsere Fähigkeit zu erfolgreichem, gefühlsgeliteten Handeln zu sein, das aus einer Reihe von durch unseren Verstand explizit gemachten naturwissenschaftlichen Erkenntnissen und dem großen Felde impliziter Erfahrungsstrukturen unserer distribuierten Wissenskontexte erwächst. Die moderne Kultur ist aber nicht grundlos entstanden. Sie nahm ihren Weg im Land zwischen Euphrat und Tigris, wo das herrschende Elend aufgrund klimatischer Veränderungen besonders groß war und vom dinghaften Denken der Jäger und Sammler zum Denken in längerfristigen, agrikulturellen Lebensprozessen antrieb. Aber auch heute alarmiert uns unser Gefühl, weil uns unser technischer Fortschritt ein klares Bild unserer eigenen Zukunft verwehrt. Die stetige Veränderung der Welt ist scheinbar dabei, das Vermögen unserer eigenen Vernunft zu übersteigen. Wir "glauben" heute unseren Gefühlen, unserem bildhaft-hochsymbolischen, impliziten Wissen nur wenig, weil wir zu wenig von ihm wissen: für unser Wissenschaftsverständnis zählen *verstandesmäßig formulierte, möglichst objektivierbare / meßbare Aussagen und keine Gefühle!* Wir sind ratlos, welchen Informationsgehalt und welchen erkenntnistheoretischen Status unserem auf distribuiertem Wissen basierenden Gefühlen zugerechnet werden kann, obgleich ihre Informationen hochverdichteter Natur sind. Dies alles ermutigt dazu, in dieser Studie den tatsächlichen Aussagewert logisch-distribuierten Wissensstrukturen und Handlungen wissenschaftlich zu rekonstruieren. Dies führt zu einer neuen Konzeption der Technik, zu einer "anthropologischen Technologie".

Ich habe diese Studie unter einen weniger bekannten Wahlspruch von Immanuel Kant gestellt, weil Kant wohl den Einfluß des Unbewußten auf unser Denken und Handeln fühlte. *Gebrauche Deinen Verstand, um die Finsternis der Unwissenheit zu vertreiben!*¹ Kant wagt den Versuch, in Überwindung veralteter dogmatischer Prinzipien den Menschen und das menschliche Denken ins Zentrum gleichermaßen von Wissenschaft und Ethik zu rücken. Sein Hauptanliegen liegt in der Untersuchung, welche Gültigkeit wissenschaftliche und ethische Aussagen haben. Seine Antwort ist eindeutig: Die Geltungsmaßstäbe werden vom Menschen selbst vorgegeben! Einzig und allein der Gebrauch unseres Verstandes und die Spontaneität unseres Bewußtseins wird uns bei der Überwindung unserer Probleme helfen.

¹ vgl. KANT, IMMANUEL (HRSG.: WEISCHEDEL, WILHELM VON): Bd.12. *Schriften zur Anthropologie, Geschichtsphilosophie, Politik und Pädagogik*. - 2. Register zur Werkausgabe. Frankfurt am Main 1991, S.548 [*'Anthropologie in pragmatischer Hinsicht'*]

Nach der letzten großen mentalen Neuorientierung der Menschen, die die Hinwendung zur Natur und damit die heutigen Kulturen ermöglichte, könnte die jetzt fällige Neuorientierung eine Hinwendung zu einer neuen Geisteskultur erreichen. Wohl wird es nicht möglich sein, die Phänomene unseres bewußten Erlebens auf eine Weise zu explizieren, daß man in dieser Explikation sich selbst wiederfindet und sein eigenes Wesen damit exteriorisiert hat. Denn darin wäre ja die Instanz, die solches leistet, gerade nicht enthalten. Es könnte aber sein, daß ein neuer Bewußtseinsbegriff, basierend auf einer Konzeption distribuierten Wissenskonzexte, eine Metaphorik im Sinne einer regulativen Idee stiftet, einige Schritte auf dem Weg zu einer neuen Geisteskultur zurückzulegen.

1.2 Die Hauptfragen

Anscheinend träumte schon Leonardo da Vinci (1452 - 1519) davon, die 'körperliche Arbeit zu >automatisieren<, jene Arbeit also, die die Menschen in Freie und Sklaven einteilte.'¹ Dunkle, implizite Ahnungen wiesen Leonardo aber auf mögliche Gefahren der neuen Erfindungen und Technologien hin: 'die Wälder werden verwüstet und die Berge geöffnet sein, damit die erzeugten Metalle geraubt werden können [...]'.²

Heute werden die Geschicke der Menschheit ganz entscheidend durch die Technik bestimmt. Im besonderen die technikwissenschaftlichen Bemühungen der letzten beiden Jahrzehnte haben dabei Leonardos Traum von der *Automatisierung der Arbeit* mit Mitteln der *Informationsverarbeitung* wieder ins Visier genommen. Damit rückt der *technisch handelnde Mensch* ins Blickfeld, denn dessen Arbeit soll ja "automatisiert" werden. In der Praxis ist man jedoch auf vielfache Probleme gestoßen: So konnten sich beispielsweise in der know-how-intensiven Mikroelektronik-Herstellung trotz großer Bemühungen weltmarktführender Firmen vollautomatische, autonome "Flexible Fertigungszellen" nicht wie geplant durchsetzen.³ Dennoch kommt dies nicht ganz unerwartet, denn dann wäre das berühmte *Know-how*, das gefühlsgeleitete, erfolgreiche, bildhafte, auf unbewußten Erfahrungsstrukturen getragene technische Handeln nur eine recht oberflächliche, leicht durch technische Mittel ersetzbare Erscheinung. So erbauten die Techniker ihr Bild von einer vollautomatischen Fabrik auf einem stark verkürzten Menschenverständnis, das durch die Abkapselung der Technischen Hochschulen von den Universitäten möglich wurde. Fertigungssysteme wurden als in sich geschlossene,

¹ ALBERTI DI MAZZERI, SILVIA: *Leonardo da Vinci. Die moderne Deutung eines Universalgenies*. München 1990, S.195 ['Zuerst wollte er den Menschen von der grauenvollen Plackerei befreien, mit der zu seiner Zeit jegliche Arbeit verbunden war. Daher schuf er Apparate, mit deren Hilfe schwere Gewichte leichter gehoben werden konnten, sowie neue Modelle für Mühlen, Pumpen, Deiche und außerdem noch Maschinen zur Holz-, Stein- und Metallverarbeitung.' aus: ebd.]

² a.a.O. S.196

³ Dies wird auch in der einschlägigen Fachpresse beschrieben: 'Until recently, the semiconductor industry has been only moderately successful with cell area automation.' aus: BURGGRAAF, PIETER: *The Automated Side of Wafer Processing*, in: Semiconductor International Vol.16 No.7, June 1993.

autonome Produktionseinrichtungen konzipiert.¹ Gerade know-how-intensives Handeln ist aber durch eine *offene Systemstruktur* ausgezeichnet, durch die der erfahrene, erfolgreich handelnde Mensch zu *neuen*, hochsymbolisch-bildhaft organisierten mentalen Problemlösungen gelangt. Die kann er mit in Automaten definierten, formalsprachlich repräsentierten Informationsstrukturen nicht ohne weiteres in die Tat umsetzen, weil analog-bildhafte Informationen aus einer anthropologisch-handlungstheoretischen Sicht den (formal-)sprachlich gestützten Informationen *vorgeordnet* sind: Zumeist werden letztere aus ersteren *generiert*. Hinter diesem Prinzip erfolgreichen Handelns steckt kurz gesagt die Fähigkeit, in besonders starkem Maße auf nichtsprachlich-bildhafte, unbewußte, das heißt implizite Wissensstrukturen zu rekurren. Explizites Wissen ist demgegenüber sprachlich gefaßt, bewußt und in Computersystemen repräsentierbar. Die problemlösende Aktivierung impliziten Wissens erleben wir phänomenologisch in jenem *guten Gefühl*, das uns signalhaft sagt: "Dies ist eine gute Lösung.", oder auch: "Dies ist eine gute Musik." Niemand ist auf Dauer erfolgreich trotz eines schlechten Gefühls! Die Aufklärung dieses wichtigen Zusammenhangs wird sich wie ein roter Faden durch die komplette Studie durchziehen.

Weil diese Zusammenhänge so wichtig sind, soll hier an einem Beispiel dieses Wirkungsgefüge umgehend veranschaulicht werden. Gegeben sei ein neuronales Netz mit rekurrenter Verkopplung der Netzwerkknoten (die Information kann vom Knoten a_1 zum Knoten a_2 als auch umgekehrt vom Knoten a_2 nach a_1 fließen). Ferner seien alle Knotenverbindungen mit identischen Kopplungsfaktoren gewichtet. Die Netzwerkknoten seien durch sigmoide Neuronen realisiert, wie sie in der Regel für rekurrente Netzwerke verwendet werden. Ein sigmoides Neuron summiert die empfangenen Aktivitätssignale gewichtet mit den Kopplungsfaktoren und vergleicht diesen Summenwert mit einem Schwellenwert. Liegt die Signalsumme deutlich über dem Schwellenwert, wird ein Folgesignal mit dem Wert +1 ausgegeben, liegt sie deutlich darunter, wird eine -1 ausgegeben, sonst wird eine 0 ausgegeben. Die Aktivitäten der Neuronen unterliegen in einem solchen dynamischen Netzwerk einer zeitlichen Entwicklung, bis sich ein stabiles Gleichgewicht einstellt. In unserem Beispiel sei das Netzwerk eine regelmäßige Matrix, wobei die Kanten der Matrix Wege eines gelernten Wege-Netzwerkes repräsentieren, die ein fiktives Lebewesen zurücklegen kann. Jeder Netzwerkknoten repräsentierte eine Verzweigungsstelle, von der das Lebewesen entlang der Kanten in alle Richtungen weitergehen kann (also auch wieder zurück). Jetzt seien zwei Aktivierungsquellen gegeben, die beliebig im Netzwerk zu setzen sind. Die erste repräsentiere die momentane Position des Lebewesen und sei beispielsweise durch perzeptuelle Systeme erzeugt ("Ist"). Die zweite Aktivierungsquelle repräsentiere eine Zielposition und werde durch motivatorische Systeme erzeugt ("Soll"). Die Aktivierungssignale laufen mehrfach durchs Netzwerk, das schließlich in einen Gleichgewichtszustand relaxiert. Aus technischer Sicht können solche rekurrenten Netzwerke sehr komplexe Gleichgewichtszustände und damit ein sehr komplexes Systemverhalten abbilden, das auch assoziative und unvollständige Informationen verarbeiten kann (im vorliegenden Beispiel könnte etwa die Benutzung

¹ vgl. GEITNER, UWE W. (HRSG.): **CIM Handbuch. Wirtschaftlichkeit durch Integration.** Braunschweig 1987, S.279ff [Kapitel 5.2.2.1 Flexible Fertigungszellen]

einer U-Bahn assoziativ mit in die Lösung eingebaut werden). Deshalb dienen sie für diese Studie als Modell menschlicher Informationsverarbeitung. In unserem Beispiel wird die Problemlösung derart im Netzwerk dynamisch *generiert*, daß sich eine (oder mehrere) Wegstrecken als Gleichgewichtszustand einstellen. Auf diese Struktur der *Lösungsgenerierung* werde ich immer wieder zurückgreifen, und die dahinterliegende informationstheoretische Deutung dieses wichtigsten Prinzips neuronaler Signalverarbeitung sollte damit klar sein: Die zur Lösungsgenerierung notwendige Information ist bereits im Netzwerk *implizit* ("eingewickelt") *gegeben*, die Lösungsbildung an und für sich *ist* *Explikation* ("Entfaltung, Auswicklung"). Wir sprechen hier von distribuierten Wissenskontexten, die die informationelle Grundlage zur Generierung der Lösung(en) im Netzwerk bilden. Kann keine geeignete Lösung generiert werden, so werden im neuronalen Substrat dynamisch neue Strukturen gebildet, bis das System in einen Gleichgewichtszustand relaxieren kann. Auf solche statistisch begründbaren Lernmechanismen werden ich später zurückkommen.¹ In den folgenden Bildern ist schematisch die Ausbreitung der Aktivierungsenergie und die Lösungsgenerierung in einem einfachen Netzwerk dargestellt. Es werden zwei Lösungen (1 und 2) generiert, wobei in Bild 1.2 der Bezug zur Wirklichkeit mit dargestellt ist.

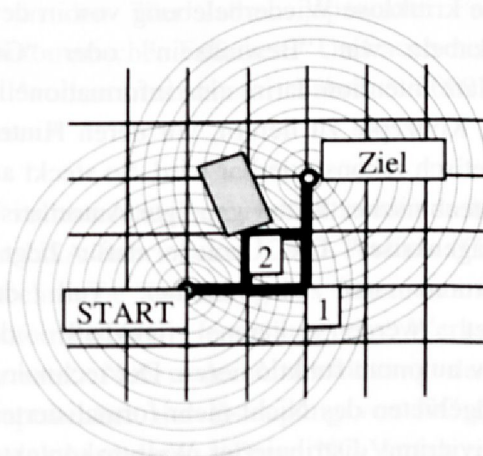


Bild 1.1 Lösungsgenerierung in einem neuronalen Netz

¹ Mag die Leserin / der Leser skeptisch gegen ein derartiges Verfahren sein, so ist Skeptizismus aus folgendem Grund gerechtfertigt. Es wird hier die Intuition eines nicht-symbolischen Modells menschlicher Informationsverarbeitung erzeugt, wodurch der Zirkelvorwurf an die symbolisch-orientierten informationellen Modelle menschlichen Denkens gegenstandslos würde. Dem ist natürlich nicht so. Dieses vordergründig nicht-symbolische Verfahren der Informationsverarbeitung ist auf der Netzwerkebene allerdings symbolisch-algorithmisch implementiert. Den dort verwendeten Symbolen (Netzparametern) kann wieder nur der Mensch Bedeutung verleihen. Dies zeigt sich beispielsweise darin, daß es überhaupt kein geeignetes Verfahren gibt, etwa für ein vorliegendes Problem ein Netzwerk und dessen Topologie derart zu konstruieren, daß dann auch vernünftige Lösungen generiert werden. Aus informationstheoretischer Sicht sind neuronale Netze nur eine andere Methode der Problemkodierung. Dennoch macht gerade ihre intuitiv-heuristische Plausibilität sie für diese Studie als informationelles Modell menschlicher Informationsverarbeitung interessant, und zwar weil damit eine Theorie unseres Bewußtseins und unseres Fühlens entwickelt werden kann, die selbst gefühlsmäßig nachvollziehbar ist. Zur Rechtfertigung einer solchen Vorgehensweise muß dann aber eine geeignete Erkenntnis- und Wahrheitstheorie angegeben werden. Diese rekuriert kurz gesagt auf die emotive Struktur unseres Denkens und Handelns, um damit den Zirkel logischer Selbstbezüglichkeit zu durchbrechen (unser Wissen ist wahr, weil wir dessen Wahrheitsgehalt - jenseits jedes Aussagenkalküls - fühlen). Der erkenntnistheoretische Gehalt unserer Theorie läßt sich damit in Überwindung von rein wissenschaftstheoretischen Methodiken (unser Wissen ist wahr, weil sich dessen Wahrheitsgehalt durch Theorie X [z.B. Evolutionstheorie / Entwicklungspsychologie]

1.3 Zur aktuellen Problemlage der Technikwissenschaften

1.3.1 Ontologische und epistemologische Grenzen technischen Wissens und deren Rückwirkung auf die Automatisierung

Der Aufbau hochorganisierter mentaler Strukturen scheint durch ein "Belohnungssystem" gefühlsmäßig positiv bewertet zu werden, das für die Freude am Denken und Handeln, aber auch für die Freude an Kunst und Musik verantwortlich ist. Automatische Einrichtungen aller Art faszinieren den Menschen seit alters her, weil schon der durch den Anblick solcher Maschinen bewirkte Aufbau hochorganisierter mentaler Strukturen "Freude bereitet". Wie faszinierend muß dann erst der Gedanke sein, die Mühsal der täglichen Arbeit solchen Automaten aufzuerlegen? Nachdem durch die großen Kulturen die "Versachlichung" des Menschenbildes voran gebracht wurde und mit dem Aufkommen der ersten Automaten der Mensch aus dem direkten Verwendungszusammenhang einer von ihm geschaffenen Maschine "verschwindet" (er aber nur auf eine mental höhere Ebene zurücktritt), ist die Idee vollautomatischer Arbeitseinrichtungen und Fabriken eine naheliegende Schlußfolgerung. Günter Spur analysiert bereits in den 70er Jahren japanische Forschungsbemühungen um die Realisierung vollautomatischer Fabriken.¹ Und auch heute noch ist das überkommene Leitbild einer "vollautomatischen Fabrik 2000" Gegenstand inländischen Forschungsinteresses.²

Die Hoffnung auf vollautomatisierte Produktionslinien basiert besonders auf der in den 60er Jahren in den USA entwickelten CAD-Technik (CAD: Computer Aided Design). Die traditionelle technische Zeichnung des Ingenieurs wird durch eine rechnerinterne Abbildung zur automatischen Herstellung des Werkstückes über ein numerisches Codiervorgang ersetzt. Neben der Unterstützung der Zeichnungserstellung dienen CAD-Systeme hauptsächlich der Erzeugung von NC (Numerical Control)-Daten zur automatischen Produktherstellung.³ Diese NC-Verfahren sind eine Weiterentwicklung aus der um 1946 entwickelten "record-playback"-Technik, bei dem die Bewegungen eines Arbeiters bei der Maschinensteuerung in analoger Weise auf einem Magnetband abgespeichert wurden. Identische Werkstücke konnten dann einfach durch Abspielen des Magnetbandes erzeugt werden. Bei der darauf aufsetzenden NC-Technik werden die Analogsignale in normierter Weise digitalisiert. Dadurch wird es möglich, Steuersequenzen relativ unabhängig von der eingesetzten Werkzeugmaschine zu erzeugen. Als dann noch im Jahre 1956 mit dem System APT (Automatically Programmed Tools) eine Art Skelett-Programm für die grundsätzliche Bewegungstopologie des Werkzeuges die unterste Ebene der Maschinensteuerung bildet, ist die CNC-

¹ vgl. SPUR, GÜNTER: *Produktionstechnik im Wandel*. München Wien 1979, S.265

² vgl. IRRGANG, BERNHARD; KLAUITTER, JÖRG: *Künstliche Intelligenz. Technologischer Traum oder gesellschaftliches Trauma?* in: dieselben (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz*. Stuttgart 1990, S.37

³ vgl. KRAUSE, FRANK-LOTHAR; SCHLINGHEIDER, J.: *Entwickeln und Konstruieren mit wissensbasierten Softwarewerkzeugen - ein Überblick*. in: Jahrbuch 92 VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Düsseldorf 1992, S.244

Werkzeugmaschine entstanden (Computerized Numerical Control). - Vor welchem erkenntnistheoretischen Hintergrund funktioniert diese Methode? Die Forscher haben sich dem Thema der Werkzeugbewegung beim Produktionsvorgang zugewendet und versucht, dafür eine adäquate mathematische Beschreibung zu liefern. Dies gelingt mit Erfolg, denn die Werkzeug-Werkstück-Gesetzmäßigkeiten sind für die vorliegenden Anwendungsfälle quasi-deterministisch bekannt. Mit dieser Methodik gewinnt man demnach den großen Vorteil, für eine bekannte Technologie weitgehend automatisch funktionierende Maschinensteuerungen aufbauen zu können. Wichtigstes Werkzeug zur Umsetzung mathematisch definierter Bewegungsabläufe ist die programmgesteuerte elektronische Rechenmaschine. Und so kann sich im Wissenschaftsbetrieb der Ingenieure sogar eine am Computer orientierte Sichtweise der Technik durchsetzen: Das Schlagwort CIM (Computer Integrated Manufacturing) wird 'gleichermaßen Reizwort wie Strategie'¹. Die Ausbildung der Ingenieure steht heute noch im Paradigma des Rechners und die Vokabel CIM ist schnell zu "Handbuch-Wissen" avanciert: 'Die Rechnerintegration stellt den Kern zukünftiger Produktionssteuerung dar. Sie verfolgt letztlich das Ziel der automatischen Fertigung von variablen Produktprogrammen.'² Tatsächlich wird durch das aufgezeigte Verfahren eine im Rahmen einer bekannten Technologie liegende, quasi-vollständig definierbare, geschlossene Systemstruktur realisierbar, die die Basis für vollautomatisierte Produktionseinrichtungen wäre.

Wie aber ist jetzt die Lage für neue Technologien, neue Werkstücke/ Werkzeuge und damit neue Produkte? Diese Frage ist deshalb wesentlich, weil unsere Produktionsbetriebe zum Erhalt ihrer Wettbewerbsfähigkeit ständig Produkte verbessern und durch neue Produktgenerationen ersetzen müssen. Durch die Verschärfung des internationalen Wettbewerbs sind sogar schon längere Produktentwicklungszeiten als Produktlebenszeiten entstanden (erstere können über fünf Jahre liegen). Für neue Technologien zur Herstellung neuer Produkte, für neue Werkstücke, Werkzeuge und Werkzeugmaschinen, neue Werkzeug-Werkstück-Gesetzmäßigkeiten weichen aber die für die ältere Technologie gewonnenen Formalisierungen für eine automatische Produktion öfters ab. Das liegt daran, daß diese Formalisierungen stark empirisch und durch vereinfachende Modellbildungen geprägt sind und die tatsächlichen Verhältnisse nur eingeschränkt wiedergeben. Dazu ein Beispiel aus der Mikroelektronik. Betrachten wir das in Integrierten Schaltkreisen (Integrated Circuit IC) als Isolierschicht verwendete "Gate-Oxid". Kleine Änderungen auf der Mikrostrukturebene können unter Umständen große Änderungen von Soll-Eigenschaften auf der übergeordneten elektrischen Schaltkreisebene bewirken. So verliert bei einer Verringerung unter die Grenzdicke des Tunneleffektes die Isolationsschicht ihre "isolierende" Wirkung: die Elektronen "tunneln" dann relativ ungehindert durchs Gate-Oxid. Solche Effekte wären zwar mittels der Quantenmechanik zumindest statistisch vorhersehbar. Aber alleine schon aus praktischen Gründen ist es unmöglich, alle prinzipiell wahrscheinlichen Zustände eines solchen Vielteilchensystems auszurechnen.

¹ GEITNER, UWE W. (HRSG.): CIM Handbuch. Wirtschaftlichkeit durch Integration. Braunschweig 1987, S.IX

² WARNECKE, HANS-JÜRGEN: Geleitwort zum CIM Handbuch, in: Geitner, U. W.: a.a.O., S.V

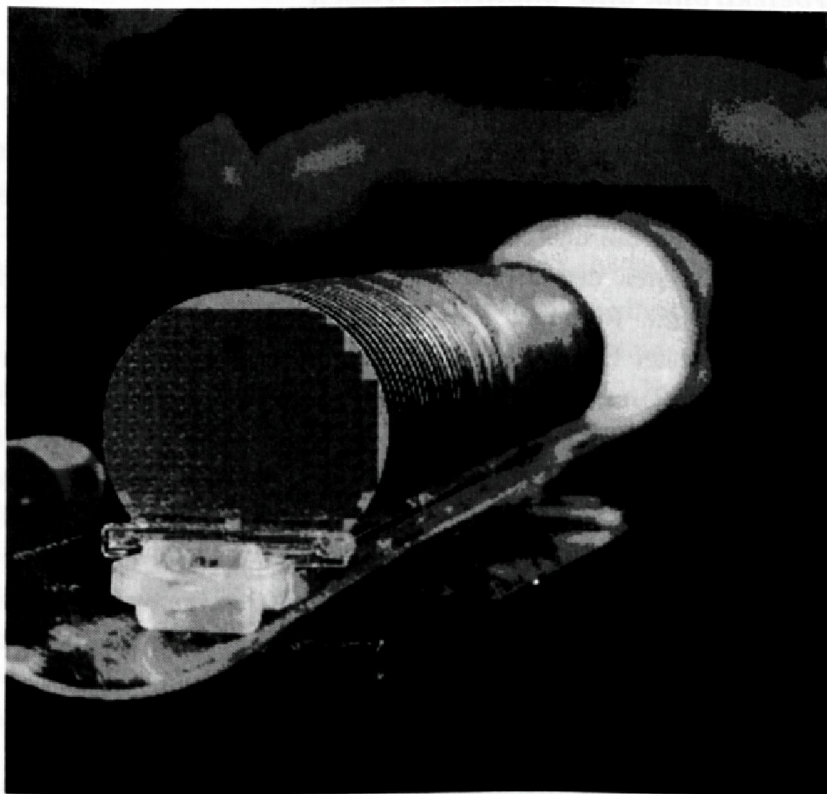


Bild 1.3 *Trägerscheiben aus Silizium mit einigen hundert Chips auf jeder Scheibe bei der Einfahrt in einen Ofen - durch einen solchen Prozeß wird auch das Gate-Oxid hergestellt (Quelle: Siemens AG)*

Man behilft sich mit statistischen Verfahren, die zumindest statistisch gesicherte Produktlebenszeiten gewährleisten sollen. Im Lichte dieser nicht-deterministischen Systemeigenschaften der Materie avanciert die Statistik zu einem wichtigen technischen Instrumentarium der Ingenieure, das mit zur Überwindung der Schranken eines deterministischen Weltbildes dient. Deshalb kann jetzt schon festgestellt werden, daß die zu einer automatisierten Herstellung notwendigen Produktinformationen wegen den Problemen, die a) aus Heisenbergs Unschärferelation und b) aus der Modellierung von Vielteilchensystemen folgen ("chaotisches Systemverhalten"), aus ontologischer Sicht immer unvollständig sind.¹ Aus epistemologischer Sicht gehen zudem mit dem Übergang von der analogen "record-playback"-Technik zur digitalen CNC-Technik weitere informationelle Strukturen technischen Handelns verloren, denn dieses Verfahren unterstützt keine Annäherung an die personal-nichtsprachliche Theorie zur Generierung der analog orientierten Maschinensteuerung durch die Anwenderpersönlichkeit.

¹ vgl. z.B. die Beiträge in KÜPPERS, BERND-OLAF (HRSG.): **Ordnung aus dem Chaos. Prinzipien der Selbstorganisation und Evolution des Lebens**. München 1987. [Die Chaos-Theorie basiert auf den Problemen von Vielteilchensystemen, wie es - auf der atomaren Ebene - auch jeder Mikrochip darstellt. Doch selbst wenn wir die daraus resultierenden, riesigen Gleichungssysteme lösen könnten, sind die Anfangsbedingungen eines solchen Systems aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation nie exakt meßbar.]

1.3.2 Mikroelektronik und implizites Wissen

α) Entwicklungsgeschichtlicher Überblick¹

Die Vorgeschichte der Mikroelektronik wird durch Ferdinand Braun (1850 - 1918) eingeleitet. Er beschäftigt sich mit den elektrischen Eigenschaften an Grenzflächen zwischen Metall und Kristall und entdeckte den Gleichrichtereffekt. Auf der Basis der „Braunschen Röhre“ leiten der Österreicher Lieben und der Amerikaner De Forest Anfang des 20. Jh. die Röhrenelektronik ein. In dieser Technik wird der erste elektronische Großrechner ENIAC gebaut (1945). ENIAC benötigte eine Grundfläche von 140 m², hatte eine Leistungsaufnahme von ca. 150 kW, bestand aus *über 18.000 Elektronenröhren*, kostete ca. 2 Millionen Dollar und konnte soviel wie ein heutiger Taschenrechner zum Preis von wenigen DM. Etwa zur gleichen Zeit, 1940, entdeckt der in den Siemens-Werken arbeitende Industrieforscher Schottky die Grenzschichteffekte bei Halbleitern. Auf der Basis der Begriffe *Grenzfläche*, *Elektronenverarmung (Löcher)*, *Elektronenüberschuß* entwickelte er ein Modell zur Beschreibung der elektrischen Eigenschaften in Halbleitermaterialien, das auch heute noch gerne zur Beschreibung des Gleichrichtereffektes genommen wird. Als der Amerikaner William Shockley 1948 den Transistor in Bipolar-Technologie erfindet, geht die Gründerphase der Erforschung und Begriffsbildung der elektrischen Eigenschaften von Halbleitermaterialien zu Ende. Die grundlegenden elektronischen Bauelemente sind von da an bekannt (Transistor, Speicher).

In den darauffolgenden Jahren beginnt die Blütezeit des berühmten „Silicon Valley“ - das an der von der „Golden Gate Bridge“ und dem Pazifik grenzenden Bucht bei San Francisco gelegene Tal ist Ausgangspunkt für die industrielle Nutzbarmachung der Mikroelektronik. 1961, am Beginn der Reifephase der Mikroelektronik, wird von Jack Kilby (Texas Instruments; Dallas) und Bob Noyce (Fairchild; Silicon Valley) die „Integrierte Schaltung“ entwickelt. Voraussetzung für diesen Erfolg war die Nutzbarmachung der *Planartechnologie* für die Fertigungstechnik der Bauelemente. Diese Technologie zur Bearbeitung von Oberflächen mit Hilfe fototechnisch erzeugbarer Masken haben die Pioniere den Drucktechnikern abgeschaut. Ab dann nehmen die Konzeptionen auf Silizium systemtechnischen Charakter an: *Systems on Chips* lautet das Schlagwort. Die Designs in Halbleiter-Technologie werden nun massiv für die Zwecke der Datenverarbeitung angewendet. Japan engagiert sich heute stark in den nutzbar gemachten Technologien. In etwa 10 Jahren ist es ihnen gelungen, sich als Bauteilehersteller weltweit mit an die Spitze hochzuarbeiten. Die Stärke Japans liegt im Bereich der Fertigungstechnik, wo das deutliche Defizit bei Grundpatenten weniger ins Gewicht fällt.

¹ Eine hervorragende „Einführung in die Welt der Mikroelektronik“, in der auch die heutige Lage Europas diskutiert wird, bietet: **QUEISSER, HANS: Kristallene Krisen. Mikroelektronik - Wege der Forschung, Kampf um Märkte.** München ²1987

β) Zur heutigen Lage der Mikroelektronik

Die Mikroelektronik ist mittlerweile 'vom Forschungsthema zur Schlüsseltechnologie'¹ avanciert. Denn von dieser *enabling system technology*, die zwar nur gut ein Promille des bundesdeutschen Bruttosozialproduktes ausmacht (1988: 2,8 Mrd. DM), werden doch Industrieerzeugnisse im Wert von knapp einem Drittel des Bruttosozialproduktes (1988: 612 Mrd. DM) beeinflusst. Diese Gruppe ist: Elektrotechnik, Maschinenbau, Fahrzeugbau, Feinmechanik/Optik, Computertechnik. Die Mikroelektronik befindet sich in einem internationalen Wettbewerb und wird ihrerseits weltweit umworben. Dadurch sind selbst weltweite Marktführer auf Kooperationen angewiesen, wie das Beispiel von IBM/SIEMENS/Toshiba zeigt.² Neben Japan haben Korea, Taiwan und Singapur im vergangenen Jahrzehnt Anschluß an die Spitzengruppe der Hersteller mikroelektronischer Produkte (sog. „Halbleiter“) gefunden. Zukunftstechnologien sind die Mikroelektronik, neue Werkstoffe, Biotechnologie, Systemtechniken und die Meerestechnik. 'Die neuen Techniken werden zu völlig neuen Märkten führen und gleichzeitig die Wertschöpfung in den bestehenden Industriebereichen erhöhen.'³ In der Bundesrepublik wird der Stellenwert der Mikroelektronik durchaus kritisch gesehen; hier tut ein Grundkonsens not.⁴

γ) Der Herstellungsprozeß

Der Herstellungsprozeß moderner Produkte ist ungeheuer komplex. In der Mikroelektronik ist der Begriff der Ausbeute gängig, der diese Problematik widerspiegelt. Darunter versteht man die Anzahl der funktionsfähigen IC's im Verhältnis zu den insgesamt produzierten IC's. Während man in anderen Produktionsbereichen bemüht ist, 100% Ausbeute zu erreichen (also keinen Ausschuß herzustellen), liegt das Ausbeuteziel für eine eingefahrene Fertigung z.B. bei 80 - 90 %. So liegt die Ausbeute beim „Hochfahren“ erst bei ca. 1-3%. Während des Fertigungshochlaufs einer neuen Technologie sammelt das Team jedoch Erfahrung und erkennt mit der Zeit die wichtigsten Einflußparameter. Der Herstellungsprozeß umfaßt

¹ **BECKER, FRANK S.:** Mikroelektronik: Vom Forschungsthema zur Schlüsseltechnologie. Sonderdruck aus Siemens Components 4/90, S.116-19

² Die Siemens AG entwickelt mit IBM und Toshiba die Technologie des 256 Megabit IC's und hat den Bau einer entsprechenden Fabrik in Dresden aufgenommen; vgl. Pressemitteilung der Siemens AG, Dresden, 23.12.1993

³ **ELI, MAX:** Japans Wirtschaft im Griff der Konglomerate. Verbundgruppen Banken Universalhandelshäuser. Frankfurt am Main 1988, S.30 [Dieser Band liefert einen hervorragenden Einblick in die Entwicklung wirtschaftlicher Strukturen in Japan. Insbesondere geht Eli auch auf die Gruppenbildung ein.]

⁴ Von 1989 bis 1996 läuft das europäische Forschungsprojekt JESSI (Joint European Submicron Silicon); vgl. **RIESENHUBER, HEINZ:** Forschungsprojekt Jessi ist auf dem richtigen Weg. in: Mikroelektronik Bd.3 (1989) Heft 2, S.54-55; ferner **WEINERTH, HANS:** Grundkonsens über den Stellenwert der Mikroelektronik tut not. in: Mikroelektronik Bd.2 (1988) Heft 3, S.98. Weinert diskutiert hier besonders die 'beschämenden Reaktionen im Inland', mit denen die Schlußfolgerungen der Studie "Mikroelektronik 2000" aufgenommen wurden. In dieser Studie wurden Ziele und Maßnahmen zur Sicherung der europäischen Mikroelektronik-Industrie von Vertretern aus Forschung und Wirtschaft erarbeitet. Die Studie wurde veröffentlicht in: Mikroelektronik Bd.1 (1987), Heft 1 & 2.

einige hundert Arbeitsschritte (Operationen). Die einzelnen Spezifikationen müssen peinlich genau eingehalten werden, damit letztlich das Bauteil funktioniert (bei 450 Operationsschritten muß jedes "Prozeßfenster" zu 99,95% eingehalten werden, um eine Gesamtausbeute von 80% funktionierender IC's zu bekommen; schon bei nur 99% sinkt die Ausbeute auf 1% herab).

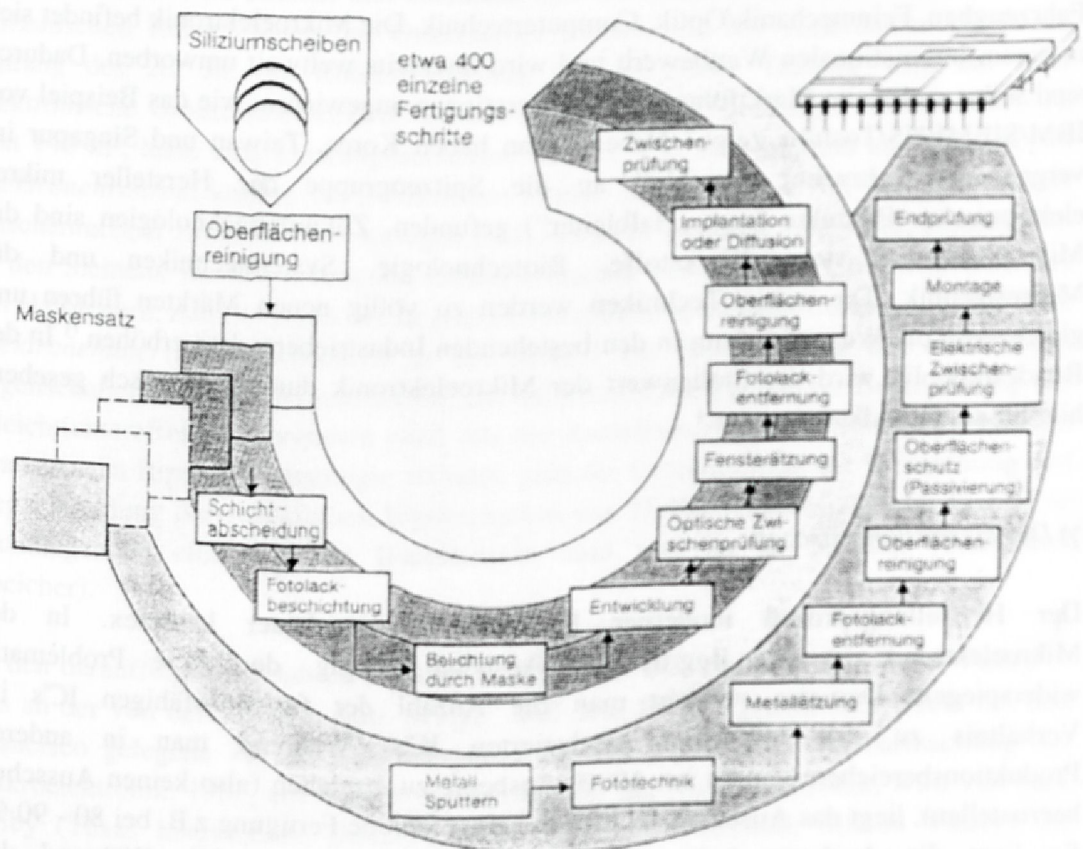


Bild 1.4 Schematisierter Herstellungsprozeß mikroelektronischer Bauteile

Basiselemente jedes IC's sind Kondensatoren und Transistoren, die zu Funktionseinheiten zusammengeschaltet werden und die eindeutig die vielfältigen Eigenschaften eines IC's bestimmen. In der Herstellung dieser Strukturen steckt das Know-how des Produktionsbetriebs. Dazu werden die einkristallinen Trägerscheiben (engl. "wafer"; zumeist aus Silizium) mit einem Lack beschichtet und über ein lithographisches Verfahren mit einer Maske, die die zu erzeugenden Strukturen enthält, belichtet. Nach der Entwicklung verbleiben nur noch die gewünschten Lackstrukturen auf der Trägerscheibe. Dann erfolgt z.B. eine ganzflächige Ätzung, die einerseits ein Stück der noch vorhandenen Lackstrukturen wegätzt und andererseits aber auch in die Trägerscheibe hineinätzt. Wird anschließend der Restlack entfernt, dann sind in der Trägerscheibe feinste Strukturen erzeugt worden. Vergrößert man etwa einen modernen IC auf Fußballfeldgröße, dann weist er immer noch Strukturgrößen im Milli- bzw. Zentimeterbereich auf.

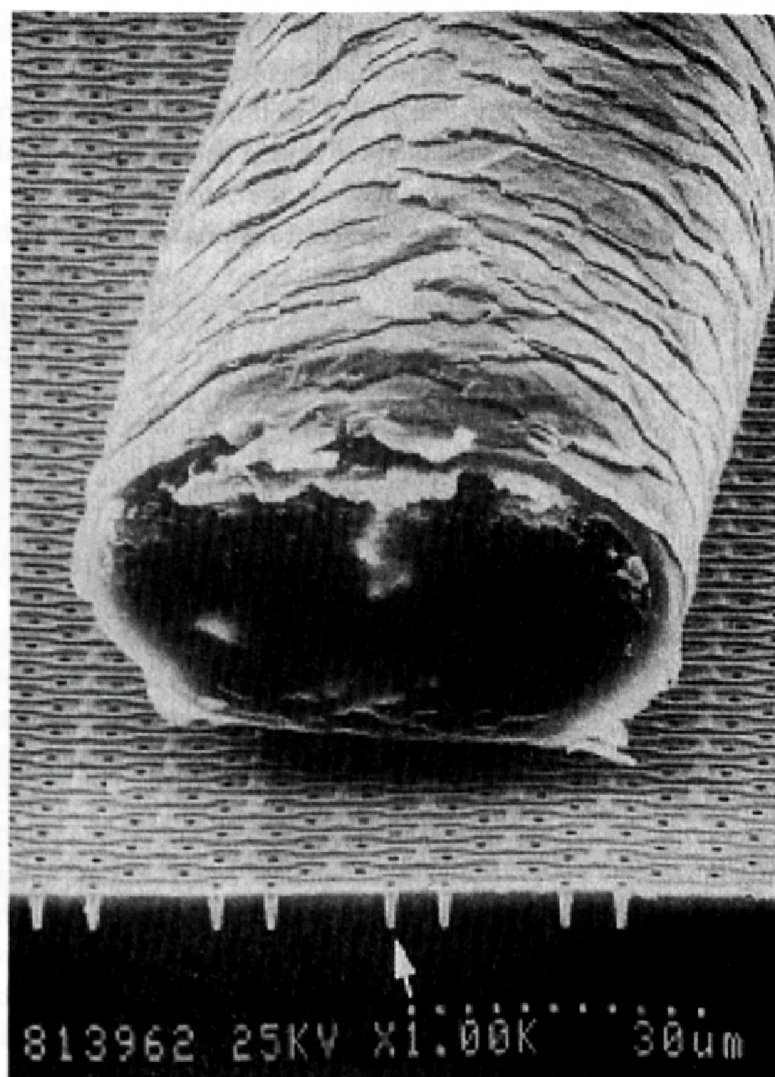


Bild 1.5 Querschnitt durch einen 4-Megabit IC; der Pfeil kennzeichnet einen Grabenkondensator; diese liegen etwa $1/1000$ mm auseinander. Dazu im Vergleich ein menschliches Haar. (Quelle: Siemens AG)

Nachdem die Trägerscheiben den Gesamtprozeß durchlaufen haben, befinden sich einige hundert funktionsfähige IC's auf jeder Scheibe. In der nachfolgenden Montage werden die IC's vereinzelt, in Gehäuse montiert und mit den Kontaktfüßchen versehen. Nach dem letzten Funktionstest sind sie fertig für den Verkauf. Die Produktion dieser Produkte erfolgt in turnhallengroßen „Reinräumen“; diese sind wesentlich staubfreier als jeder Operationssaal („Reinraumklasse 10“: weniger als 10 Partikel/15 l Luft). Zur Erzeugung dieser extrem reinen Produktionsbedingungen ist eine aufwendige Infrastruktur notwendig, die auch die Zulieferindustrie mit einbezieht. Arbeitsplatz, Mensch, Produktionsanlagen müssen gleichermaßen in einem Gesamtkonzept berücksichtigt werden. Ziel der Reinraum-Technologie ist, die in Verbindung zur Trägerscheibe stehenden Partikelquellen zu minimieren. Diese sind: Menschen, Anlagen, Chemikalien. In einer modernen Fabrik arbeiten einige hundert Menschen „rund um die Uhr“.

Besonders kritisch an der Herstellung von IC's ist, daß während der gesamten monatelangen Herstellungsphase ihre gewünschte elektrische Funktionsfähigkeit gar nicht geprüft werden kann. Diese entsteht ja erst nach der letzten Verdrahtungsebene, also wenn alle Strukturen schon miteinander verbunden sind und der Gesamtprozeß so gut wie abgeschlossen ist. Desto aufwendiger ist die Analytik und die Meßtechnik während des Herstellungsprozesses. Aus diesen Messungen erhält man zumindest indirekte Hinweise über den momentanen Qualitätsstand. Natürlich nimmt die Anzahl der Messungen ab, je besser man den Gesamtprozeß versteht. In der F+E Linie des 16 Megabit DRAM, dessen Massenproduktion weltweit inzwischen hochgelaufen ist, kommen von > 400 Prozeßschritten mehr als 140 Messungen vor. Gemessen werden Schichtdicken (ca. 40-50 mal), Partikeldichten (20-30 mal), Linienbreitenmessungen (ca. 20 mal) und andere physikalische Messungen.¹

In zunehmendem Maße bieten *Simulationswerkzeuge* technische Unterstützung, durch die ein vertieftes Verständnis der physikalischen Prozesse erreicht werden kann. Diese Systeme sind aus anthropologischer Sicht deshalb interessant, weil es darum geht, ein *anschaulich-analoges* Modell der Zusammenhänge zu gewinnen, denn nur auf einer anschaulichen Basis ist erfolgreiches Handeln möglich. Simuliert werden bereits alle empirisch in Modellen festschreibbaren Zusammenhänge: die Schaltungstechnik des IC's; die Einzelprozesse (z.B. Hochtemperaturprozesse); die Vorgänge im Silizium (z.B. die Entwicklung von Dotierprofilen); Fertigungsgeräte und deren Verhalten (z.B. Strömungsverhältnisse und damit Schichtdickenhomogenität). Heute sind bereits die höheren Effekte maßgebend, die man noch vor 10 Jahren kaum kannte. In der Produktion kommt die Materialflußsimulation noch hinzu. Besonderes Problem ist die genaue, modellhafte Erfassung der physikalischen Effekte, also die Objektivierung menschlichen Handlungswissens. Es ist ein lernintensiver Prozeß, bis man den Simulationswerkzeugen vertrauen kann.

δ) Implizites Wissen: ein erster Vorbegriff

Mikroelektronik-Bauteile lassen sich physikalisch als atomare Vielteilchensysteme abbilden. Die Probleme und Randbedingungen bei der Herstellung dieser Produkte wären theoretisch beschreibbar, wenn nicht schon aus praktischen Gründen die enorme Größe der dann notwendigen Gleichungssysteme deren Quantifizierung unmöglich machen würde. Die Techniker arbeiten mit vereinfachenden, abstrahierenden Modellbildungen und deshalb mit einer wissenstheoretisch besonderen Art von Wissen:

Für den größten Teil der Mitarbeiter heißt die Devise: Probleme lösen statt erklären; wissen worauf es ankommt, nicht warum. Dies mag aus Sicht des 'reinen' Forschers (eine besonders in Deutschland Artenschutz genießende Spezies) unannehmbar sein - es sei jedoch daran erinnert, daß es heute keine *subum* Technologie gäbe, wenn Detailverständnis vor Weiterarbeit gesetzt wird.²

¹ vgl. FÖLL, H.; BECKER, FRANK S.: Industrielle Entwicklung und Fertigung von Halbleiterbauelementen. in: KFA Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Festkörperforschung, Festkörperforschung für die Informatik, März 1990, S.16.34ff

² a.a.O., S.16.9

Bei dieser Art von Fertigkeiten-Wissen scheint es sich um ein "Können-Wissen" zu handeln. In der techniktheoretischen Diskussion wird diese persönliche Können-Dimension des Wissens schon aufgegriffen¹ und hat bereits Eingang in philosophisch-wissenstheoretische Untersuchungen gefunden.² Demzufolge breiten sich kognitive Können- oder Wissen-wie-Prozesse in einer vorsprachlichen und vorbewußten Sphäre logisch vor den späteren, sprachlich-bewußten Wissensprozessen (Wissen-daß) aus.

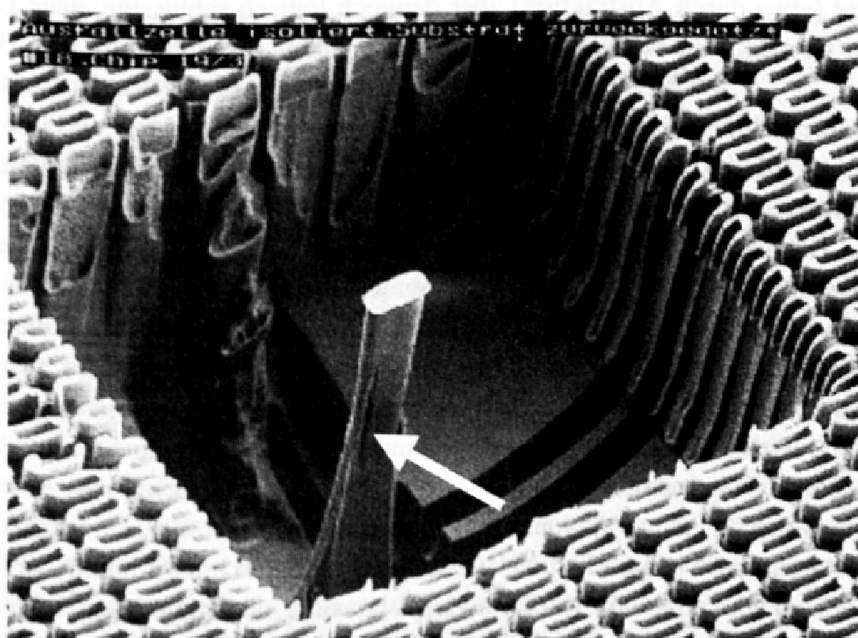


Bild 1.6 Freigelegter Trench mit Trenchdefekt einer Speicherzelle beim 16M-DRAM (Quelle: Siemens Microelectronics Center)

Dieser vereinfachende Ansatz verschweigt jedoch die wahren Zusammenhänge und deshalb geht es in dieser Studie um ein theoretisches Verständnis für das Zusammenspiel solcher bewußten und unbewußten, sprachlichen und nichtsprachlichen Wissensstrukturen. Denn gerade der symbolisch-sprachlich gestützte Lernprozeß, der zum eigentlichen Können und zum Aufbau unseres Selbst führt, kann solche zunächst nur rudimentären Fertigkeiten durch aufzuzeigende Multiplikationsfaktoren verstärken, verfeinern und sogar spontan zu neuen, mental höherstehenden kognitiven Strukturen kombinieren. Zudem wird durch die Herausbildung symbolisch-persönlicher Konzepte und Strategien eine Wissensdimension erschlossen, die rein sprachlich nur noch unvollständig wiedergegeben werden kann, denn im sprachlichen Aussagenkalkül lassen sich eben nur kulturell-normierte, sprachlich gestützte und nicht mehr individuell-symbolische, durch persönliche Denkheuristiken angereicherte Wissensstrukturen abbilden. Diese im aktuellen Handlungszusammenhang aktivierten analog-

¹ vgl. die Explikation des Wissensbegriffs in *ROPOHL, GÜNTER: Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie*. München Wien 1979

² vgl. *BRÜGGEN, MICHAEL: Wissen*, in: Krings, Hermann; Baumgartner, Hans-Michael; Wild, Christoph (Hrsg.): *Handbuch philosophischer Grundbegriffe*. Bd. III, München 1974, S.1723-39

bildhaften, nichtsprachlichen Wissensstrukturen möchte ich als *implizites Wissen* (dem *Know-how* in der Technik) deuten. Der Grundgedanke liegt dabei darin, kognitiv zunächst unzusammenhängende Wissensstrukturen („distribuierte Wissenskontexte“) als die informationelle Basis für spätere Lösungen zu konzeptualisieren. Der dann zu konkretisierende gemeinsame Rahmen läßt sich mittels eines im aktuellen kognitiven Zusammenhang gemeinsam aktivierten Wissenskontextes explizieren. Hier können zunächst völlig disparat anmutende Wissenszusammenhänge hineinspielen, vor deren Hintergrund (etwa durch Abstraktion) aber dennoch logisch schlüssige, neue Lösungen generierbar werden. Dies führt zum Projekt einer *inversen Semantik* (vgl. Kap. 3.1.3).

Wenn wir menschliches Wissen durch konnektionistische Systeme erklären wollen, dann paßt ein solches Systemverhalten auch sehr gut in den hier verfolgten Ansatz, implizites Wissen – und damit das berühmte, auf nichtsprachlich-personaler Theorie beruhende „Gewußt-wie“ – als konstitutionellen Faktor auch für jede explizite Theorie aufzuwerten und in den Mittelpunkt der weiteren Untersuchungen zu stellen. Distribuierte Wissenskontexte sind damit *prima facie* unser Deutungskonstrukt der Stärke menschlichen Denkens und Handelns. Und dieses Wissen hat die Struktur von persönlichen, nichtsprachlichen Theorien, d.h. dieses Wissen involviert Abstraktions- und Wiederverwendbarkeitsvermögen. Damit ist auch die Trennlinie zur propositionalen Wissensrepräsentation gegeben, wie es etwa in sogenannten „Expertensystemen“ zur Anwendung gelangt. Denn diese propositionalen Wissensstrukturen sind ja gerade nicht vor dem Hintergrund unterschiedlicher Wissenskontexte verschiedenartig aktivierbar, vielmehr sind die möglichen Aktivierungsrichtungen strikt durch die propositionale Organisation dieser Strukturen vorgegeben.

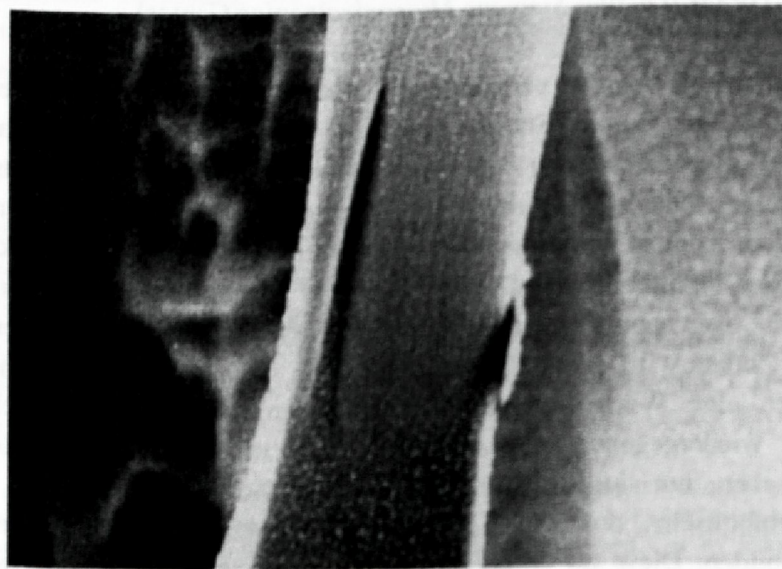


Bild 1.7 Detailbild des Trenchdefektes; durch diesen Defekt der Isolationsschicht des Trench-Kondensators entweicht die Bit-Information der Speicherzelle (Quelle: Siemens Microelectronics Center)

Die Aktivierung problemlösenden Know-hows ist uns über jenes *Gefühl* bekannt, das unsere erfolgreichen Handlungen begleitet. Michael Polanyi ist meines Wissens der erste, der diesen phänomenologischen Zusammenhang zwischen "Wissen" und "Gefühl" thematisiert. Das Ignorieren dieser Wissensdimension führt sogar zu einer Destabilisierung unseres Selbst. Wir brauchen demnach eine handlungstheoretische Anthropologie, die Bewußtsein, Sprache, Gefühl und Selbst als konstituierende Elemente unseres Wissens und Wesens begreift.

1.3.3 Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften

Wieso konnte es überhaupt kommen, daß die Technikwissenschaften an neuartige Probleme und Grenzen stoßen? Welche Gründe sprechen dafür, daß heute auf breiter Basis ein Paradigmenwechsel in den Technikwissenschaften stattfinden könnte? In seiner Analyse identifiziert Günter Ropohl das ungenügende Selbstverständnis dieser Wissenschaften dahingehend, daß sie sich zu sehr auf eine physikalistische Theorie der Sachsysteme beschränken, als die wirkliche technische Praxis handlungstheoretisch zu erfassen und anzuleiten.¹ Ein Grund könnte darin liegen, daß die von humanistisch vorgebildeten Ingenieuren noch gepflegten *Mensch-Maschine-Konzeptionen* der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts heute erst langsam wieder an Boden gewinnen.² Die durch die rationalistische Methode der Naturwissenschaften geprägten Technikwissenschaften zogen sich mit der Gründung eigener Hochschulen schließlich aus dem wissenschaftlichen Umfeld der Universitäten zurück, in dem das Thema "Mensch" von sich aus für eine geistige Offenheit sorgt. Auch die moderne Informationstechnik ist in einem Geiste analytischer Rationalität entstanden, der über das kategorische Ignorieren unserer analogen, "gefühlsmäßigen" Wesensaspekte sogar zu den Konzeptionen der "künstlichen Intelligenz" führt.³ Welcher Natur sind diese Zusammenhänge, die den ingenieurwissenschaftlichen Theorien diese Probleme bereiten? Peter Brödner hat in einer soziohistorischen Analyse den ab 1880 einsetzenden Taylorismus als (eine) Ursache für dieses Phänomen erkannt. Ziel des Taylorismus ist es, den kompletten Produktionsprozeß theoretisch-analytisch möglichst vollständig zu durchdringen, um die dann bis ins kleinste Detail definierten Einzeltätigkeiten auch von ungelerntem Personal durchführen lassen zu können.⁴ In der aufkommenden Industrialisierung Amerikas ist diese Methodik optimal an die sozialen Randbedingungen angepaßt. Der notwendige Analyseaufwand macht die Produktion zwar schwerfällig, wenn der Markt nach neuen

¹ vgl. **ROPOHL, GÜNTER: System und Methode. Die neue Philosophie im technischen Handeln.** in: Hubka, Vladimir (Hrsg.): *Proceedings of ICED 91*. Zürich 1991, Volume 1, S.210

² Für die Diskussion dieser Zusammenhänge danke ich Herrn Peter Wirth, Siemens München. Ein neues, sehr anschauliches Verständnis für die Technik und deren visuelle, nichtsprachliche, implizite, stillschweigende, künstlerische Dimension wird vorgestellt in: **FERGUSON, EUGENE S.: Das innere Auge. Von der Kunst des Ingenieurs.** Basel Boston Berlin 1993

³ In der KI-Diskussion bemüht man sich gerade um die Erarbeitung der anthropologischen Grundlagen. Vgl. **VDI-HAUPTGRUPPE (HRSG.): Künstliche Intelligenz. Leitvorstellungen und Verantwortbarkeit.** Düsseldorf 1993

⁴ vgl. **BRÖDNER, PETER: Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik.** Berlin 1986 [vgl. besonders Kapitel 2: 'Wie die Fabrik wurde, was sie ist']

Produkten verlangt. Aber in Zeiten der Massenproduktion Henry Fords können so unbestreitbare Erfolge geleistet werden. Demgegenüber gibt in Deutschland besonders die auftragsgebundene Kleinserienfertigung den Anstoß zum industriellen Aufschwung, in der die Facharbeiter das notwendige Know-how aufbauen.

Noch ein weiterer Gesichtspunkt kommt hinzu: In der Psychologie wird mit dem Aufkommen des Behaviorismus die Theoretisierung des Bewußtseins und des Selbst beendet. In dieser Denktradition wird alles Verhalten - auch das menschliche - durch primitive Input-Output-Reaktionsschemata gedeutet. Jetzt ist dieser Schritt insofern folgerichtig gewesen, als die komplexer werdenden technischen Systeme der Nachkriegszeit wieder eine gesteigerte Sachkompetenz und Know-how verlangen. Der Begriff des Mensch-Maschine-Systems entsteht und wird besonders in den USA Gegenstand umfangreicher Untersuchungen, beispielsweise im Zusammenhang mit der Gestaltung des Cockpits moderner Großraumflugzeuge. Aber bei einer näheren Untersuchung der dort modellhaft entwickelten Theorie menschlicher Informationsverarbeitung spielt die Konzeptualisierung des Bewußtseins, beispielsweise zur Unterscheidung bewußter und unbewußter Informationsprozesse, überhaupt keine Rolle.¹ So wird es zwar möglich, ein durch Erfahrung schon gut vorstrukturiertes Arbeitsfeld auf der sensorischen, motorischen und ergonomischen Ebene zu optimieren. Damit bleibt man aber, auch theoretisch, von einer Analyse der geistigen Tiefe des Mensch-Maschine-Systems weit entfernt. Denn alleine vor einem solchen Hintergrund erscheint es unmöglich, eine anthropologische, dem sich selbst organisierenden technischen Handlungsprozeß gegenüber offene Systemkonzeption zu begründen, wie ich es am Beispiel der Automatisierung der Mikroelektronik-Herstellung zeigen werde. Neue Techniken und Technologien entstehen dadurch, daß für das anvisierte Ziel (z.B. mikroelektronische Bausteine, sog. "Chips", in einer neuen Technologie mit noch kleineren Strukturbreiten herzustellen) der Mensch durch seine offene Systemcharakteristik neue mentale Problemlösungen (Innovationen) produziert. In diesem Grobentwurf sind aber noch nicht alle Detailprobleme gelöst. Erst, wenn nach Durchdringung und Reflexion der Details eine Produktionsmaschine, die mit einer neuen Produktionstechnologie arbeitet, "gekonnt" geführt wird, das heißt unter Rückgriff auf inzwischen durch Erfahrungsaufbau gelernte, teilweise unbewußte Handlungsstrukturen auf der Maschinenebene, können die notwendigen steuerungstechnischen Parameter definiert werden. Automatisierung ist kein Produkt, sondern ein Prozeß, bei dem der Anwender durch den anthropologischen Prozeß des Erfahrungsaufbaus mit dem automatisierten Produktionssystem mittels systemöffnender Werkzeuge der strukturellen Kopplung langsam zu einem übergreifenden Mensch-Maschine-Gesamtsystem zusammenwächst. So wird durch implizites Wissen geprägtes, mental hochorganisiertes Handeln möglich.²

¹ vgl. KANTOWITZ, BARRY H.; SORKIN, ROBERT D.: *Human factors. Understanding People - System Relationships*. USA 1983. ferner: OPPERMAN, REINHARD: *Gestaltung der Mensch-Maschine-Kommunikation*. in: *Informationstechnik* 31 (1989) 3, S.181-9

² "Man muß ein Feeling für das Material aufbauen statt abstrakte Werte einzugeben" aus: *VDI Nachrichten Nr.33*, 20.8. 1993, S.8 ["Wer dreht nicht gern am Rad?" Die neue Technik orientiert sich an den Fähigkeiten der Facharbeiter - von Stefan Willeke]

1.3.4 Notwendigkeit und Möglichkeit eines neuen Menschenbildes

α) Notwendigkeit eines neuen Menschenbildes

Neue technologische Ansätze, die mit soziologischen¹ oder anthropologischen² Grundlagen arbeiten, sind etwa die Gruppentechnologie oder die inzwischen weltweit bekannt gewordene schlanke Produktion, die 'Lean Production'³. Man bemüht sich um "Gegenentwürfe zur Fertigung in Geisterschicht", um eine Neuorientierung im Mensch-Maschine-Verhältnis. Auch die Konstruktionswissenschaften öffnen sich neuerdings aus vergleichbaren Motiven Fragen nach der Natur unseres technischen Wissens und Handelns.⁴ Die Idee dabei ist, eine allgemeingültige, deskriptive Theorie des Konstruktionsprozesses zu finden. Dies wiederum hat zum Ziel, die schon vorhandene Konstruktionsmethodik besser an die persönlichen Voraussetzungen der Konstrukteure auszugleichen und den sinnvollen Einsatz computergestützter Hilfsmittel wie CAD-Systeme oder wissensbasierte Systeme zu konzipieren.⁵ Es soll nach bestimmten Methodiken - also Handlungsvorschriften - gearbeitet werden, um für eine bestimmte Aufgabe eine Lösung zu finden.

Aber auch solche von Praktikern erstellte Methoden leiden noch unter dem verkürzten Menschenbild, das besonders unter uns Technikern herrscht. Als Beispiel nehmen wir hier die Konstruktionslehre, wie sie von Gerhard Pahl und Wolfgang Beitz entwickelt wurde.⁶ Zunächst werden die Anforderungen analysiert und dann wird die eigentliche konstruktive Aufgabe als abstrakter Satz oder Begriff formuliert (z.B. "finden eines Beförderungsmittels"). Durch schrittweises Konkretisieren (über Funktionsschemata bis zu geometrischen Entwürfen) wird man bis zur Konstruktion geleitet. Dadurch werden all die vielen Randbedingungen zum Entwerfen einer Konstruktion "automatisch" mit berücksichtigt (Gesamtfunktion -> Einzelfunktionen -> Einzelteile -> Herstellbarkeit der Einzelteile -> Gesamtkonstruktion). Dies ist eine besonders für den *Erfahrungsaufbau* bewährte Vorgehensweise, die auch genau unserer Fähigkeit entspricht, mit abstrakten Begriffen zu arbeiten, Gesamtkonzeptionen zu bilden, die schematisch-begrifflich assoziierbar sind und dann in die Tiefe der Details zu gehen. Anders ist die Lage allerdings, wenn man bereits über ein relativ geübtes räumliches

¹ Ein französisch-deutsches Projekt ist GRAS, ALAIN; JOERGES, BERNARD; SCARDIGLI, VICTOR: *Sociologie des techniques de la vie quotidienne*. Paris 1992

² vgl. BRÖDNER, PETER: *Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik*. Berlin 1986

³ vgl. WOMAK, JAMES P.; JONES, DANIEL T.; ROOS, DANIEL: *Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology*. Frankfurt 1992

⁴ Siehe z.B. die Beiträge zur Sektion 'Denkprozesse beim Konstruieren' in: HUBKA, VLADIMIR (HRSG.): *Proceedings of ICED 91*. Zürich 1991, S.298-350 (Volume 1)

⁵ vgl. DYLLA, NORBERT: *Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren*. München 1991

⁶ PAHL, GERHARD; BEITZ, WOLFGANG: *Konstruktionslehre. Handbuch für Studium und Praxis*. Berlin - Heidelberg - New York 1977

Vorstellungsvermögen bzw. entsprechende implizite Wissensstrukturen verfügt. Dann nämlich kann eine solche, rein reduktiv arbeitende Vorgehensweise (vom Abstrakten zum Konkreten) eine bedeutende Einschränkung der Lösungsvielfalt bedeuten. Und zwar aus folgendem Grund: je enger man sich an die selbst gewählten "Lösungsbegriffe" hält, wird man auch tatsächlich lediglich Lösungen finden, die unter diese Begriffe fallen. Jedenfalls wird man, bei sorgfältiger Beachtung der Handlungsvorschriften, nicht spontan neue Erfindungen kreieren, in denen die geforderte Soll-Funktion unter Umständen nur ein Seiteneffekt ist. Wie lassen sich jetzt doch noch andere Lösungen finden? Indem man nicht von geforderten Eigenschaften, sondern von *paradoxen Eigenschaften* versucht auszugehen. Dies wurde auf der International Conference of Engineering Design 1991 in einem Beitrag am Beispiel einer Eismaschine demonstriert. Der Knackpunkt lag einfach darin, nicht mit dem Begriff "Eismaschine" zu arbeiten, der von sich aus die Lösungsvielfalt durch die assoziative Verkopplung von Begriff und Anschauung einschränkt. Vielmehr wurden völlig neue Lösungen dadurch gefunden, indem mit Anschauungen und Vorstellungen gearbeitet wurde, die gerade *nicht* unter diesen Begriff subsumiert werden konnten. So konnten mit dieser Vorgehensweise schon einige Erfindungen zu Patenten angemeldet werden. Dies ist die anthropologische Erklärung, warum Paradoxa durchaus befruchtend für Wissenschaft und Technik sind. Dahinter liegt die systemtheoretische Einsicht, daß zwar die Funktion eines Systems aus seiner Struktur abgeleitet werden kann. Eine bestimmte Funktion kann umgekehrt jedoch durch unendlich viele verschiedene Systeme realisiert werden, beispielsweise auch nur als "Seiteneffekt".¹ In einem dynamischen Umfeld werden wir ständig über unsere eigenen Methoden hinausgehen.

Als Resümee läßt sich sagen, daß wir eine moderne Deutung der Technik brauchen, die vor dem Hintergrund einer handlungstheoretischen Anthropologie entwickelt werden muß, um die volle Tragweite technischen Handelns theoretisch einzufangen und auch anleiten zu können. Günter Ropohl hat mit seiner "Systemtheorie der Technik" ein Beschreibungsmodell der Technik geliefert. In Ergänzung dazu ist es hier meine Absicht, technisches Handeln konsequent aus einer naturalistisch-anthropologischen Perspektive *mit informationstheoretischen Begriffen* zu beleuchten. Denn die großen Fortschritte der modernen Technik respektive deren Probleme kommen in unserem >>informationstechnischen Zeitalter<<² eben auch aus der Informationstechnik. Wir werden über die Probleme dieses Zeitalters nur durch eine Transformation ihrer Grundbegriffe hinausgehen können. Dazu ist gerade für den Begriff der Information dessen subjektive, implizite Ebene herauszuarbeiten, um den Werkzeugcharakter und die Menschengebundenheit dieses Begriffs zu beleuchten. Ich halte den Informationsbegriff in seiner rein logisch-rationalistischen Deutung (der Shannonsche Informationsbegriff) für ungeeignet, um darauf das Leitbild einer "Informationsgesellschaft" zu gründen. Denn Informationen und Informationssysteme sind ja immer nur Mittel im technischen Handeln. Dennoch wird in der vorliegenden Studie der Shannonsche Informations-

¹ vgl. dazu **ROPOHL, GÜNTER: Eine Systemtheorie ... a.a.O., S.77**

² vgl. **ROPOHL, GÜNTER: Menschliche und >>künstliche<< Intelligenz**, in: ders.: Technologische Aufklärung. Beiträge zur Technikphilosophie. Frankfurt am Main 1991, S.144-66

begriff als Mittel dazu verwendet, menschliches Denken und Handeln informationell zu deuten. Ich werde aber auf die Grenze und die Metaphorik dieses Ansatzes noch in diesem Kapitel zu sprechen kommen. Wir brauchen solche Metaphorik, um im Bereich des persönlichen Lernens und Wissens über die Grenzen der rationalistischen, kulturell-normierten Dimension dieses Leitbegriffs hinwegzugehen.

Warum aber dieser Aufwand? Sind denn die Unzulänglichkeiten menschlichen Denkens seit Frederic Vesters¹ oder Dietrich Dörners² Publikationen nicht hinlänglich bekannt? - In der Tat, sie sind es. Aber eben nur die *Unzulänglichkeiten*.³ Hier muß aufgearbeitet werden. Zwar stimme ich Vesters Vorschlag, daß wir heute ein fächerübergreifendes, vernetztes, "kybernetisches" Denken brauchen, vollständig zu. Dennoch ist die Analyse der Autoren, daß wir nicht besonders gut zu "vernetztem" Denken fähig sind, zumindest teilweise falsch. Denn sie ist falsch für artifizielle, vom Menschen auf der Basis reicher impliziter Wissensstrukturen gemachte Systeme. So werden in der Mikroelektronik mit insgesamt 50 - 100 Ingenieuren einige tausend bis zehntausend Parameter kontrolliert, die alle miteinander vernetzt sind. Freilich stehen wir der Aufgabe der Ausarbeitung eines neuen Menschenbildes mit einem *anthropologischen Defizit*⁴ gegenüber. 'Ein herrschendes Paradigma einer umfassenden wissenschaftlichen Anthropologie hat es bisher nicht gegeben.'⁵ Besonders auch in der Technik stehen wir mit der Diskussion anthropologischer Fragen noch am Anfang.⁶ Die Hauptschwierigkeit einer Anthropologie besteht dabei darin, daß der Mensch irgendwie unbestimmbar zu sein scheint. Spätestens seit der Chaos-Theorie werden aber auch in den „exakten“ Naturwissenschaften neue theoretische Konzepte verfolgt. So sind wir dazu in der Lage, *völlig neue* und dennoch mental stabile, gestalthafte Muster (z.B. als eine neue Problemlösung) zu erzeugen, denn 'das Zentralnervensystem ist ein >>offenes System<<'.⁷ In diesem Feld zeichnet sich, aufsetzend auf die Arbeiten Piagets, der den Menschen aus einer psychologischen Sicht der Handlung als offenes System konzeptualisiert,⁸ die Möglichkeit einer handlungstheoretischen Anthropologie ab.

¹ VESTER, FREDERIC: *Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter*. (1984) München 1991; ders.: *Das kybernetische Zeitalter*. Frankfurt 1974

² DÖRNER, DIETRICH: *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Reinbek bei Hamburg 1989

³ Eine Erklärung dafür könnte sein, daß sich die Psychologie hauptsächlich eben nur mit "Ausfallerscheinungen" beschäftigt. Dies beschreibt SACKS, OLIVER: *Der Mann, der seine Frau mit einem Hut verwechselte*. Reinbek bei Hamburg 1990, S.16-22 [Die Einleitung zu 'TEIL EINS Ausfälle'.] Einen neuen Ansatz für eine theoretische Psychologie beschreibt: DÖRNER, DIETRICH: *Psychologie, "Künstliche Intelligenz" und Konnektionismus*. in BMFT (Hrsg.): *Neurobiologie/Hirnforschung - Neuroinformatik, Künstliche Intelligenz*. Bonn 1991

⁴ vgl. RÖSSNER, HANS (HRSG.): *Reproduktion des Menschen. Beiträge zu einer interdisziplinären Anthropologie*. Frankfurt am Main Wien 1981 S.301-20

⁵ WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON: *Der Garten des Menschlichen. Beiträge zur geschichtlichen Anthropologie*. München 1977, S.12

⁶ Eine Ausnahme bildet KAPP, E.: *Grundlinien einer Philosophie der Technik*. Braunschweig 1877, Nachdruck Düsseldorf 1978

⁷ EIGEN, MANFRED; WINKLER, RUTHILD: *Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall*. München 1987, S.344

⁸ vgl. PIAGET, JEAN: *Biologie und Erkenntnis. Über die Beziehungen zwischen organischen Regulationen und kognitiven Prozessen*. Frankfurt am Main 1983

β) Vom rationalistischen zum "visionären" Menschenbild

Der Begriff der Rationalität (lat. *rationalitas*) geht auf den Begriff der Vernunft zurück. Rationalität steht für folgerichtiges Denken, wobei das formalsprachliche, "rationale" Kalkül seit der Erfindung der Analytischen Geometrie durch Descartes im 17. Jahrhundert über den analog-bilhaften Wissensmodus dominiert.¹ Jetzt läßt sich die Entstehung des Bewußtseins im weiteren Sinne durch den Wechsel von einer in direkter Sensomotorik liegenden, auditiven Psyche zu einer sensomotorisch entkoppelten, symbolisch orientierten Psyche erklären.² Mit dem Zurückdrängen der gefühlsmäßig-personalen, impliziten Erkenntnisstrukturen innerhalb unserer heutigen, formalsprachlich geprägten Wissenssystemen wird diesem sprachlichen Wissen seine konstitutive Basis entzogen, wie ich noch genauer zeigen werde. Dies führt sogar bis zur Destabilisierung unseres eigenen Selbst, weil unser im mechanistischen Weltbild stehendes, rationales Denken zumeist in reversiblen Denkmodellen abläuft. Denn damit wird die durch die agrikulturelle Revolution erzielte Tugend des Denkens in irreversiblen Prozessen negiert. Irreversible Prozesse sind durch Zeitlichkeit gekennzeichnet, und so führt das Denken in reversiblen Modellen dazu, daß wir unseren Sinn für die Zeit mehr und mehr verlieren: Die Zukunft erscheint uns als eine schwarze Wand.³ Die Folge ist zeitlich kurzfristiges, dinghaftes Denken (in Form von Konsumprodukten) und damit eine "Aufweichung" und Destabilisierung unseres Selbst.

Deshalb soll aus einer wissenschaftsübergreifenden Perspektive unser Selbstverständnis (und unser Verständnis des Selbst) in ein richtiges, wenn auch unbequemes Licht gerückt werden: Wir sind zwar "frei", aber längst nicht so sehr, wie wir das heute glauben. Denn es gab schon Menschengeschlechter, die aus kognitiver Sicht (Konsumorientierung -> Rückgang des zeitlichen Denk- und Handlungshorizontes -> Destabilisierung des Selbst) vor ähnlichen Problemen standen, die aber ausgestorben sind.

In dieser Studie soll der Mensch als informationsverarbeitendes System rekonstruiert werden. Wenn dies unter der Prämisse geschieht, damit unser implizites, nichtsprachliches, analog-bildhaftes, gefühlsmäßiges Wissen im Medium der Sprache zu erklären und seine Bedeutung zu rechtfertigen, dann mit dem Ziel, eben diese sprachliche Rationalität korrekt im Ensemble menschlicher Erkenntnis zu situieren: Der Mensch braucht seine Fähigkeit zur visionären, sehenden Erkenntnis auf dem Weg zur Weisheit.

¹ vgl. KRÄMER, SYBILLE: *Operative Schriften als Geistestechnik. Zur Vorgeschichte der Informatik.* in: Scheffe, P. u.a. (Hrsg.): *Informatik und Philosophie.* Mannheim 1993, S.69-84

² vgl. z.B. JAYNES, JULIAN: *Der Ursprung des Bewußtseins.* Reinbek bei Hamburg 1993, S.328

³ vgl. LÜBBE, HERMANN: *Die schwarze Wand der Zukunft.* in: Fischer, Ernst P. (Hrsg.): *Mannheimer Gespräche. Auf der Suche nach der verlorenen Sicherheit.* München 1991

1.4 Automatisierung der produktbegleitenden Informationsverarbeitung

Das im folgenden beschriebene Projekt wurde unter meiner Leitung und der Kooperation des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg, sowie mehreren Partnern aus der Industrie durchgeführt. Dieses Projekt wird im Rahmen des JESSI Subprojektes „Automation“ unter dem Titel „Product accompanying Information System PRINS“ unterstützt.

1.4.1 Definition eines Produktbegleitenden Informationssystems

Die computerunterstützte Produktion in der Mikroelektronik umfaßt folgende 3 Ebenen:

- Werkstattebene;
- Prozeßtechnikebene (Fototechnik, Ofentechnik etc.);
- Proßmaschinenenebene (Belichtungsgerät, Kontrollgerät etc.).

Die Grundfunktionen jeder Ebene sind:

- Planung und Kontrolle der einzelnen Arbeitsschritte (Operationen);
- Versorgung von Prozeßtechnik und -maschine zur rechten Zeit mit entsprechenden Produktionslosen und Hilfsstoffen.

Die notwendigen CAM Submodule sind:

- Werkstatt-, Prozeßtechnik-, Prozeßmaschinenkontrolle (Prozeßanstöße und -beendigungen, Datenerfassungs- und Überwachungsfunktionen)
- Materialflußkontrolle auf Werkstatt-, Prozeßtechnik- und Prozeßmaschinenenebene (An- und Ablieferung von Werkstück und Hilfsstoffen)

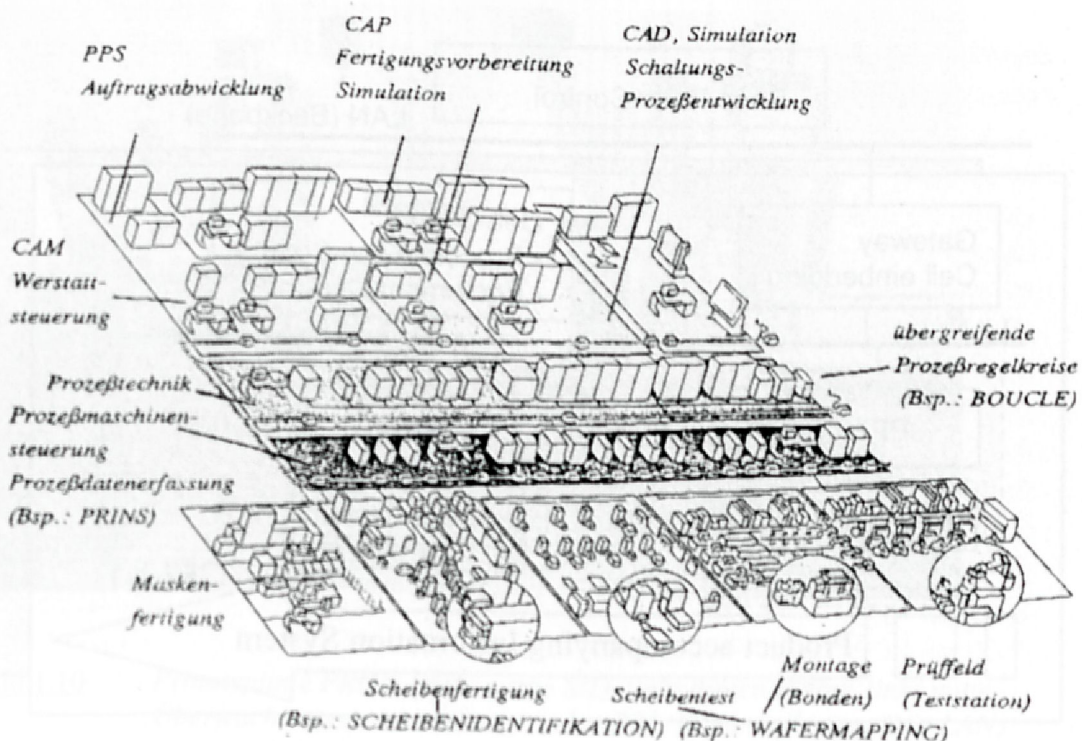


Bild 1.8

Informationsflußkomponenten Mikroelektronik-Produktion

Ein „Produktbegleitendes Informationssystem PRINS“ besteht aus einem dezentral aufgebauten, modular strukturierten Komponentenverbund zur Abwicklung der produktbegleitenden Informationsflüsse. Diese produktbegleitenden Informationsflüsse dienen der Materialfluß- und Prozeßkontrolle auf Prozeßmaschinenebene (i.a. Produktionslose und deren zugeordnete Informationen). Es wird der produktbegleitende Informations-/Materialfluß vom Scheibenstart bis zur Bausteinprüfung konzeptionell erfaßt.

Ziel des Einsatzes ist es, die Fertigungsqualität und damit die Ausbeute (Prozeßsicherheit) zu erhöhen.

Die Konzeption basiert auf einem anthropologisch strukturierten Mensch-Maschine-Handlungssystem (vgl. Kapitel 5). Die Integration in eine automatisierte Fertigungsumgebung (CAM) erfolgt über informations- und materialflußtechnische Schnittstellen (SECS: Semiconductor Equipment Communication Standard, SMIF: Standard Mechanical Interface) zwischen der Anlagen- und der Fertigungsleitebene (Werkstatt). Der produktorientierte Informationsfluß ist realisiert über Identifikationsmodule (Werkstück-Nr.) und Informationsflußmodule (LAN: Local Area Network, elektronische Datenträger). Der Materialfluß wird über modular aufgebaute Handhabungselemente abgewickelt („Pick & Place Robotik“). Innerhalb des PRINS Projektes wurde die Prototypenlinie eines PRINS-Überwachungssystems verwirklicht. Dieses besteht aus den Komponenten Scheibenidentifikations-Station (SID), Produkt-Prozeß-Interface mit Schnittstelle zur Prozeßmaschine (PPI), Puffereinheit mit Lager, Überwachungssystemrechner mit Schnittstellen zu den Subsystemen SID, PPI, Puffer. Ähnlich strukturierte Projekte (Bsp.: BOUCLE, vgl. Kap. 5) wurden auf der Basis der gemachten Erfahrungen aufgebaut und sind bereits erfolgreich im Produktionseinsatz.

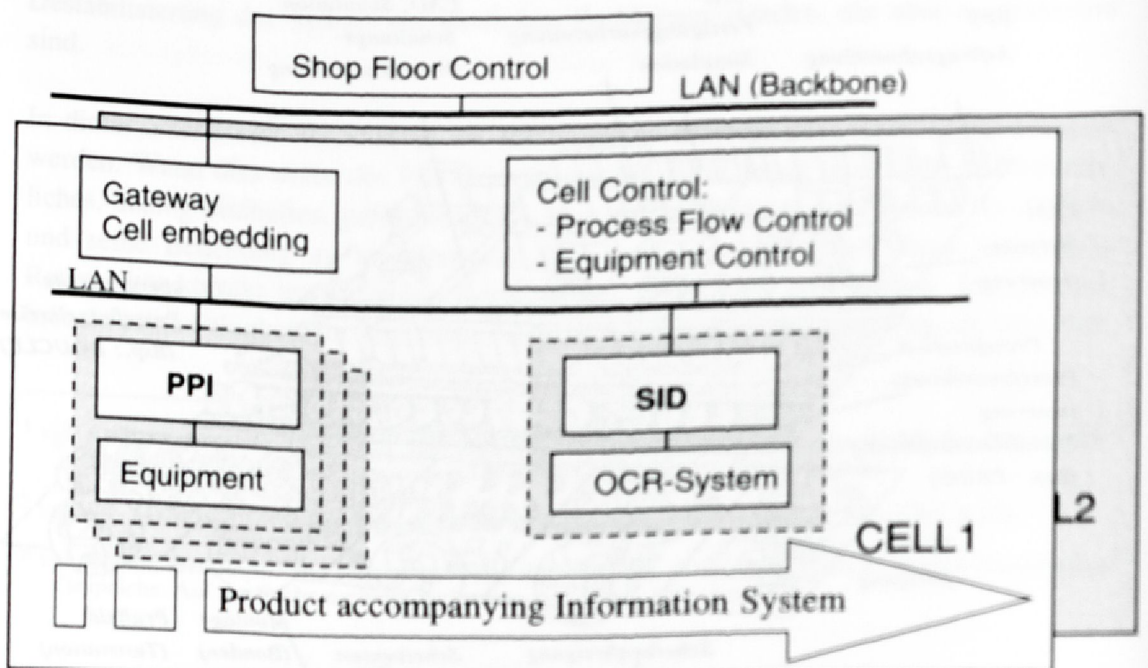


Bild 1.9

Informationelle Struktur Produktbegleitendes Informationssystem

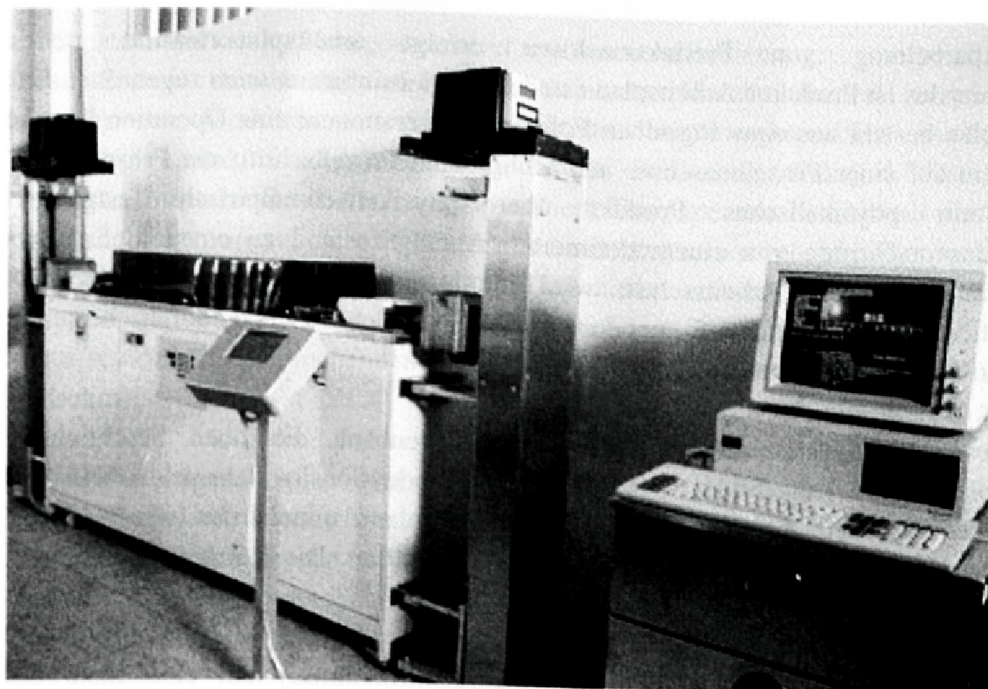


Bild 1.10

Prototypelinie PRINS (links vorne SID, links hinten Puffer, links mitte Überwachungssystemrechner, rechts PPI; Kommunikation über LAN)

1.4.2 Grundfunktionen und Komponentenaufbau

Die Abarbeitung von Produktionslosen erfolgt arbeitsplanorientiert. Jedes Produktionslos ist Produkt-/ Arbeitsplan-/ und Operationsinformationen zugeordnet. Ein Arbeitsplan besteht aus einer logischen Folge von Operationen; eine Operation besteht aus einem auf einer Prozeßmaschine auszuführendem Prozeßschritt; ein Prozeßschritt bringt ein physikalisches Produkt über physikalisch-empirisch festgelegte Verfahrensvorschriften von einem definierten Anfangszustand zu einem definierten Endzustand; d.h. der Arbeitsschritt wird im jeweiligen Prozeßmaschinenkontext interpretiert (vgl. Kapitel 5 zu den hier in raschem Tempo durchschrittenen Abstraktionsstufen des Fertigungssystems).

Im Überwachungssystemrechner ist in einer Datenbank die oben beschriebene Arbeitsplanstruktur abgebildet. Nachdem ein Produktionslos einem Arbeitsplan zugeordnet ist, wird die Abarbeitung des Arbeitsplans mittels der verschiedenen Komponenten (SID, PPI, Puffer) gesteuert und kontrolliert. Die Kommunikation wird über einen Feldbus abgewickelt.

In SID wird automatisch über ein Scheibenidentifikationssystem eine Liste der physikalisch diesem Los zugeordneten Produktionsscheiben erstellt. Damit wird eine scheibenorientierte Ergebnisdatenerfassung und Prozeßführung ermöglicht. Mittels des PPI wird eine Prozeßmaschine angestoßen und eine scheibenorientierte Ergebnisdatenerfassung durchgeführt. Besonders berücksichtigt ist der durch PPI konzeptionell offen gestaltete Informationsfluß des Mensch-Maschine-Handlungssystems.

Das Ziel von SID ist die automatisierte Erstellung einer Liste der einem Fertigungslos zugeordneten Produktionsscheiben (engl. *wafer*).

Anwendung Scheibenidentifikationsstation SID:

- Operator positioniert ein Fertigungslos auf SID und startet den Identifikationsprozeß
- SID öffnet die SMIF-Box (Werkstückträger: Kassette mit 25 Scheiben)
- Eine Pick & Place-Robotik positionierte jede Scheibe in Leseposition
- Ein OCR-System mit einer speziell entwickelten Beleuchtungstechnik identifiziert die Scheiben-Nr (Klarschrift)
- Die Liste wird automatisch zum Host und ggf. zu den an der SMIF-Box befestigten elektronischen Datenträger überspielt.

Komponentenaufbau SID:**a) Steuermodul mit berührungssensitiver *touch screen* Bedienung:**

Diese Einheit steuert die informationstechnische Kommunikation zwischen den verschiedenen Modulen von SID. Durch die berührungssensitive *touch screen* Technologie wird eine gefühlsmäßig leichte Bedienung realisiert. Der Einsatz begrenzter mentaler Ressourcen wird optimiert. Der Operator berührt mit dem Finger direkt die Funktion auf dem Bildschirm, die er anwenden möchte. Der traditionelle Keyboard-Gebrauch macht ein mentales Umschalten notwendig: zuerst Identifikation der gewünschten Funktion am Bildschirm; dann Umschalten aufs Keyboard; Identifikation der entsprechenden Taste; dann Kontrolle dieser Aktion wieder auf dem Bildschirm.

b) SMIF-Beladestation:

Die SMIF-Beladestation öffnet die SMIF-Box und befördert die darin befindliche Kassette mit den Scheiben in eine definierte Lage, damit die Pick & Place Robotik eindeutig Zugriff auf die Scheibe hat. Der elektronische Datenträger wird über eine Infrarot-Schnittstelle gelesen und beschrieben (Los-Nr., Liste der Scheibe und andere Informationen).

c) Waferhandler (Pick & Place Robotik):

Der Waferhandler hat wahlfreien Zugriff (*random access*) zu jedem Slot der Kassette. Er entnimmt die Wafer aus der Kassette, positioniert sie unter das OCR-System und lädt die Scheibe wieder in die Kassette.

d) OCR-System (Optical Character Recognition):

Die Beschriftung und Identifikation von Siliziumscheiben ist ein Problem, für das es keine standardisierte Lösung gibt. Einerseits ist die Beschriftungs- und Identifikationstechnik noch in steter Entwicklung (die Scheiben-Nr. wird auf der Siliziumscheibe durch ein lasergestütztes Markierungsverfahren aufgebracht), andererseits ist der Anwendungsbedarf höchst unterschiedlich (Massenfertigung: geringere Anforderungen; Einzelfertigung: höhere Anforderungen). Ziel ist eine automatische, scheibenorientierte Ergebnisdatenerfassung und Prozeßkontrolle. Automatisierte Scheibenidentifikation ist ein erster Schritt in diese Richtung. Die Scheiben-Nr. muß auch vom Menschen gelesen werden können, damit solche Systeme sukzessive eingeführt werden können. OCR-Systeme eignen sich, Klarschriften zu erkennen. Es kann auch mit zusätzlich auf der Scheibe aufgetragenen Barcodes gearbeitet werden. Der Vorteil sind die geringeren Kosten für Barcode-Lesestationen. Die Kosten für die zusätzliche Aufbringung von Barcodes (inkl. Barcode-Lesestationen etc.) übersteigen jedoch die Kosten für wenige OCR-Stationen. OCR-Systeme werden in der Mikroelektronik schon an vielen anderen Stellen genutzt, so daß die schon vorhandenen Geräte zum Lesen der Scheiben-Nr. aufgerüstet werden können (z.B. Alignment in Proben und anderen Meßgeräten). Es wurde ein OCR-System evaluiert, das auch unter den schwierigen Produktionsbedingungen der Mikroelektronik erfolgreich arbeitet.

Zur Lesbarkeit der Scheiben-Nr.:

Diese Lesbarkeit ändert sich dramatisch während der Fertigungsprozesses.

Einflußfaktoren sind:

- Farbe der Scheibe (z.B. nach Ofenprozeß)
- Reflexivität (z.B. nach Ätzen)
- Mikrostruktur der Schrift

Es wurde ein umfangreicher Test durchgeführt, der den gesamten Herstellungsprozeß des 1 und 4 Megabit-DRAMS repräsentiert. Die Lesbarkeit kann entscheidend durch die zu wählenden Beleuchtungsverhältnisse optimiert werden. Es wurde ein spezielles Beleuchtungssystem entwickelt, mit dem der Identifikationsprozeß erfolgreich durchgeführt werden kann.¹ Eine auf dieser Basis entwickelte automatische Scheibensortierstation ist inzwischen erfolgreich im Produktionseinsatz.

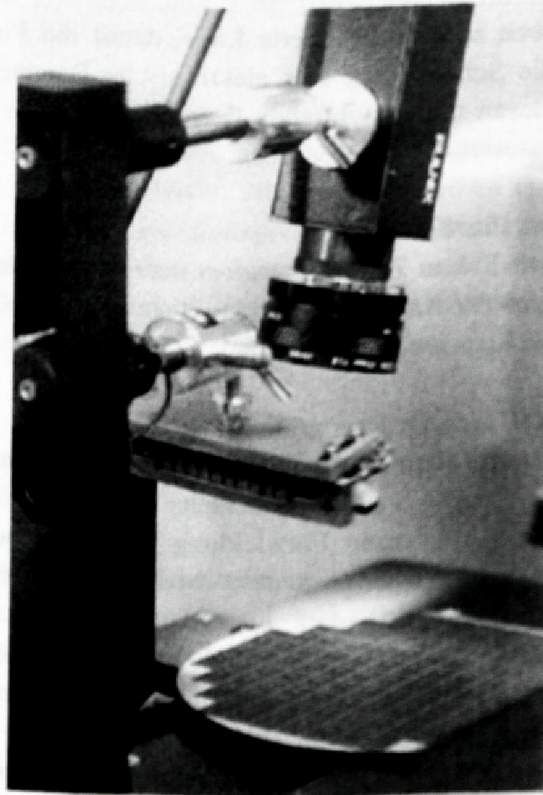


Bild 1.11 *Beleuchtungssystem: doppeltes Leuchtdiodenarray mit Feinjustierung*

Wenn die Schrift wie in dem folgenden Bild dem OCR-System präsentiert werden kann, gibt es keine Probleme mit der Erkennung:

¹ vgl. **LUHN, GERHARD: Erprobung des Prototyps eines Bilderkennungs-systems zur Scheibenidentifikation.** Siemens Bericht, unveröffentlicht, München 1990

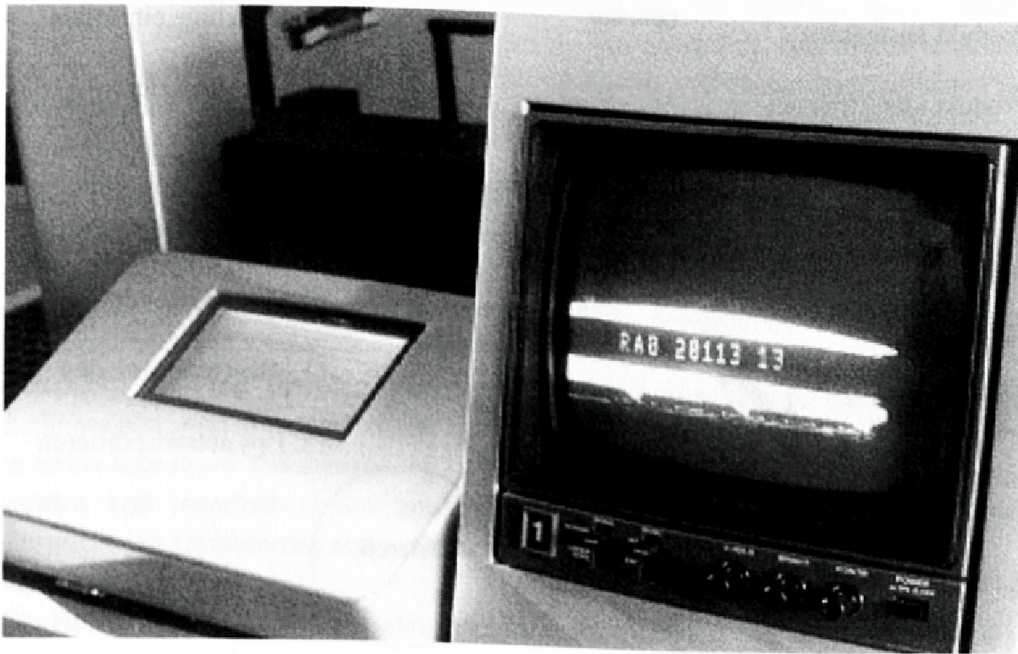


Bild 1.12 *Lesebild der CCD-Kamera; links: Steuermodul mit touch screen
Bedienung*

SID funktioniert vollautomatisch. Der Operator kann nach dem Start sich anderen Aufgaben zuwenden (Abarbeitungszeit: einige Minuten). Wurden einzelne Zeichen durch mechanische Kratzer für das OCR-System unlesbar, können die fehlenden Ziffern über eine Tastatur ergänzt werden.

Das Produkt-Prozeß-Interface PPI

Ziel ist es, die Prozeßschrittdurchführung des Operators durch ein anthropologisch offenes, gefühlsmäßig leicht regelbares Automatisierungssystem zu unterstützen. Dies entspricht einer neuen, anthropologisch begründeten Zielsetzung der Automatisierung. Durch PPI werden menschliche Aktivitäten der Prozeßdurchführung auf eine mental höheres Niveau transformiert. Dies kann zu einer qualitativen Verbesserung führen, wenn die automatisierten Tätigkeiten von automatischen Einrichtungen *besser* ausgeführt werden können. In dem vorliegenden Beispiel betrifft dies die automatisierte Auswahl von Prozeßvorschriften und die Verifikation der richtigen Prozeßschrittfolge. Prozeßvorschriften können je Produktionslos variieren. Deshalb ist die vorgeschlagene Konzeption besonders geeignet für übergreifende Regelungssysteme wie BOUCLE.

In den folgenden beiden Bildern sind alle vom Operator durchzuführenden Tätigkeiten für einen typischen Prozeßschritt dargestellt. Das Ziel des Einsatzes von PPI ist es, Produkt und Prozeß möglichst „automatisch“ aufeinander zu fixieren und den Operator zu entlasten. Dies wird dadurch erreicht, daß viele der zuvor manuell auszuführenden Arbeitsschritte automatisiert werden. Der Operator muß jedoch neue Überwachungs- und Kontrollfunktionen übernehmen.

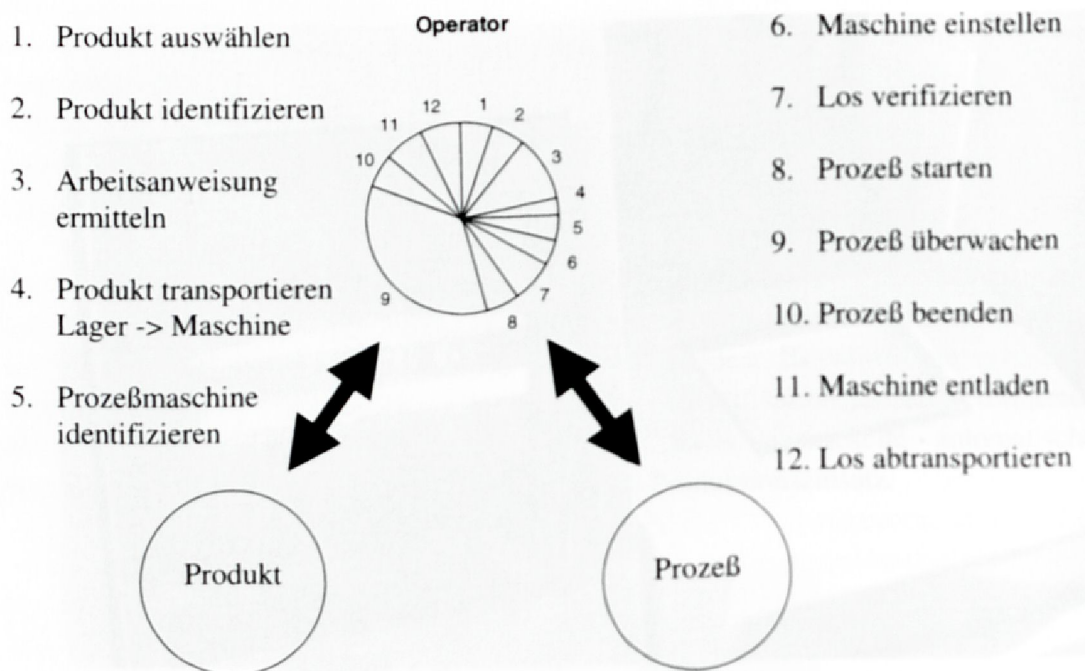


Bild 1.13 Handlungsstruktur ohne PPI

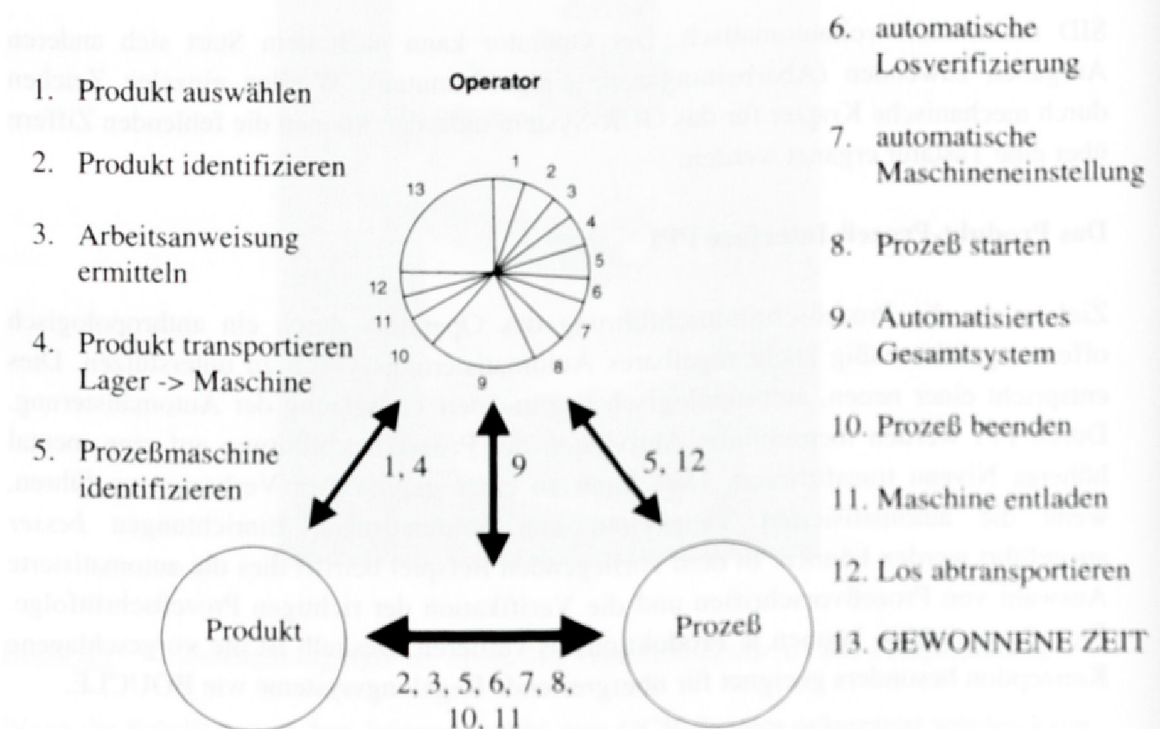


Bild 1.14 Transformation der Handlungsstruktur durch PPI

In Bild 1.13 ist dargestellt, daß sich die Gesamtzeit der vom Operator durchzuführenden Tätigkeiten zwar verringert (Schritte 1 - 12). Die zusätzlich (besonders in Schritt 9) entstehende Arbeit in Form von neuen Überwachungs- und Steuerungstätigkeiten ist den „wegfallenden“ Tätigkeiten hinzugerechnet worden. Wenn die Systemkonzeption so gestaltet ist, daß damit tatsächlich formalisierbare Elemente des schwierigen Produktionsprozesses erfolgreich automatisiert werden können, dann wird die hinterher vom Operator aufzubringende Arbeitszeit tatsächlich geringer sein. Dies hat sich am Beispiel von BOUCLE durch den praktischen Erfolg bestätigt. Dort werden über die definierten Regelalgorithmen automatisch die losspezifischen Prozeßparameter berechnet und dem Operator vorgeschlagen. Dieser muß aber entscheiden, ob er diese akzeptiert oder ob einzelne Parameter aufgrund besonderer, nicht formalisierter Bedingungen „von Hand“ korrigiert werden müssen, d.h. daß distribuierte, vorher *nicht in einem kognitiven Zusammenhang stehende Wissenskontexte* jetzt gemeinsam aktiviert werden und innerhalb dieses neuen Problem- und Wissenskontextes die Voraussetzungen zur Generierung einer neuen Lösung konstituieren.

Ein Beispiel dafür ist der Einsatz neuer Belackungsmittel, die geänderte, formal noch nicht erfaßte Belichtungszeiten notwendig machen könnten. Ein anderes Beispiel wird in Kapitel 4.4 dargestellt: nach den dort geschilderten Umständen ist es nicht möglich, eine Prozeßmaschine die kritischen ersten Prozeßteilschritte automatisch durchführen zu lassen (Arbeitsschritte 8, 9, 10). Hier beschränkte man sich auf eine automatische Datenerfassung. Die Erfahrung zeigt also, daß nur ein schrittweises Vorgehen und ein Abwägen von Fall zu Fall notwendig ist, um die tatsächlich automatisierbaren Handlungsstrukturen zu finden und erfolgreich zu automatisieren. Das Ziel ist also nicht die vollautomatische Produktion, sondern eine die Stärken erfahrungsgeleiteten Handelns berücksichtigende, teilautomatisierte Produktionslandschaft, die dem Menschen die notwendigen Entscheidungs- und Handlungsfreiheiten läßt, um die auf Erfahrung basierende, gefühlsgeleitete Handlung optimal zu unterstützen.

1.4.3 Die Grenzen der Automatisierung und die Rolle des Menschen

Ein Ziel dieser Studie besteht darin, die Existenz von großen Bereichen nichtsprachlichen Handlungswissens (die im „Können“ sich zeigende Schattenseite des Handelns) nachzuweisen. Dieses nichtsprachliche Handlungswissen äußert sich (auch) in der gefühlsgeleiteten technischen Handlung. Diese Gefühle sind das Ergebnis umfangreicher mentaler Berechnungsprozesse. Nur kritische, noch nicht „gekonnte“ Probleme werden bewußt und damit sprachlich benennbar. Es wurden Beispiele aufgezeigt, bei denen eine Automatisierung keinen Sinn macht, weil das multimodale, anschaulich orientierte „Können“ einfach tiefer in die Details der Handlung hinabreicht als die komprimierte, aber detailarme sprachliche Darstellung. Dieses epistemisch unvollständige „Wissen“ (das Know-how) ist aber erst über das Verfahren einer operativen Schrift (wie sie beispielsweise die Programmiersprachen darstellen) formalisierbar und damit automatisierbar. Erst, wenn die zu automatisierenden

Handlungsstrukturen (relativ) vollständig formalisierbar sind, d.h. sie sind nicht mehr epistemisch unterbestimmt, erst dann gelingt deren Automatisierung in formal abbildbaren Systemen. Aber auch hier gibt es Grenzen, die gerade in der Mikroelektronik fühlbar sind. Denn Heisenbergs Unschärferelation wirkt sich besonders in der Mikrowelt der Atome aus: nach dieser Unschärferelation ist es unmöglich, ein Objekt exakt zu vermessen, ohne dabei seine Lage zu verändern. Folglich läßt sich auch nicht genau vorhersagen, wie es sich in Zukunft verhalten wird. Das heißt, die Dinge können prinzipiell auf dieser Mikroebene gar nicht so genau definiert werden, wie es notwendig wäre. Heisenberg hat mit dieser Entdeckung dem wissenschaftlichen Determinismus ein jähes Ende bereitet. Aber durch die Erfahrung der Ingenieure gelingt es trotzdem, die Bedingungen so genau in den Griff zu bekommen, daß die Produkte doch noch „verkaufbare“ Lebenszeiten haben. Das heißt, die Anfangsbedingungen auf der Mikrostrukturebene des Produktes sind so genau definiert, daß sie im Verlaufe der garantierten Lebensdauer bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, so daß das Produkt sich während dieser Zeit innerhalb der definierten Grenzen quasi-deterministisch und damit voraussagbar verhält (wer will schon etwas kaufen, von dem man nicht weiß, was es ist?). Hier liegt eine prinzipiell unüberwindbare Grenze der Automatisierung (vgl. Kap. 4). Die Ingenieure besitzen dieses nicht formalisierte „Können“, das einem formalisierten „Wissen“ vorausgeht und das sich in kognitiven Problemsituationen *spontan* (in einem statistischen Sinne, vgl. Kap. 2.3.2) auf der Basis *distribuerter Wissenskontexte* bilden kann.

Manche mögen einwenden, daß es aber Beispiele gibt, in denen eine Theorie erst die Entdeckung neuer sachlicher Zusammenhänge ermöglicht. Aber die formalsprachliche Bildung einer solchen Theorie *entsteht* schon auf der Basis einer nichtsprachlichen, analog-bildhaften, unbewußten Erschließung der Realität auf der Basis distribuerter Wissenskontexte. Sie entsteht durch einen kreativen Prozeß, durch eine mentale Höherorganisation von Realitätsstrukturen in einem mentalen Symbolsystem, das weitgehend isomorph zu dem betrachteten Realitätsausschnitt ist (vgl. Kapitel 4 & 5).

Automatisierung ist erfolgreich, wenn neben den rein technischen (mechanischen) Wirkeffekten ein Schwerpunkt auf die bewußte Gestaltung einer offenen, symbolisch-mentalenen Unterstützung des Menschen gelegt wird. Nur im tätigen Umgang mit dem Gesamtsystem baut der Mensch sich ein reiches inneres Realitätsmodell auf, um die technische Handlung erfolgreich zu führen. Damit einher gehen auch die Akzeptanz des Automatisierungssystems und die Persönlichkeitsentwicklung des Menschen. Noch in den geschlossenen Vollautomationsansätzen wurde der Mensch in die Lücken und Poren der (noch) nicht automatisierten Restfunktionen zurückgedrängt. Die Folge war Frustration, schwindende Technikakzeptanz und eine Blockierung der persönlichen Entwicklung. Mit den neuen Zielen der Automatisierung wird die Initiative und die Kontrolle bewußt dem Menschen gegeben und er kann den Erfolg seiner Handlungen „fühlen“. Es ist absehbar, daß sich die Automatisierung der Mikroelektronik-Herstellung in dieser vorgezeichneten Linie weiterentwickelt. Die Tendenz geht zu übergreifenden, anthropologisch offenen Regelsystemen, die dem Menschen die notwendigen Freiräume lassen. Denn der Mensch ist das fühlende, *also* handelnde Wesen.

1.5 Zielsetzungen für eine anthropologische Technologie

Wir müssen gleich von Beginn an den Begriff der Technik aus einer anthropologischen Perspektive deuten. Während klassische Techniktheorien den Sachzusammenhängen technischer Systeme eine überproportionale Aufmerksamkeit schenken, wird gerade in letzter Zeit aus der Perspektive einer technologischen Aufklärung auch den Entstehungs- und Verwendungszusammenhängen eine stärkere Aufmerksamkeit gewidmet. In dieser Studie beziehe ich mich auf den von Gotte-Ottlilienfeld vorgeschlagenen Begriff der *Realtechnik*, der sich auf unseren naturalen Erfahrungshorizont bezieht. Das Aufzeigen der Rückwirkung realtechnischen Handelns auf seine soziale und existentielle Dimension soll Schlußfolgerungen auf diesen komplexen Prozeß menschlicher Daseinsbewältigung ermöglichen. Nach Ropohl umfaßt Realtechnik

- die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme);
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen;
- die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.¹

Technik ist dazu gemacht, um Handlungsschranken zu überwinden, sie ist ein Ergebnis unserer Kreativität. Das heißt, das menschliche Handeln wird durch Technik auf eine mental ("innerlich") und natural ("äußerlich") höhere Ebene transformiert. Mit "höher" ist die systemtheoretische Dimension dieses Ansatzes gemeint. Während das System "Mensch" ohne zweckmäßig gestaltete Werkzeuge eine technische Handlung wie die Stein- oder Metallbearbeitung nur sehr unvollkommen bewerkstelligen kann, entsteht durch den Gebrauch von Werkzeugen ein systemtheoretisch komplexeres System aus den Subsystemen "Mensch + Werkzeug". Dieses umfassendere Gesamtsystem repräsentiert (besonders mit den neu hinzukommenden Überwachungs- und Steuerungsaufgaben des Menschen) eine komplexere, d.h. "höhere" Systemstruktur. Dazu folgende Leitthese:

LEITTHESE:

Technik ist die bewußte Überwindung vorgegebener Schranken von Handlungsmöglichkeiten durch mentale Kreation, Realisierung und institutionalisierte (sozial organisierte) Handhabung geeigneter und sich bewährender Instrumentarien. Technik ist ihrem Wesen nach ein anthropologisch konzeptualisierbarer Handlungsprozeß, bei dem mental niederstehende Handlungen zu neuen, mental höherstehenden, hochsymbolisch organisierten Handlungen transformiert werden. So ist Technik nicht bloß ein Mittel, sondern in ihr erscheinen neue Strukturen der Wirklichkeit. Technik hat zum Ziel, das System Mensch - Umwelt nach vom Menschen zu definierenden Zielen derart zu gestalten und aufzubauen, daß auch noch zukünftige Menschengenerationen in einem entsprechenden Wohlstand die Erde bevölkern können. Es spricht vieles dafür, daß eine Technik der Zukunft eine zeitbewußte Technik ist.

¹ **ROPOHL, GÜNTER:** Einleitung in die Technikphilosophie. in: ders.: Technologische Aufklärung. a.a.O., S.18

Eine *anthropologische Technologie* umfaßt einen analytischen (Kap. 2, 3) und einen synthetischen Teil (Kap. 4, 5, 6). Der analytische Teil zielt darauf ab, die "gefühlsgeladene technische Handlung" mit informationstheoretischen Begriffen zu klären und damit einen Explikationsvorschlag für das implizite Wissen, das berühmte *Know-how* zu geben. Im synthetischen Teil wird eine anthropologische Konzeption des *Handlungssystems Mensch - Sachsystem* ausgearbeitet. Am Beispiel der Automatisierung der Mikroelektronik-Produktion werden mögliche neue Zielsetzungen der Technik verdeutlicht. Das Leitziel einer solchen Technikkonzeption besteht darin, technische Systeme als handlungstheoretisch „offen“ zu begreifen und über geeignete Koppelstrukturen mit der technischen Handlung zu einem operativen Gesamtsystem zu integrieren. Damit scheint nicht nur die geschlossene Eindimensionalität bisheriger Automatisierungsansätze überwindbar, denn die Zukunft gehört gefühlsmäßig leicht regelbaren Gesamtsystemen. Es muß der Begriff der Information neu gedeutet werden, denn Information ist - als „Erfahrung zweiter Hand“¹ expliziert - kein Ersatz für wertvolles *Know-how*.

Als äußeres Beschreibungs- und Erklärungsmodell dient uns die Systemtheorie. Mit Anatol Rapoport in seiner „Allgemeinen Systemtheorie“ teilen wir dabei die Grundannahme, daß analytisch-kausale Erklärungen (i.a. physikalische; z.B. „das Verhalten ist eine Manifestation der Nervenaktivität“) durch teleologische Erklärungen (i.a. funktionale, z.B. „der Mensch verhält sich so, weil er ein Ziel verfolgt“) ergänzt werden können.² Neben der im wissenschaftlichen Gebrauch üblichen Außenperspektive bietet sich hier die Möglichkeit einer phänomenologischen Innenperspektive als weiterer Erkenntnisquelle. Erst vor einem solchen zweifachen Hintergrund kann der Mensch als „fühlendes“, *also* denkendes und handelndes System expliziert werden. „Gefühle“ signalisieren die Aktivierung impliziter Wissensstrukturen. Die Ergebnisse der analytischen Handlungstheorie sprechen dafür, daß diese Erklärungstypen prinzipiell miteinander vereinbar sind. Denn man kann den Gehalt solcher unterschiedlicher Erklärungen nicht einfach aufeinander reduzieren; sie vermitteln ganz verschiedene Informationen (äußerlich meßbare Verhaltensstrukturen gegenüber den phänomenologischen Erlebensaspekten des Handelns). Diese Aussagen stehen dann in einem jeweils unterschiedlichen wissenschaftlichen Kontext und ergänzen sich im Idealfall zu einer *phänomenologisch zugänglichen Theorie*, die neben einer formalsprachlichen Außenperspektive auch eine Innenperspektive bietet. In der im folgenden theoretisch rekonstruierten Innenperspektive technischen Handelns geht es dabei darum, die phänomenologisch erfaßbare „Gefühlssphäre“ des handelnden Menschen wissenschaftlich zu deuten. Dieser Ansatz soll also ausdrücklich die Möglichkeit eines eigenen phänomenologischen Nachvollziehens der vorgelegten theoretischen Konstruktion bieten. Dazu ist die in der Technikphilosophie schon eingeführte Thematik des „inneren Modells“ hilfreich, die jetzt mit einer „Selbstmodell“-Theorie der Subjektivität verbunden werden kann.

¹ vgl. GEHLEN, ARNOLD: *Die gesellschaftliche Situation in unserer Zeit*. in: Anthropologische und sozialpsychologische Untersuchungen. Reinbek bei Hamburg 1986, S.127-40

² vgl. BECKERMANN, ANSGAR: *Handeln und Handlungserklärungen*. in: ders. (Hrsg.): Analytische Handlungstheorie. Bd.2. Handlungserklärungen. Frankfurt am Main 1985, S.7-84

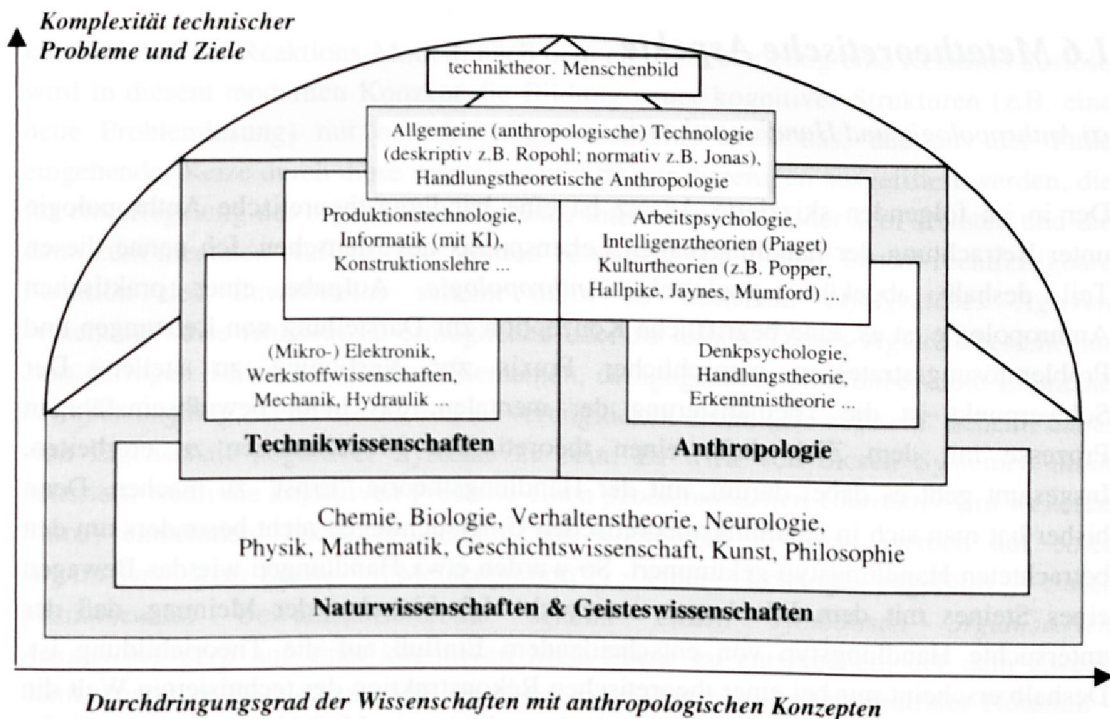


Bild 1.15 Wissenschaftlicher Kontext der vorliegenden Studie

Allerdings ist nicht zu erwarten, daß mit zunehmender Automatisierung ein utopischer Staat am Horizont erscheinen könnte, in dem die sozialen Konflikte sozusagen automatisch verschwinden, weil die Maschinen alleine arbeiten würden.¹ Im Gegenteil: Durch Automatisierung wird immer menschliche Arbeit auf ein mental und technisch höheres Niveau transformiert. Die Probleme können sich sogar verstärken, weil zwar körperliche Arbeit durch Automaten erledigt werden kann, aber die "Mächtigkeit" der automatischen Einrichtungen gleichzeitig wächst. - In einem abschließenden Ausblick wird angedeutet, daß eine Technik der Zukunft durch eine Änderung der zeitlichen Strukturen unseres Bewußtseinsprozesses und damit unseres Selbst entstehen könnte. Denn seit dem Beginn der Industrialisierung nimmt die Möglichkeit zum zeitlich vorausschauenden Handeln ständig ab, weil sich im mechanistischen Weltbild die Irreversibilität der Wirklichkeit nicht adäquat repräsentieren läßt. Schon unser Wissen darüber könnte zur Stabilisierung unseres Selbst beitragen, weil dann neue Problemlösungen möglich werden. Wir leben in einem Zeitalter der rapiden technischen Entwicklung. Der Mensch hat in den letzten beiden Jahrhunderten durch die Technisierung seine Umwelt und damit die Erde in einem größeren Ausmaß verändert als alle vorherigen Veränderungen in seiner rund dreimillionenjährigen Existenz zusammengekommen. Ich bin der Überzeugung, daß die Ingenieure sich in Zukunft neben den sachtechnischen Problemen zunehmend mit Problemen anthropologischen Charakters auseinandersetzen werden. Eine anthropologische Technologie muß sich um die Gestaltung technischer Produkte bemühen, die eine langfristige Stabilisierung unseres Selbst bewirken.

¹ Dazu kritisiert Hans Jonas Ernst Bloch, der in seinem Buch "Das Prinzip Hoffnung" eine solche These vertritt. Vgl. JONAS, HANS: **Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation.** Frankfurt am Main 1979

1.6 Metatheoretische Aspekte

α) Anthropologie und Handlungstheorie

Der in im folgenden skizzierte Ansatz ist eine handlungstheoretische Anthropologie unter Betrachtung der handlungsnahen Lebenspraxis des Menschen. Ich nenne diesen Teil deshalb abgekürzt *praktische Anthropologie*. Aufgabe einer praktischen Anthropologie ist es, eine begriffliche Konzeption zur Darstellung von Leistungen und Problemlösungsstrategien menschlicher Praxis zur Verfügung zu stellen. Der Schwerpunkt ist die Thematisierung der mentalen, das heißt bewußtseinsfähigen Prozesse mit dem Ziel, dafür einen theoretischen Modellrahmen zu erarbeiten. Insgesamt geht es dabei darum, mit der Handlungstheorie "Ernst" zu machen. Denn bisher hat man sich in handlungstheoretischen Untersuchungen nicht besonders um den betrachteten Handlungstyp gekümmert. So wurden etwa Handlungen wie das Bewegen eines Steines mit dem Ellenbogen untersucht. Ich bin aber der Meinung, daß der untersuchte Handlungstyp von entscheidendem Einfluß auf die Theoriebildung ist. Deshalb erscheint mir bei einer theoretischen Rekonstruktion der technisierten Welt die Replik der Handlungstheorie auf die Anthropologie als Muß-Voraussetzung. Dafür wichtig ist eine Anthropologie, die das Handeln thematisiert, und die erstmals in diesem Jahrhundert ausgearbeitet wurde.¹ Phänomene wie die Leistungen der modernen Mikroelektronik, aber auch die Probleme der Automatisierung sind aus einer anthropologisch-handlungstheoretischen Perspektive noch in keiner Weise geklärt. Die Probleme zur Konstruktion eines solchen theoretischen Ansatzes sind allerdings nicht evident. Sie zeigen sich bisher nur indirekt, beispielsweise bei dem Problem, wie ein technisch versierter Praktiker dem Automatisierungsingenieur sein implizites: nichtsprachliches, unbewußtes Wissen mitteilen soll, damit dies dann entsprechend in einem Automatisierungssystem abgebildet werden kann.

Ziel ist deshalb, die besonderen Charakteristika impliziter, unbewußter, nichtsprachlicher Handlungsstrukturen zu erfassen; mit anderen Worten: All dies, was im Kontinuum des gefühlsgeleiteten Handelns, des (noch-)nicht-begrifflich-fixierbaren Tuns, des berühmten *Know-hows* liegt. Dazu ist es notwendig, die Phänomene *Bewußtsein*, *Sprache*, *Handeln* und unser *Selbst* zu thematisieren. Das Kernstück bildet eine anthropologische Deutung des Menschen in einem systemtheoretischen Modell, das auch die spontane Eigenaktivität mentaler Prozesse erfaßt. Im Gegensatz zum

¹ Gemeint ist hier das Werk: **GEHLEN, ARNOLD: Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt.** Wiesbaden 1986. Arnold Gehlen versucht in diesem vieldiskutierten Buch, mit einem 'anthropologischen' (a.a.O., S.16) Ansatz der Frage nach der Natur des Menschen nachzugehen. Mit Gehlen kann 'der Unterschied vom Tiere beim Menschen in einem durchlaufenen Strukturgesetz' (a.a.O., S.23) gesehen werden. Dieses „Strukturgesetz“ kann heute im Aufbau einer Metarepräsentationsebene („Metacognition“, s.u.) erkannt werden, die Bewußtsein und frei entwickelbare Handlungen ermöglicht. - Gehlens Entwurf ist gerade für die Technikwissenschaften wertvoll, weil er ausdrücklich dem Handeln eine so bedeutende Rolle beimißt. Und das zurecht, wie ich meine. Denn wenn wir die *Probleme und Schwierigkeiten* der technisierten Welt thematisieren wollen, dann liegen die „Daten“ dazu selbst in der nach dem Prinzip des erfolgreichen Handelns aufgebauten Technik, in den Fabriken und Forschungszentren. Vielleicht sind sie noch nicht als so bedeutungsvoll erkannt worden: wir werden uns ihnen aber zuwenden.

klassischen Reiz-Reaktions-Modell, nach dem ein Reiz eindeutig eine Reaktion auslöst, wird in diesem modernen Konzept die Bildung neuer kognitiver Strukturen (z.B. eine neue Problemlösung) mit berücksichtigt.¹ Zunächst heißt das, daß aus der Fülle eingehender Reize durch diese mentale Aktivität nur diejenigen ausgefiltert werden, die für eine Regelung der organischen Zustände interessant sind oder sein könnten und die dann zum mentalen Aufbau einer Aktion beitragen. Die einzige kausal rechtfertigbare Funktion des Bewußtseins scheint darin zu bestehen, *erfolgreiches Agieren* beziehungsweise *Handeln* zu ermöglichen oder zu lernen. Dieses Agieren besteht nur zum geringen Teil aus bewußten Elementen, demgegenüber sind unbewußte Elemente *bewußtseinsfähig*, wenn die Aktion zu verunglücken droht. „Bewußtsein“ scheint dabei eine Eigenschaft kognitiver Systeme zu sein. Es wird von diesen Systemen *dann* generiert, wenn die kognitiven Prozesse einen *problematischen Charakter* (im weiteren Sinne) einnehmen. Diese problematischen kognitiven Prozesse werden auf einer *kognitiven Meta-Ebene* („Metacognition“²) einer Lösung zugeführt. Unser phänomenales Bewußtseinserlebnis scheint einem *symbolisch organisierten Ausgleichsprozeß* auf einer kognitiven Meta-Ebene zu entsprechen, der dem Zweck dient, kognitive Problemzustände zu lösen, oder - in teleologisch neutraler Notation - energetisch auszugleichen. Bewußtsein entsteht dadurch, 'daß die bereits repräsentationalen Gehalt tragenden inneren Zustände eines Systems ihrerseits zum Gehalt höherstufiger, metarepräsentationaler Zustände werden.'³ Kernpunkt ist eine informationstheoretische Deutung des Handelns, die auf der Basis einer anthropologisch-kybernetischen Explikation der Phänomene *Bewußtsein*, *Sprache*, *Selbst* fußt. Dazu wird auf Ergebnisse der Psychologie Piagets und auch auf die besonders in Europa stark vertretenen vergleichenden Verhaltensforschung zurückgegriffen, die von Charles Darwin begründet wurde und die Arthur Schopenhauer bereits in anthropologischer Absicht betrieben hat.⁴

¹ vgl. dazu PÖPPEL, ERNST: Eine neuropsychologische Definition des Zustands "bewußt". in: ders. (Hrsg.): Gehirn und Bewußtsein. Weinheim 1989, S.17-32

² vgl.: MARCEL, ANTHONY J.: Phenomenal experience and functionalism. in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): Consciousness in Contemporary Science. Oxford 1988, S.121-58. [Dieser Sammelband liefert einen Überblick über den aktuellen Diskussionsstand der Bewußtseinsforschung. Die Hauptaktivitäten sind besonders in den USA lokalisiert und durch den Einfluß von Bewußtseinspsychologie, Philosophie und Künstliche-Intelligenz-Forschung charakterisierbar. Die Grundfragen sind, wie Bewußtsein funktioniert, welche funktionalen (technischen) Modelle dies erklären können und warum es überhaupt das Phänomen des Bewußtseins gibt.]

³ METZINGER, THOMAS: Bewußtsein. Langstichwort in: Wörterbuch der Kognitionswissenschaften. Stuttgart 1994

⁴ Ihm stand noch keine ausgearbeitete Evolutionstheorie zur Verfügung, die Abstammungsfrage des Menschen wurde erst fünfzig Jahre später von Darwin auf biologischer Grundlage thematisiert. Neben seinen zum Teil überzogenen Ansprüchen an sein eigenes Werk möchte ich hier aber doch dessen bewußtseins- und sprachtheoretische Bedeutung hervorheben. So sieht er, *vor jeder Sprachphilosophie*, die besondere Bedeutung der Sprache und die Zusammenhänge zwischen Sprache, Denken und Handeln (nur "die anschauliche Erkenntniß [kann] unmittelbar die Thätigkeit leiten; weil die Nüancen für den Begriff zu fein sind, und daher das Durchgehn durch die Reflexion die Thätigkeit unsicher macht, den Menschen verwirrt, die Aufmerksamkeit theilt."). Auch ist seine Auffassung der "Oberflächlichkeit" des Bewußtsein Wegweiser für die Theorie des Unbewußten von Sigmund Freud und damit für die Psychologie überhaupt, und er rückt die Selbsteinschätzung unserer Freiheit in ein richtiges, wenn auch unbequemes Licht ("Ich kann tun was ich will, [...] aber ich vermag nicht, es zu wollen, weil die entgegenstehenden Motive viel zu viel Gewalt über mich haben, als daß ich es könnte." aus der Preisschrift über die Freiheit des Willens).

β) Grenzen der Theoriebildung

Wenn das Thema "Bewußtsein" heute auch in der öffentlichen Aufmerksamkeit an Bedeutung gewinnt, dann ist dies ein Hinweis darauf, daß hier ein Defizit vorliegt. Unsere Bewußtseinsinhalte und unser theoretisches Verständnis vom Bewußtsein könnten inzwischen einen problematischen Charakter angenommen haben. Es ist sehr wahrscheinlich, daß der Mensch die Frage nach seinem Bewußtsein nur eingeschränkt und metaphorisch beantworten kann. Und zwar insofern, als daß die hier vorgeschlagene Deutung des Bewußtseins als einem informationellen Prozeß nicht das Geheimnis um die Entstehung dieses Bewußtseins und des menschlichen Geistes in einem mathematisch vollständig beschreibbarem Sinne wird lösen können. Vielmehr könnte diese Deutung einen Beitrag dazu leisten, die prinzipiellen Probleme unseres Bewußtseinsprozesses aufzuzeigen und mögliche Schlußfolgerungen daraus zu ziehen. Die Individuation und Mediatisierung des Bewußtseinsprozesses und damit dieser Prozeß überhaupt müßte für eine konkrete menschliche Persönlichkeit mathematisch im Aussagenkalkül dargestellt werden (es müßte ein formalsprachlich faßbares Gleichungssystem geben, genau diese eine Persönlichkeit zu reproduzieren). Im persönlichen Erfahrungsbereich verliert das Aussagenkalkül (Aussagen sind wahr oder falsch) aber immer mehr an Bedeutung. Aussagen sind Sachverhalte, die in kulturell normierten Schemata dargestellt werden. Im persönlichen Bereich zählen aber gar keine Sachverhalte, sondern individuell aufgebaute, gefühlsmäßig geprägte Erfahrungsstrukturen. Und davon lassen sich allenfalls auf einer normierten Sprachebene deren *metaphorische Struktur* darstellen - mithin ist das Bewußtsein sprachlich nicht verifizierbar.¹ Denn die Anwendung einer kulturell normierten Sprache auf den Prozeß, der sie selbst erzeugt, könnte die Inhalte dieses Prozesses nur in einer unendlichen, rekursiven Folge vollständig erfassen. Die direkten, gefühlsmäßigen, impliziten Inhalte unseres Wissens lassen sich leider nur durch Übertragung auf explizierbare Zusammenhänge kommunizieren. Die im Aussagenkalkül dargestellte "Wahrheit" umfaßt aber auch unser implizites Wissen, da dieses notwendige Voraussetzung für unser gefühlsmäßiges Erleben der Wahrheit von Aussagen ist (natürlich lernen wir auch, und manchmal täuscht uns dieses Gefühl; nichtsdestoweniger setzt aber unser Denken auf diese gefühlsmäßig erlebbare Dimension unseres Wissens auf). Folglich läßt sich Bewußtsein nur metaphorisch über Aussagenkalküle / informationelle Gleichungssysteme beweisen. In dieser Studie wird der Mensch als ein informationelles System interpretiert. Üblicherweise wird an dieser Stelle auf die Unterschiede und die groben Vereinfachungen eines solchen Ansatzes hingewiesen. Mir geht es aber darum, herauszustellen, daß dieser Ansatz prinzipiell metaphorischen Charakter hat. Wie das Wort "Metapher" ja von "Übertragung" kommt, kann der Leser nur durch persönliches Nachvollziehen den sprachlichen Ausdrücken eine Bedeutung verleihen. So wird es zwar möglich, unsere mentalen Erlebnisse als Funktionen eines repräsentierenden

¹ Ich werde dies in einer späteren Veröffentlichung noch genau darlegen (Arbeitstitel: „Handlungstheoretische Anthropologie. Zur Genese unseres technisch-wissenschaftlichen Selbstverständnisses vor dem Hintergrund einer informationstheoretischen Theorie von Bewußtsein und Sprache“). Die Frage, ob der menschliche Geist als einen informationeller Prozeß deubar ist, ist nicht entscheidbar. Das soll gezeigt werden.

Systems zu deuten. Es läßt sich aber zeigen, daß unsere soziokulturelle Lebensorganisation, das Zusammenleben in hochgradig vernetzten Strukturen wie Städten, eine kognitive Voraussetzung für die Entstehung der modernen Systemtechnik, der Mikroelektronik und unserer Theorien zu neuronalen Netzen ist. Durch ein Mikroskop betrachtet weist etwa ein mikroelektronisches Bauteil frappant viele Gemeinsamkeiten mit unseren Städten auf, ohne daß diese bewußt konstruiert wären! Diese unbewußte Basis unseres Denkens ist aufs engste mit unserer kulturellen Organisation und deren (Über-) Lebensstrategie verbunden. Die Explikation von Bewußtsein als einem informationellen Prozeß ist demnach nur ein Schritt zur Wahrheit. Die Selbstbezüglichkeit und Transzendenz des Informationsbegriffs wird offensichtlich, wenn sich unsere soziokulturelle Lebensorganisation als mentale Voraussetzung zur Konstruktion und institutionalisierten Nutzung moderner Computer entpuppt. Den Menschen als informationelles System zu deuten - informationsverarbeitende Systeme aber nichts anderes als Explikationen, Objektivierungen, formalisierte Extrakte menschlicher Lebensorganisation sind - sagt letztlich nichts anderes als: der Mensch *ist ein Mensch*. Die vorangegangene Deutung hieß: der Mensch als Maschine (die Maschine als Objektivierung des Denkens). Sie war - etwa in der kritischen Form von La Mettrie - genauso richtig wie die heutige.¹

Begriffe sind Werkzeuge unseres Denkens, diesen Lebensprozeß optimal zu gestalten. Wie kann die Erkenntnis des Geistes zu einer nachhaltigen Neuorientierung unseres Denkens und Handelns führen? Indem wir der Metapher vom Menschen als einem informationsverarbeitenden System ihren tatsächlichen Werkzeugcharakter zuschreiben. Der Bewußtseinsbegriff von morgen wird bedeutend stärker die nicht-objektivierbare, nicht-aussagbare (im Sinne des Aussagenkalküls; d.h. Inhalte unseres Denkens, die sich nicht durch Sachbezogenheit und Wahrheit, sondern durch Metaphorik und ästhetisch-gefühlsmäßige Vielfältigkeit auszeichnen), implizite, ästhetisch-künstlerische Dimension menschlichen Denkens, Handelns und Fühlens reflektieren. Meine These ist, daß wir einfach nicht genügend explizit-formale, sprachlich im Aussagenkalkül repräsentierte Informationen bereitstellen können, um das Phänomen des subjektiv erlebten Bewußtseins im mechanistischen Weltbild befriedigend deuten zu können. Wir müssen genauso Informationen aus der selbst erlebten, persönlichen Gefühlssphäre in die momentane Deutung und Interpretation dieser Begrifflichkeit einfließen lassen. Nach der letzten großen mentalen Neuorientierung der Menschen, die die Hinwendung zur Natur und damit die heutigen Kulturen ermöglichte, könnte die jetzt fällige Neuorientierung eine Hinwendung zum menschlichen Geiste, zu einer neuen Bewußtseinskultur erreichen. Wohl wird es nicht möglich sein, die Phänomene unseres bewußten Erlebens auf eine Weise zu explizieren, daß man in dieser Explikation sich selbst wiederfindet und sein eigenes Wesen damit exteriorisiert hat. Denn darin wäre ja die Instanz, die solches leistet, gerade nicht enthalten. Es könnte aber sein, daß ein neuer Bewußtseinsbegriff eine Metaphorik im Sinne einer regulativen Idee stiftet, einige Schritte auf dem Weg zu einer neuen Geisteskultur zurückzulegen.

¹ vgl. LA METTRIE, JULIEN OFFRAY DE: *Der Mensch als Maschine*. [aus d. Franz. übers. u. mit einem Essay von Bernd A. Laska] Nürnberg ²1988

2 GRUNDLAGEN EINER HANDLUNGSTHEORETISCHEN

ANTHROPOLOGIE

*Ist es der Sinn, der wirklich alles schafft?
Es sollte stehn: Im Anfang war die K r a f t !
Doch, auch indem ich dieses niederschreibe,
Schon warnt mich was, daß ich dabei nicht bleibe.
Mir hilft der Geist! Auf einmal seh' ich Rat
Und schreibe getrost: Im Anfang war die T a t !¹*

Ziel dieses Kapitels ist es, ein erstes Modell des Menschen zu geben, das Bewußtsein, Handeln, Wissen und unser Selbst als Prozesse eines informationsverarbeitenden Systems begreift. Als informationelles Modell dient uns die Theorie konnektionistischer Systeme. Diese wurden erstmals in den 60er Jahren entwickelt, in den USA durch Frank Rosenblatts „Perceptron“ besonders bekannt und in Deutschland arbeitete Karl Steinbuch mit ähnlich aufgebauten „Lernmatrizen“.² Heute sind die neuronalen Netze eine Anwendungsform konnektionistischer Systeme. Neuronale Netze sollen das menschliche Gehirn modellieren. Das Handlungssystem „Mensch“ befindet sich dabei in einem iterativen Prozeß der Verfeinerung der innerhalb dieses Netzwerks gespeicherten Informationen. Zumindest, solange seine Handlungen erfolgreich laufen. Dann nämlich werden die zunächst nur groben Handlungsentwürfe bestätigt und ihre neuronale Struktur verfestigt sich. Die durch Lernen aufgebauten, im aktuellen Handlungskontext aktivierten Wissensstrukturen, die nicht bewußt werden, sind gerade das theoretisch einzufangende *implizite Wissen*.

Karl Steinbuch und Herbert Stachowiak haben im deutschsprachigen Raum am Projekt einer „kybernetischen Anthropologie“ gearbeitet, deren Grundkonzept aus zwei Perspektiven neu ausgearbeitet wird: *Erstens* wird der Mensch noch im klassischen Reiz-Reaktionssystem³ gesehen, das ich durch ein *repräsentierendes System* ersetze, das selbst unter dem Einfluß einer aktivitätsstiftenden internen Informationsquelle steht. *Zweitens* wird in der „kybernetischen Anthropologie“ das Selbst gar nicht thematisiert. Steinbuch spricht zwar von einer *informationellen Markierung* „Ich“⁴, es ist aber unzweckmäßig, die Phänomene *Bewußtsein*, *Sprache*, *Handeln* überhaupt ohne eine Konzeption der Subjektivität zu rekonstruieren.

¹ GOETHE, JOHANN WOLFGANG VON: *Faust. Der Tragödie erster Teil*. in: Hamburger Ausgabe (Hrsg.: Trunz, Erich), Bd. 3, München ¹³1986, S.44

² vgl. STEINBUCH, KARL: *Automat und Mensch. Auf dem Weg zu einer kybernetischen Anthropologie*. Heidelberg ⁴1971

³ vgl. STACHOWIAK, HERBERT: *Allgemeine Modelltheorie*. Wien New York 1973, S.69ff

⁴ STEINBUCH, KARL: a.a.O., S.237

2.1 Verhaltenstheorie und Konnektionismus

2.1.1 In-der-Welt-sein: Agieren in kybernetischer Betrachtung

Wer *regelt* nicht gerne seine Probleme und Aufgaben? Wer denkt nicht daran, daß noch dieses und jenes im Leben *geregelt* werden müsse? Und wer sieht nicht auch den Einfluß der nichtsprachlichen Intuition, des Gefühls, auf das was geregelt werden soll und das *erst später* in ein sprachliches Gewand gekleidet wird? Gefühle, Wünsche, Interessen haben eine starke Kopplung zu unserer organischen Basis und sind entscheidend für die Lebensgestaltung. Denn höchstwahrscheinlich ist Gang der Menschheitsgeschichte ganz entscheidend durch gefühlsmäßige Handlungen geprägt. In der Tat scheint es heute so, daß Erkenntnisse aus der Technik des Regels, der Kybernetik, zur Charakterisierung menschlichen Handelns oder, allgemeiner ausgedrückt, des Agierens nützlich sind. In der Verhaltensforschung ist es durchaus üblich, auf der Basis technischer Begriffe die „Mechanismen des Lebendigen“ zu beschreiben. Solche zentralen Begriffe sind dort etwa „offene Programme“ (als die Basis aller lernfähigen lebenden Systeme) und eben der „Regelkreis“ als Struktur desjenigen Vorgangs, in dem lernfähige Systeme Informationen der Umwelt zweckdienlich verarbeiten und damit letztlich lernen bzw. überleben können.¹ Die Grundannahme ist, daß die inneren Gegebenheiten eines Lebewesen eine hochkomplexe Struktur darstellen, die über empfindliche Regelmechanismen das Überleben garantieren sollen. Die Reaktion auf äußere Gegebenheiten kommt erst nach und nach mit der Entwicklung einer entsprechenden Signalempfangsapparatur hinzu.

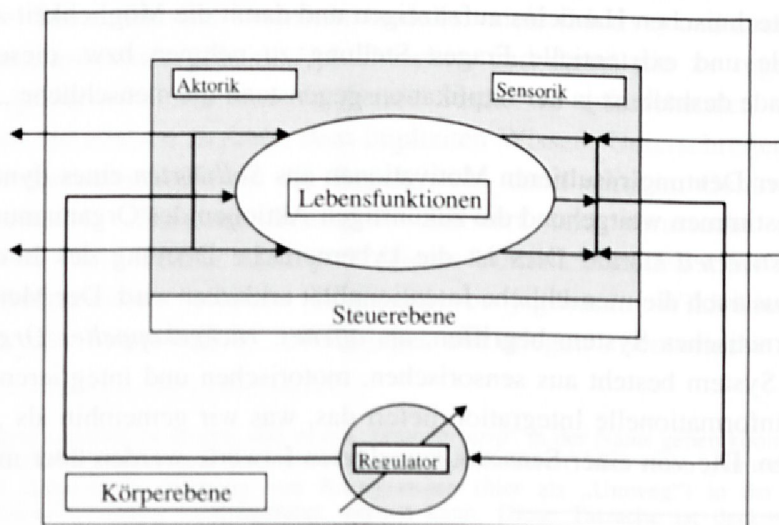


Bild 2.1 Ein kybernetisches Modell eines Lebewesens

Während der Entwicklung des Lebens auf unserem Planeten stellt die Erfindung der einzelligen Lebewesen einen ersten großen Baustein dar, in dem grundlegende

¹ vgl. LORENZ, KONRAD: Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens. München 1985, S.88ff

Regelungsmechanismen zur Konstanzhaltung des „inneren Milieus“ verwirklicht werden konnten. Dazu müssen aber Informationen von der Umwelt eingeholt werden, um auch die entsprechenden Regelungen durchführen zu können. Dieser Informationsaustausch mit der Umwelt beginnt schon vor ca. 1,5 Milliarden Jahren. Mit den ersten Mehrzellern, mit der Erfindung der Nervenzellen sind dann die Voraussetzungen zur Entstehung des Stammhirns gegeben, dem die Aufgabe der Konstanzhaltung des inneren Milieus und der Steuerung der Stoffwechselvorgänge zukommt. Durch vergleichsweise primitive Sensoren und Aktoren (molekulare Mechanismen; Geißeln) können diese ersten Kugelhaufen-Mehrzeller gezielt nahrungsreiches Urmeerwasser aufsuchen. Aber:

Das auf diese Weise entstehende Netz vielfältiger und sich untereinander noch durch Rückkopplung beeinflussender Regelmechanismen ist von unüberschbarer Kompliziertheit [... und] noch keineswegs auch nur annähernd vollständig entwirrt.¹

In dieser Studie wird versucht, die Thematik Bewußtsein, Handeln, Sprache auf den Begriff des Regelkreises aufzubauen. In der biologischen Forschung und auch in der Systemforschung² ist der empirische Gehalt dieser technischen Metapher immer mehr angereichert worden. Diese Regelungsvorgänge sind ihrerseits eingebettet in unser Gehirn, in unsere mentalen Modelle von der Wirklichkeit und von uns selbst, das wiederum mit einem konnektionistischen Modell (z.B. ein neuronales Netzwerk) expliziert wird. Es werden Ergebnisse aus folgenden Wissenschaften verwendet: System- und Informationstheorie (besonders: konnektionistische Systeme), Psychologie, Verhaltensforschung, Linguistik, Paläontologie, Philosophie³ und Anthropologie. Es wird versucht, neben der sachlich-naturalen die soziale und die existentielle Dimension des technischen Handelns aufzuzeigen und damit die Möglichkeit zu geben, auch auf soziale und existentielle Fragen Stellung zu nehmen bzw. diese erst zu präzisieren; gerade deshalb ist ja der Explikationsgegenstand die menschliche „Praxis“.

In kybernetischer Deutung resultieren Motivationen aus *Sollwerten* eines dynamischen Systems und bestimmen weitgehend die zukünftigen Aktionen des Organismus, der auf zu regelnden *Istwerten* startet. Dies ist die kybernetische Deutung des In-der-Welt-seins, von wo aus auch die menschliche Intentionalität erklärbar wird. Der Mensch wird dabei als kybernetisches System begriffen, als *offenes, rückgekoppeltes Organismus-system*. Dieses System besteht aus sensorischen, motorischen und integrierenden Subsystemen. Die informationelle Integration liefert das, was wir gemeinhin als „Bewußtsein“ bezeichnen. Die von einer Sensorik gemeldeten Istwerte werden über motorische

¹ DITFURTH, HOIMAR VON: *Der Geist fiel nicht vom Himmel. Die Evolution unseres Bewußtseins*. München ⁵1983, S.58

² vgl. VESTER, FREDERIC: *Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter*. München ³1985

³ Martin Heidegger hat gleichermaßen die Frage nach dem Sein und nach der Technik gestellt. Unser Bewußtsein steigt gewissermaßen aus den Strukturen unserer Erfahrung auf und „schaut“ aus lichter Höhe auf das Sein herab. Heute wird dies als Metarepräsentation analysiert. So besagt das Licht unseres Bewußtseins, das *lumen naturale*, daß unser Dasein 'an ihm selbst als In-der-Welt-sein gelichtet [ist], nicht durch ein anderes Seiendes, sondern so, daß es selbst die Lichtung *ist*.' aus: HEIDEGGER, MARTIN: *Sein und Zeit*. Tübingen ¹⁶1986, S.133

Subsysteme an die Sollwerte angeglichen.¹ In der biologischen Entwicklung definieren die augenblicklichen sensorischen Istwerte die Ausgangslage für die bei Tieren vererbten, beim Menschen größtenteils selbstkonstruierten Sollwerte. Diese Situation charakterisiert insgesamt das In-der-Welt-sein des Organismus:

Die instinktive Ausrichtung des Tieres auf den Geschlechtspartner, den Artgenossen, den Freund, den Feind und die Umwelt, seine Appetenz der Situation gegenüber, läßt die Spannung seines Istwertes gegenüber dem in der Veranlagung fixierten Sollwert verstehen.²

Die Istwerte kommen aus dem tatsächlichen organischen Zustand, gelangen über perzeptuelle Systeme ins Gehirn und aktivieren entsprechende Steuerungsmechanismen. Besonders bei lernfähigen perzeptuellen Systemen können die Strukturen zur Repräsentation von Istwerten durch Lernen selbst aufgebaut werden (z.B. durch integrative Zusammenfassung organischer Signale und Signalwege). Im triebgeleiteten Verhalten steht für jeden Istwert ein entsprechendes Verhaltensmodell des operationalen Subsystems des Gehirns zur Verfügung, das bei Überschreitung der Regelgrenzen automatisch aktiviert wird und zur Angleichung des Istwertes an den Sollwert dient.³ Im perzeptuellen Subsystem des Gehirns ist dabei die Funktion realisiert, auf bestehenden (neuronalen) Strukturen ein Modell der Umwelt zu aktivieren; der Mensch und andere Vertreter der Primaten verfügt auch über existentiell aufgebaute Modelle des Organismus selbst. Diese Aktivierung wird auf der Basis aktueller Inputs vorgenommen und repräsentiert die Randbedingungen oder „Störgrößen“ des zu regelnden Ist-Zustandes des Organismus, der eine Regelgrenze überschritten hat. Der Regelvorgang erfolgt dann über ein Verhaltensmodell (Regelmodell), das im triebgeleiteten Verhalten noch automatisch im Gehirn aktiviert wird. Beim Menschen sind Verhaltensmodelle, -ziele (Motive) und auch Regelgrenzen bewußt und unbewußt gelernt. Die Ursachen und damit die zu regelnden Istwerte stammen größtenteils aus dem in dieser Studie zu erforschenden vorsprachlichen Bereich der *subjektiven Gefühle*, dem impliziten Wissen. Unterschreitet beispielsweise ein Nahrungsreserve-Indikator die Regelgrenze, dann wird im Gehirn das operative Verhaltensmodell „Nahrung besorgen“ aktiviert und verursacht das subjektive Bewußtwerden des Gefühls „Hunger“. Dieses Verhaltensmodell kann selbst noch aus weiteren Submodellen bestehen: „Richtung von jagdbarem Wild über Geruchssinne festlegen“, „der Fährte folgen“, „Wild jagen und erlegen“. Sensorische und motorische

¹ Hans Sachsse versucht zu zeigen, daß es ein „Grundprinzip“ in der Natur geben könnte, das besagt, daß der optimale Weg von einem Start (Istwert) zum Ziel (Sollwert) über einen „Umweg“ führt. So kennt man seit langem die Wirkung von Katalysatoren (hier als „Umweg“) in der Chemie, die auf physikalische Ursachen zurückgeführt werden kann. Diese Tatsache ist deckungsgleich mit der Theorie des Psychologen Jean Piaget, daß organische Regelmechanismen über *Meta-Regelungen* (Metacognition) *erfolgreicher* geregelt werden können. Solche „Umwege“ in der Natur bewirken die Öffnung zu dem, was wir als „Höherentwicklung“ bezeichnen. Gehirne sind regelungstechnische Steuerungsorgane zur Organisation des „Umweges“. So ist schließlich auch technisches Handeln als ein Handeln zu bezeichnen, 'das einen Umweg wählt, weil das Ziel über diesen Umweg leichter zu erreichen ist.' aus: **SACHSSE, HANS: Anthropologie der Technik. Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt.** Braunschweig 1978, S.9

² a.a.O., S.21

³ Karl Steinbuch gibt eine Einführung in regelungstechnische Grundbegriffe und ihre Adaptation an eine kybernetische Anthropologie; ferner an Systeme der Technik, Physiologie, Psychologie, Soziologie u.a. vgl.: **STEINBUCH, KARL:** a.a.O., S.76ff

Fertigkeiten können angeboren oder auch erlernt sein. Das aktivierte perzeptuelle Modell stellt die Randbedingungen für den Ablauf des Verhaltensmodells. Insgesamt ist jetzt im Gehirn der Organismus „aktiv“ (über das Verhaltensmodell) und die Umwelt „passiv“ repräsentiert; im aktivierten Verhaltensmodell ist das Verhalten und damit auch das „Ziel“ repräsentiert (das „Ziel“ besteht einfach aus denjenigen durch das Verhalten zu verursachenden Wirkungen, die die zu regelnden Istwerte wieder unter die Regelgrenze bringen; so liegt z.B. im Verhaltensmodell ein durch Vererbung oder durch Lernen gespeichertes Geruchsbild eines jagdbaren Wildes als „Ziel“ vor). Jetzt beginnt ein iterativer, sich selbst regelnder Prozeß, bei dem das Verhaltensmodell aufgrund seiner „Modellierung“ an die motorischen Subsysteme Bewegungsbefehle weitergibt, die durch die Informationen des perzeptuellen Modells an die tatsächlichen Gegebenheiten angepaßt werden. Die sensorischen Systeme ergänzen dann die Veränderungen im perzeptuellen Modell. Im Normalfall ist der Organismus dem „Ziel“ (das z.B. über Gerüche repräsentiert wird) jetzt nähergerückt und damit *ist ein Regelschritt erfolgreich durchgeführt*. Dann wird bei dem inzwischen um einen Schritt abgewickelten Verhaltensmodell der nächste Schritt aktiviert, die nächsten Bewegungsbefehle werden an die motorischen Subsysteme weitergegeben und so fort. Schließlich wird das Verhaltensmodell nicht mehr weiter aktiviert, wenn der zu regelnde Istwert wieder innerhalb der Regelgrenzen liegt. Sicherlich läuft der Prozeß noch weitaus komplexer ab als in dieser vereinfachten Darstellung. Unser Ziel ist es aber, die *Struktur* dieses Vorganges zu analysieren, die aus folgenden, kausal miteinander verknüpften Strukturelementen besteht:

- Überschreitung von Regelgrenzen durch organische und/oder gelernte Indikatoren;
- Aktivierung eines Verhaltensmodells und damit des Verhaltenszieles im Gehirn, in dem motorische Befehle und sensorische Randbedingungen für die auszuführende Aktion repräsentiert sind;
- Aktivierung eines perzeptuellen Modells der Umwelt und des Organismus (Selbstmodell), das die Lage des Organismus in der Welt repräsentiert;
- Durchführung und Kontrolle des Verhaltensmodells über eine fortwährende Aktualisierung des perzeptuellen Modells, bis der zu regelnde Istwert wieder innerhalb der Regelgrenzen liegt.

Tatsächlich kann der Mensch durch den konstruktiven, lernenden Aufbau eines *inneren Modells*¹ die angeborenen Koordinationen deutlich überlagern. Hier muß die wichtige Unterscheidung zwischen dem gerade aktiven inneren Modell (der Umwelt und des Selbst) und den zugrundeliegenden neuronalen Strukturen eingeführt werden. Diese neuronalen Strukturen und Regelmechanismen präjudizieren das gerade aktivierte Modell und bilden damit die Basis für den Aufbau von kognitiven Strukturen und von

¹ vgl. SACHSSE, HANS: a.a.O., S.25; vgl. auch GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.257ff [Kapitel 30: Rückwirkungen: Angleichung der inneren und äußeren Welt]

Erfahrung. Damit tritt die rückgekoppelte Struktur unseres Handelns und Denkens hervor. Denn dieses Modell kann nur aus Elementen aktiviert werden, die in der neuronalen Struktur bereits vorhanden sind. Dabei besteht dieses innere Modell aus perzeptuellen und motorischen Elementen, denn was über die Sinne im Gehirn repräsentiert wird, muß auch Eingang in die Operationen des Organismus finden können. Der Mensch lernt z.B. das Bild und die motorischen Fähigkeiten zum Erlangen nahrhafter Früchte. Aber erst, wenn das Modell eines Apfels bereits strukturell im neuronalen Substrat *möglich* ist, kann er auch andere Äpfel erkennen. Diese „Möglichkeit“ äußert sich zunächst in jenem unhintergehbaren Daseinsgefühl, das eine Handlungsstruktur langsam in unserem Bewußtsein verdichtet. Damit sind wir bereits am Kernpunkt der hier vorgelegten Deutung des Menschen angekommen: der Mensch ist das fühlende, *also* (im kausalen Sinn) handelnde Wesen. Während beim Tier zwischen Ist- und Soll-Zustand ein für die Art festes Verhaltensmodell für deren Abgleich sorgt, ist beim Menschen Handeln und Denken dazwischengeschaltet.

2.1.2 Konnektionistische Systeme und distribuierte Wissenskontexte

Wie läßt sich jetzt aber in geeigneter Weise die „Informationsverarbeitung“ des Menschen beschreiben, welche Ansätze helfen uns bei den hier zu besprechenden Problemen weiter? - Sicherlich kann gerade hier auch von den Ideen und von den Problemen der Künstlichen-Intelligenz-Forschung gelernt werden, in der ja der Versuch gemacht wird, die Intelligenz des Menschen zu verstehen, in künstlichen Systemen nachzubauen und daraus zu lernen. Wie schon angedeutet, brauchen wir jedoch eine Theorie, in der menschliche Informationsverarbeitung im Zusammenhang mit menschlichem *Bewußtsein*, *Selbst*, *Handeln* und *Wissen* thematisiert wird. Denn besonders auch unsere unbewußten, nichtsprachlichen, analogen Erfahrungen sollen umfaßt und in Relation zum Bewußtseinsprozeß gesetzt werden. Anthony J. Marcel bringt dazu das Beispiel der Koexistenz von bewußtem und unbewußtem Wissen:

Tacit knowledge is that knowledge which one does not know that one has. It underlies most of our activities. Examples in language are use of presuppositions, Gricean rules of conversations, and responses to indirect speech acts; an example from motor skill is our ability to keep a bicycle upright while turning at different speeds.¹

„Tacit knowledge“ heißt wörtlich übersetzt „stillschweigendes Wissen“, das als „implizites Wissen“ konzeptualisiert werden soll. Das Epitheton „implizit“ heißt ja auch „eingewickelt“, „als Anlage vorhanden“. Dieses Wissen soll durch logische Analyse rekonstruiert werden. Denn ihm kommt eine konstitutive Rolle zu: Signalisiert doch, beispielsweise bei einer komplexen Überlegung, jenes phänomenale Gefühl (das uns etwa sagt: „so ist es!“) den Einsatz impliziter Wissensstrukturen. Überprüfen läßt sich dies dadurch, daß uns eine Tatsache vollkommen klar erscheint, ohne daß wir aber deren rationale Begründung parat hätten. Damit läßt sich die Auswahl eines geeigneten

¹ MARCEL, ANTHONY J.: a.a.O., S.130

theoretischen Ansatzes deutlich einschränken.¹ Kognitionswissenschaftler wie Philip Johnson-Laird oder auch KI-Forscher wie Marvin Minsky haben „Wissen“ als *mentale Modelle*² expliziert, die Worte, Bilder, nichtsprachliche Symbole oder irgendeine Mischform sein können. Demnach konstruieren wir uns mentale Modelle der Welt, der anderen Menschen und auch von uns selbst.³ Dann aber sollte eine Theorie des Handelns als einer informationellen Theorie mentaler Modelle im Kontext konnektionistischer Systeme möglich sein. Damit sollte es möglich sein, bewußte und unbewußte, sprachliche und nichtsprachliche repräsentationale Informationsflüsse des Gehirns im Rahmen einer praktischen Anthropologie darstellen und erklären zu können, obwohl die tatsächlich ablaufenden neurobiologischen Prozesse teilweise noch unklar sind.⁴ Der Bewußtseinsprozeß scheint sich gerade in der Welt zwischen implizitem und explizitem Wissen abzuspielen. Explizites Wissen ist oder kann operationalisiert werden, und so ist eine Theorie operativer Schriften Ausgangspunkt zu unserer Rekonstruktion von Maschinen.⁵ Außerdem bietet die konnektionistische Theorie Ansätze zur Beschreibung selbstorganisierender neuronaler Prozesse, wie sie für Lernvorgänge und Vorgänge mentaler Kategorisierung typisch sein könnten.⁶ Unter dem Titel der *Selbstorganisation* wird versucht, die Entwicklung von Ordnung aus dem Chaos in biologischen Systemen zu erklären:

Dieselben Mechanismen, die zu Ordnung und Gestalt in Organismen führen, sollen die Einzelaktivitäten der unzähligen Nervenzellen des Gehirns so organisieren, daß sie zusammenwirken und vernünftiges Handeln ermöglichen.⁷

C. Kemke gibt eine Einführung in Entwicklung, theoretische Modelle und Anwendungsgebiete konnektionistischer Arbeiten. Ein konnektionistisches System

¹ Insbesondere kann damit nicht direkt auf die Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiet der Expertensysteme zurückgegriffen werden, da dort die im tacit knowledge sich zeigende nicht-propositionale Dimension von „Wissen“ und „Erfahrung“ schon prinzipiell nicht berücksichtigt ist. Für eine Einordnung der Ergebnisse der am Propositionenmodell orientierten kognitiven Psychologie vgl. Kapitel 4.2. Für die vorliegende Studie ist jedoch besonders die implizite, nichtsprachliche, bildhaft-analoge, trotzdem hochsymbolische Dimension des Wissens – vor dem Hintergrund distribuiert Wissenskongexte – wichtig, denn in der Sprache und im sprachlichen Gedächtnis erst 'gipfeln die Prozesse der Erfahrung und des Umgangs.' aus: GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.241

² vgl. JOHNSON-LAIRD, PHILIP: *Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Cambridge, Mass. (USA) 1983; MINSKY, MARVIN LEE: *The Society of mind*. New York 1985, 1986, S.303ff [‘Mental Models’]

³ Thomas Metzinger von der Universität Gießen hat eine solche Theorie mentaler Modelle entworfen, mit der auch das phänomenale Bewußtseinserlebnis erklärbar scheint; auf ihn werde ich mich öfters beziehen.

⁴ vgl. KEMKE, C.: *Der Neuere Konnektionismus. Ein Überblick*. Informatik-Spektrum (1988) 11, S.144ff

⁵ vgl. KRÄMER, SYBILLE: *Operative Schriften als Geistestechnik. Zur Vorgeschichte der Informatik*. in: Scheffe, P. u.a. (Hrsg.): *Informatik und Philosophie*. Mannheim 1993, S.69-84

⁶ vgl. WALTZ, DAVID L. (Hrsg.): *Cognitive Science, incorporating the journal Cognition and Brain Theory. Special Issue: Connectionist Models and their Applications*. Volume 9, Number 1, New Jersey, USA 1985. Dort werden erstmals einige grundlegende Arbeiten über Theorie und Anwendung konnektionistischer Modelle zu folgenden Themen behandelt: selbstorganisierende, kategorisierende Lernprozesse (‘Competitive Learning’); visuelle Erkennung einfacher geometrischer Objekte (‘Computing with Connections in Visual Recognition of Origami Objects’) u. einiges mehr.

⁷ SCHULTEN, KLAUS: *Ordnung aus Chaos, Vernunft aus Zufall*. in: Küppers, Bernd-Olaf: *Ordnung aus dem Chaos. Prinzipien der Selbstorganisation und Evolution des Lebens*. München 1987, S.245

wird durch einen Satz von Parametern vollständig beschrieben (Verarbeitungselemente: diese können eine Menge von Aktivierungszuständen einnehmen; Netzwerkstruktur: gewichtete Kommunikationsverbindungen zwischen den Verarbeitungselementen; Eingabe-, Ausgabevektoren). Theoretisch wird es als ein Netzwerk endlicher Automaten aufgefaßt. Der Parametersatz des Netzwerks bestimmt das Transformationsverhalten, nach dem der Eingabevektor \mathbf{E} in den Ausgabevektor \mathbf{A} transformiert wird. Das Netzwerk besteht selbst aus einer Anzahl von Verarbeitungselementen oder Neuronen N , die untereinander über zahlreiche gerichtete Verbindungen Signale austauschen. Solche Netzwerke sind zumeist in Schichten organisiert. Die zwischen der Eingabe- und der Ausgabeschicht liegenden Schichten werden als *verdeckte Schichten* bezeichnet.

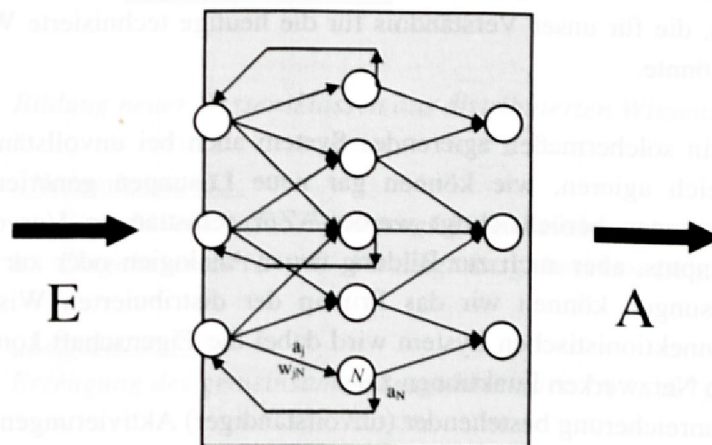


Bild 2.2 Struktur eines konnektionistischen Systems (z.B. eines neuronalen Netzes)

Jedes Neuron N kann eingabeseitig j verschiedene Eingangssignale a_j empfangen. Diese Eingangssignale werden über einen Kopplungsparameter w_{jN} gewichtet. Das Neuron faßt diese gewichteten Eingangssignale zu einem Aktivierungszustand a_N zusammen und gibt ein Ausgangssignal, das eine Funktion des Aktivierungszustandes ist, an das nächste Neuron weiter. So breitet sich die Information im Netzwerk über verschiedene Schichten aus (in Bild 2.2 ist ein dreischichtiges neuronales Netz dargestellt), bis aus dem Eingabevektor \mathbf{E} der Ausgabevektor \mathbf{A} entsteht. Netzwerkstrukturen können hierarchisch in Schichten organisiert sein und *bottom-up*, *top-down* oder in beiden Richtungen (*interaktiv oder rekurrent*) kommunizieren:

In bottom-up arbeitenden Netzwerken kann jedes Element nur von Elementen einer niedrigeren Ebene beeinflusst werden [...]. Die Arbeitsweise dieses Netzwerkes, die Aktivierungen nur von der Eingabeseite in Richtung der Ausgabeseite propagieren, ist typisch für rein sequentielle Wahrnehmungsprozesse. In top-down arbeitenden Systemen können Elemente nur von höheren Ebenen beeinflusst werden [...]. Derartige Systeme können die Beeinflussung niedriger Verarbeitungsprozesse durch die Aktivierung höherer Elemente darstellen, also z.B. erwartungsgesteuerte Wahrnehmung. Interaktive Systeme erlauben beide Verarbeitungsmodi [...].¹

¹ KEMKE, C.: a.a.O., S.148f

Der Eingabevektor E läßt die Aktivierungsenergie durch das neuronale Netz laufen, bis das Netz in einen stabilen Zustand relaxiert und den Ausgabevektor A erzeugt. Der Netzwerkzustand kann in einem Aktivierungsvektor zusammengefaßt werden, der die Aktivierungszustände der einzelnen Neuronen beschreibt. Dieser Vorgang soll in Übertragung auf biologische neuronale Strukturen als *mentale Repräsentation* gedeutet werden. Der gerade generierte Aktivierungsvektor sei als *mentales Modell* bezeichnet, das prinzipiell bewußtseinsfähig ist. Sie sind analoge, dynamische Muster, die sich aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte gegenseitig aktivieren können. Der Grund für die Einführung einer solchen Konzeption liegt in ihrer Erklärungskraft für viele Probleme, die etwa für die am Propositionenmodell orientierte Psychologie unüberwindbare Schwierigkeiten darstellen. Zusätzlich erscheint es mir damit möglich, auf der Basis solcher Modelle eine Entstehungsgeschichte des menschlichen Denkens und Handelns zu rekonstruieren, die für unser Verständnis für die heutige technisierte Welt wichtige Beiträge liefern könnte.

Wie kann jetzt ein solchermaßen agierendes System auch bei unvollständigen Inputs dennoch erfolgreich agieren, wie können gar neue Lösungen generiert und dabei bisherige Informationen berücksichtigt werden? Zur selbsttätigen Vervollständigung unvollständiger Inputs, aber auch zur Bildung neuer Analogien oder zur Generierung neuer Problemlösungen können wir das Prinzip der distribuierten Wissenskontexte einführen. Im konnektionistischen System wird dabei die Eigenschaft konzeptualisiert, bei gut trainierten Netzwerken Funktionen zur

- a) Informationsanreicherung bestehender (unvollständiger) Aktivierungen und zur
- b) spontanen Bildung neuer Wissensklassen aus distribuierten Wissenskontexten (z.B. Bildung von Analogien mittels Abstraktion: *verallgemeinernde Wissenskontexte*)

zur Verfügung zu stellen. In den folgenden beiden Bildern wird diese spezifische Funktionalität kurz anschaulich vorgestellt, eine weitere Explikation erfolgt in den entsprechenden Kapiteln.

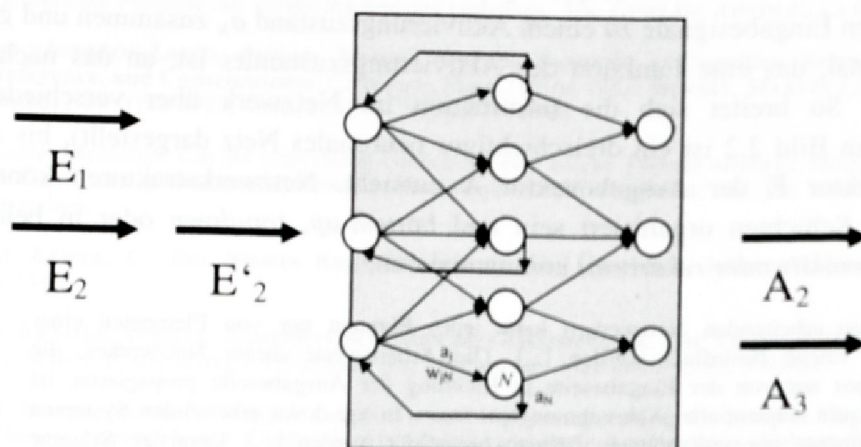


Bild 2.3

Netzwerkaktivierung bei unvollständigem Input; automatische Vervollständigung unvollständiger Informationen: (E_1, E_2) bzw. (E'_2) erzeugen beide den Ausgabevektor (A_2, A_3)

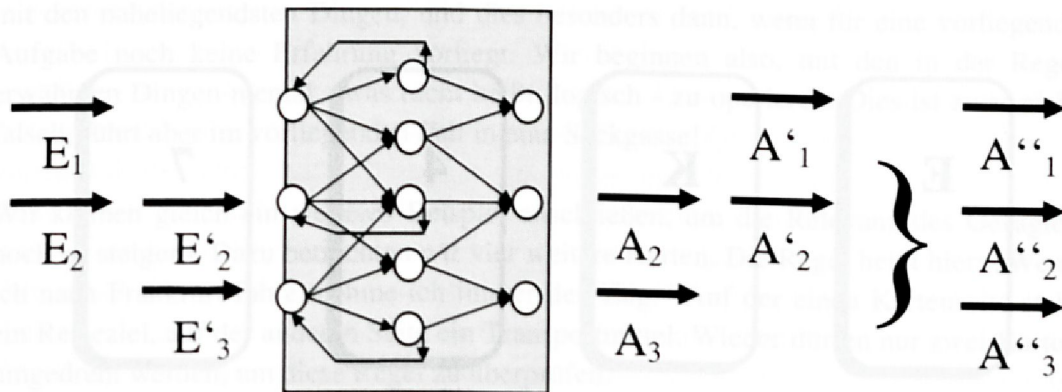


Bild 2.4 Bildung neuer Wissensklassen aus distribuierten Wissenskontexten:

„Normalzustand“:

- a) Eingabevektor (E_1, E_2) erzeugt Ausgabevektor (A_2, A_3)
- b) Eingabevektor (E'_2, E'_3) erzeugt Ausgabevektor (A'_1, A'_2)

„Lernzustand“:

Erzeugung des gemeinsamen Ausgabevektors (A''_1, A''_2, A''_3)

Die vorher asynchron einlaufenden Aktivierungen (E_1, E_2) bzw. (E'_2, E'_3) erzeugten bisher die Ausgabevektoren (A_2, A_3) bzw. (A'_1, A'_2). Es läßt sich nun in konnektionistischen Systemen mittels statistischer Mechanismen die Bildung des Ausgabevektors (A''_1, A''_2, A''_3) erzeugen. In unserer Interpretation dieses Szenarios werden somit vorher unzusammenhängende Wissenskontexte

$$[(E_1, E_2) \rightarrow (A_2, A_3) \mid (E'_2, E'_3) \rightarrow (A'_1, A'_2)]$$

zu einer neuen Wissensklasse zusammengeführt, deren Generierung auf statistische Mechanismen innerhalb konnektionistischer Systeme zurückführbar ist:

$$[(E_1, E_2) \rightarrow (A''_1, A''_2, A''_3) \mid (E'_2, E'_3) \rightarrow (A''_1, A''_2, A''_3)]$$

Eine Aktivierung der unterschiedlichen Wissensklassen (E_1, E_2) bzw. (E'_2, E'_3) führt fortan immer zum selben, nun synchronisierten Ergebnis, nämlich zur Aktivierung der Wissensklasse (A''_1, A''_2, A''_3). In biologischen Neurosystemen ist dies so realisiert, daß bisher kausal unverbundene Aktivierungen zusammengefaßt werden können, wenn sie nur häufig genug zeitlich synchronisiert auftreten.

Betrachten wir jetzt ein einfaches Beispiel, das der Leser selbst nachvollziehen kann.¹ Es werden die folgenden vier Karten offengelegt:

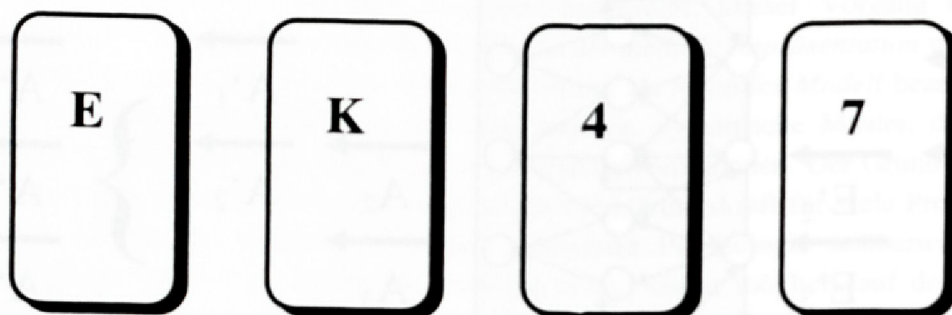


Bild 2.5 *Mentale Modelle und logisches Denken I*

Jede Karte hat auf der einen Seite einen Buchstaben, auf der anderen eine Zahl. Folgende Regel soll nun geprüft werden: „Eine Karte, die auf einer Seite einen Vokal hat, hat auf der anderen eine gerade Zahl.“ Sie dürfen jetzt genau zwei Karten umdrehen, um herauszufinden, ob diese Regel von den Karten eingehalten wird. Überlegen Sie sich jetzt bitte, welche Karten Sie umdrehen wollen, bevor wir gemeinsam die Lösung betrachten.

Johnson-Laird hat diese Aufgabe auch zahlreichen Logikern vorgelegt, die unter seinen Versuchspersonen waren. Dies ist eine rein logische Aufgabe, und sie ist mit den Mitteln der formalen Logik eindeutig lösbar. Wäre der Mensch eine symbolverarbeitende Maschine (dies ist das „starke“ KI-Bild des Menschen), sein Wissen in Propositionen repräsentiert und die Schlußfolgerungsregeln in dazu separaten Datenspeichern, dann dürfte das Lösen dieser Aufgabe keine Schwierigkeiten bereiten. Das Gegenteil ist aber der Fall. Denn über 90 Prozent (inklusive der Logiker) erliegen der Versuchung, die falsche Karte mit der geraden Zahl herumzudrehen. Betrachten wir jedoch zunächst die Lösung.

Die meisten erkennen noch, daß man die Karte mit dem Konsonanten nicht umdrehen muß. In der Regel ist ja nichts über Konsonanten gesagt. Man dreht also die Karte mit dem Vokal um, denn hätte diese Karte eine ungerade Zahl auf der Rückseite, wäre die Regel widerlegt. Nun zu den Zahlenkarten. Die Hoffnung beim Umdrehen der geraden Zahl besteht darin, einen Konsonanten zu finden, dann hätte es den Anschein, als ob die Regel widerlegt wäre. Das ist aber falsch, denn die Regel sagt überhaupt nichts darüber aus, was auf der Rückseite einer geraden Zahl stehen muß. Entscheidend und richtig ist vielmehr, die Karte mit der ungeraden Zahl umzudrehen. Denn würde auf deren Rückseite ein Vokal stehen, wäre die Regel widerlegt.

¹ Dieses Beispiel ist entnommen aus GARDNER, HOWARD: *Dem Denken auf der Spur*. Stuttgart 1989, S.378-87. Gardner gibt in diesem lesenswerten Buch einen umfassenden Überblick zu den mit dem Denken befaßten Wissenschaften.

Zur Erklärung, warum das so ist, kann uns eine Theorie mentaler Modelle und distribuierten Wissenskontexte weiterhelfen. Demnach beschäftigen wir uns zunächst mit den naheliegendsten Dingen, und dies besonders dann, wenn für eine vorliegende Aufgabe noch keine Erfahrung vorliegt. Wir beginnen also, mit den in der Regel erwähnten Dingen mental - was nicht heißt: logisch - zu operieren. Dies ist zwar nicht falsch, führt aber im vorliegenden Fall in eine Sackgasse!

Wir können gleich ein weiteres Beispiel anschließen, um die Relevanz des Gesagten noch zu steigern. Dazu betrachten wir vier weitere Karten. Die Regel heißt hier: „Wenn ich nach Frankfurt fahre, nehme ich immer den Zug.“ Auf der einen Kartenseite steht ein Reiseziel, auf der anderen Seite ein Transportmittel. Wieder dürfen nur zwei Karten umgedreht werden, um diese Regel zu überprüfen.

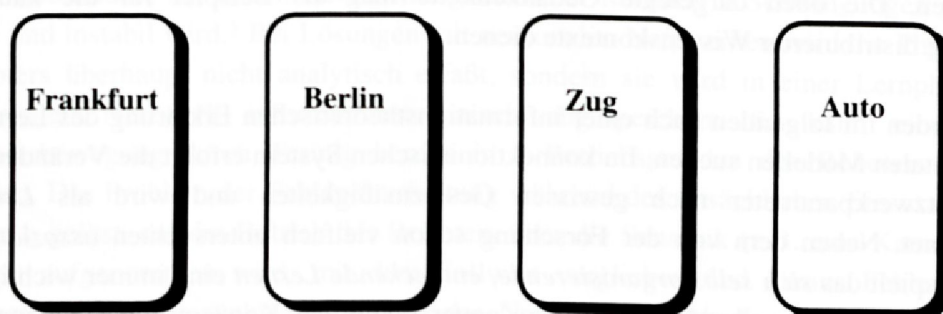


Bild 2.6 *Mentale Modelle und logisches Denken II*

Warum lösen 80 Prozent der Versuchspersonen diese Aufgabe richtig? Diese Aufgabe ist - aus logischer Sicht - mit der vorherigen vollkommen identisch. Die Schlußfolgerung aus solchen Experimenten ist, daß die meisten Menschen (wie gesagt: inklusive der Logiker) überhaupt nicht „logisch“ bei ihren Problemlösungsversuchen vorgehen. Sie stellen keine abstrakten Wahrheitstafeln auf und benutzen keine rein formalen Ableitungsregeln. Vielmehr spielt hier die Erfahrung eine bedeutende Rolle. Denn zur Lösung des letztgenannten Beispiels wird offensichtlich mit zusätzlichem, aber im Hintergrund bleibendem Wissen gearbeitet, das bei der ersten Aufgabe in dieser Form erst gar nicht existiert.

Dieses aus dem Hintergrund wirkende Wissen habe ich schon in Kapitel 1 als *implizites Wissen* charakterisiert. Phänomenologisch zeigt sich dies so, daß man in einer solchen Situation recht schnell eine Lösung findet, die *rein aus dem Gefühl heraus* klar ist. Sie wird also nicht über Wahrheitstafeln und formale Ableitungsregel gewonnen, sondern über implizite, bildhaft-analoge Wissensstrukturen. Dies bedarf einer kurzen Erklärung. Wir operieren demnach mit mentalen Modellen der Elemente, die in solchen (oder auch beliebig anderen) Aufgaben erscheinen. Entscheidend für den Lösungserfolg ist jetzt: je mehr Wissensstrukturen wir mit ähnlichen oder identischen mentalen Modellen schon akkumuliert haben, je deutlicher werden diese Wissensstrukturen beim Lösungsprozeß eine Rolle spielen. Angenommen, wir sind schon öfters Zug / Auto gefahren, und wir waren auch schon öfters in Frankfurt / Berlin. Dann könnte sofort einsichtig werden,

daß es sich nicht lohnt, die Karte „Zug“ umzudrehen. Denn wir wissen implizit, daß mit dem Zug nahezu jede Stadt erreicht werden kann. Die hohe Wahrscheinlichkeit, daß auf der Rückseite der Karte „Zug“ etwa „Berlin“, „Köln“ oder sonst einer der vielen Städtenamen stünde, ist sofort einleuchtend. Dies hat aber mit der o.g. Regel überhaupt nichts zu tun, und selbst, wenn „Frankfurt“ auf der Rückseite stünde, wäre die Regel nur bestätigt: ein insgesamt schwaches Resultat. Wenden wir uns hingegen der nächsten Karte, dem „Auto“ zu, dann fällt sofort ins Auge, zu verifizieren, ob auf deren Rückseite nicht „Frankfurt“ steht. Denn dann wäre die Regel widerlegt: ein starkes Ergebnis. Solches Wissen, umgangssprachlich auch als „Erfahrung“ bezeichnet, kommt durch spontanes Lernen, z.B. durch Bildung von Analogien zustande. Es wird klar, daß zur Lösungsfindung distribuierte Wissenskontexte mit aktiviert werden, die vorher unter einem solchen gemeinsamen Diktum bisher nicht aktiviert wurden. Das wiederum erzeugt neue Synchronizitäten, die entscheidenden Einfluß bei der Lösungsbildung gewinnen. Die oben dargelegte Gedankenkette mag als Beispiel für die kausale Wirkung distribuerter Wissenskontexte dienen.

Wir werden im folgenden nach einer informationstheoretischen Erklärung des Lernens mit mentalen Modellen suchen. Im konnektionistischen System erfolgt die Veränderung der Netzwerkparameter nach gewissen Gesetzmäßigkeiten und wird als *Lernen* bezeichnet. Neben dem von der Forschung schon vielfach untersuchten *assoziativen Lernen* spielt das *sich selbstorganisierende, entdeckende Lernen* eine immer wichtigere Rolle. Es dient der selbsttätigen Bildung neuer kognitiver Konzepte oder Kategorien und ermöglicht erst die *strukturelle Offenheit* des Netzwerks.¹ Dies ermöglicht es, jedweden Wissenskontext mit in den aktuellen Problemlöseprozeß einfließen lassen zu können. Zu den echten Neuerungen zählen dabei die sogenannten „Thermodynamischen Modelle“, die nach dem Verarbeitungsprinzip der Energieminimierung funktionieren. In diesen Modellen

besteht die Verarbeitung einer Eingabe darin, daß das Netzwerk sich ausgehend von einem Initialzustand, der durch eine externe Eingabe bestimmt wird, in einen Gleichgewichtszustand einschwingt. Aus diesem Endzustand kann dann die externe Ausgabe abgelesen werden. Solche Systeme werden auch als *Relaxationsnetzwerke*² bezeichnet.

Ich werde mich in dieser Studie auf dieses Modell mit der größten Komplexität beziehen, das zudem das bekannte Hopfield-Modell erfaßt. Solche Systeme mit vorwärts- und rückwärtsgerichteten Verbindungen werden auch als *rekurrente Netzwerke* bezeichnet, die sich aufgrund ihrer Fähigkeit zum assoziativen Speichern zur Handhabung unvollständiger, regelungsbedürftiger Informationen eignen. Sie werden beispielsweise zur Mustererkennung eingesetzt. Ein Anwendungsfall ist die automatische Erkennung und Kategorisierung von Oberflächendefekten bei der Herstellung mikroelektronischer Bauteile. In neueren Entwicklungstendenzen und Anwendungen spielt gerade die Perspektive der Regelung, insbesondere von Robotern,

¹ vgl. Kapitel 2.3.2 δ) Lernen II: entdeckendes Lernen

² KEMKE, C.: a.a.O., S.152

eine wichtige Rolle. So wird eine sensorgeführte Roboterbewegung (z.B. via Bildverarbeitung) als Regelungsproblem aufgefaßt, das mit unserem auf Seite 46f skizzierten Regelungsproblem der Nahrungsbesorgung eines Tieres vergleichbar ist.¹

Die Perspektive neuroinformationstechnischer Lösungen folgt daraus, daß der früher verfolgte analytische Ansatz, die Robotersteuerung über kinematische und dynamische Zustandsgleichungen durchzuführen, in der Praxis vielfache Schwierigkeiten aufweist. Zwar wird durch diesen Ansatz theoretisch eine eindeutige physikalische Erfassung des Robotersystems möglich, die dazu notwendige vollständige Einmessung des Roboters (Erfassung aller möglicher Trägheitsmomente und Kräfte) nimmt aber viele Monate in Anspruch und ist heute noch Gegenstand umfangreicher Forschungsarbeiten. In der Praxis steht die notwendige Zeit meistens nicht zur Verfügung und auch Änderungen am Roboter erfordern eine Neueinmessung des Gesamtsystems. Die Erfahrung zeigt, daß insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten der Roboter in Schwingungen geraten kann und instabil wird.² Bei Lösungen mit neuronalen Netzwerken wird die Physik des Roboters überhaupt nicht analytisch erfaßt, sondern sie wird in einer Lernphase im neuronalen Netzwerk informationstechnisch abgespeichert. So kann eine Soll-Roboterbewegung durch Training bereits in 8 Betriebsstunden des Roboters gelernt werden. Das Problem der Fehlerverarbeitung während des tatsächlichen Einsatzes wird dadurch gelöst, daß im Betrieb des Roboters über die Sensorik (z.B. eine Kamera) der Istwert aufgenommen wird, mit dem Sollwert verglichen und daraus Fehlersignale erzeugt werden, die rückwärtsgerichtet das Netzwerk durchlaufen und so den Fehler minimieren. Es gibt heute Netzwerklösungen für diese Robotersteuerung mit einigen hundert Neuronen.

Das folgende Bild versucht den Erkenntnisstand in einer Systemskizze festzuhalten, der für das Problem der Nahrungsbesorgung von Seite 46f eine Lösung anbietet. Dieses Modell ist unser Ausgangsmodell auch für die Betrachtung menschlichen Handelns, denn die zunächst betrachtete triviale Aufgabe der Nahrungsbeschaffung wird später durch Probleme technischen Handelns ersetzt. Über interne Signale, die den Nahrungspegel anzeigen, wird vorwärtsgerichtet (top-down) ein mentales Modell zur Nahrungsbeschaffung im Operator aktiviert. Die sensorischen bottom-up Aktivierungen regulieren die unvermeidbaren Fehlerwerte. Verhaltensmodelle können in ihrer Struktur angeboren oder gelernt sein, aber aufgrund ihrer Analogizität sind sie im Detail hochgradig plastisch. Diese analoge Verhaltensanregung wird erst dann deaktiviert, wenn der Nahrungspegel unter der Regelgrenze zu liegen kommt und damit die aus der Körperebene resultierende Aktivierungsenergie erlischt. Bewußtsein scheint jetzt ein relativ spätes Produkt der Evolution mit dem Zweck zu sein, *kognitive*

¹ vgl. MIESBACH, STEFAN; SCHÜRMANN, BERND: Wenn Roboter arbeiten lernen: Ideen und Methoden der Neuroinformatik zur Regelung und Steuerung, in: Informationstechnik 33 (1991) 6, S.300-09

² vgl. a.a.O., S.302f

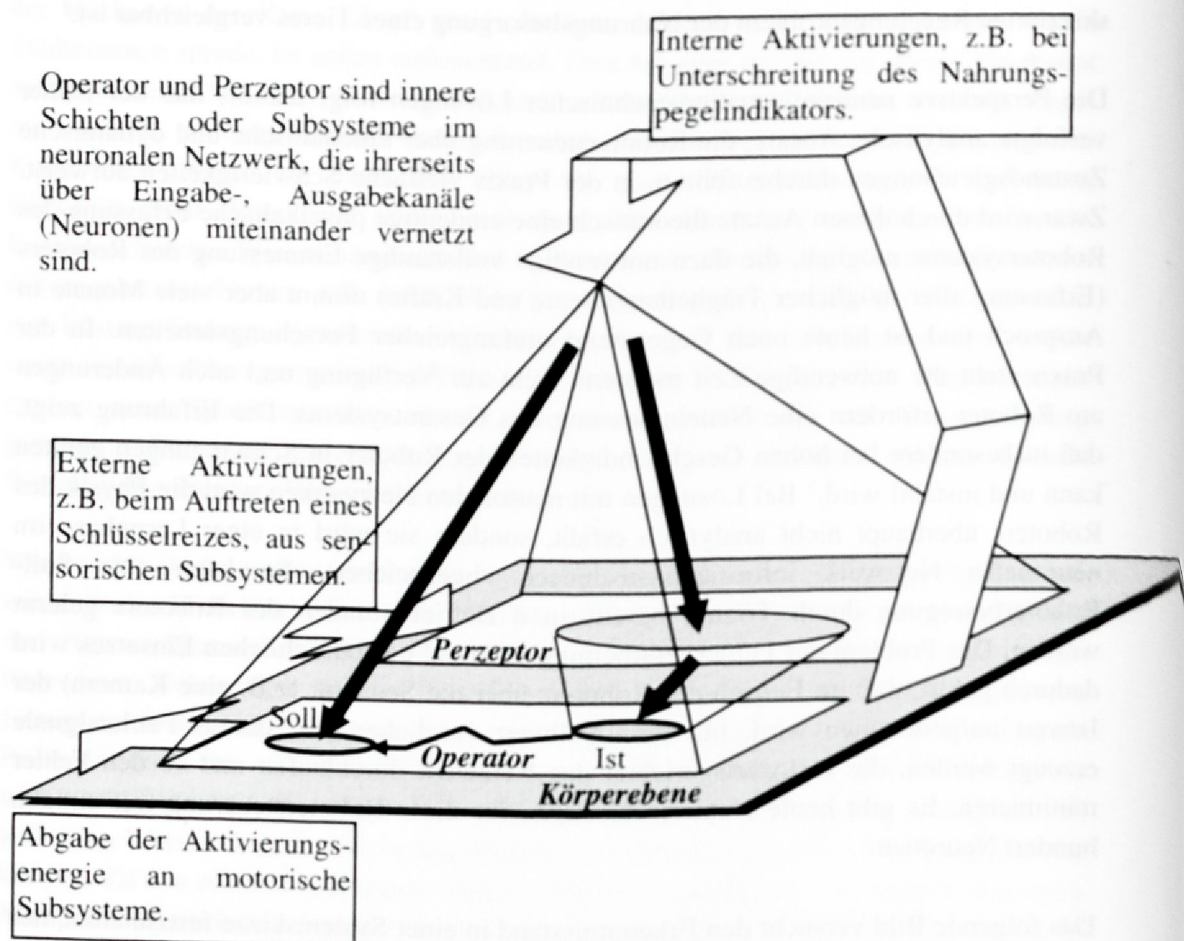


Bild 2.7 Informationsflußmodell eines konnektionistischen Verhaltenssystems

Problemsituationen zu lösen, d.h. Situationen, in denen die angeborenen Verfahren nicht mehr greifen.¹ Dies ist im Zusammenhang mit der Entstehung weiterer verdeckter Schichten von Neuronen zu sehen. Die kausale Rolle des Bewußtsein liegt in der internen, „gefühlsmäßigen“ Signalisierung der „Güte“ des gerade aktivierten Verhaltensmodells. Ist diese „Güte“ noch nicht ausreichend (das wir phänomenologisch in jenem „schlechten Gefühl“ erleben), dann muß nach neuen Lösungen gesucht werden. Dazu liegen inzwischen empirisch gestützte Erkenntnisse über die in neuronalen Netzen bei Lernvorgängen ablaufenden Assoziationsprozesse vor.² Aus diesen Arbeiten wird besonders die Konstruktivität unserer Erfahrung und des Denkens ableitbar.

¹ vgl. die Beiträge von Tim Shallice, Philip N. Johnson-Laird und Marcel Kinsbourne in: MARCEL, ANTHONY J.; BISIACH, EDOARDO (ED.): a.a.O.

² Eine hervorragende Lektüre bietet: BRAITENBERG, VALENTIN: *Vehikel. Experimente mit kybernetischen Wesen*. Reinbek bei Hamburg 1993; oder auch: *Gehirn und Kognition* / mit einer Einführung von Wolf Singer, Heidelberg 1990

2.2 Bewußtsein und Selbst zwischen Soll und Wirklichkeit

2.2.1 Mentale Konzepte im Kontext der Aktion

Aus den zunächst primitiven sensorischen und motorischen Systemen hat sich im Verlaufe der Evolution das Gehirn als ein *repräsentierendes System* entwickelt, in dem zunächst angeborene, später auch gelernte Informationen der Umwelt und des Organismus generiert werden können. Dadurch wird die Fähigkeit ausgebaut, ein inneres Modell zu bilden, über das die sensorischen und motorischen Regelungsmechanismen abgewickelt werden. Durch größere Gehirnmassezunahme wird schließlich die Voraussetzung für das sich entwickelnde adaptive Lernverhalten geschaffen. So ist heute der im Rahmen der konnektionistischen Theorie aus informationstheoretischer Sicht definierte Begriff der *Repräsentation*¹ geeignet, ein Erklärungsmodell für kognitive Prozesse zu liefern. Repräsentationale Prozesse bei biologischen Systemen sind *mentale Repräsentationen*:

Mentale Repräsentation ist ein Vorgang, durch den manche Biosysteme innere Beschreibungen von Teilbereichen der Wirklichkeit erzeugen. Sie erzeugen diese Beschreibungen als mentale Zustände, also in Form möglicher *Bewußtseinsinhalte*.²

Diese Aussage hat zwei Aspekte: mentale Repräsentation ist eine innere Beschreibung von Teilbereichen der Wirklichkeit und sie ist möglicher Bewußtseinsinhalt. Betrachten wir zunächst den ersten Aspekt. Die Teilbereiche der Wirklichkeit zerfallen in zwei Elemente: das sind die äußere Wirklichkeit (die Umwelt) und die innere Wirklichkeit (der Organismus selbst). Wie läßt sich jetzt die Abwicklung einer im letzten Abschnitt schon beschriebenen Aktion in Begriffen der konnektionistischen Theorie darstellen? Dazu der einfachste Fall: der Organismus ist in Ruhe, es gibt keine anregenden Signale sowohl von außen wie von innen. Das Gehirn ist ein konnektionistisches Netzwerk. In diesem Fall ist auch das Netzwerk nicht aktiviert und alle Regelgrößen liegen innerhalb der Regelgrenzen. Dann wird z.B. über äußere Signale das visuelle System und damit ein Teilbereich des Netzwerkes aktiviert. Die Aktivierung selbst verläuft bei Tieren in ziemlich fest vorgegebenen Bahnen und auch das so erregte Gesamtmuster ist eines von endlich vielen. Von außen kommende Erregungen werden durch *laterale Inhibition* negativ gewichtet, also z.B. abgeblockt. In der konnektionistischen Theorie wird laterale Inhibition genauso behandelt wie die Aktivierung, nur mit umgekehrtem Vorzeichen.³ 'Bei visuellen Reizen werden so zum Beispiel Hell-Dunkel-Kontraste überhöht, Ecken und Kanten treten schärfer hervor.'⁴ In dieser Theorie selbst nimmt man an, daß dieser Vorgang des Abblockens sensorischer Signale gerade für Tiere von

¹ vgl. METZINGER, THOMAS: *Subjekt und Selbstmodell. Die Perspektivität phänomenalen Bewußtseins vor dem Hintergrund einer naturalistischen Theorie mentaler Repräsentation*. Paderborn 1993, S.32ff

² a.a.O., S.32

³ vgl. WALTZ, DAVID L.; POLLACK, JORDAN B.: *Massively Parallel Parsing: A Strongly Interactive Model of Natural Language Interpretation*. in: Waltz, David L.: a.a.O., S.54f

⁴ ALKON, DANIEL L.: *Gedächtnisspuren in Nervensystemen und künstliche neuronale Netze*. in: *Gehirn und Kognition*, a.a.O., S.93

großer Bedeutung ist, da aus dem Chaos der Umgebungsreize nur angeborene Muster aktiviert werden können. Jeder Organismus repräsentiert seine jeweilige Lebensumwelt in spezifischer Weise. Dabei bildet ein mentales Repräsentat **X** regelungsrelevante systemexterne oder systeminterne Eigenschaften (d.h. Eigenschaften der Welt oder des Lebewesens) in Form des mentalen internen Systemzustandes **X** ab. Die Sinnesapparatur verarbeitet den Inputstrom über analoge Mechanismen. Mentale Repräsentate haben dementsprechend analogen Charakter und integrieren Inputs aus verschiedenen Sinnesquellen in einer gemeinsamen Repräsentation (Multimodalität). Aber auch operationale Aspekte und eine Aktion selbst können gemeinsam repräsentiert werden, so daß sich Repräsentate in Perzeptor, Operator und Aktor aufgrund ihrer Entstehungsbedingungen *untereinander aktivieren* können.

Wie läßt sich jetzt der Vorgang der Aktivierung des Netzwerkes beschreiben? Ein konnektionistisches Netzwerk besteht aus einem Netz miteinander verbundener Knoten. Wird jetzt eine Netzwerkerregung durchlaufen, dann werden die Aktivierungsenergien jedes einzelnen Knotens neu berechnet. Das System *relaxiert* schließlich in ein stabiles Muster aus Knoten mit dominierender Aktivierungsenergie. Damit ist aber die Ruhelage verlassen worden und es können bestimmte Regelgrenzen überschritten worden sein. Diese Erregungsmuster könnten dann im tierischen Verhalten einen *Schlüsselreiz* repräsentieren. Angenommen, im perzeptuellen Zentrum des Gehirns ist eine Aktivierung aufgelaufen. Der Prozeß der Relaxation verläuft jetzt so, daß bei immer weiter einlaufender Aktivierungsenergie die Aktivierungsniveaus der einzelnen Netzwerkknotten aufgebaut werden, bis diese Energie abgegeben werden muß. Aber wohin? In die sensorischen Systeme zurück ist unmöglich. Es bietet sich jetzt eine einfache Interpretation an: das perzeptuelle Zentrum gibt die Aktivierungsenergie an das operationale (motorische) Zentrum ab. Die Folge davon ist, daß sich im operationalen Zentrum ein Aktivierungsmuster einstellt, das ein *mentales, analoges Verhaltensmodell* ist. Dieses operationale Zentrum *relaxiert* jetzt wiederum dadurch, daß es ein ausführbares Bewegungsprogramm generiert. Diese Aktivierung wird letztlich an die motorischen Subsysteme abgegeben und in physikalische Bewegungsmuster umgesetzt. Damit ist der Kreis von einer sensorischen Erregung bis zu einer motorischen Reaktion geschlossen. Letztlich wurde die durch die sensorisch-perzeptuellen Systeme aufgebaute Aktivierungsenergie über die motorisch-operationalen Systeme wieder abgebaut und damit ein Explikationsvorschlag für die innere Beschreibung von Teilbereichen der Wirklichkeit und die damit verbundenen Regelprozesse gegeben. Mentale Repräsentation ist demnach zunächst ein perzeptueller Prozeß und stellt wahrnehmbare Reize dar; in operationalen Systemen werden dann in Entsprechung dazu Verhaltensmodelle oder Operationen aktiviert.

Was passiert aber, wenn z.B. durch die Anregung einer internen Aktivierungsquelle mentale Repräsentate verändert werden? Durch diesen Prozeß der *mental Simulation* werden Repräsentate von ihrem momentanen Zustand mental entkoppelt, d.h. simulierbar. Durch einen Aktivierungsmechanismus, der Inputs der inneren und äußeren Sinne verwendet, kann eine Veränderung der Beschreibung eines Teils des physischen Systems geleistet werden (z.B. eine Veränderung der Repräsentation der Armlage, ohne daß die physische Armlage sich tatsächlich geändert hätte). Solche Simulationen

können durch teleologische top-down Informationen mental gerichtet verlaufen. Innerhalb einer mentalen Aktion, einer repräsentationalen Gesamtsituation können Simulationen stabile Zustände mit verhaltensauslösendem Charakter erzeugen. Wenn beim Menschen von „Einbildungskraft“ die Rede ist, dann bedeutet dies, daß durch mentale Simulation kognitive Strukturen wie beispielsweise motorische Aktionssequenzen mental mobil gemacht und als Zielstrukturen oder „Erwartungsphantasmen“ erscheinen.¹ Bei Piaget ist die mentale Repräsentation der „figurative Aspekt des Denkens“, der als „Wahrnehmung“ oder „Nachahmung“ charakterisiert werden kann. Diesem übergeordnet ist der aktive („operative“) Aspekt, der die mentale Simulation einschließt.² Während die Aufgabe der mentalen Simulation die Lösungssuche ist, kennzeichnen *mentale Präsentate* die momentane, organische Lebenslage des Organismus.

Mentale Präsentate haben *Signalcharakter*, d.h. sie signalisieren für ein System die aktuelle Präsenz eines Präsentandums. Mentale Präsentation ist also eine rudimentäre Form von mentaler Repräsentation.³

Im regelungstechnischen Modell sind mentale Präsentate fest vorgegebene Regelgrößen mit den dazugehörigen Regelgrenzen und Sollwerten, über die der Organismus nicht selbst verfügen kann. Deshalb ist die mentale Präsentation evolutionsbiologisch vor der Repräsentation entstanden. Die einst durch die Mechanismen der lateralen Inhibition fest vorgegebenen neuronalen Aktivierungsmuster sind inzwischen zu flexiblen Denkmodellen geworden, zu *mentalen Modellen*. Mentale Modelle sind multimodale, aus verschiedenen Sinnesquellen integrierte, analoge Datenstrukturen, die wahrscheinlich mit Bewegungen in hochdimensionalen Vektorräumen oder Aktivierungsvektoren in den Schichten neuronaler Netze erklärt werden können. Sie können ineinander eingebettet werden und dadurch zum Aufbau immer umfangreicherer, hierarchisch organisierter Realitätsmodelle beitragen, die bis zu einem Weltmodell führen. Durch ihre Simulationsfähigkeit (mentale Simulation) sind sie in gewissem Maße input-unabhängig, können aber durch ihre Signalfunktion Sachzusammenhänge auch direkt auf der mentalen Bühne präsentieren (mentale Präsentation). Letztlich besitzen sie die Eigenschaft potentieller Meta-Repräsentierbarkeit und sind dadurch Kandidaten für Inhalte von Bewußtsein. Mentale Modelle repräsentieren Objekte und bilden Teile der relationalen Struktur ihrer Originale über gewisse höherstufige Isomorphismen ab.⁴ Sie sind insbesondere funktional aktiv und können selbst eine Aktionsstruktur für den Organismus repräsentieren oder eine symbolische Wahrnehmungsstruktur der inneren und äußeren Sinne. Die Funktionalität kann über das regelungstechnische Modell erklärt werden und ihre Entstehung bzw. Einbettung ineinander über die Mechanismen des Lernens (z.B.

¹ vgl. GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.252

² vgl. z.B. PIAGET, JEAN: *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie. 4 Vorlesungen*. Frankfurt am Main ⁴1988, S.21f

³ METZINGER, THOMAS: a.a.O., S.60

⁴ a.a.O., S.100

spontane Symbolbildung).¹ Wenn es stimmt, daß 'mentale Modelle Aktivierungsvektoren' in den inneren Schichten konnektionistischer Systeme nach dem Vorbild neuronaler Netze² sind, dann öffnet sich dem Organismus eine „mentale Bühne“, auf der Aktionen entkoppelt von den momentanen neuronalen Aktivierungen generiert, simuliert und ausprobiert werden können. Wird die dem Organismussystem S zugeordnete Art als Supersystem $S_{Art}[S]$ gesehen, in dessen Gefüge der Organismus und seine Aktionen eingebettet sind, dann kann die *mentale Aktion* folgendermaßen definiert werden:

DEFINITION (1)

MENTALE AKTION: $M_{Akt} =_{Def} \{S, X_{Reg}, X_{Op}, X_{Perz}\}$

Die mentale Zustandsbeschreibung X_{Reg} wird durch X_{Perz} und X_{Op} für S und $S_{Art}[S]$ geregelt (vgl. Bild 2.11 a) & b): Informationsverarbeitung beim Menschen)

S ist ein repräsentierendes System, das der Population $S_{Art}[S]$ angehört.

X_{Reg} ist eine mentale Repräsentation einer zu regelnden Zustandsbeschreibung von S [beim Menschen äußert sich dies in Bedürfnissen, Wünschen, Interessen].

X_{Op} ist eine mentale Repräsentation einer Operation zur Regelung der Zustandsbeschreibung X_{Reg} von S .

X_{Perz} ist eine mentale Repräsentation des aktivierten perzeptuellen Modells der Realität (zu der auch S und $S_{Art}[S]$ zählt) zur Angleichung von X_{Op} an die Realität.

2.2.2 Die naturale Erfahrungsebene: Einsicht und Lösungsgenerierung

Unsere Vorfahren stoßen vor ca. drei Millionen Jahren durch die Adaptation an das Savannenleben (etwa durch spontane Symbolbildung) auf phosphorreiche Nahrungsquellen, die eine fünffache Ausweitung des für Handlungsplanung und -repräsentation zuständigen präfrontalen Kortex bewirkt. Das Bewußtsein entwickelt sich durch eine 'Entkoppelung der Handlung von den Antrieben'. Eintreffende Signale lösen nicht mehr direkt ein Verhalten aus, sondern erzeugen neue, „höhere“ Repräsentationen. Somit werden die möglichen „Umwege“ zur Regelung der Interessen des Organismus immer größer und es öffnet sich hier die Tür zu jenen Prozessen, die den Menschen als „geistiges“ Wesen kennzeichnen. Betrachten wir die Situation genauer. Bewußte Systeme sind lernende Systeme, die die Bewußtseinsfunktion zusammen mit einem mentalen Modell der Umgebung und von sich selbst deshalb entwickeln, weil damit die für den Lernprozeß charakteristischen kognitiven Problemsituationen erfolgreich bewältigt werden. Dies wird durch zwei Argumente gezeigt:

¹ Darüber hinaus können wir in dieser senso-motorischen Intelligenz die Anfänge der beiden wesentlichen Merkmale der Operationen erkennen, nämlich eine Form der Erhaltung und eine Form der Reversibilität. Die für die senso-motorische Intelligenz charakteristische Form der Erhaltung manifestiert sich im Begriff der Konstanz eines Objektes. [...] Gleicherweise können wir im Verständnis räumlicher Positionen und Positionsveränderungen - d.h. im Verständnis der Bewegung im Raum [...] die Anfänge der Reversibilität erkennen. [„Erhaltung“ ist die Schaffung einer Symbolklasse; „Reversibilität“ ist im wesentlichen Simulationsfähigkeit]. aus: PIAGET, JEAN: *Einführung in die... a.a.O., S.52f*

² METZINGER, THOMAS: a.a.O., S.98

- 1.: Lernende Systeme erschaffen durch ihre Aktionen ein mentales Modell von der Umgebung, das *zusammen mit einem mentalen Modell des Selbsts* aktiviert werden kann. Damit gewinnen sie gleichsam eine Landkarte der sie umgebenden Realität, die durch ein *in dieser Umgebungslandkarte* aktivierbares Selbstmodell zu *Einsicht und Orientierung* verhilft.
- 2.: Kognitive Problemlösungsprozesse werden über Bewußtseinsprozesse gesteuert, bei denen die Problemlösung durch einen kognitiven Ausgleichsprozeß zwischen Ist und Soll erreicht wird. Vom Ist zum Soll führen gelernte Aktionsstrukturen, die zusammen mit den perzeptuell wahrgenommenen Randbedingungen die Aktion *generieren*. Eine „Lösung“ wird dem repräsentierenden System über das energetische Niveau im neuronalen Netzwerk identifizierbar und hat *verhaltensauslösenden Charakter*. Dieses energetische Niveau während der Lösungsfindung ist identisch mit unserem *phänomenalen Bewußtseinserlebnis*.

Zu 1.: Angenommen, ein lernender Organismus lernt durch Neugier-verhalten seine Umgebung kennen. Er lernt den Ort der Wasserstelle, den Ort für Nahrung und den Ort für die Nachtruhe. Am Beispiel der Wasserspitzmaus zeigt Lorenz, daß sie ihre Umgebung durch ein Netz verschlungener Wege repräsentiert.² Jeder Weg entspricht einer perzeptuell-operationalen Einheit, die im Bedarfsfall aktiviert werden kann. So ist in diesem Netzwerk nicht repräsentiert, ob zwei auf verschiedenen, gelernten Wegen sich befindende Punkte nahe beieinander oder weit auseinander liegen. Hat sie ihr Wegenetzwerk einmal durch ungeleitetes, schnüffelndes Herumkriechen gelernt, ist sie weder dazu in der Lage, Abkürzungen in ihrem eigenen Netzwerk zu identifizieren, noch kann sie neu auftauchenden Hindernissen ausweichen. Diese Maus hat jetzt insofern Einsicht in die sie umgebende Umwelt, als daß sie beim Auftreten eines entsprechenden Reizes (z.B. der Nahrungspegelindikator unterschreitet die Regelgrenze) das entsprechende Verhaltensmodell aktiviert, das sie über die auswendig gelernten Wege zur Versorgungsstelle bringt. - Immerhin wird die Maus aber nicht mehr durch direkte Sinnesreize geleitet, wie noch im Beispiel auf S.46f, sondern sie wickelt die Wegstrecke über abgespeicherte Landmarken ab. Kognitiv kann man sich dieses Szenario folgendermaßen vorstellen: Beim Lernen werden bestimmte, bedürfnisdeckende Aktionen der Maus (wie z.B. Fressen) mit bestimmten Landmarken assoziativ verknüpft. Wird dann der entsprechende Regelmechanismus mental aktiviert, wie z.B. das Verhaltensmodell „Futtersuche“, dann wird in einem mentalen Zwischenschritt zunächst die jetzige Position und die Zielposition im gelernten Wegenetzwerk aktiviert. Jetzt stellen wir uns die Aktivierung tatsächlich in einem neuronalen Netzwerk vor; Ist- und Soll- Position sind z.B. Netzwerkknoten (durch visuell gelernte Landmarken assoziierbar) und die Knotenverbindungen sind gelernte, sensomotorisch abwickelbare Wegstrecken. Diese beiden Aktivierungsquellen werden

¹ EIBL-EIBESFELDT, IRENÄUS: *Die Biologie des menschlichen Verhaltens*. Grundriß der Humanethologie. München - Zürich ²1986, S.115ff

² vgl. LORENZ, KONRAD (HRSG.: EIBL-EIBESFELDT, IRENÄUS): *Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie*, in: ders.: *Das Wirkungsgefüge der Natur und das Schicksal des Menschen*. München ⁶1990, S.100ff

dann in einem Ausgleichsprozeß diejenigen Wegstrecken im neuronalen Netzwerk generieren, die die kürzeste Verbindung in diesem gelernten Netzwerk zwischen diesen beiden Quellen repräsentieren.

Damit wurde ein ausführbares Verhaltensmodell generiert, das Schritt für Schritt dadurch abgewickelt wird, indem die Aktivierungsenergie an die sensomotorischen Zentren erfolgreich abgegeben werden kann. Als wesentliches Merkmal in Ergänzung zum Beispiel von S.46f kommt in diesem Verhaltensmodell hinzu, daß die Abwicklung des Weges über Daten gesteuert wird, die aus dem Gedächtnis kommen. Die Maus orientiert sich an den gelernten Landmarken, die sie in der Umgebung identifiziert. Das Ergebnis ist ein hierarchisch organisiertes Verhaltensmodell, bei dem die Abwicklung der sensomotorischen Wegstrecke durch die Aktivierung einer Ist- und einer Soll-Position über den Ausgleichsprozeß der Aktivierung von zwischen diesen Knoten liegenden Knotenverbindungen erfolgt. Lorenz bezeichnet dieses Auswendiglernen von Wegen als Vorstufe der menschlichen Anschauungsform des Raumes.

Der Aufbau dieses mentalen Wegstreckennetzwerkes und die Möglichkeit der Aktivierung der jetzigen Position in diesem Netzwerk ist mit der Aktivierung eines (rudimentären) mentalen Selbstmodells mit einem gelernten Realitätsmodell vergleichbar. Jetzt handelt es sich hier um lernende Systeme und dieses Beispiel soll generell mögliche Lernprozesse im Umgang mit der Natur charakterisieren, die immer eine ähnlich Stuktur haben: jedesmal ist die dreidimensional repräsentierte Realität $X_{\text{Perz-Real}}$ Gegenstand eines Simulationsprozesses; Lernvorgänge wie die zur Bildung neuer Kategorien oder Begriffe sind hier eingeschlossen; z.B. die Entdeckung neuer eßbarer Früchte. Jetzt kann auch der eigene Körper über die äußeren perzeptuellen Sinne mental in $X_{\text{Perz-Real}}$ repräsentiert werden. Von einem *mental* Realitätsmodell X_{Real} möchte ich jedoch nur dann sprechen, wenn darin Repräsentationen des eigenen Selbsts $X_{\text{Perz-Selbst}}$ nicht enthalten sind.

DEFINITION (2)
REALITÄTSMODELL: $X_{\text{Real}} =_{\text{Def}} \{X_{\text{Perz-Real}} \setminus X_{\text{Perz-Selbst}}\}$

$X_{\text{Perz-Real}}$ ist ein perzeptuelles Realitätsmodell (ein repräsentationales „Bild“ der Umwelt);

$X_{\text{Perz-Selbst}}$ ist ein perzeptuelles Selbstmodell (ein repräsentationales „Bild“ des Systems S).

Der Organismus lernt eine Menge von Operationen und Perceptionen, die sich alle auf Gegenstände der ihn umgebenden realen Natur beziehen. Dies möchte ich als die *naturale Erfahrungsebene* bezeichnen, über die wir ein inneres, mentales Realitätsmodell X_{Real} aufbauen. Der Organismus lernt dadurch, sich den jeweiligen äußeren Gegebenheiten entsprechend „optimal“ zu verhalten. Genausogut kann er lernen, das Verhalten anderer Lebewesen zu „durchschauen“, indem er ein inneres Modell von deren Verhaltensschemata aufbaut. Dies führt zum nächsten Abschnitt.

2.2.3 Die soziotechnische Erfahrungsebene: die Erfindung der Arbeit

zu 2.: Die von der in 1. beschriebenen Maus gekonnt zurückgelegten Wegstrecken werden automatisch und unbewußt bewältigt, auf der Basis angeborener Koordinationen. Auf der Basis welcher Mechanismen kann jetzt der Organismus dieses noch rudimentäre Realitätsmodell vervollkommen, bis er schließlich zu einer Repräsentation des dreidimensionalen Raumes kommt? Der Schlüssel zur Beantwortung dieser Frage scheint das *Neugierverhalten* zu sein. Neugierverhalten ist durchweg im Tierreich schon vorhanden (z.B. bei Raben, Wanderratten) und zeichnet die Kosmopoliten aus. Das besondere daran ist, daß auch schon bei den einfacheren Lebensformen *alle verfügbaren (angeborenen) Verhaltensmodelle* auf ein Objekt angewendet werden können. Die Motivation zu diesem Verhalten liegt dabei nicht in der Abwicklung eines angeborenen Schemas, 'sondern stammt aus einer anderen Quelle, der die merkwürdige Eigenschaft zukommt, viele, ja vielleicht sogar alle arteigenen Erbkoordinationen des Tieres aktivieren zu können.'² Das ist der evolutionsbiologische Ursprung der mentalen Simulation. Lorenz vermutet darin den Ursprung spielerischen Verhaltens, die Geburt von *HOMO LUDENS*³. Durch mentale Simulation können völlig neue Bewegungsformen zusammengestellt und damit *neue kognitive Strukturen generiert* werden.

Die momentane physische Lage des Organismus ist im Körperschema repräsentiert. Dieses mentale Repräsentat kann jetzt durch Simulation verändert werden, ohne daß dabei die Motorik aktiviert würde. Angenommen, ein Affe entdeckt eine Banane an der Zimmerdecke, die an einer Schnur befestigt ist. Sie ist für den Affen nicht erreichbar, es gibt noch keine zu diesem Problem gelernte Lösung. In der Ecke des Zimmers befindet sich jedoch eine Kiste, die als Leiter dienen könnte. Nach einiger Zeit des Hinschauens fällt ihm schließlich die Lösung ein: er schiebt mit Begeisterung die Kiste unter die Banane und holt sich diese dann.⁴ Welche Prozesse sind hier auf mentaler Ebene abgelaufen? Der Affe hat offensichtlich ein perzeptuell-operationales Modell seiner Figur aktiviert (wahrscheinlich auf der Basis eines Selbstbildes $X_{\text{Perz-Selbst}}$ und des operationalen, motorischen Körperschemas X_{Op}). Dieses mentale Selbstmodell wird dann im Präfrontalbereich mit einem Realitätsmodell $X_{\text{Perz-Real}}$ aktiviert und damit werden Bewegungssimulationen durchgeführt. Das heißt, dieses mentale Selbstmodell wird durch interne Transformationsprozesse so bewegt, wie der Affe auch tatsächlich Bewegungen ausführen könnte. Die aktivierte Zielvorstellung (die Regelgrößen X_{Reg}) könnte dabei ein Bild sein, in dem der Affe die Banane erlangt. Die momentan repräsentierte Gesamtsituation wird so lange simulativ verändert, bis „Ist“ und „Soll“ in Deckung liegen. Betrachten wir jetzt wieder - analog zu Punkt 1. - den repräsentierten Sollzustand: der Affe ergreift im mentalen Modell die Banane. Dem gegenüber steht der

¹ OATLEY, KEITH: a.a.O., S.375

² LORENZ, KONRAD: Die Rückseite... a.a.O., S.186

³ HUIZINGA, JOHAN: Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel. Hamburg 1991

⁴ vgl. EIBL-EIBESFELDT, IRENÄUS; LORENZ, KONRAD: Die stammesgeschichtlichen Grundlagen menschlichen Verhaltens, in: ders.: Das Wirkungsgefüge... a.a.O., S.234

momentane geometrische Istzustand. Zwischen den aktivierten Soll- und Istzuständen beginnt nun ein kognitiver Ausgleichsprozess. Die aus der perzeptuellen Erregung X_{Perz} und der internen Erregung X_{Reg} erzeugte Aktivierungsenergie führt derart zu Bewegungssimulationen zwischen Soll und Ist, so daß alle nur möglichen, d.h. gelernten Bewegungselemente aktiviert werden können. Dazu gehören auch Bewegungselemente, die eine Veränderung der Lage des Affen selbst und durch den Affen bewegbare geometrische Gegenstände im Raum bewirken. Schließlich stellt sich dann im repräsentierenden System ein energetisches Minimum ein, wenn eine Bewegungsfolge durch Simulation gefunden werden konnte, bei der der Affe die Banane erreichen kann. Das Medium für derartige Simulationsprozesse scheint der präfrontale Cortex zu sein:

Meines Erachtens stimmen die neuronalen Verschaltungen und Verbindungen im präfrontalen Cortex die inneren Modelle von der Außenwelt auf neue Anforderungen und Situationen ab - aktualisieren also das individuelle Konzept der Realität. Zu dieser Aufgabe gehört, das Kurzzeitgedächtnis und das momentane Verhalten zu lenken.¹

Dieses Areal ist das *Arbeitsgedächtnis* des Organismus und ihm kommt eine Vermittlerrolle zwischen Gedächtnis und Aktion, zwischen perzeptuellen und operationalen Repräsentationen zu. Das Ergebnis des mentalen Simulationsprozesses ist also eine kognitiv stabile Struktur, in der die Energie aus der mentalen Aktivierung von Ist und Soll in das repräsentierende System eingebracht wird und dann über eine hierarchisch organisierte, aus gelernten Bewegungselementen zusammengesetzte Gesamtbewegung abgegeben werden kann. Die Abwicklung dieser Gesamtsituation erfolgt über mentale Modelle: gegenüber dem punktförmigen Modell der Maus wird hier ein ausgedehntes Modell des Affen erzeugt, das mit einem dreidimensionalen Realitätsmodell aktiviert wird. Über die Fähigkeit des Neugierverhaltens wird es möglich, die Struktur des uns umgebenden dreidimensionalen Raumes dadurch mental zu repräsentieren, daß Bewegungen zunächst ungerichtet aktiviert und simuliert werden; so werden nach einiger Zeit zwangsweise alle drei Dimensionen des Raumes strukturmäßig erfaßt. Dieser zunächst primitive Vorgang führt auch zur Entstehung der ersten technischen Produkte und erschließt uns die Perspektive einer neuen, handlungstheoretisch-anthropologischen Deutung des technischen Handelns. Unser Vorfahre hat in seiner Gruppe gelernt, Tierkörper mit solchen Steinen zu öffnen, die zumindest eine scharfe Ecke aufweisen. Im Problemfalle „Hunger“ werden verendete Tierkörper gesucht, geöffnet und verwertet. Dies ist eine hierarchisch organisierte Aktion. Jetzt tritt ein weiteres Problem auf: es sind keine geeigneten Steine verfügbar. Als Problemlösung wird eine Aktion antizipiert, aus einem geeigneten Stein ein solches Werkzeug herzustellen. Dazu wird im repräsentierenden System mit denselben hierarchischen Organisationsstrukturen eine Aktion zusammengestellt. Die minimale organisatorische Einheit sind dann nicht wahllos hintereinander gesetzte Bearbeitungsschläge, sondern zueinander in Beziehung stehende Abschlüge. Hier ist dann die minimale Anzahl zwei Schläge. Tatsächlich ist es dem Anthropologen Thomas Wynn gelungen, Faustkeile zu finden, die auf der Basis dieser handlungstheoretischen Grundstruktur hergestellt wurden:

¹ GOLDMAN-RAKIC, PATRICIA S.: Das Arbeitsgedächtnis, in: Spektrum der Wissenschaft, November 11/92, S.102

In effect, the artifact is the result of two pairs of trimming blows. The order of the blows within each pair is irrelevant, as is the order of the pairs to one another.¹

Mit dieser handlungstheoretischen Grundeinheit, dem *In-Beziehung-setzen* von zuvor unverbundenen Handlungsstrukturen sind zwei Dinge entstanden: Erstens wurde damit aus fertigungstechnischer Sicht die Klasse des abstrakten (d.h. auf alle möglichen Gegenstände bzw. mentalen Modelle anwendbaren) *Arbeitsschrittes* erfunden. Zweitens wurde damit aus anthropologischer Sicht das Konzept der Abstraktion generiert. Im konnektionistischen System ist Abstraktion als Methode zur Klassenbildung, oder - noch allgemeiner - als Methode des Lernens realisiert.² So wurde die fundamentale Klasse *topologischer Körperstrukturen* begründet.

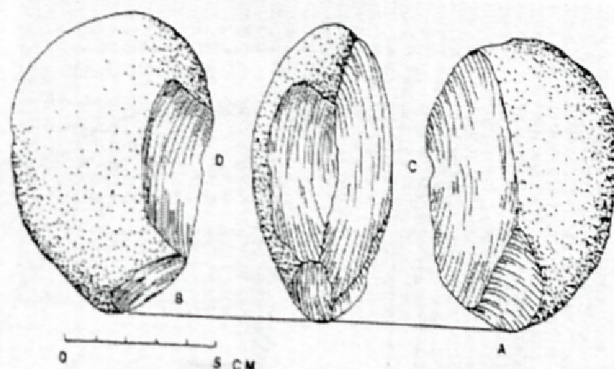


Bild 2.8 a) Faustkeil, ca. 1,7 Mio. Jahre: je 2 paarweise gesetzte Schläge³

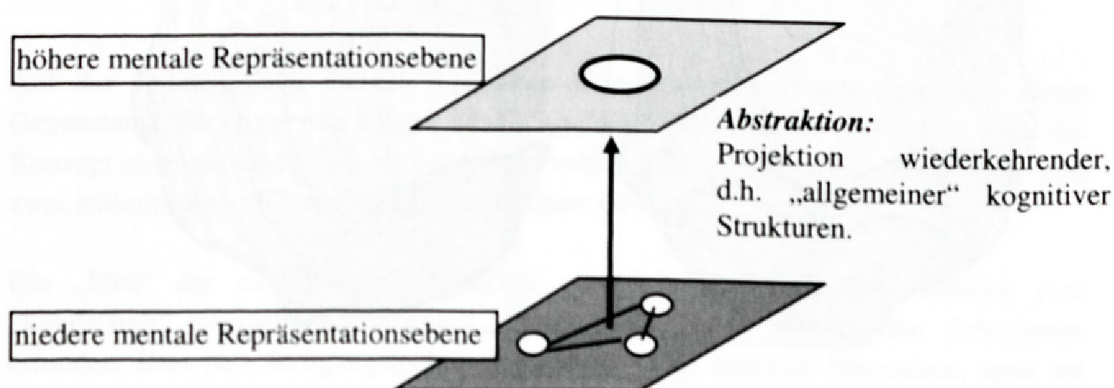


Bild 2.8 b) Das Konzept der Abstraktion als Grundlage des technischen Handelns

¹ WYNN, THOMAS: *The Evolution of Spatial Competence*. Illinois Studies in Anthropology, Urbana and Chicago 1989, S.12

² vgl. dazu Kapitel 2.3 dieser Studie

³ aus: WYNN, THOMAS: a.a.O., S.13

Tatsächlich werden auf der Basis solcher Aktionen auch Tiere und Pflanzen verarbeitet. Während zunächst nur eine Ecke relativ grob bearbeitet wird, sind später Feinbearbeitungsmethoden zur Erzeugung einer geraden Kante aus einzelnen Abschlügen hinzugekommen. Damit wird intellektuell wieder ein gewaltiger Sprung gemacht. Zunächst verfügt das repräsentierende System zur Bearbeitung z.B. von Tierkörpern über Aktionen, die erfolgreich Steine mit einer spitzen Ecke einsetzen konnten. Dies sind in zweier-Paaren organisierte Schläge. Dann aber werden diese zweier-Paare nochmals höher organisiert, so daß die entstehenden spitzen Ecken auch in einer gewollten Relation zueinander stehen: nämlich in einer Linie. *Dadurch wird durch Höherorganisation der Aktion die Linie als geometrische Figur synthetisiert.* Und warum? Weil die Linie als einer geraden Verbindung zwischen zwei Punkten im kognitiven Kontinuum diejenige Repräsentationsfigur mit einem energetischen Minimum darstellt.

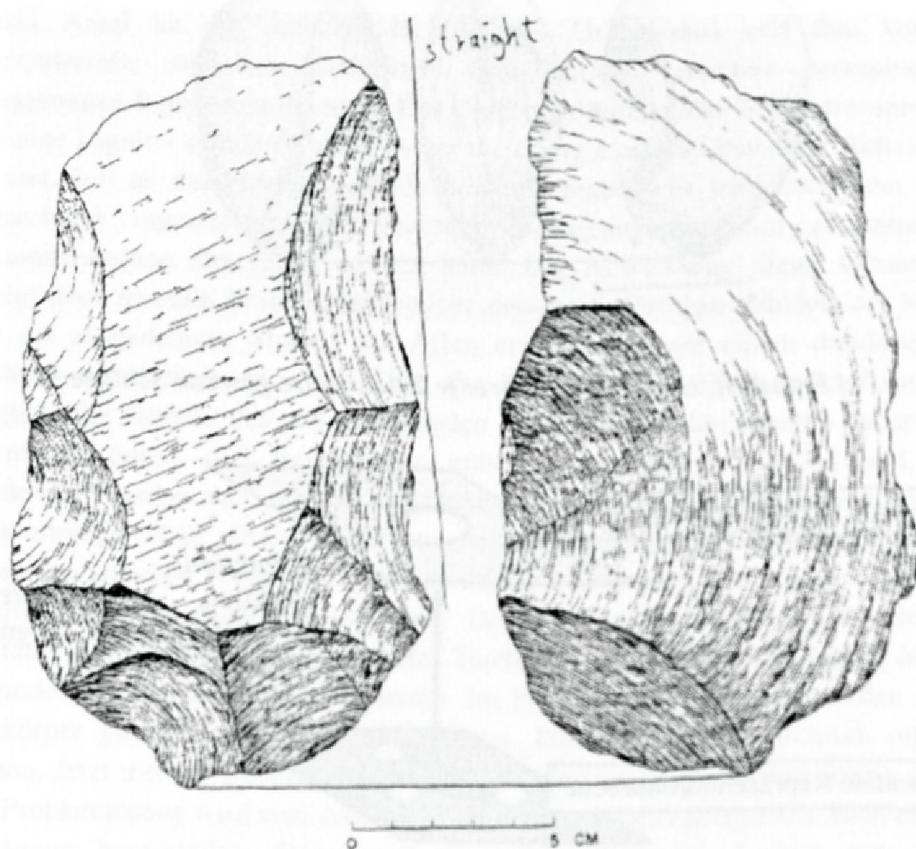


Bild 2.9 a) Faustkeil, ca. 1,2 Mio. Jahre: Gesamtbearbeitung und geometrische Linie¹

¹ aus: WYNN, THOMAS: a.a.O., S. 28

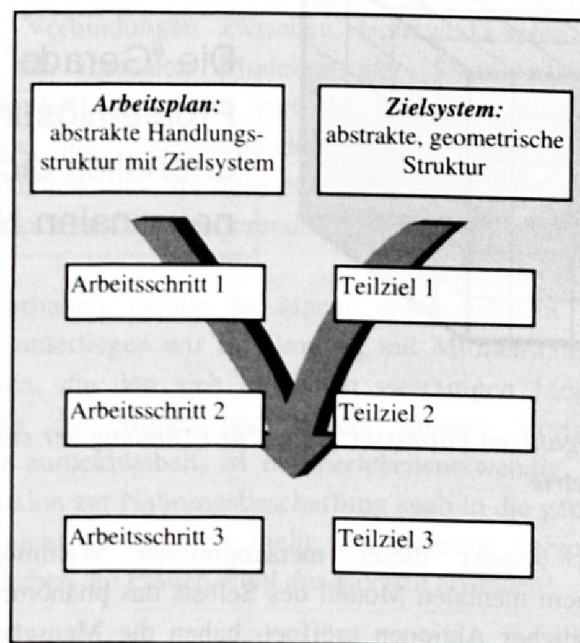
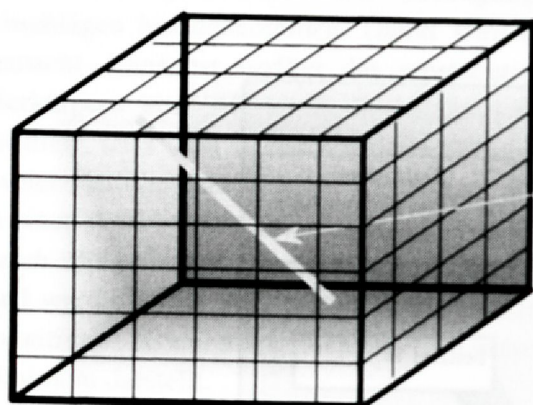


Bild 2.9 b) Der Arbeitsplan: Voraussetzung der modernen Technik

Auf der anderen Seite werden die etwas komplizierteren Bewegungen mit einem Gegenstand, der eine Art Klinge besitzt, gelernt. Erst dadurch stabilisiert sich das Konzept einer geraden Linie als kognitive Problemlösung. Vorstellung und Aktion sind zwei anthropologisch nur miteinander denkbare Größen.

Die „Idee“ der euklidischen Geometrie entspricht im neuronalen Substrat eine „Landschaft“ energetischer Minima. Damit hatte *Homo habilis* den *Arbeitsplan* erfunden. Dies ist - fertigungstechnisch gesehen - eine absolute Innovation, denn auf dieser operativ-organisatorischen Basis wird heute noch alles auf der Welt produziert: auch die hochintegrierten Schaltkreise der Mikroelektronik sind nur möglich, weil dieses Konzept wirklich penibel und konsequent durchgeführt wird!



Die "Gerade" als Problemlösung im unendlich dichten neuronalen Netz.

Bild 2.10 Die kognitiven Voraussetzungen zur Erfindung der euklidischen Geometrie

Den phänomenalen Aspekt dieser metakognitiven Wahlmöglichkeit, in der Simulationen mit einem mentalen Modell des Selbsts das phänomenale Erlebnis eines Spektrums jetzt möglicher Aktionen eröffnet, haben die Menschen durch das Wort *Freiheit* bezeichnet.¹ Diese Freiheit, das heißt die mögliche Bildung einer sehr großen Anzahl von Handlungen, ist besonders für die sozialen Umgänge wirksam geworden. Aus kognitiver Sicht steigt wahrscheinlich ganz einfach die Anzahl möglicher „Lösungen“ für das repräsentierende System in einem an Umfang gewinnenden sozialen System überproportional an.

Die Evolutionsbiologie versucht zu erklären, wie sich qualitativ Neues und für den Menschen Einmaliges aus tierischen Vorformen entwickeln konnte. Bereits etwa vor 3½ Millionen Jahren gingen unsere Vorfahren aufrecht und vor 2 Millionen Jahren wurde gemeinsam gejagt. Doris Bischof-Köhler arbeitet diese soziale Dimension des Erkennens und Handelns aus. Ziel ist es, *der Gruppe* die meisten Vorteile zu bringen; und das Mittel dazu ist, ein 'Netz von gegenseitigen Verpflichtungen zu spinnen, das in Notzeiten das Überleben sicherstellt.'² Auch heute noch kann man an Buschleuten der Kalahari das Funktionieren dieser Methode nachweisen. Die Buschleute leben ohne Lagerbestände und halten damit das Verpflichtungsnetz ständig in Aktion.

¹ Metacognitive abilities similarly depend on access to such *models* of the system's capabilities, predilections, and preferences. You can reason about how you reason because you have access to a model of your reasoning performance. [...] Thus, once again, you have the ability to make recursive embeddings of mental models within mental models. (I have argued elsewhere that this same ability underlies the phenomena of free will [...]).' aus: **JOHNSON-LAIRD, PHILIP N.: A computational analysis of consciousness**, in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O., S.365

² **BISCHOF-KÖHLER, DORIS: Jenseits des Rubikon**. Die Entstehung spezifisch menschlicher Erkenntnisformen und ihre Auswirkung auf das Sozialverhalten, in: Fischer, Ernst Peter (Hrsg.): *Mannheimer Forum 90/91*, München 1991, S.190

Diese Methodik findet sogar in der weltweit populär gewordenen „schlanken Produktion“, der „lean production“ eine ungeahnte Renaissance.¹ Ein solches Verpflichtungsnetz entsteht beim Abwickeln gemeinsamer Handlungen. Dazu ist Blickkontakt sehr förderlich. „Verpflichtungen“ könnten im neuronalen Netz als Gewichtungen der Verbindungen zwischen Netzwerkknoten realisiert sein, die ihrerseits wieder mit mentalen Modellen der Sozialpartner verbunden sind. Wahrscheinlich erfordert die Arbeit mit der Gruppe einfach geringere mentale Aktivierungsenergien als entsprechende Einzelaktionen, da durch Lernen Spezialisierungen möglich sind. Spezialisierungen werden mit dem Gang vom Wald in die Steppe durch ein sich ausdifferenzierendes Nahrungsbedürfnis unumgänglich.

Während Neugierverhalten gerade in einem emotionsfreien Raum gedeiht und Sachlichkeit liefert, unterliegen wir im Umgang mit Mitmenschen wesentlich stärker emotionalen Affekten, die den sich bietenden vielfältigen Möglichkeiten regulativ entgegenwirken. Für die Mütter und Kinder unserer Vorfahren, die in dem gemeinsamen Lager zurückbleiben, ist es überlebensnotwendig, daß die Väter nach einer längeren Exkursion zur Nahrungsbeschaffung auch in die gemeinsame Behausung zurückkehren und nicht an Ort und Stelle die Nahrung verspeisen. Andersherum betrachtet: Deshalb haben die Frauen wohl das Kochen erfunden!

Das forciert wiederum engere persönliche Beziehungen, die im Falle der persönlichen Bindung bis zur Liebe führt und setzt sich bis ins altruistisch organisierte Gruppenverhalten fort. Diejenigen, die am effektivsten die Familie versorgen, hatten dann auch die meisten Nachkommen. Andererseits ist unser Verhalten gegenüber Menschen, die wir nicht persönlich kennen (die also nicht der „Gruppe“ angehören), vorsichtig. Sie sind ja wahrscheinlich im Auftrag der eigenen Gruppe unterwegs. Erst mit *Einsicht* in die jeweiligen Gruppenverhaltensschemata kann sich freundliche Gesinnung einstellen. Zum Erkennen der Artgenossen ist im Verlaufe der menschlichen Evolution sogar ein eigenes Gehirnareal gebildet worden:

Das Hirngebiet, das der raschen und zuverlässigen Wiedererkennung von Personen dient, ist für eine so spezielle Aufgabe verhältnismäßig groß. Man muß aber bedenken, daß diese Fähigkeit für den in sozialen Verbänden lebenden Menschen unentbehrlich ist und daher möglicherweise ein starker Selektionsdruck zugunsten ihrer ständigen Verbesserung bestand.²

¹ vgl. WOMAK, JAMES P.; JONES, DANIEL T.; ROOS, DANIEL: *Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology*. Frankfurt ³1992

² GESCHWIND, NORMAN: *Die Großhirnrinde*, in: *Gehirn und Nervensystem*. Heidelberg ⁹1988, S.116

Dadurch werden Artgenossen als *völlig andersartig* von der restlichen Natur wahrgenommen, und es entsteht das eigenartige Gefühl, das mit dem Erkennen eines Artgenossen schlagartig unser Denken und Handeln begleitet. Auf diese einfache, aber wirkungsvolle Identifikationsfunktion aufbauend kann dann ein Verhaltensrepertoire entwickelt werden, das den Überlebenserfolg der gesamten Gruppe erhöht: der *einsichtig* und damit *intelligent* handelnde Vertreter unserer Vorfahren kann sich gegenüber dem rein körperlich stärkeren durchsetzen.

Diese leistungsfähigen sozialen Strukturen schaffen die Voraussetzung für die Herausbildung von wirkungsvollen Techniken und umgekehrt: *die Aktivierung von technischen Aktionen mit sozialen Zielen ist die Erfindung der Arbeit*. Die oben angesprochene innere Umgebungslandkarte ist hier eine *soziale Gruppenlandkarte*, in der der Organismus je nach Bedürfnislage nach möglichen Problemlösungen sucht. Jetzt können zum Erreichen eines Ziels innerhalb einer Gruppe natürlich auch *natürliche* Aktionen beitragen (z.B. Bau einer Unterkunft). Damit zeichnet sich schließlich eine Erklärung dafür ab, warum die Zunahme des im präfrontalen Cortex angesiedelten Arbeitsgedächtnisses und damit der Intelligenz ein Produkt *natürlicher (technischer) und sozialer Aktionen* ist:

Wir vermuten deshalb, daß der Hippocampus hauptsächlich die Aufgabe hat, neue Assoziationen zu festigen, während der präfrontale Cortex dazu nötig ist, das Resultat des assoziativ Gelernten - also Fakten, Ereignisse oder Regeln - aus den anderswo im Gehirn vorhandenen Speichern hervorzuholen, sofern diese Information gerade für eine Handlungsplanung gebraucht wird.¹

Der wesentliche Vorteil des präfrontalen Cortex scheint also gerade darin zu liegen, *sowohl natürliche als auch soziale Aktionen* repräsentieren und damit planen zu können. Dadurch erhält der Organismus den unschätzbaren Vorteil, ein flexibles Werkzeug zur überlebensdienlichen Handlungsplanung und -simulation zu bekommen. Denn oftmals ist gerade bei neuen Lösungen das „Ausprobieren im Geiste“ bedeutend effektiver und überlebensdienlicher, weil dann Unzulänglichkeiten und Gefahren vorab schon erkannt werden können.

*

- Was aber weiß der Organismus über sich selbst? Wie kann er Einfluß auf das eigene Handeln nehmen, es zielgerichtet beeinflussen?

¹ GOLDMAN-RAKIC, PATRICIA S.: a.a.O., S. 99

2.2.4 Die existentielle Erfahrungsebene: das Selbst und der Geist

Was geschieht, wenn der Perzeptor, der normalerweise nur Umweltdaten abbildet, jetzt die Hand des eigenen Körpers repräsentiert? Diese Hand kann durch Daten aus dem Perzeptor und dem Operator zum Gegenstand von Repräsentations- und Simulationsprozessen werden. So kann ein Faustschlag mit einem Stein in der Hand und das Bild des Resultates, der plötzlich geöffnete und wegen seiner Nahrung begehrte Tierkörper, gemeinsam repräsentiert werden. Daraus aber kann durch die Bildung einer neuen, übergeordneten Kategorie ein neues mentales Modell gebildet werden, das ein *Selbstmodell* in dem Sinne ist, daß darin sowohl ein mentales Modell des äußeren, wahrnehmbaren Körpers (und dem eigenen Gesicht) als auch ein mentales Modell der inneren, motorischen Fähigkeiten repräsentiert ist.¹ Simulationen mit diesem neuen Modell des Selbst bekommen dadurch strukturell völlig neue Erlebniseigenschaften, weil damit die eigene visuelle Erscheinung des Selbst zusammen mit den motorischen Bewegungsmöglichkeiten dieses Selbst in einem einheitlichen mentalen Modell, das wiederum mental simulationsfähig ist, repräsentiert wird. Philosophen haben daraus geschlossen, daß es ein *perzeptuell-operationales Selbstmodell* gibt, das aus naturalen („physical“) und sozialen Aktionsstrukturen besteht.

The model of self is not an abstract representation of certain properties of the cognitive system, but a model made up from our experience with the physical and social world. According to this idea, self is a relatively concrete distillation and internalization of our perceptions of physical effects of our actions and of the social impressions of us that people have verbally and non-verbally conveyed back to us.²

Wird ein Realitätsmodell (Weltmodell) gemeinsam mit einem *Selbstmodell* aktiviert, entsteht *Subjektivität*. Werden dann zusammen mit diesem Selbstmodell andere mentale Modelle aktiviert (wie z.B. eine technische Handlung), entstehen *subjektive Erlebnisse* (die phänomenale Gefühlssphäre). Mit der „objektiven“ Entdeckung des eigenen Selbst werden *der eigenen Handlungsmöglichkeiten des Selbst simulierbar*, mit denen das repräsentierende System nach Lösungen für zu regelnde Zustände sucht. Dies möchte ich die *existentielle Erfahrungsebene* nennen.

DEFINITION (3)

SELBSTMODELL: $X_{\text{Selbst}} =_{\text{Def}} (X_{\text{Perz-Selbst}}, X_{\text{Op}})$

$X_{\text{Perz-Selbst}}$ ist ein perzeptuelles Selbstmodell (aus äußeren und inneren Daten von S);

X_{Op} ist ein operationales Selbstmodell (die „Motorik“ des Systems S).

Die Leistung der Gefühle setzt ein, wenn durch *existentielles Lernen* zur Regelung einer Angelegenheit eine Variationsbreite von Verhaltensprogrammen zur Disposition steht.

¹ 'Aber Subjekte sind eben gerade nicht jenseits der Rede- und Handlungszusammenhänge, in denen sie stehen, in die sie eintreten und die sie verlassen, bereits 'fertig'; vielmehr werden sie im dialogischen Zusammenhang erst nach und nach gebildet. [...] Das Selbst ist ein Prozeß fortgesetzter Entwicklung von Ich-Du-Dyaden.' aus: LORENZ, KUNO: *Einführung in die philosophische Anthropologie*. Darmstadt 1990, S.110

² OATLEY, KIETH: a.a.O., S.378f

Jetzt wird nicht mehr gezielt ein Programm aktiviert, sondern es wird durch mentale Aktivität eine Aktion aus dem vorhandenen Inventar distribuiert Wissenskontexte zusammengestellt. Ein dispositives Gefühl signalisiert die *Möglichkeit*, diese Aktion auch auszuführen, es schafft *Weltoffenheit*:

Der Verlauf des tierischen Verhaltens hat stets die Form:

$$T \rightleftharpoons U$$

Ganz anders ein Wesen, das «Geist» hat. Ein solches ist - wenn und soweit es sich seines Geistes sozusagen auch bedient - eines Verhaltens fähig, das eine genau *entgegengesetzte* Verlaufsform besitzt. [...] Die Form eines solchen Verhaltens ist die der «*Weltoffenheit*», der prinzipiellen Abschüttelung des Umweltbannes:

$$M \rightleftharpoons W \rightarrow \rightarrow \dots$$

Dieses Verhalten ist, wo es einmal konstitutionell vorhanden ist, seiner Natur nach unbegrenzt erweiterungsfähig - so weit eben, als die «Welt» vorhandener Sachen reicht.¹

„Sieht“ der Mensch sich (als mentales Modell) auf einer inneren Bühne inmitten der Umwelt, dann „betrachtet“ er dies schon wieder von einer höheren Warte aus. Im Bewußtseinsprozeß werden spontan distribuierte Wissenskontexte in einen neuen Gesamtrepräsentationszusammenhang eingebettet und, bei Erfolg, mittels gedächtnisaktiver Funktionen gelernt. In dieser intellektuellen Leistung liegt die Geburt des Selbsts. Diese höhere Warte ist kausal in den zu regelnden Zustandsbeschreibungen X_{Reg} verwirklicht (Scheler nennt es „Drang“ und Schopenhauer „Wille“). Die *Seele* entsteht, wenn die mit dem Selbst repräsentierbaren Handlungen die soziale Gebundenheit und Endlichkeit des Lebens erfassen. Erst dann haben unsere Vorfahren die Kinder als *ihre* Kinder erkannt und die Kinder *ihre* Eltern, die irgendwann starben. Unser uns so geläufiges Selbstbewußtsein, das aus Simulationsläufen mit einem existentiell aufgebauten Selbstmodell entsteht, ist ein relativ spätes Erzeugnis unserer Geschichte, das wahrscheinlich ohne die sprachlich komprimierte, räumlich-zeitlich weit vorausschauende Repräsentation von Handlungen gar nicht möglich ist. Existentiell entworfene Verhaltensmodifikationen entstehen erstmals aus diesem Bewußtsein heraus und nicht mehr durch tradierte, sprachlich ritualisierte und im lautlichen Ton den Kopf beherrschende Verhaltensgesetze. Der menschliche Geist, der sich auf dieser Grundlage aufbaut und abspielt, ist kein Gegenstand oder Ding, *sondern ein Prozeß, die Grundlage unserer „Person“*.

Nach dem agrikulturellen Umbruch steckt das Selbst im Zeitalter der modernen Technik in einer weiteren massiven Transformation. Heute geht es darum, die aufgrund unserer mechanistisch-rationalistischen Denktradition einsetzende „Verflachung“ und Gefährdung unseres Selbsts (d.h. das Vorherrschen von reversiblen, dinghaften, konsumorientierten Denkmodellen gegenüber irreversiblen, prozeßhaften Modellen) aufzuheben. Hierbei wäre ein neues, „visionäres“ Menschenbild sehr hilfreich!

¹ SCHELER, MAX: *Die Stellung des Menschen im Kosmos*. Bern ¹⁰1983, S.40

2.2.5 Aktionsüberwachung: die Funktion des Bewußtseins

Es fehlt noch der zweite Aspekt der Aussage von S.61: mentale Repräsentation ist auch möglicher Bewußtseinsinhalt. Im Bewußtseinserlebnis spiegelt sich der Abbau direkter, angeborener Verhaltensverursachung von „unten“ nach „oben“ (Zusammenstellung und Auswahl des Verhaltensmodells) und wieder nach „unten“ (tatsächlich ausgeführtes Verhalten) über die Fähigkeit der mentalen Simulation und der reziproken mentalen Modellbildung dergestalt wider, daß diese Funktionen durch den evolutionsbiologischen Aufbau von weiteren Repräsentationsebenen möglich werden. Damit können Aktionen bis zu nahezu beliebiger Höhe und auch zu enormer zeitlicher Dauer mental repräsentiert werden. Mittels dieser zusätzlichen Repräsentationsebenen wird es möglich, durch reziproke Kopplung neuronale Strukturen von operationalen Aktivitäten in Wechselwirkung zu setzen mit gerade aktivierten Wahrnehmungsstrukturen. Bewußte Erlebnisse entstehen, wenn in solchen zusätzlichen Repräsentationsebenen gegenwärtiges Verhalten ins Verhältnis gesetzt wird zu früherem Verhalten und wenn dadurch das momentane Verhalten *simulationsfähig* wird.

Durch reziproke Kopplung gelingt es, verschiedene neuronale Repräsentationsebenen mit verschiedenen Inputs durch neuronale Verbindungsstränge zueinander zu korrelieren, so daß sich übergeordnete Strukturen herausbilden können. Im konnektionistischen System ist dies durch eine Erhöhung der Gewichtungsfaktoren zwischen neuronalen Knoten modellierbar, die gleichzeitig aktiviert werden und miteinander verbunden sind. In biologischen Neurosystemen werden neue Verbindungen zwischen Neuronen durch Wachstumsprozesse der Axone realisiert. Die reziproke Kopplung wird also durch sich mehrmalig wiederholenden und verstärkenden Signalaustausch erzeugt, wobei dadurch übergeordnete kognitive Strukturen generiert werden. Durch diese globalisierende mentale Abstraktion wird es möglich, auf einer höheren Repräsentationsebene momentanes Verhalten zusammen mit früherem Verhalten zu aktivieren und durch diese Simulation die Voraussetzungen für assoziatives Lernen zu schaffen. Dennoch ist die Freiheit nicht grenzenlos, denn jeder kennt selbst den nur geringen Einfluß bewußter Wünsche auf längerfristig wirkende Motive, die ganz entscheidend das Handeln prägen.² Wenn dann die momentane Lebenslage des Organismus im neuronalen Substrat als *Repräsentat* abgebildet ist und zudem eine mögliche Aktion als *Simulat* abgebildet wird, dann müssen diese beiden Repräsentationen in ein Verhältnis gesetzt werden können:

Das heißt: Es muß durch Generierung eines geeigneten inneren Systemzustands ein höherstufiges *Meta-Repräsentat* erzeugt werden, das den „Wahrscheinlichkeitsabstand“ zwischen *Simulat* und *Repräsentat* (zum Beispiel als Winkel zwischen zwei Aktivierungsvektoren) nochmals mental abbildet. Dies könnte die Funktion von *Bewußtsein* sein.³

¹ vgl. EDELMANN, GERALD M.: *Göttliche Luft, vernichtendes Feuer. Wie der Geist im Gehirn entsteht*. München Zürich 1995, S.177

² 'Ich kann tun, was ich will, ich kann, *wenn ich will*, alles was ich habe, den Armen geben und dadurch selbst einer werden - wenn ich *will*, aber ich vermag nicht, es zu *wollen*, weil die entgegenstehenden Motive viel zu viel Gewalt über mich haben, als daß ich es könnte.' aus: SCHOPENHAUER, ARTHUR: *Preisschrift über die Freiheit des Willens*. (1839) in: Frischeisen-Köhler, M. (Hrsg.): Schopenhauers Werke. Berlin, S.212

³ METZINGER, THOMAS: a.a.O., S.57

Repräsentate und Simulate werden von der konnektionistischen Theorie als Aktivierungsvektoren oder Subsymbole verstanden. Wenn sich im Simulat z.B. Handlungsziele abbilden, dann liefert die Bewußtseinsfunktion einen Wahrscheinlichkeitswert oder einen Wert der Differenz zweier verschiedener Aktivierungszustände, der besagt, ob dieses Ziel auch erreicht wird. Es äußert sich etwa in dem „guten Gefühl“ bei einer antizipierten Handlung, die kein großes Problem darstellt. Werden jetzt viele Lösungen produziert, dann werden diese auch von unterschiedlichen Gefühlen begleitet. Das Bewußtseinserlebnis ist also das Erlebnis *eines mentalen Ausgleichsprozesses*, der über die verschiedenen Repräsentationsebenen eine Vielzahl von Lösungen produzieren kann und so den großen Unterschied zu angeborenen Verhaltensschemata mit Schlüsselreiz-Charakteristik dokumentiert. - Wenn diese Überlegungen tatsächlich den Bewußtseinsprozeß charakterisieren, dann ist die Bewußtseinsfähigkeit evolutionsbiologisch ein später Effekt im Dienste des Überlebens und den „höheren“ Gehirnprozessen, deren Ursache in der Grundaktivität einer internen Aktivierungsquelle liegen und die für die Konstitution der langfristig wirkenden Interessen zuständig sind, die auch durch bewußte Einflußnahme nur schwer zu ändern sind.¹ Wenn Darwin recht hat, dann ist der Zweck dieser höheren Gehirnprozesse im Überleben der Art zu suchen.

Ray Jackendoff von der Brandeis-Universität in Waltham bei Boston (Massachusetts) ist - wie die meisten Kognitionsforscher - davon überzeugt, daß die Berechnungen des Gehirns größtenteils unbewußt geschehen und nur deren Ergebnis bewußt wird. Während jedoch üblicherweise dieses Gewährwerden nur auf der höchsten Ebene des hierarchisch organisierten Rechenprozesses angesiedelt wird, vermutet Jackendoff es in einer Zwischenschicht.²

Bewußtsein scheint sich demnach wirklich in einer *Zwischenwelt*³ oder Zwischenschicht abzuspielen. Jackendoff veranschaulicht dies am Beispiel der visuellen Wahrnehmung. Bewußt nehmen wir die sogenannte betrachterspezifische Repräsentation wahr, die die sichtbaren Flächen, Konturen, Farben etc. eines Gegenstandes bestimmt. Eine Schicht höher verarbeitet das Gehirn diese Skizze zu einer dreidimensionalen Repräsentation. Jackendoff behauptet, diese sei uns nicht visuell bewußt.⁴ Damit ist folgendes gemeint: wenn wir z.B. einen Menschen von hinten betrachten, ist uns diese noch uninterpretierte Erscheinung durchaus bewußt. Dennoch schlußfolgern wir bereits, wer dies sein könnte. Der Anstoß zu diesem Prozeß und die Informationen dazu kommen aber automatisch, ohne unser bewußtes Zutun aus höheren, top-down gerichteten Relaxationsprozessen in mehrschichtigen neuronalen Netzwerken. Wir können uns dann diese Person zwar bewußt vorstellen, aber genau dieser Prozeß, dessen

¹ vgl. Abschnitt 2.3.1 *γ) 'Aktor: Das „Licht des Bewußtseins“ im informationsverarbeitenden System'*

² CRICK, FRANCIS; KOCH, CHRISTOF: *Das Problem des Bewußtseins*, in: Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992, S.146

³ Zwischen die elementaren Bedürfnisse und ihre äußeren, nach unvorhersehbaren und zufälligen Bedingungen wechselnden Erfüllungen ist eingeschaltet das ganze System der Weltorientierung und Handlung, also die Zwischenwelt der bewußten Praxis und Sacherfahrung, die über Hand, Auge, Tastsinn und Sprache läuft. [...] Der „Handlungskreis“, d.h. die Zusammenarbeit der Handlung, der Wahrnehmung, des Denkens usw. an einem zu verändernden Sachverhalt kann, da entlastet, weitgehend auf sich selbst gestellt werden und seine Motive und Ziele aus sich selbst entwickeln.' aus: GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.53f

⁴ CRICK, FRANCIS; KOCH, CHRISTOF: ibd.

Resultat diese Vorstellung ist, entzieht sich unserem Bewußtsein. Jetzt ist dieses Argument, daß es gewissermaßen unbewußte Strategien der Informationsvervollständigung des Gehirns gibt, zwar einsichtig, aber kann dies nicht über die schon besprochene Assoziationsfunktion erklärt werden? Offenbar nicht befriedigend, denn ein und dieselbe Erscheinung kann uns heute anders vorkommen als morgen. Mustererkennung auf der Basis assoziativer Funktionen ist in diesem Sinne kein aktiver, sondern ein passiver Vorgang. Das wesentliche ist aber, daß über interne Aktivierungsmechanismen eine neuronale Gesamtsituation aufgebaut wird, die die assoziativen Funktionen bedeutend stärker in vorgegebene, top-down gerichtete und damit interessentragende Wege lenkt. Und diese Wege sind gekennzeichnet durch unsere subjektiven Interessen, Wünsche, Motive und auch Erfahrungen. Genau diese Mechanismen erzeugen zielgerichtete, teleologische Aufmerksamkeit, die der Wahrnehmung eine *konstruktive, gesamtheitliche* Aufgabe zukommen lassen.

Eine *praktische Deutung* dieser Umstände bietet jetzt an, die unbewußten Informationsvervollständigungsstrategien des Gehirns vom teleologischen Aktionszusammenhang her kommend zu erklären. Demnach sind diese höheren Gehirnprozesse diejenigen informationstechnischen Korrelate, die eine *generative Informationsvervollständigung* der eingehenden internen Informationen dahingehend bewirken, daß dadurch Gesamtrepräsentationen erzeugt werden, die unseren Interessen, Wünschen etc. entsprechen. Diese Prozesse sind also nicht „höher“ im Sinne von „unserem Bewußtsein prinzipiell nicht zugänglich“. Dies versuchen wir ja gerade durch bewußte Reflexion herauszuarbeiten. Sie sind aber „höher“ in dem Sinne, daß ihnen eine klare *teleologische Funktion* als Erfüllungswerkzeug informationeller Soll-Strukturen zugeordnet werden kann. Es gibt also zwei konkurrierende Informationsflüsse: einmal über die äußeren Sinne kommend: dieser Prozeß ist bottom-up gerichtet und es werden im sich selbst organisierenden Wahrnehmungsprozeß immer globalere, integrierende mentale Modelle gebildet. Zum zweiten gibt es aber auch den über eine interne Aktivierungsquelle angeregten, top-down gerichteten, interessen- und bedürfnisstragenden Informationsfluß.¹ Das repräsentierende System kann dann effektiv relaxieren, wenn der top-down gerichtete Aktivierungszustand sich derart mit dem bottom-up gerichteten ergänzt, daß das Gesamtsystem optimal relaxieren kann. So relaxiert das System bei „Hunger“ (top-down) und beim Identifizieren einer Nahrungsquelle (bottom-up) durch das Verhaltensmodell „Essen“, das einfach aus der Superposition der beiden Informationsflüsse besteht. Demnach kann „Bewußtheit“ auch nicht einfach von „oben“ nach „unten“ in irgend einem transzendenten Sinne *gestiftet* werden, sondern es muß sich eine Erklärung im informationstheoretischen Ansatz anbieten:

Vielmehr würde diese [„Bewußtheit“, Anm. GL] umgekehrt einfach dadurch *entstehen*, daß ein komplexes, nicht-lineares System sich bei jedem gegebenen Input wieder in seinen energieärmsten Zustand zu relaxieren versucht.²

¹ 'Auf einer gewissen Stufe von Komplikationen des Lebensablaufs - sofern es nämlich *bewegte* Wesen gibt - entsteht das Bewußtsein, zuerst als Wahrnehmung und aus den gesamten organischen Bedingungen heraus, also sich selbst wesentlich unableitbar. Seine Leistung liegt ganz offensichtlich in seiner Teleologie auf den Ablauf komplizierter und unter erschwerten Bedingungen stehender Lebensprozesse.' aus: GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.71

² METZINGER, THOMAS: a.a.O., S.81

Der über *Meta-Repräsentate* ablaufende Bewußtseinsprozeß spielt sich demnach in einer „Energielandschaft“ ab.¹ Neuronal könnten dies Aktivierungsvektoren sein, die die verschiedenen Repräsentationsstrukturen in einem fortlaufenden Prozeß auf sehr vielen Ebenen abbilden. *Er ist gekennzeichnet durch a) eine bottom-up gerichtete Informationsreduktion und -bündelung der nochmals repräsentierten Signale durch laterale Inhibition; b) eine Informationsbedeutungslenkung durch top-down gerichtete Informationsvervollständigungsprozesse.* - Insgesamt wird somit ein Mittelweg subsymbolischer Meta-Repräsentation² favorisiert. Das repräsentierende System ist ein lernendes System. Lernen aber tut man nur bezüglich vorliegender Probleme. Wenn man keine Probleme hätte, würde niemand etwas lernen:

Erst dies ist die Geburt des Gedankens: eine Enttäuschung.³

Das Bewußtsein steht im Zusammenhang mit ursächlichen Gehirnprozessen und ist ein kognitiver Ausgleichsprozeß zwischen langfristig wirkenden Interessen, Wünschen, Erfahrungen und den Problemen der momentanen Lebenslage: also *zwischen Soll und Wirklichkeit*.⁴ Es spielt sich in der Zwischenwelt ab, in der sich implizites Wissen in explizites transformiert. Das Ergebnis dieses Prozesses erfahren wir in jenem phänomenalen Daseinsgefühl, auf dessen Basis wir unsere Handlungen bestreiten. Informationstheoretisch ist dies ein integraler Wert des momentanen Aktivierungszustandes, der bei Überschreiten von Regelgrenzen uns gleichsam in die Handlung „zieht“.

Im Bewußtsein zeigt sich die Fähigkeit des repräsentierenden Systems, neue Lösungen für mit dem jetzigen Verhaltensinventar noch nicht erreichbare Ziele zu generieren. Dazu werden momentan gefundene Problemlösungen zusammen mit den bisher gelernten Erfahrungsstrukturen des Individuums *in einem mentalen Ausgleichsprozeß zu einer Gesamttaktion zusammengestellt!* Die Funktion des Bewußtseins liegt primär nicht darin, uns etwa neue Ziele klarzumachen, sondern *sie liegt darin, neue Problemlösungen sicher in die Tat umzusetzen!* In unserem regelungstechnischen Modell sind bewußte Zustände *meta-repräsentierte Zustände*. Es werden Sollzustände über Regelungen von Regelungen, also über Meta-Repräsentate geregelt.

¹ Thomas Metzinger faßt diesen informationstheoretischen Ansatz zur Deutung des Bewußtseins in folgender These zusammen: 'Die Inhalte phänomenalen Bewußtseins sind **Meta-Repräsentate**, die für ein System eine Teilmenge der gegenwärtig in ihm aktivierten mentalen Simulate und Präsentate abbilden. Das, was alle *bewußten* inneren Zuständen miteinander gemein haben, ist die Tatsache, daß sie durch eine *Metarepräsentationsfunktion* erfaßt werden.' aus: a.a.O., S.80

² vgl. a.a.O., S.81

³ GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.201

⁴ 'So ist das erkennende Bewußtsein das „Medium der Motive“, wie Schopenhauer sagte, in dem unsere geführte Existenz, unsere Tat lebt, von der wir ganz buchstäblich als Wesen abhängen, die ihr Leben führen müssen, weil sie herausgenommen sind, entlastet von dem Zwang der instinktnahen, tierischen ewigen Gegenwart angepaßter Umwelten.' aus: GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.301f

2.3 Ein anthropologisches Modell menschlicher Informationsverarbeitung

2.3.1 Das „Licht des Bewußtseins“ im anthropologischen Systemmodell

Jetzt kann ein informationelles Aufbauschema mental agierender Systeme entwickelt werden, das eine Explikation menschlicher Informationsverarbeitung sein soll. Ziel dieser Darstellung ist, einen Vorschlag mit Blick darauf zu machen, die Probleme menschlichen Handelns zu thematisieren, die den Themenkreis bewußter/unbewußter, sprachlicher/ nichtsprachlicher Aktionsstrukturen umspannen. Deshalb ist dieses Modell keineswegs vollständig, sondern offen für künftige Anforderungen.¹ Es ist eine Weiterentwicklung einer kybernetischen Deutung des Menschen auf der Basis des Begriffs der *mental*en Aktion und stellt den theoretischen Modellrahmen einer praktischen Anthropologie dar.

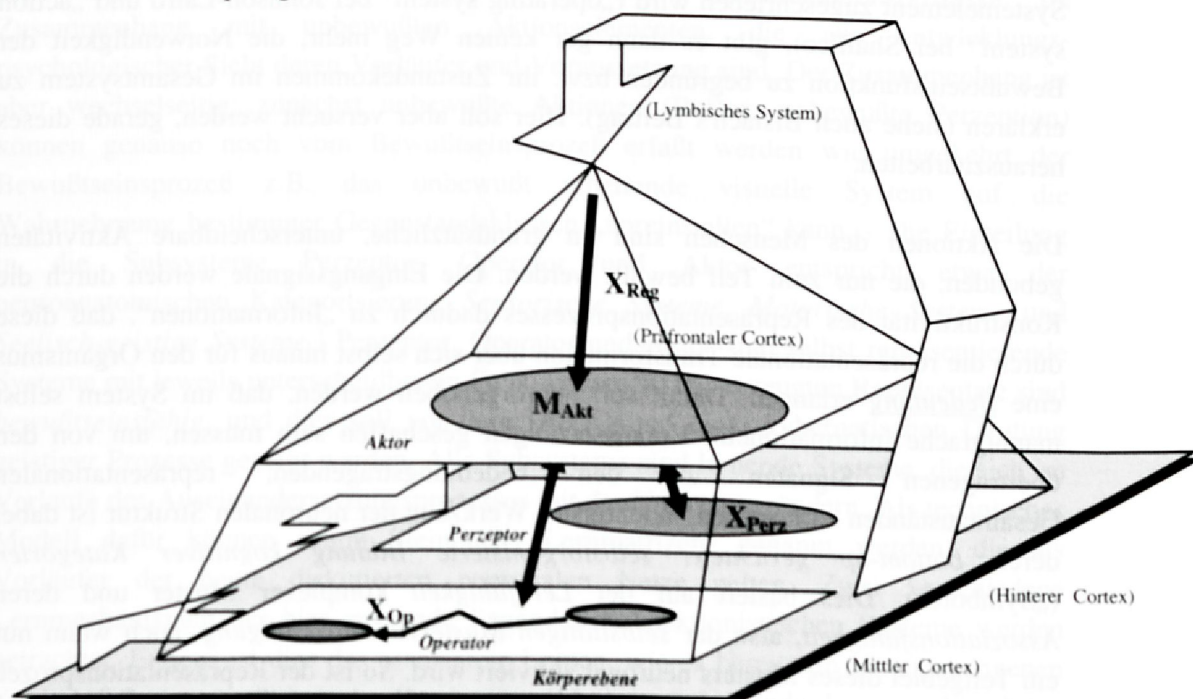


Bild 2.11 a) Informationsverarbeitung beim Menschen: Aufbau

Alle Repräsentate X sind mental, d.h. sind bewußtseinsfähig. Wenn der agierende und Bewußtsein erzeugende Organismus in der Welt überleben will, dann muß er also zunächst im mentalen Bereich der inneren Modellbildung X_{Perz} „überleben“, indem darin seine zu regelnde Zustandsbeschreibung X_{Reg} derart konstruiert ist, daß deren Regelung mit X_{Op} zum Überleben des Organismus und der Art beiträgt.

¹ Es gibt die vielfältigsten Bewußtseinsaspekte; vgl. SHALLICE, TIM: Information-processing models of consciousness: possibilities and problems, in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O., S.305-33

Im folgenden werden die Grundstruktur der Informationsverarbeitung und die *Aufbauelemente* Perzeptor, Operator und Aktor besprochen [Bild 2.11 a)]. Die verschiedenen *Abläufe* [Bild 2.11 b)] werden in Kapitel 2.3.2 besprochen.

α) Informationsverarbeitung beim Menschen: Übersicht

Zu Bild 2.11 a): Die Grundstruktur dieses Modells ist angelehnt an eine *konnektionistische Konzeption* der von Ernst Pöppel in einem Beitrag dargestellten mentalen Aktivierungsprozesse.¹ Im Unterschied etwa zu den informationstechnisch intern geschlossenen Entwürfen von Shallice und Johnson-Laird lege ich hier einen Entwurf vor, der im Gesamtrahmen dieses praktischen Ansatzes die Erwartungen, Bedürfnisse, Interessen des Organismus in Form einer internen Aktivierungsquelle berücksichtigt und dadurch das repräsentierende System zu einem *extern und intern offenen System* macht. Die oben genannten Ansätze haben trotz ihrer unbestreitbaren Erklärungskraft einen Nachteil: Indem nämlich das Bewußtsein *per definitionem* einem Systemelement zugeschrieben wird („operating system“ bei Johnson-Laird und „action system“ bei Shallice), gibt es dann gar keinen Weg mehr, die Notwendigkeit der Bewußtseinsfunktion zu begründen bzw. ihr Zustandekommen im Gesamtsystem zu erklären (siehe auch Bisiach's Beitrag). Hier soll aber versucht werden, gerade dieses herauszuarbeiten.

Die Aktionen des Menschen sind an grundsätzliche, unterscheidbare Aktivitäten gebunden, die nur zum Teil bewußt werden. Die Eingangssignale werden durch die Konstruktivität des Repräsentationsprozesses dadurch zu „Informationen“, daß diese durch die repräsentationale Transformation über sich selbst hinaus für den Organismus eine *Bedeutung* erlangen. Damit soll hervorgehoben werden, daß im System selbst mannigfache informationelle Voraussetzungen geschaffen sein müssen, um von den übertragenen Signalen zu den bedeutungstragenden, repräsentationalen Gesamtzuständen zu kommen. Wichtigstes Werkzeug der neuronalen Struktur ist dabei deren *bottom-up gerichtete, selbstorganisierte Bildung kognitiver Kategorien* („Symbole“). Dies basiert auf der *Lernfähigkeit* komplexer Muster und deren *Assoziationsfähigkeit*, also der *selbsttätigen Mustervervollständigung*, auch wenn nur ein Teilgebiet dieses Musters neuronal aktiviert wird. So ist der Repräsentationsprozeß

¹ vgl. *PÖPPEL, ERNST*: a.a.O. S.19. Ich bin hier darum bemüht, eine anthropologische Deutung auf der Basis des skizzierten Modells zu geben. Insbesondere heißt das, der von Pöppel skizzierten mentalen Aktivierung (vgl. a.a.O., S.28f) ihre Bedeutung zu geben. Denn diese Aktivierung scheint die *Interessen* des Organismus zu repräsentieren. Dadurch bekommt die hier vorgeschlagene Deutung des Bewußtseins auch eine andere Form als bei Pöppel. Während für ihn sich bewußte Zustände in „Drei-Sekunden-Portionen“ (a.a.O., S.30) aneinanderreihen, die nur durch Verknüpfung dieser Drei-Sekunden-Segmente eine subjektive Kontinuität erlangen, werde ich versuchen, bewußte Zustände im Zusammenhang mit einem übergreifenden Aktivierungsprozeß zu sehen. Denn die Aktivierung scheint zumindest zum Teil *gerichtet* zu erfolgen, und zwar so, daß durch den Aktivierungsprozeß die Interessen, die zu regelnden organischen Zustände des Organismus repräsentiert werden. Deshalb wird hier ein etwas anderer Bewußtseinsbegriff verwendet, der auf der neurologischen Basis mit Pöppels Explikation verträglich ist, der aber doch Struktur und damit Kontinuität in denjenigen Bereich legt, in dem für Pöppel Kontinuität eine Illusion zu sein scheint (vgl. a.a.O., S.30f).

dadurch gekennzeichnet, daß durch die Eingangssignale mentale Modelle aktiviert und aufgebaut werden, die ihrerseits wieder andere mentale Modelle aktivieren können, mit denen sie aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte assoziativ verbunden sind. Diese Assoziationsfähigkeit fällt selbst modernen Computern noch sehr schwer und dem Menschen aber umso leichter.¹ Denn hier liegt eine *selbstorganisierende Struktur* vor, die nicht starr vorgegeben ist, sondern die sich erst im Auseinandersetzungsprozeß mit der Umwelt formt. Konkret heißt das, daß Regelkreise und Regelmechanismen im Verlaufe der Entwicklung des individuellen Organismus erst aufgebaut werden müssen. Dieser Prozeß ist gerade beim Menschen nie abgeschlossen; darum wird lebenslanges Lernen möglich und deshalb ist ein Organismus ein *Stufenbau offener Systeme*, der sich aufgrund seiner *selbstregelnden Systembedingungen* erfolgreich erhält:

Die Struktur der Organisation ist also durch drei Merkmale gekennzeichnet: offenes System, Dynamik der Austauschprozesse und »primäre Aktivität« im Gegensatz zu einer als primitiv aufgefaßten Reaktivität.²

Alle bewußten Aktionselemente stehen durch Repräsentationsprozesse im Zusammenhang mit unbewußten Aktionselementen, die aus entwicklungspsychologischer Sicht deren Vorläufer und Voraussetzung sind. Der Zusammenhang ist aber wechselseitig: zunächst unbewußte Aktionen (Reflex, unbewußte Perzeption) können genauso noch vom Bewußtseinsprozeß erfaßt werden wie umgekehrt der Bewußtseinsprozeß z.B. das unbewußt arbeitende visuelle System auf die Wahrnehmung bestimmter Gegenstandsklassen „voreinstellen“ kann. - Die Einteilung in die Subsysteme Perzeptor, Operator und Aktor entspricht etwa der neuroanatomischen Kategorisierung *Sensorische Systeme*, *Motorische Systeme* und *Seelisch-geistige Systeme*.³ Perzeptor, Operator und Aktor sind selbst repräsentierende Systeme mit jeweils unterscheidbarem Funktionsprofil. Die erzeugten Repräsentate sind *bewußtseinsfähig*, und dies soll vor dem Hintergrund einer kybernetischen Deutung geistiger Prozesse gezeigt werden. Alle Subsysteme sind lernende Systeme, die sich im Verlaufe des Auseinandersetzungsprozesses mit der Umwelt verändern. Als technisches Modell dafür können schon Steinbuchs Lernmatrizen⁴ genannt werden, die als Vorläufer der heute diskutierten neuronalen Netze gelten. Zwei verschiedene Lernmechanismen der hier zugrunde liegenden konnektionistischen Systeme werden betrachtet. Erstens ist dies das assoziative Lernen, wie es bereits im vorangegangenen Kapitel 2.2 dargestellt wurde. Zweitens wird das entdeckende Lernen, die aktive Bildung neuer kognitiver Strukturen in diesem Kapitel betrachtet.

¹ vgl. PALM, GÜNTHER: *Assoziatives Gedächtnis und Gehirntheorie*, in: Gehirn und Kognition. Heidelberg 1991 S.164-74. [Günther Palm zeigt in diesem Beitrag, daß (bei vereinfachten Grundannahmen) das Gehirn als Gleichungssystem mit ca. 10 Milliarden Gleichungen und 10^{20} Parametern mathematisch prinzipiell beschreibbar wäre. Wegen des unvorstellbaren Umfangs dieses Gleichungssystems verweist er aber zurecht darauf, daß mit zusätzlichen heuristischen Annahmen gearbeitet werden muß. Ziel unserer anthropologischen Gesamtschau ist, ein *qualitatives Systemmodell* vorzulegen, das die eingangs referierten Probleme erklären kann und somit die Möglichkeit zu entsprechenden Schlußfolgerungen eröffnet.]

² PIAGET, JEAN: *Biologie und Erkenntnis*, a.a.O., S.157

³ vgl. MÖRIKE, KLAUS D.: *Biologie des Menschen*. Heidelberg 12/1989

⁴ vgl. STEINBUCH, KARL: a.a.O., S.151ff

β) Perzeptor und Operator

Sensorik und Perzeptor: Über die Sensorik gelangen Daten von der Umwelt in den Perzeptor und damit in den Repräsentator, der aber auch interne Daten repräsentieren kann (z.B. über das Körperschema). Repräsentate sind die zu regelnde Zustandsbeschreibungen X_{Reg} („Ziele“, „Wünsche“, „Interessen“) und das perzeptuelle Modell der Umwelt X_{Perz} . Dazu werden aber nicht alle oder beliebige Umweltdaten zur Bildung von X_{Perz} weitergeleitet, sondern die Sinnesorgane werden durch eine Art „Voreinstellung“, die durch X_{Reg} bedingt ist, auf bestimmte Reize oder Reizklassen sensibilisiert, die für den Organismus im Rahmen seines regelnden, repräsentationalen Gesamtzustandes von Bedeutung sind. Bekanntlich selektiert unsere Wahrnehmung beim dominierenden Bedürfnis „Hunger“ automatisch Gegenstände, die dem Zustand „satt sein“ entgegenkommen.¹

Operator: Die motorische Bewegungsfähigkeit des Organismus wird durch die Repräsentation von Operationen X_{Op} realisiert. Diese sind beim Menschen größtenteils durch Lernen aufgebaute, hierarchisch organisierte (d.h. ineinander schachtelbare) Repräsentationsstrukturen. Eine Operation ist im konnektionistischen System abbildbar als eine Folge statischer, gelernter Muster, die durch synaptische Verbindungen miteinander verknüpft sind und Dynamik dadurch erzeugen, daß sie nacheinander aktiviert werden.² Jetzt können diese Muster je nach Aktivierungszustand *verschieden* miteinander kombiniert werden, um neue Problemlösungen zu produzieren. Darin liegt die *dispositive Funktionalität* des Wissens. Diese dispositive oder Können-Funktionalität leitet sich aus motorischen Simulationsprozessen ab (und führt bis zur „Einbildungskraft“). Dazu ein Beispiel: Nehmen wir an, wir lernen eine neue Bewegungsfigur, z.B. Handstand. Zunächst werden cerebrale Assoziationsfelder der prämotorischen Rinde aktiviert. Dies dient offensichtlich dem ersten Handlungsentwurf in unserem Bewußtsein. Denn diese Bewegung ist ja noch nicht gekannt, stellt also ein Problem dar und wird uns bewußt. Wir führen dann die Aktion mehr oder weniger sicher durch und sehen, wie weit wir durch Assoziation schon vorhandener Bewegungsstrukturen kommen. Durch Übung können wir das jetzt neu zusammengestellte Bewegungsmodell perfektionieren. Die Übung geschieht durch selbsttätige Neuorganisation schon vorhandener Bewegungsmodelle der operational-motorischen Zentren (u.a. des Kleinhirns). Schließlich werden in den operationalen Zentren durch Anregung die neu gelernten Strukturen neuronal gefestigt und erregen ihrerseits Lernprozeduren, die dem „Auslagern“ dieser Strukturen ins Kleinhirn führen. Dann ist *unbewußtes Wissen* entstanden. Solche Strukturen können auch bei einer nur teilweisen (d.h. „symbolischen“) Anregung vollständig aktiviert werden.

¹ vgl. MISHKIN, MORTIMER; APPENZELLER, TIMOTHY: *Die Anatomie des Gedächtnisses*. in: Gehirn und Kognition. Heidelberg 1991 S.103

² vgl. SCHULTEN, KLAUS: a.a.O., S.265f

7) *Aktor: Das „Licht des Bewußtseins“ im informationsverarbeitenden System*

Aktor: Hier werden die Repräsentationen des Perzeptors und des Operators nochmals abgebildet und zu einem repräsentationalen Gesamtzustand, der mentalen Aktion M_{Akt} integriert. Die Einheit der Gesamtsituation ist dabei gegeben durch die Assembly, die in unserem zentralen assoziativen Speicher, also vermutlich in der Großhirnrinde, gerade aktiviert ist.¹ Aus neurophysiologischer Sicht entspricht der Akteur der evolutionsbiologisch jüngsten Region, dem frontalen Cortex, in dem das Zentrum zur Handlungsplanung repräsentiert zu sein scheint und in dem unsere phänomenale Gefühlssphäre entsteht. Die über den Perzeptor aufgebaute mentale Repräsentation aktiviert ihrerseits (für die problematischen, bewußten Aspekte) den Präfrontalbereich, der auch *Arbeitsgedächtnis* genannt wird. Das Arbeitsgedächtnis ist für Handlungsplanung und -kontrolle zuständig und besitzt so eine Vermittlerrolle zwischen Erinnerung (assoziatives Gedächtnis) und Handlung:

Das Arbeitsgedächtnis hilft dem Assoziationsgedächtnis bei seiner Aufgabe insofern, als es dafür sorgt, daß symbolische Inhalte rasch festgehalten oder aufgerufen werden und daß das Gehirn sie für mentale Zwecke handhaben kann. [...] Die Aktivitäten der Arbeitsgedächtnisse finden offenbar vorn in der Großhirnrinde statt, praktisch gleich hinter der Stirn. Dies ist der präfrontale Cortex, also die Hirnrinde im vorderen Bereich der Stirnlappen.²

Schließlich stellt sich ein Gesamterregungsmuster ein, in dem Ziel und Abwicklung der Aktion repräsentiert sind. In dem dann folgenden Prozeß der mentalen Relaxation gehen entsprechende Aktivierungen an die operationalen Zentren zur Durchführung der motorischen Aufgaben und an die perzeptuellen Zentren zur Überwachung der Zielstimmigkeit. Woher kommen aber unser Wünsche, Interessen, Intentionen, wer gibt die Anstöße? Alleine aus den sensorischen Systemen unserer äußeren Sinne können die Daten für unsere Wünsche nicht kommen. Valentin Braitenberg postuliert dazu eine interne neuronale Aktivität, eine 'Gedankenpumpe'³, die über eine diffuse Eingangserregung neuronale Erregungsmuster produziert, so daß schließlich „Gedanken“ aus innerer Anregung entstehen. Wenn dieses Modell stimmt, dann ist jedenfalls erklärbar, daß Gedanken, die Intentionen oder für den Organismus im weiteren Sinne problematische Zustände repräsentieren, dort entstehen. Genauso scheint dann erklärbar, daß beim „Abschalten“ dieser Pumpe das „Licht des Bewußtseins“, das *lumen naturale* erlischt und wir schlafen. Daß wir dann noch träumen, deutet darauf hin, daß sich Aktivitäten, wie die des Reptilienkomplexes unseres Gehirns, nicht ohne weiteres (jedenfalls nicht durch unser Bewußtsein) abschalten lassen.⁴

¹ PALM, GÜNTHER: a.a.O., S.172. [Eine „Assembly“ ist ein neuronales Aktivitätsmuster; vgl. auch Kapitel 5.2]

² GOLDMAN-RAKIC, PATRICIA S.: Das Arbeitsgedächtnis, in: Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992, S.94

³ vgl. BRAITENBERG, VALENTIN: a.a.O., S.138f [„Schwellenregelung und Gedankenpumpe“]

⁴ Für eine Charakterisierung kreativer und unbewußter Prozesse vgl. Kapitel 3.2.1 Kreativität

2.3.2 Handeln und Denken mit implizitem Wissen

In diesem Kapitel werden die in Bild 2.11 b) skizzierten Abläufe menschlicher Informationsverarbeitung besprochen (siehe nächste Seite). Perzeptionen oder Aktionen werden im mentalen Bereich durch *mentale Modelle*¹ repräsentiert. Mentale Modelle sind die neurophysiologisch stabilen Strukturen der in den mentalen Systemen Perzeptor, Akteur, Operator *gerade aktiven* Repräsentationen. Sie umfassen also nicht alle abgespeicherten Informationen, sondern nur die momentan angeregten Strukturen. Durch unsere Modellbetrachtung konnektionistischer Systeme wird erklärbar, daß in solchen Netzwerken sich nahezu unbegrenzt viele Informationen speichern lassen. Das liegt an den Verteilungsmechanismen dieser Netze: Eine eingehende Information wird verteilt im gesamten Netzwerk abgespeichert. Dadurch wird das System auch ausfallsicherer, weil die Information auch beim Ausfall einzelner Neuronen wieder ausgelesen werden kann. „Denken“ kennzeichnet denjenigen mentalen Bereich des Handelns, bei dem für in das System eingehende Aktivierungen noch keine Problemlösungen vorliegen: die mentale Aktivierungsenergie wird reflektiert.

α) Implizites Wissen, unbewußte Aktionsstrukturen und signalhaftes Gefühl

Auch der größte Teil menschlicher Informationsverarbeitung geschieht unbewußt.¹ Gerade gut gelernte und geschickt ausgeführte Aktionen, die innerhalb der Regelgrenzen verlaufen, werden nicht mehr bewußt; bei Handwerkern und Künstlern würde dies sogar störend wirken.² Hier gibt es demnach viele unbewußte Aktionen neben bewußten. Diese automatisch ablaufenden Aktionen charakterisieren besonders markant das *implizite Wissen*, denn es sind einst *bewußt* gelernte Aktionen. Daneben gibt es noch angeborene unbewußte Aktionen wie Reflexe, die auch dann nur bewußt werden, wenn bestimmte „Regelgrenzen“ überschritten werden.

*Es wird nur soviel erhellt, als für einen komplizierten, mehr abgestuften und „besseren“ Funktionsablauf und Funktionsaufbau im Dunkeln verwertbar ist.*³

Einmal gelernt, können automatisch funktionierende Verhaltensstrukturen auf den unteren Repräsentationsstufen abgearbeitet werden.⁴ Auf der zweiten, bewußten Repräsentationsstufe werden symbolische Repräsentationen aktiviert, die ihrerseits *auch bei nur teilweiser Anregung* untergeordnete Strukturen *vollständig* aktivieren können. Dann wird mit *implizitem Wissen* gearbeitet, das gleichwohl hochsymbolisch-abstrakt und bildhaft-nichtsprachlich organisiert sein kann: es sind personal konstituierte,

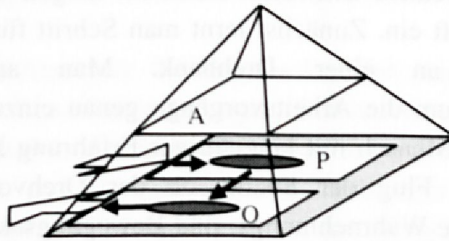
¹ 'Der größere Teil der Erregungen gelangt gar nicht bis in das Gebiet des Großhirns, sondern vermittelt in tieferen Abschnitten des Zentralorgans Reflexe und Kontrollmaßnahmen für motorische und vegetatives Geschehen.' aus: STEINBUCH, KARL: a.a.O., S.196.

² darauf macht auch Tim Shallice in seinem Beitrag aufmerksam; vgl. SHALLICE, TIM: a.a.O., S.315

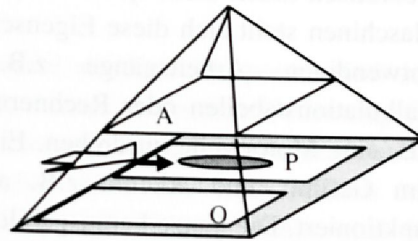
³ GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.71

⁴ 'Das Bewußtsein geschieht offenbar von der Wahrnehmung aus, im Sinne einer Steuerung und „Dosierung“ des Verhaltens bereits gegenüber entfernten Reizquellen. [...] bewußtlos automatisierte und sicher funktionierende Abläufe jeder Art werden erst dann bewußt, wenn sie nicht mehr störungsfrei vor sich gehen.' aus: GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.68

i) unbewußte Aktionen:

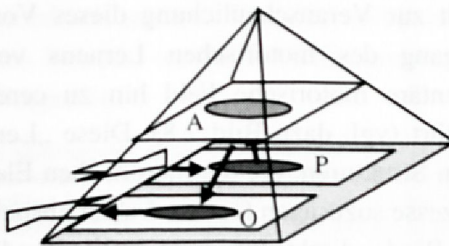


1. a) angeborener Automatismus (Reflex)
b) gelernter Automatismus

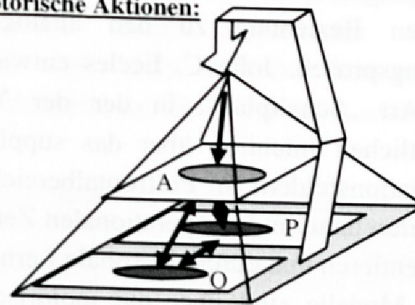


2. unbewußte Perzeption (verhaltensauslösende Regelgrenze wird nicht überschritten)

ii) bewußte, ideo-motorische und nicht-motorische Aktionen:



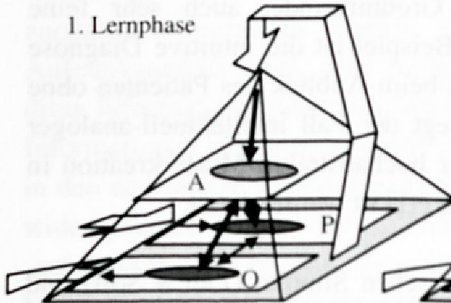
1. ideo-motorische Aktion



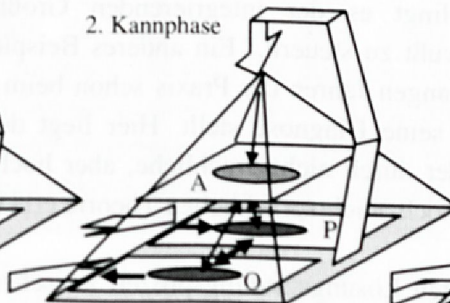
2. mentale Simulation, Reflexion

iii) Lernen:

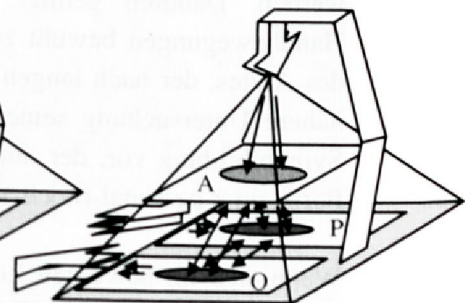
1. Lernphase



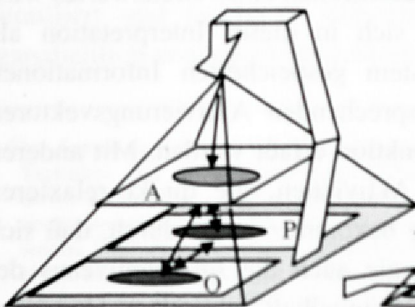
2. Kannphase



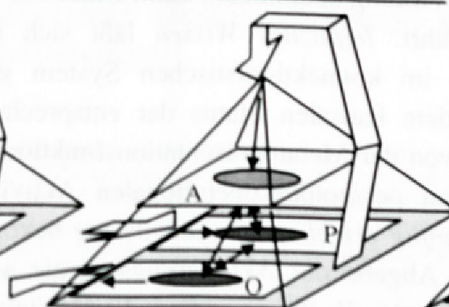
iv) multiple Aktion:



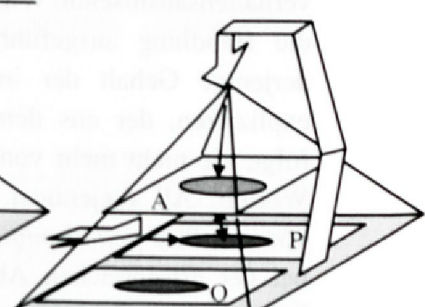
v) Teilschritte der bewußten Aktion:



1. Zielbildung / Lösungsgenerierung
(verhaltensauslösende Wirkung)



2. Aktionsdurchführung
(bewußte und unbewußte Anteile)



3. Kontrolle

Bild 2.11 *b) Informationsverarbeitung beim Menschen: Abläufe*

theoretisch-(noch-)nichtsprachliche, kreative Entwürfe. Auch im tätigen Umgang mit Maschinen stellt sich diese Eigenschaft ein. Zunächst lernt man Schritt für Schritt die notwendigen Arbeitsgänge z.B. an einer Drehbank. Man arbeitet mit Kalkulationstabellen oder Rechnern, um die Arbeitsvorgänge genau einzustellen, um z.B. eine Motorwelle zu drehen. Ein Mensch mit langjähriger Erfahrung hat das alles „im Gefühl“ und erkennt z.B. am Flug der Späne, ob der Drehvorgang auch funktioniert. Die ganze herausgebildete Wahrnehmungs- und Bewegungsaktion ist aber weitaus komplizierter, wie die begriffliche Präzisierung, mit der wir dies reflektieren können. Begriffe und begriffliche Zusammenhänge, die wir zur Beschreibung gelernter Bewegungsabläufe einsetzen, sind ihrer Natur nach *unscharf* und stehen nur in einer lockeren Beziehung zu den analogen Aktionsstrukturen im sensomotorischen Umgangsprozeß. John C. Eccles entwickelt zur Veranschaulichung dieses Vorgangs eine Art „Schaltplan“, in der der Vorgang des motorischen Lernens von der willentlichen Intention über das supplementäre motorische Feld hin zu cerebralen Assoziationsfeldern im Präfrontalbereich führt (vgl. dazu Bild 2.8). Diese „Lernorte“ aktivieren dann in den operationalen Zentren Strukturen, die die motorischen Elemente repräsentieren und durch neuronale Lernprozesse sozusagen fest verdrahtet abspeichern. Diese Modelle sind über die motorische Rinde direkt für motorische Handlungen verfügbar, und so werden komplexe Bewegungen automatisiert. Durch den Einbau von Sinnesorganen in motorische Muskeln kann die jeweilige Muskelkontraktion gemessen werden. Dadurch gelingt es der integrierenden Großhirnrinde, auch sehr feine Handbewegungen bewußt zu steuern.¹ Ein anderes Beispiel ist die intuitive Diagnose des Arztes, der nach langen Jahren der Praxis schon beim Anblick des Patienten ohne nähere Untersuchung seine Diagnose stellt. Hier liegt der Fall intellektuell-analoger Symbolbildung vor, der durch nichtsprachliche, aber hochabstrakte Musterkreation in Form einer personal-(noch-)nichtsprachlichen Theorie erklärt werden kann.

Wenn sich im bewußten Lösungsfindungsprozeß zwischen Simulat (Ziel = Soll) und Repräsentat (= Ist) ein Wahrscheinlichkeitswert oder ein Wert der Differenz dieser beider Aktivierungen einstellt, dann kann dieser Aktivierungszustand eine verhaltensauslösende Wirkung bekommen: beim Unterschreiten eines Grenzwertes wird die Handlung ausgeführt. *Implizites Wissen* läßt sich in dieser Interpretation als derjenige Gehalt der im konnektionistischen System gespeicherten Informationen explizieren, der aus dem kausalen Status der entsprechenden Aktivierungsvektoren folgt, die nicht mehr von der Metarepräsentationsfunktion erfaßt werden. Mit anderen Worten: All diejenigen perzeptuell-operationalen Aktivitäten, die direkt relaxieren können. Ihre *gefühlsmäßig erlebbare Signalwirkung* bekommen sie dadurch, daß sich bei der erfolgreichen Abgabe der Aktivierungsenergie auch die Energieniveaus der höheren, bewußten mentalen Zustände entsprechend „signalhaft“ absenken. Und zwar senken sich die Energieniveaus der höheren Ebenen deshalb ab, weil durch die unbewußte Aktivität ein Teil der Aufgabe gelöst wurde und damit vom perzeptuellen System eine entsprechend geänderte Gesamtaktivierung aufgebaut wird.

¹ vgl. EVARTS, EDWARD V.: Die Steuerung von Bewegungen durch das Gehirn. in: Gehirn und Nervensystem. Heidelberg 1988, S.152-158

β) Bewußte „passive“, ideo-motorische Aktionen

Es gibt auch Aktionen, die nicht willentlich eingeleitet werden, also passiv sind und trotzdem ins Bewußtsein gelangen. Solche Aktionen haben vermutlich Bedeutung für Ziele und Motive, die momentan nicht aktiv und unbewußt sind, die aber dennoch so wichtig sind, daß Umgebungsreize Teilaspekte dieser Ziele aktivieren können und damit eine unbewußt eingeleitete Aktion bewirken, die dann bewußt erlebt wird. Im englischsprachigen Raum wird dies als ein „ideo-motor act“ bezeichnet. Diese ideo-motorischen Aktionen liegen zwischen den unbewußten und den willentlichen, bewußten Aktionen. Diese ideo-motorischen Aktionen werden höchstwahrscheinlich durch implizite Wissensstrukturen unterstützt, indem perzeptuelle Signale höhergeordnete mentale Modelle aktivieren, die dann nicht relaxieren können.¹ Ein einfaches Beispiel ist die Lenkung unserer Wahrnehmung durch zunächst unbewußte Umgebungsreize.

A qualitatively distinct type appears to be what James (1890) called 'ideo-motor' acts, where 'movement follows unhesitatingly and immediately the notion of it in the mind'. 'Whilst talking I became conscious of a pin on the floor, or of some dust on my sleeve. Without interrupting the conversation I brush away the dust or pick up the pin'. Ideo-motor acts of this sort fit with Searle's (1983) characterization of intention-in-action.²

Solche ideo-motorischen Aktionen scheinen auch gerade im erfahrungsgeleiteten technischen Handeln eine wichtige Rolle zu spielen. Es ist beispielsweise jenes zunächst unbestimmte Gefühl des „da stimmt doch etwas nicht!“, das unsere Aufmerksamkeit lenkt, aber zunächst bewußt nicht benannt werden kann. Ich möchte diese Informationsquelle hier bewußt aufwerten, denn ich bin der Meinung, daß diesen Informationen ein entsprechender Wahrheitsgehalt zugeordnet werden kann. Wenn sich in den neuronalen Erfahrungsstrukturen tatsächlich die erfolgreichen eigenen Aktionen widerspiegeln (wobei das gedächtnisaktive limbische System für das Abspeichern „erfolgreicher“ Aktionen verantwortlich zeichnet), dann liegt hier ein selbsttätiger Mechanismus sich ständig optimierender Aktionsdurchführung und -kontrolle vor. Resultat ist das von Hubert und Stuart Dreyfus so bezeichnete „Expertentum“, bei dem Aktionen nicht mehr rational reflektiert werden sondern unvermittelt auf der Basis eines detailliert und (auch) in unbewußten Ebenen aufgebauten, inneren, „holistischen“ (ganzheitlich-analogen) Modells einsetzen.³

¹ Der Input zu ideo-motorische Aktionen kommt zunächst aus bottom-up gerichteten perzeptuellen Signalen. Die Aktivierung eines höhergeordneten mentalen Modells kann durch teleologische, top-down orientierte „Ergänzung“ des Gesamtaktivierungszustandes zu einer bewußten Wahrnehmung motivatorischer mentaler Modelle führen. Unter dem Begriff der ideo-motorischen Apraxie werden solche Verhaltensstörungen zusammengefaßt, bei denen die Erzeugung top-down gerichteter, bewußt eingeleiteter Bewegungen beeinträchtigt sind. Dennoch sind solche Bewegungen ausführbar, wenn die Aktivierung durch bottom-up gerichtete perzeptuelle Signale geschieht: 'Die Patienten können viele komplexe Handlungen nicht auf Befehl ausführen [d.h. bewußt gewollt; Anm. GL], obwohl sie spontan in entsprechenden Situationen durchaus dazu in der Lage sind.' SPRINGER, SALLY P.; DEUTSCH, GEORG: a.a.O., S.118f

² SHALLICE, TIM: a.a.O., S.315

³ vgl. DREYFUS, HUBERT L.; DREYFUS, STUART E.: **Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition.** Reinbek bei Hamburg 1987, S.81ff [Dort werden mit der Metapher des „holistischen Wissens“ die Vorteile nicht-rationaler menschlicher Informationsverarbeitung untersucht. Dazu könnten ihrer Meinung nach auch theoretische Modelle konnektionistischer Systeme beitragen.]

γ) Lernen I: Metarepräsentation, Abstraktion und die Bildung mentaler Symbole

Zunächst soll der Vorgang des assoziativen Lernens betrachtet werden. Im konnektionistischen System wird dies dadurch realisiert, daß sich bei gleichzeitiger Aktivierung von Neuronen aufgrund unterschiedlicher Inputs deren Verbindung zueinander verstärkt. Lernen ist ein rückgekoppelter bottom-up- und top-down-Prozeß: im Wechselspiel zwischen äußeren, perzeptuellen bottom-up Inputs und inneren, bedürfnis- bzw. zielorientierten top-down Inputs werden kognitive Strukturen assoziativ miteinander verbunden und - bei erfolgreicher, mehrfacher Anwendung - gespeichert. (Perzeptuelles, bottom-up gerichtetes) Erkennen ist demgegenüber erst möglich, wenn bereits etwas gelernt wurde und wird zumeist durch top-down-Informationen angereichert. Beim Umgang mit einem bis dato noch unbekannten Gegenstand sind die assoziierten Aktionsrepräsentationen notwendigerweise noch unvollständig, hypothetisch. Das für die Lösung der Aufgabe repräsentierte regelungstechnische Modell ist unterbestimmt. Ist die Aktion erfolgreich, dann wird die assoziierte neuronale Struktur bestätigt und kann sich bei mehrmaligem Durchspielen verfestigen, stabilisieren: es wird ein neues neuronales Modell erzeugt, das nun auch die Aktionszusammenhänge mit dem neuen Gegenstand repräsentiert.¹ - Das wesentliche hieran ist die Dynamik dieses Vorgangs vor dem Hintergrund der bewußten und unbewußten Aktionsebenen. In der Lernphase werden so ziemlich alle Details der Aktion bewußt repräsentiert, in der Kannphase nur noch hierarchisch höherstehende, globale Muster symbolischen Charakters. Dies führt zum Aufbau von Erfahrung in Form neuronaler Muster. Gerade durch die Lernfähigkeit des Menschen erhalten seine Aktionen ihre typische Plastizität als der Voraussetzung zur Arbeitsfähigkeit:

Er ist von einer einzigartigen [...] biologischen Mittellosigkeit, und er vergütet diesen Mangel allein durch seine *Arbeitsfähigkeit* oder Handlungsgabe, d.h. durch Hände und Intelligenz; eben deshalb ist er aufgerichtet, „umsichtig“, mit freigelegten Händen.²

Damit charakterisiert Gehlen die im Vergleich zu den Tieren nahezu unbegrenzte Plattform unseres Handlungsvermögens.³ Das darunterliegende Neugiuerverhalten, die lebenslange Erhaltung von Jugendmerkmalen ist evolutionsbiologisch unter dem Begriff der Neotenie zusammengefaßt worden:

¹ Für mathematische Details siehe den Beitrag von Günther Palm.

² GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.34

³ 'Tiere beherrschen bekanntlich nach wenigen Stunden bis Tagen ihre Bewegungsskala, die dann abgeschlossen ist. Die menschlichen Bewegungen sind dagegen ausgezeichnet durch eine ganz unvorstellbare mögliche Mannigfaltigkeit, durch einen Kombinationsreichtum, von dem man sich eine annähernde Vorstellung auch dann nicht machen kann, wenn man daran denkt, welche Fülle exakt gesteuerter Bewegungsformen in einem einzigen Handwerk erfordert wird - geschweige in der Kompliziertheit eines ganzen Industriesystems. [...] Merkwürdigerweise ist diese ungemeine Fülle von Bewegungsmöglichkeiten (Artisten, Sportsleute, alle unendlich verschiedenen Arbeitsgänge), und zwar von willkürlichen Bewegungskombinationen noch selten in Gegensatz gegen die Monotonie tierischer Bewegungsformen gestellt worden.' aus GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.42

'Der Mensch erhält sich eine weltoffene Neugier nahezu über sein ganzes Leben.'¹ Und damit ist der Mensch zu lebenslangem Lernen fähig, wie aber auch gezwungen, seine Persönlichkeit und Charaktereigenschaften im Handeln erst herauszuarbeiten, die gerade beim Menschen angeborene Merkmale überlagern. Diesen mentalen Strukturierungsprozeß, der an die Grundaktivität des Organismus gebunden ist, charakterisiert Piaget als *Assimilation*². Durch die sensomotorischen Umgangsprozesse wird ein noch unbekannter Gegenstand mit einem aktivierten Aktionsschema zu einer neuen kognitiven Struktur integriert:

Wenn jeder Verhaltensakt Assimilation impliziert und wenn assimilieren heißt, Objekte (oder äußere Verbindungen) in Verhaltenspläne integrieren, dann transformiert jeder in bezug auf ein Objekt vollzogene Akt dieses Objekt in seinen Eigenschaften wie in seinen Beziehungen. Jede Erkenntnis stellt daher eine Mischung von Elementen aus dem Objekt und solchen aus dem Verhalten dar.³

Ein Objekt als perzeptuelles Repräsentat kann in *verschiedene* Aktionsrepräsentationen eingebaut werden und damit auch *verschiedene* Eigenschaften des Objektes in die Verhaltensmodelle transformieren. „Kontextfreie“ Objektstrukturen sind solche Strukturen, die in *allen* Verhaltensprogrammen vorkommen. Gerade mit solchen „kontextfreien“ Objektstrukturen sind demnach Repräsentationen der zweiten Stufe als Lösungen für kognitive Problemsituationen möglich. Abstraktion als „Absehen vom Detail“ ist eine Schlußfolgerung, die den eigentlichen mentalen Prozeß der Symbolbildung nicht richtig erfaßt. Abstraktion ist eine kreative Transformation der Information auf relative Kontextfreiheit *durch die Gesetze* a) der bottom-up-gerichteten Informationsbündelung durch laterale Inhibition; b) der Informationsbedeutungslenkung durch top-down gerichtete Informationsvervollständigungsprozesse. Abstraktion generiert neue Wahrheit. So stecken gerade die Arbeiten des Psychologen Jean Piaget das Vorfeld für das Konzept der Meta-Kognition ab:

The concept of metacognition has been particularly evolved in development psychology, where many Piagetian tasks require decontextualized reflection and report rather than contextualized behaviour. [...] Via metacognition conceptualization, the conscious apprehension of one's behaviour, new cognitive structures can be formed.⁴

Lernen durch Erfahrung geschieht beim Menschen über eine zweite Repräsentationsebene und ist deshalb so erfolgreich, weil dadurch (relativ) kontextfreies Wissen assimiliert, also gelernt werden kann.

¹ VOLLMER, GERHARD: *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie. Stuttgart ⁵1990, S.121

² 'Assimilation - Der inkorporierte Prozeß eines operativen Aktes. Ein In-sich-Aufnehmen von Umweltdaten, nicht in einem kausalen, mechanistischen Sinne, sondern als Funktion einer internen Struktur, die kraft ihrer eigenen Natur - durch Assimilation potentiellen Materials aus der Umwelt - nach Betätigung strebt.' aus: FURTH, HANS G.: *Intelligenz und Erkennen. Die Grundlagen der genetischen Erkenntnistheorie Piagets*. Frankfurt am Main ²1981, S.363

³ PIAGET, JEAN: *Assimilation und senso-motorische...* in: Furth, Hans G.: a.a.O., S.86

⁴ MARCEL, ANTHONY J.: a.a.O., S.142

δ) Lernen II: entdeckendes Lernen und technische Aktionen

Wie aber ist der Vorgang überhaupt vorstellbar, daß ein Organismus beispielsweise mit einem Gegenstand eine neue Verhaltensstruktur lernt, die als solche offensichtlich nicht einfach aus anderen Verhaltensstrukturen assoziiert werden kann? Wie kann ein repräsentierendes System lediglich über äußere Anregung (ob über äußere oder innere Signale) zur Bildung neuer Kategorien kommen und so z.B. den Gebrauch gegenständlicher Dinge als „Werkzeuge“ lernen? Das hier angesprochene Problem beschäftigt auch die Künstliche-Intelligenz-Forschung seit ihren Anfängen. Tatsächlich geht es um die Frage, welche Gegebenheiten in der physikalischen Struktur eines lernenden Systems erfüllt sein müssen, damit ein dem Menschen vergleichbares Lernvermögen realisiert werden kann. Für Sachsse werden Probleme über die Erzeugung eines neuen „Umweges“ geregelt und er beruft sich auf Eigen, der das menschliche Zentralnervensystem als ein »offenes System« bezeichnet.¹ Nur durch eine solche systemimmanente Offenheit können gestalthaft neue neuronale Muster oder „Ideen“ erzeugt und durch die rückgekoppelte, selbstreferentielle Struktur des Systems abgespeichert werden.² In der KI-Forschung hat Frank Rosenblatt bereits Ende der 50er Jahre behauptet, daß diese Eigenschaft auch auf die künstlichen neuronalen Netze zutrifft, die damit den herkömmlichen von Neumann-Computerarchitekturen überlegen wären. Er nennt das von ihm erfundene Netzwerk „Perceptron“ und charakterisiert den Unterschied zu anderen Computern folgendermaßen (das „class C“ perceptron“ ist eine Weiterentwicklung des Perceptrons):

It seems clear that the class C' perceptron introduces a new kind of information processing automation: For the first time, we have a machine which is capable of having original ideas. As an analogue of the biological brain, the perceptron, more precisely, the theory of statistical separability, seems to come closer to meeting the requirements of a functional explanation of the nervous system than any system previously proposed (p.449).³

Diese Debatte ist auch heute noch nicht beendet, so daß z.B. nicht klar ist, ob Bewußtsein letztlich an eine biologische Hardware gebunden sein könnte.⁴ - Rumelhart und Zipser zeigen jedoch, daß die von Rosenblatt gemachte Entdeckung ein gutes Modell für nichtassoziative, aber spontan (in einem statistischen Sinne) kategorisierende, lernende Systeme ist. Sie nennen das Verfahren 'the Competitive Learning Mechanism'⁵. Diese Eigenschaft trifft auch für die von uns betrachteten thermodynamischen Netzwerke zu. Sie wird als *entdeckendes Lernen* bezeichnet, wie es für ein *offenes System* typisch ist. Dabei wird im lernenden Netzwerk über ein

¹ vgl. SACHSSE, HANS: a.a.O., S.14

² Zum Thema der Selbstreferenz vgl. ROTH, GERHARD: Neuronale Grundlagen des Lernens und des Gedächtnisses. in: Schmidt, Siegfried, J.: Gedächtnis. Probleme und Perspektiven der interdisziplinären Gedächtnisforschung. Frankfurt am Main 1991, S.127-158

³ ROSENBLATT, FRANK: Two theorems of statistical separability in the perceptron. (1959) zit.n.: Rumelhart, David E.; Zipser, David: Feature Discovery by Competitive Learning. in: Waltz, David L. (Hrsg.): a.a.O., S.80

⁴ vgl. z.B. SEARLE, JOHN R.: Geist, Hirn und Wissenschaft. Die Reith Lectures 1984. Frankfurt am Main 1986

⁵ vgl. RUMELHART, DAVID E.; ZIPSER, DAVID: Feature Discovery by Competitive Learning. in: Waltz, David L. (Hrsg.): a.a.O., S.84ff

statistisches Verfahren ein selbstorganisierender, iterativer Prozeß in Gang gesetzt. So werden aus gegebenen Inputs spontan (nach statistischen Regeln) neue, nicht vorgegebene Kategorien gebildet und die Inputs diesen Kategorien zugeordnet.

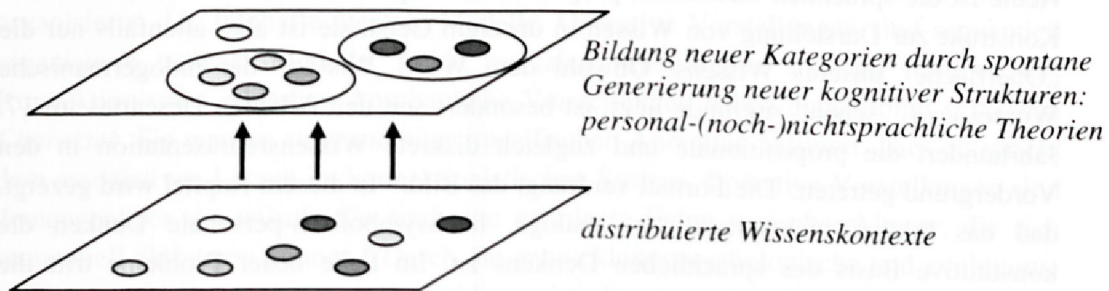


Bild 2.12 Kategorienbildung beim entdeckenden Lernen¹

Zusammen mit der Assoziationsfunktion kann damit eine gute Explikation der schon bei Tieren erkennbaren Symbolbildung gegeben werden. So könnte etwa durch „spontane“, statistisch erklärbare innere Repräsentation eine neue kognitive Kategorie gebildet werden (z.B. Baumfrüchte), wodurch automatisch die Aufmerksamkeit des Tieres darauf gelenkt wird. Durch Neugierverhalten wird dann erfahren, daß diese Früchte genießbar sind und der Organismus hat damit eine neue perzeptuelle Kategorie genießbarer Früchte gebildet, die über die assoziativen Funktionen mit der operativen Kategorie des Nahrungserwerbs verbunden wird. Diese kategorisierende Symbolbildung und deren assoziative Einbettung in die operative Tätigkeit ist notwendig für individuelles Lernen. Sachsse bringt dazu ein Beispiel über die Erfindung und die Weitergabe einer neuen Technik:

„Imo, ein außerordentlich kluges, jugendliches Makaken-Mädchen“, macht die Erfindung, daß sich Süßkartoffeln, die mit Sand beschmutzt sind, im Wasser eines Baches sauber waschen lassen. Drei Jahre später hatte eine Gruppe von 60 Tieren dieses „Sweet-Potato-Washing“ übernommen. In diesem Zusammenhang wurde auch die individuelle Weitergabe dieser Technik studiert - sie geschieht durch Zeigen und Aufweisen - sowie das Lernvermögen derer, die die Methode übernehmen. Die Autoren sprechen von einem „pre-cultural Behavior“. Die Verhaltensforschung bringt heute zahlreiche, oft überraschende Ergebnisse über „menschenähnliche“ Leistungen höherer Tiere. Diese Studien zeigen, wie tief das individuelle Lernvermögen, das bei Menschen eine so außerordentliche Steigerung erfährt, in der subhumanen Phase der Evolution verwurzelt ist.²

Das Makaken-Mädchen hat hier offensichtlich spontan die symbolische Kategorie der „Mit-Sand-beschmutzten-Süßkartoffeln“ gebildet und (eventuell durch Neugierverhalten) sie im Wasser bewegt. Durch diese Bewegung wurden die Kartoffeln aber „gewaschen“ und dadurch „genießbarer“, sprich: mit einer anderen, schon vorhandenen Kategorie eßbarer Dinge assoziierbar. Durch mehrmaliges Einüben stabilisiert sich schließlich diese Assoziationskette und eine neue, individuelle Technik ist erfunden.

¹ Daniel Sabbah gibt dazu das Beispiel eines konnektionistischen Systems, das über visuelle Informationsverarbeitung geometrische Objektkategorien lernen und so Objekte erkennen kann; vgl. SABBAH, DANIEL: *Computing with Connections in Visual Recognition of Origami Objects*, in: Waltz, David L. (Hrsg.): a.a.O., S.25-50

² SACHSSE, HANS: a.a.O., S.36

2.4 Zur anthropologischen Situierung des impliziten Wissens

Heute ist die sprachlich orientierte, propositionale Repräsentation ein weit anerkanntes Konstrukt zur Darstellung von Wissen in unserem Geist, sie ist aber allenfalls nur die „Oberfläche“ unseres Wissens. Obwohl dem Wort „Wissen“ die indogermanische Wurzel *veid-* „sehen“ zugrunde liegt, ist besonders seit den Arbeiten Descartes im 17. Jahrhundert die propositionale und zugleich diskrete Wissensrepräsentation in den Vordergrund getreten: 'Die Formel verdrängt das Bild.'¹ In diesem Kapitel wird gezeigt, daß das bildhaft-nichtsprachliche, analoge, hochsymbolisch-personale Denken die konstitutive Basis des sprachlichen Denkens ist. Im Falle neuer Probleme tritt die genuine Rolle des Bewußtseins in Erscheinung, in dessen phänomenalem Erlebnisfeld das repräsentierende System Problemlösungsprozeduren auf der Basis verfügbarer (persönliche und kulturell normierte) oder spontan neu gebildeter mentaler Modelle simuliert. Es werden nur solche „problematischen“ Modellstrukturen von der Metarepräsentationsfunktion erfaßt und damit bewußt, die noch nicht relaxieren können. Bewußtsein spielt sich gerade in jener Zwischenwelt ab, in der sich analog-implizites Wissen in sprachlich-explizites transformiert.² Sprachlich dargestellt werden die Inhalte, für die kulturell normierte Sprachzeichen existieren; persönliches, symbolisch organisiertes Wissen (z.B. Wissen bezüglich komplexer Sachverhalte oder auch das Wissen des Künstlers) ist wesentlich schwieriger sprachlich darzustellen und einer Person ohne entsprechendes Vorwissen mitzuteilen. Das Ergebnis solcher Simulationsprozesse zeigt sich in dem sich einstellenden energetischen Niveau. Phänomenologisch erleben wir dies so, daß eine gute Problemlösung uns gleichsam in die Handlung zieht: das repräsentierende System relaxiert, indem die Aktivierungsenergie an die operationalen Zentren abgegeben wird. *Das bewußte, sich ausrollende, vorher noch „eingewickelte“, implizite Wissen wird erst mit der erfolgreichen Handlung deutlich und ausführlich: es wird explizit.* Erst diese bewußten, internen Modellstrukturen können durch ein externes Zeichensystem wie die Sprachzeichen mediatisiert werden, sind im sozialen Handlungssystem interpersonal rekonstruierbar und damit *expliziert*. Im zyklischen Erfahrungsaufbau wird durch die Sprachzeichen die handlungstheoretische Relevanz unseres Wissens *um zwei multiplikative Faktoren verstärkt*.³

¹ KRÄMER, SYBILLE: *Operative Schriften als Geistestechnik...* a.a.O., S.71 [Allerdings ist in der Welt der Technik die technische Zeichnung nach wie vor zentrales Denkmodell.]

² Stephen M. Kosslyn und James R. Pomerantz haben einen Vergleich zwischen bildlich-analogen und propositionalen Repräsentationen durchgeführt. Sie kommen zu dem Schluß, daß bildlich-analoge Repräsentationen Eigenschaften haben können, die nicht oder nur schwer in propositionalen Repräsentationen möglich sind. Als Beispiel bringen sie u.a. den Satz »der Ball liegt links vom Würfel« und ein Bild dieses Sachverhaltes. Die Relation »liegt links von« ist im Satz *explizit* gegeben und kann in eine propositionale Darstellung übertragen werden. Im Bild ist diese Relation *implizit* gegen: Sie kann bei Bedarf (neben unbegrenzt vielen anderen) dynamisch *generiert* werden. Darin könnte ein qualitativer Unterschied zwischen der bildlich-analogen und der propositionalen Wissensrepräsentation liegen, weil sich solche Deduktionen aus kognitiv-energetischer Sicht *leichter* aus einer bildlich-analogen Repräsentationsform herleiten lassen. Dieser wichtige Aufsatz bildet eine Grundlage meiner weiteren Überlegungen. Vgl. KOSSLYN, STEPHEN M.; POMERANTZ, JAMES R.: *Bildliche Vorstellungen, Propositionen und die Form interner Repräsentationen*, in: Münch, Dieter (Hg.): *Kognitionswissenschaft. Grundlagen, Probleme, Perspektiven*. Frankfurt 1992, S.253-89

³ vgl. Kapitel 3.1

2.4.1 Die nichtsprachliche, anschaulich-symbolische Basis des Wissens¹

Anschauliche Vorstellungen sind metarepräsentierte, nichtsprachlich-analoge, parallel organisierte, d.h. bildhafte mentale Modelle. Operative Vorstellungen sind sequentiell organisierte mentale Modelle. Beide mentalen Modelltypen sind im Rahmen des Konnektionismus erklärbar. Anschauliche Vorstellungen haben demzufolge *statischen Charakter*. Sie werden aufgrund einer spezifischen Anregung aktiviert. Dies entspricht dem assoziativen Lernen im konnektionistischen System. Operative Vorstellungen sind demgegenüber *dynamisch*. Sie sind eine geordnete Folge statischer Muster, die sich sequentiell aktivieren können.² Durch die entwicklungspsychologische und evolutionsbiologische Herausbildung eines dreidimensionalen mentalen Simulationsraums (der kognitiven Basis der euklidischen Geometrie) umfassen anschauliche Vorstellungen dreidimensional strukturierte mentale Modelle. Operative Vorstellungen umfassen - unter Integration der motorischen Systeme - simulative Veränderungen dieser Modelle, die beispielsweise durch motorische Aktivitäten erreicht werden könnten. Durch Lernen werden diese Modelle automatisiert, d.h. unbewußt.

α) Die euklidische Basis der anschaulichen Repräsentation

Dieser nichtsprachliche, anschaulich-parallele Repräsentationsmodus ist die Basis für die Einbeziehung eines technischen Systems in eine sequentielle Handlung. Wir nehmen unsere Umwelt nur deshalb dreidimensional wahr, weil unsere problemlösenden Handlungen im Verlaufe unserer Evolution „von sich aus“ diese dreidimensionale, euklidische Struktur erfaßten (vgl. Kap. 2.2.3). Dieser Struktur überlagert sind aber noch die Lernprozesse, die zum Aufbau unserer individuellen Erfahrung führen. Dazu gehören auch nichträumliche Modalitäten wie Hör-, Riech- und Geschmacksvermögen, Tastsinn. All diese Denkstrukturen haben Einfluß auf die mentale Repräsentation technischer Systeme (beispielsweise riecht ein erfahrener Dreher am Schmierölstaub, ob der Drehvorgang gut verläuft). Diese Repräsentationen werden aber letztlich in ein einheitliches mentales Modell eingebettet, dessen Basis räumlich ist und in dem die anderen Modalitäten integriert sind. Ein technisches System (ein Objekt) ist dann anschaulich, wenn es als mentales Modell - ausgehend von den multimodalen, parallel und unabhängig voneinander organisierten Aktivierungsstrukturen der sensomotorischen Ebene - in einer analog-euklidischen Struktur repräsentiert wird, die in einem Repräsentationszusammenhang (z.B. einer Handlung oder einer mentalen Simulation) mental aktiviert werden kann. Diese euklidische Repräsentationsstruktur

¹ Diese nichtsprachliche Dimension des Wissens wurde bis jetzt untersucht von Vygotski (vgl. Kap. 3.1.3), Piaget (bei Kindern) und Hallpike (im sog. primitiven Denken). Dieser Abschnitt dient dem Nachweis, daß diese implizite Wissensdimension genauso im intelligenten, hochspezialisierten naturwissenschaftlich-technischen Denken vorhanden ist. Im wesentlichen ist damit der personale Wissensaufbau jenseits kulturell-normierter Sprachzeichen gemeint, wobei dieses Wissen erst wieder durch Projektion auf den Schirm der kulturell-normierten Sprachzeichen mitteilungsfähig wird. Hier ist der bei jeder Projektion gegebene Informationsverlust zu beachten. Allerdings ist dies ein rückgekoppelter Prozeß: die Informationsbeschaffung zur Problemlösung ist genauso sprachlich orientiert; in Kapitel 3 werde ich diese kognitive Verstärkerfunktion der Sprache genauer darstellen.

² vgl. SCHULTEN, KLAUS: a.a.O.

wird beim existentiellen Erfahrungsaufbau durch individuelle Erfahrungsstrukturen ergänzt.¹ „Anschaulichkeit“ basiert auf *parallelen*, multimodalen, räumlich-symbolischen Repräsentationsstrukturen, die in *sequentielle*, operationale Strukturen eingebettet werden können. Das Vermögen zur dreidimensionalen Repräsentation entwickelt sich im Verlaufe des existentiellen Daseins auf der Basis genetischer Strukturen, läßt aber Spielraum für individuellen Erfahrungsaufbau. Schon das dreidimensionale visuelle Sehen muß - während einer bestimmten Reifungsphase - gelernt werden. So büßten Kinder aufgrund von einer Verletzung des Auges ihre Sehfähigkeit ein. Später standen die gerätetechnischen Möglichkeiten zur Verfügung, die Verletzung zu heilen. Dennoch konnten die inzwischen im Schulalter sich befindenden Kinder nach der Operation nicht die Augen benutzen.² Die Regeln, nach denen räumliches Sehen gelernt wird, sind genetisch vorgegeben. Wie die Strukturen dann tatsächlich ausgebildet werden, hängt jedoch vom jeweiligen Entwicklungsprozeß ab, da 'ähnlich wie in deterministisch chaotischen Systemen kleine Zufallsvarianten am Anfang nach einer Reihe weiterer Entwicklungsschritte zu Änderungen sehr großer Amplitude führen können.'³ Das heißt, daß sich im Verlaufe des Erfahrungsaufbaus auch Repräsentationsstrukturen bilden können, die nicht mehr „nur“ dreidimensionalen Charakter haben.

β) Symbolische Ergänzungen der euklidischen Basis

Entscheidungskriterium für den Aufbau solcher erweiterter Erfahrungsstrukturen ist die Zusammengehörigkeit von Merkmalen innerhalb eines multimodalen, symbolischen Merkmalsraumes:

Als „zusammengehörig“ wird interpretiert, was Gemeinsamkeiten aufweist, wobei „Gemeinsamkeiten“ in diesem Fall als korrelierte neuronale Aktivität definiert ist.⁴

Wenn also nur geeignete Muster erzeugt werden können, wie z.B. die Funktionskurven von zunächst unanschaulichen Gleichungen, und der Mensch kann im Umgang mit diesem Objekt Erfahrung aufbauen (z.B. durch Experimente), dann kann in einzelnen Arbeitsschritten langsam eine parallel arbeitende neuronale Struktur und damit ein Symbol für zunächst als unzusammenhängend erscheinende Merkmale erzeugt werden.

¹ Eine ähnliche Definition bietet Vollmer an: 'Eine Struktur heißt anschaulich (oder vorstellbar) genau dann, wenn es möglich ist, sie durch eine reguläre Transformation einer oder mehrerer ihrer Grundparameter in eine Struktur der mittleren Dimensionen (des Mesokosmos) zu verwandeln.' **VOLLMER, GERHARD: Probleme der Anschaulichkeit.** in: ders.: Was können wir wissen? Bd.2. Die Erkenntnis der Natur. Stuttgart 1986, S.111. Der hier verwendete Anschaulichkeitsbegriff schließt dabei ausdrücklich die Möglichkeit des existentiellen Aufbaus perzeptuell-operationaler Erfahrungsstrukturen ein. So werden für jeden Techniker auch noch so „unanschauliche Gleichungen“ wie Differentialgleichungen höherer Ordnung zur Darstellung mikroelektronischer Prozesse oder „chemische Riechräume“ dann anschaulich, wenn das Gehirn durch korrelierte neuronale Aktivität ein zusammengehöriges neuronales Modell aufbaut.

² vgl. **SINGER, WOLF: Hirnentwicklung und Umwelt.** in: Gehirn und Kognition, a.a.O., S.50

³ **SINGER, WOLF: Zur Selbstorganisation kognitiver Strukturen.** in: Pöppel, Ernst (Hrsg.): a.a.O., S.57

⁴ ebd.

Ein weitere Aspekt ist, daß das Gehirn auch schon in frühen Entwicklungsstadien spontan aktiv ist und strukturierte Aktivität erzeugt. [...] Das sich entwickelnde Gehirn wird somit nicht, wie früher vermutet, einseitig von der Umwelt geprägt, sondern steht mit dieser in einem Dialog, wobei das fragende Gehirn die Initiative hat.¹

Bei der Herstellung mikroelektronischer Produkte spielen komplexe, zunächst „unverstandene“ Zusammenhänge eine Rolle, die erst durch Erfahrung in einer symbolisch-anschaulichen mentalen Repräsentation organisiert werden können. Dies liegt besonders daran, daß physikalische Modelle für die Herstellung mikroelektronischer Produkte „ungenau“ sind, d.h. die tatsächlichen physikalischen Verhältnisse werden empirisch durch Übung (eben durch korrelierte neuronale Aktivität) veranschaulicht. Zudem spielen beim Arbeiten mit Meßgeräten an den physikalischen Grenzen quantenmechanische und erkenntnistheoretische Probleme eine Rolle, so daß u.U. gar nicht sicher ist, was ein bestimmter Meßwert repräsentiert. Dazu drei Beispiele: $\beta 1$) eine empirische Erweiterung unseres euklidischen Repräsentationsraums, $\beta 2$) die Veränderung eines Objektes durch die Messung, und $\beta 3$) die qualitativ-symbolische Organisation der Erfahrung.

$\beta 1$) Empirisch orientierte Erweiterung der euklidischen Repräsentationsstruktur eines technischen Systems: Betrachten wir den lithographischen Strukturierungsprozeß eines IC's. Es wird eine lichtempfindliche Lackschicht auf der Trägerscheibe aufgebracht und die Scheibe wird in einem Belichtungsgerät belichtet (im optischen Weg des Lichtes befindet sich eine strukturierte Maske, sodaß die Scheibe strukturiert belichtet wird; diese Strukturen bilden später z.B. Leiterbahnen des IC's). Dann wird entwickelt, der Restlack ausgelöst und es verbleibt eine definierte Lackstruktur auf der Scheibe. Ein wichtiges Prozeßkriterium ist jetzt z.B. die Breite der herausgelösten Lackstrukturen. Man hat herausgefunden, daß diese Strukturbreite unter bestimmten Bedingungen direkt proportional zur Belichtungszeit ist, oder andersherum: man gestaltet diesen technischen Prozeß idealer Weise so, daß er mit einer möglichst einfachen Modellierung zu regeln und zu überwachen ist. Denn es spielen noch viele andere Faktoren wie z.B. die Güte von Lack und Entwickler in diesem Gesamtsystem eine Rolle, aber unter günstigen Bedingungen ist deren Einfluß vernachlässigbar beziehungsweise des Gesamtsystem wird so gestaltet, daß dieser Einfluß eliminiert wird. Hier liegt also ein durch Erfahrung erweitertes, auf einer handlungstheoretisch abstrahierten Ebene veranschaulichtes Systemwissen vor.

$\beta 2$) Die Messung verändert das Meßobjekt (Quantenmechanik und Unschärferelation): Das Beispiel hierfür ist die Vermessung der Lackstrukturen nach der Entwicklung. Gemessen wird zumeist mit einem Rasterelektronenmikroskop, bei dem über Elektronenbeschuß und deren Ablenkung/ Reflexion am Meßobjekt über einen Detektor ein auswertbares Bild erzeugt wird. Verschiedene Effekte können jetzt eine Auswertung erschweren. So wird durch den Elektronenbeschuß der Lack elektrisch aufgeladen und kann den bilderzeugenden Elektronenstrahl selbst ablenken, so daß das Bild verzerrt

¹ ebd.

wird. Wird dann ein bestimmtes Meßergebnis - z.B. eine Strukturbreite - geliefert, dann ist in diesem Meßwert nicht berücksichtigt, in wie weit das Meßgerät das Meßobjekt selbst verändert hat. Man behilft sich dann über geringere Beschleunigungsspannungen, was aber zu schlechteren Bildqualitäten führt, oder über eine „Eichung“ des Gerätes an über andere Meßverfahren gemessenen Strukturen. Der bleibende prinzipielle Fehler wird durch Erfahrung kompensiert.

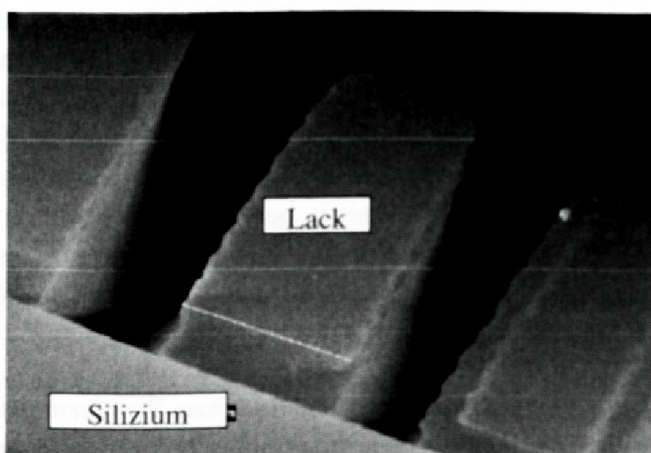


Bild 2.13 Lackstrukturen bei der Herstellung mikroelektronischer Produkte (Quelle: Siemens Microelectronics Center; gezeigt ist hier die neueste 0,25 μ Technik)

β3) Die qualitativ-symbolische Organisation der Erfahrung: Durch die angesprochene symbolische Organisation der Erfahrung (also durch den Aufbau von symbolischen Merkmalsräumen) werden vor-quantitative, d.h. qualitative Informationen erzeugt, die (noch) nicht in quantitative Meßwerte umgesetzt werden können, die aber dennoch zur Entscheidung über die „Qualität“ der erzeugten Strukturen herangezogen werden. Ein Beispiel hierfür sind solche (mental)en Konzepte wie die „Gestalttreue“ einer geometrischen Konstellation. Dahinter steht aus anthropologischer Sicht die *Generierung* symbolischer, (noch-)nicht-quantifizierbarer „Ideen“. Probleme sind: Verrundungen, mechanische Instabilitäten des Lacks etc., die alle einen Einfluß auf die spätere elektrische Funktionsfähigkeit des IC's haben können - aber nicht müssen. Als Fazit läßt sich feststellen, daß die Messung auf den ersten Blick wie ein vollständig definierbares (also potentiell automatisierbares) Verfahren aussieht. Die Praxis zeigt aber das Gegenteil. Der verantwortliche Prozeßingenieur kommt hier nicht ohne reiche, analoge, nichtsprachliche, also *implizite* Wissensstrukturen aus, die sich in jenem *Gefühl* für mögliche Probleme äußern (d.h. mentale Aktivierungen können nicht relaxieren). Beim Auftauchen eines Problems werden ad hoc Festlegungen getroffen bezüglich eines vorzunehmenden Meßumfangs, Meßstellen, Meßprozedur, Beurteilung der Meß- und sonstigen qualitativen Ergebnisse. Erst in einem zweiten Schritt, wenn die zunächst nur rein anschaulich repräsentierten Zusammenhänge genügend sprachlich formalisiert sind, kann mit Gewinn automatisiert werden. Beispiele dafür sind Handling, Loading und das Anfahren der Meßstellen; ferner verbesserte Methoden der Bildverarbeitung (Soll - Ist, zeitliche Trends etc.), statistische Methoden.

2.4.2 Der epistemologische Status technischer Handlungen

Wie funktioniert das Zusammenspiel zwischen analogen, zum Teil unbewußten, automatisch funktionierenden Aktionselementen und bewußten, sprachlich faßbaren Elementen? Wann werden bewußte Elemente unbewußt und damit sprachlich nicht mehr benennbar? Gibt es Wissen, von dem wir gar nichts „wissen“? Nach den bisherigen Ausführungen werden mentale Repräsentationen ja dann zu Bewußtseinsinhalten, wenn sie nochmals von einem Repräsentationsprozeß erfaßt werden. Eine instrumentalistische Beantwortung dieser Frage bestünde jetzt darin, diese mentalen Aktivierungsprozesse messen zu wollen. Wenn die hier dargelegten theoretischen Überlegungen aber tatsächlich an den Kern der Sache herankommen, dann gibt es auch eine bedeutend einfachere Antwort. Im Verlaufe der Evolution des Menschen hat es sich bewährt, daß kognitive Problemfälle mit lautlich-phonetischen Operationen (also Lautgebungsmechanismen) assoziiert werden und das repräsentierende System zunächst über eine Lautgebung teilweise relaxiert. Diese Lautgebung bewirkt dann, daß durch gemeinsame Problembewältigung endgültig relaxiert werden kann. Damit ist die Sprache entstanden, deren primäre Aufgabe in der problemorientierten Kommunikation besteht. In ihrer weiteren Funktion als Stütze des Denkens (das ich als „persönliches Problemlösen“ bezeichnen möchte) dient sie als Medium zur persönlichen Problemlösungsgestaltung. Der wesentliche Punkt ist hier, daß perzeptuell-operationale Repräsentate, die nochmals von einem Repräsentationsprozeß erfaßt werden und bewußt sind, lautlich-phonetisch benannt werden können, wenn dafür bereits ein Sprachzeichen existiert! Dahinter verbirgt sich die Darstellungsfunktion der Sprache. Wird ein persönlicher, interner Problemlösungsprozeß in eine erfolgreiche, symbolische Problemlösungshandlung umgesetzt (und sei sie nur „gedacht“), dann sind diese Problemlösungssymbole für das Individuum bewußt und damit explizit. Werden diese Symbole dann durch ein externes Zeichensystem wie die Sprachzeichen mediatisiert, erst dann sind sie im sozialen Handlungssystem interpersonal rekonstruierbar, und sie werden gerade durch diesen Mediatisierungsprozeß *expliziert*. Das persönliche Wissen liegt demnach in den nicht-normierten, das heißt nichtsprachlichen, analog-symbolischen Problemlösungsstrukturen. Es ist primär nicht-formal. Noch in primitiven Gesellschaften mit nur geringer sprachlicher Differenzierung zählt dieses rein persönliche Wissen nicht besonders viel, weil es nicht effektiv artikuliert werden kann.

Ein Beispiel: Betrachten wir den schon aufgeführten Produktionsprozeß mikroelektronischer Bauelemente. Der Prozeß zur Herstellung eines solchen Bauelementes kann einige hundert verschiedene Maschinenarbeitsschritte und einige Monate in Anspruch nehmen. Durch langjährige Erfahrung eignen sich die Ingenieure ein umfangreiches Handlungswissen an. Jetzt tritt ein Problem auf, eine Anomalität: die produzierten Bauelemente funktionieren aus irgendeinem Grund nicht mehr. Der betreuende Ingenieur schaut sich das Problem an, trifft einige Maßnahmen und dann „funktioniert“ alles wieder. Er war allerdings dann außerstande, in sprachlich kodierter Form den Grund für das Problem bzw. die Problemlösung zu benennen! Einfach, weil diese hochsymbolische, durch individuelle Erfahrung konstituierte Problemlösung bereits

„jenseits“ dem sozial normierten Vokabular üblicher naturwissenschaftlich-rationalistischer Notationen liegt. Natürlich stand der Ingenieur unter einigem Zeitdruck, denn bei genügend verfügbarer Zeit ist es schon möglich, einzelne Aspekte sprachlich aufzulösen, eben soweit, wie der Detaillierungsgrad normierter Sprachzeichensysteme reicht. Unter der Annahme, daß unser explizites Wissen in sprachlicher Form verfügbar ist, folgt daraus, daß solche hochsymbolisch organisierten, erfolgreichen Handlungen *epistemologisch unterbestimmt sind*. Andersherum betrachtet: Die Sprache ist ein im sozialen Handlungssystem normiertes Zeichensystem, in das persönliche, in unserem Fall bildhaft-symbolische Handlungs- und Wissensstrukturen extrahiert werden können, aber nicht müssen. Auch, wenn der Problemlösungsprozeß zu großen Teilen in den gelernten, externen Sprachzeichen geschieht, so ist dies doch nur eine oberflächliche Betrachtung. Denn die Basis bilden die bildhaften, analog-symbolischen, im persönlichen Handlungsprozeß erzeugten Problemlösungs- und Wissensstrukturen. Es gibt demnach ein Wissen, von dem wir (im sprachlichen Sinne) gar nichts „wissen“: dies sind die im aktuellen Handlungszusammenhang eingesetzten, hochsymbolisch-persönlichen, impliziten Wissensstrukturen, die existentielle Basis unseres Denkens.¹

Wir wollen dies präzisieren: es gibt einen Unterschied zwischen Repräsentationen oder Erkenntnissen, die aufs praktische Handeln geht, die man selbst im Umgang mit dem praktischen Handeln aufgebaut hat und einer Erkenntnis, die aufs praktische Handeln geht, die man aber nur theoretisch besitzt (in Begriffen, Aussagen). Denn diejenigen Aussagen, die der Mensch nur theoretisch in Form von lautlich-phonetischen Konstrukten besitzt, können nicht die entsprechenden vorsprachlichen Aktionsstrukturen aktivieren. So kann der Gesprächspartner zwar eine Aussage auf der Basis seines lautlich-phonetischen Realitätsmodells in gewissem Sinne verstehen, er kann aber keine damit sonst assoziierbaren Handlungen aktivieren! Wenn wir demnach selbst eine neue Fähigkeit aufbauen, diese unter einen Begriff bringen, dann ist durch diese sprachliche Umschreibung genau *das Wissen* nicht abgedeckt, das unseren gelernten Bewegungsprogrammen und Wahrnehmungsstrukturen entspricht. *Sprachlich kodiertes Wissen* (Ryles *Knowing That*) ist *epistemologisch unterbestimmt*, ihm „fehlt“ der durch individuellen Erfahrungsaufbau erzeugte, sensomotorisch-symbolische Unterbau (Ryles *Knowing How*).² Alleine durch begriffliche Anleitung kann das Handeln nicht erfolgreich sein; wohl aber gilt der umgekehrte Fall, wie schon Schopenhauer (vor jeder Sprachphilosophie) analysierte.³

¹ Bei dieser Konzeption kann ich mich auf Michael Polanyi stützen. Polanyi weist neben einer ganz ähnlichen logischen Erklärung der Struktur des impliziten Wissens auch auf die persönliche Gebundenheit allen Wissens hin. Vgl. **POLANYI, MICHAEL: Implizites Wissen**. Frankfurt am Main 1985, S.29ff

² **RYLE, GILBERT: Knowing How and Knowing That**. in: *Proceedings of the Aristotelian Society* 46 (1946)

³ - Die bloße intuitive Verstandeserkenntnis reicht sogar hin zur Konstruktion von Maschinen, wenn der Erfinder die Maschine auch selbst macht, wie man oft an talentvollen Handwerkern ohne alle Wissenschaft sieht. [...] hier muß gerade die anschauliche Erkenntnis unmittelbar die Tätigkeit leiten; weil die Nüancen für den Begriff zu fein sind, und daher das Durchgehen durch die Reflexion die Tätigkeit unsicher macht, den Menschen verwirrt, die Aufmerksamkeit theilt. aus: **SCHOPENHAUER, ARTHUR (HRSG.: SPIERLING, VOLKER): Theorie des gesamten Vorstellens, Denkens und Erkennens**. München 1986, S.405f

2.5 Handeln und phänomenales Gefühl¹

In diesem Kapitel soll gezeigt werden, daß unser bewußter Wissensaufbau über ein Phänomen gesteuert wird, das seit Heidegger in der Versenkung verschwunden ist: das *Gefühl*. Diesem Gefühl entspricht im konnektionistischen System das energetische Niveau: Beim Unterschreiten eines Grenzwertes („Aha-Erlebnis“) wird die antizipierte Handlung ausgeführt. „Wirklichkeit“ ist ein Zustand, bei dem im repräsentierenden System interne Wissensstrukturen möglichst „widerspruchsfrei“ (das heißt: das Handeln erreicht ein Maximum an Erfolg) zueinander organisiert sind: *Der Mensch ist das fühlende, also handelnde Wesen!*

2.5.1 Intentionalität und phänomenale Gefühlssphäre

Warum handeln Menschen erfolgreich? Weil ihr nichtsprachliches, analoges Realitätsmodell die Wirklichkeit in einer Weise widerspiegelt, daß damit intuitives, nichtsprachliches, größtenteils unbewußtes Vorgehen möglich wird. Der Mensch trifft seine Entscheidungen nach seinem *Gefühl*, nach seiner *hochsymbolisch-analogen, intuitiven Erkenntnis*, die noch nicht oder nicht mehr Sprache ist: auf der Basis einer solchen impliziten Erkenntnisleistung werden heute die Entscheidungen in aller Welt für die Zustände von morgen getroffen. Natürlich ist in demokratischen Systemen die Diskussion problematischer Sachverhalte ein unverzichtbares Mittel zur Aufrechterhaltung des sozialen Gleichgewichts. Ich möchte in diesem Kapitel jedoch etwas anderes zeigen: Können ohne Wissen mag einfältig sein, aber Wissen ohne Können ist *leer*.

DEFINITION (4)

INTENTIONALE HANDLUNG: $H_{\text{Int}} \equiv_{\text{Def}} \{S, X_{\text{Reg}}, X_{\text{Selbst}}, X_{\text{Real}}\}$

S regelt die mentale Zustandsbeschreibung X_{Reg} über verhaltensauslösende Regelmechanismen, die aus der top-down Aktivierung von X_{Reg} („Wille“) über X_{Selbst} und die bottom-up Aktivierung von X_{Real} (Selbst- und Realitätsmodell) abgewickelt werden. Das phänomenale Korrelat der verhaltensauslösenden Mechanismen sind die *Gefühle*. Eine Handlung mit zielgebender top-down Aktivierung und mit meta-repräsentiertem Selbstmodell ist *intentional*. Sprachliche Handlungen stehen zumeist im Zusammenhang mit unserer sozialen, und - als Stütze des Denkens - mit der existentiellen Erfahrungsebene. Motorische Handlungen konstituieren die naturale Erfahrungsebene. Freie, nicht-zielgebundene Aktivierungen wie kreative Prozesse oder Träume lösen keine intentionalen Handlungen, sondern spontane mentale Simulationen aus. Dies ist die Dimension menschlicher Kunst und menschlichen Spiels.

S ist ein meta-repräsentierendes System.

X_{Reg} ist ein meta-repräsentiertes, top-down aktiviertes, dadurch interessenträgendes mentales Modell der zu regelnden Zustandsbeschreibungen von S (das Handlungsziel). Über die gedächtnisaktiven Funktionen können mehrere Zustandsbeschreibungen nebeneinander (aber nur sehr eingeschränkt gleichzeitig) geregelt werden.

X_{Selbst} ist ein aktiviertes, perzeptuell-operationales Selbstmodell.

X_{Real} ist ein aktiviertes Realitätsmodell.

¹ Für Heidegger konstituiert die *Befindlichkeit*, das *Gefühl* die Weltoffenheit menschlichen Daseins, deren Erforschung seit Aristoteles keinen Fortschritt gemacht habe. vgl. HEIDEGGER, MARTIN: *Sein und Zeit*. Tübingen 161986, S. 134-40 [§29]

Mit diesem Schema soll der Versuch gemacht werden, eine generativ-kausale Deutung des Handelns zu liefern. Neue kognitive Strukturen werden zum Abgleich informationeller Erfüllungsstrukturen X_{Reg} generiert, wobei die Handlung bei Erreichung eines bestimmten Aktivierungsniveaus ausgeführt wird. Die „Güte“ des Handlungsentwurfs entspricht diesem Aktivierungsniveau und ist unser hier zu deutendes phänomenales Gefühlserlebnis. Im konnektionistischen System wird dies über einen fortlaufenden, gedächtnisaktiven Informationsfluß realisiert, der diese „Güte“ der verschiedenen Handlungsentwürfe assoziativ abspeichert und dem repräsentierenden System zur Entscheidungsfindung vorhält. Nachdem eine Menge von Handlungsentwürfen generiert wurden, kann das repräsentierende System gleichsam mit einer Scheinwerferfunktion diese nochmals nach ihrer Güte abfragen. Phänomenologisch erleben wir dies so, daß ein guter Handlungsentwurf uns *kausal* „in die Handlung zieht“.

Damit entfällt tatsächlich die Notwendigkeit eines transzendentalen Subjektes. Allerdings basiert dieses Modell auf den postulierten Strukturen des assoziativen und des entdeckenden Lernens. Neue Systemeigenschaften sind gerade aufgrund der Systemoffenheit, wie sie durch das entdeckende Lernen lediglich negativ definierbar sind, nicht ohne weiteres aus dieser Modellbetrachtung ableitbar.

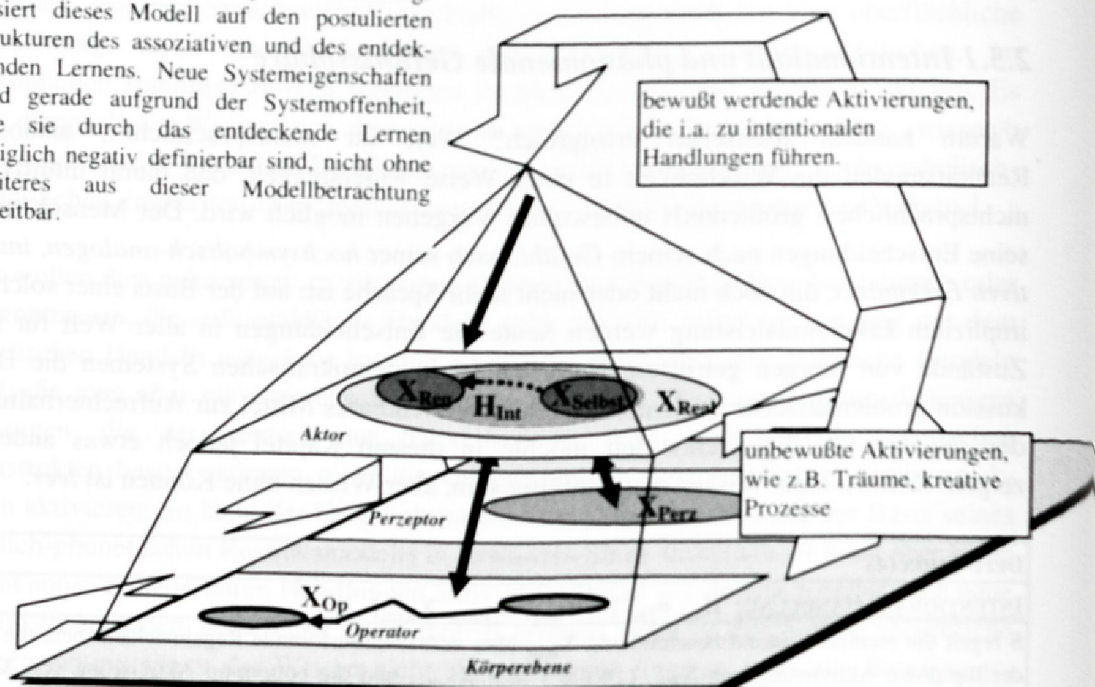


Bild 2.14 Der Mensch: ein fühlendes, *also* handelndes System

Der für erfolgreiches Handeln notwendige Aktionsantrieb (Aktor) scheint beim Menschen mehr oder weniger permanent tätig zu sein.¹ Die „Mechanik“ des bei Tieren automatenhaft vorprogrammierten Selbstmodells mit seinen vorgegebenen Ablaufschemata zyklisch wiederkehrender Schlüsselreiz-Situationen ist überlagert von der Konstruktion eines individuell aufgebauten, naturale, soziale und existentielle Aktionen repräsentierenden, mehrdimensionalen Realitäts- und Selbstmodells, das den Menschen zum Kosmopoliten macht. Die Mehrdimensionalität rührt daher, daß der Mensch mehrere (naturale, soziale und existentielle), u.U. langandauernde Aktionen quasi-gleichzeitig in einem kognitiven Kontinuum repräsentieren und durchführen kann.

¹ Gehlen charakterisiert dies als „Antriebsüberschuß“; vgl. GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S. 57ff

Ein sicheres Gefühl ist (zumeist) der Garant für den Erfolg. Die wenigsten Menschen führen eine Aufgabe mit schlechtem Gefühl trotzdem erfolgreich durch. Ein schlechtes Gefühl zeigt an, daß etwas nicht stimmt. Es kommt aber nicht durch bewußte Reflexion zustande, sondern taucht aus dem Unbewußten auf. Erfolgreiches technisches Handeln wird über Gefühle geleitet. Im Rahmen einer intentionalen Handlung baut sich eine repräsentationale Gesamtsituation auf, die durch teleologische top-down-Informationen und durch entdeckende bottom-up-Informationen, unter Einbeziehung kreativer Prozesse - bestimmt ist. Top-down-Informationen sind Interessen, Handlungsziele und werden durch das für die zu regelnden Systemzustände verantwortliche limbische System erzeugt. So könnte schon beim Aufbau der Gesamtsituation die diffuse Eingangserregung durch das limbische System gefiltert und auf bestimmte Aufgaben voreingestellt werden:

Falls Gefühle die Sinnesverarbeitung in der Großhirnrinde beeinflussen, könnten sie den notwendigen Filter liefern, indem sie ihrer Tendenz nach die Aufmerksamkeit - und damit das Lernen - auf Reize mit gefühlsmäßiger Bedeutung einschränken.¹

Im triebgeleiteten Verhalten der Tiere läuft dieser Vorgang noch weitgehend automatisch ab: überschreitet ein inneres Signal eine Regelgrenze, dann wird über einen angeborenen auslösenden Mechanismus die Repräsentation eines Verhaltensmodells im steuernden Gehirn aktiviert. In diesem angeborenen auslösenden Mechanismus *fällt alles dies auf einen Punkt zusammen*, was beim Menschen als „Gefühl“ bezeichnet wird. Das Tier fühlt etwa nicht, daß es jetzt etwas tun müsse, vielmehr wird eine neuronale Zwangssituation aufgebaut. Es läuft ein Mechanismus ab, der über die starke Wirkung der lateralen Inhibition erklärbar ist. Basierend auf den Eingangssignalen wird eine starre neuronale Aktivierung erzeugt. Das aktivierte Verhaltensprogramm wird dabei solange durchgeführt, bis der Vorgang geregelt ist. Die interne Präsentation dieses Zwanges ist aber der Vorläufer unserer Gefühle. Diese Gefühle sind deshalb das phänomenologische Korrelat *praktischer Intentionalität*, das einer Bewertung der repräsentationalen Gesamtsituation entspricht, die in einem mentalen Simulationslauf im Präfrontalbereich der Hemisphären durchgeführt wird. Der Mensch kann überlegen; das Tier gerät in Panik, wenn man es daran hindert, die Aktion durchzuführen.

The term representation is usually applied to accounts of experience. But mental life also features intentions. Are intentions representations? They are the representations of potential outcomes. The planning function of the frontal lobes is to program activity that will approximate the external status quo to the represented intention.²

Gefühle sind eine Systemeigenschaft metarepräsentierender Systeme und führen beim Menschen zu dem, was ich „erfolgreiches Handeln“ nenne. Sie repräsentieren für lernende Organismen eine skalierte Erweiterung des punktuell wirkenden angeborenen auslösenden Mechanismus. Dazu wird es möglich, auf neuen Repräsentationsebenen eine Anzahl verschiedener Handlungsentwürfe zu generieren. Dies ist mittels der bereits besprochenen Lernmechanismen zu erklären. Das repräsentierende System kann

¹ MISHKIN, MORTIMER; APPENZELLER, TIMOTHY: a.a.O., S.102

² KINSBOURNE, MARCEL: *Integrated field theory of consciousness*, in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O., S.240

dadurch im aktuellen Handlungszusammenhang auf bereits gemachte Erfahrung zurückgreifen und spannt dadurch ein *kognitives Kontinuum* auf. Die noch verbleibende, genetisch vorgegebene Wirkung des angeborenen auslösenden Mechanismus signalisiert die (überlebensdienliche) *Notwendigkeit* einer Aktion und ist als ein besonders starkes, subjektiv-emotionales Gefühl, einen Zwang vorstellbar. Demgegenüber signalisiert ein sachlich-objektives Gefühl die *Möglichkeit* zur Ausführung gelernter oder neu assoziierter Verhaltensprogramme. Beim Überschreiten einer Regelgrenze wird beim Tier ein Verhaltensprogramm mit imperativem Charakter aufgebaut und damit ein Verhaltenszwang erzeugt. Während diese neuronale Aktivierung auf relativ fest vorgegebenen Bahnen und in fest vorgegebenen Mustern erfolgt, liegen die Dinge beim Menschen als einem *offenen System* diffuser, Repräsentierte Erregungsmuster werden, wenn noch keine gelernte Lösung für ein anstehendes Problem vorliegt, nochmals von einem Repräsentationsprozeß erfaßt und dadurch bewußt. Sie führen, solange sie sprachlich noch nicht fixiert sind, zu nichtsprachlichen, analog-anschaulichen, rein „gefühlsmäßigen“ Problemlösungsstrukturen. Gefühle sind demnach innere Signale und repräsentieren die Notwendigkeit zum Ausführen bestimmter Verhaltensmodelle. Dies geschieht über eine Gefühlsskala, die von angenehm (z.B. das Gefühl, das den organischen Zustand des „Satt-Seins“ begleitet) bis unangenehm reicht („Hunger“) und so die Notwendigkeit zum Agieren signalisiert.¹ Zumindest die bewußten Regelgrößen X_{Reg} scheinen teleologisch top-down aktiviert zu werden und stellen die Sollzustände dar.

Das bewußte Realitätsmodell X_{Real} wird aus den perzeptuellen Daten bottom-up konstruiert; dies ist der Istzustand des repräsentierenden Systems. Damit ist das *kognitive Kontinuum* aktiviert, innerhalb dessen der nun folgende Lösungsfindungsprozeß sich abspielt. Es liegen eine top-down- und eine bottom-up-Aktivierung vor, in deren Spannungsfeld über Simulationsläufe mit dem Selbstmodell im Realitätsmodell eine Gesamtsituation mit verhaltensaushösender Wirkung generiert wird. Durch solche internen Repräsentationsprozesse kann sich schließlich dann eine stabile repräsentationale Gesamtsituation einstellen, wenn sich die beiden Aktivierungen zu einem derartigen Gesamterregungsmuster „finden“, daß damit die Aktivierungsenergie erfolgreich an die operationalen, motorischen Systeme abgegeben werden kann. Ein neuronales Aktivitätszentrum, die im Akteur gelegene „Gedankenpumpe“, ist ursächlich verantwortlich für die innere Informationsquelle; zusammen mit äußeren perzeptuellen Signalen baut sich so die repräsentationale Gesamtsituation auf.² Die daraus ableitbare Grundstruktur menschlicher Denk- und Handlungsabläufe scheint weitgehend determiniert zu sein, jedoch kann der Mensch durch seine offene Systemcharakteristik völlig neue mentale Strukturen als Problemlösungen erzeugen. Wie soll das System aber diesen Zustand identifizieren, davon gleichsam „wissen“?

¹ Insgesamt können wir der vereinfachten Hypothese von MacLean zustimmen, daß das limbische System zwei Hauptkomponenten aufweist, die angenehmen und unangenehmen Affekten entsprechen, aus: ECCLES, JOHN C.: *Die Evolution des Gehirns - die Erschaffung des Selbst*, München 1989, S.173

² vgl. Kapitel 2.3.1 χ)

2.5.2 Das „Aha-Erlebnis“ und implizites Wissen

Umgangssprachlich bezeichnet man den Moment der Lösungsfindung gerne als „Aha-Erlebnis“, das durch ein positives Gefühl erfahren wird. Auch dieses scheinbar sehr spezifische phänomenale Erlebnis kann jetzt einer Deutung zugeführt werden. Denn im Falle der „Lösungsfindung“ sinkt das innere energetische Niveau des Aktivierungszustandes auf ein (lokales) Minimum ab, das somit einen Zustand mit verhaltensauslösender Wirkung charakterisiert: Das repräsentierende System relaxiert. „Lösungen“ sind demnach Erregungsmuster mit (lokalen) energetischen Minima im neuronalen Substrat, bei denen die mentale Aktivierungsenergie erfolgreich an die operationalen Systeme abgegeben werden kann.¹ Dem repräsentierenden System sind die verschiedenen Handlungsentwürfe über die gedächtnisaktiven Funktionen verfügbar. Metzinger argumentiert deshalb, daß das bei der Lösungsfindung sich einstellende „Aha-Erlebnis“ einen qualitativen Gehalt hat und damit eine Funktion *für* das System, indem es nämlich ein plötzliches Absinken des inneren energetischen Niveaus signalisiert.² Dem energetischen Niveau kommt also eine verhaltensauslösende Wirkung zu: bei Unterschreitung eines Grenzwertes relaxiert das System, indem die Aktivierungsenergie an die operational-motorischen Zentren abgegeben wird. Dies gilt auch für rein gedankliche Problemlösungsprozesse. Unsere „Freude am Denken“ liegt darin, daß ein „Aha-Erlebnis“ der Innenaspekt eines „optimalen“ Relaxationsprozesses ist.

Kognitiv problematische Situationen - d.h. Situationen, für die der mentale Apparat noch keine „Lösung“ anbieten kann - werden von der Bewußtseinsfunktion erfaßt und waren vermutlich die ersten Kandidaten für bewußte Erlebnisse. Die evolutionsbiologischen Vorläufer von Schmerzen führten gerade nicht mehr zum sofortigen Ausführen einer Aktion, weil es noch keine passende Lösung gab. Wenn solche besonders starken Abweichungen vom „Soll“ tatsächlich die überlebensdienliche Aufmerksamkeit des Organismus auf sich ziehen sollen, dann müssen auch einst gelernte Aktionen erneut einem Regelmechanismus unterstellt werden können, um eine neue „Lösung“ zu finden. Angenommen, alle anderen Regelmechanismen verlaufen ohne größere Probleme, wie könnte dann ein Regelkreis, der gelernt wurde und jetzt außerhalb der Regelgrenzen liegt, trotzdem noch geregelt werden? Einfach, indem dieser „problematische“ Regelkreis dem System durch interne Abbildungsvorgänge nochmals zum Regeln präsentiert wird, wobei diese weiteren Repräsentationsprozesse auch informationelle Strukturen früherer Erfahrung mit erfassen und darum potentiell neue Lösungen generierbar werden. Warum sollte dieser Zustand überhaupt möglich sein? Weil im Verlaufe der Evolution durch die nahrungsbedingte Gehirnzunahme ein „kognitiver Freiraum“ für zusätzliche Repräsentationsebenen entstand und damit Simulationen unter Rückgriff auf bereits gemachte Erfahrungen möglich wurde. Andererseits ist diese Möglichkeit der nochmaligen Regelung notwendig für lernende Systeme, die sich während ihrer gesamten Existenz mit der Umwelt auseinandersetzen müssen.

¹ Bei der Lösungsfindung geht uns wirklich ein (energetisches) Licht auf!

² METZINGER, THOMAS: *Subjekt und Selbstmodell...* a.a.O., S.142 [Anm. 20]

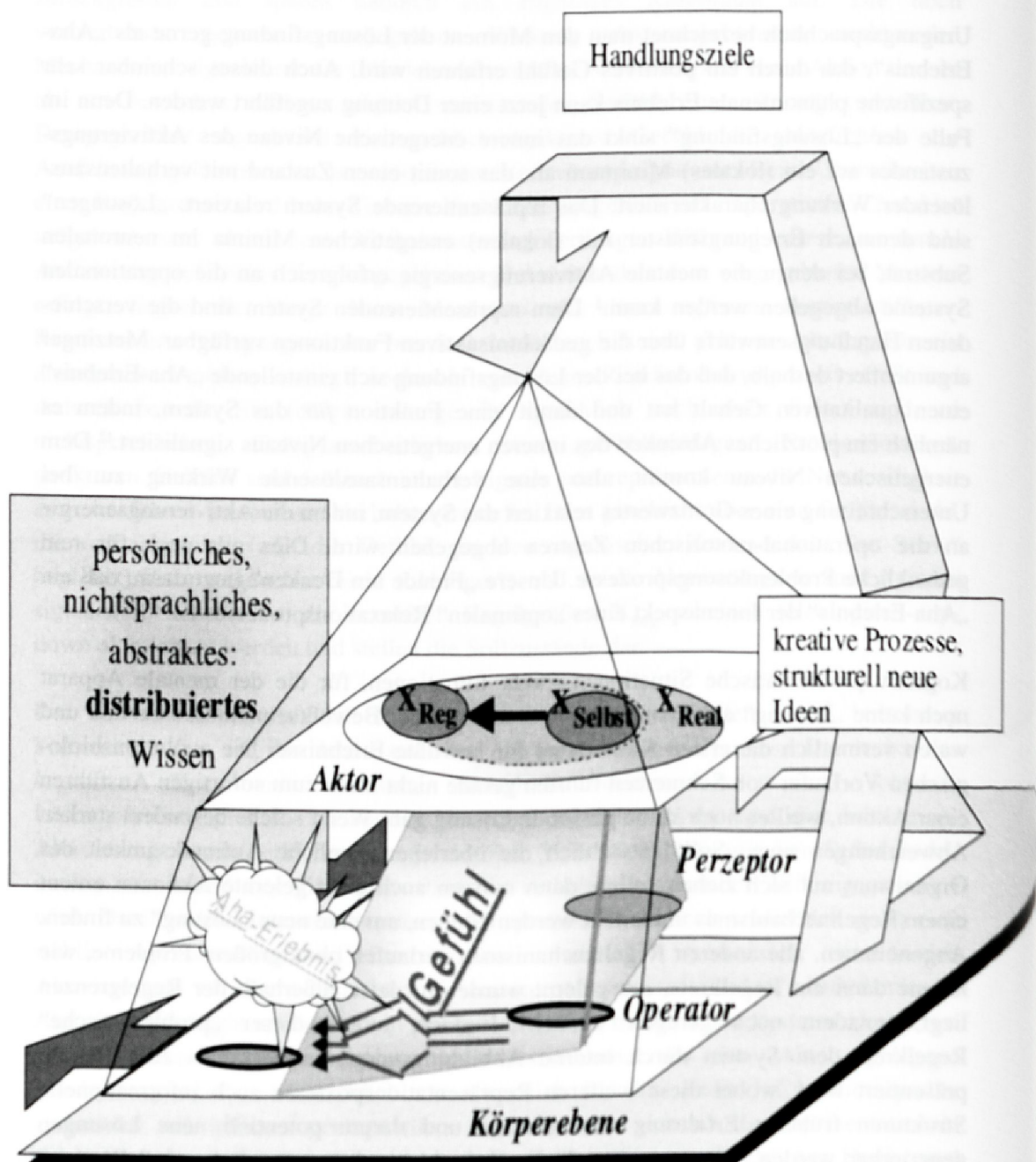


Bild 2.15 Lösungsgenerierung und „Aha-Erlebnis“ im kognitiven Kontinuum.

Wo liegt jetzt aber die Entscheidungsfindung und welche Rolle spielen dabei die Gefühle? Tatsächlich stellt sich aus den äußeren und inneren Inputs eine repräsentationale Gesamtsituation ein, in der mehrere Lösungen simuliert und durch die Gedächtnisfunktion verfügbar bleiben können. Dann muß aber dem Organismus eben dafür ein empfindliches Instrumentarium zur Verfügung gestellt werden, genau deren Differenz zu erfassen bzw. die bessere Lösung auszuwerten. Dies wäre aber *prima facie* Aufgabe einer *praktisch* gedeuteten Gefühlsfunktion, die für die anstehende Aktion „beste“ Lösung auszusuchen und den „Befund“ dieses Bewertungsprozesses dem repräsentierenden System in einer dispositiven Skala zu signalisieren, die nicht mehr zum sofortigen Ausführen der Handlung zwingt! Denn genau diese Information bekommt das repräsentierende System über das Gefühl mitgeteilt, das diese Lösung begleitet. Im konnektionistischen Modell entspricht diesem Gefühl das *energetische Niveau*. Gefühle sind also das Korrelat zur „Güte“ möglicher Problemlösungen. Ist das Gefühl immer noch „schlecht“, weil vielleicht überraschend neue Bedingungen auftauchen, müssen neue kognitiven Pläne gemacht werden:

What is needed is a cognitive process of rewriting plans, or for rearranging goal priorities, when the unexpected occurs. In short, we need to be able to create not just schematic models, but new pieces of cognitive structure in the form of plans that can be practised and improved, and of goals that will direct such plans.¹

Wenn im konnektionistischen System das „Bewußtsein“ über eine Meta-Repräsentationsfunktion erklärt werden kann, dann ist das dem einer Lösungsfindung entsprechende energetische Niveau eine Explikation für unser phänomenales Gefühlserlebnis. Versagt dieses Instrument, gehen die Aktionen zwangsweise daneben, was auf die Dauer verheerende Folgen für den Organismus hat. So ist es nicht verwunderlich, daß die internen Zustände der Lösungsfindung *belohnt* werden.² Diese „Belohnung“ ist der phänomenologische Aspekt eines von dem repräsentierenden System als Ganzem angestrebten inneren Systemzustandes. Er ist „optimal“ im Sinne von seiner evolutionsbiologischen Angepaßtheit, d.h. unsere Gefühle lassen sich (auch) als eine Anpassungsleistung eines evoluierenden Systems verstehen.

Wir haben bereits gesehen, daß interne Aktivierungsquellen für unser Bewußtseinserlebnis verantwortlich sind. Die Module des Gehirns können aus innerer Anregung in Aktion treten. So hat der Hirnforscher Benjamin Libet von der University of California in San Francisco gezeigt, daß eine willentlich erlebte Bewegung erst *dann*

¹ OATLEY, KEITH: On changing one's mind. in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O., S.380

² Das Belohnungssystem des Gehirns scheint für die Lernprozesse eine Rolle zu spielen, denn dadurch wird die Gedächtnisbildung erleichtert. Es läßt sich beim Menschen in dem für die Handlungsplanung und -durchführung zuständigen Präfrontalbereich lokalisieren. Faßt man dieses Belohnungssystem als energetischen Teilprozeß der Bewußtseins- und Lernfunktion des Gehirns auf, dann läßt sich vermuten, daß besonders die internen Zustände der Lösungsfindung und der erfolgreichen Handlungsdurchführung „belohnenswerte“ Zustände sind, weil in diesen Zuständen das Gehirn optimal relaxieren kann. vgl.: ROUTTENBERG, ARYEH: Das Belohnungssystem des Gehirns, in: Gehirn und Nervensystem, Heidelberg 1988, S.160-67

bewußt wahrgenommen wird, *nachdem* das neuronale Bereitschaftspotential zur Durchführung der Bewegung bereits aufgebaut ist.¹ In der hier vorgelegten Deutung heißt dies, daß implizite Wissensstrukturen sich kognitiv-zeitlich *vor der bewußt reflektierten Handlung aktivieren und organisieren!* Deshalb gipfeln unsere aus dem Unbewußten kommenden Handlungsentwürfe auch in jener gefühlsmäßigen *Befindlichkeit*, die *nicht direkt* zum Ausführen einer Aktion zwingt, sondern die dem repräsentierenden System in einem phänomenalen Gefühlserlebnis den möglichen Erfolg dieser Aktion signalisiert. Diese innere Gestimmtheit als integral erlebte Größe ist das Resultat eines Verrechnungsprozesses, der darüber entscheidet, ob unser „Ich“, unser mentales Modell von uns selbst in Ruhe bleibt oder in Aktion tritt. Unbewußte, implizite Handlungsstrukturen breiten sich bereits kognitiv-zeitlich *vor der bewußt reflektierten Handlung aus!*

In den dann noch nicht relaxierenden Aktivierungsstrukturen (Reflexionen), sinken die Details der Handlung zum bloßen Schatten herab. Angenommen, ein Teilschritt einer Handlung wurde erfolgreich durchgeführt. Das heißt, gewisse Regelgrößen wurden erfolgreich geregelt. Das heißt wiederum, daß jetzt entsprechend weniger Aktivierungsenergie zur Regelung der noch ausstehenden Regelgrößen erzeugt wird. Der damit erreichte „bessere“ Systemzustand erzeugt aber auch insgesamt ein „besseres“ Gefühl. Die Entwicklung dieses Gefühls erleben wir durch die gedächtnisaktiven Funktionen. - Dadurch wird schließlich aber auch erklärbar, daß eine Handlung, die zu „verunglücken“ droht, ein immer schlechteres Gefühl erzeugt. Denn dann fallen immer *mehr* (statt weniger) zu regelnde Größen an.

Die phänomenal erlebten, d.h. dem mentalen Selbstmodell X_{Selbst} signalisierten Befindlichkeitswerte des kognitiven Kontinuums der intentionalen Handlung H_{Int} haben die Funktion der Kontrolle und Absicherung einer erfolgreichen Handlungsdurchführung. Ich habe zwei von Johnson-Liard und Oatley nicht genannten Befindlichkeiten aus systematischen Gründen ergänzt und mit einem Stern markiert. ²	
Wohlgefallen, Wunsch	Widerwillen, Ekel
[Interpretation von Wahrnehmungsdaten für die Handlung bzw. aktivierbare Ziele]	
Harmonie* [Ziele konsistent] -	Angst [Zielkonflikt]
[Aufbau eines Handlungszieles und Einordnung in Zielsystem]	
Glück [Fortschritt auf Ziel] -	Ärger [Aktion blockiert]
Freude* [Ziel erreicht]	Trauer [Ziel verpaßt]
[erfolgreiche / nicht erfolgreiche Durchführung der Handlung auf Ziel hin]	

Tabelle 1: Anthropologische Befindlichkeitsfunktionen im kognitiven Kontinuum

¹ vgl. KLIVINGTON, KENNETH A.: *Gehirn und Geist*. Heidelberg Berlin New York 1992, S. 15

² vgl. JOHNSON-LAIRD, PHILIP N.; OATLEY, KEITH: *Basic Emotions, Rationality, and Folk Theory*, in: *Cognition and Emotion*, East Sussex UK 1992, 6 (3/4), S. 206

2.5.3 Symbole, Ideen und Wirklichkeit: das *Animal Symbolicum*¹

Begriffe sind mentale Repräsentationen, durch die operationale und perzeptuelle Strukturen in Wechselwirkung gesetzt werden. Durch den Rückgriff auf bereits gemachte Erfahrung (auf distribuierte Wissenskontexte) wird es möglich, günstige Voraussetzungen zur Generierung neuer kognitiver Strukturen zu schaffen. Zu einem Ensemble zusammengestellte und erfolgreich angewendete mentale Modelle werden durch die Prozesse des Lernens zu einem hierarchisch höherstehenden mentalen Modell, einem *Symbol* oder einem *Begriff* organisiert.² Symbole sind mediatisierte, im sozialen Handlungssystem kommunizierbare Zeichen für Begriffe. Durch den aus der internen Aktivierungsquelle resultierenden Antriebsüberschuß werden wahrscheinlich ständig „unerledigte“ mentale Modelle erzeugt, die nicht relaxieren können. Darin scheint das Wesen der menschlichen Reflexion zu liegen. Die mentale Funktion des reflektierenden Simulierens mit mentalen Modellen scheint darin zu liegen, „abstrakte“, hierarchisch organisierte mentale Strukturen, die Symbole zu generieren.³ Mit solchen Modellstrukturen werden unsere Weltbilder aufgebaut. Philosophen haben diesen Prozeß seit Platon die *Ideen* genannt. Immanuel Kant hat den sich selbst organisierenden, kognitiven Prozeß dieser für den Menschen so typischen mentalen Funktion treffend gekennzeichnet, wenn er sie regulative Ideen nennt, die die Grenze aller Erfahrung übersteigen, indem diese existentiell aufgebauten mentalen Modelle im kognitiven Kontinuum gegen energetische Minimalwerte konvergieren. Diese so

¹ Kuno Lorenz konzeptualisiert den Menschen - sich rückbeziehend auf u.a. Gehlen, Plessner, Cassirer, Camus, Kamlah - als „animal symbolicum“. Er geht von der Existenz von „dialogischen Elementarsituationen“ aus, durch die der Mensch sich handelnd (pragmatisch) und gestaltend (semiotisch) entwickelt. Vgl. **LORENZ, KUNO**: a.a.O.

² „Dadurch schließen sich verschiedene Klassen von Merkmalsdetektoren zu Ensembles, zu Gruppen, zusammen, die sich durch verstärkte erregende Wechselwirkung zwischen ihren Mitgliedern auszeichnen. Solche selektiv gekoppelten Ensembles besitzen eine Reihe interessanter Eigenschaften und können unter anderem Figur-Grund-Unterscheidungen durchführen. [...] Da diese aktivitätsabhängigen Selektionsprozesse ganz bestimmte Neuronengruppen auf Dauer miteinander assoziieren, kann man sie als Speichervorgänge auffassen, als Lernprozesse, die mittels struktureller Änderungen „Wissen“ über die statistischen Eigenschaften vorangegangener Aktivierungsmuster festhalten.“ aus: **SINGER, WOLF: Hirnentwicklung und Umwelt**, in: Gehirn und Kognition, a.a.O., S.62-64

³ Hier ein weiteres Beispiel für ein lautlich-phonetisches Aktions-Symbol-System: Meerkatzen verständigen sich beim Auftreten von Feinden (Adler, Leopard) jeweils in ganz unterschiedlicher Weise. Der Ruf, der den Adler ankündigt, läßt die Meerkatzen im Dickicht verschwinden, während der Ruf, der den Leopard ankündigt, sie gerade aus dem Dickicht herausholt und auf die Ebene oder in die Baumspitzen treibt. Zudem dient das Rufsystem der Meerkatzen auch zur Abwicklung aller sozialer Kommunikationsaufgaben (Partnersuche etc.): „Aus all diesen Gründen stehen wir zu der Auffassung, daß wir es mit einem System von symbolischen Signalen zu tun haben, welches nicht nur über die Klassen von Objekten Informationen vermittelt, sondern auch über die Beziehungen zwischen Individuen. Denn diese Tatsachen [...] stehen im Brennpunkt ihrer Aufmerksamkeit, und sie sind ungeheuer wichtig für Überleben und Fortpflanzung, gerade bei einer Tierart, bei der die Sozialität für das Befinden und die Aussichten des Einzelnen entscheidend ist.“ aus: **MARLER, PETER: Symbolik in Primatenlauten**, in: Scherer, Klaus R.; Stahnke, Adelheid; Winkler, Paul (Hrsg.): Psychobiologie. München 1987, S.318. - Daniel C. Dennett diskutiert gerade dieses Beispiel unter dem Aspekt, inwieweit Meerkatzen eine Art „vernünftiges Verhalten“ zugeschrieben werden kann. Dennett kommt zu dem Schluß, daß eine kausale Erklärung der Handlung *nicht im Widerstreit* steht mit der Annahme eines Vernunftgrundes. Dies stimmt mit der Sicht einer praktischen Anthropologie überein, die „Vernunft“ als eine Fähigkeit zu einer vorausschauenden Handlungsrepräsentation erklärt (siehe Kapitel 8). vgl.: **DENNETT, DANIEL C.: Intentionale Systeme in der kognitiven Verhaltensforschung**, in: Münch, Dieter (Hrsg.): Kognitionswissenschaft: Grundlagen, Probleme, Perspektiven. Frankfurt am Main 1992, S.343-86

generierten Ideen werden sich aber nur dann stabilisieren, wenn sie sich in einem ständigen Abgleich mit der Wirklichkeit durch erfolgreiches Handeln bewähren.¹

Der Cortex allgemein gleicht also, nach unserem Modell, weniger einer präzise vorprogrammierten Maschine als einem Netzwerk von diffusen, durch Aktivität veränderlichen Verbindungen. [...] Durch seine ausgiebige Selbstverkabelung arbeitet der Cortex als assoziativer Speicher. Seine volle Funktionsfähigkeit erhält er in der Auseinandersetzung mit der Umwelt: durch Koppeln gleichzeitig aktiver Zellen zu Ensembles, durch Stärken oder Schwächen der Verbindungen an plastischen Synapsen.²

Im Gehirn wird „Wirklichkeit“ durch erfolgreiches Handeln (Lernen aus Erfahrung) konstruiert. Untersuchungen an Split-Brain-Patienten (bei diesen Patienten ist die informationsleitende Faserverbindung zwischen den beiden Gehirnhälften weitgehend durchtrennt) haben gezeigt, daß die beiden Hälften aktiv und unabhängig voneinander Informationen verarbeiten und daß diese Informationen in Abhängigkeit des jeweils aktivierten Repräsentationskontextes ausgewertet werden. Informationen, die die nonverbale rechte Hemisphäre sehr wohl „korrekt“ auswertet, können dennoch zu vollkommen anderen sprachlich formulierten Hypothesen führen, weil die nonverbale Hemisphäre die tatsächlich wahrgenommenen Informationen der linken Hemisphäre gar nicht mitteilen kann. Es sei bemerkt, daß die Informationen des rechten Auges in die linke Hemisphäre gelangen und die Informationen des linken Auges in die rechte Hemisphäre. In einem Experiment wurden zur Analyse der unterschiedlichen Informationsflüsse der beiden Hemisphären von Split-Brain-Patienten jedem Auge unterschiedliche Bilder gezeigt, die aber wegen des Split-Brains nicht zusammen ausgewertet werden können. Ergebnis ist, daß das Gehirn *unbewußt* „fehlende“ Informationen durch „Arbeitshypothesen“, die das bewußte Selbst als solche gar nicht erkennt, ersetzt. Diese „Arbeitshypothesen“ (d.h. mentale Simulationen) veranschaulichen die dispositive Funktionalität impliziter Wissensstrukturen.³

¹ Die Neurophysiologie hat uns gelehrt, daß das Nervensystem einen engbegrenzten Bereich der Welt in Komponenten zerlegt, und daß diese extensiv in mehreren Transformationen intern repräsentiert werden. Die Zusammenfassung zur Einheit erfolgt nicht über einen Agenten, sondern konstituiert sich in der Aktion, die den Organismus bzw. sein Gehirn und die Umwelt in eine konsistente Beziehung zueinander bringen. Bewußtsein für diese Beziehung entsteht aus der Fähigkeit des menschlichen Gehirns, diese Wirklichkeit der ihm zugänglichen Welt und seine Aktion/Reaktion in dieser Welt in Symbolen sich selbst und anderen darzustellen. Die Fähigkeit zur symbolischen Selbstdarstellung beruht auf einer Leistung des Nervensystems. Doch sind diese Symbole selbst weder diese Leistung, noch das Nervensystem, noch die Welt selbst. Andererseits steht das Nervensystem mit der Welt dieser Symbole in Wechselwirkung, und über diese Symbole steht es ebenso wie über seine Aktion mit der realen Welt in einer ständigen Wechselwirkung. Wir haben die sensomotorische Aktion als äußere Informationsschleife bezeichnet, und die symbolische Interaktion als reflektive Informationsschleife. aus: CREUTZFELDT, OTTO: *Bewußtsein und Selbstbewußtsein als neurophysiologisches Problem der Philosophie*. in: Rössner, Hans (Hrsg.): *Reproduktion des Menschen. Beiträge zu einer interdisziplinären Anthropologie*. Frankfurt am Main - Berlin - Wien 1981, S.43

² BRAITENBERG, VALENTIN; SCHÜTZ, ALMUT: *Cortex: hohe Ordnung oder größtmögliches Durcheinander?* in: *Gehirn und Kognition*. Heidelberg 1990, S.194

³ vgl. GAZZANGIA, MICHAEL S.: *Das interpretierende Gehirn*. in: KLIVINGTON, KENNETH A.: a.a.O., S.204

Hier zeigt sich der durchaus ambivalente Charakter dieses Wissens. Erfolgreiches Handeln ist das einzige Mittel des repräsentierenden Systems zum Aufbau „wahrer“ Informationen über die Realität!¹ Wenn es stimmt, daß das Gehirn sich durch seine Aktionen in einem Prozeß der strukturellen, iterativen Verfeinerung hin zu „widerspruchsfreien“ Strukturen befindet, dann läßt sich dies durch einen Relaxationsprozeß von einem weniger stabilen Anfangszustand in einen stabileren Endzustand erklären. Damit „schwimmen“ unsere gegenwärtigen Gedanken, Vorstellungen und Intuitionen auf unserem iterativ aufgebauten Realitätsmodell, unserem Weltbild. Dieses Realitätsmodell ist aber fehlbar und bedarf ständiger Korrektur, wie die durch „menschliches Versagen“ herbeigerufenen Unglücksfälle zeigen.² Das Unglück von Tschernobyl ist, wenn man die unmittelbaren Ursachen betrachtet, zu hundert Prozent auf *psychologische* Faktoren zurückzuführen.³ Und zwar wurde der Reaktor, gefördert durch unseren Hang zum erfolgreichen Handeln, 'nicht mehr <<analytisch>>, sondern gewissermaßen <<intuitiv>>'⁴ betrieben. Über kritische Situationen hatte man aber keine praktische Erfahrung, nur theoretische Anweisungen. 'Theoretisches Wissen braucht keineswegs <<Handlungswissen>> zu sein.'⁵ Auch unsere angeborenen Schätzalgorithmen sind zwar für lineare Interpolationen noch gut geeignet, sie versagen aber bei allen nichtlinearen Aufgaben.⁶ Abhilfe verspricht hier nur ein durch Handeln aufgebautes, reiches analoges Realitätsmodell. Handlungswissen umfaßt eben auch die großen kognitiven Felder sicheren, unbewußten, impliziten Wissens im Schatten reflektierender Erkenntnis. Wirklich neue Ideen haben zunächst immer diese prototypische, vorsprachlich-bildhafte Struktur.⁷ Die Bedeutung eines Symbols wird durch dessen Gebrauch in einem zyklischen Prozeß generiert. Der Übergang von den Symbolen zur Sprache erfolgt dadurch, daß zunächst rudimentäre phonetische Symbole (z.B. für Symbole von Größe, Helligkeit, Stärke) durch ein evolvierendes Lautgebungssystem in neuere Strukturen der Lautgebungsgenerierung eingebettet werden.⁸

¹ Das Vorhandensein von Bewußtsein schließt eine rein pragmatische Deutung von Erkenntnis aus. Bewußtsein generiert ja gerade Mehrdeutigkeit und erzeugt im konnektionistischen System zunächst Instabilitäten; vgl. Kapitel 3.1.3 'Reflexion und Selbstbewußtsein: Inverse Semantik'.

² Im Februar 1993 hielt das NRW-Arbeitsministerium in Essen eine Fachtagung „Sichere Technik - Störfaktor Mensch!“ ab, in der auch der Störfall des KKW Three Miles Island thematisiert wurde. In kritischen Situationen ist einfach das Fehlen praktischer Erfahrung (= Realitätsmodell) der größte Risikofaktor. Vgl.: Arbeitspsychologen verlangen Gruppenarbeit als Basis für Sicherheit. **VDI Nachrichten** Nr.8, 26.2.93, S.14

³ DÖRNER, DIETRICH: a.a.O., S.48

⁴ a.a.O., S.55

⁵ a.a.O., S.51

⁶ Wenn der Ururgroßvater für uns vor 100 Jahren einen Pfennig für 6% Jahreszins angelegt hätte, wieviel Geld wäre dann heute verfügbar? Im allgemeinen schätzen wir linear, die Zinseszins-Funktion verläuft jedoch exponentiell. Vgl. VOLLMER, GERHARD: **Das alte Gehirn und die neuen Probleme**. in: ders.: Was können... Bd.1. a.a.O., S.116-65. / Das Guthaben betrüge ca. DM 338.000,-

⁷ vgl. HALLPIKE, CHRISTOPHER R.: **Die Grundlagen primitiven Denkens**. München 1990, S.51

⁸ vgl. a.a.O., S.476

3 SPRACHE, KREATIVITÄT UND TECHNIK

Der innerste Kern jeder echten und wirklichen Erkenntnis ist eine Anschauung; auch ist jede neue Wahrheit die Ausbeute aus einer solchen. Alles Urdenken geschieht in Bildern: darum ist die Phantasie ein so notwendiges Werkzeug desselben [...]¹

3.1 Sprache: ein praktisches Repräsentationssystem

Wie können wir gesprochene oder geschriebene Sprache verstehen? Offensichtlich, weil über die Leistungen des phonetisch-syntaktischen Kommunikationssystems es möglich ist, daß bei einem Hörer oder Leser dieselben oder doch ähnlich mentale Modelle, Symbole, Ideen aktiviert werden wie beim Sprecher oder Schreiber. Ihr großer Vorteil gegenüber den schon besprochenen analog-bildhaften Wissensrepräsentationen liegt darin, daß sich im sprachlichen Laut bedeutend globalere mentale Modelle bilden lassen, in denen die Erfahrung eines kompletten sozialen Handlungssystems verankert sein kann. Menschliches Handeln erfährt dadurch eine erste multiplikative Verstärkung. Befindet sich der Sender und der Empfänger in ein und derselben Person, dann wird eine weitere, vielleicht die bedeutendste Funktion der Sprache deutlich: nämlich die Funktion als Stütze des Denkens, als *Instrument und Medium mentalen Agierens*, dem zweiten multiplikativen Verstärkungsfaktor. Wahrscheinlich spielt sich die Entstehungsgeschichte der Sprache so ab, daß sich in kladogenetisch neu entstehenden Gehirnregionen zusätzliche sensomotorische Steuerungsstrukturen entwickeln. Einige davon betreffen zunächst rein affektive, motorischen Lautgebungsmechanismen. Erst später, mit der Generierung der Regelmäßigkeiten zwischen diesen lautlichen und den tatsächlichen Handlungen erwächst dem Laut langsam seine handlungsbezogene Bedeutung zu. So werden durch solche am Anfang noch bedeutungslosen Laute dynamisch koordinierte, soziale Handlungssysteme aufbaubar: Die Entstehung der Sprache liegt in der sozialen Gemeinschaft. Sprache ist aus Situationen heraus entstanden, die *kognitiven Problemcharakter* haben, sie setzt auf den *symbolisch organisierten Unterbau* der Handlung auf. Sprache ist das Mittel der *Über-Legung* (ein „Schichten“ und „Legen“ von Symbolen) und generativer Lösungsfindung, entlastet von dem augenblicklichen Druck, sofort zu handeln und stiftet in kognitiven Problemsituationen symbolische Übersicht. Durch Sprache wird unser zunächst implizites Wissen explizit; der Weg zu einer *inversen Semantik* ist geebnet. Sprache – als *rückgekoppeltes Aktivierungssystem* gedeutet – ermöglicht den Weg zum Selbst.

Insgesamt finden wir drei Perspektiven sprachlicher Repräsentation vor:

- a) Biologisch-motorische Sprachursprünge, lautlich-phonetische mentale Modelle in einem übergeordneten Repräsentationsmedium (Kap. 3.1.1).
- b) Kommunikationsfunktion im sozialen Gefüge (Kap. 3.1.2).
- c) Sprache, Denken und Selbstbewußtsein: Inverse Semantik (Kap. 3.1.3).

¹ SCHOPENHAUER, ARTHUR (HRSG.: LÖHNEISEN, WOLFGANG FRHR. VON): *Die Welt als Wille und Vorstellung*. Bd. 2. Frankfurt am Main ²1989, S. 96f

3.1.1 Anthropologische Grundlagen der Sprache

α) Kommunikatives Verhalten: Signal und Symbol

Die internen Systembedingungen eines lebenden Organismus sind hochkomplex, weitaus komplexer, als die auf den Organismus einwirkenden äußeren Kräfte. Für die ersten einzelligen und mehrzelligen Lebewesen werden äußere Systembedingungen überhaupt erst relevant, wenn diese Organismen durch eine eigene Fortbewegung gezielt „optimierte“ äußere Bedingungen aufsuchen können (nährstoffreiche Umgebung etc.). Auch die Reptilien kommunizieren wenig. Für sie ist die ganze Welt relativ bedeutungslos. Bedeutungen werden durch schlagartig wirkende Schlüsselreize erzeugt und die dann erwachten Angelegenheiten möglichst schnell geregelt. Am Beginn der Menschwerdung - vor ca. $3\frac{1}{2}$ Millionen Jahren - steht vermutlich ein Kommunikationssystem, das mit den Systemen heutiger Primaten verglichen werden kann. Bei einer Gruppenstärke von 30 bis 40 Mitgliedern ist es auf visuelle Signale ausgerichtet. Beispielsweise signalisiert bei Gorillas das dominante Männchen seiner Gruppe einen Ortswechsel, indem es mit gespreizten Beinen reglos stehenbleibt und in eine bestimmte Richtung blickt. Die Gruppenmitglieder sind im Umkreis nicht mehr als 30 Meter entfernt und stehen im ständigen Blickkontakt zum dominanten Männchen. Sie scharen sich dann um es, so daß der ganze Trupp ein Stück weiter auf seiner Tagesroute rücken kann. Diese visuellen Signale werden später durch intentionale Zurufe ersetzt. Denn es bilden sich evolutionsbiologisch in mehreren kladogenetischen Schüben sprunghaft steigende neuronale Steuerungsstrukturen aus, die u.a. die Lautgebung betreffen. Die Lateralisierung von Gehirnfunktionen, also die nachträgliche Spezialisierung von einst durch kladogenetische Prozesse neu entstandenen Gehirnregionen ist in der Natur durchaus keine Seltenheit:

In passerines and songbirds such as the canary or chaffinch there is a striking functional asymmetry in the control of song by the male (the female usually does not sing). Thus song is largely mediated by the left side of the brain, just as is the case with human speech, as evidence by surgery at different stages of song development.¹

Durch diesen theoretischen Ansatz öffnen sich neue Perspektiven für schon länger diskutierte Phänomene wie Sprache, Feinmotorik, Evolution des Werkzeuggebrauchs, visuelles Erkennen. In Gang gebracht wurde diese Diskussion durch die Arbeit von Doreen Kimura und Yvonne Archibald, die experimentell die Motorfunktionen der linken Hemisphäre nachweisen.² Sie arbeiten die Aktionsbezogenheit des neuronalen Prozesses heraus und bestätigen, daß mentale Vorstellungen nur zusammen mit den entsprechenden Handlungen möglich sind, die solche Vorstellungen beinhalten können. Angetrieben durch die neuronale Aktivität der internen Aktivierungsquelle relaxiert das repräsentierende System hauptsächlich über Bewegungen, die kommunikative Bewegungen sind.

¹ vgl. BRADSHAW, JOHN L.: Animal asymmetry and human heredity: Dextrality, tool use and language in evolution - 10 years after Walker (1980), in: British Journal of Psychology (1991) 82, S.41

² vgl. KIMURA, DOREEN; ARCHIBALD, YVONNE: Motor functions of the left hemisphere, in: Brain (1974) 97, S.337-50

It has been proposed, therefor, that the left hemisphere has control over certain motor functions which *happen* to lend themselves readily to communication. Given that a motor act is so used, its symbolic function in a non-communication situation may be a fortunate by-product. Our findings lend credence to suggestions that the evolution of tool-using, gestural communication, and speech are closely related.¹

Schließlich werden durch bottom-up gerichtete, entdeckende Bildung neuer Kategorien mentale Modelle zu Symbolen zusammengefaßt, die mentale Orientierungspunkte zur Organisation der Aktion sind. *Australopithecus* hat die Savanne als neuen Lebensraum gewonnen, der über die spontane (im symbolischen Sinn) Nutzung phosphorreicher Nahrungsquellen das Gehirnwachstum forciert. Damit wird die Entwicklung zu *Homo habilis* und zum Ausbau sozialer Strukturen ermöglicht, des fürsorglichen Verhaltens auf der Basis eines reziproken Altruismus. Damit sind die Voraussetzungen für die vermehrte Produktion von Nachkommen und für die Entwicklung der Gattung *Homo* gegeben. Auf der kognitiven Ebene wird dieser Prozeß ermöglicht durch die Spezialisierung der Hemisphären, die schon bei gleicher Gehirnkapazität eine größere Leistungsfähigkeit erzeugt.

The left hemisphere (LH) of the brain may be specialized for learning discriminatory behaviours, sensory and motor, upon which communication was grafted, perhaps on more than one occasion, and which may have left a residual mediation by the right hemisphere (RH) of emotional and spatial behaviours. Indeed, largely similar computational machinery on opposite sides of the brain can subserve both spatial processing and communication.²

Durch diese Fortschritte in der sozialen Etappe der Menschwerdung wird die soziale Intelligenz ausgebaut ('Machiavellian intelligence'), bei der sozial vorausschauendes, einsichtiges Verhalten durch die vermehrte Produktion von Nachkommen belohnt wird. Die Entstehungsgeschichte der Sprache beginnt, indem zunächst rein affektiv, zufällig entstehende Laute erzeugt werden, deren Aktivierung von kladogenetisch neu entstehenden Gehirnarealen ausgeht (den späteren „Sprachzentren“). Diese Laute werden erst dann zum *Signal*, wenn über einen entsprechenden *Empfangsapparat* mit diesen Lauten eine *beobachtbare Verhaltensstruktur* assoziativ verknüpft werden kann. In unserem Beispiel wird das visuelle Signal des dominanten Männchens durch ein lautliches Signal ersetzt, das zunächst nur affektiv das visuelle Signal begleitet: Aus einem unwillkürlichen Ausruf wird dann ein intentionaler Zuruf. Ein zunächst affektiver Laut bekommt so eine handlungstheoretisch begründbare *Bedeutung* zugeordnet. Der Laut wird *interpretiert*, indem mit ihm verschiedenste mentale Modellstrukturen verbunden werden können, mit denen beispielsweise das Handeln in der sozialen Gruppe erfolgreich steuerbar wird: Der Laut wird zum *Symbol*. Manipulationen dieses Lautes verursachen einen Bedeutungswandel des Signals, wenn beispielsweise durch einen geänderten Umgebungsreiz - wie das Auftauchen eines Freßfeindes - der lautlich signalisierte Ortswechsel zu einer Flucht wird. Diese Entwicklung hat sich bei unseren Vorfahren, die aus dem sicheren Wald in die gefährliche Savanne zogen, etwa in dieser Art ereignet.

¹ a.a.O., S.349

² BRADSHAW, JOHN L.: The evolution of human lateral asymmetries: new evidence and second thoughts, in: *Journal of Human Evolution* (1988) 17, S.615

β) Feinstmotorische Bewegungssteuerung: mentale Voraussetzung zur Lautbildung

Im Zuge der Entstehung der Werkzeugkultur haben sich unsere neurophysiologischen Steuerungsstrukturen hin zur Kontrolle feinstmotorischer Bewegungen entwickelt. Handlungstheoretische Strukturen der Werkzeugtechnologie und der Sprache sprechen für eine gemeinsame kognitive Basis, da beides im wesentlichen eine Abfolge von mental hochorganisierten motorischen Strukturen ist.¹ Dies wird zudem durch die Hemisphärenspezialisierung unterstützt, die insgesamt eine Leistungssteigerung des Gehirns schon bei gleichbleibender Gehirnmasse bewirkt.² Denn neben der soziologischen Seite der Sprache³ 'pflegt [man] doch die *motorische* Seite zu übersehen, die die Sprache nun einmal hat. Von daher gesehen, sind Sprachäußerungen in erster Linie Bewegungen wie alle anderen, und sie sind durchaus in andere Bewegungsarten transformierbar, wovon die Taubstummenerziehung Gebrauch macht.⁴ Gehlen nimmt hier einmal mehr aktuelle Überlegungen der Split-Brain-Forschung vorweg. Besondere Fortschritte in unserem feinmotorischen Bewegungsvermögen wurden durch Spezialisierung erzielt, wie Nicholas Toth zeigt. Toth weist auf der Basis empirischer Untersuchungen über die Abschlaggeometrien von Faustkeilen nach, daß die Spezialisierung hier in einer Verlagerung der Steinwerkzeugherstellung auf die rechte Hand bestand. Dies aber setzt Steuerungsstrukturen im Gehirn voraus, *die auch zur lautlichen Gestaltung von Ausdrücken verwendet werden konnten:*

The evidence reviewed here suggests that right-handedness, tool use, and the development of left-hemispheric brain mechanism associated with language may go back to the hominids of 2 or 3 million years ago. [...] The link between right-handedness and the left-cerebral control of speech has often been a matter of speculation. Some have argued that right-handedness came first, establishing a left-cerebral platform for the representation of speech.⁵

Man kann, wie Michael C. Corballis dies zeigt, die verschiedenen Sprachentstehungstheorien gegenüberstellen. Nach einer ersten Gruppe von Theorien geht Sprache aus Motorik hervor: etwa aus Gestik, aus Jagdfertigkeiten wie Werfen, oder allgemeiner aus einer manipulatorisch geschickter werdenden Hand. Nach einer zweiten Gruppe von Theorien tritt die manipulatorische Geschicklichkeit erst als Nachfolge der Spezialisierung auf die Sprache auf. Dann hätte der Selektionsdruck zunächst die Kommunikationsfunktion gefördert, indem gelernt wurde, den schon besprochenen affektiven Lautgebunden eine handlungsbezogene Bedeutung zu geben.

¹ vgl. LEWIN, ROGER: *Spuren der Menschwerdung. Die Evolution des Homo sapiens*. Heidelberg 1992, S.149

² vgl. ECCLES, JOHN C.: a.a.O., S.345

³ Eccles bezieht sich bei seiner Charakterisierung der Sprache auf die von Karl Bühler beschriebenen drei Sprachebenen: a) die expressive, den emotionalen Zustand repräsentierende Ebene (affektive Lautgebung); b) die Signalebene eines Vorrates zwischen Sender und Empfänger vereinbarter Signale; c) die darstellende Ebene, deren Interpretationsrahmen durch die damit verknüpfte Intention gesteckt wird (kreativ entworfene, mental simulierte Aktionen).

⁴ GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.193

⁵ CORBALLIS, MICHAEL C.: *Laterality and Human Evolution*, in: *Psychological Review* (1989), Vol.96, No.3, S.498

Wir werden zunächst der ersten Theoriegruppe nachgehen, um dann einen Syntheserversuch beider Theoriegebilde zu geben. Inzwischen sind genügend Steinwerkzeuge gefunden worden, die solche feinstmotorischen Steuerungsstrukturen indirekt bestätigen. So ist mit *Homo habilis*, dem „Geschickten“, unser erster Vorfahre vor gut 2 Millionen Jahren entstanden, dem die Gattung „Mensch“ zuerkannt wird. Seine Schädelkapazität hat sich gegenüber seinen Vorfahren, den Australopithecinen (diese haben eine mit den Schimpansen vergleichbare Gehirnkapazität), durch eine Kladogenese um nahezu 50% erhöht. Auch scheint das Gehirn strukturell neu organisiert zu sein, und erstmals werden die Sprachregionen nachweisbar:

The occurrence of both a strong inferior parietal lobule and a prominent motor speech area of Broca in the endocasts of *H. habilis* represents the first time in the history of the early hominids that the two most important neural bases for language abilities appear in the paleoneurological record.¹

Entsprechend zu den Sprachregionen müßte sich auch der Lautbildungsapparat entwickelt haben. In dieser Hinsicht scheint *Australopithecus* noch mit einem dem Schimpansen ähnlichen Sprechapparat ausgerüstet zu sein. Charakteristisch für den Menschen ist der besonders tief liegende Kehlkopf, der erst die Fülle menschlicher Vokalisation ermöglicht. Für den Nachfolger der Australopithecinen, *Homo habilis*, liegen leider kaum Fossilien mit erhaltener Schädelbasis vor. Etwas besser sieht es aber für dessen Nachfolger *Homo erectus* aus, der vor ca. 1 Million Jahre gelebt hat:

Die Position des Kehlkopfes dürfte der eines achtjährigen Menschen entsprochen haben. Erst als der archaische *Homo sapiens* vor rund 300 000 Jahren erschien, trat das moderne Muster auf. Dies verweist auf die gesamte Lautäußerungspalette des heutigen Menschen als Potential.²

Unsere Fähigkeit zu feinmotorischen Steuerungen und Handlungen scheinen deshalb in enger Beziehung zu unserer Sprachfähigkeit zu stehen. Und zwar, weil feinmotorische Steuerungen unserer arbeitenden Hand und unser sprachliches Artikulationsvermögen dieselben oder doch ähnliche sequentielle Steuerungsstrukturen und Prozesse gebrauchen, die im Laufe unserer Evolution in der linken Gehirnhälfte herausgebildet wurden:

Möglicherweise boten die evolutionären Vorteile, die sich durch die Entwicklung einer manipulatorisch geschickten Hand ergaben, auch noch eine äußerst nützliche Grundlage für ein neuartiges Kommunikationssystem, das sich zunächst auf Gebärden mit der rechten Hand beschränkte, aber später auch die Sprechmuskulatur zu nutzen begann. Als Folge davon erwarb die linke Hemisphäre praktisch das Monopol der Kontrolle über die motorischen Systeme, die am sprachlichen Ausdruck - sei es Sprechen oder Schreiben - beteiligt sind.³

¹ TOBIAS, P.V.: The brain of *Homo habilis*. A new level of organization in cerebral evolution, in: Journal of Human Evolution (1987) 16, S.753

² LEWIN, ROGER: a.a.O., S.149

³ SPRINGER, SALLY P.; DEUTSCH, GEORG: Linkes - rechtes Gehirn. Funktionelle Asymmetrien. Heidelberg ³1990, S.196

Warum gerade die linke Gehirnhälfte? Zwei Gründe lassen sich derzeit benennen: Erstens ist inzwischen der empirische Nachweis gelungen, daß unsere noch sprachlosen Vorfahren Rechtshänder waren. Dies läßt sich an der Struktur des Steinwerkzeuggebrauchs nachweisen: die Form der Abschlüge ist hier das eindeutige Indiz für die Rechtshändigkeit.¹ Zweitens: Die ersten Menschen betraten vor 2 Millionen Jahren bereits aufrecht die Welt:

Für die Entstehung des aufrechten Ganges steht nach den neueren Fossilbelegen mehr als die zehnfache Zeitspanne zur Verfügung wie für die Entwicklung des großen Gehirns. Der Mensch war bereits Läufer, bevor er richtig zum Menschen geworden ist. Die zweibeinige Fortbewegung entpuppt sich als notwendige Voraussetzung für die Entwicklung des Hochleistungsgehirns.²

Warum aber waren unsere Vorfahren Rechtshänder? Verfolgen wir das Schicksal der Menschen als Läufer etwas weiter. Um ausdauernd laufen zu können, verloren sie das Fell. Aber die Kinder mußten ja mit: in der inzwischen arbeitsteiligen Kernfamilie kümmerte sich der Mann um die Nahrungsbeschaffung und die Frau um die Kinder. Wie machte sie das? Das kleinste Kind wurde auf dem Arm getragen. Und zwar auf dem linken, weil die Herztöne der Mutter offensichtlich beruhigend auf das Kind wirken. Alle Mütter der Welt nehmen auch heute noch ihr Kind auf den linken Arm. Damit waren zwei Vorteile gewonnen: Die rechte Hand war frei zum Arbeiten, Essenzubereiten und Hantieren und die Mutter konnte sich der Erziehung des Kindes widmen, ihm in Lautgesten die Welt „erklären“. Nach wie vor sind Frauen den Männern sprachlich und in feinmotorischen Aufgaben im Durchschnitt überlegen, während Männer Vorteile durch ein besser ausgeprägtes räumliches Simulationsvermögen haben, wie es beispielsweise für die großräumige Orientierung bei Jagden oder auch für die kreative Erfindung völlig neuer Werkzeuge notwendig ist (rechte Hemisphäre).³ Wir sind demnach doch „Muttersprachler“!⁴ Damit haben wir einen *sozialen* Aspekt (Essenzubereiten, Erziehung) und einen *technologischen* Aspekt (räumliche Orientierung, Werkzeugerfindung) für die Lateralisierung des Gehirns und die Entstehung der Sprachregionen gefunden. Damit ist eine Synthese der beiden Theoriegruppen (die „Motoriker“ und die „Kommunikatoriker“) gefunden: Sprache entsteht im sozialen Handlungssystem durch eine problemorientierte Verknüpfung motorischer und kommunikativer Repräsentationsstrukturen auf einer mental höheren Ebene. Dafür könnten die im selben Zeitraum evolutiv (durch kladogenetische Gehirnmassezunahme) entstehenden Sprachzentren den notwendigen „Repräsentationsraum“ zur Verfügung stellen. Genauer gesagt, werden solche neue Fähigkeiten schon herausgebildet, ohne daß bereits darauf ein evolutiver Druck stünde. Dazu sind die historischen Zeitspannen zu kurz. Vielmehr werden solche Fähigkeiten immer in einer Zeit herausgebildet, in der sie zunächst keine zusätzlichen Risiken bergen.

¹ vgl. TOTH, NICHOLAS: Die ersten Steinwerkzeuge. in: Spektrum der Wissenschaft, 6/1987, S.124-34

² REICHHOLF, JOSEF H.: Das Rätsel der Menschwerdung. Die Entstehung des Menschen im Wechselspiel mit der Natur. Stuttgart 1990, S.131

³ vgl. KIMURA, DOREEN: Weibliches und männliches Gehirn. in: Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992, S.104-13

⁴ vgl. ZIMMER, DIETER E.: So kommt der Mensch zur Sprache. Über Spracherwerb, Sprachentstehung und Sprache & Denken. Zürich 1988, S.178f

7) Intentionen und Modifikatoren: anthropologische Grundlagen der Sprache

Drei Aspekte sind in den nun folgenden Überlegungen zu betrachten. Erstens werde ich versuchen, die kreative Bildung symbolisch-bildhafter, mentaler Modelle am Beispiel von rein anschaulich synthetisierten Problemlösungen (Steinwerkzeuge sind nur ein mögliches Beispiel) als die erste wichtige Voraussetzung zur Sprachentstehung zu charakterisieren. Dies wird in diesem Kapitel getan. Der nächste Aspekt ist die Kommunikation, die „Auswicklung“ dieses noch persönlichen Wissens im sozialen Handlungssystem, so daß es interpersonal rekonstruierbar und damit expliziert wird. Damit wird es möglich, darin die Erfahrung des gesamten sozialen Handlungssystems symbolisch zu repräsentieren. Dieser kommunikative, darstellende Aspekt der Sprache wird im nächsten Kapitel 3.1.2 besprochen. Der dritte Aspekt ist die Rolle der Sprache als Stütze des Denkens, der Voraussetzung zum Aufbau unseres eigenverantwortlich handelnden Selbst (Kap. 3.1.3). Der Übergang von einem Aspekt zum nächsten bewirkt eine Verstärkung des menschlichen Handlungsvermögens um insgesamt zwei multiplikative Faktoren.

Gehen wir den Gang der bisherigen Argumentationslinie weiter. Mit *Homo erectus* begeben sich unsere Vorfahren erstmals auf Wanderschaft, wahrscheinlich mit Großtierherden. Das Transportproblem (auch zur Mitnahme der Kinder) wird durch die Erfindung von Tragehilfen gelöst. Korreliert man die dadurch gewonnene Mobilität mit dem wandernden Großtierbestand in Ostafrika (im Gegensatz zu den ortsfesten Großtieren), dann hat sich seine „ökologische Umweltkapazität“ und in entsprechender Weise sein Bestand vermutlich verzehnfacht.¹ Buschbrände breiteten sich von Zeit zu Zeit aus. Im triebhaft gesteuerten Verhalten bedeutet dies noch Flucht. Bei *Homo erectus* hingegen können wir ein Kombinationsvermögen vermuten, 'das die ursächlichen Zusammenhänge von Feuer, Richtung und Wind durchschaut.'² Er entdeckt im Feuer verendetes Wild und stellt durch Neugier fest, daß das gebratene Fleisch essbar ist und zudem einfacher zu verdauen. Außerdem lernt er, daß gebratenes Fleisch dauerhaft haltbar ist und die Gefahr von Fleischvergiftung nimmt rapide ab. Resultat ist, daß die Essenzubereitung damit effektiver, aber auch komplizierter wird. Dies erfordert eine weitergehende Kategorisierung der Welt, das zum Aufbau eines immer umfangreicher werdenden Weltbildes führt, wie es ja auch für die mobile Wanderschaft mit den Großtieren notwendig ist. Durch die Nutzbarmachung des Feuers gewinnt er insgesamt eine ungeheuere Mobilität und eine Vergrößerung verfügbarer Freizeit, die er zur Weiterentwicklung der Werkzeuge nutzt.

Doch am Anfang gab es keine Wörter. Anscheinend ist die Sprache in der Evolution erst aufgetreten, nachdem die Vorfahren des Menschen nicht nur fähig geworden waren, Handlungen zu planen und einzuordnen, sondern auch mentale Repräsentationen von Objekten, Ereignissen und Beziehungen zu bilden und zu kategorisieren.³

¹ vgl. REICHHOLF, JOSEF H.: a.a.O., S.174f

² a.a.O., S.177

³ DAMASIO, ANTONIO R.; DAMASIO, HANNA: Sprache und Gehirn, in: Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992, S.80

Aus mentaler Sicht entsteht sein Weltbild vor dem Hintergrund räumlicher, analog-bildhafter Repräsentationsstrukturen. Die Problemlösung für das „Durchschauen“ des Raum-Zeit-Systems „Wind + Feuer“ kann durch mentale Simulation generiert werden, indem das *zukünftige Verhalten* des Systems „Wind + Feuer“ simuliert wird. Dazu werden in einer analogen, internen Umgebungslandkarte Simulationen mit einem mentalen Modell des Feuers durchgeführt, um aus diesen Randbedingungen einen gangbaren Weg hin zu möglichen Nahrungsquellen zu generieren. Charakterisiert man die räumliche Struktur dieser Problemlösung näher, so sieht man, daß sie aus einer euklidischen Figur besteht. Die interne Landkarte kann durch die in Kapitel 2 schon beschriebenen Lernprozesse aufgebaut sein, und es muß nur noch die „Feuerfront“ als mentales Modell korrekt simuliert werden. Als eine mögliche Problemlösung wird diejenige räumliche Struktur generiert, die innerhalb dieser durch die mentalen Modelle gebildete Energielandschaft einen Minimalwert darstellt. Tatsächlich können für denselben Zeitraum auch erste Problemlösungen in der Herstellung von Steinwerkzeugen nachgewiesen werden, die eine solche vorstellungsmäßige, geometrisch komplett generierte Struktur aufweisen. Dies sind die ersten Klingenwerkzeuge, die *Homo erectus* vor ca. 1,2 Millionen Jahren vermutlich zum Öffnen von Tierleibern herstellt:

By 1.2 million years ago, however, we do have evidence of something more sophisticated. Even though we have little direct evidence other than stone tools, the tools suggest that the hominids could organize an *external*, non-ego-centered world in a coherent fashion. There must have been a concept of artifact as separate from ego's action [...] There is no reason to suppose that such shared, external world extend only to tools. It could well have included kinship (though not complex systems) and long-range, *planned* foraging.¹

Die von Thomas Wynn angesprochenen geplanten Handlungen betreffen zunächst bildhaft-analoge Repräsentationen von Objekten, auch wenn diese nicht gerade im Gesichtsfeld liegen. Durch die sprachlichen Signale können jetzt solche bildhaften Vorstellungen aktiviert werden, wenn in einem vorangegangenen Lernprozeß diese Bilder assoziativ mit den entsprechenden Lauten verknüpft wurden. So könnte ein Tiger in der Ferne etwa ein „wa-hu!“ auslösen.² Wie bei dem Problem mit dem Feuer muß dies aber nicht sofortige Flucht zur Folge haben, denn der Tiger könnte auch ein gutes Stück eines gerade erlegten Wildes zurücklassen. Eine solche Situation verlangt jetzt ein plan- und kommunizierbares Vorgehen der Gruppe, etwa mit Lauten der obigen Struktur. Ein sprungbereiter Tiger in der Nähe allerdings wird einen anderen Ruf evozieren, etwa ein emotional unterstrichenes „wa-hi!“, das seiner Geschichte nach wohl aus einem zur Flucht auffordernden intentionalen Ruf entsteht. Diese Endungen „-hu“ und „-hi“ bilden die ersten *Modifikatoren* solcher intentionaler Rufe. Im obigen Beispiel nehmen sie die Bedeutung von „nah“ und „fern“ an. Im nächsten Schritt werden diese Endungen vom ursprünglichen Ruf abgetrennt und mit der gleichen Bedeutung auf andere Rufe übertragen.

¹ WYNN, THOMAS: *The Evolution of Spatial Competence. Part I: The Evolution of Intuitive Geometries. Part II: The Evolution of Intelligence*. Illinois (USA) 1989, S.97f

² Ich beziehe mich bei diesem Ausdrucksbeispiel auf JAYNES, JULIAN: *Der Ursprung des Bewußtseins*. Reinbek bei Hamburg 1993, S.166f

3.1.2 Kommunikation: Verstärkung des Handelns

α) Imperative und Verben: sozial koordinierte Handlungen

Das Gehirnvolumen hat zwischen *Homo habilis* und *Homo erectus* in einer weiteren Kladogenese nochmals um ca. 30% zugenommen (von ca. 700 ccm auf ca. 900 ccm) um nach ca. einer weiteren Million Jahre der Entwicklung von *Homo erectus* bis zu ca. 1.000 ccm anzusteigen. Durch die Fähigkeit flexibler mentaler Modellbildung und Simulation ist *Homo erectus* unser erster Vorfahre, der unsere Heimat Afrika mit wandernden Tierherden verläßt. Der Gruppe als Handlungssystem kommt damit eine wachsende Bedeutung zu. Denn für das notwendige einsichtige Verhalten treten die sonst dominierenden Faktoren des Einzelkämpfers wie Stärke zurück. Die Strukturen innerhalb einer solchermaßen zusammenlebenden Gruppe ändern sich bedeutend, denn körperlich stärkere Individuen können sehr wohl den einsichtig zusammen handelnden Partnern unterlegen sein.¹ Die Gruppenführer zeichnen sich eher durch Weitsicht aus, die in tradierter Form von Individuum zu Individuum durch lernendes Nachahmen übergeben wird.

Wie läßt sich aber erklären, warum die Sprache so effizient funktioniert, wie sie das tut, warum bedeuten uns Wörter so viel? Denn alleine auf der Basis neuroanatomischer und physiologischer Untersuchungen kann bis heute noch nicht überzeugend gezeigt werden, warum sich die menschliche Sprache von den übrigen Kommunikationssystemen, die auf dieser Welt benutzt werden, so deutlich abhebt.² In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Kommunikation auf dem Weg zu einer inversen Semantik weiterentwickelt, indem Kommunikation als symbolisch-mentale Aktion begriffen wird. Denn dann läßt sich plausibel machen, daß im Verlaufe der Evolution des Lautbildungsapparates der symbolische Laut das assoziative Korrelat zu entsprechenden mentalen Aktions- und Problemlösungsstrukturen ist, die bereits in analog-bildhaften Wissensstrukturen repräsentiert sind! So stellt eine solche Korrelation auch keine besondere Leistung dar, denn aus mentaler Sicht ist sie vergleichbar mit Synchronisationen zwischen Arm- und Beinbewegungen (vgl. Bild 3.1). Echte Vorteile bestehen vielmehr darin, daß so im entstehenden sozialen Verband aus schon gekonnten (Einzel-) Aktionen neue, gemeinsame und um einen ersten multiplikativen Faktor wirkungsvollere (Gemeinschafts-) Handlungen organisiert werden können, die schließlich zu einer derartigen Wirksamkeit durchdringen, daß ihnen eine *anthropologische Schlüsselsituation* zugerechnet werden kann. Lautliche Kommunikation entsteht dann einfach als soziales Produkt durch assoziative Verknüpfung gemeinsam benutzter phonetischer Modelle mit erfolgreichen mentalen (Einzel-) Aktionsstrukturen. Die kognitive Voraussetzung zum Problemlösen liegt in dem in dieser Studie bereits ausgearbeiteten Konzept der mentalen Lösungsgenerierung begründet:

¹ vgl. LEWIN, ROGER: a.a.O., S.145f

² Eric H.Lenneberg vertritt deshalb eine Diskontinuitätstheorie der Sprachevolution'. Vgl. LENNEBERG, ERIC H.: *Sprache im Lichte der Evolution*, in: Scherer, Klaus R.; Stahnke, Adelheid; Winkler, Paul (Hrsg.): a.a.O., S.337ff

Generativity and the Left Hemisphere

One characteristic that modern human language and the construction of complex tools share is *generativity*. What the hominids may have discovered - perhaps gradually over the last 1.5 million years - is the power of combining elements, using rules to generate novel assemblages, be they words, sentences, or multipart tools. This may have originated in the manufacture of tools and been incorporated into the development of language. The culmination of tool making is modern machinery, which consists of the assemblage of fairly standard components, such as wheels, cogs, cylinders, and the like, in a potentially unlimited variety of ways.

I must emphasize that I am not using the term *generativity* to refer simply to random or divergent behavior, as when kittens play or apes happen upon new uses for sticks or stones. Rather, I am referring to generative operations that are governed by rules, or syntax, and that are purposive or intentional rather than merely random.¹

In der lautlichen Kommunikation werden Aktionen *auf einer strukturellen Ebene ähnlich* repräsentiert, wie dies in unseren analog-bildhaften Aktionen der Fall ist.² Bestimmte neuronale Lautgebungsstrukturen, die zunächst eher zufällig die Bewegung des Organismus „begleiten“ (da die Lautgebungsstrukturen durch ähnliche neuronale Instanzen aktiviert werden wie die motorischen Aktivitäten), sind zum Signal für die Gruppenmitglieder geworden. Mittels der innerhalb solcher sprachlichen Strukturen repräsentierbaren Erfahrungen des gesamten sozialen Handlungssystems wird es sogar möglich, Problemlösungen zu generieren, die aus Elementen aufgebaut sind, über die der Einzelne im praktischen Sinne gar nicht mehr verfügt. Daß der Mensch für eine derartige mentale Repräsentation nicht einmal an das lautlich-phonetische Medium gebunden ist, zeigt die Tatsache der Taubstummensprache. Wenn die Theorie stimmt, daß die Sprachentwicklung und letztlich auch die Entwicklung des Menschen eher einen diskontinuierlichen denn einen kontinuierlichen Verlauf genommen hat, dann muß es auch *kritische Situationen* in der Evolution des Menschen gegeben haben, in denen vorhandene Funktionen des Organismus zu neuen Einheiten zusammengefügt werden konnten. Mit dem Aufkommen der Möglichkeit, in lautlich-phonetischen Strukturen antizipierte, gemeinsame Handlungen der sozialen Gruppe zu repräsentieren, haben sich die Handlungsmöglichkeiten der Gruppe um einen ersten multiplikativen Faktor verstärkt haben. Arnold Gehlen nennt solche kritischen Momente *anthropologische Schlüsselsituationen*.³

¹ CORBALLIS, MICHAEL C.: *Laterality and Human Evolution*. in: Psychological Review (1989), Vol.96, No.3, S.499

² Christopher Hallpike rekonstruiert diesen phonetischen Symbolismus natürlicher Sprachen. Vgl. HALLPIKE, C. R.: a.a.O., S.447-90 [Kap. IX. Begrifflicher Realismus]

³ Da ist also eine Gruppe oder Gemeinschaft von Menschen, befaßt mit irgendwelchen Aktionen. Diese können durchaus noch mühsam herausgearbeitet sein, aber „begleitet“ von affektiven Lauten, die sich mit der Handlungsgestalt mitpräzisieren und einen Situationswert erhalten. Also „Lautgesten“, in denen nun, wie oben gesagt, kraft der Fähigkeit des Wechsels der Einsatzbewegungen die Intention auf das Ganze der Handlung erfolgen kann. Eine Kommunikation in der Lautebene, also „Leben des Lautes“ ist ebenfalls schon vorauszusetzen. Dann ist allerdings in diesem gemeinsamen Laut eine Handlung einsetzbar, zunächst rein sensomotorisch; aber gleichzeitig muß, wie Voßler sehr gut sieht, diese Lautphase von der Aktion selbst als *unterscheidbar* auffallen, also eine reine gedankliche Intention durch den Laut auf die Sache, die Handlung selbst vollzogen werden: der Laut meint damit diese Handlung, und um so mehr, als die häufige Wiederholung die akustischen und sichtbaren Mittel des Wiedererkennens bietet. So fehlt auch nicht die weitere Seite, daß der bei gleicher Gelegenheit erklingende Laut die Erinnerung an das Ganze des Vorgangs nach sich zieht; endlich braucht bloß die Lautphase „unterstrichen“ und affektiv zu erfolgen, um vermöge der Leistung des Rufes in allen Beteiligten eine Erwartung des Erfolges und der kommenden Phasen des Ganzen zu erregen: wir

Lorenz¹ und Sachsse haben - neben Julian Jaynes - in ähnlicher Weise argumentiert und sich dabei auf eine Arbeit von Gerhard Höpp berufen:

Offenbar hat im Rahmen der Menschwerdung die Überlegenheit sprachlicher Kommunikation die Evolution des Kehlkopfes gesteuert. Es handelt sich hier um die gleiche Zeitspanne, in der sich auch die Evolution des Gehirns vollzieht. Höpp definiert die Sprache gemäß ihrer „biologischen Funktion“, die von den Uranfängen bis heute die gleiche sei, als „diejenigen akustischen Äußerungen, durch welche sich Menschen gegenseitig zur Kooperation an überindividuellen Zusammenhandlungen veranlassen“. Die Grundform der Sprache ist gemäß Höpp der Imperativ, und die Entwicklung beginnt mit dem sogenannten Eiderspruch, einer mimisch begleiteten Lautäußerung, die mit dem Hinweis auf einen Gegenstand eine Aufforderung enthält, etwa im Sinne von „pack zu!“²

Welche Notwendigkeit stand aber hinter der Herausbildung von neuen, „überindividuellen Zusammenhandlungen“? Bereits *Homo erectus* hat vor über einer Millionen Jahren erstmals Afrika verlassen, wahrscheinlich mit wandernden Tierherden. Auch der später wieder in Afrika entstandene *Homo sapiens* hat Afrika verlassen. Von ihm wissen wir aber, daß er dies unter Druck tat, da sich die nahrungsspendenden Trockensavannen durch das Ende der Eiszeit und den Beginn von Regenzeiten in Feuchtsavannen mit großen Vorkommen von Tsetse-Fliegen verwandelten. Diese Fliegen sind Überträger der Schlafkrankheit und machen eine menschliche Besiedlung nahezu unmöglich. Der große Druck dieser äußeren Verhältnisse kennzeichnet die einsetzende Wanderung aus Afrika: Intelligenz wurde gefordert, um erfolgreiche Jagden in ungewohnter Umgebung zu organisieren und um wirkungsvolle Jagdwerkzeuge herzustellen. Dazu bildet sich der Imperativ in Weiterentwicklung der intentionalen Rufe heraus. Modifikatoren werden als Kommandos verwendet. Ein Modifikator wie „schärfer!“ - als „erzieherischer“ Imperativ ausgegeben - bewirkt sogar einen merklichen Fortschritt in der Herstellung von Werkzeugen, der zu einer Explosion neuer Gerätetypen führt. Ein solches soziales Handlungssystem kann - auch bei einer körperlich schwächeren Ausstattung der einzelnen Individuen - deutlich effektiver im Verhältnis zum Einzelnen agieren, wenn diese Aktionen nur gemeinschaftlich koordiniert sind. Soziobiologische Überlegungen identifizieren anhand von Gewinn- und Verlustrechnungen dasjenige Verhalten, das der Gruppe die meisten Vorteile bringt. Die Methode des reziproken Altruismus scheint die beste Strategie zu sein: Kooperation und Austausch von Informationen über Nahrungsquellen und auch von Nahrungsmitteln selbst.³ Dies wird durch eine imperative, durch Lernen tradierte Gruppenführung möglich, die nicht mehr durch Stärke und Dominanz geprägt ist.

haben hier also eine hochgradige Verdichtung aller Sprachwurzeln, einen sicherlich bedeutsamen Ort ihres Zusammenwachsens in eine Leistung: die Verständigung über eine gemeinsam zu verrichtende Tätigkeit. Gerade solche Lautgesten oder Situationsworte müssen relativ gleichgültig gegenüber den Unterschieden von Aktion und Gegenstand gewesen sein, oder besser beides geleistet haben: das Sichrichten auf einen Vorgang und den Ansatz zur Teilnahme daran, also sozusagen noch vor der Unterscheidung von Nomen und Verbum liegend, und außerdem von geringer Selbständigkeit, d.h. durch das Ganze der Situation erst bestimmt und doch bedeutungsabhängig von sehr anschaulichen Zusammenhängen: alles dies fordert, von sich her, die Sprachwissenschaft. aus: GEHLEN, ARNOLD: *Der Mensch* ... a.a.O., S. 272f

¹ vgl. LORENZ, KONRAD: *Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens*. München ⁸1985, a.a.O., S. 268 [Lorenz gibt dort das Beispiel der Kommunikation von akuten Bedürfnissen wie Hunger und Durst.]

² SACHSSE, HANS: a.a.O., S. 39

³ vgl. KURLAND, JEFFREY A.; BECKERMAN, STEPHEN J.: *Optimal Foraging and Hominid Evolution: Labor and Reciprocity*, in: *American Anthropologist*, 87 1985

β) Substantive und prädikative Modifikatoren: die ersten explikativen Sätze

Mit dem sich entwickelnden visuellen Gedächtnis entstehen die Grundlagen für die Substantive und damit für die ersten Sätze. In einer Zeit, in der Lebensgegenstände wie das jagdbare Wild oder der Freßfeind auch ohne deren physische Anwesenheit vorgestellt werden können, entstehen die Höhlenmalereien. Damit sind die mentalen Voraussetzungen geschaffen, durch Assoziation eines solchen Bildes mit einem sprachlichen Laut die Substantive zu kreieren. Wenn der Ausruf „wa-hi!“ zunächst eine akute Gefahr signalisierte, so konnte etwa durch einen prädikativen Modifikator der Ausspruch „wa-k-i!“ einen nahenden Tiger bedeuten. Ein herannahender Bär könnte durch den Ausdruck „wa-b-i!“ signalisiert werden. Damit waren die ersten explikativen, grammatikalischen Sätze gesprochen! - Diese ersten beschreibenden Sätze entstehen durch Verbindung eines Substantivs mit einem prädikativen Modifikator und haben bereits die Satzstruktur {Substantiv - prädikativer Modifikator}. Verben entstehen, indem das zunächst intentionale Tätigkeitskonzept auf Substantive angewendet wird. Auch die Erziehung läßt sich damit bedeutend besser steuern. Denn die Erziehung besteht zunächst nur aus einer Menge von Verhaltensregeln, die dem Individuum in tradiert Form mittels der Sprache verinnerlicht werden. So kann auch in Abwesenheit des Erziehers später sein gespeichertes Wort zur Aktivierung der entsprechenden Verhaltensweisen führen. Zusätzlich legt dies den Schluß nahe, daß in diesem Stadium die Menschen noch kein Selbstbewußtsein in unserem Sinne hatten, da ihre Verhaltensweisen in erster Linie durch diese tradierten und ritualisierten „inneren Stimmen“ gesteuert wurden. Der amerikanische Psychologe Julian Jaynes versucht sogar zu zeigen, daß damit der Grundstein der Götter gelegt ist. Denn diese Götter sind zunächst nur die Gruppenführer, die erst dann zum „Gott“ avancieren, wenn ihre Aufträge auch ohne deren ständige Anwesenheit ausgeführt werden. Aus entwicklungspsychologischer Sicht sind dies sprachlich verdichtete Erziehungserlebnisse, die bei Aktivierung zu einer steuernden „inneren Stimme“ werden. Äußere Gegebenheiten können somit zur „Halluzination“ sprachlicher Verhaltensregeln führen.

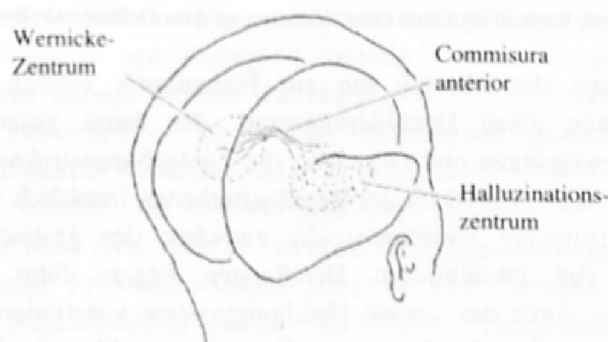


Bild 3.1

In der Frühzeit der Menschen mag die dem Wernicke-Sprachzentrum gegenüberliegende Stelle erzieherische Direktiven als „innere Stimmen“ gespeichert haben. Später entwickelt sich die Funktion des Halluzinationszentrums vom Direktiven zum Kreativen.¹

¹ aus: JAYNES, JULIAN: a.a.O., S.133

3.1.3 Reflexion und Selbstbewußtsein: Inverse Semantik

α) Inverse Semantik

„Denken“ haben wir bisher als denjenigen mentalen Teilprozeß des Handelns charakterisiert, der einsetzt, wenn für im System auflaufende Aktivierungen (ob aus äußerer oder innerer Anregung) noch keine Problemlösungen vorliegen. Es gilt jetzt zu zeigen, daß der Ausbau der internen Aktivierungsquelle (wofür Gehlen die Vokabel „Antriebsüberschuß“ verwendet) erst zu jenem Denkerlebnis führt, das wir in unserem Wachbewußtsein wahrnehmen. Die kladogenetische Entstehung neuer Gehirnregionen (der späteren Sprachzentren) bewirken zunächst rein sensomotorische, vorsprachliche Lautgebungsanregungen, die „zufälligerweise“ motorische Aktionen begleiten. Diese These wird von neuen evolutionstheoretischen Überlegungen bestätigt. Danach wird der Variabilität des Genoms und der damit verbundenen Möglichkeiten zur individuellen Verhaltensausbildung ein bedeutend größeres Gewicht beigemessen. Jedes Genom trägt eine Unmenge von ausprägbaren Verhaltensstrukturen in seinem Code, von denen dann tatsächlich nur wenige in Auseinandersetzung mit der Umwelt ausgebildet werden. Zudem bilden sich in einer Art sehr variable Genome aus, auch wenn die Umwelteinflüsse das phänotypische Erscheinungsbild der Art sehr konstant halten. Neue, nichtvoraussagbare Eigenschaften können sich in einem Feld vorbereitend auf genetischer Ebene herausbilden, ohne die Art damit zu gefährden. Sollte dann allerdings ein selektiver Druck auf die so vorbereiteten neuen Strukturen entstehen, kann der Organismus aufgrund der Variabilität der Gene phänotypische Unterschiede herausbilden. Dies bildet einen Erklärungsansatz für die kladogenetische Zunahme des Gehirns und für die Evolution des Denkens, auch wenn der Genotyp sich im Vergleich dazu nur wenig und vor allem nur stetig geändert hat:

Es kann gar nicht anders sein, als daß für diese Fähigkeit zu konzentriertem Denken während einer Zeit selektiert wurde, in der diese Eigenschaft keine großen Risiken mit sich brachte. Mit anderen Worten: Unsere Fähigkeit, die Aufmerksamkeitsspanne willkürlich zu verlängern, muß sich in jüngster Vergangenheit herausgebildet haben, während der Zeit, in der wir auch unsere Umwelt im Sinne einer Reduzierung ihrer Gefährlichkeit veränderten.¹

Mit der Präzisierung der Motorik hin zur Feinmotorik erleben dann auch die Lautgebungsstrukturen einen Detaillierungsgrad, der damit zusammenhängt, daß motorische Zeigebewegungen und Gesten in die Lautgebungsstrukturen transformiert werden. Das konstruktive Erkennen der Regelmäßigkeiten (natürlich auch die kreative Erzeugung neuer lautlicher Strukturen), die zwischen den gestisch symbolisierten Handlungen und den tatsächlichen Handlungen liegen, führt schließlich zur Herausbildung einer durch das soziale Handlungssystem konstituierten Wortsprache. Solche Deutungen der Sprachanfänge postulieren einen „Motor“, der das repräsentierende System dazu veranlaßt, neue gefundene Problemlösungen im sozialen Handlungssystem ständig zu kommunizieren. Der Zeitraum dazu scheint eingrenzbar zu sein:

¹ WILLS, CHRISTOPHER: Das vorausseilende Gehirn. Die Evolution der menschlichen Sonderstellung. Frankfurt am Main 1996, S.437

Beginning some 1.5 million years ago with the emergence of the larger brained *H. erectus*, tool culture became more complex. However, a truly flexible tool culture and the rapid, flexible speech of modern humans may not have developed until later still, perhaps 150,000 years ago, when *H. sapiens sapiens* emerged in Africa, to subsequently populate the globe.¹

Bereits in den 50er und 60er Jahre hat Noam Chomskys eine auf angeborenen Spracherwerbsmechanismen beruhende generative Grammatik ausgearbeitet.² Kernpunkt ist, daß neue Sprachstrukturen *automatisch generiert* werden, wie man sich beispielsweise beim Anblick eines Menschen von hinten „automatisch“ dessen Person vorstellt. Das Modell der Erklärung solcher generativer Strukturen im Rahmen einer praktischen Anthropologie ist die Deutung dieses Geschehens *von der Aktion her*, d.h. die Generierung sprachlicher Lautstrukturen geschieht durch top-down-Ergänzungen aus Sicht einer aktiviertem Zielstruktur, in der die von der Gruppe zu erledigenden Teilhandlungen repräsentiert sind. Im Sprachlaut werden Handlungen und Problemlösungen symbolisch repräsentiert: dieses zunächst noch persönliche Wissen wird damit bewußt und „ausgewickelt“.

Damit sind wir am zentralen Punkt unserer sprachtheoretischen Überlegungen angekommen, der den Aufbau einer *inversen Semantik* ermöglicht. Kurz gesagt geht es dabei darum, die rückbezügliche, „reflexive“ Struktur der Sprache im kognitiven Kontinuum zu entwickeln. Die zentrale These lautet: Die phonetische Lautgebung generiert eine rückgekoppelte Aktivierungsstruktur, die die Tendenz hat, mittels gedächtnisaktiver Speicherfunktionalität zum „Langläufer“ werden zu können und damit unser Denken zu ermöglichen.

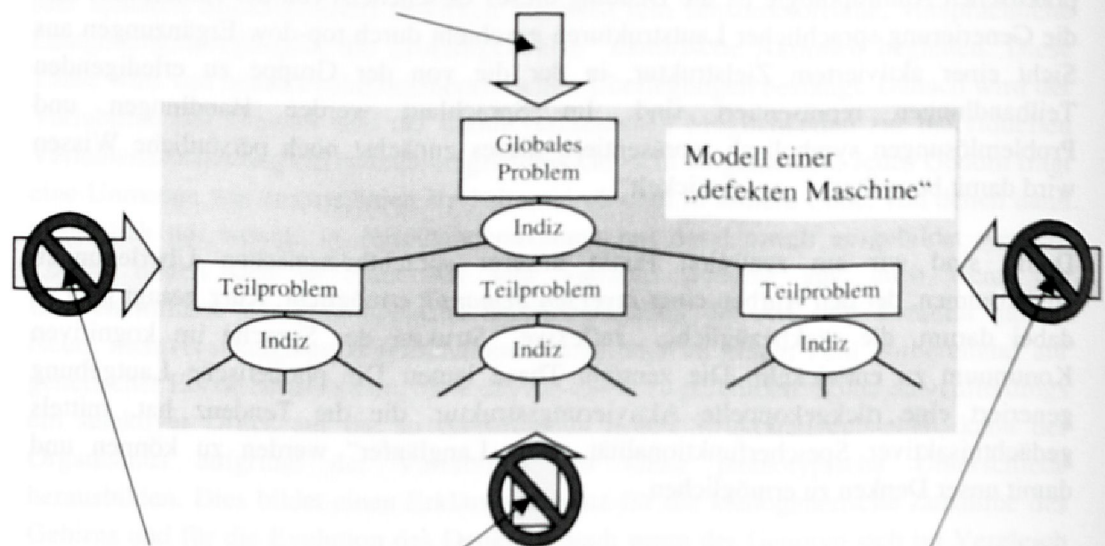
Daß wir unser eigenes gesprochenes Wort bewußt nicht hören, vielmehr nur dessen geistige Repräsentation im Denken erleben, wird durch unser selektives akustisches Filtervermögen gewährleistet. Rein physikalisch ist die Rückkopplung jedoch enorm, ja geradezu durchschlagend: durch den selbstgehörten Laut (obwohl nicht als solcher erlebt) werden wiederum distribuierte Wissenskontexte aktiviert, die im aktuellen Aktivierungsprozeß (vielleicht unter neuen Aktivierungsrichtungen) in einem neuen Zusammenhang kognitiv neu entwickelt werden können. Dieser Prozeß aktiviert wiederum (z.B. bei Erfolg) weitere distribuierte Wissenskontexte und so fort. Der sprachliche Laut entwickelt so erst die ihm zukommende, eigentümliche *Bedeutung*, indem damit distribuierte Wissenskontexte in einen neuen, übergreifenden kognitiven Rahmen gestellt werden. Im konnektionistischen System ist erklärbar, daß die Bedeutungsinhalte nicht (wie noch in manchen Bereichen der kognitiven Psychologie vermutet) an atomare Informationsträger gebunden sind, vielmehr wird die jeweilige Bedeutung einer Repräsentation mittels distribuerter Wissenskontexte im aktuellen Aktivierungsprozeß immer und fortlaufend *generiert*. Damit ist klar, daß es überhaupt

¹ CORBALLIS, MICHAEL C.: a.O., S.499

² vgl. CHOMSKY, NOAM: *Die formale Natur der Sprache*. in: Scherer, K.R. u.a.: a.a.O. Eine Einführung bietet das Kapitel „Generative Grammatik und angeborene Ideen: Noam Chomsky“ in: STEGMÜLLER, WOLFGANG: *Hauptströmungen der Gegenwarts-Philosophie*. Band II. Stuttgart 8 1987, S.1-34

kein statisches oder isolierbares Einzelwissen gibt, jegliches Wissen ist in Kontexte eingebettet und nur vor deren Hintergrund als „wahr“ zu bezeichnen. „Bedeutung“ wird erst ihrem Wesen nach mittels einer über sich selbst hinausgreifenden Aktivierungsstruktur generiert. In diesem Sinne charakterisieren wir den Menschen (im Sinne Piagets) als einen Stufenbau offener Systeme, die sich jeweils dadurch schließen, indem sie in einem fortlaufenden Aktivierungsprozeß immer über sich selbst hinausgehen und dadurch die „Schließung“ des offenen Systems mental auf immer abstraktere Ebenen hinausgeschoben wird.

Vorgegebene (statische) Aktivierungsrichtung in Systemen propositionaler Wissenrepräsentation



In konnektionistischen Systemen lassen sich prinzipiell beliebig viele Aktivierungsrichtungen modellieren.

Probleme klassischer Konzepte der Wissensrepräsentation (wie in „Expertensystemen“ realisiert; oben im Beispiel: Modell einer „defekten Maschine“, wobei das „Wissen“ mittels syntaktischer Teilbäume repräsentiert ist):

- keine Kontextsensitivität bzw. kein Bezug zu distribuierten Wissensstrukturen
- kein Bezug zur Person (Selbstmodell)
- ➔ Propositionen beinhalten kein Wissen, sondern nur in kulturell normierten sprachlichen Zeichen repräsentierte **Verweise** auf mögliche distribuierte Wissenskontexte !
- ➔ schon gar nicht vermögen Expertensysteme Bereiche abzudecken, „in denen das Wissen diffus und erfahrungsbezogen“ ist (was aber Anspruch war).¹

Bild 3.2 Leistungen und Grenzen propositionaler Wissensrepräsentation

¹ vgl. SCHNUPP, PETER; LEIBRANDT, UTE: Expertensysteme – nicht nur für Informatiker. Berlin Heidelberg New York 1986, S.303

Damit ist das Programm einer inversen Semantik grob umrissen, es wird an anderer Stelle weiter ausgebaut.¹ Der fortlaufende Laut aktiviert demnach – rückgekoppelt – ständig Teile unseres Selbst und generiert dieses langfristig mittels gedächtnisaktiver Funktionen. Damit ist auch eine verkürzte, z.B. rein pragmatische Deutung unseres Bewußtseins obsolet, denn die Aktivierungen sind statistisch, ungerichtet, „chaotisch“. Das Chaos der Gefühle ist gegenständlich notwendig zur Generierung neuer Ideen.

- „Bewußtsein“ und „Wissen“ entstehen durch veränderte Struktureigenschaften repräsentierender Systeme: individuell aufgebaute Selbstmodelle und Weltbilder ersetzen angeborene Verhaltensweisen.
- Der Anteil interner, kontextbezogener Aktivierungen (wie z.B. durch kreative Prozesse) ist gleichbedeutend mit den externen Aktivierungen („Zeichen“).
- Aus systemtheoretischer Sicht ersetzen lange Suchprozesse die zuvor schlagartigen, genetisch vorprogrammierte Verhaltensweisen.
- Die „Bedeutung“ eines Zeichens (oder einer Aussage) wird erst zusammen mit dem jeweils aktivierten Kontext generiert.
- Die „Wahrheit“ einer Aussage wird im konnektionistischen Netz dem repräsentierenden System über das Aktivierungspotential signalisiert.
- „Wissen“ ist beides: logisch nachvollziehbare Aussagen (explizites Wissen) und (aus wissenstheoretischer Sicht in inverser Relation stehend) der dazu notwendige Wissenskontext (implizites Wissen).
- Die „Seele“ entsteht, indem das Individuum erstmals die Endlichkeit des eigenen Selbst repräsentiert.

Sprachliches Wissen wird, wenn die kommunizierten Symbole zum gemeinsamen Erfahrungsinventar der Gruppe gehören, interpersonal rekonstruierbar. Das ist die Darstellungsfunktion der Sprache, mittels der persönliches Wissen „ausgewickelt“, das heißt *expliziert* wird. Erst, wenn diese kommunizierte Handlung in das gruppeninterne Zielsystem hineinpaßt, wird die Gesamthandlung aktiviert. Damit folgt ein handlungstheoretischer Interpretationsansatz der Sprache, der neben der in der Literatur eingehendst diskutierten sozialen Rolle der Sprache in der sprachmotorischen „Auswicklung“ einer Handlung ins sprachliche Medium *die zweite notwendige Grundlage* der Sprache sieht. Denn die der Sprache logisch vorausgehende erfolgreiche Handlung erzeugt erst die Wissensstrukturen, deren Kommunikation sich in irgend einem Sinne lohnen könnte. Mir kommt es hier darauf an, Sprache nicht bloß als Teilaspekt des Handelns zu rekonstruieren. Denn dieses rückgekoppelte Aktivierungssystem ermöglicht erst die Dimensionen unseres bewußt erlebten Handelns und Denkens. Dazu wird im folgenden mit der Rolle der Sprache als Stütze des Denkens und des Selbstbewußtseins *die dritte notwendige Grundlage* der Sprache aufgezeigt.

¹ vgl. LUHN, GERHARD; VON DER WETH, RÜDIGER: *Abstraction and Experience. Engineering Design and Anthropological Technology* in: Hubka, Vladimir (Hrsg.): *Proceedings INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN ICED 99 MUNICH, AUGUST 24-26, 1999*

β) Eigennamen, Selbstmodell und Selbstbewußtsein

Nach den Substantiven und den ersten Sätzen beginnt mit der agrukulturellen Entwicklung, die um 10.000 v. Chr. - abermals unter äußerem Zwang - einsetzt, die Epoche der Eigennamen (vgl. Kapitel 6.). Gegenüber den mobilen Wander- und Jägergruppen verfestigen sich im aufkommenden Neolithikum die sozialen Strukturen. Zudem wächst durch den Erfolg der agrukulturellen Methode die Bevölkerung, so daß in den ersten befestigten Ansiedlungen bis zu 200 Individuen zusammenleben. Aus den Substantiven entwickeln sich so die Eigennamen, was zu einer Verfestigung familiärer Beziehungen führt: Ein Familien- oder Gruppenmitglied kann dann auch ohne dessen Anwesenheit leicht reproduziert werden. In diese Zeitspanne dürfte auch die bewußte Entdeckung von Leben und Tod der Familienmitglieder und damit die Erkenntnis der Endlichkeit des eigenen Selbst fallen. Bestattungen dienen der weiteren Versorgung der Toten, deren Wort unter ihrem Namen noch weiterlebt. In dieser Tradition entstehen die Götter eben als lange verstorbene, einst mächtige Vorfahren, deren tradiertes Wort heute noch Gültigkeit besitzt. Es dauert noch ca. 8.000 Jahre, bis ab 2.000 v. Chr. die Emanzipation des eigenen Selbst beginnt. Auch hier sind wieder äußere Ereignisse (Vulkanausbrüche, Völkerwanderungen, Umweltkatastrophen) Ursache für das Fehlgehen veralteter Handlungsstrukturen. Aus der individuellen Beobachtung kultureller Unterschiede folgt die Notwendigkeit der differenzierten Modellierung des Gegenüber. Diese Überlegung konsequent zu Ende gedacht liefert dann auch den Schluß auf die differenzierte Generierung eines Modells des eigenen Selbst.¹ Damit kann das sprachliche, existentielle „Ich“ in die Welt kommen: das Selbstbewußtsein und der selbstbewußte Mensch ist entstanden. Durch das in allen Sprachen der Welt verfügbare „Ich“ wird es möglich, schnell ein mentales Selbstmodell und damit unsere „Können-Strukturen“ im Rahmen eines mentalen Gesamtrepräsentationszusammenhangs zu aktivieren. Tatsächlich ist der Sprache all dies eigen, was einer technischen Aktion eigen ist: Zielbezogenheit, Subjektbezogenheit und Objektbezogenheit. Neu ist jetzt aber, daß mittels dieser sprachlichen Strukturen auch die persönlich herausgebildeten Fertigungs- und Wissensstrukturen differenziert darstellbar und symbolisch manipulierbar werden. Über dieses symbolisch-symbolische, das heißt sprachliche Repräsentationsmedium werden die vorsprachlichen, analog-bildhaften Wissensstrukturen bedeutend „leichter“ zu neuen Problemlösungsstrukturen zusammenstellbar, weil durch die nochmalige Repräsentation dieser Handlungsstrukturen in einem symbolischen Medium diese mentalen Modelle von ihrer bisherigen Entstehungsgeschichte zunehmend *entkoppelt* werden. Andersherum ausgedrückt: Durch den sozialen Umbruch fällt die von der Gemeinschaft dem Individuum zugewiesene, tradierte Bestimmtheit zunehmend unter den Tisch, so daß das Individuum darauf angewiesen ist, mehr und mehr eigne Handlungsziele zu setzen und damit eine (auch sprachlich) differenzierte Herausbildung des eigenen Selbst zu betreiben. Über den Erfolg werden diese, genotypisch bereits vorbereiteten Merkmale selektiert und damit sind die kognitiven Voraussetzungen zur Entstehung unseres Selbstbewußtseins gegeben.

¹ vgl. JAYNES, JULIAN: a.a.O., S.267

In der sprachlichen Praxis ist an die Stelle der Kommunikation das problemlösende Selbstgespräch als handlungsführendes Element getreten. Vor diesem Hintergrund ist „Denken“ nichts anderes als die lautlose Fortsetzung dieses Selbstgesprächs. Verschiedene Aspekte des Selbst, das heißt unseres Wissens und Könnens werden durch verschiedene Sätze aktivierbar. Keith Oatley hat solche Aspekte theoretisch expliziert, und er argumentiert mit Bezug auf den Psychologen L.S. Vygotsky, der Selbstgespräch und technisches Handeln bei Kindern untersucht hat. Fortdauernde Reflexionen in Form von Selbstgesprächen haben demnach hohen Problemlösungswert, weil durch immer neue sprachliche Konstellationen auch immer neue vorsprachliche (also perzeptuell-operationale, d.h. hier „technische“) mentale Modelle aktiviert werden können, bis eine Lösung gefunden ist.

Vygotsky's main point is [...] that human problem-solving abilities depart from those of other primates when the essentially social activity of speaking is added - when we talk to ourselves as we talk to others. He argues that speech 'converges' with the developing practical and technical abilities and that this convergence is the 'most significant moment in the course of intellectual development'. It involves being able consciously to re-arrange imagined objects in a simulated spatial mind-world.¹

Im Verlaufe der menschlichen Evolution wird die Sprache derart Stütze des kognitiven Problemlösens, daß damit ein extrem schnelles und flexibles Werkzeug zur mentalen Simulation und Lösungsfindung *auf der Basis der mentalen Aktion* entsteht. So entsteht die Möglichkeit einer sprachlichen Repräsentation des gesamten sozialen Handlungssystems, wobei das persönliche, analog-bidhafte Wissen aber Grundlage allen sprachlichen Wissens bleibt. Im Lösungsfindungsprozeß wird das Realitätsmodell als „Objekt“ mit einem Selbstmodell als „Subjekt“ im Rahmen einer mentalen Aktion zur Regelung regelungsbedürftiger Zustände („Intention“) aktiviert. Damit hat sich die Grundstruktur der Sprache herausgebildet. Die wahrnehmbare Sprache ist der lautlich-phonetische Extrakt einer *symbolisch-sprachlich organisierten, mentalen Aktion*. Die Sprache wird zur effektiven Stütze des Handelns, wenn einerseits durch dieses Kommunikationsmedium der ganze Erfahrungsschatz eines sozialen Handlungssystems repräsentiert wird und wenn andererseits vor dem Hintergrund der Bildung eines Selbstkonzeptes leicht neue kognitive Strukturen generiert werden können, die mit hoher Wahrscheinlichkeit erfolgreich in die Tat umgesetzt werden können. Dies wird durch wachsende kulturelle Fortschritte und einer damit verbundenen weiteren Entlastung des Menschen von den dringenden täglichen Lebensbedürfnissen weiter verstärkt. „Denken“ ist die lautlose Fortsetzung des problemlösenden Selbstgesprächs und eröffnet schließlich die Möglichkeit zum „objektiven Wissen“, wobei dieses Wissen durch die Normierungsleistung im sozialen Handlungssystem „objektiv“ wird.

THESE S_{akt}: (HANDLUNGSTHEORETISCHE DIMENSION DER SPRACHE)

SPRACHE ist der lautlich-phonetische Extrakt (IpE) der informationel rückgekoppelten mentalen Aktion
--

M _{Akt} SPRACHE = (IpE){S, X _{Reg} , X _{Op} , X _{Pers} } = (IpE) { Person, Intention, Subjekt, Objekt }

¹ OATLEY, KEITH: a.a.O., S.374

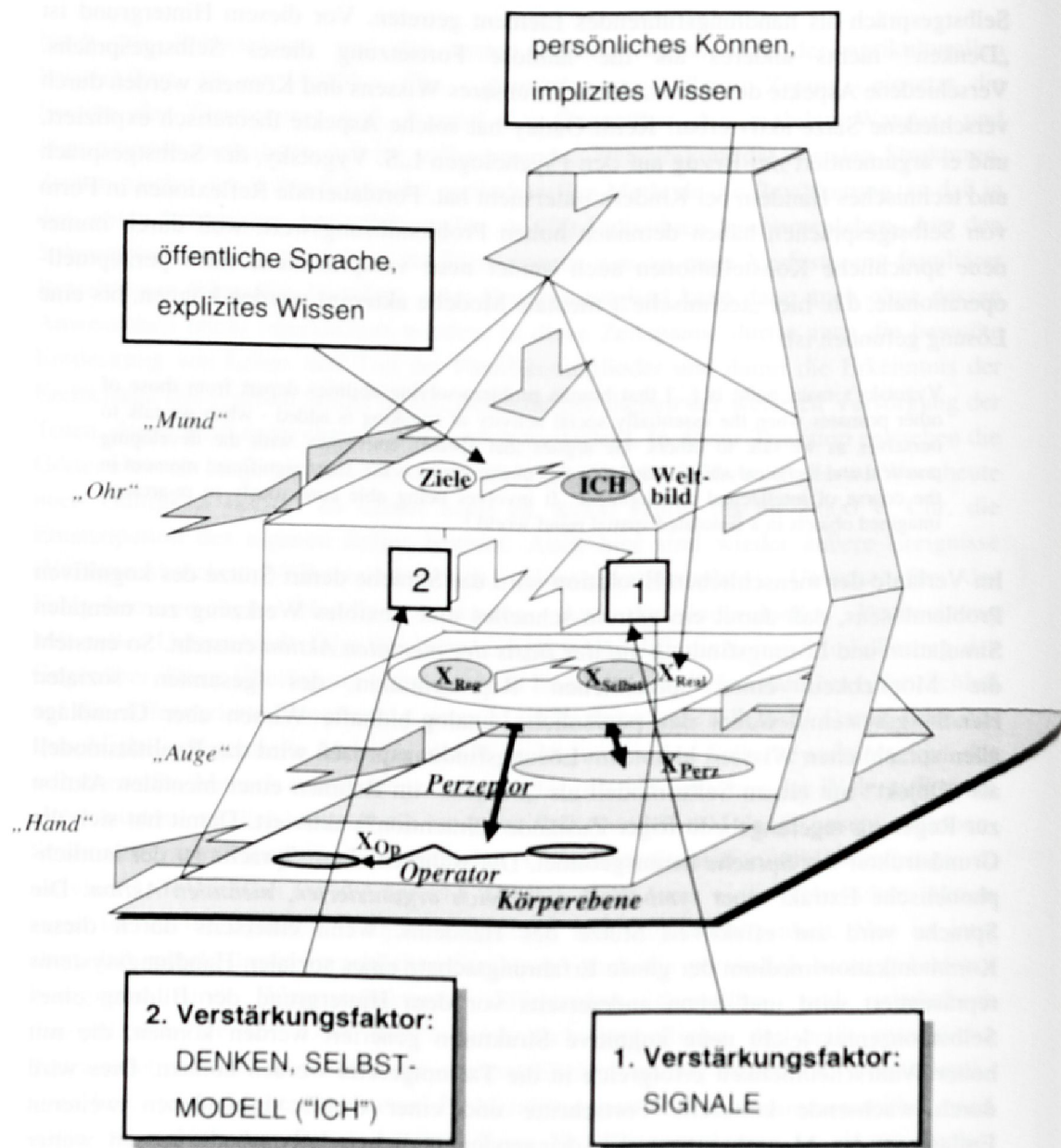


Bild 3.3

Das informationell rückgekoppelte Aktivierungssystem für Sprache und Selbst (informationelle Deutung einer „inversen Semantik“)

Die Wurzeln der Kultur liegen in der Sprache, diesem flexiblen, weltbilderzeugenden Kommunikations- und Gedächtnismedium und - durch den massiven Ausbau des kognitiven Gedächtnisses - in der Fähigkeit zum lebensumspannenden Lernen und Handeln. Denn damit wird die Repräsentation und Organisation lebensumspannender Aktionen möglich. *Homo erectus* hat diese von *habilis* eingeführte Innovation

konsequent weiterentwickelt und ist schließlich dazu in der Lage, sich ein derart umfassendes Weltbild aufzubauen, daß er als erster unsere Urheimat Afrika verlassen konnte. In dieses Bild paßt aber auch, daß *Homo neanderthalensis* als Vertreter einer Linie mit nur ungenügenden Lautgebungselementen (Kehlkopf und dessen Lage, Mund und Rachenraum) schließlich beim Aufkommen härterer Lebensanforderungen ausstirbt. Die eigentliche menschliche Lautsprache hat sich von den Anfängen des *Homo habilis* in der Linie *Homo erectus* weiterentwickelt und mit *Homo sapiens* vor 250.000 bis 35.000 Jahren ihren evolutionsbiologischen Abschluß gefunden. Denn bis dahin sind operatives Handlungsvermögen und kognitives Gedächtnis soweit verfügbar, daß jahreszeitenübergreifende Aktionsrepräsentationen möglich werden. Erst daran anschließend entsteht unser heutiges Selbstbewußtsein, das eine sprachlich differenzierte Erkenntnis des eigenen Selbst zur Voraussetzung hat. Diese Selbsterkenntnis entsteht, weil in Zeiten des gesellschaftlichen Umbruchs (ab ca. 2.000 v. Chr.) der Gegenüber detailliert modelliert werden muß. Durch die sprachmotorische „Auswicklung“ einer Handlung im sprachlichen Medium werden so die Grundlagen des Denkens, d.h. des lautlos fortgeführten Selbstgesprächs gelegt.

§ Die Struktur der Sprache

Hanna und Antonio Damasio haben in einer neueren Arbeit die Organisationsstruktur der Sprache im menschlichen Gehirn untersucht. Sie sehen die Sprache im Gehirn mittels dreier wechselwirkender Gruppen von Strukturen realisiert. Die erste bildet die des eben betrachteten analog-bildhaften, vorsprachlichen Bereichs. Das Gehirn kann diese Strukturen durch spontane Lernprozesse symbolischen Kategorien, den begrifflichen Konzepten oder Begriffen zuordnen (Gestalt, Farbe etc.). Erst in einer weiteren Repräsentationsebene werden die Ergebnisse dieser Klassifikation lautlich-phonetischen Modellen zugeordnet. Dort liegen auch die Regeln für das Kombinieren von Wörtern zu Sätzen (ob gehörte oder willentlich erzeugte Sätze). Über dem analog-bildhaften und dem sprachlichen Bereich gibt es eine integrierende Gruppe von Strukturen, die der Vermittlung zwischen diesen beiden Gruppen dient. Diese Instanzen können beispielsweise Wörter empfangen und die anderen Hirnteile veranlassen, die entsprechenden Begriffe zu aktivieren. Am Beispiel einer Kaffeetasse veranschaulichen die Autoren die zu diesem Begriff gehörenden Assoziationen, wie Geschmack, Temperatur, Kaffeebohnen etc.:

Das Gehirn speichert begriffliche Konzepte in Form von quasi schlummernden Aufzeichnungen. Werden diese reaktiviert, können sie die unterschiedlichen Empfindungen und Handlungen wachrufen, die mit einem bestimmten Objekt oder einer Kategorie von Objekten zusammenhängen.¹

Jeder in unseren Köpfen gespeicherte Begriff hat seine typische Entstehungsgeschichte, und mittels der innerhalb dieser Entstehungsgeschichte geknüpften assoziativen Verbindungen wird es möglich, die wichtigen *sprachlich kodierten Erfahrungsstrukturen* aufzubauen. Damit ist erklärbar, wie man z.B. in einer Assoziationskette von einem Ersatzreifen über ein Auto zu einem lange zurückliegenden Urlaub kommt:

¹ DAMASIO, ANTONIO R.; DAMASIO, HANNA: a.a.O., S.90

Doch das Gehirn speichert nicht nur Information über Erfahrungen mit Gegenständen, sondern ordnet die Information auch nach Kategorien, so daß miteinander verwandte Ereignisse und Konzepte - Formen, Farben, Trajektorien in Raum und Zeit sowie zugehörige Körperbewegungen und Reaktionen - sich zusammen reaktivieren lassen.¹

Wir haben den Erfahrungsaufbau als einen Prozeß aufeinanderfolgender und miteinander verwobener Aktionen charakterisiert. Durch unser Gedächtnis können wir unsere Handlungen nochmals durchdenken (d.h. mental simulieren), die Sprache wird dabei immer mehr das Vehikel für Symbole und Aktivitäten, wenn in diesen Handlungen nicht-persönliche, im sozialen Zusammenleben konstituierte Erfahrung repräsentiert wird. Gegenstände des Handelns werden mit Begriffen belegt und 'das Verbum bezeichnet in erster Linie eine Bewegungshinsicht'.² Wo aber sind die Verben, die Tätigkeitswörter im Gehirn aufzufinden? Ich habe schon darauf hingewiesen, daß das kognitive Handlungszentrum im Stirnbereich der Hemisphären lokalisiert werden kann:

Vorläufige Indizien sprechen für eine Lokalisation [der Verben; Anm. GL] in Stirn- und Scheitellappen.³

Die Nomen liegen im hinteren Bereich des Gehirns nahe an den perzeptuellen Zentren und die Verben im vorderen Bereich nahe an den Aktionszentren. Die mentale Aktion hat die in der Grammatik menschlicher Sprachen bekannte Subjekt-Objekt-Struktur $\{X_{\text{Selbst}} - X_{\text{Real}}\}$, das heißt Nominalphrase und Verbalphrase. Die Struktur mentaler Aktionen ist die Tiefenstruktur der menschlichen Sprachen. Das Phänomen „Sprache“ spielt sich in einem lautlich-phonetischen, im sozialen Handlungssystem konstituierten, dadurch bedeutungstragenden Repräsentationsmedium ab. Im Rahmen einer praktischen Anthropologie repräsentiert das Nomen (der „Begriff“) das aktivierte perzeptuelle Modell der Realität X_{Real} (einen beliebigen Gegenstand des Handelns) und das Verbum repräsentiert das operationale Selbstmodell X_{Selbst} (eine beliebige Handlungsstruktur), die durch die assoziativen Gedächtnisfunktionen gemeinsam zur Regelung regelungsbedürftiger Zustände X_{Reg} aktiviert werden. Durch individuelle Kreation und kulturelle Normierung erwächst daraus die Schrift, die in ihrer operativen Form die kognitive Grundlage der automatischen Maschinen ist. Unser operationales Aktionsvermögen in einer dreidimensionalen Umwelt spiegelt sich auch heute noch in allen Sprachen der Welt. Sogar unanschauliche Verhältnisse werden ins Räumliche übersetzt (die *Vor*-stellung, das *Unter*-bewußte; die Präpositionen *vor*, *über*, *unter*, *nach*, *hinter* etc.). Durch kulturelle Normierung wird es möglich, in der Sprache ein objektives Aktionsvermögen und damit ein „objektives Wissen“ abzubilden, weil die verschiedenen Individuen ähnliche oder teilweise sogar strukturgleiche Handlungen auf der Basis solcher interpersonal verfügbarer Wissensstrukturen erfolgreich in die Tat umsetzen. In der *symbolischen Welt* lautlich-phonetischer Repräsentationen simuliert und kommuniziert der Mensch seine Aktionen; er schafft damit ein umfangreiches Realitätsmodell und legt so die Wurzeln der Kultur. Sprache lebt aber von dieser Praxis: ohne den Weltkontakt des handelnden Menschen verliert das Wort bald seine Bedeutung.

¹ a.a.O., S.83

² GEHLEN, ARNOLD: a.a.O., S.236

³ DAMASIO, ANTONIO R.; DAMASIO, HANNA: a.a.O., S.92

3.2 Technik: eine Synthese von Kreativität und Handlung

3.2.1 Kreativität

Schon ein Wahrnehmungsakt besteht nicht im Kopieren eingehender Sinnesreize. Er ist ein Entwicklungsschritt des repräsentierenden Systems in eine Richtung, seine Fähigkeiten zu erweitern, um in einer Weise in die äußere Wirklichkeit einzuwirken, daß diese sich aus seiner Sicht positiv verändert.¹ Die Dinge der Wahrnehmung bekommen im neuronalen Substrat teleologische und/oder kreative Aktivierungen und wir können ganz verschiedene Betrachterperspektiven zu ihnen entwickeln. Dazu haben sich kreative, visuell-konstruktive Felder ausgebildet, die sich überwiegend in der rechten Hemisphäre lokalisieren lassen. Die Kreativität entsteht aus ihren zunächst direktiven Funktionen:

Hauptsächlich befinden sie sich wohl in den Brodmannschen Feldern 39 und 40, die anatomisch gesehen, Spiegelbilder eines Teils des Wernickeschen Sprachzentrums in der linken Hemisphäre sind. Man kann annehmen, daß diese synthetisierenden visuell-konstruktiven Felder sich in der Evolution gleichzeitig mit den analytischen Sprachfeldern auf der anderen Seite entwickelten. Das wäre ein glänzendes Beweisstück dafür, daß durch asymmetrische Funktionsverteilung im cerebralen Neocortex und Vermeidung einer Duplikation die cerebrale Leistung insgesamt gesteigert wird.²

Vorstellungs- und Handlungsvermögen wird vom Präfrontalbereich kontrolliert, der je nach Anforderung motorische und konstruktive Tätigkeiten repräsentieren und koordinieren kann. So wird etwa der Entwurf eines Gegenstandes von der rechten Hemisphäre geliefert und die Bearbeitungsschritte von der linken.

Alle echte menschliche Kreativität ist außer auf den rechten Parietallappen auf die Präfrontallappen angewiesen, wahrscheinlich unter Beteiligung des limbischen Systems. [...] In ihrer raffinierten Ausführung sind die Steingeräte sehr beeindruckende Belege für die Weiterentwicklung des visuomotorischen Systems der höherentwickelten Hominiden. Man kann in dieser Gerätekultur den Anfang der Kreativität in den bildenden Künsten sehen.³

Wie aber ist Kreativität aus Sicht des repräsentierenden Systems möglich? Welche mentalen Funktionen erzeugen Kreativität? Nachdem die Generierung neuer Lösungen auf der Basis gelernter, operationaler und perzeptueller Regelungsstrukturen sich abzuspielen scheint, liegt Kreativität gerade jenseits eingespielter generativer Regeln, die beispielsweise zur Erzeugung grammatisch „richtiger“ Sätze führen.

It may also be important to distinguish generativity from creativity, at least as creativity is usually understood. The generation of a novel sentence may be creative in a literal sense, but is nevertheless governed by rules and is relatively effortless. True creativity, as in art or poetry, may go beyond established rules, perhaps to the creation of new rules, and may even require the collaboration of *both* hemispheres.⁴

¹ vgl. FREEMAN, WALTER J.: Physiologie und Simulation der Geruchswahrnehmung, in: Spektrum der Wissenschaft, April 04/19917

² ECCLES, JOHN C.: a.a.O., S.227

³ a.a.O., S.228

⁴ CORBALLIS, MICHAEL C.: Laterality... a.a.O., S.499

Kreativität ist ein entdeckender Lernprozeß, bei dem mentale Aktivitätszentren ungerichtet neue mentale Strukturen produzieren und der nicht direkt an den bewußten Prozeß mit aktiviertem Selbstmodell gekoppelt zu sein scheint. Es ist das menschliche „Neugierverhalten“. Konkret heißt das folgendes. Wir betrachten das repräsentierende System mit allen mentalen Aktivitäten als Ganzes. Nur wenige Repräsentationen werden bewußt. Daneben gibt es eine Vielzahl unbewußter Repräsentationsprozesse, wie automatisch funktionierende Aktionen oder auch Träume. Die Kreativitätszentren scheinen jetzt genauso durch unbewußte neuronale Aktivierungsprozesse aus der internen Informationsquelle, dem limbischen System, angeregt zu werden, wie es beim Aufbau einer repräsentationalen Gesamtsituation und damit für eine bewußte Handlung der Fall ist. Wann fallen uns demnach neue Ideen ein, wann werden sie uns bewußt? Im bisher besprochenen Lösungsfindungsprozeß kommen die bottom-up gerichteten Aktivierungen aus dem perzeptuellen System, also von „außen“. Im Unterschied dazu kommen die kreativen Aktivierungsprozesse nicht aus perzeptuellen, äußeren Informationsquellen, sondern aus *inneren* Informationsquellen. Dies geschieht durch ungerichtete Aktivierung schon vorhandener Erfahrungsstrukturen X_{Real} . Kreative Prozesse entstehen, wenn die zunächst noch teleologisch direktiven Zentren zunehmend von diesen teleologischen top-down-Aktivierungen entkoppelt werden. Das aber würde bedeuten, daß sich die Kreativitätszentren durch interne neuronale Aktivität beispielsweise Realitätsstrukturen der Erfahrung ungerichtet verändern. Die derart konstruierte ungerichtete Repräsentation ist für das Lebewesen deshalb zunächst *zweckfrei*. Wohl aber entstehen diese Aktivierungen auf der Basis bereits zweckgebundener, im kulturellen Handlungsgefüge liegenden Erfahrungsstrukturen. Eine Zwecksetzung für diese neue kognitive Struktur erfolgt durch eine bewußte Verbindung mit schon vorhandenen Interessen und Zielen.

So, wie die linke Hirnhälfte die Sprache entwickelte - ein symbolisches System, das über die einzelne sensorische Modalität hinausgeht -, so entwickelten vielleicht Gebiete der rechten Hemisphäre Möglichkeiten, um die zwei- und dreidimensionalen Beziehungen der Außenwelt, die über den Gesichtssinn, den Tastsinn und durch Bewegungen erfaßt werden, abstrakt abzubilden. [...] Obgleich man sie gewöhnlich als „räumlicher“ als die linke Hemisphäre bezeichnet, läßt sie sich wohl treffender als stärker manipulativ-räumlich kennzeichnen - das heißt, sie besitzt die Fähigkeit, räumliche Muster und Beziehungen zu manipulieren. [...] Unsere Fähigkeit, im Geiste Landkarten zu entwerfen, Bilder zu drehen und uns mechanische Apparate vorzustellen, mag sehr wohl ein abstraktes, internalisiertes Gegenstück der rechten Gehirnhälfte zu den motorischen Fertigkeiten der linken zu sein.¹

Ich möchte ein weiteres starkes Argument nennen, um die These, daß sich Kreativität durch die ungerichtete Aktivität neuronaler Strukturen charakterisieren läßt, zu erhärten. Denn diese Aktivitäten sind ja primär nicht vom Bewußtsein, das heißt von bewußten Soll-Strukturen gesteuert. Vielmehr sind kreative Prozesse stark mit dem Unbewußten verbunden, und so kann es nicht verwundern, daß auch unsere Träume solche kreativen Aufgaben verrichten:

¹ SPRINGER, SALLY P.; DEUTSCH, GEORG: a.a.O., S.198

It is as though memories, including rules and taxonomies, have to pass through the emotion/habit areas of the brain in order to be fully and thoroughly „lodged“ as we metaphorically phrase it. The outstanding work of Winson is showing how exactly this operates during sleep, when „neural gateways“ open to let recently learned material into the hypothalamus and mix it with experience already stored there to produce those extraordinary events we have traditionally called „dreams and nightmares“. Species-specific memory processing is what they turn out to be, and this processing involves mixing the recent experiences with the deepest emotional memories of the species, or even the genus and order.¹

Fox spricht hier Jonathan Winsons Forschungsprojekt über die Biologie des Unbewußten an.² Es ist eine Arbeit über unbewußte neuronale Informationsverarbeitung. Winson geht von der Gedächtnisbildung als Langzeitpotenzierung aus, also der Verstärkung von neuronalen Verbindungen, wie wir sie z.B. schon beim Modell des Assoziativspeichers gesehen haben. Er versucht dabei, unbewußte geistige Aktivitäten im Zusammenhang mit unserem Bewußtsein zu sehen und so kommt er zu dem Resultat, daß während einer bestimmten Schlafphase, dem REM-Schlaf (REM: rapid eye movement), genau solche gedächtnisaktiven Prozesse bei bestimmten Säugetieren beobachtbar sind. Erstaunlicherweise scheint dies aber zur Entlastung des präfrontalen Cortex beizutragen, denn Tiere ohne REM-Schlaf wie der Ameisenigel haben sogar einen größeren präfrontalen Cortex im Verhältnis zum gesamten Gehirn als der Mensch.

Meiner Ansicht nach hat der präfrontale Cortex eine doppelte Aufgabe für das Überleben des Tieres zu leisten: Zum einen muß er in angemessener Weise, das heißt entsprechend früheren Erfahrungen, auf eintreffende Informationen reagieren, zum anderen gänzlich neue Informationen bewerten und einordnen und das relevante speichern, damit es in Zukunft seinerseits als Erfahrung verfügbar ist. [...] Die Ausbildung des REM-Schlafs erlaubte den Säugetieren, lebenswichtige Informationen gesondert zu bearbeiten, seien es Erfahrungen bei der Flucht oder Verteidigung, Nahrungssuche oder Beutefang [...] Nun wurde all dies im REM-Schlaf noch einmal bewertet und mit früheren Erfahrungen abgeglichen, so daß die Verhaltensstrategien zunehmend optimiert werden konnten.³

Winson vermutet, daß auch im menschlichen Traum solche gedächtnisaktiven Prozesse stattfinden, und er bezeichnet die so umgesetzten Informationen als *das Wesen des Unbewußten*.⁴ Sinnlich-bildhafte Erfahrungen stellen die Vorstufe zum Selbstbewußtsein dar und sind sowohl evolutionsbiologisch als auch entwicklungspsychologisch *kognitiv-zeitlich vor* unseren bewußten Meta-Repräsentationsprozessen gelegen. So ist auch der besonders bei Säuglingen stark ausgeprägte REM-Schlaf eine wichtige, erfahrungskonstitutive Symbol- und Konzeptbildungsphase, die die im Wachzustand gewonnenen Informationen integriert. Neue Zusammenhänge zu

¹ FOX, ROBIN: *The Evolution of Mind. An Anthropological Approach*, in: *Journal of Anthropological Research*, Volume 35, Number 1, New Mexico (USA) Spring 1979, S.146

² vgl. WINSON, JONATHAN: *Brain and Psyche: The Biology of the Unconscious*, Doubleday (USA), 1985

³ WINSON, JONATHAN: *Neurobiologie des Träumens*, in: *Spektrum der Wissenschaft*, Januar 01/1991, S.132f

⁴ 'In unserem Traumgeschehen könnten sich durchaus Mechanismen des Aufarbeitens von Gedächtnisinhalten auswirken, die uns in irgendeiner Form von unseren tierischen Vorfahren überkommen sind. Man kann annehmen, daß die so aufbereitete Information das Wesen des

erkennen ist ein kreativer Akt, der schon gemachte Erfahrungszusammenhänge durch (relativ) ungerichtete neuronale Aktivierungsprozesse zu neuen mentalen Modellen zusammenstellt und, im erfolgreichen Fall, Modelle neu erkannter oder geschaffener Realitätsstrukturen liefert. Manchmal fallen uns auch gute Ideen im Traum ein, wie das berühmte Beispiel des Benzol-Rings zeigt.¹ Es zeigt sich,

daß Träume eine Art Überlaufen bei der unbewußten Verarbeitung der Tageserfahrung sind, bei der Entscheidung des Gehirns darüber, wie viele der zunächst in einer Art Pufferstufe gespeicherten täglichen Ereignisse in das Langzeitgedächtnis übernommen werden.²

Neben der zweifellos vorhandenen biologischen Regenerationsaufgabe des Schlafes scheint dies eine Strategie zu sein, die dem Chaos der täglichen Reizüberflutung entgegengesetzt werden kann. Damit haben wir die Stellung unseres Wach-Bewußtseins relativiert. Was zählt, ist der repräsentierende Organismus *als Ganzes*. Der handelt zwar bewußt, wenn er wach ist - er tut aber auch etwas während des Schlafs für sein Wissen. Mit diesem geistigen Rüstzeug gewappnet verfeinert sich unter dem Druck erschwerter Lebensbedingungen am Ende der letzten Eiszeit die sprachliche Verständigung. Unter diesem Druck entstehen eine Vielzahl normierter Handlungsstrukturen, die in einer Synthese der Kreativitätsprozesse mit den Prozessen der Hemisphärenspezialisierung und einer mehrfach-multiplikativen Verstärkung der Fähigkeiten zur Generierung neuer kognitiver Strukturen die Pforten zur neueren Technik öffnen.

Unbewußten ausmacht. Tiere verfügen noch nicht über Sprache; die Informationen, die sie im Traum verarbeiten, rühren möglicherweise vorwiegend von Sinneswahrnehmungen her. Entsprechend unserer stammesgeschichtlichen Herkunft sind auch die menschlichen Träume vornehmlich sinnhafte, vor allem visuelle Erlebnisse - sie werden nicht mit Worten erzählt. Gleichweise gemahnt unser Träumen dadurch an die Funktion des REM-Schlafs der Tiere, daß die Traum Inhalte - die in der Aufarbeitung befindlichen Erfahrungsmaterialien - gar nicht ins Bewußtsein dringen müssen. Die höheren Formen des Bewußtseins sind allem Anschein nach später als diese Mechanismen zum Aufarbeiten von Eindrücken entstanden. [...] Alles in allem meine ich, Träume spiegeln eine persönliche Überlebensstrategie.' aus: a.a.O., S.133

¹ Der deutsche Chemiker Friedrich Kekulé von Stradonitz saß 1865 dösend in einem von Pferden gezogenen Straßenbahnwagen. Das drängendste Problem in der organischen Chemie war damals die Klärung der Natur des Benzolmoleküls. Nach seinem eigenen Bericht erschienen ihm im Traum Ketten tanzender Atome (bisher wurden einige einfache organischen Moleküle entdeckt, deren Struktur durchweg linear ist). In diesem ungerichteten Aktivierungsprozeß „hängte“ sich der Schwanz einer solchen Kette an ihren eigenen Kopf und bildete einen Ring. Im Wachzustand erkannte Kekulé sofort, daß die Benzol-Struktur ein hexagonaler Ring von Kohlenstoff-Atomen und keine gerade Kette ist. Mir selbst ist einmal folgendes widerfahren: Als Ingenieur-Student stand ich eines Tages vor der Aufgabe, ein ungleichförmig übersetzendes Getriebe zu konstruieren. Man kann sich ein solches Getriebe vorstellen wie der Pleuelantrieb der alten Dampfeisenbahn. Verschieden große Räder sind durch ein Pleuel miteinander verbunden. Aus Sicht der Räder und der Pleuel ist alles ganz einfach: alles bewegt sich umeinander in Kreisbewegungen. Aber aus Sicht eines am Bahnsteig stehenden Menschen sind die Bewegungen merkwürdige Zykloiden: die Pleuelstange bewegt sich oben nach vorne, dann geht sie ungleichmäßig „torkelnd“ nach unten und schließlich bewegt sie sich sogar rückwärts, obwohl die Bahn nach vorne fährt. Jedenfalls läßt sich das ganze in einem Satz von Gleichungen beschreiben. Diese Gleichungen sind aber alle untereinander abhängig. Ich sollte jetzt eine „optimale“ Lösung finden. In meinem Grundstudium hatte ich etwas von Differentialgleichungen gehört und so kam mir plötzlich über Nacht der Einfall, die optimale Lösung dadurch zu finden, daß ich die Nullstelle der Differentialgleichung ausfindig zu machen hatte. All dies stellte ich mir anschaulich vor. Ich brauchte allerdings eine übergreifende Theorie, eine Gesamtvorstellung, um mit einzelnen Anschauungen überhaupt arbeiten zu können. Tatsächlich stellte sich später auf einem Kongress heraus, daß sonst noch niemand auf diese Idee gekommen war; auch Menschen nicht, die sich ihr Leben lang schon mit solchen Getrieben befaßten. Sie war mathematisch wirklich nicht allzu herausfordernd, der Knackpunkt lag wohl einfach darin, die vielen Gleichungen sich anschaulich vorzustellen und den Nullpunkt in der Differentialgleichung wirklich zu „sehen“.

² SAGAN, CARL: *Die Drachen von Eden. Das Wunder der menschlichen Intelligenz*. München - Zürich 1978, S.156

3.2.2 Systemdenken

Tatsächlich könnte die Spezialisierung der linken Hemisphäre auf eine hierarchische Organisation von Aktionsstrukturen ein Schritt zur Erklärung der Entstehung hierarchisch organisierter technischer Strukturen sein, die in ihrer Fortsetzung bis zur modernen Systemtechnik reichen. Dafür spricht auch ein weiteres Argument: Irving Biedermann versucht nachzuweisen, daß unser räumliches Wahrnehmungsvermögen auf Standardelementen aufsetzt, die - analog den Phonemen der Sprache - dann zu hierarchisch organisierten Mustern zusammengestellt werden. Dabei arbeitet das perzeptuelle System mit primitiven mentalen Modellen, die das enorme Leistungsvermögen, aber auch die Grenzen der „rapid human object recognition“ erklären. Die Grenzen liegen einfach darin, daß unser Wahrnehmungsvermögen bei Mustern ab einer bestimmten Grenzkomplexität versagt und wir dann nichts mehr erkennen. Genausowenig können wir beliebig komplexe Gegenstände herstellen. Biedermann betont in seiner Arbeit die Parallelität zwischen den Grundelementen der in der linken Hemisphäre lokalisierbaren, sequentiell organisierten Sprache (den Phonemen) und den von ihm postulierten Grundelementen des visuellen Erkennens (er nennt sie „Geons“).

To return to the analogy with speech perception, the characterization of object perception provided by RBC [recognition-by-components] bears a close resemblance to some current views as to how speech is perceived. In both cases, the ease with which we are able to code tens of thousands of words or objects is solved by mapping that input onto a modest number of primitives - 55 phonemes or 36 components - and then using a representational system that can code and access free combinations of these primitives.¹

Demnach verfügt das repräsentierende System über hierarchische Strukturierungsmechanismen, die in der linken Hemisphäre zur Repräsentation einer sequentiellen Aktionsfolge führen und in der rechten Hemisphäre zur Repräsentation einer parallel organisierten Objektstruktur.

It is also noteworthy that the great majority of objects that we recognize are manufactured objects, and although Biedermann does not suggest this, I think it possible that the analysis of objects into primitive geons may represent a uniquely human mode of recognition. Indeed, I suggest that it may have evolved in the context of the very manufacture of many of those objects. [...] But with the profusion of different object manufactured by our manipulative forebears, a new, more generative style of perception may have been necessary.²

„Nur was machbar ist, ist wahrnehmbar, und nur was wahrnehmbar ist, ist machbar.“ Aus diesem Zirkel hinaus führt aber spontanes, entdeckendes Lernen, die menschliche Kreativität. Diese Kreativität wird ermöglicht durch den evolutionsbiologischen Ausbau der interenen Aktivierungsquelle und durch die kladogenetische Entstehung neuer Gehirnregionen, die durch Lateralisierung im nachhinein mit optimierten Funktionseinheiten ausgestattet werden. Kreativität äußert sich in Form ungerichteter Aktivierung eines Basissatzes kognitiver Erfahrungsstrukturen, die den Menschen in seinem

¹ BIEDERMANN, IRVING: Recognition-by-Components: A Theory of Human Image Understanding, in: Psychological Review (1987), Vol.94, No.2, S.145

² CORBALLIS, MICHAEL C.: a.a.O., S.499

Werdegang mit einer ungeahnten Fülle möglicher Handlungsstrukturen ausstattet. Bevor der Mensch jedoch mit (an sprachlicher Lebensrepräsentation gebundenem) Selbstbewußtsein ausgestattet ist, dienen diese, vorwiegend in der rechten, nicht-dominanten Hemisphäre befindlichen Gehirnregionen der Repräsentation verdichteter, erzieherischer Verhaltensregeln. Kreativität entsteht erst durch den Aufbruch solcher tradiierter Regeln. Mit der Durchsetzung altruistischen Verhaltens als Grundstruktur menschlicher Sozietäten nimmt die unorganisierte, an vielfältigste kognitive Dingstrukturen gebundene Zentrierung des Denkens zugunsten einer systematisierten mentalen Modellierung der Gruppe, des Gegenübers und des eigenen Selbsts ab. Dadurch wird immer mehr „objektives“ Wissen in neuen, übergeordneten Regulationen strukturierbar. Dieser Prozeß ist auch im Werkzeugbau erkennbar. Während die Werkzeuge der menschlichen Frühzeit allesamt in direkter motorischer Steuerung der Hand standen und so deren Aktionsvermögen vervielfachten, scheinen die ersten Artefakte, die in *indirekter Motorik* betrieben wurden, bereits vor dem Neolithikum vor ca. 30.000 Jahren erfunden worden zu sein.¹

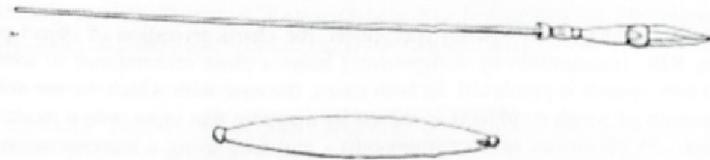


Bild 3.4 *Speer und Speerschleuder; ein erstes Werkzeug in indirekter Motorik²*

Aus Sicht der hier vorgetragenen praktischen Anthropologie ist diese strukturelle Differenzierung ein entscheidender Beleg zur Entwicklung des Systemdenkens. Erstmals wird *intern* eine Gesamtbewegung repräsentiert, in der mechanische Strukturen eines Selbstmodells *auf einer mental höheren Ebene zusammen* mit exteriorisierten, *artifiziiellen mechanischen Strukturen* innerhalb eines strukturell umfassenderen Gesamtsystems („Mensch & Artefakt“) repräsentiert werden. Intern ist dann im Verlauf der Zeit eine neue Klasse mentaler Simulation entstanden: die der mechanischen Strukturen aus wenigen Grundelementen. Damit scheint das Systemdenken entstanden zu sein. Dessen kognitive Grundlage besteht darin, artifizielle Strukturen, die zunächst noch in einem operativen Verhältnis zum handelnden Menschen stehen, als autonome Artefakte zu repräsentieren, die auch ohne eine direkte, persönliche Handhabung „funktionieren“. Dies wird zur Erfindung der ersten automatischen Maschinen des Altertums, den Mühlen führen. Weitere Bestandteile dieser Klasse echter technischer Erfindungen sind das Rad und die Töpferscheibe. Mit diesen Errungenschaften werden erstmals translatorische Bewegungen in rotatorische umgewandelt. Ihre Erfindung wird auf 4.000 v.Chr. geschätzt. Dieser kognitive Entwicklungsprozeß von der Speerschleuder bis zum Rad hat demnach zwanzig- bis dreißigtausend Jahre gedauert.

¹ vgl. LEROI-GOURHAN, ANDRÉ: a.a.O., S.302

² aus: a.a.O., S.306

3.2.3 Die Technik als Grundprinzip kulturellen Handelns

Damit sind wir am zentralen Punkt unserer Technikdeutung angekommen: Technik ist anthropologisch als ein Handlungsprozeß deutbar, bei dem zunächst unkoordinierte, mental niederstehende Handlungen (wie die Handhabung eines Speeres in direkter Motorik) durch kreative Aktivierungsprozesse zu neuen, mental höher stehenden Handlungen innerhalb einer systemtheoretisch umfassenderen Gesamthandlungsstruktur transformiert werden. Dieses Grundprinzip gilt gleichermaßen für soziales und persönlich-„neugieriges“ Handeln, in das technisches Handeln eingebettet ist. Durch die integrative Erschließung dieser Handlungsdimensionen eröffnet sich schließlich der Weg zur Kultur.¹ Parallel mit der Erfindung indirekter Werkzeuge verläuft die Entwicklung der Höhlenkunst und überhaupt die der Notation. Etwa vor 30.000 Jahren taucht erstmals eine abstrakte Notationstafel als *mentales Orientierungssystem* auf. In der Nähe von Blanchard in Frankreich wurde eine Knochenplatte entdeckt, auf der die wechselnden Phasen des Mondes über einen Zeitraum von 2 1/4 Monaten graviert sind.

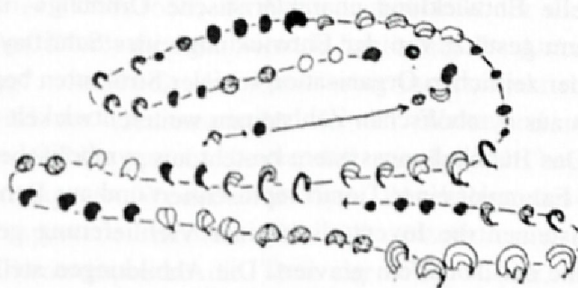


Bild 3.5 Schematische Darstellung von Gravierungen auf einer Knochenplatte; vor ca. 30.000 Jahren bei Blanchard in Frankreich²

Diese Platte könnte eine Orientierungshilfe für die Organisation von Jagden gewesen sein, wenn man das jahreszeitenabhängige Verhalten der Tiere assoziativ mit den Strukturen der Platte betrachtet. Der Mensch organisiert nun seinen Lebensraum als *Handlungssystem*, indem er seine Wohnstätte nach folgenden drei Gesichtspunkten gestaltet: 1. eine technisch effiziente Umgebung; 2. ein Rahmen für das soziale System; 3. ein Orientierungspunkt des eigenen Lebens.³ Mit lebensüberschauendem Denken wird damit erstmals die *Heimat* erlebt, und im Wohnungsbau realisiert sich das Vermögen, das räumliche Vorstellungsvermögen für soziale Ziele zu aktivieren. Der Mensch wird schließlich selbst zum reinen Objekt, wenn in Ägypten etwa 3.000 Jahre vor unserer Zeitrechnung die Grenzen des neolithischen Dorfes gesprengt werden und mit der *Erfindung des Sklaventums* - eine der bittersten Lehren der Menschheitsgeschichte - die gewaltigen Pyramiden gebaut wurden. Sicherlich gelten

¹ vgl. **ROPOHL, GÜNTER:** Technische Kultur, in: ders.: Technologische Aufklärung, a.a.O.

² aus: **ECCLES, JOHN:** a.a.O., S.225

³ vgl. **LEROI-GOURHAN, ANDRÉ:** a.a.O., S.397

diese Pyramiden heute als ein Weltwunder; allzu leicht wird aber vergessen, unter welchen Bedingungen die Menschen damals diese außergewöhnlichen Leistungen vollbringen mußten. Mumford vergleicht denn auch die gesamte soziotechnische Organisation mit einer *Maschine*: 'Sie machte nicht nur die tägliche Arbeit zur bitteren Strafe, sondern verringerte auch die physische Befriedigung, die den Jägern, den Bauern und den Hirten für ihre bisweilen übermäßig harte Arbeit entlohnnte.'¹ Dem Menschen liegt von Grund auf das Wandern im Blut und unsere Besitzempfindungen sind erst über die Einführung des Territorialbesitzes beim Ackerbau entstanden. Für Jäger- und Sammlergesellschaften spielt persönlicher Besitz offenbar nur eine untergeordnete Rolle. Zusammen mit der Einführung der Besitzkategorie wird das Sklaventum erfunden, die Einteilung der Menschen in Herren und Knechte, bei denen die Knechte als reine Sachen gehandelt werden.² Auch die Wertempfindungen für „gut“ und „böse“ sind nur relative Phänomene und auf den jeweiligen kulturellen Rahmen angewiesen. Das Töten eines Fremden in einer Kanibalen-Sozietät war wahrscheinlich von ganz anderen Wertempfindungen begleitet als in einer frühchristlichen Gemeinde.

Das für die kulturelle Entwicklung charakteristische Ordnungs- und Organisationsvermögen wird zudem gestützt von der Entwicklung eines Schriftsystems, das mit der Knochenplatte und der zeitlichen Organisation sozialer Strukturen beginnt, sich über ein Buchhaltungssystem aus symbolischen Zählsteinen weiterentwickelt und bis zur Schrift der Sumerer führt. Das Buchhaltungssystem besteht aus symbolischen Zählsteinen, von denen z.B. jeder ein Exemplar einer Tierart repräsentiert und aus Behältern („Bulla“), in denen mit den Zählsteinen die Inventarliste einer Viehlieferung geführt wird. Später werden die Zählsteine auf Tontafeln graviert. Die Abbildungen stellen immer genauer die Originale dar und symbolisieren (z.B. wirtschaftliche) Handlungen. So entsteht der Übergang vom einstigen Buchhaltungssystem zur *symbolisch organisierten Schrift*:

Vieles spricht also dafür, daß die frühen Formen der Schrift, wie sie uns aus Mesopotamien überliefert sind, nicht einfach erfunden wurden, sondern sich allmählich aus einem Buchhaltungsverfahren entwickelten, das vor etwa 11.000 Jahren im westlichen Asien entstand.³

Während Gehirnwachstum und technologische Innovationen sich bis vor der Zeit des Neolithikums etwa proportional verhalten, scheint sich dann das Verhältnis geradezu explosionsartig zugunsten der Technik zu verschieben:⁴ dies scheint ein weiterer starker Beleg dafür zu sein, daß eine in diesem Zeitraum sich abspielende Entwicklung der Sprache die Verknüpfungsmöglichkeiten des im sozialen Handlungssystem existierenden vorsprachlich-analogen, technologischen Grundwissens ins Gigantische steigert. Mit der Entstehung des modernen Menschen vor 70.000 Jahren steigt die

¹ MUMFORD, LEWIS: a.a.O., S.248

² vgl. LORENZ, KONRAD: *Der Abbau des Menschlichen*. München ⁴1986, S.124-27

³ SCHMANDT-BESSERAT, DENISE: *Vom Ursprung der Schrift*. in: *Spektrum der Wissenschaft* Dezember 12/1978, S.12

⁴ vgl. LEROI-GOURHAN, ANDRÉ: a.a.O., S.176ff

Weltbevölkerungszahl mit der weltweiten Ausbreitung der Agrarkulturen auf ca. 5 Millionen (8.000 v.Chr.) und dann auf 600 Millionen bei Beginn der Industrialisierung (1.700 n.Chr.).¹ Durch die kulturell ausdifferenzierten und normierten Handlungen, zusammen mit den Tätigkeiten der ungerichteten Kreativität, dürften sich die meisten der nun folgenden Erfindungen erklären lassen.

Kernstück bilden *automatische Maschinen*, deren erste Vertreter in Form wassergetriebener Hammerwerken und Mühlen bereits in der mediterranen und der chinesischen Antike auftauchen.² Überhaupt dürfte damals die Entdeckung automatischer (von griechisch *selbstbewegend*) Strukturen ein neues, übergreifendes Deutungsmuster für das damalige Weltbild erzeugt haben. Mechanische Regelmäßigkeiten des Nachthimmels waren ja schon seit 30.000 Jahren bekannt. Aber erst mit der artifiziiellen Erzeugung regelmäßiger Bewegungen in Form der ersten Mühlen³ im 3. Jahrhundert v. Chr. ist der Mensch erstmals aus dem direkten Verwendungszusammenhang eines von ihm geschaffenen Artefakts *verschwunden*: Die Zeit der Automaten beginnt. Dieser Automatenbegriff, in dessen Kern der selbstbewegende Mechanismus steckt, dient später René Descartes (1596-1650) als Deutungskonstrukt für die Verhaltensstruktur von Mensch und Tier. Durch die faszinierende Loslösung des Automaten vom Subjekt, der „Objektivierung“, das heißt der Exteriorisierung subjektiver Handlungs- und Denkstrukturen, wird das „Automatische“ in der Welt, und rückübertragend, im Menschen gedeutet. Gehlen spricht davon, daß wir dadurch 'begrifflos und wortlos etwas von unserem eigenen Wesen'⁴ verstehen. Wir haben diese neuen kognitiven Strukturen durch spontane mentale Aktivität erzeugt und sehen in diesem rückgekoppelten Erkenntnisprozeß die Teile der Welt wieder, deren Strukturen wir unbewußt schon zur Lösungsgenerierung in diese hineinprojiziert haben. Denn der Aufbau hochorganisierter mentaler Strukturen - wie er sich in den ersten Automaten, aber auch in der *Entwicklung der Musik*⁵ zeigt - wird über ein *kognitives System* belohnt (vgl. dazu Kapitel 2.5.2).

¹ vgl. SACHSE, HANS: a.a.O., S.85 (Tabelle 8)

² vgl. LEROI-GOURHAN, ANDRÉ: a.a.O., S.312; ferner SACHSE, HANS: a.a.O., S.59 (Tabelle 2)

³ Etwa gleichzeitig entstand die Wasseruhr; vgl. MAUEL, KURT: *Technisches Wissen in Antike und Mittelalter*. in: Hermann, Armin u. Schönbeck, Charlotte (Hrsg.): *Technik und Wissenschaft*. Düsseldorf 1991, S.381ff

⁴ GEHLEN, ARNOLD: *Die Technik in der Sichtweise der Anthropologie*. in: ders.: *Anthropologische und sozialpsychologische Untersuchungen*. Reinbek bei Hamburg 1986, S.97

⁵ Das Pariser „Musée de l'Homme“ besitzt Steinplatten, die in Vietnam gefunden wurden und auf die neusteinzeitliche Periode Kleinasien zurückzugehen scheinen. Sie erklingen in verschiedenen, offenbar aufeinander abgestimmten Tonhöhen, und zwar: *f, g, h* und zwei verschiedene *es*-Töne [...] Unser Untersuchung aber will zeigen, daß das Hörbewußtsein die Intervalle von selbst - wie man sagt „nach dem Gehör“ - bestimmt, so daß die Abstimmung dieser Steinplatten ohne weiteres vor irgendeinem Maßsystem entstanden und völlig spontan erfunden worden sein mag. [...] Die abendländische Musik ist also ein Wiederaufgreifen der spontanen Hervorbringung der *primitiven* Musik auf der Ebene einer neuen Struktur des Bewußtseins' aus: ANSERMET, ERNEST: *Die Grundlagen der Musik im menschlichen Bewußtsein*. München ⁴1986, S.352f

3.3 Mensch und Maschine: technisches Handeln und phänomenales Weltbild

3.3.1 Magie, Maschine und Macht

Die Unruhe des Denkens begleitet den Menschen als metaphysische Grundverfassung von nun an auf seinen Wegen, weil er mit der Fähigkeit zum vorausschauenden Handeln die Unabdingbarkeit seines eigenen Todes erkennt. Jetzt wird es möglich, auch jenseits der physischen Welt metaphysische Strukturen und Kräfte anzunehmen, um das Weltgeschehen zu deuten und dann auch *versuchen zu beeinflussen*: damit ist das magische Denken entstanden. Beispiele sind die rituellen Tänze zur Beeinflussung des Wetters oder zur Lenkung der Wanderung der Tierherden. Gehlen, der sich auf Maurice Pranides bezieht, nennt

die Magie ein «Unternehmen, Veränderungen zum Vorteil des Menschen hervorzubringen, indem man die Dinge von ihren eigenen Wegen zu unserem Dienst hin ablenkte».¹

Für Gehlen umfaßt die Magie damit die eigentliche wie auch die übernatürliche Technik (die „Übernatürlichkeit“ magischer Beschwörungen ist natürlich nur aus der heutigen Perspektive rekonstruierbar). Magisches Handeln versucht, vermeintlich geltende Ursache-Wirkungsketten gerade durch intentionale Handlungen herbeizuführen und ist damit der Vorläufer des naturwissenschaftlich-technischen Experimentes.² So ist unser im abendländischen Sinne objektives Wissen aus diesen magischen Ritualen hervorgegangen. Zusammen mit der Fähigkeit zur übergreifenden, soziotechnischen (Zwangs-) Arbeitsorganisation etwa beim Bau der Pyramiden führt dies dazu,

daß die Wörter >>Magie<<, >>Macht<< und >>Maschine<< auf den gleichen indogermanischen Stamm >>magh<< zurückgehen.³

Der Mensch ist gleichermaßen im Selbstmodell als „Ich“, als Subjekt wie auch im Modell des Gegenüber als (Arbeits-)Maschine, als Objekt mental verfügbar. Die Maschine wird gleichsam als naturales wie auch als soziales Artefakt zum Symbol eines neuen Weltbildes. Die anthropologische Grundlage dafür liegt in einem sich verstärkt ausbauenden Vermögen des Menschen zu einer mental höherorganisierten Systemgestaltung, in der sowohl naturale als auch soziale sowie mentale Funktionen auf eine höhere Ebene transformiert werden können. So hatten die Babylonier und Ägypter bereits ca. 3.000 v.Chr. vollständige Zahlensysteme und formalisierte Rechenregeln, die um 300 v.Chr. die Erfindung des Abakus folgen ließen. **Maschine** definiert ZEDLER als «ein künstliches Werk, welches man zu einem Vortheil gebrauchen kann».⁴ Mit der

¹ GEHLEN, ARNOLD: *Der Mensch und die Technik*. in: ders.: *Anthropologische...* a.a.O., S.154

² vgl. GEHLEN, ARNOLD: *Urmensch...* a.a.O., S.233

³ ROPOHL, GÜNTER: *Die Maschinenmetapher*. in: ders.: *Technologische...* a.a.O., S.167

⁴ SCHMIDT-BIGGEMANN, W.: *Maschine*. in: Ritter, Joachim (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Basel Stuttgart 1980, Sp.790

Übertragung des zwanghaften Maschinenprinzips auf soziale Strukturen, mit der Auffassung des Menschen als Objekt, als Sache, mit der „objektiven“ Gestaltung und dem Aufbau größerer Gesellschaften entstehen die ersten Hochkulturen. Gehlen charakterisiert die Neuzeit denn auch nicht durch die Maschine als Artefakt, sondern als eine mit den neuen Techniken einhergehende Strukturänderung ganzer Kulturzweige.¹ Die Maschinenmetapher ist somit ein Beispiel, wie ganze kognitive Strukturfelder unter einem einzelnen Begriff subsumiert werden können.² Die dadurch möglichen metaphorischen Assoziationen ermöglichen so auch die „Prophezeiungen“ Leonardos, der seine großen Erfindungen immer im Rahmen eines möglichen Mißbrauchs sieht.

3.3.2 Von den Automaten zur Regelungstechnik

Vom Altertum bis zur Neuzeit erregen Statuetten die Gemüter, die Bewegungen und andere Funktionen von Tieren und Menschen nachahmen.³ Es war der Arzt Julien Offray de La Mettrie (1709-1751), der mit seinem Werk *L'Homme Machine* versucht, das maschinenartige im Menschen zu erkennen. Zwar 'setzt La Mettrie die Maschinenmetapher als polemische Devise gegen ein theologisches Dogma ein: gegen den Leib-Seele-Dualismus nämlich, der eine vom Körper unabhängige, spirituelle und unsterbliche Eigenexistenz der Seele behauptet.⁴ Aber seine wissenschaftliche Methodik findet sich im modernen Pragmatismus wieder. Er konstruiert mit diesem Entwurf eine systemorientierte Anthropologie, in der er programmatisch moderne Biologie, Evolutions- und Erkenntnistheorie vorwegnimmt:⁵

Der menschliche Körper ist eine Uhr, aber eine so ungeheuer komplizierte und mit so viel Geschick und Raffinement konstruierte, daß im Falle, wenn das Sekundenrad stehenbleibt, das Minutenrad weiterhin seine Aufgabe erfüllt; und daß im Falle, wenn diese beiden Räder eingerostet oder sonstwie beschädigt sind und nicht mehr funktionieren, das Viertelstundenrad und die anderen Räder sich dennoch weiterbewegen.⁶

Das Bewegungsprinzip dieser Maschine ist die Seele, 'eine empfindsame, materielle Partie des Gehirns [...].⁷ La Mettrie verkörpert durch seine undogmatische Denkweise

¹ vgl. GEHLEN, ARNOLD: *Der Mensch und die Technik*. a.a.O., S.152

² vgl. ROPOHL, GÜNTER: *Die Maschinenmetapher*, in: *Technologische Aufklärung*. a.a.O.

³ vgl. SCHNELLE, H.: *Automat*, in: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. a.a.O., Sp.695ff

⁴ ROPOHL, GÜNTER: *Die Maschinenmetapher...* a.a.O., S.175

⁵ 'Urteilkraft, Schlußvermögen und Gedächtnis sind [...] Modifikationen auf jener besonderen Sorte aus Gehirnmark gewirkter Leinwand, auf die die im Auge abgebildeten Objekte wie von einer Laterna magica projiziert werden.' aus: LA METTRIE, JULIEN OFFRAY DE: *Der Mensch als Maschine*. Nürnberg 21988, S.43

⁶ a.a.O., S.81f

⁷ a.a.O., S.77

den neuen Geist der Aufklärung und ist sich durchaus der Grenzen seiner Ansichten bewußt. Denn was ist das Bewegungsprinzip, nach dem die Menschen funktionieren? 'Das Wesen der Bewegung ist uns so unbekannt wie das der Materie.'¹ Wir wissen heute, daß dieses Bewegungsprinzip auf der *chaotischen Formierung* neuer neuronaler Muster basiert. La Mettrie bezeichnet bereits den Menschen als eine instinktreduzierte, sprechende, mit Imagination ausgestattete, symbolverarbeitende Maschine und erkennt - vor Goethe - die Sonnenhaftigkeit des Auges.² Die damals aufkommenden Androiden verkörpern die Anwendung der Uhrentechnik auf eine mechanische Nachbildung des Menschen. Die Bewegungsprogramme waren noch in den Räderwerken unveränderlich programmiert. Betrachten wir die Automatenfigur des „redenden Türken“ in E.T.A. Hoffmanns Roman „Die Automate“:

Der redende Türke machte allgemeines Aufsehen, ja er brachte die ganze Stadt in Bewegung, denn jung und alt, vornehm und gering strömte vom Morgen bis in die Nacht hinzu, um die Orakelsprüche zu vernehmen, die von den starren Lippen der wunderlichen lebendig-toten Figur den Neugierigen zugeflüstert wurden. Wirklich war auch die ganze Einrichtung des Automaten von der Art, daß jeder das Kunstwerk von allen ähnlichen Tändeleien, wie sie wohl öfters auf Messen und Jahrmärkten gezeigt werden, gar sehr unterscheiden und sich davon angezogen fühlen mußte.³

In dieser Erzählung, die ca. 1815 entstand, nimmt E.T.A. Hoffman (1776 - 1822) ein Experiment vorweg, das erst vor kurzem der M.I.T.-Informatikprofessor Joseph Weizenbaum durchgeführt hat. Er zeigte damit, daß mit ganz simplen, „unwissenschaftlichen“ Mitteln Computer eine scheinbare Intelligenz simulieren können. 'Bemerkenswert daran war, wie leicht Menschen auf solche Tricks hereinfielen.'⁴ Handeln habe ich als *Regelungsprozeß* gedeutet und das Besondere dieses Prozesses ist, daß das System seine Tätigkeit auf der Basis des Ergebnisses dieser Tätigkeit variiert. Im Gegensatz dazu werden bei der *Steuerung* die Befehle von außen eingebracht.⁵ In diesem Jahrhundert ist unter dem Begriff der *Kybernetik*⁶ (von griechisch *Steuermann*) die Regelungstechnik weiter theoretisch ausgearbeitet worden und wird als Grundlage für informationsverarbeitende Maschinen gesehen.⁷ Regelungstechnische Prinzipien, wie Leonardo da Vincis automatischer Bratspieß, sind bereits im Mittelalter bekannt:

¹ a.a.O., S.82

² 'Sonne, Luft, Wasser, Organisation, die Formen der Körper... im Auge kommt alles zusammen wie in einem Spiegel, der [...] ein getreues Abbild der von ihm erfaßten Objekte liefert.' aus: a.a.O., S.62

³ HOFFMAN, ERNST THEODOR AMADEUS: *Die Automate*. in: ders.: Werke in vier Bänden, Bd. III, Salzburg 1980, S.274

⁴ DREYFUS, HUBERT L.; DREYFUS, STUART E.: a.a.O., S.104

⁵ Für Gehlen ist der Regelkreis 'eine <Kopie> des Handlungskreises'. aus: ders.: Der Mensch und die Technik, a.a.O., S.161

⁶ WIENER, NORBERT: *Kybernetik*. Reinbek bei Hamburg 1968

⁷ Zur Bedeutung der Kybernetik für die Produktionstechnik vgl. ROPOHL, GÜNTER: *Flexible Fertigungssysteme. Zur Automatisierung der Serienfertigung*, Mainz 1971, S.27ff

Eines seiner ersten Projekte war ein Bratspieß, auf dem das Fleisch auch in Abwesenheit des Kochs braungebraten werden konnte. Durch die Hitze des Feuers wurde eine im Kamin befestigte Schraube gedreht. »Das ist die richtige Art, einen Braten zu schmoren, denn er dreht sich - je nachdem, ob die Hitze mäßig oder sehr groß ist - langsam oder schnell ...«, schrieb er. Ungefähr vierhundert Jahre später sollte König Ludwig II. von Bayern dieses »automatische« Gerät in seinem Schloß Neuschwanstein nachbauen lassen, und noch heute kann man in den Küchen den Bratspieß à la Leonardo funktionieren sehen.¹

Leonardos Erfindungen sind nicht nur wegweisend für die Entwicklung der Technik des Mittelalters, sondern er sieht damals schon deren prinzipielle Ambivalenz. Durch seine klare Weltsicht nimmt er mit seiner Verhöhnung des »Wunder«-Glaubens die Philosophie der Aufklärung vorweg.²

3.3.3 Implizites Wissen bei Erfindung und Konstruktion

Die im Mittelalter blühende Entwicklung der Mechanik ermöglicht nicht nur die Konstruktion von Taschenuhren mit Unruhefeder (ca. 1510), sondern schafft auch die Voraussetzungen zur Erfindung der ersten urkundlich erwähnten, zahnradgetriebenen *Rechenmaschine* durch Wilhelm Schickard im Jahre 1623.³ Die Kunst der Erfinder besteht darin, ihre eigenen mentalen Repräsentationen von Regeln und Funktionen soweit zu formalisieren, also in eine operative Schrift zu fassen, daß sie in mechanischen Systemen abgebildet werden konnten. Ein gutes Beispiel dafür ist die Zykloiden-Pendeluhr von Christiaan Huygens (1659). Das Problem war die ungenaue Zeitgebung von Pendeluhr, weil deren Schwingungsdauer vom Pendelausschlag abhängt. Als Lösung konstruiert er eine Uhr, deren Pendelschnur zwischen zwei Zykloidenbacken hängt und die Pendellänge dadurch beim Schwingen verkürzt wird. So verbessert er die Ganggenauigkeit auf einen Fehler kleiner 10 Sekunden pro Tag.⁴ In all diesen Maschinen sind die Regeln und die Daten, nach denen sie funktionieren, in der Konstruktion selbst vorgegeben. Ist es auch möglich, Maschinen zu bauen, bei denen man die Funktionsweise je nach Bedarfsfall ändern kann? Dieses Problem stellt sich in der Textilindustrie, wo es darum geht, verschiedene Webmuster automatisch herzustellen. Bereits 1728 baut der französische Mechaniker Falcon einen Webstuhl, bei dem die Daten, wie das Webmuster auszusehen hat, über ein Holzbrettchen eingebracht wurden. Dieses Holzbrettchen ist die Urform der heutigen Lochkarten und der programmgesteuerten Automaten.⁵

¹ ALBERTI DE MAZZERI, SILVIA: a.a.O., S. 195f

² vgl. a.a.O., S. 103

³ vgl. VORNDRAN, EDGAR P.: *Entwicklungsgeschichte des Computers*. Mit einem Geleitwort von Konrad Zuse. Berlin Offenbach 1986, S. 11

⁴ vgl. HERMANN, ARMIN; SCHÖNBECK, CHARLOTTE (HRSG.): a.a.O., S. 52

⁵ vgl. VORNDRAN, EDGAR P.: a.a.O., S. 57

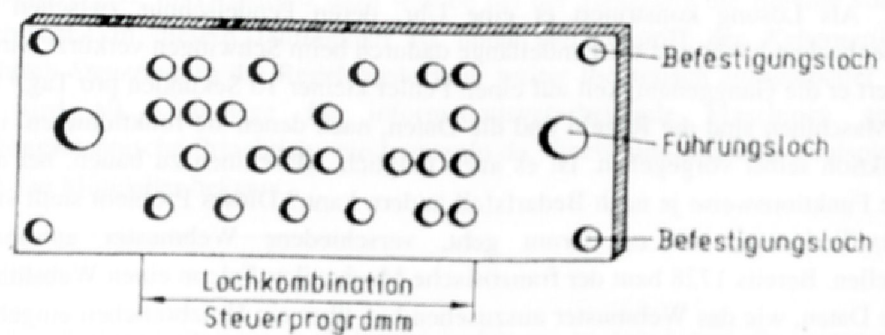
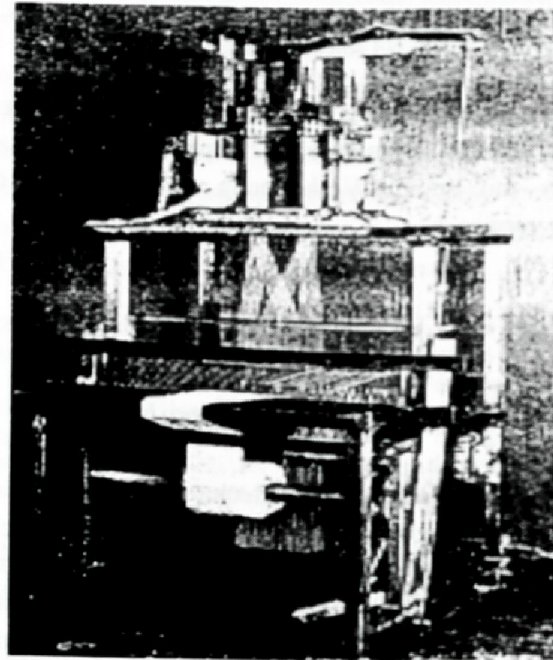


Bild 3.6 Automatisierter Webstuhl (oben) und ein zur Programmsteuerung verwendetes Holzbrettchen (unten)¹

¹ vgl. VORNDRAN, EDGAR P.: a.a.O., S.57

Schließlich gelingt Charles Babbage mit einer minimalen regelungstechnischen Automatentheorie der Entwurf eines *programm-gesteuerten Rechenautomaten*. Dieser Entwurf von 1833 läßt sich jedoch wegen fehlender technischer Möglichkeiten noch nicht verwirklichen. So nimmt Konrad Zuse 1941 den ersten *Rechenautomaten mit Programmsteuerung* in Betrieb, dieses Gerät war ein elektromagnetischer Rechner.¹ Der Computer im heutigen Sinne wird geboren, als Zuses Rechenautomat mit elektronischen Bauelementen verwirklicht werden konnte (ENIAC: Electronic Numerical Integrator and Calculator; 1946). Mit der Miniaturisierung der elektronischen Effekte in Halbleitermaterialien und der Entwicklung der ersten integrierten Schaltung (IC: Integrated Circuit; umgangssprachlich auch „Chip“) auf einem einzigen Bauteil (1961) sind die Türen für die heutige Mikroelektronik geöffnet. Wichtigste IC's sind Mikroprozessoren und Speicher; eine neuere Form bilden die schon besprochenen neuronalen Netze. Aber auch mikromechanische Systeme wie Sensoren oder Schalter werden heute durch die so verfügbar gewordenen Fertigungsverfahren hergestellt.²

Der kreative Prozeß ist durch implizite Wissensstrukturen geprägt und läuft größtenteils unbewußt ab. Die kulturellen Randbedingungen scheinen neue Erfindungen zu prädestinieren.³ Das liegt daran, daß auf der Basis eines reichen, analogen Realitätsmodells breite, schon „sicher“ funktionierende, implizite Wissensstrukturen als Lösungskonstrukte für vorliegende Probleme eingesetzt werden. Vor diesem Hintergrund betrachtet sind auch die Strukturen moderner Produkte der Mikroelektronik kein Zufall:

Das Studium alter und neuerer Stadtpläne führt uns auf geradezu frappierende Ähnlichkeiten zu unseren Chip-Layouts [...].⁴

So, wie im Städtebau soziale Funktionen sich in der Struktur der Stadt widerspiegeln (z.B. Wohnungs-, Arbeitsplatz-, Versorgungs-, Erholungsstruktur), so wird der Techniker, der in einer solcherart gestalteten Umwelt groß wird, solche nichtsprachlichen, aber hochsymbolischen Denkmuster *zumeist unbewußt* für die Bewältigung der täglichen Arbeit verwenden. Da diese Denkmuster „gut funktionieren“, werden sie selbst nicht zum Problem und werden damit nicht vom Metarepräsentationsprozeß erfaßt. Wenn eine kulturelle Stufe eine bestimmte Ausdifferenzierung der Funktionen z.B. im sozialen Leben verwirklicht hat, dann wird dies sich auch in der Technik wiederfinden.

¹ vgl. a.a.O., S.74

² Ein Überblick zu Produktionsverfahren und Produkten liefert: **LUHN, GERHARD: Technologie und Produktionsverfahren der Mikroelektronik**, in: Feldmann, Klaus: Skripte zur Vorlesung 'Produktionssysteme in der Elektronik', Universität Erlangen-Nürnberg 1990/91

³ vgl. **ROPOHL, GÜNTER: Technik als Gegennatur**, a.a.O., S.66; ferner **SACHSSE, HANS: a.a.O.**, S.93ff

⁴ **RÜCHARDT, HUGO: VLSI-Design-Scenario**, in: Sonderdruck aus „ntz“, Bd. 37 (1987), Heft 11, S.6 [In einem persönlichen Gespräch mit dem Autor konnte ich mich davon überzeugen, daß die offensichtlichen Ähnlichkeiten zwischen Stadt- und Chip-Layout tatsächlich von den verantwortlichen Ingenieuren nicht bewußt beabsichtigt waren.]

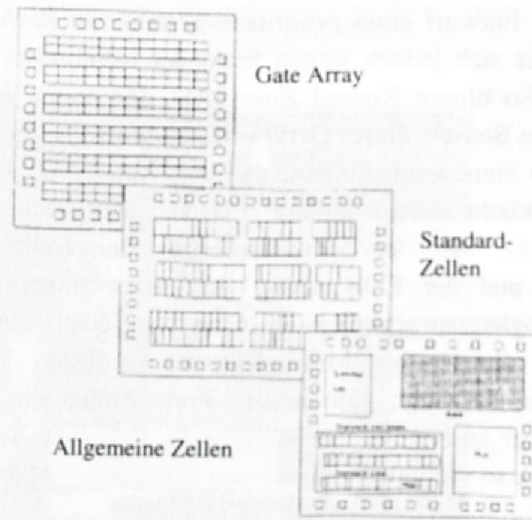


Bild 3.7 Gegenüberstellung des Designs mikroelektronischer Produkte (oben) und verschiedener westlicher Stadttypen (unten).¹

Neue Erfindungen „liegen sie in der Luft“, entstehen auf der Basis von kulturell verfügbaren, aber nichtsprachlich-symbolischen kognitiven Strukturen (unser sicher funktionierendes Realitätsmodell) und deshalb werden sie an verschiedenen Orten nahezu gleichzeitig getätigt, wie etwa die Erfindung des Mikroprozessors durch den

¹ aus: a.a.O., S. 6f

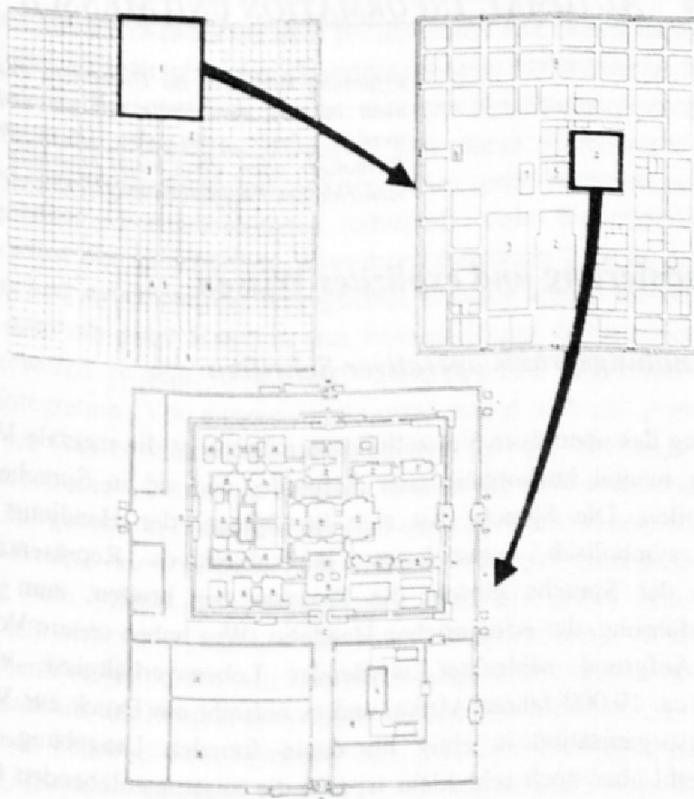


Bild 3.8 *Kyoto, die 794 gegründete Hauptstadt Japans, liefert ein besonders schönes Anschauungsmaterial von implizit-kultureller Intelligenz, die für die Realisierung hochintegrierter Schaltungen notwendig ist. Selbst ohne die Grundlagen der Siliziumtechnik entdeckt zu haben, brachten es die Japaner in erstaunlich kurzer Zeit zu Höchstleistungen in der Anwendung dieser Technik.¹*

Amerikaner Gilbert P. Hyatt 1969 und - etwas später - durch die Firma Intel.² Denn die im persönlichen Bereich ablaufenden Problemlösungsprozesse gehen von sehr ähnlichen Randbedingungen aus. Durch die fortschreitende Normierungsleistung der Kultur ist unser Menschenbild durch eine starke mechanistische Ausrichtung gekennzeichnet. Das heutige negative Beispiel dazu sind die durch dieses verkürzte Menschenbild möglich gewordenen Konzepte der alleskönnenden Maschinen, der Computer.³

¹ aus: a.a.O., S.7

² Bekannt geworden ist dieser Fall wieder in neuerer Zeit, weil Hyatt das Patent erst 1988 erteilt bekommen hat.

³ Der Computer wird immer noch als „universale Maschine“ angesehen (vgl. VDI-Hauptgruppe (Hrsg): a.a.O.). Dies impliziert eine mögliche Autonomie. In Wirklichkeit ist er aber alles andere als autonom, und in den folgenden Kapiteln soll ein möglicher Weg zum Aufbau automatischer, aber dennoch an die Struktur menschlichen Handelns abgestimmter, rechnerintelligenter Systeme aufgezeigt werden. Dies steht unter dem Motto: die Automaten brauchen den Menschen doch!

4 AUTOMAT, INFORMATION UND MENSCH

Erfahrung kann sich ins Unendliche erweitern, Theorie nicht in eben dem Sinne reinigen und vollkommener werden. Jener steht das Universum nach allen Richtungen offen, diese bleibt innerhalb der Grenze der menschlichen Fähigkeiten eingeschlossen.¹

4.1 Automatisierung und explizites Wissen

4.1.1 Die Handlungspraxis operativer Schriften

Die Entwicklung des operativen Vorstellungsvermögens ist die mentale Voraussetzung zur Erzeugung mental hochorganisierter Symbole, wie sie in Sprache und Schrift verwendet werden. Die Sprache hat sich im Spiegel der Handlung als lautlich-phonetisches, symbolisch organisiertes, intersubjektives Repräsentationsmedium entwickelt. In der Sprache gipfeln die Prozesse der breiten, zum größten Teil unbewußten Erfahrung, des erfolgreichen Handelns. Was haben unsere Vorfahren wohl gesprochen? Aufgrund schlechter werdender Lebensverhältnisse verlassen die Menschen vor ca. 10.000 Jahren Afrika, und es entsteht ein Druck zur Verständigung und Handlungsorganisation in einer bis dahin fremden Umgebung. Solange die Bevölkerungszahl aber noch sehr klein ist und die zusammenlebenden Gruppen eine Anzahl von 100 Exemplaren nicht übersteigt (bis vor ca. 25.000 Jahren), dürfte die sprachliche Kommunikation im Vergleich zu den heutigen kulturellen Verhältnissen noch nicht besonders komplex gewesen sein; zudem lebten die Gruppen weit auseinander.

Mit der Diversifizierung von Handlungen im aufkommenden Neolithikum dürfte jedoch ein bedeutend größerer Bedarf für sprachliche Ausdrücke entstanden sein. Dann wird es notwendig, symbolisch in der Sprache das Handlungsvermögen dieser ersten Kultur zu repräsentieren; nur so lassen sich die für die Agrarwirtschaft notwendigen Tätigkeiten koordinieren. In einer Kultur als einem funktionierenden Gesamtsystem werden damit Handlungen und ganze Handlungszusammenhänge immer weiter im Detail geregelt, damit sie personenunabhängig ausgeführt werden können; sie werden zunächst sprachlich *expliziert* und dann - durch den Einsatz eines kulturell normierten Sprachzeichensystems, das an die Stelle der oralen Kommunikation tritt - *formalisiert*. Wenn die Schrift aus einem Buchhaltungsverfahren entstanden ist, dann darum, um dieses Verfahren handlungstheoretisch zu *regulieren*. Handlungen können in dieser hierarchisch organisierten Kultur zentral in einer einzelnen oder wenigen Personen repräsentiert werden. Diese Person als repräsentierendes System relaxiert dann dadurch, indem ganze Blöcke symbolisch repräsentierter Handlungsstrukturen an *operative*

¹ GOETHE, JOHANN WOLFGANG VON: *Maximen und Reflexionen*, in: Hamburger Ausgabe (Hrsg.: Trunz, Erich), Bd. 12, München 1982, S. 442

Funktionseinheiten (also an Menschen) über Sprachprozesse delegiert werden. Die Erfindung eines Berichtswesens als dem perzeptuellen Part dieser Gesamtorganisation läßt so eine Kultur als intersubjektives Handlungssystem funktionieren. In diesem Sinne dient eine regulative Sprache dazu, breites, analoges Handlungswissen in ein formales, kulturell verfügbares Gerüst zu zwängen und damit Handlungen intersubjektiv mitteilbar und nachvollziehbar zu machen. Dies geht natürlich auf Kosten des Informationsgehaltes: Formalisierungen erfordern viele Einschränkungen. Dieser Informationsverlust der sprachlichen Wissensrepräsentation wird in der Kultur durch Spezialisierung und Arbeitsteilung ausgeglichen. Deshalb scheint die relativ „einfache“ Buchhaltung auch ein guter Kandidat zur Formalisierung durch einen symbolischen Zeichensatz gewesen zu sein. „Fortschritt“ entsteht durch individuelle Kreation und kulturelle Reintegration. Vor diesem Hintergrund lassen sich die genialisch-trivialen Experimente des Galileo Galilei verstehen, dem es gelingt, die Fallgesetze in einem sprachlich-symbolischen Gerüst zu erfassen und zu formalisieren. Jedem Menschen sind zwar die Fallgesetze in Form bildhaft-analoger Repräsentationen bekannt, aber erst die sprachlich fixierte *Formel* objektiviert dieses Erfahrungswissen in einer Weise, daß es unabhängig vom Subjekt dargestellt werden kann. Mit dieser Schrift, mit diesem Formelschatz läßt sich nun symbolisch operieren, handeln: allein durch Manipulation der symbolischen Zeichen lassen sich Zusammenhänge voraussagen und simulieren, die für diesen Ausschnitt der Realität zuverlässig nachprüfbar sind. Die Welt spiegelt sich also zum kleinen Teil in diesem Symbolsystem, und *die formelhafte, operative Schrift wird zu einer Maschine, zu einem Automaten*, der die verschiedenen Zustände dieser Symbolwelt durch eine interne Systembewegung erzeugen und repräsentieren kann:

Wo beim Problemlösen operative Schriften zum Einsatz kommen, wird die Schrift zu einer symbolischen Maschine. Kennzeichen einer symbolischen Maschine ist, daß die rein syntaktische Konsistenz einer Symbolmanipulation die Garantie übernehmen kann für die semantische Kohärenz des dadurch entstehenden Ausdrucks.¹

Das heißt, die Interpretation, die mentale Rekonstruktion des mit einer operativen Sprache erzeugten Ergebnisses führt unabhängig von subjektiven Voraussetzungen zu einem intersubjektiv überprüfbaren, „richtigen“ Resultat. Mit dem Übergang der Schrift von einem lediglich eine begrenzte Anzahl diskreter Zustände repräsentierenden Buchhaltungssystem zu einer symbolischen Maschine, zu einem Symbolsystem wird nunmehr die Repräsentation von unendlich vielen Zuständen möglich. Dieser *kontinuierliche* Bereich unendlich vieler, aber strukturell möglicher Zustände sei der *Wirkraum* des Symbolsystems genannt. Ein *operatives Symbolsystem* ist ein Zeichensystem, das neben seiner Darstellungsfunktion auch als operatives Instrument innerhalb eines definierten Wirkraumes dient.² Den unendlich vielen symbolischen Zuständen entsprechen unendlich viele Handlungen und damit unendlich viele Zustände

¹ KRÄMER, SYBILLE: *Die Entstehung der Künstlichen Intelligenz aus dem Geist der Schrift*. Berlin 1990, S.4 [unveröffentlichtes Manuskript]

² Sybille Krämer bezeichnet dies als „symbolische Maschine“, vgl. KRÄMER, SYBILLE: *Operative Schriften als Geisteschnik*, a.a.O., S.73. Ich möchte hier den Terminus „operatives Symbolsystem“ verwenden, um in diesem Begriff den vom Menschen durchzuführenden, notwendigen Abgleich des in dem Symbolsystem dargestellten Realitätsausschnitts mit der Wirklichkeit bereits konzeptionell zu berücksichtigen.

des mentalen Repräsentierens, also des Denkens. Deshalb spricht Sybille Krämer davon, daß es um 'die Exteriorisierung des Denkens durch die operative Schrift'¹ geht. Während beim Automaten noch die kognitive Struktur des autonomen, einfunktionalen Mechanismus im Vordergrund steht, wird durch die Anwendung des Verfahrens der operativen Symbole der Funktionsbereich der Maschine beträchtlich ausgeweitet. Solche Symbole sind beispielsweise die Holzbrettchen in Falcons *automatisiertem Webstuhl* von 1728. Jede Lochkarte symbolisiert ein bestimmtes Webmuster, und der Weber kann über diese symbolische Manipulationsebene unterschiedliche Webmuster erzeugen, weil die Lochkarten im Gesamtgefüge des Webautomaten ihnen eindeutig zugeordnete Webmuster *repräsentieren*. Jetzt sind wir ans Wesen der Automatisierung vorgedrungen:

THESE A_{anth}: (ANTHROPOLOGISCHE DIMENSION DER AUTOMATISIERUNG)

Automatisierung entsteht durch die materielle Exteriorisierung eines operativen Symbolsystems. Die operative, mentale Manipulation des formelhaften Symbolsystems ist (weitgehend) isomorph mit der physischen Manipulation des darin repräsentierten Realitätsausschnitts. Die kontrollierte Verwendung des Automaten wird von einfachen Ursache-Wirkprinzipien (in denen der Mensch nur in direkter Motorik integriert ist) auf symbolisch-mental immer „höhere“ Funktionsprinzipien transformiert, in denen der Mensch nur noch Abgleichsfunktionen und höherstehende Steuerungsfunktionen übernimmt. Der Mensch kann diese Steuerungs- oder Pilotierfunktion des Gesamtsystems übernehmen, wenn er über eine strukturelle Kopplung die inneren Gegebenheiten des technischen Systems an neue äußere Anforderungen anpassen kann, mithin den Wirkraum des Systems nach seinen eigenen Vorgaben strukturieren kann. Solche Automatisierungssysteme sind demnach nicht vollständig determiniert. Sie werden erst durch den Anwender stabilisiert, der bei der Gestaltung des Wirkraums entsprechend sein Know-how einbringen muß.

An dieser Stelle möchte ich auf das hervorragende Buch von Terry Winograd und Fernando Flores hinweisen, das in der Informatik-Welt wie ein Paukenschlag gewirkt hat (dies stellt jedenfalls Wolfgang Coy im Nachwort fest). Wenn ich auch der persönlichen, analog-bildhaften, vorsprachlichen Wissensdimension ein deutlich stärkeres Gewicht zugewiesen habe (ich kann ihrer These: '*Nichts existiert außer durch Sprache*'.² nicht zustimmen, das dürfte aus allen bisherigen Ausführungen klar geworden sein), so bin ich mit ihrer Idee einer notwendigen Neuorientierung in den Wissenschaften, die mit Informationssystemen umgehen, ganz einer Meinung. Denn die mit dem Systemanwender gemeinsam durchzuführende kreative Gestaltung der funktionalen Struktur des oben besprochenen Wirkraums³, auf dessen Basis das Automatisierungssystem funktionieren soll und durch den das Gesamtsystem auf eine

¹ KRÄMER, SYBILLE: *Die Entstehung der Künstlichen Intelligenz...* a.a.O., S.7

² WINOGRAD, TERRY; FLORES, FERNANDO: *Erkenntnis Maschinen Verstehen. Zur Neugestaltung von Computersystemen*. Berlin ²1992

³ Winograd und Flores nennen dies *systemische Bereiche*; vgl. a.a.O., S. 286-92

systemtheoretisch höhere strukturelle Ebene hochgehoben wird, ist die eigentliche Kunst der Automatisierung. Um es nochmals klar zu sagen: Solcherart gestaltete Automatisierungssysteme werden dadurch indeterminiert und der Anwender muß das notwendige Know-how durch die entsprechende Strukturierung des Wirkraums einbringen, um das Gesamtsystem damit zu stabilisieren.

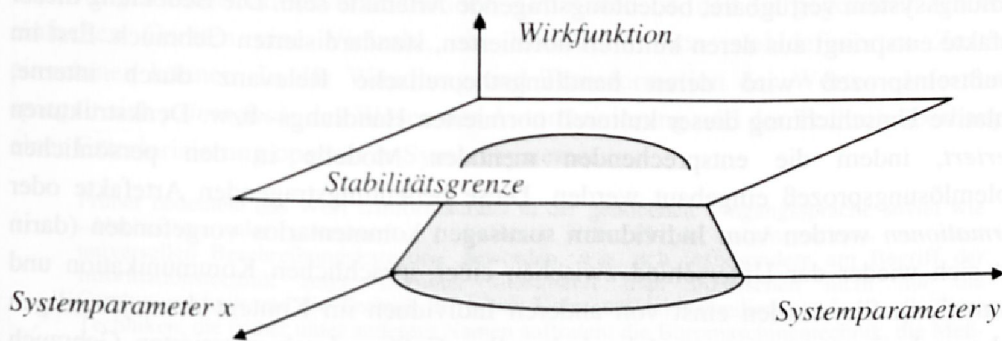


Bild 4.1 Wirkraum und Systemstabilität

Die technische Handlung wird strukturell mit diesem Wirkraum gekoppelt, indem die nun innerhalb des Wirkraums definierbaren *Wirkstrukturen* gleichsam als *Werkzeug* des Handelns dienen.³ Durch kontinuierlichen Erfahrungsaufbau gelingt es schließlich - obwohl man sich eines digitalen Rechners bedient -, die Stufe des analog-symbolischen, gefühlsgeleiteten technischen Handelns zu erreichen. Das heißt, man geht vom sprachlich orientierten, sequentiellen Handeln zum hochsymbolisch orientierten, durch reiche implizite Wissensstrukturen getragenen, erfolgreichen Handeln des Könners und Künstlers über. Ziel ist also nicht die eindimensionale, autonome Konzeption von Automatisierungssystemen, sondern deren strukturell offene Gestaltung, so daß der Mensch vielseitigen Einfluß auf die Aufbau- und Ablaufcharakteristika des Gesamtsystems nimmt. „Strukturell offen“ indiziert in dieser Notation auch die Gegebenheit der mentalen Einbettung der Systemstrukturen in die umfassenderen Erfahrungsstrukturen des die Handlung führenden Menschen. Dies geschieht mit dem Zweck, mittels strukturöffnender Konzepte den in jedem Automatisierungssystem nur minimal repräsentierten Realitätsausschnitt an die sich ändernden tatsächlichen Verhältnisse laufend anpassen zu können. Damit dürfte die handlungstheoretische Dimension neuer Technikgestaltung am Beispiel der Automatisierungstechnik klar geworden sein: Der Mensch wird durch diesen handlungstheoretischen Ansatz der strukturellen Kopplung ganz von selbst in die Lage versetzt, diese Techniksysteme bewußt nach Vorgaben seiner Erfahrung *pilotieren* zu müssen. Dies ist gemeint, wenn ich Automatisierung als die Handlungspraxis operativer Schriften begreife.

³ Der Begriff der *strukturellen Kopplung* stammt ursprünglich von Maturana / Varela und wird von Winograd / Flores zur Gestaltung von Computersystemen aufgegriffen. Ich verwende ihn ganz ähnlich, lege aber Wert auf die gezeigte analog-bildhafte, sensomotorisch-symbolische, nichtsprachliche Struktur unserer Erkenntnis, die die Basis unserer sprachlich-expliziten Wissensstrukturen bilden. Diese wird von Maturana / Varela bestritten. Vgl. MATURANA, HUMBERTO R.; VARELA, FRANCISCO J.: *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. Bern München 1987

4.1.2 Information ist Erfahrung „zweiter Hand“

Angesichts eines Problems (und sei es die Suche nach Ausdrucksmitteln für ein musikalisches Gefühl) besorgen wir uns *Informationen* zu dessen Bewältigung. Diese Informationen können sprachliche, bildhafte, tonale oder sonstwie im kulturellen Handlungssystem verfügbare, bedeutungstragende Artefakte sein. Die Bedeutung dieser Artefakte entspringt aus deren kulturell normierten, standardisierten Gebrauch. Erst im Bewußtseinsprozeß wird deren handlungstheoretische Relevanz durch interne, simulative Umschichtung dieser kulturell normierten Handlungs- bzw. Denkstrukturen generiert, indem die entsprechenden mentalen Modelle in den persönlichen Problemlösungsprozeß eingebaut werden. Diese bedeutungstragenden Artefakte oder *Informationen* werden vom Individuum sozusagen kommentarlos vorgefunden (darin zeigt sich wieder der Unterschied zwischen einer sprachlichen Kommunikation und Information). Sie wurden einst von anderen Individuen im Kontext derer jeweiligen Erfahrungshorizonte erzeugt und im kulturellen Gefüge durch normierten Gebrauch standardisiert. Dies zusammengefaßt aber heißt: *Information ist Erfahrung „zweiter Hand“*.¹ Diese Aussage gilt für die handlungstheoretische Dimension des Begriffs Information und ist hier das zentrale Thema.² Information kann im persönlichen Problemlösungsprozeß zu Wissen werden, wenn mittels dieser vorgefundener Denk- und Handlungshilfen mentale Problemlösungen generiert werden können und sich diese neuen mentalen Modelle bei Erfolg über die gedächtnisaktiven Funktionen im neuronalen Substrat stabilisieren. In der Welt der Technik kann der Weg von Werkzeugen, die zunächst noch in direkter Handlungsmotorik liegen (Faustkeil) über Werkzeuge in indirekter Motorik bis hin zu den Automaten beschritten werden, in denen der Mensch selbst erstmals aus dem direkten Anwendungszusammenhang zurücktritt. Durch eine überproportional wachsende, arbeitsteilige Kultur können genügend mentale Kapazitäten freigesetzt werden, die neue technische und soziale Erfindungen auf der Basis eines reichen, analogen, in großen Teilen unbewußt erlebten Realitätsmodells kreieren. So entsteht aus einem Zählverfahren schließlich die Schrift und die mathematischen Formelsysteme. Der moderne Automat entsteht durch Exteriorisierung hochsymbolisch organisierter, im kulturellen Handlungsgefüge normierter, durch operative Schriften formalisierter mentaler Strukturen. Das Mittel der Wahl dieses kognitiven „Auslagerungsprozesses“ sind Maschinen, die diese operative, formelhafte Schrift adäquat repräsentieren: es sind „informationsverarbeitende“ Automaten. Am Beispiel von Galileis formelhaft repräsentierten Fallgesetzen haben wir bereits im vorangegangenen Abschnitt gesehen, daß diese Formeln ein operatives Symbolsystem sind, weil sie neben der Darstellungsfunktion auch die operative Funktion von der möglichen Erzeugung beliebiger interner Zustände des

¹ Arnold Gehlen führt diese treffende Charakterisierung der anthropologischen Dimension des Informationsbegriffs meines Wissens als erster ein. Vgl. GEHLEN, ARNOLD: *Die gesellschaftliche Situation in unserer Zeit*, in: ders.: *Anthropologische...* a.a.O.

² Günter Ropohl diskutiert aus einer techniktheoretischen Perspektive definitorische, ontologische und epistemologische Aspekte des Informationsbegriffs. Vgl. ROPHOL, GÜNTER: *Menschliche und „künstliche“ Intelligenz*, a.a.O.

Symbolsystems erfüllen (beispielsweise sind die Fallgesetze auf jede beliebige Fallhöhe zur Berechnung der Aufprallgeschwindigkeit anwendbar). Dieses operative Symbolsystem kann nun, etwa in Form einer schriftlichen Notation, zu Information werden. Wird es in einer Rechenmaschine als ablauffähiges Programm implementiert, dann haben wir einen informationsverarbeitenden Automaten geschaffen. Kennzeichen der heutigen informationsverarbeitenden Automaten ist, daß sie gegenüber den ersten, einfachen Geräten eine Vielzahl, ein Kontinuum von wohldefinierten Zuständen einnehmen können. In der Wandlung und Transformation des Wortes „Information“ spiegelt sich *prima facie* das Wesen der Automatisierung und der Technik überhaupt als einer Exteriorisierung operativer Symbolsysteme:

Früher bedeutete das Wort »Information« in der gehobenen Umgangssprache soviel wie »Nachricht« oder »Auskunft« [...] Heute jedenfalls ist »Information« zu einer universellen Beschreibungskategorie geworden, was sich insbesondere am Begriff der Informationstechnik zeigt. Darunter subsumiert man inzwischen nicht nur die Computertechnik und die Technik der neuen Kommunikationsmedien, sondern auch ältere Techniken, die früher unter anderem Namen auftraten: die Büromaschinentechnik, die Meß-Steuerungs- und Regelungstechnik, die Optische Technik u.a.¹

Während „Information“ zunächst eine für unsere momentane, persönliche Disposition bedeutsame Nachricht ist, wird später durch die maschinelle Exteriorisierung der informationsübertragenden Nachrichtenträger im Rahmen eines kulturell verfügbaren, normierten Symbolsystems die individuell-subjektive Nachricht zur kulturell-objektiven „Information“ transformiert, wobei die individuelle, persönliche Dimension immer mehr zugunsten kulturell normierter, das heißt objektivierter Nachrichten zurücktritt. So hat der Informationsbegriff eine „subjektive“ Seite, die den Zusammenhang von eintreffenden Nachrichten mit unserem persönlichen, impliziten Wissen und unserer momentanen Disposition betreffen - und er hat eine „objektive“ Seite, die den Bezug dieser Signale zu unserem kulturell normierten, expliziten Wissen darstellen.

„Objektive Information ist eine Struktur, die in einem empfangenden System etwas bewirkt.“ Sie ist eine Struktur, d.h. eine Ordnung von Informationsträgern (Zeichen), und sie bewirkt etwas, von einfachen physikalischen oder chemischen Reaktionen bis zum Aufbau innerer Modelle bei intelligenten Wesen. Dieser Objektivierung muß man aber aus guten Gründen einen subjektiven Informationsbegriff gegenüberstellen, in den man den Menschen mit seinen Kenntnissen, seinen Erwartungen, seiner Interessenlage, seiner Gemütslage, seiner Neugier usw. einzubeziehen hat.²

Die Informationsmaschinen von heute sind kulturell-objektivierte, multifunktionale Automaten. Wenn dann Information - die dritte Grundgröße neben Materie und Energie³ genannt wird, dann spiegelt sich darin der Phänomenbereich neuer Wirklichkeitsstrukturen, der sich durch das in Automaten realisierte Prinzip der operativen Schrift konstituiert. Die modernen Programmiersprachen sind nichts weiter als Dialekte dieser operativen Schrift. Damit können wir das handlungstheoretische Verhältnis von Automat, Information und Mensch klären:

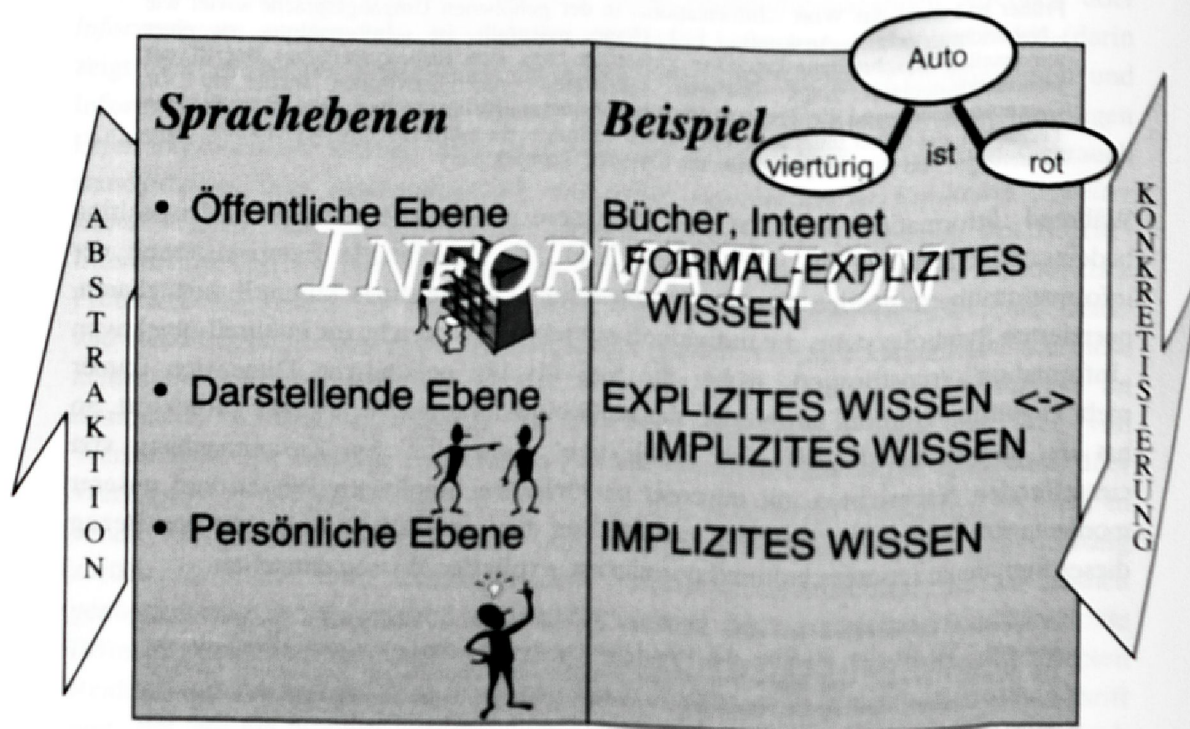
¹ ROPOHL, GÜNTER: Menschliche und „künstliche“ Intelligenz. a.a.O., S. 149

² STROMBACH, WERNER: Anthropologische Fragen zur Informationstechnologie, in: 7. Int. Kongress. Datenverarb. im europäischen Raum. Informationstechnologie / Realität und Vision. Wien 1984, S. 677

³ GITT, WERNER: Information - die dritte Grundgröße neben Materie und Energie, in: Siemens-Zeitschrift 4 1989, S. 4-9; vgl. auch ROPOHL, GÜNTER: Menschliche und „künstliche“ Intelligenz. a.a.O.

THESE A_{hand}: (HANDLUNGSTHEORETISCHE DIMENSION DER AUTOMATISIERUNG)

Automaten sind von Menschen generierte, materiell-operative Symbolsysteme, die der Mensch über strukturelle Kopplungen betreiben und pilotieren kann. Sind operative Symbolsysteme informationsverarbeitende Systeme, dann sind diese Automaten Computer und die strukturellen Kopplungen sind Dialekte implementierbarer Programmiersprachen und Befehlssätze. Diese können auch mittels analog-bildhafter oder spracherkennender (im Sinne der Rekonstruktion syntaktisch vorgegebener Textstrukturen) Kopplungsstrukturen realisiert sein.



Nicht die Aussage ist der primäre Ort des Wissens, sondern umgekehrt: nur durch IMPLIZITES WISSEN werden gehaltvolle sprachliche Aussagen generierbar / rekonstruierbar.

Bild 4.2

a) Information ist „Erfahrung zweiter Hand“

INFORMATION – repräsentiert nur den bedeutungstragenden Zeichensatz, nicht aber den jeweils bedeutungsgenerierenden Kontext. – Grundlage der Inversen Semantik.

Bild 4.2 b) Information und Inverse Semantik

Mit informationsverarbeitenden Systemen sind hier technische Systeme gemeint, die nach syntaktisch fest vorgegebenen Regeln Zeichen verarbeiten, das heißt Zeichen empfangen, speichern, nach festen Regeln verändern und schließlich senden. Zwei Dinge gilt es noch zu erläutern: Erstens der Mythos vom Computer als einer „universalen Maschine“ und zweitens der Mythos von der „Anwenderoberfläche“.

Erstens: Der Computer ist keinesfalls, wie immer wieder behauptet wird, eine universale Maschine.¹ Dies kann, kurz gesagt, als eine Art optischer Täuschung entlarvt werden. Denn die vermeintliche „Universalität“ des Computers rührt einfach daher, daß sich dies nur auf formalisierbare, in operativen Schriften repräsentierbare Probleme bezieht. Die Hauptschwierigkeit besteht aber doch darin (wie ich noch an Beispielen zeigen werde), in einem kreativen Akt Probleme überhaupt als solche zu *erkennen*. Denn dann besitzt der Mensch schon so viel Erfahrung, nicht relaxierende Aktivierungen unter Anwendung persönlicher und kulturell normierter Wissensstrukturen auf einer solchen Art zu *explizieren*, daß mögliche Problemlösungen mit den verfügbaren Wissensstrukturen schon als prinzipiell möglich erscheinen.

Im repräsentierenden System zeigt sich das so, daß eingehende Aktivierungen, die nicht auf einer unteren Repräsentationsebene bereits abgearbeitet werden können, von der Metarepräsentationsfunktion erfaßt und damit als bewußtes Problem erkennbar werden. Diese persönliche Wissensdimension ist aber gerade durch die spontanen, kreativen Prozesse niemals formalisiert. So wird der größte Teil der Umweltreize erst gar nicht verarbeitet. Beispielsweise ist dies für chaotische, scheinbar unzusammenhängende Bilder der Fall. Eskimos können zwischen 7 (oder noch mehr) Schneesorten unterscheiden. Ein südamerikanischer Indianer des Urwalds wird kaum in einer solchen Umgebung auf sinnvolle Problemlösungen stoßen, weil er die aus Schneekonstellationen resultierenden Probleme überhaupt nicht sieht.

So ist es auch in know-how-intensiven Industriebetrieben. Eine universale Maschine müßte leicht universale Probleme erkennen und dafür Lösungsvorschläge bieten. Dies ist beim Computer allerdings nicht der Fall.

¹ Dies beschreibt auch **ROFOHL, GÜNTER: Die Maschinenmetapher**, in: Technologische Aufklärung ... a.a.O.

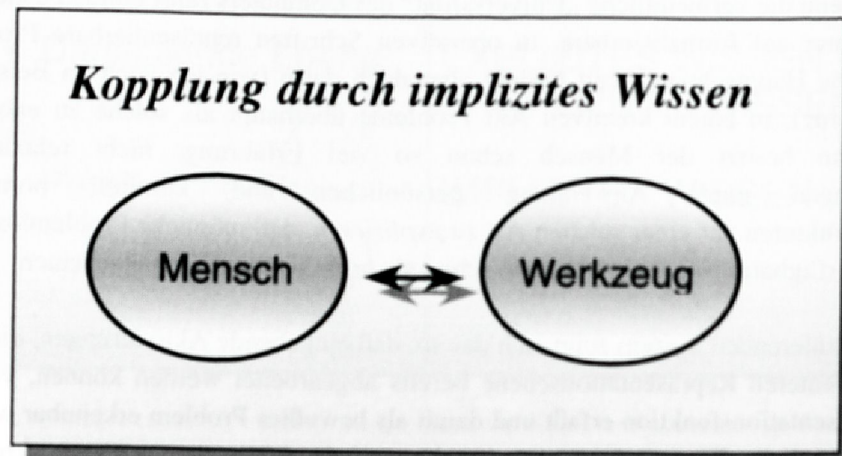
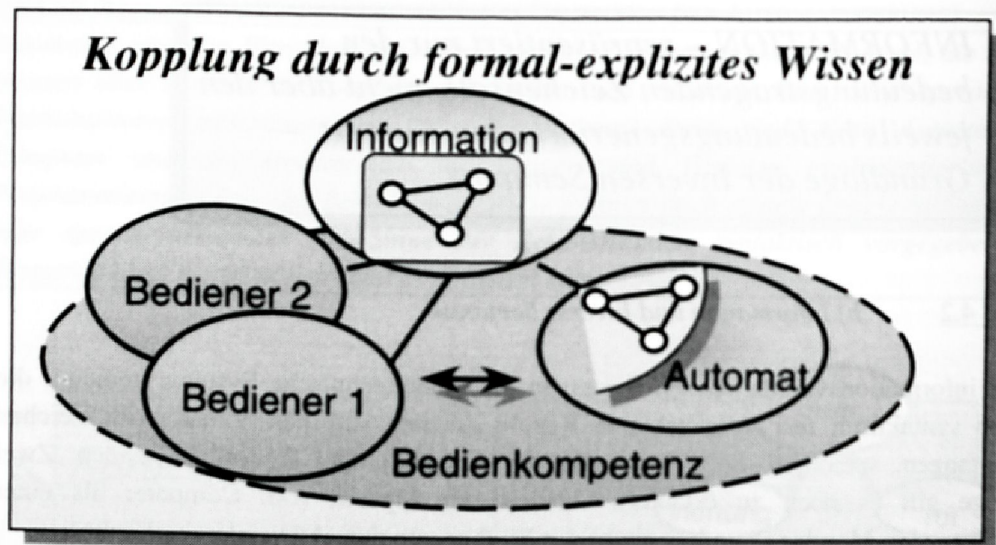


Bild 4.3 Mensch-Maschine-System und Wissenskontexte

Zweitens: Der Computer hat keine „Anwenderoberfläche“. Eine Oberfläche ist etwas, das ein Ding von einem anderen trennt, so daß diese beiden Dinge relativ unabhängig und autonom voneinander erhalten bleiben. Dahinter verbirgt sich immer noch die rationalistische Denkannahme, daß der Computer in einer relativ autonomen, vollständigen Weise Realität darstellen und mit geeigneten Problemlösungsprozeduren nach Lösungen suchen kann, so daß der notwendige Berührungskontakt des Menschen mit dem Computer sich auf eine lediglich „oberflächliche“ Struktur beschränken

könnte. Die Wirklichkeit liegt jedoch genau andersherum, wie sich am allgemeineren Fall des Werkzeuggebrauchs zeigen läßt: Wir „verlängern“ sozusagen unseren Körper in das Werkzeug hinein, das heißt unsere internen mentalen Steuerungsstrukturen werden um strukturelle mentale Modelle des jeweiligen Werkzeugs erweitert.¹ Dies gilt genauso für rein mechanische Werkzeuge wie für Automaten oder Computer. So bauen wir uns im erfolgreichen Umgang mit dem Computer interne, hochsymbolische, analog-nichtsprachliche Modellstrukturen auf, mit deren Hilfe wir ohne langwierige, sprachliche Reflexion sehr schnell durch mentale Simulation zu möglichen Problemlösungen kommen.

Das englische Wort „Interface“, in seiner Bedeutung als „Kopplung“ verwendet, kommt hier der Sache schon wesentlich näher. Primäres Ziel ist nämlich nicht die Gestaltung einer „Anwenderoberfläche“, obwohl dies durch rein mechanisch-ergonomische Gesichtspunkte rechtfertigbar scheint,² sondern die *Gestaltung eines wirkungsvollen, strukturellen, in die Tiefe gehenden Mediums der Handlungskopplung*. Denn durch die ganze „Oberflächen-“ bzw. „Schnittstellen-“ Diskussion wird das eigentliche Problem, das die prinzipielle Stellung des Menschen im Verhältnis zum Computer aus einer anthropologisch-handlungstheoretischen Perspektive ist, überhaupt erst gar nicht berührt. Auf diesem Weg wollen wir hier aber weiter fortfahren. - Insgesamt gipfelt in solchen Punkten die „implizite“ rationalistische Denkannahme, daß Computer implizite Informationen verarbeiten könnten.³

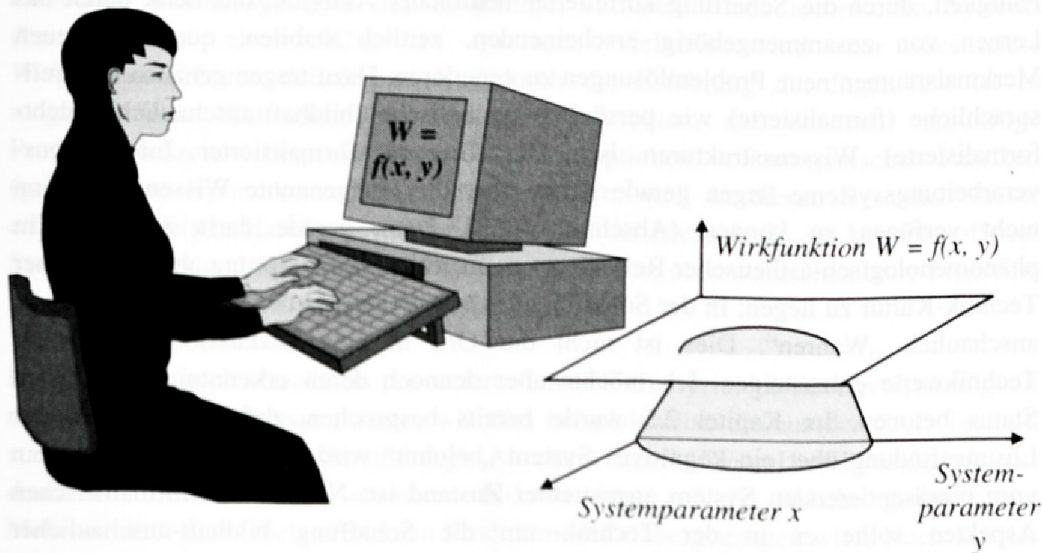


Bild 4.4 Strukturelle Kopplung und Wirkraum

¹ Vgl. dazu auch POLANYI, MICHAEL: a.a.O., S.21,23f

² Vgl. beispielsweise die unnötigen Gedanken, die unter Themen wie 'Die Software-Oberfläche stellt die Benutzerschnittstelle im engeren Sinne dar' ausgebreitet werden. Aus: OPPERMAN, RAINER: *Gestaltung der Mensch-Maschine-Kommunikation*. in: Informationstechnik 31 (1989) 3, S.182

³ Winograd / Flores explizieren dies als „Hintergrundproblem“; vgl. WINOGRAD, TERRY; FLORES, FERNANDO: a.a.O. S.185-91

4.2 Handlungskompetenz und die Grenzen von Informationssystemen

Der nächste wichtige Aspekt betrifft die Stellung des Menschen im Verhältnis zum Computer ist der Status unseres eigenen Wissens und dessen Repräsentation in informationsverarbeitenden Systemen. Wenn dieses Wissen vielleicht nur hypothetisch, aus logischer Sicht unvollständig und insgesamt ständig überprüfungs- bzw. korrekturbedürftig sein sollte, hätte dies wichtige Konsequenzen auf den erkenntnistheoretischen Status eines in einem Rechner abgebildeten Realitätsausschnitts. Im Kapitel 2.4 haben wir bereits gesehen, daß rein sprachlich kodiertes Wissen epistemologisch massiv unterbestimmt bzw. „gegenstandslos“ im Wortsinne ist. Ihm fehlen all diejenigen Wissenstrukturen, die eine Anwendung dieses Wissens im hier ausgearbeiteten handlungstheoretischen Sinne bedürfen: der rein sprachlichen „Theorie“ fehlt die Dimension der „Praxis“. Jetzt kommt aber noch hinzu, daß selbst ein aus handlungstheoretischer Sicht konsistentes Wissen nur hypothetisch und aus einer ontologischen Perspektive sogar unvollständig ist. Daraus folgen weitere Gesichtspunkte für die Gestaltung einer handlungstheoretischen „Offenheit“ von Technikkonzeptionen. In Abschnitt 4.2.1 wird zunächst mit Heisenbergs Unschärferelation diese logische Unvollständigkeit unseres theoretisch-formalisierten Wissens dargestellt. Daß der Mensch dennoch erfolgreich handelt, liegt an seiner Fähigkeit, durch die Schaffung korrelierter neuronaler Aktivität, das heißt durch das Lernen von zusammengehörig erscheinenden, zeitlich stabilen, qualitativ neuen Merkmalsräumen neue Problemlösungen zu generieren. Dazu tragen genauso kulturell-sprachliche (formalisierte) wie persönlich-symbolische (bildhaft-anschauliche, nicht-formalisierte) Wissensstrukturen bei. Die Grenzen formalisierter Informationsverarbeitungssysteme liegen gerade darin, über die letztgenannte Wissensdimension nicht verfügen zu können (Abschnitt 4.2.2). Denn gerade darin scheint - in phänomenologisch-ästhetischer Reflexion - ja überhaupt der Ursprung abendländischer Technik-Kultur zu liegen: In der Schaffung des ästhetisch „Schönen“ aus dem bildhaft-anschaulich „Wahren“. Dies ist nicht der Ort, in eine Diskussion ästhetischer Technikwerte einzusteigen. Ich möchte aber dennoch deren erkenntnistheoretischen Status betonen. Im Kapitel 2.5 wurde bereits besprochen, daß der Moment der Lösungsfindung über ein kognitives System „belohnt“ wird, weil diese Situation ein vom repräsentierenden System angestrebter Zustand ist: Neben allen formalistischen Aspekten sollte es in der Technik um die Schaffung bildhaft-anschaulicher „Wahrheiten“ gehen, die vom Menschen als „schön“ empfunden werden. Als kleines Beispiel sei hier angemerkt, daß der Mensch sich in einer vielgestaltigen, „schönen“, von ihm selbst so geschaffenen Umwelt sicher differenzierter und letztlich intelligenter entwickeln wird als in einer eindimensionalen, monokulturellen Umwelt. Den dazu notwendigen Wahrheitsbegriff werde ich in Kapitel 6. skizzieren. Diese repräsentationalen Gesamtzustände werden über ein kognitives System belohnt und beinhalten implizite Wissensstrukturen. Eine solche Technik betreibt den „kunstvollen“ Aufbau und Umgang technischer Systeme. Dies ist *kompetentes* technisches Handeln.

4.2.1 Heisenbergs Unschärferelation

Werner Heisenberg (1902 - 1976) hat 1926 mit seiner Unschärferelation eine ontologische Wissensgrenze formuliert, die dem wissenschaftlichen Determinismus ein jähes Ende bereitete. Diese Unschärferelation wirkt sich besonders in der Mikrowelt der Atome aus: danach ist es unmöglich, ein System (z.B. eine atomare Mikrostruktur) exakt zu vermessen, ohne dabei seine Lage zu verändern (ich unterschlage hier die weitere Problematik, daß auch die Abbildung der IC's als Vielteilchensysteme schon aus rein rechenpraktischen Gründen unmöglich ist). Das Produkt aus der Unbestimmbarkeit seines Ortes und der Unbestimmbarkeit seiner Geschwindigkeit wird immer größer sein als ein bestimmter Minimalwert. Folglich läßt sich auch nicht genau vorhersagen, wie es sich in Zukunft verhalten wird: Die rechnerinterne Darstellung der Wirklichkeit wird immer unvollständig sein. Aber durch die Erfahrung der Ingenieure gelingt es trotzdem, die Bedingungen so genau in den Griff zu bekommen, daß die Systeme der Mikroelektronik doch noch „verkaufbare“ Lebenszeiten haben. Das heißt, die Anfangsbedingungen auf der Mikrostrukturebene des Systems sind so genau definiert, daß sie im Verlaufe der garantierten Lebensdauer bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, so daß das System sich während dieser Zeit innerhalb der definierten Grenzen quasi-deterministisch und damit voraussagbar verhält. Hier liegt eine prinzipiell unüberwindbare Grenze der Formalisierbarkeit und damit der Automatisierbarkeit technischen Handelns. Denn es ist prinzipiell unmöglich, eine eindeutige Vorhersage über das zukünftige Verhalten eines technischen Systems (beispielsweise eines IC's) zu machen: vielmehr sind nur bestimmte *Wahrscheinlichkeiten* definierbar. Nur durch die Erfahrung der Ingenieure ist es möglich, diese Wahrscheinlichkeiten so zu gestalten, daß dennoch vernünftige Produktlebenszeiten herauskommen. Die Konzeptionen vollautomatischer Fabriken (geschlossene Systemkonzepte) mußten scheitern, weil in diesen Systemen dieser erfahrungsgeleitete Handlungsvollzug, durch den der Mensch als ein kognitiv offenes System flexibel und erfolgreich auf unvorhergesehene, aber wahrscheinliche Probleme reagiert, überhaupt nicht adäquat abbildbar ist.

Heisenbergs Unschärferelation provoziert demnach eine prinzipielle Unvollständigkeit rechnerinterner Realitätsstrukturen, wie dies beispielsweise die aus der CAD-Technik stammenden Produktmodelle sind (vgl. Abschnitt 1.2.1). Diese Unvollständigkeit tritt dann auf, wenn von der atomaren Mikrostruktur auf die übliche geometrische Makrostruktur eines rechnerinternen Produktmodells übergegangen wird. Noch auf der Mikroebene sind die Wahrscheinlichkeiten zukünftiger Produktzustände zumindest prinzipiell berechenbar. Üblicherweise (weil dies aus rechentechnischen Gründen einfach nicht mehr machbar ist) fallen diese Wahrscheinlichkeitsberechnungen auf der geometrischen Makroebene unter den Tisch. Diese Makromodelle haben demgegenüber einen anderen Vorteil: Aus ihnen lassen sich automatisch Verfahrensvorschriften für die Prozeßmaschine zur Herstellung des Produktes gewinnen, weil es sich hier um eine formalisierte Darstellung von Produktionsstrukturen handelt. Darin zeigt sich die Zweckmäßigkeit rechnerinterner Produktmodelle. Rechnerinterne Produktmodelle haben eine systematische Unvollständigkeit, weil in ihnen zwar ihr Zweck (nämlich die

automatische Erzeugung von zur Herstellung notwendigen Daten), aber nicht ein Wahrscheinlichkeitsprofil möglicher zukünftiger Zustände des Produktes enthalten ist. Denn wenn diese Zustände mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit bestimmte Grenzwerte überschreiten, dann funktioniert das Produkt nicht mehr in der vorausgeplanten Weise. Die Arbeit der Ingenieure liegt gerade darin, diese unvollständigen Produktmodelle in einer solchen Weise durch ihre Tätigkeit zu gestalten, daß das Produkt dennoch mit einer hohen Zuverlässigkeit und Lebensdauer funktioniert. Die formale Unvollständigkeit dieser Produktmodelle (Ryles „Wissen-daß“) muß durch das Know-how der Ingenieure ausgeglichen werden (Ryles „Wissen-wie“, vgl. Abschnitt 2.4.2). Im nächsten Abschnitt werde ich die aus dieser ontologischen Perspektive erwachsende erkenntnistheoretische Problematik am Beispiel der heute in der Informationsverarbeitung üblichen, aus der kognitiven Psychologie übernommenen propositionalen Wissensrepräsentation diskutieren.

4.2.2 Die „Oberflächlichkeit“ der propositionalen Wissensrepräsentation und die „Tiefe“ des Selbst

Beginnen wir mit dem Beispiel eines Expertensystems, das zur Modellierung einer Maschine dient und mit dem in der Mikroelektronik-Herstellung bereits Erfahrungen gemacht wurden.¹ Ziel ist, darin „Wissen“ über mögliche Problemfälle abzulegen, um damit beispielsweise in der Nachtschicht durch die Informationen dieses Systems weiterhelfen zu können. Dazu wird ein Diagnosemodell der defekten Maschine erstellt. Der Benutzer kann dann, wenn das Diagnosemodell der defekten Maschine aufgebaut ist, im Problemfall eine entsprechende (also den syntaktischen Regeln folgende) Beschreibung eingeben. Wenn dieser Fall bereits im System abgebildet ist, dann werden im System abgelegte Bezeichnungen möglicher „Ursachen“ auf dem Bildschirm angezeigt. Damit gelingt es in der Tat, für den Fall der Abwesenheit des menschlichen Experten eine Art elektronischer Reparaturanleitung bereit zu halten. Es ist jedoch klar, daß die in diesem System abgelegten Informationen nur eine propositionale, also aus anthropologischer Sicht nur eine oberflächliche Gemeinsamkeit mit den analogen, multimodalen, symbolisch-bildhaften, nichtsprachlichen Erfahrungsstrukturen eines menschlichen Experten haben.² Denn der Anwender muß nach wie vor Problemfälle

¹ vgl. SCHMIEDEL, G.; WINKELMANN, K.: Ein wissensbasiertes Diagnosesystem in der Halbleiterfertigung, in: KI 3/89 (GI), Oldenburg 1989

² Mit der Konzeption des holistisch orientierten Expertenwissens haben die amerikanischen Gebrüder Dreyfus bereits eine fundierte Kritik dieser Expertensysteme geliefert; vgl. DREYFUS, HUBERT; DREYFUS, STUART E.: *Von den Grenzen der Denkmachines und dem Wert der Intuition*, Reinbek bei Hamburg 1988, S.41ff. Dreyfus' Konzeption beruht u.a. auf Heideggers „In-der-Welt-sein“ und zielt darauf ab, die breite Alltagserfahrung und nicht spezielle Sachkenntnisse zu modellieren. Ich habe in Kapitel 2.3.2 schon erwähnt, daß die Gebrüder Dreyfus einen Entwurf wie den hier vorgelegten für möglich halten, menschliches Wissen am Konstrukt konnektionistischer Systeme zu deuten. Was mir persönlich an ihren Thesen gefällt, ist die schonungslose Analyse der Arbeit, die sich *tatsächlich* in den Labors der künstlichen Intelligenz abspielt. Eine Diskussion

erst erkennen (was aus praktischen Gründen aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation nicht vollständig formalisiert werden kann), dann etwa mit Hilfe dieses Systems eine Analyse stellen und dann erst notwendige Handlungsschritte einleiten. Und dazu ist Know-how, *implizites Wissen* notwendig, dessen Wirklichkeit (trotz der Arbeiten Polanyis, Ryles, Kosslyns, Johnson-Lairds) zunächst noch ignoriert wird. Dies ist ein wichtiges Faktum, das in den abschließenden Ausführungen dieses Abschnitts aufgezeigt werden muß.

Die kognitive Psychologie hat viel dazu beigetragen, das nach dem klassischen Reiz-Reaktions-Schema arbeitende behavioristische Programm abzulösen. Ihr unbezweifelbarer Erfolg ist sicher dadurch begründet, die Ratte als Versuchsobjekt der Behavioristen wieder durch den Menschen zu ersetzen. Als besonders fruchtbar erwies sich die enge Zusammenarbeit von Kognitionspsychologen mit Informationstechnikern, was bekanntermaßen zur Etablierung der „Künstlichen Intelligenz“ als Teilgebiet der Informatik führte. Der derzeitige Forschungsstand und die Grundlagen der kognitiven Psychologie wird z.B. in der Arbeit von John R. Anderson dargestellt. Die kognitive Psychologie befindet sich jedoch noch in steter Entwicklung und auch die Ergebnisse der Künstlichen-Intelligenz-Forschung haben nicht die einst anvisierten Ziele erreicht. Woran kann das liegen? Ohne hier zuviel ins Detail zu gehen, kann doch eine globale Aussage gemacht werden: das zentrale theoretische Modell der kognitiven Psychologie zur bedeutungsmäßigen Wissensrepräsentation scheint einige Aspekte menschlichen Wissens nicht zu berücksichtigen. Was sind das für Aspekte und warum wurden diese bis jetzt noch nicht berücksichtigt? In der kognitiven Psychologie wird „Wissen“ oder „Information“ als *propositionale Repräsentation* expliziert:

Die Annahme, daß Information in Form von Propositionen repräsentiert ist, ist die derzeit gängigste Auffassung zur Repräsentation von Bedeutung im Gedächtnis. Durch Zerlegen in Propositionen wird lediglich die Bedeutung eines Ereignisses repräsentiert, während unwichtige Einzelheiten - also Einzelheiten, an die sich Menschen normalerweise nicht erinnern - nicht repräsentiert werden.¹

In dieser zentralen theoretischen Aussage finden sich gleichermaßen die Gründe für die Vorzüge und das Dilemma der kognitiven Psychologie. Während durch diese Theoriebildung eine große Menge einfacher menschlicher Handlungen² darstellbar

anthropologischer Grundfragen wird inzwischen auch in der KI-Forschung für notwendig gehalten: Die KI-Forschung auf den Spuren menschlicher Intelligenz. [...] Und auch darüber besteht Konsens: die KI ist - trotz ihres Anspruchs, die Menschen zu imitieren - ohne ein Konzept vom Menschen angetreten. Hätte die KI auch so funktioniert, wie man es in den 50er Jahren glaubte, hätte sich nie jemand darüber Gedanken machen müssen, welches anthropologische Vorbild denn nun eigentlich hinter dem neuen Forschungszweig steht.' aus: VDI Nachrichten Nr.49, 7.12.1990, S.12

¹ ANDERSON, JOHN R.: Kognitive Psychologie. Eine Einführung. Heidelberg 1988, S.112

² Handlungen werden im Konzept der Künstlichen Intelligenz durch sogenannte Skripte oder Schemata dargestellt. Solche Schemata bestehen aus Gruppen von Propositionen. Es wird der Versuch gemacht, typische Abläufe normiert abzuspeichern und überhaupt alle Ereignisse in Generalisierungshierarchien abzubilden. Geradezu berühmt geworden ist jene typische „Restaurant-Szene“, die die Forscher Roger Schank und Robert Abelson untersucht haben, die Anderson in seiner Theorie darstellt (vgl. ANDERSON, JOHN R.: a.a.O., S.126ff). Bereits in der Kritik von Hubert L. und Stuart E. Dreyfus

werden, so wird doch damit die besondere Leistung des erfolgreichen Handelns nicht erfaßt: Denn dort spielen ja gerade diejenigen impliziten Wissensstrukturen und Fertigkeiten eine besondere Rolle, die eben nicht mehr bewußt werden und an die wir uns also nicht mehr „erinnern“. Es ist gerade diese implizite, eingewickelte Seite des Handelns, die den Menschen zu einem so erfolgreich agierenden Wesen machen. Denn aus welchen Elementen sind die Skripte und Propositionen dargestellt? Aus Wörtern, die elementare Begriffe repräsentieren. Was ist ein elementarer Begriff aus anthropologischer Sicht?

Diese elementaren Begriffe nun sind vermutlich selbst aufzufassen als symbolische Handlungen, welche reale Handlungen darstellen, d.h. es sind nicht Begriffe von Gegenständen, sondern sie sind primär Begriffe von erfolgreichen Handlungen. Der Begriff des Gegenstandes ist genauso eine hohe kulturelle Leistung wie der Begriff des Einzelfalls und gehört in denselben Kontext. Die elementaren Begriffe sind nie Begriffe von Gegenständen, sondern von erfolgreichen Handlungen, von denen erst der Reflektierende sagen kann, daß sie erfolgreich sind, weil sie auf reale Gegenstände bezogen sind.¹

Somit scheinen die Verhältnisse genau umgekehrt zu liegen, wie die kognitive Psychologie vermutet. Nicht der Begriff eines Gegenstandes ist das einfache Element, sondern schon der Begriff einer Aktion, die primär subjektiv orientiert ist und in der objektive Elemente wie Gegenstände nur die Randbedingungen des Agierens definieren. Damit liegen die von der kognitiven Psychologie konzipierten Propositionen nicht „unter“, sondern wenn überhaupt dann „über“ Aktionen, Handlungen; sie sind eine „oberflächliche“ Skizzierung all dessen, was sich in den unbewußten Repräsentationsprozessen menschlicher Praxis ereignet, die sich aufgrund ihrer handlungstheoretischen Verwobenheit gegenseitig aktivieren können und damit die „Tiefe“ des Selbst, die Persönlichkeit konstituieren.²

Prekär wurde die Situation allerdings, als man mit der Konstruktion von „Expertensystemen“ genau in diesen Bereich vorstoßen wollte, in dem 'das Wissen diffus ist und in denen langjährige Erfahrung zur Lösung von Aufgaben benötigt wird'.³ Das Problem der Expertensysteme liegt an den Propositionen. Propositionen dienen zur Darstellung von Objekten, die über Relationen mit anderen Objekten oder auch mit dem Subjekt verbunden sind.

an dieser Szene wird deutlich, daß hier die „Tiefe“, die implizite Dimension menschlichen Handelns gar nicht berücksichtigt wird (vgl. DREYFUS, HUBERT L.; DREYFUS, STUART E.: a.a.O., S.111ff). Festgehalten muß hier aber werden, daß Handlungsabläufe formal „oberflächlich“ korrekt, aber anthropologisch massiv unvollständig in solchen Schemata projiziert werden können. So decken hier die Schwächen eines theoretischen Ansatzes die Stärken menschlichen Handelns auf.

¹ WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON: *Der Garten des Menschlichen. Beiträge zur geschichtlichen Anthropologie*. München 1977, S.164 [vgl. auch Anhang II]

² Mit Interesse kann man aber auf neuere Konzeptionen einer theoretischen Psychologie schauen, die sich auf einer ähnlichen Basis wie die hier entwickelten Überlegungen begründen könnte; vgl. DÖRNER, DIETRICH: *Psychologie, „Künstliche Intelligenz“ und Konnektionismus*, in: BMFT (Hrsg.): Bericht der Expertenkommission: Neurobiologie/Hirnforschung - Neuroinformatik, Künstliche Intelligenz. April 1991

³ SCHNUPP, PETER; LEIBRANDT, UTE: *Expertensysteme - nicht nur für Informatiker*, a.a.O., S.303

4.2.3 Über die „Kunst“ des technischen Handelns

Rein formal lassen sich Handlungen durch Propositionen abbilden, worauf auch der Psychologe Hans Aebli hinweist.¹ Solche Propositionen sind allerdings nur die bewußte Spitze eines anthropologischen Prozesses, der zur symbolischen Organisation der Erfahrung und letztlich zur Subjekt-Objekt-Denkweise führt, in der das Subjekt als Selbstmodell erstmals unabhängig vom „Ego“ zu mentalen Simulationen zusammen mit einem Realitätsmodell eingesetzt werden kann. Dies zu zeigen, war Gegenstand aller Bemühungen bis jetzt. Denn es ist ja gerade die Fähigkeit, gegenständlichen Details Bedeutung zu verleihen, indem sie durch spontanes Lernen überhaupt erst erkannt werden, die charakteristisch für die besondere Erkenntnisleistung des Menschen ist. Durch diese Erkenntnisleistung eröffnet sich die Möglichkeit, durch die Arbeit am Detail, durch unermüdliche Optimierung des schon Geschaffenen, mühsam erarbeitete Vorteile auszuspielen und so erfolgreich Handeln zu können. Die Einzelheiten und deren Erkenn- bzw. Formbarkeit ist also alles andere als unwichtig, wie Anderson annimmt, sondern sie konstituiert gerade den besonderen Vorteil menschlicher mentaler Organisation. Daraus folgt, daß gerade im technischen Handeln solche Propositionen nur die Oberfläche eines hochsymbolisch-bildhaften, analogen Denk- und Handlungsprozesses sind, der für unseren Umgang mit den Gegenständen der Welt kennzeichnend ist. Die Schlußfolgerung daraus ist, daß in Expertensystemen kein Wissen, das Handlungen betrifft, in denen implizites Wissen eine Rolle spielt, repräsentiert wird (und damit jegliches erfolgreiche technische Handeln). Was repräsentiert wird, sind syntaktisch strukturierte Satzrepräsentationen, die ein Anwender z.B. als stichwortartiges Nachschlagewerk oder als automatenhafte Instruktionsanweisung dienen können. Expertensysteme sind also keine „Expertensysteme“, sondern sinnleere „Propositionsautomaten“.²

¹ Einen thematisch weitreichenden Entwurf stellt die Arbeit von Hans Aebli dar. Seine „Handlungstheorie“ entwickelt er im wesentlichen auf der Basis von Jean Piagets Konzeption der Operation („Genfer Schule“). Auffallend an Aebli's Konzeption ist allerdings, daß sie zum Teil in sehr enger Anlehnung an die Arbeiten des Psychologen und Anthropologen Arnold Gehlen zu stehen scheint, obwohl Aebli bei weitem nicht Gehlen's „Tiefe“ erreicht. Dabei stimmen ganze Satzpassagen inhaltlich vollkommen überein:

Das Denken [...] hat nachweislich dieselben Gestalten wie eigentliche Handlungen. (Gehlen, 1940; aus: *Der Mensch...*, a.a.O., S.265)

Denken [...] trägt [...] noch grundlegende Züge des Handelns. (Aebli, 1980; *AEBLI, HANS: Denken: Das Ornament des Tuns*, Bd. 1, Stuttgart 1980, S.26)

[Sprache ist] Bezeichnung des Objektiven, der Dinge, der Eigenschaften derselben; [...] das Verbum bezeichnet in erster Linie eine Bewegungshinsicht. (Gehlen 1940; a.a.O., S.235f)

Die Substantive bilden zuerst einmal die konkreten Objekte des handelnden Menschen ab. Die Verben ersetzen die Handlungsschemata. (Aebli 1981; a.a.O., Bd. 2, Stuttgart 1981, S.324)

² Für Günter Ropohl liegen die Grenzen technischer Informationsverarbeitung darin, daß der „Sinn“ der augenblicklichen Handlungssituation und die daraus folgende pragmatische Relevanz aller Informationen nicht in solchen technischen Systemen repräsentiert ist. vgl. *ROPOHL, GÜNTER: Menschliche und „künstliche“ Intelligenz*, a.a.O., S.156. 'Sinn ist der Modus, in dem die Welt dem menschlichen Bewußtsein gegeben ist, und er ist das Schema, welches das Bewußtsein konstruieren muß, um Orientierung und Identität innerhalb der sinnlosen Mannigfaltigkeit der Welt zu gewinnen.' aus: *ROPOHL, GÜNTER: Information gibt keinen Sinn*, in: Huning, Alois; Mitcham, Carl (Hrsg.): *Technikphilosophie im Zeitalter der Informationstechnik*. Braunschweig Wiesbaden 1986, S.106. Mit der in Kapitel 2 vorgelegten Explikation der intentionalen Handlung ist der „Sinn“ damit die mentale Gesamtrepräsentation mit all ihren „gefühlsmäßigen“ Aspekten.

Ein weiterer Aspekt ist die Behandlung mentaler Konzeptionen, wie „Vorstellung“ oder „räumliches Vorstellungsvermögen“ innerhalb der kognitiven Psychologie. Intuitive Einsichten, daß z.B. größere Vorstellungskomplexe *anders* verarbeitet werden als in den semantischen Netzwerken der kognitiven Handlungstheorie, werden erst in neueren Arbeiten thematisiert. Walter J. Perrig faßt die derzeitige Lage mit folgenden Worten zusammen, die er im Rahmen eines Buches kognitionspsychologischer Forschungen zum räumlichen Vorstellungsvermögen macht:

Als Beispiel einer solchen Entwicklung mag die unverhältnismäßig einseitige Betonung des verbalen Gedächtnisses oder noch extremer die lange behavioristische Tradition des verbalen Lernens gelten. [...] Man kann feststellen, daß [...] die Ergebnisse reliabel sind, daß diese Ergebnisse aber größtenteils nicht von allzugroßer Relevanz sind für Phänomene des Gedächtnisses, die uns in komplexen Alltagssituationen beschäftigen.¹

Es gibt zwar einige gute Modellierungen z.B. der Eigenschaften des sprachlichen Gedächtnisses (des sogenannten sematischen Gedächtnisses). Die darüber konstruierten Theorien werden ihrem selbstgesteckten Allgemeinheitsanspruch aber nicht gerecht.² Perrig kommt zu folgendem Ergebnis:

Die visuellen Vorstellungen, wie sie in den beschriebenen Experimenten operationalisiert wurden, sind dabei bedeutsam genug, um als eigenständiger Kodiertypus spezielle theoretische Beachtung zu finden.³

Vor diesem Hintergrund wird schließlich verständlich, daß Forschungsvorhaben mit rein kognitionspsychologischen Ansätzen besonderen Problemen ausgesetzt sind, da die grundlegenden Begriffe und Zusammenhänge gar nicht thematisiert werden. Sehr interessant sind deshalb die ersten Ergebnisse kognitionspsychologischer Untersuchungen der Ingenieurtätigkeit, z.B. des Konstruktionsprozesses. So wurden von Norbert Dylla Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren mit dem Ziel untersucht, 'eine *deskriptive Theorie des Konstruktionsprozesses* zu schaffen, welche die gegenseitige Abhängigkeit von Merkmalen des Konstrukteurs, des Konstruktionsprozesses und des Konstruktionsergebnisses sowie die Wirkung von äußeren Einflüssen allgemeingültig und empirisch gesichert formuliert.⁴ Tatsächlich gelingt in der angesprochenen Arbeit der Nachweis, daß Merkmale des Konstruktionsprozesses mit Begriffen und Methoden der Kognitionspsychologie deutbar sind. Für das Konstruieren wesentliche Grundkonzepte werden aber gar nicht erst thematisiert:

Der Einfluß von Personenmerkmalen auf den Ablauf und das Ergebnis des Konstruktionsprozesses konnte aufgrund fehlender denpsychologischer Auswertungen nur stellenweise angedeutet werden: Von besonderer Bedeutung scheinen die Erfahrung und die Wertvorstellungen des Konstrukteurs zu sein.⁵

¹ PERRIG, WALTER J.: *Vorstellungen und Gedächtnis*. Berlin Heidelberg 1988, S.5

² Die „Handlungstheorie“ von Aebli mag zwar aussagekräftig für größere Teile des semantischen Gedächtnisses sein. Aber eine „Handlungstheorie“ ist sie nicht. Der ganze Komplex des motorischen Lernens als Voraussetzung für Sprache wird lapidar als „Automatismus“ abgetan. vgl. AEBLI, HANS: a.a.O., Bd. 1, Stuttgart 1980, S.19

³ PERRIG, WALTER J.: a.a.O., S.6f

⁴ DYLLA, NORBERT: *Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren*. München 1990, S.2

⁵ a.a.O., S.148

Anthropologische Konzepte wie „Erfahrung“ oder 'die wichtige Rolle der graphischen Darstellung und räumlichen Vorstellung'¹ konnten im Rahmen des kognitionspsychologischen Ansatzes nicht konzeptualisiert werden. Dieses „räumliche Vorstellungsvermögen“ ist eine existentiell durch Übung und Erfahrung aufbaubare kognitive Struktur, die eine evolutionsbiologisch bereits lange Geschichte hat. - So ist letztlich auch 'Künstliche Intelligenz in der Fertigungstechnik'² eher ein Schlagwort mit suggestiver Wirksamkeit denn eine kompetente Alternative für zukünftige Fertigungsstrukturen. Denn sie hat gerade dort, wo das Wissen wirklich diffus, das heißt vorsprachlich, anschaulich-symbolisch und unbewußt ist, noch keinen Einzug gehalten und wird es auch in absehbarer Zeit nicht. Richtig ist aber, daß Expertensysteme erfolgreich innerhalb begrenzter pragmatischer Handlungszusammenhänge eingesetzt werden, wie dies etwa für betriebswirtschaftliche Systeme der Fall ist. Zusammenfassend vertrete ich die Grundthese, daß gerade in den von Brödner vermuteten 'noch nicht automatisierten Restfunktionen'³ das *Know-how* und die notwendige Fertigungs-kultur sich wiederfindet, die den Produktionsbetrieb überhaupt wettbewerbsfähig macht. Dies soll im folgenden verdeutlicht werden. Gerade im klassischen Maschinenbau wurde versucht, „vollständige“ rechnerinterne Produktmodelle zu entwerfen. Es werden wichtige fertigungstechnische Daten unter dem Stichwort *technologische Attribute* erfaßt.⁴

Die Forschung entwickelt zu diesem Zweck Produktmodelle, die nicht nur alle Produktdaten enthalten, sondern zudem in der Lage sind, Verbindungen, Abhängigkeiten und Querverweise zwischen den Informationsinhalten strukturartig darzustellen.⁵

Wie sieht es aber in der Praxis aus? Mit der Erfindung des Automatically Programmed Tools APT von 1956 gelang ja tatsächlich ein bemerkenswerter Fortschritt in Richtung auf ein nahezu vollständiges und durch eine mathematische Formalisierung relativ einfach rechnerintern darstellbares Produktmodell, aus dem die notwendigen Fertigungsdaten automatisch abgeleitet werden konnten. Dieses rechnerinterne Produktmodell war aber nur „vollständig“ in Bezug auf den mit ihm verfolgten Zweck, und dieser Zweck war die Fertigung mit einer bekannten Technologie. Betrachten wir dazu ein Beispiel aus der Automobilbranche. Nach langjähriger Erfahrung kommt Klaus Pasemann zu der Überzeugung, daß Produktmodelle keinesfalls vollständig sind und das auch nicht zu sein brauchen. Er sieht den Einsatz rechnerinterner Produktmodelle darin begründet, daß sie ihren *speziellen Zweck* erfüllen sollen. Also geht man pragmatisch vor, denn man kennt

¹ a.a.O., S.150

² PRITSCHOW, G.; SPUR, G.; WECK, M.: *Künstliche Intelligenz in der Fertigungstechnik*. München Wien 1989

³ BRÖDNER, PETER: a.a.O., S.114

⁴ vgl. z.B. KRAUSE, F.L.; ARMBRUST, P.; BIENERT, M.: *Methodbases and Product Models as a Basis for Integrated Design and Manufacturing*, in: Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 4, No. 1/2, UK 1988, S.33-40; HÜBEL, CH.; PAUL, R.; SUTTER, B.: *Technische Modellierung und DB-gestützte Datenhaltung - ein Ansatz für ein durchgängiges, integriertes Produktmodell*, in: Forschungsbericht, Universität Kaiserslautern, Zentrum Rechnergestützte Ingenieursysteme, 6 1989, S.1-30

⁵ SPUR, GÜNTER: *Entwicklungslinien der Fertigungsautomatisierung*, in: atp-Sonderheft Fertigungsautomatisierung (Gasthrsg.: Klaus Feldmann) München 1987, S.4-10

die Schwierigkeit, die reale Welt in hinreichender Weise auf Daten-Strukturen abzubilden und als Datenbank-Anwendung zu betreiben. [...] Produktdefinierende Daten sind ihrer Natur entsprechend also immer unvollständig bzw. gerade hinreichend für den momentanen Zweck.¹

Was rechnerinterne Produktmodelle für die Fertigung unvollständig macht, ist gerade das von den Technikern im Produktionsprozeß einzubringende Know-how, das auf einem weitreichenden, analogen, in weiten Teilen unbewußten Realitätsmodell aufbaut.² Interessanterweise wurde bereits in der Gründerzeit der ersten flexiblen Fertigungssysteme darauf hingewiesen, daß solche Systeme auch nur in einem gezielt und zweckmäßig abgegrenzten Bereich automatisch und flexibel funktionieren:

Es läßt sich jedoch erkennen, daß die meisten Konzepte gezielt auf eine begrenzte Menge unterschiedlicher Werkstücke ausgerichtet sind. Dies unterstreicht die Relativität des Begriffs Flexibilität.³

Deshalb geht die Arbeit an erweiterten Produktmodell- und Fertigungsstrukturen in pragmatischer Richtung weiter. Was aber nicht erreicht werden kann, das ist eine für eine vollautomatische Produktion „vollständige“ (auch nur in einem statistischen Sinne) rechnerinterne Darstellung gleichzeitig mit einer weltweit konkurrenzfähigen Hochtechnologie. Wenn in Sonderfällen, wie beispielsweise aus Sicherheitsgründen im Kernreaktorbau, dennoch „vollautomatische“ (das heißt bedienungsarme) Einheiten geschaffen werden müssen, dann geschieht dies auf der Basis eines anderen Zweckes. Vor diesem Hintergrund sind denn auch die Reparaturversuche zu verstehen, die derzeit unter Schlagworten wie HIM (Human Integrated Manufacturing) betrieben werden.⁴ Ich möchte an dieser Stelle den phänomenologischen Aspekt hinzufügen, daß es Freude macht, jene Arbeit zu verrichten, die solches Wissen und Können aufbaut, weil der Aufbau solcher hochorganisierter mentaler Strukturen kognitiv belohnt wird. Somit ist diese Technik, die sich im praktischen Alltag des Fabrikbetriebes an vorderster Front mit hochkomplexen Maschinen vollzieht, Kunst, sie ist ein Teil des Selbst:

Einstmals trug nicht nur die Technik den Namen *τεχνη* [griech. *techne*; Anm. GL]. Einstmals hieß *τεχνη* auch jenes Entbergen, das die Wahrheit in den Glanz des Scheinenden hervorbringt. Einstmals hieß *τεχνη* auch das Hervorbringen des Wahren in das Schöne. *τεχνη* hieß auch die *ποίησις* [griech. *poiesis*; Anm. GL] der schönen Künste.⁵

¹ PASEMANN, KLAUS: Ein neuartiger Ansatz für die Integration Produktdefinierender Daten. Braunschweig 1988, S.1.7 [Dissertation; der Autor ist seit 1963 als Ingenieur tätig. Ich schätze seine Arbeit besonders wegen der in ihr reflektierten *Erfahrung*.]

² vgl. ROSE, HELMUT: Ressource Mensch in der Produktion. Die Wiederentdeckung der praktischen Erfahrung als notwendiger Ergänzung theoretisch fundierten Wissen. aus: VDI-Z 132 (1990) Nr.12, S.12-16; MARTIN, HANS; ROSE, HELMUT: Computergestützte, erfahrungsgeleitete Arbeit (CeA). Erfahrungswissen sichern statt ausschalten. aus: Technische Rundschau 12/90, S.34-41

³ SPUR, GÜNTER; FELDMANN, KLAUS; MATHES, H.: Entwicklungsstand integrierter Fertigungssysteme. in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 68 (1973) Heft 5, S.235

⁴ vgl. z.B. BULLINGER, H.-J.; GANZ, W.: Ohne Human Integrated Manufacturing kein CIM. in: io Management Zeitschrift 59 (1990) Nr.6, Zürich, S.48-52; SAGE, LEE; FOX, BOB: Human-Integrated Manufacturing. in: CIM Review, Spring 1990, S.41-44; MURPHY, SHAUN: Human-Centred CIM Systems. in: ESPRIT '88: Putting the Technology to Use. Proceedings of the 5th Annual ESPRIT Conference Brussels, Belgium 14-17 Nov. 1988, S.1615-29 vol.2 1988 Amsterdam, Netherlands

⁵ HEIDEGGER, MARTIN: Die Frage nach der Technik. in: ders.: Die Technik und die Kehre. Tübingen 1991, S.34

4.3 Implizites Wissen und die Grenzen der Formalisierbarkeit

In diesem Kapitel wird das bisher Gesagte am Beispiel der Mikroelektronik inhaltlich angereichert und verdichtet. Damit lassen sich die anthropologischen Dimensionen technischen Handelns aus entwicklungspsychologischer und evolutionstheoretischer Perspektive zusammenfassen. Es geht um die Herausstellung der individuell-persönlichen Handlungskompetenz gegenüber dem (obzwar genauso wichtigen) kulturell-normierten Wissen. Nicht alles, was machbar ist, ist formalisierbar. Die Grenzen der Formalisierbarkeit unseres Wissens liegen in den analogen, hochsymbolisch-anschaulichen, nichtsprachlichen Wissensstrukturen. Die darin repräsentierten Handlungsstrukturen machen gerade die Stärke unseres Könnens aus. Die Ingenieure entwerfen heute Gesamtsysteme mit mannigfachen Funktionen wie die IC's dadurch, daß die globale Gesamtfunktionalität durch eine geordnete Menge von Teilfunktionen realisiert wird. Jede dieser Teilfunktionen endet aber irgendwann auf einer Ebene der individuell-persönlichen, symbolisch-nichtsprachlichen Handlungsführung.

Damit sollten unsere Ingenieure aus einer handlungstheoretischen Sicht immer noch auf einer ähnlichen mental-anschaulichen Basis wie *Homo erectus* arbeiten, der in der Übergangszeit zu *Homo sapiens* vor ca. 300.000 Jahren erstmals Artefakte mit mehreren Teilfunktionen und mit nachweislich nur im Vorstellungsvermögen synthetisierten geometrischen Strukturen schuf. Dabei bediente er sich erstmals des Prinzips geometrischer, flexibler mentaler Modelle und der mentalen Simulation. Diese Artefakte entstanden gerade vor dem Durchbruch zur rapiden Wortsprache. Ihre deutlich gesteigerte Handlungskompetenz, die sich auf dem Weg zur Herstellung maßgenauer („idealer“) Artefakte auf der Basis euklidischer Konzepte befindet, hat bereits ein sehr fortgeschrittenes Stadium erreicht. Wenn dies zutreffen sollte, wären dann nicht ähnliche Strukturen im heutigen technischen Handeln anzutreffen? Wie und wo ist letztlich diese analoge Basis unseres Denkens und Handelns aufzeigbar?

Tatsächlich scheint eine Beantwortung dieser Frage in verblüffender Weise möglich zu sein. Fassen wir die mentalen Modelle als kognitive Problemlösungsstrukturen auf, die im repräsentierenden System gegen energetische Minimalwerte konvergieren, dann wird klar, daß diese „idealen“ Strukturen - eben aus Gründen unseres nur unvollständigen Wissens - niemals erreicht werden können. Mit der Konzeption des Handelns als einem informationellen Regelprozeß ist dieses Phänomen erklärbar: Die geometrisch definierbare, ideale Struktur weicht von der realen Struktur um den Faktor einer Wissenslücke ab. Im technischen Handeln hat man für dieses Abweichen den terminus der „Maßtoleranz“ gewählt. Diese „Maßtoleranz“ repräsentiert jetzt in gleicher Weise analog-symbolisch strukturierte Herstellungsprobleme bei mikroelektronischen Produkten wie bei den Steinwerkzeugen von *Homo erectus*. Entscheidend ist aber, daß sich für *beide* Produkte ähnliche „Maßtoleranzen“ von bis zu 10% nachweisen lassen!

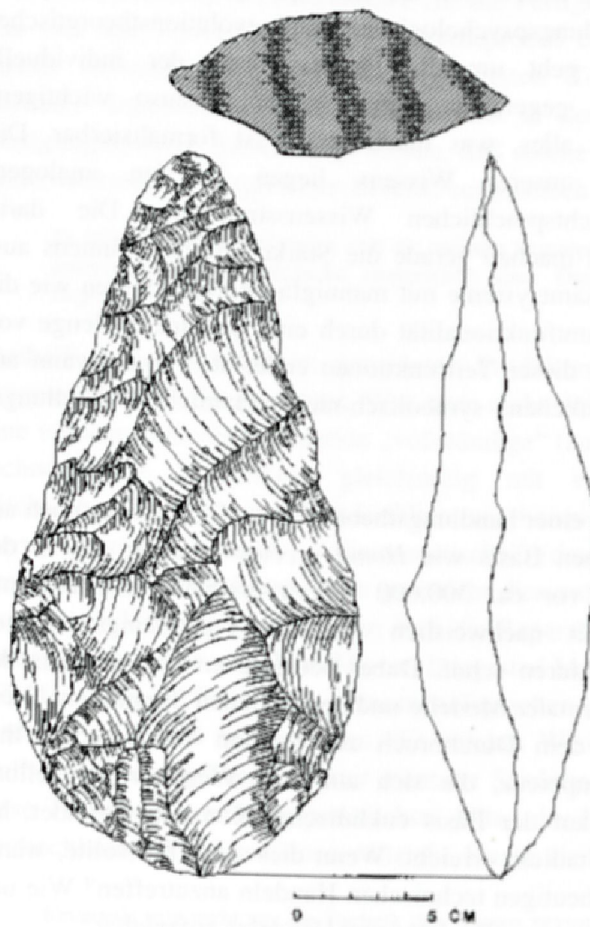


Bild 4.5 Faustkeil, ca. 300.000 Jahre: erstmals erkennbare Systemkonzeption; Maßtoleranz ca. 10%¹

¹ aus: WYNN, THOMAS: a.a.O., S. 30

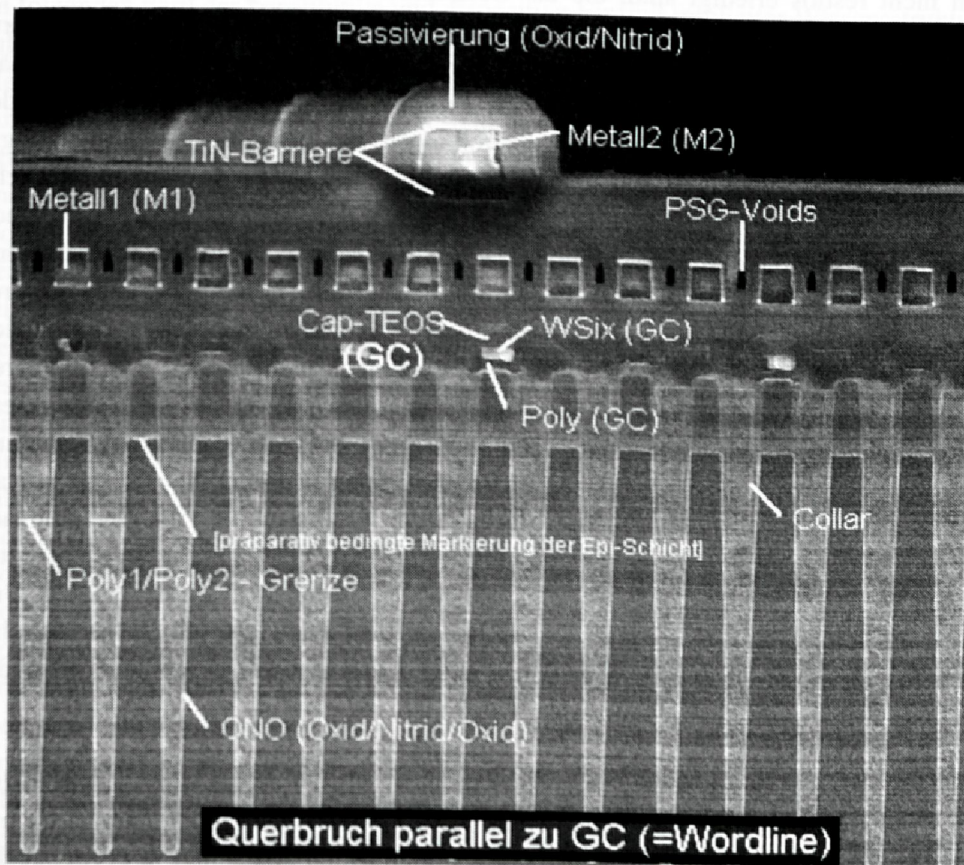


Bild 4.6 16 MBit-DRAM Speicherzelle, ca. 1990: Maßtoleranz bis zu 10% in problematischen Fällen (Quelle: Siemens AG)

Hinter dieser „Maßtoleranz“ verbirgt sich letztlich überhaupt das anthropologische Prinzip des erfolgreichen Handelns: Unsere Vorstellungen konvergieren im kognitiven Kontinuum zu einer „idealen“ Geometrie, weil diese „ideale“ geometrische Form energieärmste Zustände im repräsentierenden System darstellen. Diese energieärmsten Zustände antizipieren aber sensomotorische, bildhaft-nichtsprachlich repräsentierte Erfahrungsstrukturen der Praxis, die damit kognitiv-zeitlich *vor* jeder interpersonalen, formalisierten Theorie liegen, solange es sich noch um persönliche, symbolisch-nichtsprachliche Strukturen handelt. Erst wenn diese durch die externen Sprachzeichen mediatisiert werden, sind sie im sozialen Handlungssystem interpersonal rekonstruierbar und damit formalisierbar (vgl. Abschnitt 2.4.2). Jede persönliche Problemlösung beinhaltet damit bereits eine persönliche „Theorie“. Solche Zustände

haben aber im persönlichen Problemlösungsprozeß eine verhaltensauslösende Wirkung, weil durch sie neue Problemlösungen gefunden werden, deren Detailprobleme vielleicht noch nicht restlos erledigt sind, die als Gesamtentwurf aber gute Chancen auf eine erfolgreiche Durchführung haben. Jede Theorie beinhaltet analoge, nicht-formalisierte Wissens-strukturen. Diese epistemologische Unvollständigkeit unserer Theorien erklärt das schon vor 300.000 Jahren existierende Problem der Maßtoleranz gegenüber der „idealen“ Geometrie, zu der unsere Vorstellungen als energieärmste Aktivierungszustände konvergieren. Um es nochmals herauszustellen: es ist das anthropologische Prinzip des erfolgreichen Handelns, das uns „ideale“, das heißt energiearme Zustände erzeugen und die Handlung durchführen läßt. Die Grenzen der Formalisierbarkeit (und damit auch der Automatisierung) liegen folglich gerade in der Differenz unseres persönlichen Können-Wissens und den dieses Können bezeichnenden, sprachlich formalisierten, im sozialen Handlungssystem interpersonal verfügbaren Repräsentationsstrukturen. Was epistemologisch unvollständig ist, ist nicht formalisiert, und was nicht formalisiert ist, ist nicht automatisierbar. In diesem Sinne geht Erfahrung gewissermaßen ins Unendliche (Goethe) und hat einen höheren Wahrheitsgehalt als jede Theorie, die (nur) ein formaler Extrakt der Erfahrung ist. Es gibt demnach *erkenntnistheoretische Grenzen der Automatisierung*: was der Mensch durch implizites Wissen *kann* ist nicht durch einen formal arbeitenden Automaten automatisierbar. Und dazu zählt all dieses Wissen, was der erfolgreich handelnde Mensch als persönliche, symbolisch-analog-nichtsprachliche, d.h. implizite Wissensstruktur aufbaut, eben das berühmte Know-how, das Gewußt-wie.

Dazu ein letzter Punkt. Ein Fertigungslos beinhaltet z.B. 25 Trägerscheiben mit je 200 IC's. Je IC liegen beim 16 MBit DRAM ca. 32 Millionen Elemente vor (Transistor und Speicherelement). Damit könnten (in dieser vereinfachten Annahme) je Fertigungslos ca. 80.000.000.000 (80 Milliarden) Elemente vermessen werden, da jedes einzelne Element einen Defekt aufweisen kann, der zur Funktionsuntauglichkeit führt. Nimmt man dazu, daß auch in einem „funktionierenden“ Fertigungsprozeß Maßtoleranzen von 10% auftreten können, dann ließe sich sogar eine bestimmte Notwendigkeit zur Vermessung aller Elemente ableiten. Selbst bei einer Vermessungsdauer von ca. 100 Elementen / min wären das ungefähr 5 Millionen Messungen pro Jahr, was auf eine gesamte Messdauer von 16 Tausend Jahren hinausliefe. In der Praxis wird dieses Problem durch sprachlich gestütztes, logisches Denken repräsentiert, in sequentielle Teilschritte zerlegt und schließlich gelöst (hier: Auswahl der Meßstellen und Verfahren, die das gesamte Fertigungslos repräsentieren; dies sind beispielsweise 2 Scheiben je Los mit je 5 - 15 Messungen je Scheibe; Meßdauer beider Scheiben 10 - 25 min). Der Computer ist für den Techniker heute nichts anderes als das Holzbrettchen für den Weber am ersten automatisierten Webstuhl. Beide arbeiten mit in diesen Systemen repräsentierten Programmen einer operativen Schrift. Aber der Zweck des Einsatzes der Holzbrettchen bleibt doch der (Sicherheit gebende) Teppich.

4.4 Der Kreisprozeß von Praxis und Theorie

Im folgenden wird der konstitutive und dispositive Einfluß impliziter Wissensstrukturen auf die Produktion von IC's im Zusammenhang mit den beteiligten mentalen Mechanismen besprochen (der Einfluß bei der Konstruktion ist in Kapitel 3.3 skizziert). Ein Arbeitsschritt in der Produktion besteht aus einem bottom-up aktivierten mentalen Anfangsmuster (der Ist-Zustand des Produktes), aus einem top-down aktivierten Endmuster (der Soll-Zustand des Produktes) und aus den dazwischenliegenden, sequentiellen Regulationsstrukturen. Die Gesamthandlung kann in Teilschritten mit Teilzielen hierarchisch organisiert werden. Vereinzelter Änderungen im Gesamtprozeß bei der Produktion eines mikroelektronischen Bauteils haben oft ungewollte Nebenwirkungen auf andere, schon funktionierende Teilprozesse. Zur Vereinfachung des Fertigungsablaufs wird jetzt eine Veränderung des Teilprozesses n vorgenommen. Eine im Fertigungsablauf auf der Position $n + x$ liegende optische Kontrolloperation wird jetzt dahingehend betroffen, daß bestimmte Kontrollparameter dadurch unbeabsichtigt geändert werden, daß sich z.B. die optische Reflexivität des Produktes ändert. Dadurch ändert sich aber auch die Funktionsweise des ansonsten automatisch funktionierenden Kontrollgerätes. Im normalen Betrieb wählt der Operator ein Prozeßprogramm aus und startet den Prozeß. Dadurch „wählt“ das Kontrollgerät die im Prozeßprogramm vorgegebenen Scheiben aus und vermisst z.B. bestimmte geometrische Strukturen automatisch. Die im Prozeßprogramm definierten Parameter müssen dann aber zum momentan vorliegenden Produkt „passen“, beispielsweise müssen die im Prozeßprogramm definierten optischen Parameter, die die Schärfe des zu vermessenden Bildes betreffen, mit dem tatsächlich vorliegenden Produkt auch ein scharfes Bild ergeben, sonst kann die Vermessung nicht beginnen. In unserem praktischen Beispiel stoppt jetzt das Kontrollgerät, weil das Bilderkennungssystem nicht die notwendigen Zielstrukturen „erkennt“. Der Operator sieht, daß der Ist-Zustand des Produktes nicht mit dem Soll-Zustand übereinstimmt.

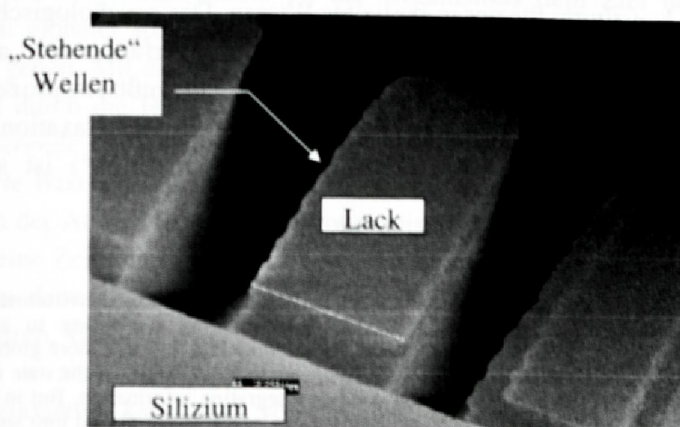


Bild 4.7 Durch veränderte Reflexivität des Substrates bilden sich in diesem Beispiel völlig unbeabsichtigt „stehende Wellen“ aus, die Ursache einer qualitativen Verschlechterung der Lackstruktur sind und zu bedeutenden Meßfehlern führen (Quelle: Siemens Microelectronics Center; vgl. Bild 2.12)

Jetzt kann die konstitutive Rolle des impliziten Wissens am Beispiel der nun einsetzenden *ideo-motorischen Handlung* charakterisiert werden. Der im Umgang mit dem Prozeß erfahrene Ingenieur erkennt „gefühlsmäßig“ Anomalitäten, mit deren Auftreten nicht gerechnet wurde. Das sich einstellende Gefühl kommt dadurch zustande, daß einige der aus den visuellen Inputs resultierenden Aktivierungen von der Metarepräsentationsfunktion erfaßt werden. Der größte Teil der eintreffenden Daten wird unbewußt „verarbeitet“, aber nicht alle. Dieser Rest bleibt als unerledigte, zur Relaxation unfähiger Aktivierungsenergie übrig und wird nochmals von einem Repräsentationsprozeß erfaßt. Das sich einstellende „ungute Gefühl“ kommt daher, daß der Ingenieur auf der Basis seines reichen, analogen, nicht-reflektierten Könnens zwar Detailstrukturen (wieder-) erkennt, aber der Gesamtzusammenhang nicht mit der antizipierten Zielstruktur zusammenfällt. Mit den Daten aus der Situation am Kontrollgerät und der Aktivierung assoziierter Daten aus der Erfahrung ergibt sich eine mentale Gesamtsituation, die nicht relaxieren kann, das heißt das Problem ist noch nicht gelöst. Ergebnis ist jenes „da stimmt etwas nicht“, das das repräsentierende System über die Differenz der Aktivierungsvektoren von mentalem Repräsentat (=Ist) und Simulat (=Soll) phänomenal erfährt. Das repräsentierende System kann jetzt lokale Aufmerksamkeit durch mentale Mechanismen der Objektfokussierung erzeugen. Dahinter verbirgt sich jene Eigenschaft der mentalen Modellbildung, bei der von hochsymbolischen Mustern einzelne Details bis auf die sensomotorische Ebene „aufgelöst“ werden können. Denn die einst durch neuronale Korrelation erzeugten globalen Muster korrelieren in diesem Problemfall ja nicht mehr: Das übergeordnete mentale Modell bricht zusammen! Die Aktivierungsenergie verursacht nun weitere mentale Simulationsprozesse mit den verbleibenden Submodellen. Dieser Vorgang geht solange weiter, bis die Aktivierungsenergie erfolgreich abgegeben werden kann, das heißt eine Problemlösung gefunden wurde. Aus der wissenstheoretischen Perspektive betrachtet werden während dieses Fokussierungsvorgangs immer mehr distribuierte Wissenskontexte von der Metarepräsentationsfunktion erfaßt und in einen kognitiv neuen, bewußten, expliziten Wissenszusammenhang gestellt. Solches implizite Wissen ist in diesem Sinne *konstitutiv* für unser explizites Wissen. Das psychologische Korrelat dieser wechselnden, aber gezielten mentalen Perspektiven erfahren wir als bewußt erlebte „Aufmerksamkeit“.¹ Das System erzeugt im Bewußtseinsprozeß „lokale Aufmerksamkeit“ („focal attention“) zur Lösung von solchen zur Relaxation unfähigen Detailproblemen. „Globale Aufmerksamkeit“ („diffuse attention“) ist symbolisch

¹ *Awareness is based on continually revised representation*

The individual represents aspects of input from the external and internal environment, variously disassembling, assembling, and transforming them. Disassembling is shifting to a more local (restricted and detailed) view, termed focal attention. Assembling is a shift to a more global view, with sacrifice of detail, termed diffuse attention. Transforming is imaging changes in the state of things. [...] Diffuse and focal attention both subserve the function of integrating information. But in the first case the integration is sequential. During diffuse attention various percepts are placed into spatio-temporal relationship to one another. When the attention is focal the precise combination of limited number of features is specified and related to representations of previous experiences in the observer's mind. Focal attention is selective. It limits the perceptual field, and the set of comparisons that are of interest. [...] A task is difficult when the set of relevant cues has not been fully specified. Awareness of present and prior context is potentially useful as the subject tries one and then another way of accomplishing the task. [...] Up to certain degree of specification, perceptual analysis proceeds in parallel [...], creating a rich environment of which we are fully conscious. aus: KINSBOURNE, MARCEL: *Integrated field theory of consciousness*, in: Marcel, Anthony J., Bisiach, Edoardo (Hrsg.) a.a.O., S. 242ff

orientiert und wird nach der Detailproblemlösung zur Fortführung der Gesamthandlung erzeugt. Dieses „monitoring“ wird durch gedächtnisaktive Funktionen möglich.¹

In other words, multi-purpose cerebral computing space can be used either for a wide-ranging but shallow encoding, or for a single but difficult mental operation.²

Globale Aufmerksamkeit entspricht der Aktivierung mental höherer, symbolischer Modelle: sie ist detailarm. Ihr sind reichhaltige, im aktuellen Handlungszusammenhang distribuierte, konvergierende Wissenskontexte zugeordnet, auf deren konstitutiver Basis sich die globalen Modelle der Handlungsfortführung herausbilden. Lokale Aufmerksamkeit ist detailreich und geht bis auf die sensomotorischen Erfahrungsstrukturen unseres operationalen Weltumgangs herunter. So kann auf der Basis solcher mentaler Mechanismen die Lösung des skizzierten Problems, durch einen Prozeß der iterativen Verfeinerung, sozusagen Schritt für Schritt erreicht werden. „Fehler“ fallen uns zunächst weniger durch detailreiche, sprachlich orientierte, rationale Überlegung auf als durch das „unangenehme Gefühl“, das durch global-symbolische Aktivierungsvektoren erzeugt wird, die auf der konstitutiven Basis impliziter Wissensstrukturen entstehen, die nicht relaxieren können. „Reflexion“ ist der dann einsetzende, kognitive Problemlösungsprozeß sequentiellen Charakters, der lokal-analytisch Detailinformationen dadurch erzeugt, indem die übergeordneten symbolischen Modelle zerbrechen. Hier kommt die Funktionalität des menschlichen Bewußtseins als einem *metakognitiven Ausgleichsprozeß* zur erfolgreichen Aktionsdurchführung in ihrer „Tiefe“ (lokal) und „Breite“ (global) zum Tragen:

Left hemisphere lends depth, right lends breath, to awareness

The simultaneous nature of diffuse attention and the successive nature of focal attention suggest a division in terms of complementary hemispheric specialization. [...] By depth I mean relation of present to previous (and prospective) relevant experiences. Breath describes the extent of current experience.³

Während der Durchführung eines Teilschrittes verändert sich das Realitätsmodell. Aufgrund der Regelungsstruktur ist der Organismus dem Ziel näher gerückt. Beim Zerbrechen globaler Regulationsstrukturen kann die Regulationstiefe bedeutend mehr ins Detail gehen. Mit dieser Methode arbeitet sich das repräsentierende System Schritt für Schritt durch die Handlung. *Je globaler die Informationen ausreichen, damit das repräsentierende System erfolgreich einen Teilschritt ausführen kann, desto mehr distribuierte Wissenskontexte werden eingesetzt.* Deshalb sind einer Formalisierung und damit auch der Automatisierung anthropologisch-kognitive Grenzen gesetzt. Zum einen hat man keine Zeit, die Daten und Produktmodelle so genau im System zu modellieren, weil einem dann die Konkurrenz davonläuft. Zum anderen sollte man aber soweit automatisieren, daß der Mensch vor Ort optimal entlastet und unterstützt wird, das heißt, daß er als repräsentierendes System bei problem erzeugenden Aktivierungen optimal relaxieren kann. Im vorliegenden Beispiel liegt die Lösung darin, das

¹ vgl. MARCEL, ANTHONY J.: a.a.O., S.148f

² KINSBOURNE, MARCEL: a.a.O., S.244

³ a.a.O., S.248

Kontrollgerät *nicht* automatisch von einem Rechner zu starten (das wäre eine „top-down“ Lösung), sondern den Anstoß des Kontrollgerätes „bottom-up“ vom arbeitenden Menschen erledigen zu lassen, der über eine strukturelle Kopplung die nicht automatisierbaren Einstellungen vornimmt. Hier wird die *dispositive* Rolle des impliziten Wissens und damit der *Kreisprozeß von Praxis und Theorie* (auch „hermeneutischer Zirkel“ genannt) klar: bei der bewußten (Er-) Findung neuer Lösungen werden auf der Basis bewährter, *praktischer* Handlungsstrukturen neue, zunächst nur *theoretisch* funktionierende Strukturen generiert. Die Praxis geht zwar, wie Gilbert Ryle analysierte, der Theorie kognitiv-zeitlich voraus.¹ Bei auftauchenden neuen Problemen können jedoch neue, zunächst nur im Denken, d.h. in der Theorie funktionierende Lösungen konstruiert werden. *Diese neuen, durch persönliches Wissen entstandenen theoretischen Modelle verändern ihrerseits wieder die Praxis!* Denn diese neuen Handlungsstrukturen werden bei Bewährung in Richtung „idealer“ kognitiver Strukturen konvergieren, die selbst wiederum optimierte praktische Handlungsstrukturen repräsentieren. Reiche persönliche Erfahrungs- bzw. Wissensstrukturen verschiedenster Modalitäten erzeugen gewissermaßen *von sich aus* einen hohen dispositiven Problemlösungswert, weil bei neuen Anforderungen das repräsentierende System auf deren Basis neue Lösungen generieren kann. Die in diesem Zusammenhang unveränderten, bewährten Wissensstrukturen funktionieren automatisch, werden nicht bewußt und sind unser *implizites Wissen*. Thematisiert wird dies erst dann, wenn der Handlungsfortschritt blockiert ist. Dann brechen die als Problemlösungen erzeugten globalen mentalen Modelle auseinander und das repräsentierende System erzeugt „Aufmerksamkeit“ dadurch, daß die das zerbrochene mentale Modell konstituierenden Submodelle sequentiell von der Meta-repräsentationsfunktion erfaßt und damit bewußt werden, bis eine Lösung gefunden wurde, das heißt der Handlungsfortschritt wieder einsetzt. Darin hatten wir die konstitutive Rolle des impliziten Wissens erkannt. Schlußfolgerung: Theoretische Aussagen sind im handlungstheoretischen Sinne nur dann konsistent generierbar und in diesem Sinne „wahr“, wenn eine entsprechende Praxis vorhanden ist.

Zusammenfassung: Als anthropologische Grundstruktur aller Automaten konnte das Konzept der operativen Schrift herausgearbeitet werden. In diesen operativen Schriften läßt sich Information repräsentieren. Allerdings sind solche Informationen aus zwei Gründen immer unvollständig: Erstens liegt mit Heisenbergs Unschärferelation eine ontologische Wissensgrenze fest, aus der folgt, daß unser formalisiertes Wissen über jegliches System (also auch über technische Systeme) immer nur begrenzt und mit gewissen Wahrscheinlichkeiten behaftet ist. Zweitens fehlen in dieser Information aus handlungstheoretischer Sicht diejenigen persönlichen, analog-symbolischen Wissensstrukturen, die für eine erfolgreiche Einbettung dieser kulturell normierten, formalsprachlichen Informationen in den persönlichen Handlungsfortschritt notwendig sind. Diese muß der Mensch in der jeweiligen Situation erst generieren. Darum erscheint es zweckmäßig, weg von der beliebten „Anwenderoberfläche“ hin zur bewußten Konzeption einer *strukturellen Kopplung* zwischen Mensch und Maschine zu arbeiten. Dieses (aus Anwendersicht) wichtigste Thema führt zum nächsten Kapitel.

¹ vgl. RYLE, GILBERT: *Knowing How and Knowing That*, a.a.O.

5 WEGE EINER ANTHROPOLOGISCHEN TECHNOLOGIE:

KYBERNETISCHE PRODUKTIONSSYSTEME

>>Auf jeden Fall ist es blödsinnig, eine Arbeit zu tun, die ebenso gut Maschinen ausführen könnten.<<¹

Aus Sicht einer industrietheoretischen Perspektive befinden wir uns heute, zweihundert Jahre nach Beginn des Industriezeitalters, in einer breiten technologischen Optimierungsphase, die alle unsere Basistechnologien betreffen bzw. diese in ihre jeweils neuere Form transformieren. Mit der Kybernetik wurde erstmals ein techniktheoretisches Paradigma geschaffen, das weit über die ursprüngliche technische Fragestellung (der Steuerungs- bzw. Regelungstechnik) hinaus zum Deutungskonstrukt auch vieler nichttechnischer Wissenschaften avancierte (Begriffe wie Regelkreis, Subsysteme, Zustandsräume und vernetzte Systeme beherrschen nach wie vor Ökonomie, Biologie, Sozialwissenschaften). Gegenstand dieses Paradigmas ist die Analyse und - für synthetische Wissenschaften - Kreation und Optimierung beliebiger Systeme. Die Grundbegriffe der Technik wandeln sich zwar noch (soweit neue empirische Gesetzmäßigkeiten gefunden werden), in unserer handlungstheoretischen Technikdeutung haben wir jedoch als zentrales Konstrukt die operative Schrift herausgeschält, um das herum sich letztlich auch der schon 25 Jahre zurückliegende erste bemannte Mondflug rekonstruieren läßt. Die Kybernetik ist als die operativ-formalsprachliche Konzeptualisierung selbstbewegender, zielgebundener Strukturen und Prozesse zu verstehen. Auf Werkzeugmaschine und Arbeitsfluß (Workflow) übertragen heißt das, Fertigungsstrukturen aufzubauen, die sich selbst steuern, respektive regeln:

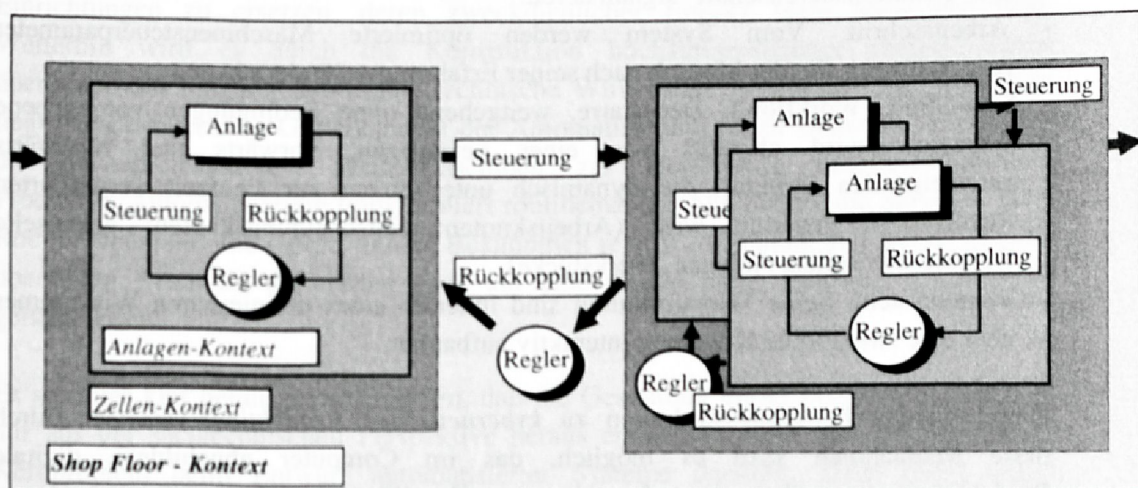


Bild 5.1 Eine Regelsystem steuert Anlagen und Arbeitsfluß, und durch Rückkopplung werden die Produktionskennzahlen automatisch optimiert.

¹ VIAN, BORIS: *Der Schaum der Tage*. Frankfurt am Main 1985, S.236 [Boris Vian (1920 - 1959) war Ingenieur, Schriftsteller, Musiker, Sänger, Schauspieler, Übersetzer. Er sieht in der Automatisierung ein wirksames Mittel der Arbeitserleichterung, fürchtet aber auch den Mißbrauch der Technik.]

Diese Betrachtungsweise reicht sogar soweit, um die Struktur des menschlichen Handelns aufzuzeigen, die sich gleichermaßen in der Baustruktur komplexer Städte wie in den Produkten der Mikroelektronik objektiviert. Die Bemühungen heutiger Fertigungsingenieure und Informatiker gehen dabei immer (ohne daß sie dies explizit wüßten) in dieselbe Richtung, die auch Leonardo da Vinci oder Aristoteles schon aufgezeigt haben: Sich selbst regelnde, das heißt automatische Fertigungssysteme zu gestalten. Mit der Kybernetik gelang dabei der Übergang von zuvor impliziten, in der Konstruktion versteckten Selbstregulationsprinzipien hin zu formalsprachlich gefaßten, expliziten Prinzipien der Regelungslehre, die sich mit Mitteln operativer Schriften in heutigen Rechnern einfach implementieren lassen. Der Mensch braucht allerdings, gerade bei know-how-intensiven Fertigungseinrichtungen, eine strukturelle Offenheit, durch die er operativ auf das automatisierte System Einfluß nehmen und im Umgang mit ihm aktiv Erfahrung aufbauen kann. Andersherum gesagt: Es muß möglich sein, die Regelprinzipien in einer solchen Weise definieren zu können, daß damit der durch diese Regelprinzipien repräsentierte Realitätsausschnitt die Realität auch tatsächlich erfolgreich repräsentiert. Die Steuerung eines Ofens über Temperaturgeber, die im Ofen sitzen, ist da nur ein einfaches Beispiel. Es muß dann vom Systembetreiber aber klar definierbar sein, was er genau regeln will (Gaszusammensetzung im Ofen, Temperatur, Dichte, Phasenübergänge etc.) und wie er die Regelalgorithmen implementieren kann. Um die unvollständige, im Computer abgebildete Teilrealität den tatsächlichen Verhältnissen anpassen zu können, ist es notwendig, die bisher weitgehend geschlossenen Automatisierungskonzeptionen aus einer handlungstheoretischen Perspektive zu "öffnen":

- Prozeßmaschine: Sie muß innerhalb eines operativ definierbaren Zustandsbereichs sein und "Funktionsbereitschaft" signalisieren.
- Arbeitsschritt: Vom System werden optimierte Maschinensteuerparameter vorgeschlagen, die der Mensch nach seiner Erfahrung verändern kann.
- Arbeitsfluß (Workflow): Der starre, weitgehend ohne Bedingungen vorgegebene Workflow wird abgelöst von einer netzartigen, vorwärts und rückwärts verzweigenden Struktur, die dynamisch unter einem zur Laufzeit ausgeführten Regelsystem generiert wird (Arbeitsknoten; Entscheidungsknoten; gekapselte Objekte wie Zellen, Anlagen, Werkstücke).
- Gesamtsystem: Seine Wirkstrukturen sind innerhalb eines definierbaren Wirkraumes über eine strukturelle Kopplung interaktiv aufbaubar.

Damit werden Fertigungsstrukturen zu *kybernetischen Produktionssystemen*. Durch diese Maßnahmen wird es möglich, das im Computer abgebildete, digitale Produktionssystem über einen formalisierten Zugriffsmodus der eigenen, analogen Erfahrung entsprechend zu pilotieren. Dies wird am Beispiel der Produktionsautomatisierung mikroelektronischer Bauelemente gezeigt. Im den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Informationsflüsse im Produktionsprozeß besprochen, das Zielsystem eines kybernetischen Produktionssystems dargestellt, Einsatz und Erfolg beleuchtet und anthropologische Perspektiven solcher operativer Systeme gegeben.

5.1 Automatisierung: die Auflösung einer Paradoxie

5.1.1 Begriffsdefinition

Im heutigen Begriff der Automatisierung wird dessen „geistige“ Ebene zwar schon gestreift, aber noch nicht im Wesen erkannt. So ist Automatisierung (oder Automation) 'die Einrichtung und Durchführung von Arbeits- und Produktionsprozessen durch Einsatz geeigneter technischer Aggregate [...] in einer Weise, daß der Mensch weder ständig noch in einem erzwungenem Rhythmus für ihren Ablauf tätig zu werden braucht [...].'¹ Damit ist (bei computergesteuerten Systemen) die Exteriorisierung eines formal in einer operativen Symbolik repräsentierten Wirksystems gemeint. Neben den rein mechanischen Komponenten 'ist Automatisierung dadurch gekennzeichnet, daß durch sie auch die psychisch-mentalenen Komponenten der Arbeit, d.h. die Regulation und Organisation des logisch notwendigen Ablaufs der einzelnen Arbeitsschritte [...] von technischen Anlagen übernommen wird.'² Aber was bleibt im Menschen, im repräsentierenden System „zurück“, wenn diese psychisch-mentalenen Komponenten erst einmal ausgelagert sind? Die Antwort darauf bleibt uns der Brockhaus schuldig. Aus der Sicht einer praktischen Anthropologie kann gesagt werden: Es sind globalere, mental höher organisierte Symbole, durch die eine operative Verbindung dieses in dem Symbolsystem repräsentierten Realitätsausschnitts mit unserem globalen Realitätsmodell generierbar wird. Diese operative Verbindung wird durch das Medium der operativen Schrift zu einer *strukturellen Kopplung*. Andersherum betrachtet: das in dem Automaten realisierte operative Symbolsystem wird zu einem formalisierten Extrakt unseres Realitätsmodells. Automatisierung hat zum Ziel, routinegeprägte Aktivitäten mit Mitteln der Informationstechnik durch selbstregelnde („automatische“) Einrichtungen zu ersetzen, deren zweckdienlicher Einsatz beim Menschen liegt. Weiterhin wird es durch die Konstruktion hochautomatisierter Gesamtsysteme überhaupt erst möglich, bestimmte technische Wirkeffekte gezielt zu erzeugen. Darin liegt der gestalterische Gesichtspunkt der Automatisierung (dazu zählen beispielsweise die hochautomatisierten Prozeßmaschinen zur Herstellung mikroelektronischer Produkte). Automatisierung transformiert routinemäßige Aktivitäten, die aufgrund ihrer Routinemäßigkeit und (sprachlichen) Bekanntheit relativ vollständig und formal in einer operativen Symbolik definierbar sind, auf eine mental höher liegende, symbolisch-geistige Ebene.

Es soll hier klar herausgestellt werden, daß die Gestaltung dieser operativen Symbolik nur aus der sachtechnischen Perspektive heraus erwachsen kann und das eigentliche Kernproblem beim Entwurf automatisierter Systeme darstellt. Denn durch diese operative Symbolik wird der Wirkraum festgelegt, innerhalb dessen Grenzen die rein syntaktische, das heißt formale Manipulation dieser Symbole eine dazu konsistente Manipulation innerhalb des betrachteten Realitätsausschnitts repräsentiert. Mit der

¹ aus: Brockhaus 1989, Bd. 1, S. 409

² ebd.

Gestaltungsnotwendigkeit dieses Wirkraumes werden die erkenntnistheoretischen und ontologischen Zusammenhänge systematisch konzeptualisiert, daß es keine wie auch immer geartete „vollständige“ rechnerinterne Darstellung der Wirklichkeit geben kann und wird. Darum gilt es, durch ein zweckmäßig gestaltetes Werkzeug der *strukturellen Kopplung* diese operative Symbolik dem Anwender auch zur Verfügung zu stellen, - eine in den geschlossenen Systemkonzeptionen vollautomatischer Fertigungssysteme überhaupt nicht beachtete Problemebene. In diesem bottom-up-Ansatz ist Automatisierung ein fortwährender Handlungsprozeß, um immer weitere Realitätsausschnitte im Rechner repräsentieren und damit die Realität zweckdienlich verändern zu können. Im Unterschied zur allgemeinen Technik stützt sich Automatisierung hauptsächlich auf den Einsatz informationsverarbeitender Systeme. Das technische Gesamtsystem „verlängert“ sich strukturell in die Werkzeuge der Automatisierung und wird dadurch „leichter“ handhabbar, beispielsweise wie ein Flugzeug pilotierbar. Solcherart automatisierte Systeme sind, wie eingangs dieses Kapitels bereits erwähnt, *kybernetische Produktionssysteme*. Obzwar der Begriff der Kybernetik heute außer Mode geraten ist, bezeichnet er in seinem Kern (als Regelungslehre) doch präzise mein Anliegen. In einem weiteren, etwa durch die Arbeiten von Steinbuch, Stachowiak und Vester antizipierten Sinne ist mit dieser Wortwahl gemeint, daß damit auch die anthropologisch-kognitive Dimension technischen Handelns konzeptualisiert wird.

Neben den rein formalen Aspekten behält deshalb der Umgang mit automatisierten Systemen seinen analogen, „künstlerischen“ Charakter. Diese *anthropologisch-kognitive Paradoxie* wird durch einen neu definierten Automatisierungsbegriff auflösbar: Denn die Automaten brauchen den Menschen doch! Deshalb schlage ich vor, „Automatisierung“ als einen *informationstechnisch gestützten Gestaltungs- und Optimierungsprozeß* des Mensch-Maschine-Handlungssystems zu begreifen:

THESE A_{prag}: (PRAGMATISCHE DIMENSION DER AUTOMATISIERUNG)

Automatisierung ist die Exteriorisierung von in einer operativen Symbolik mental repräsentierten Arbeits- und Produktionsprozessen durch informationstechnische und mechanische Einrichtungen derart, daß damit der Arbeits-/ Produktionsablauf innerhalb einer formalisierten Beschreibung des Wirkraumes (Funktionsraum) weitgehend selbsttätig geschieht. Der Mensch nimmt die Überwachung und Regelung dieses Ablaufs durch einen Abgleich des in den automatischen Einrichtungen formelhaft repräsentierten Realitätsausschnitt mit seinem globalen Realitätsmodell vor. Der Einsatz operativer Schriften macht diesen Abgleich zu einer strukturellen Kopplung gestaltbar. Diese strukturelle Kopplung behält - neben den formalsprachlichen Aspekten - ihren analog-symbolischen Handlungscharakter.

5.1.2 Neue Ziele der Automatisierung

Während die Rolle des Menschen üblicherweise in den Zielen der Automatisierung nur negativ definiert ist,¹ möchte ich diese Ziele neu deuten. Automatisierung ist nur auf der Basis des die Gesamthandlung führenden, die Zwecke dieser Handlung bestimmenden Menschen möglich. Die Zweckbezogenheit der Automatisierung betrifft neben der naturalen, sachtechnischen Erfahrungsebene auch die soziale² und existentielle Ebene.

Das Ziel der Automatisierung ist die Gestaltung und Optimierung des Mensch-Maschine-Handlungssystems derart, daß

- dieses Handlungssystem durch die Gestaltung eines geeigneten Wirkraumes mental auf eine höhere Ebene transformiert und damit *besser oder überhaupt erst* für die vom Menschen gesetzten Ziele eingesetzt werden kann.

Solche Ziele sind das Betreiben eines technischen Systems (Maschine)

- mit optimaler Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit (eindeutig, einfach, sicher);
- entsprechend den soziokulturellen Bedürfnissen der Welt (theoretisch fundierte, konzeptionelle Aufwertung des Menschen gegenüber der Maschine bzw. den Konzeptionen menschenleerer Fabriken);
- in einer Weise, die den prozeßhaften Ablauf der erfolgreichen technischen Handlung optimal unterstützt (Konzeptualisierung eines strukturell an die technische Handlung gekoppelten, operativ-symbolischen Wirkraumes, der gleichwohl einen konzeptionellen Freiraum für die Arbeit an Detailproblemen auf der operativen Ebene läßt).

Die *Kunst der Automatisierung* besteht darin, diese Bedingungen in einem symbolischen, operativen System zu repräsentieren (dem Wirkraum), um damit gefühlsmäßig leicht führbare und überwachbare Prozeßabläufe zu schaffen. Denn wenn der Mensch mit dem System Erfahrung sammelt, wird er mit der Zeit zum analog denkenden und handelnden Experten.³

¹ So liest man etwa im Brockhaus (1989, S.409): 'Das Ziel der Automatisierung ist, technische Anlagen mit einem Höchstmaß an Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Zuverlässigkeit zu betreiben und den Menschen weitgehend von Routinearbeiten zu entlasten.' Der Mensch soll zwar von Routinetätigkeiten entlastet werden, es wird aber nicht klar, was das aus Sicht der Tätigkeit, die diese Routinearbeit ersetzt, bedeutet. Denn wenn dann noch weiter ausgeführt wird, daß Automatisierung menschliche Arbeit einspart, so ist dies nur die halbe Wahrheit. Richtig ist nämlich, daß Arbeit durch Automatisierung auf eine symbolische, mental höherliegende Ebene transformiert wird. So wird zwar, oberflächlich betrachtet, beim Einsatz eines Industrieroboters menschliche Montagearbeit eingespart, dennoch muß der Roboter *vom Menschen* zweckmäßig eingesetzt und überwacht werden. Dies verlangt in jedem Falle geistig anspruchsvollere Arbeit, die durch Automatisierungssysteme produziert wird.

² 'Automation. Aristoteles unterscheidet mit dem Adjektiv *αὐτοματός* [gr. *automatos*; Anm. GL] auch Instrumente, die sich von selbst bewegen und damit die Arbeit der Sklaven überflüssig machen [...].'
aus: LANDWEHRMANN, FR.: *Automation*. in: Ritter, Joachim (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Basel Stuttgart 1980, Sp.698

³ Es sei nochmals auf das Buch der Gebrüder Dreyfus verwiesen, die hervorragend diese menschliche Leistungsfähigkeit beschrieben haben.

5.2 Strukturen kybernetischer Produktionssysteme

5.2.1 Die Automatisierung der Produktion: der Prozeßflußkontext

Die großen Fortschritte der 80er Jahre in der rechnerunterstützten Produktion bestanden vor allem darin, bisher dv-technisch getrennt arbeitende Bereiche wie Produktentwicklung, Fertigungsplanung und den eigentlichen Fertigungsprozeß in Richtung eines durchgängigen Gesamtsystems zu integrieren, das Stichwort heißt CIM - Computer Integrated Manufacturing.¹ Gegenüber der vorpreschenden Automobilbranche blieb die Mikroelektronik-Produktion aufgrund ihres lange Zeit noch vorhandenen Laborcharakters mit den Automatisierungsbemühungen im Rückstand, da wegen der vielfältigen Schwierigkeiten in der Einführungsphase neuer Technologien die nicht formalisierten Informations- und Materialflüsse mit den geplanten Flüssen oft (bis zu 30%) nicht übereinstimmen. Automatisierung hat zum Ziel, Produktionsprozesse durch Einsatz geeigneter Aggregate und Informationssysteme mit optimaler Wirtschaftlichkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit zu betreiben.

Der besondere Anspruch der Automatisierung liegt darin, daß die Produktionsprozesse dadurch leichter beherrschbar, überwachbar und regelbar werden - trotz der zunehmenden Komplexität vernetzter Fertigungssysteme. Wir beschreiten den Weg von isolierten Einzelgeräten zu informations- und materialflußtechnisch verknüpften Fertigungssystemen. Zudem haben die Systeme zunehmend *dynamischen Charakter*. Die Automatisierungsansätze in den 80er Jahren hatten noch zum Ziel, vollständige Produktinformationen (Arbeitspläne) im vorhinein statisch zu bestimmen. Damit waren die einzelnen Prozeßschritte noch wenig vernetzt zueinander und weitgehend isoliert betreibbar. Heute ist dies nur noch innerhalb gewisser Grenzen möglich, die zudem mehr und mehr verschwinden. Die Technologie-Ingenieure entwerfen neue Prozesse schon unter der Voraussetzung, daß eine Menge von Parametern durch ein geeignetes CIM-Framework online zur Regelung des Gesamtprozesses verwendet werden können. Der eigentliche Produktionsprozeß hängt von einer Reihe dynamischer Bedingungen ab, die zur Laufzeit erst die eigentlichen Prozeßschritte festschreiben. Der tatsächliche Produktionsprozeß eines Loses ist nicht vollständig voraussagbar, er ist nicht determiniert. Diese Kontextabhängigkeit ist ein Resultat aus der immer schärfer optimierten, mit Prinzipien der Selbstregelung gestalteten Prozeßtechnik, aus den zusammenschrumpfenden Prozeßfenstern. Damit wird der *Prozeßflußkontext* zu dem

¹ Ein begriffsdefinitorischer Rahmen wird gegeben in: WEDEKIND, HARTMUT: *Die Problematik des Computer Integrated Manufacturing (CIM) - Zu den Grundlagen eines strapazierten Begriffs* -, in: Arbeitsberichte, Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung (Informatik), 1988. Im folgenden kommt es mir darauf an, die nicht formalisierten technischen Handlungsstrukturen herauszuarbeiten, die die formalisierten und in informations-technischen Systemen repräsentierten Fertigungsstrukturen aus handlungstheoretischer Sicht gewissermaßen „tragen“. Die ersten bereichsübergreifenden Automatisierungsprojekte in der Automobilbranche wurden noch in Funk und Fernsehen landesweit bekanntgegeben. Inzwischen äußerten sich Vertreter des Volkswagenwerkes bezüglich des in folgender Literaturquelle besprochenen, weitgreifenden Automatisierungsprojektes der Halle 54 in Wolfsburg allerdings dahingehend, so etwas nicht mehr in dieser Art machen zu wollen; vgl. WALLER, SIEGFRIED: *Die automatisierte Fabrik*, aus: Sonderdruck aus: VDI-Zeitschrift, 125. Jahrgang, Heft 20/1983, S. 838-42. Dies alles verlangt nach einer handlungstheoretischen Integration des Menschen in eine CIM-Umgebung.

wichtigsten Konstruktionsinstrumentarium moderner Fertigungszellen, er generiert den Wirkraum des Fertigungssystems. Ansätze dazu sind im SEMATECH Framework beschrieben, einer Spezifikation zur Automatisierung der Mikroelektronik-Produktion.¹ Dem Anwender bleibt es jedoch überlassen, die notwendigen Strukturen und Details festzulegen. Zudem finden sich auf dem Markt zur Zeit keine etablierten Produkte, die diese Anforderungen abdecken könnten. Diese besonderen Anforderungen steigern jeweils für sich schon die Komplexität der automatisierten Fertigungssysteme:

- Verknüpfung von Einzelgeräten zu Fertigungssystemen,
- zusammen mit dynamisch-vernetzten, komplexen Fertigungsabläufen
- bei einfacher und sicherer Bedien-, Pfleg- und Betreibbarkeit.

Der Erfolg der Automatisierungsvorhaben wird deshalb einen deutlichen Einfluß auf den Erfolg der Produktion haben. Die Produktionsabläufe sollen durch die Implementierung von Selbstoptimierungsprinzipien besser funktionieren, sie werden von den Technologie-Entwicklern sogar schon unter dieser Voraussetzung entworfen. Einerseits muß das System so offen sein, daß der Anwender sein Know-how in das Fertigungssystem einbringen kann, um solche Selbstoptimierungsprinzipien implementierbar zu machen. Andererseits muß der Konstruktionsrahmen so eng sein, daß die Wiederverwendbarkeit der Produktionsstrukturen maximiert wird. Dieser Ansatz stützt sich auf die Konzeption eines lokalen und eines globalen Prozeßflußkontextes.

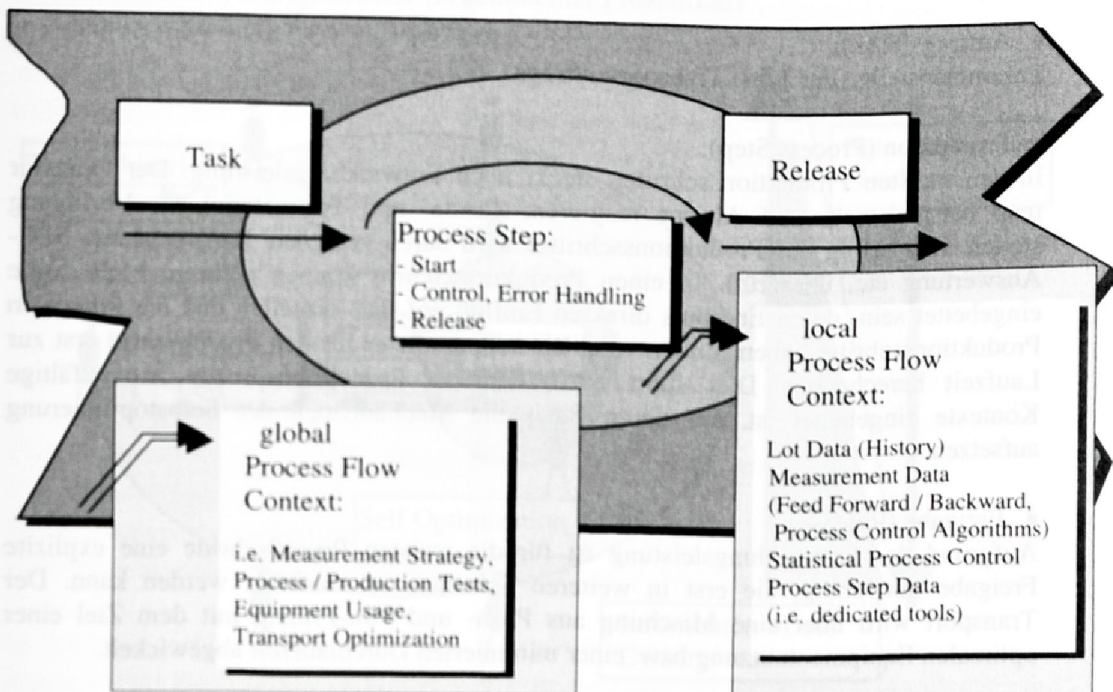


Bild 5.2 Handlungsorientiertes Prozeßflußmodell

¹ vgl. SEMATECH CIM Framework, Spec. 1.2, 31.3.95, S.187 [5.1.4.3.6 Class: ProcessFlowContext]

5.2.2 Ein moderner Konzeptrahmen zur Zellenautomatisierung: Einkapselung und Selbstoptimierung

α) Die Basisstruktur

Der Arbeitsplan beinhaltet die logische Reihenfolge der Prozeßschritte, die zur Fertigung eines Produktes notwendig sind. Jeder Prozeßschritt ist durch eine Einzel-Prozeß-Anweisung (EPA) spezifiziert, in der die physikalischen Veränderungen des Produktes (Prozeßziel) festgelegt sind. Die einzelnen Prozeßschritte sind durch logische Beziehungen miteinander vernetzt.

Der globale Prozeßflußkontext repräsentiert die zur Produktion notwendigen Informationen *der Vernetzung der einzelnen Prozeßschritte (Methoden, Attribute)*, die nicht werkstückspezifisch, sondern arbeitsplan- bzw. produktspezifisch, ownerspezifisch, technologiespezifisch sind. Der lokale Prozeßflußkontext repräsentiert diejenigen Informationen *der Vernetzung der einzelnen Prozeßschritte (Methoden, Attribute)*, die werkstückspezifisch (losspezifisch) sind.

Die Methoden, Attribute vom globalen Prozeßfluß können zum lokalen Prozeßfluß vererbt werden (z.B. Fertigungsversuchs-/Probeumstellungen- Methoden/Attribute werden vererbt; Samplig-Raten-Methoden/Attribute werden nicht vererbt). Gestaltungsziel des Kontextes ist es, ein Minimum an Pflegeaufwand für den Anwender und ein Maximum an Wiederverwendbarkeit der Stammdaten und -strukturen zu erreichen.

- Auftrag (Task):

Zusammenstellen der Jobs; Transportaufträge.

- Produktion (Process Step):

In den meisten Produktionsschritten steckt noch Entwicklungsleistung. Der Operator muß beispielsweise auf Alarme reagieren, Zusatz- und Testmaterial zur Verfügung stellen. Der Erfolg des Produktionsschrittes wird durch geeignete Meßverfahren, SPC-Auswertung etc. überprüft. In einen Produktionsschritt können mehrere Meßschritte eingebettet sein, deren Ergebnis direkten Einfluß auf den aktuellen und die folgenden Produktionsschritte haben. Zudem sind Einstellparameter für den Prozeßschritt erst zur Laufzeit berechenbar. Dies führt dazu, daß der Produktionsprozeß in vielfältige Kontexte eingebettet ist, auf deren Basis die Mechanismen der Selbstoptimierung aufsetzen.

- Freigabe (Release):

Aufgrund der Entwicklungsleistung ist für die meisten Prozeßschritte eine explizite Freigabe notwendig, die erst in weiteren Schritten automatisiert werden kann. Der Transport wird über eine Mischung aus Push- und Pull-Prinzip mit dem Ziel einer optimalen Equipmentnutzung bzw. einer minimierten Durchlaufzeit abgewickelt.

- Rekursivität:

Ein Prozeßschritt (Process Step) kann in einen weiteren Process Flow (mit einer Sequenz von Process Steps) aufgelöst werden.

- Einkapselung:

Fertigungszellen sind informationstechnisch gekapselte Produktionseinheiten und rekursiv ineinander einbettbar. Beispiele sind universelle Meßgeräte- oder Reinigungszellen, die zur Laufzeit dynamisch in unterschiedliche Produktionszellen eingebettet werden können. Methoden/Attribute des rufenden Process Flows können vererbt werden (Bsp: Zeitkopplungen, Feed Forward/Feed Backward Mechanismen).

Die einzelnen Gruppen sind für das Erreichen der Prozeßschrittziele nach außen hin verantwortlich. Die höheren Ordnungen von Information (z.B. die tatsächliche Ausprägung des Prozeßflusses) werden durch untere Ordnungen bestimmt. Dort liegt das eigentliche Know-how der Produktion. Dies wird in neuerer Zeit unter dem Schlagwort der „Fraktalen Fabrik“ konzeptualisiert.¹ Richtig daran ist, die Bedeutung des technischen Handelns mit in die Automatisierungsansätze einzubeziehen. Daraus folgt ein bottom-up-orientierter Ansatz, um niedere Strukturen, die sich einfach formalisieren lassen, zu höheren, einfach zu überwachenden Strukturen zusammenzufassen. Im hier ausgeführten Zellenkonzept wird von dieser lokalen Autonomie und Selbstoptimierung der Fertigungszellen ausgegangen.

Die Fertigungszellen sind nach außen informationstechnisch dicht, d.h. mit dem Auftrag liegen alle fertigungsrelevanten Informationen in der Zelle vor oder werden dort generiert. Die Zellen sind von außen über Dienste (Methoden) aufrufbar:

- Methoden zur Zellenstruktur (Liste der Equipments, Einzelprozeßspezifikationen)
- Methoden zum aktuellen Auftragsbestand / Auftragsfortschreibung
- Methoden zur Auftragsstruktur (zelleninterner Prozeßfluß)
- Methoden zur Vergabe von Aufträgen

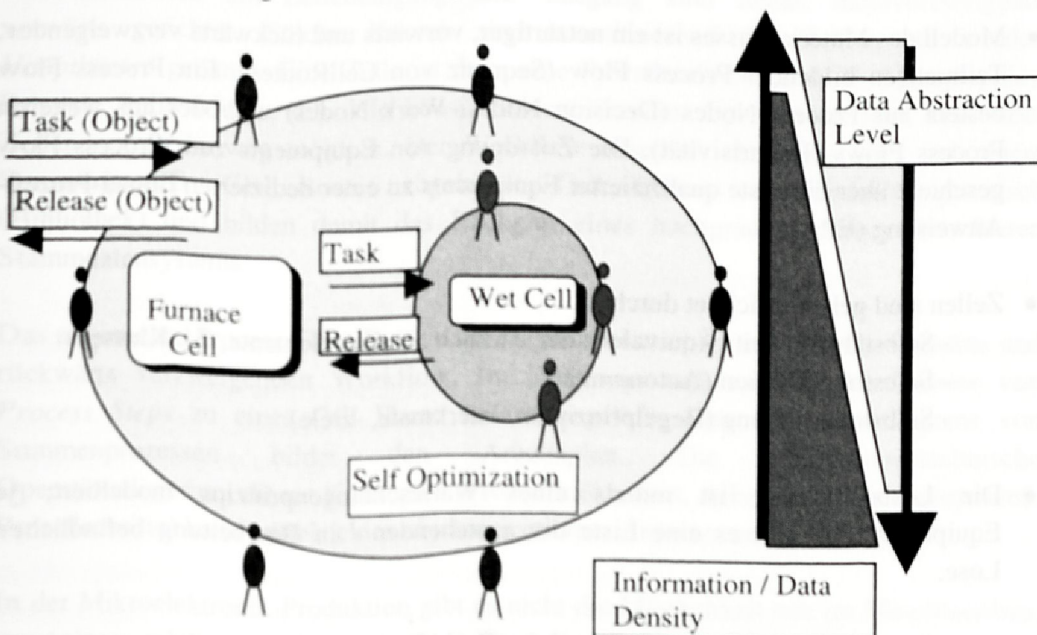


Bild 5.3 Gestaltungsprinzipien für Fertigungszellen: Einkapselung, Rekursivität, Selbstoptimierung

¹ vgl. WARNECKE, HANS JOACHIM: Die fraktale Fabrik, VDI-Verlag 1994

β) Ein Pflichtenheft zur Fertigungszelle (Advanced Manufacturing Cell)

Eine (Fertigungs)Zelle:

- ist eine Menge logisch verbundener und informationstechnisch gekoppelter Equipments. Die logische Verbundenheit ist durch den Ablauf des Workflows (Informations- und Materialfluß) definiert: Material- (Lose, Testmaterial etc.) und Informationsfluß (Steuerbefehle [Maschinenprogramme, Parameter], Kontrolldaten [SPC, Meßdaten]) müssen von definierten Input-Zuständen zu definierten Output-Zuständen führen (wohldefinierte Modellkonsistenz). Steuerinformationen sind im Prozeßflußkontext hinterlegt (lokal: mit Bezug auf Tracking Units [Lose, Testmaterial etc.]; global: mit Bezug auf den Workflow; equipmentspezifisch: mit Bezug auf das jeweilige Fertigungsgerät).
- Jedes Equipment ist genau einer Zelle zugeordnet / einer Zelle können mehrere Equipments zugeordnet sein (statischer Aspekt).
- Zellen können zur Laufzeit rekursiv ineinander eingebettet werden (dynamischer Aspekt).
- Zellen sind die ausführende Instanz des Process Flows, sie werden über Dienste (Methoden) von außen angesprochen.
- Modell des Materialflusses ist ein netzartiger, vorwärts und rückwärts verzweigender, Teilmengen bildender Process Flow (Sequenz von CellRoutes). Ein Process Flow besteht aus Process Nodes (Decision Nodes, Work Nodes) und/oder aus weiteren Process Flows (Rekursivität). Die Zuordnung von Equipments zum Process Flow geschieht über die Liste qualifizierter Equipments zu einer dedizierten Einzel-Prozeß-Anweisung (EPA).
- Zellen sind gekennzeichnet durch
 - Selbstähnlichkeit (Äquivalenz der internen Strukturelemente, d.i. Klassen)
 - Selbstorganisation (Autonomie)
 - Selbstoptimierung (Regelprinzipien, -merkmale, -ziele)
- Die Losbearbeitung ist mittels eines Warteschlangenprinzips modelliert; je Equipment/EPA gibt es eine Liste der anstehenden / in Bearbeitung befindlichen Lose.
- Aus dieser Liste wird ein Process Job (Prozeßauftrag) der gemeinsam an einem Equipment zu bearbeitenden Lose zusammengestellt.

- Eine Zelle ist informationstechnisch gekapselt und kann alle angemeldeten Lose (Jobs) auch ohne umlagerte Systeme (Shop Floor Control ...) bearbeiten; diese werden dann später synchronisiert. Die notwendigen Kontroll-, Steuer- und Freigabemechanismen sind vom Menschen durchzuführen.
- Die rekursive Einbettbarkeit von Zellen wird durch die Klasse der Fertigungsaufträge realisiert:
 - ein Fertigungsauftrag ist die Registrierung eines dedizierten Loses/EPA/Equipments für ein dediziertes Tupel EPA/Equipment der rufenden Zelle
- Zellen sind informationstechnisch nach innen offen, nicht verifiziert, dynamisch. Der tatsächliche Process Flow entscheidet sich zur Laufzeit aus Informationen, die vom Process Flow Context abhängen.
- Der Wirkraum des Fertigungssystems/-zellen wird durch den mit informationstechnischen Instrumentarien operationalisierten Prozeßflußkontext generiert.

Zellen werden dadurch abgegrenzt, daß keine Informationsflüsse des Prozeßflusses (z.B. eines Loses) von außerhalb wieder in die Zelle zurückfließen. Prozeßfluß und Informationsfluß am Zelleneingang und -ausgang sind linear, nichtverzweigend, vorwärts gerichtet. Solche Knoten sind konstituierend für Zellen, sie werden *Hauptknoten* genannt. Eine Zelle ist dann eine Prozeßtechnologie (z.B. Lithographie). Rework, Split, Merge, d.h. alle konsistenzverändernden Operationen sind nicht über Zellengrenzen hinweg möglich. Der Workflow innerhalb der Zelle wird auf einem Summenprozeß (Cell Route) abgebildet. Cell Routes sind dadurch generisch (Bibliothek) und bilden damit das Rückgrat eines hochgradig wiederverwendbaren Stammdatensystems.

Das allgemeine Process Flow Data Model repräsentiert einen netzartigen, vorwärts und rückwärts verzweigenden Workflow. Im *Summenprozeß* werden eine *Summe* von *Process Steps* zu einer Cell Route zusammengefaßt. Eine definierte Sequenz von Summenprozessen bildet den Arbeitsplan. Die informationstechnische Operationalisierung dieses Konzeptes (Prozeßflußkontext, Arbeitsplan, Summenprozeß, Prozeßschritte) kann mittels eines objektorientierten Ansatzes erfolgen.

In der Mikroelektronik-Produktion gibt es nicht die Möglichkeit wie im Maschinenbau, aus einer relativ generischen CAD-Darstellung des Produktes automatisch die notwendigen NC-Programme zu erzeugen. Prozeßsimulatoren (z.B. SUPREM) oder Silicon Compiler werden zumeist nur in der Technologie-Entwicklung eingesetzt. Die Folge davon ist, daß alle zur Herstellung notwendigen Informationen in einer Menge

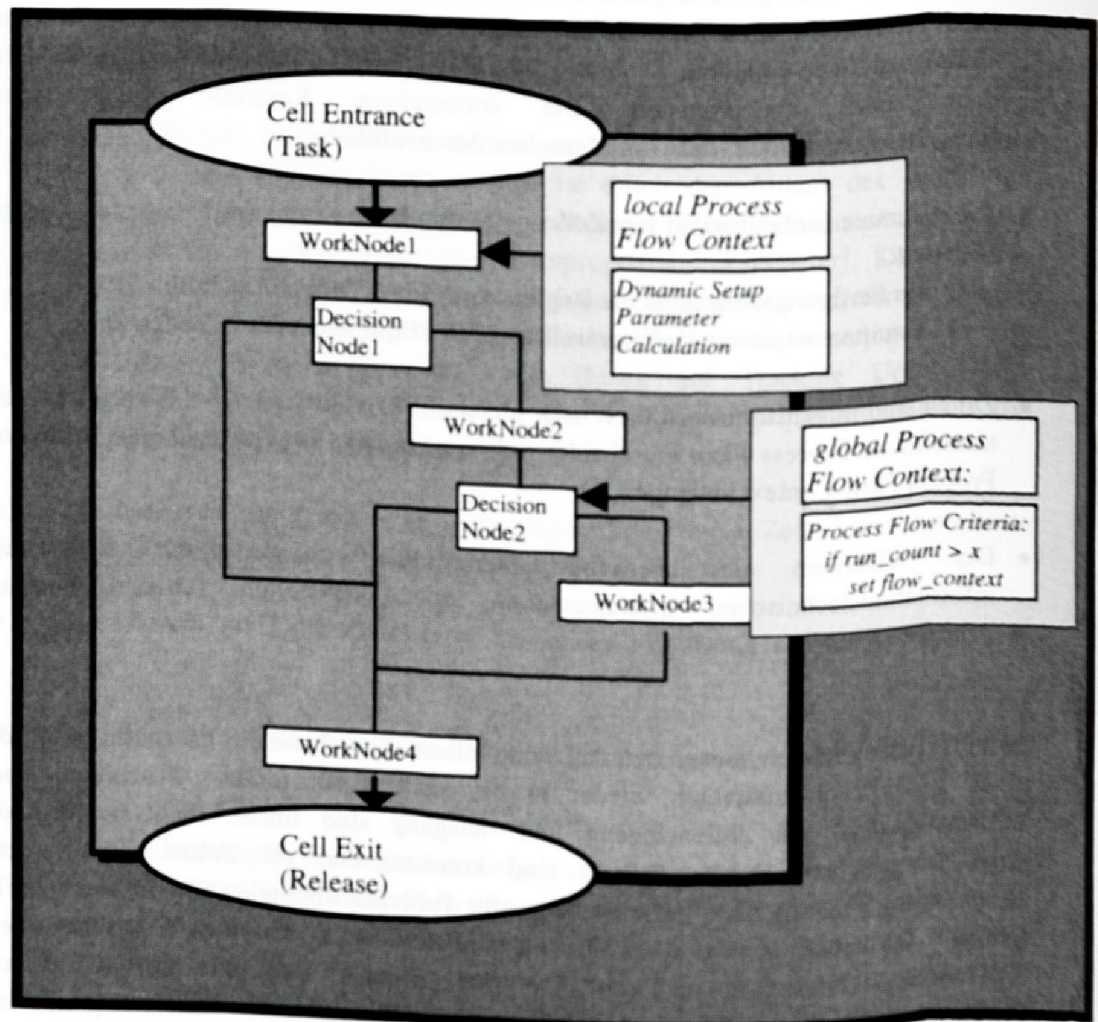


Bild 5.4 Dynamische Generierung des Workflows

sogenannter Prozessschrittrezepte (Recipe: Maschinensteuerprogramm) gespeichert werden, deren Zahl bei erhöhter Produktfalt sich multiplikativ vergrößern kann (Anzahl Arbeitspläne * Anzahl ProcessSteps). Eine Wiederverwendbarkeit kann nur (wenn überhaupt) über eine weitsichtig aufgesetzte Parametrisierung der Prozessschrittrezepte erreicht werden. Diese Parametrisierbarkeit ist auch Voraussetzung dafür, die zu automatisierenden Prozeßregelmechanismen zu implementieren. Aus diesen Randbedingungen heraus läßt sich die Einführung eines Prozeßflußkontextes begründen. In diesem Prozeßflußkontext ist das eigentliche Know-how der Produktionsautomatisierung hinterlegt.

5.2.3 Kybernetische Produktionssysteme und CIM

α) Vom Schaltungsentwurf bis zur Belichtungsmaske

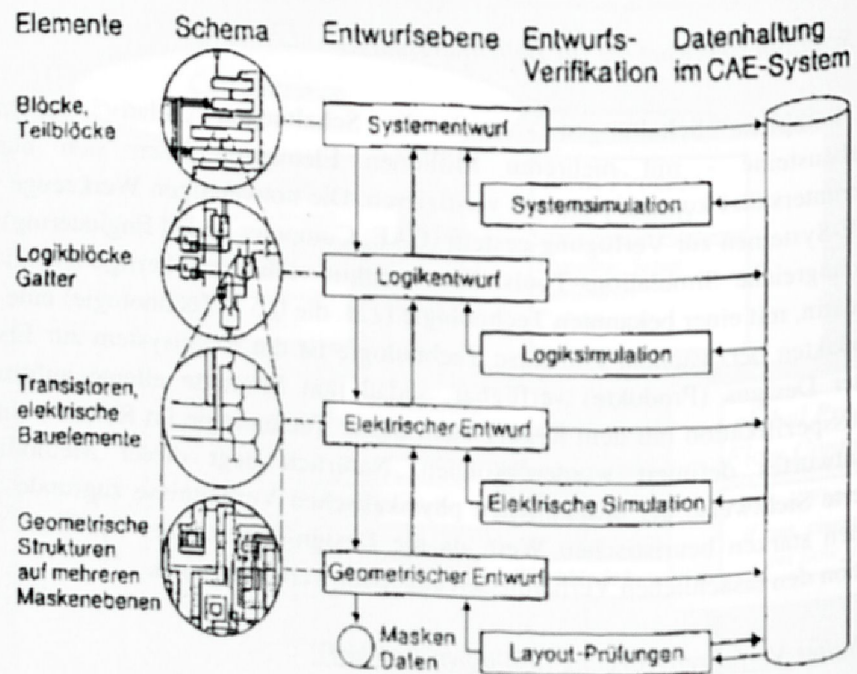
Massiv komplexe Schaltungen - auch die Schaltungen „relativ“ regelmäßiger Speicherbausteine - mit mehreren Millionen Elementen lassen sich nur noch computerunterstützt konstruieren und verifizieren. Die notwendigen Werkzeuge werden von CAE-Systemen zur Verfügung gestellt (CAE: Computer Aided Engineering): CAD- und umfangreiche Simulations-Tools. Eine weithin verbreitete Fertigungsphilosophie besteht darin, mit einer bekannten Technologie (z.B. die 0,5 μ -Technologie) eine Anzahl von Produkten herzustellen. Für diese Technologie ist ein Regelsystem zur Erstellung möglicher Designs (Produkte) verfügbar, sodaß nun Produkte alleine aufgrund der Funktionsspezifikation mit dem Regelsystem dieser Technologie im Rahmen eines top-down-Entwurfes definiert werden können. Natürlich liegt dieser Methodik eine idealisierte Sichtweise der tatsächlichen physikalischen Verhältnisse zugrunde. Sie hat aber einen starken heuristischen Wert, da die Design-Regeln über Feedback aus der Produktion den tatsächlichen Verhältnissen angepaßt werden können.

Skizzenhafter Verfahrensvorgang (top-down-Entwurf):

- Zunächst wird der Produktentwurf als ein Systemmodell erstellt. Bestimmend sind hier Input- und Output-Größen. Der IC ist noch eine „Black Box“.
- In der Logiksimulation werden die logischen Abläufe des IC verifiziert.
- Die elektrische Simulation (Schaltkreissimulation) soll den Nachweis der elektrischen Funktionsfähigkeit bezüglich des zeitlichen Ablaufs der Schaltvorgänge der einzelnen Elemente bringen. Dazu sind bereits elektrische Daten von Speicher, Transistor und Datenleitung erforderlich.
- Schließlich wird das geometrische Design erstellt. Dies geschieht auf der Basis bereits (größtenteils) bekannter Designregeln geometrischer Natur (Vorgaben für: Dicken, Abstände, Toleranzen etc.)

Liegt dann das geometrische Design des IC fest, werden aus dem erstellten Entwurf die Daten für die Belichtungsmasken extrahiert. Diese Daten werden „Online“ dem Maskenzentrum überspielt; anschließend werden mit einem Elektronenstrahl-Schreiber die Masken für die einzelnen Prozeßebenen erstellt (4 Megabit-DRAM: ca. 19 Masken). Ein Beispiel für ein erfolgreiches Automatisierungsprojekt ist die Belichtungsmaskenherstellung. Hier werden aus den CAD-Daten des IC-Schaltungsentwurfs automatisch die notwendigen Steuerungsdaten für die Maskenherstellung mit einem Elektronenstrahlgerät gewonnen.¹ Die dv-technisch relevanten Integrationsschnittstellen zwischen der Produktentwicklung und der Produktion sind:

¹ vgl. OELMANN, A.: Automatisierung der Maskenherstellung. VDI Berichte Nr. 795, 1989, S.5-62



Vom Blockschaltbild zur Maske mit CAE (Computer Aided Engineering).

Bild 5.5 CAE-Verfahrenskette zur Entwicklung Integrierter Schaltungen¹

- Maschinensteuerungsdaten zur automatischen Maskenherstellung aus dem CAD Schaltungsentwurf des IC's;
- automatisierte Arbeitsplanerstellung / Parameterdefinition für statistische Prozeßkontrolle (z.B. elektrische Parameter kritischer Schichtdicken)
- automatisch erzeugte elektrische Testerdaten zur Verifizierung der Gesamtfunktionalität des IC's;
- Daten zur Herstellung des IC-Gehäuses.

¹ aus: FÖLL, H.; BECKER, FRANK S.: a.a.O., S. 16, 16

β) Von der Produktentwicklung zur Produktion

Die Zahl der Prozeßschritte zur Fertigung eines Produktes steigt überproportional zur Integrationsdichte an. Dadurch werden Prozeßentwicklungszeiten und Lernkurven deutlich verlängert. Unter solchen Bedingungen bleibt nicht mehr viel „Spielraum“ für die Prozeßentwicklung: es muß bei einer neuen Technologie (Bsp.: 16 Megabit-DRAM) sehr zielgerichtet gearbeitet werden. In der Prozeßentwicklung wird zunächst auf eine Vielzahl von Parametern geachtet. Die verfügbaren Prozeßmaschinen müssen für eine größere Anzahl von Prozeßschritten geeignet sein. Erst nach der Übergabe des Prozesses von der Entwicklung an die Fertigung wird die Anzahl der zu überprüfenden Parameter minimiert und an die jeweils verwendeten Typen von Prozeßmaschinen angepaßt. Diese Parameter sind z.B. Linienbreiten (Fototechnik), Schichtdicken (Ofenprozesse), Dotierprofile (Implantation). Die Werte müssen in einem genau definierten Bereich liegen: dem *Prozeßfenster*. Liegen die Werte außerhalb, sind Nacharbeiten, schlimmstenfalls der Verwurf der Charge erforderlich.¹ In der Fertigung muß sehr diszipliniert gearbeitet werden, der Schulungsaufwand ist hoch und die Prozeßsicherheit wird oft durch experimentell ermittelte „Verfahrensvorschriften“ gewährleistet, für die noch keine physikalischen Gesetzmäßigkeiten definiert werden konnten. Ziel ist nicht ein vollautomatisches, deterministisch funktionierendes System, sondern die Unterstützung menschlichen Handelns durch *zweckmäßige Automatisierungssysteme*, mithin der Aufbau *kybernetischer Produktionssysteme*. Folgendes Ratiopotential dafür ist erkennbar:

Computerunterstützung für Prozeß- und Qualitätssicherung durch

- automatisierte Material- und Informationsflüsse
(Transportsysteme, dv-Integration der Prozeßmaschinen);
- Systemtools (z.B. SPC, Simulation, weltweite Rechnernetze)²;
- für den Anwender „offene“ Regelsysteme (Wirkraum).

¹ Die Kontrolle dieser Parameter geschieht über Methoden der „Statistischen Qualitätskontrolle SQC“; vgl. ABEL, V.; HAAS, K.: *Statistische Qualitätskontrolle von Prozeßlinien. Vorgehensweise zur Erstellung von Kontrollkarten*. München ³1986. Eine Integration dieser statistischen Verfahren unter Berücksichtigung der technologischen Besonderheiten der IC-Herstellung in eine computerunterstützte Produktionsmethodik (CAM: Computer Aided Manufacturing) beschreibt MOZUMDER, PURENDU K.; SHYAMSUNDAR, C.R.; STROJWAS, ANDRZEJ J.: *Statistical Control of VLSI Fabrication Processes: A Framework*. in: IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vo.1, No.2, May 1988, S.62-71

² Bei weitergehender wissenschaftlicher (d.h. formalisierender) Durchdringung der Produktentwicklung gibt es heute erste Versionen sogenannter „Silicon Compiler“, deren Ziel ist, auf der Basis definierter, „äußerer“ Produktanforderungen automatisch einen entsprechenden, „inneren“ Produktentwurf zu erzeugen. Zum Einsatz kommen Produkt-, Prozeß- und Prozeßmaschinen-Simulationstools, die etwa mit der Finite-Elemente-Methode rechnen. Hauptproblem ist das Finden adäquater physikalischer Modelle. Dieses Verfahren funktioniert, weil in der heutigen industriellen Optimierungsphase die grundlegenden Konzepte mikroelektronischer Systeme nicht modifiziert werden. Vgl. z.B. ENGL, W.L.: *Process and device modeling. Advances in CAD for VLSI*. Amsterdam 1986. HO, C.P.; PLUMMER, J.D.; HANSEN, S.E.; DUTTON, R.W.: *VLSI Process Modeling - Suprem III*. in: IEEE Transactions Electron. Devices ED-30, No.11, 1983, S.1438-53

γ) Rechnerunterstützte Fertigung und kybernetische Produktionssysteme

Ziel einer Automatisierungskonzeption für know-how-intensive Produktionsbereiche wie die Mikroelektronik ist

- die Unterstützung der Produktionsplanung und Produktentwicklung zur marktgerechten rechtzeitigen Freigabe neuer Produkte
- und die kostengünstige Produktion der Produkte in variabler Stückzahl
- durch eine systematische Einbeziehung der Strukturen technischen Handelns in eine rechnerunterstützte Fertigung.

Dabei wird das System aus Planung, Entwicklung und Produktion als Ganzes betrachtet. In dieser Gesamtschau werden besonders die informationstechnischen Zusammenhänge und Verknüpfungen berücksichtigt. Die Automatisierung technologischer, evolvierender Abläufe in Konstruktion und Produktion läßt den Bedarf „offener“ Systemlösungen ansteigen, wie beispielsweise die OSI-Initiative zeigt. Während dort allerdings die „Offenheit“ bezüglich einer Integrationsfähigkeit zwischen den Computern verschiedener Hersteller gemeint ist, wird hier die Integrationsfähigkeit des technisch handelnden Menschen antizipiert. Denn gerade im Felde der Hochtechnologie ist das in Kapitel 4.4 geschilderte Szenario bottom-up gerichteter Problemlösungsprozesse („monitoring“) im Falle auftretender Schwierigkeiten (und die treten täglich auf) eher die Regel denn die Ausnahme. Und zwar einfach deshalb, weil die unter internationalem Konkurrenzdruck arbeitenden High-Tech-Firmen gar nicht die Zeit haben, alles so eindeutig zu definieren, daß der geschilderte Fall nicht eintritt. Im Gegenteil: gerade in Europa ist in der Mikroelektronik die Vokabel der Aufholjagd noch gängige Redensart. Daraus folgen aber endlich Grenzen für die Automatisierung der Herstellung dieser Produkte, weil die vom Menschen geleistete *Informationsproduktion durch implizites Wissen* im Falle auftauchender Anomalitäten nicht restfrei formalisiert wird. Meine eigene Erfahrung zeigt deshalb, daß es nicht sinnvoll ist, reine top-down gerichtete Automatisierungsansätze in Hochtechnologiebranchen zu praktizieren. Denn es werden vom Menschen problemlösende Informationen bottom-up kreiert und *sind ins System einzubringen*. Der erfolgsbestimmende Informationsumsatz findet bei der eigentlichen Wertschöpfung, also auf der Maschinenebene des Produktionsprozesses statt. Was hingegen automatisiert werden kann, das sind formalisierte Handlungsstrukturen, die konzeptionelle Freiheiten für diese Informationsproduktionsprozesse lassen. Die Grundstruktur einer logistisch gesteuerten Fertigung bleibt gleichwohl erhalten, denn diese setzt auf interaktiv im menschlichen Kommunikationssystem erzeugte Begriffe auf. Auch „selbstlernende“ Systeme wie die in Kapitel 2 besprochenen neuronalen Netze werden von sich aus keine neuen begrifflichen Strukturen liefern. Ihre Vorteile sind eher in „peripheren“ Systemmodulen ausspielbar (Bsp. Mustererkennung).

¹ Ein verbesserter Ansatz liefert die Methodik der objektorientierten Softwareentwicklung. Durch die Modellierung von „Objekten“ menschlichen Denkens wird eine deutliche Approximation der Software an eine strukturelle Kopplung des Informationssystems an die menschliche Handlung erreicht.

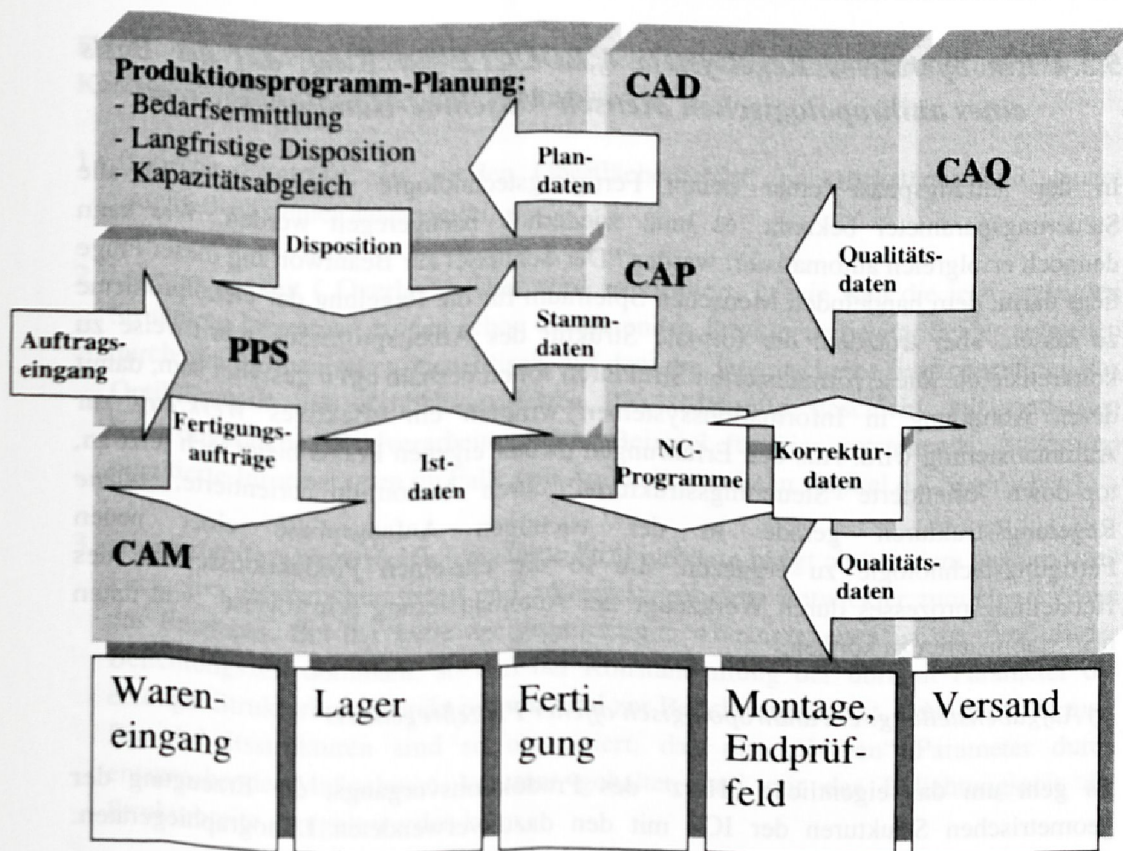


Bild 5.6 „Klassische“ CIM-Konzeption¹

Ogleich die Durchdringung und Integration technologischer Daten bereits enorme Fortschritte gemacht hat, sind in solchen Konzepten repräsentierbare Handlungsstrukturen gerade bei Know-how-intensiven Fertigungen nur „oberflächlicher“ Natur (vgl. Kapitel 4.2). Betriebswirtschaftliche Funktionen wie Auftragseingänge, Auftragsverfolgung oder Rechnungserstellung sind zwar relativ vollständig definierbar. Die entscheidende Rolle spielen aber die Handlungen auf der Maschinenebene. Hier müssen alle Informationen zusammenlaufen.

Vor diesem Hintergrund wurden in einem Forschungsprojekt diese produktbegleitenden Informationsflüsse untersucht und in einem Prototyp ein Produktbegleitendes InformationsSystem PRINS realisiert.² Diese Projekt war Anstoß für die in dieser Studie vorgelegte anthropologische Untersuchung des technischen Handelns. Ausgangspunkt ist die in PRINS ausgearbeitete Mensch-Maschine-Systematik, die in einem vom Menschen geführten Produkt-Prozeß-Interface prototypisch verwirklicht wurde. Im folgenden Kapitel soll am Beispiel eines in der Praxis erprobten, operativen Regelsystems die Applikation anthropologischer Prinzipien technischen Handelns in einem Projekt der Mikroelektronik-Produktion betrachtet werden.

¹ vgl.: WALLER, SIEGFRIED: a.a.O., S.839

² vgl. Kapitel 1.4 „Automatisierung der produktbegleitenden Informationsverarbeitung“

5.2.4 Ein operatives Regelsystem („BOUCLE“ = Ring) auf der Basis eines anthropologischen Mensch-Maschine-Handlungssystems

In der Anfangsphase einer neuen Fertigungstechnologie sind noch nicht alle Steuerungsparameter bekannt, es muß wiederholt nachgeregelt werden. Wie kann dennoch erfolgreich automatisiert werden? Der Schlüssel zur Beantwortung dieser Frage liegt darin, dem handelnden Menschen Spielraum für die Regelung der Detailprobleme zu lassen, aber trotzdem die formale Struktur des Arbeitsprozesses schrittweise zu konkretisieren. Diese formalisierten Strukturen sollen deshalb *offen* gestaltet sein, damit deren Abbildung in Informationssystemen wirklich ein effektives *Werkzeug* zur Automatisierung wird. Aus den Erfahrungen meiner eigenen Praxis bietet sich jetzt an, top-down orientierte Steuerungsstrukturen durch bottom-up orientierte, *offene* Regelungsstrukturen gerade in der wichtigen Anfangsphase einer neuen Fertigungstechnologie zu ergänzen, um so die einzelnen Produktionsschritte des Herstellungsprozesses durch Werkzeuge der Automatisierung schrittweise „von unten her“ stabilisieren zu können.

α) Aufgabenstellung: ein anthropologisch offener Prozeßregelkreis

Es geht um das eigentliche „Herz“ des Produktionsvorgangs, die Erzeugung der geometrischen Strukturen der IC's mit den dazu verwendeten Lithographiegeräten. Folgendes Bild veranschaulicht das Aufgabenfeld:



Bild 5.7

Einblick in eine moderne IC-Fabrik; im Hintergrund strukturerzeugende Lithographiegeräte und im Vordergrund Trägerscheiben mit IC's
(Quelle: Siemens AG)

Die Grundstruktur des Prozesses ist: Belacken, Belichten, Entwickeln, Kontrolle. Die Kontrolle gliedert sich in die drei Unterpunkte:

1. Optische Kontrolle: Es werden Oberflächenfehler, Lackrückstände und andere „qualitative“ Fehler ausgewertet.
2. Lagegenauigkeit („Overlay“): Hier wird kontrolliert, in wie weit die jetzt erzeugten Strukturen lagegenau zu den schon existierenden Strukturen liegen. Fehler entstehen durch den mechanischen Zustell Tisch, auf dem die Trägerscheibe liegt oder durch das Optik-System des Belichtungsgerätes. Die Messung geschieht mit optischen Kontrollgeräten / Bildverarbeitung (ein Beispiel für hier entstehende, bottom-up orientierte Informationen im Falle von Anomalitäten ist in Kapitel 4.4 besprochen).
3. Strukturbreite: Die tatsächlich erzeugte Strukturbreite hängt ab von dem verwendeten Lack, von der Belichtungszeit und -intensität, von dem Entwickler zum Herauslösen des Restlacks. Bei der Fülle der gegenseitigen Abhängigkeiten ist der Einfluß der Belichtungszeit dominant, so daß bei Konstanzhaltung der übrigen Parameter die erzeugte Strukturbreite direkt proportional zur Belichtungszeit ist. Oder andersherum: Die Arbeitsstrukturen sind so organisiert, daß die „übrigen“ Parameter durch entsprechende Maßnahmen konstant gehalten und mit der Belichtungszeit die Strukturbreite geregelt werden kann.

Während die Kontrolle 1. Maßnahmen zum Defekt-Engineering nach sich zieht, dienen die Messungen 2. und 3. zur Regelung des gesamten Prozeßschrittes. Fehler in der Lagegenauigkeit können durch Einstellungen am Belichtungsgerät beeinflußt werden und die Strukturbreite über die Belichtungszeit. In der Anfangsphase werden diese Fehler „zu Fuß“ über Vorläuferscheiben geregelt: Dazu wird von jedem Fertigungslos (beispielsweise 25 Trägerscheiben) eine Scheibe ausgewählt und mit jedem der ca. 200 darauf abgebildeten IC's eine andere Parametervariation ausprobiert. Mit der Kontrolle der IC's wird dann der IC mit den „besten“ Daten identifiziert und die restlichen Scheiben des Loses mit den Einstellparametern dieses „besten“ IC's bearbeitet. Die Aufgabenstellung besteht darin, die notwendigen Regelungsprozesse in einem informationstechnischen System abzubilden und den Regelungs-ablauf möglichst automatisch zu gestalten.¹

Das Ziel ist neben einer Verbesserung der Kontrollwerte auch die Eliminierung des kostspieligen Verfahrens der Vorläuferscheiben. Schließlich sollte die *Steuerung, d.h. Pilotierung* des Regelprozesses über eine „offene“ Schnittstelle zu den betreuenden

¹ Folgende Literaturquelle beschreibt einen Regelkreis für die stark erfahrungsgeprägten Ofenprozesse in der Mikroelektronik (ein Ofenprozeß erzeugt z.B. eine Isolationsschicht durch thermische Oxidationsprozesse). SCHER, GARY; EATON, DENNIS H.; FERNELIUS, BARRY R.; SORESENSEN, JAMES; AKERS, JERRY W.: *In-Line Statistical Process Control and Feedback for VLSI Integrated Circuit Manufacturing*, aus: IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol.13, No.3, 09/1990

Prozeßingenieuren geschehen, indem diese die Algorithmen, nach denen der Regelprozeß funktioniert, dynamisch in dem System definieren und verändern können. Das Ziel ist also der Aufbau eines in der Produktionsebene automatisch funktionierenden, aber vom Menschen geführten, das heißt auf der Strukturebene anthropologisch offenen Prozeßregelkreises. Insgesamt läßt sich die notwendige strukturelle Offenheit des automatisierten Produktionssystems folgendermaßen charakterisieren:

- Die Prozeßmaschine: Nach der hier konzeptualisierten strukturellen Offenheit wird verlangt, daß die Prozeßmaschine sich innerhalb eines definierten Zustandsbereichs befindet, innerhalb dessen die geforderten Prozeßcharakteristika erfüllt sind. Bei einer neuen Fertigungstechnologie ist das tatsächliche Maschinenverhalten in neuen Technologiebereichen eine der größten Unbekannten, die es überhaupt gibt. Welche kritischen Parameter sind zweckmäßig zur Charakterisierung des Prozesses? Welche Parameter charakterisieren die Zuverlässigkeit der Prozeßmaschine? Wie kann die Zuverlässigkeit (beispielsweise mit SPC-Werkzeugen) gezielt beeinflußt und geregelt werden? Dies sind Fragen, die geklärt werden müssen, bevor man überhaupt an Automatisierung denken kann. Automatisierungssysteme müssen hier offen gegenüber einer vielfältigen Einflußnahme des Menschen auf der Prozeßmaschinenebene sein.
- Der einzelne Arbeitsschritt: Hier geht es um die Sollwerte und Toleranzgrenzen, die der einzelne Arbeitsschritt am Produkt bewirken soll. Diese Werte sind im allgemeinen abhängig von Einstellparametern. Die Hauptarbeit liegt auch hier zunächst in der *Kreation und Definition* dieser Werte. Ferner wird festgelegt, wie diese Werte über geeignete Meßgeräte überprüft und geregelt werden können. Zusätzlich ist zu bedenken, wie Einfluß auf die Automatisierungsstrukturen gewonnen werden kann, wenn wahrscheinliche Detailprobleme, wie beispielsweise beim Einsatz neuer Prozeßzusatzstoffe, durch den Menschen effektiv geregelt werden können.
- Das Gesamtsystem: Die Definition der Struktur des notwendigen Wirkraums des automatisierten Produktionssystems ist mit Abstand das größte Problem beim Aufbau des integrierten Gesamtsystems. Entsprechend wurden hier mit geschlossenen Automatisierungskonzepten die größten Schiffbrüche erlitten. Nach dem neuen Automatisierungsbegriff ist es jetzt aber das Ziel, das Automatisierungssystem mit Mitteln der *strukturellen Kopplung*, entsprechend seiner *offenen* Konzeption, zu einem *Werkzeug* für den die Handlung führenden Menschen werden zu lassen. In der folgenden Konzeption eines strukturell offenen, kybernetischen Produktionssystems soll dies die Hauptthematik sein.

β) Der operative Prozeßregelring BOUCLE

Die Lösung besteht darin, Handlungswissen mit Blick auf die Gestaltung eines offenen Wirkraumes in einem Medium der strukturellen Kopplung (wie beispielsweise einer operativen Schrift) zu formalisieren und damit exteriorisierbare technische Wirkzusammenhänge herzustellen. Um es klar auszudrücken: die Hauptarbeit liegt in der Strukturierung des gesamten Arbeitsfeldes, und zwar nicht nur der gerade aktuellen, sondern der prinzipiell möglichen Arbeitsstrukturen, so daß diese Strukturen über eine Repräsentation in formelhaften Zusammenhängen automatisiert werden können. Eine neue Technologie entspricht intern einer neuen kognitiven Problemlösungsstruktur des offenen Systems „Mensch“. Diese neue kognitive Struktur stabilisiert sich erst durch bewußte Kontrolle einer Menge von Parametern, bis der Erfahrung sammelnde Anwender nach und nach die „relevanten“ Regelungsparameter und deren Abhängigkeiten erkennt. Erst dann wird es möglich, mental höherstehende Symbole zu bilden und zu automatisieren. Solche bottom-up orientierte Automatisierungsansätze unterstützen demnach gerade die menschliche Fähigkeit zum Aufbau erfolgreicher, auf ein mental höheres Niveau transformierter, hochsymbolisch organisierter Handlungsstrukturen. Deshalb ist die Gestaltung von Automatisierungssystemen in Know-how-intensiven Produktionsumgebungen ein mit dem Anwender durchzuführender, bottom-up gerichteter Entwicklungsprozeß. Automatisierung ist kein „Produkt“, sondern ein „Prozeß“, der eine erhebliche Transformation der Arbeitsstrukturen auf der operativen wie auch auf der Engineering-Ebene zur Folge hat.

Das Konzept heißt: Erfahrungsgeleitetes, multidimensionales Regeln durch Mittel der strukturellen Kopplung statt starres, eindimensionales Steuern!

Die erfolgreiche, gefühlsgeladene Handlung mit dem Gesamtsystem wird möglich, wenn der Anwender über eine operativ-symbolische, strukturelle Kopplung Überwachungs- und Kontrollhandlungen durchführen und somit mit dem Gesamtsystem Erfahrung aufbauen kann. Diese Erfahrung führt zu einem analog-symbolischen, inneren Modell dieses Realitätsausschnitts, was wiederum Voraussetzung für erfolgreiches, gefühlsmäßiges Handeln im Falle von Problemen ist. Idealerweise sind diese Symbole auch im Automatisierungssystem repräsentiert und bilden somit das Medium der strukturellen Kopplung. Nur auf einer solchen Kopplungsbasis sind werkzeugsähnliche, dennoch computerunterstützte und darum erfahrungskonstitutive Handlungen erfolgreich möglich. In dem Lösungssystem werden vom Anwender über eine symbolisch-operative Kopplung dynamisch die Wirkstrukturen des Automatisierungssystems definiert. Diese Wirkstrukturen sind zweckmäßig formalisierte Handlungsstrukturen. Der Zweck ist im vorliegenden Fall die Prozeßstabilisierung und -optimierung mit dem Ziel einer kostengünstigen Produktion. Im folgenden Bild ist die systemtheoretische Grundstruktur veranschaulicht:

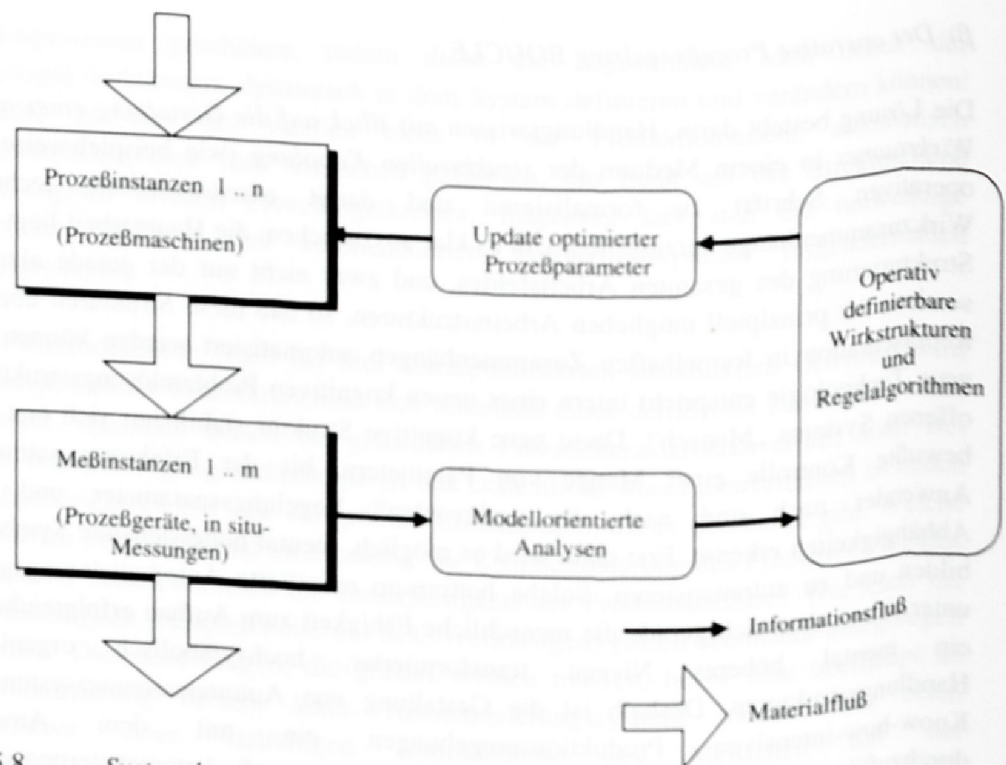


Bild 5.8 Systemtheoretisches Grundmodell eines Prozeßregelsystems

Die Prozeßschritte werden als Regelsysteme modelliert (in der Praxis werden nach einem physikalischen Prozeßschritt Messungen zur Kontrolle und damit zur Regelung dieses Schrittes durchgeführt). Aus den Handlungsstrukturen werden die Regelaspekte soweit konkretisiert und formalisiert, bis eine Grundstruktur möglicher Regelalgorithmen erarbeitet ist. Dies ist kein prinzipielles Problem, denn hierin objektiviert sich die zielorientierte, regelhafte Grundstruktur jeglichen technischen Handelns bzw. sogar die Regelhaftigkeit aller Lebensprozesse. Die Kunst besteht vielmehr darin, diese Grundstruktur soweit offen zu gestalten, daß damit eine Palette zwar wahrscheinlicher, aber nicht notwendigerweise eintretender Probleme repräsentiert und bewältigt werden können. Damit liegt die logische Definition des Wirkraums des Automatisierungssystems fest. Im Regelsystem bewirken Abweichungen der antizipierten Zielgrößen „automatisch“ entsprechend geänderte Regelgrößen.

Der nächste Punkt ist die Gestaltung der strukturellen Kopplung. Hier ist der Stand der Technik bzw. der Ausbildungsstand der Ingenieure maßgebend. Im vorliegenden Fall wurde eine informationstechnische Gesamtumgebung geschaffen, innerhalb der die Definition der Regelalgorithmen und deren Zusammenspiel in vorstrukturierten Tabellen interaktiv vom Anwender durchgeführt wird. Dazu ist nicht die Kenntnis einer Programmiersprache Voraussetzung, wohl aber ein logisches Verständnis der Charakteristika eines objekt- bzw. datenbankorientierten Informationssystems. Diese Gestaltung gestattet es, das produktionstechnische Gesamtsystem auf der Basis der eigenen Erfahrung (natürlich innerhalb des definierten Wirkraums) frei zu steuern. Durch diese Regelalgorithmen wird beispielsweise definiert, wie - auf der Basis der Ergebnisse der vorangegangenen Prozeßschritte in Abhängigkeit von der zu regelnden

Prozeßmaschine - die neuen Einstellwerte für den gerade anstehenden Arbeitsauftrag der Prozeßmaschine berechnet bzw. optimiert und anschließend informationstechnisch in die Prozeßmaschine übertragen werden. Das Medium der strukturellen Kopplung ist demnach ein interaktives Datenbanksystem mit Objektstrukturen und Zugriffsregeln.

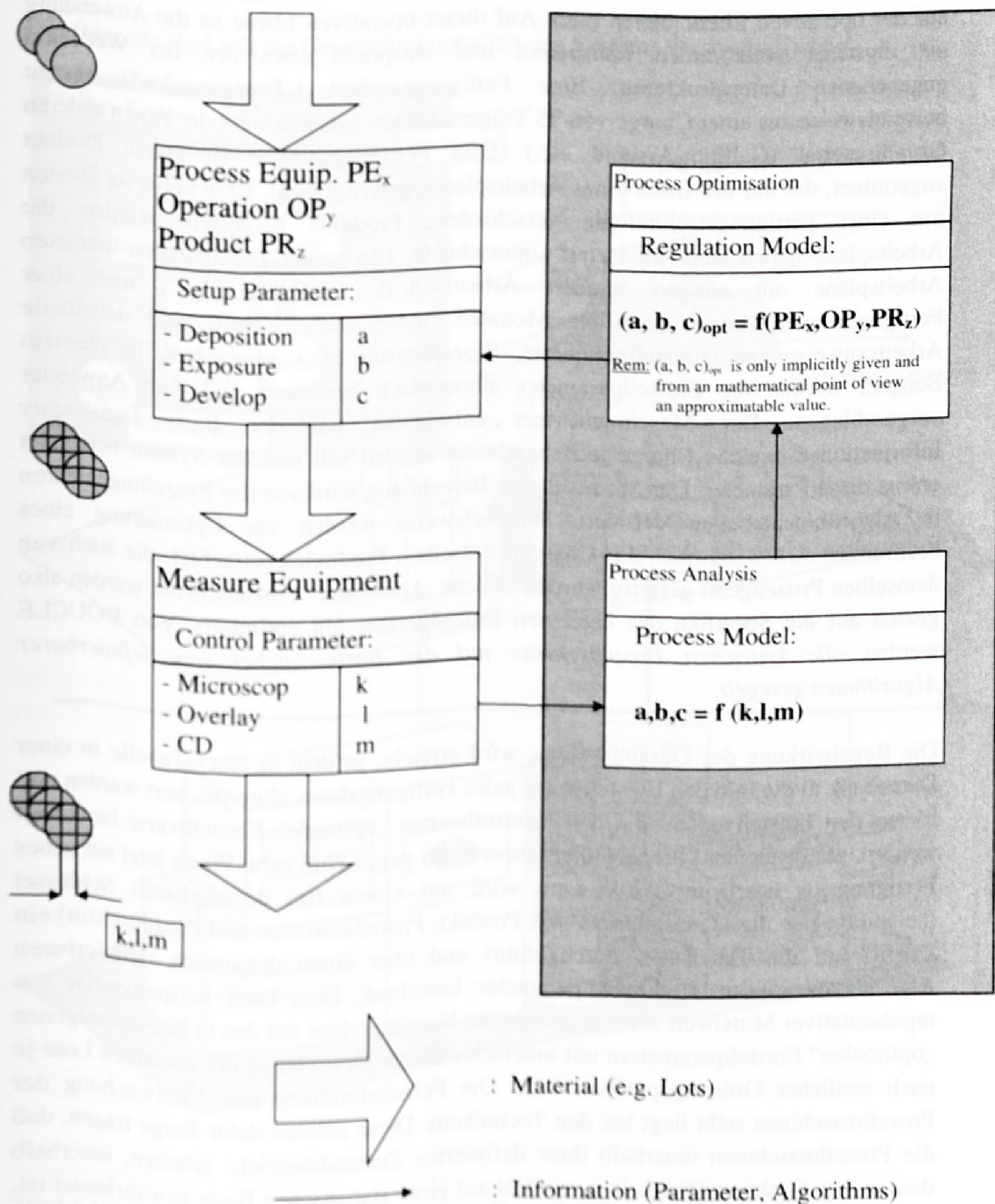


Bild 5.9

Konkretisiertes Regelsystem

Von Zeit zu Zeit taucht trotzdem die Notwendigkeit auf, die von dem Automatisierungssystem berechneten, optimierten Einstellwerte nach der Erfahrung zu verändern. Dies kann der Fall sein, wenn neue Hilfs- oder Zusatzstoffe das Verhalten der Prozeßmaschine in einer Weise verändern können, die noch nicht formalisiert bzw. im Regelsystem repräsentiert sind; es kann aber auch bei beliebig anderen Detailproblemen notwendig werden. Dann muß der Möglichkeit bestehen, diese Einstellwerte interaktiv zu verändern. Dies ist die strukturelle Kopplung, die das System auf der operativen Ebene bieten muß. Auf dieser operativen Ebene ist die Anwendung des Systems vollkommen transparent und entspricht etwa den bei Wedekind angegebenen Datenstrukturen. Eine Fertigungseinheit („Fertigungslos“) besteht beispielsweise aus einer Charge von 25 Trägerscheiben aus Silizium oder einem anderen Grundmaterial (Gallium-Arsenid etc.). Dies Fertigungseinheit ist einem Produkt zugeordnet, das auf der Basis eines Arbeitsplanes gefertigt wird. Üblicherweise können mit einer Fertigungstechnologie verschiedene Produkte hergestellt werden, die Arbeitspläne haben dann im Detail Unterschiede. Die neuen Technologien umfassen Arbeitspläne mit einigen hundert Arbeitsschritten („Operationen“) und einer Fertigungsdauer von Wochen bis Monaten. Jedem Arbeitsschritt sind detaillierte Arbeitsanweisungen (Einstellparameter, Prozeßfenster etc.) zugeordnet. In unserem Beispiel werden die Einstellparameter automatisch berechnet und dem Anwender vorgeschlagen. Der Maschinenführer entscheidet auf der Basis logistischer Informationen, welche Charge jetzt bearbeitet werden soll und das System berechnet online diese Parameter. Der Modus dieser Berechnung wird von der Prozeßingenieuren in Algorithmentabellen definiert. Beispielsweise werden zur Optimierung eines bestimmten Arbeitsschrittes nur Chargen desselben Produktes betrachtet, die auch von demselben Prozeßgerät gefertigt wurden (solche „kritischen“ Prozeßschritte werden also gezielt auf die Spezifika des einzelnen Prozeßgerätes hin optimiert). Von BOUCLE werden *alle kritischen Prozeßschritte auf der Basis solcher frei definierbarer Algorithmen geregelt*.

Die Regelwirkung des Gesamtsystems wird erreicht, in dem in einer Tabelle in einer Datenbank a) die initialen Einstellwerte jedes Fertigungsloses abgespeichert werden und b) aus den Einstellwerten und den Kontrollwerten „optimale“ Einstellwerte berechnet werden, mit denen der „Prozeßfehler“ theoretisch gegen Null geht. Wenn jetzt ein neues Fertigungslos bearbeitet wird, dann wird mit einem frei definierbaren Schlüssel (beispielsweise die Identifikatoren von Produkt, Prozeßmaschine und Prozeßschritt) ein Zugriff auf die Tabelle b) durchgeführt und über einen dynamisch definierbaren Algorithmus „optimale“ Einstellparameter berechnet. Dies kann beispielsweise ein repräsentativer Mittelwert zeitlich geordneter Vorgängerlose mit den in b) eingetragenen „optimalen“ Einstellparametern mit unterschiedlicher Gewichtung der einzelnen Lose je nach zeitlicher Ordnungsposition sein. Die Feinabstimmung und Überwachung der Prozeßmaschinen selbst liegt bei den Technikern. Diese müssen dafür Sorge tragen, daß die Prozeßmaschinen innerhalb ihres definierten Zustandsbereichs arbeiten, innerhalb dessen ihre Funktionsfähigkeit zumindest auf einer statistischen Basis gewährleistet ist. Die so entstandene, anthropologisch offene Prozeßregelung wurde in einer 16 Megabit-DRAM Produktion Anfang 1993 unter dem Namen BOUCLE (von frz. Ring) in Betrieb

genommen. Regelsysteme sind zwar seit Leonardo da Vinci technisch machbar und werden auch in der Mikroelektronik praktiziert (vgl. die angegebene Literaturquelle), dennoch ist mir in Europa kein System mit einem vergleichbaren Automatisierungsgrad bekannt.

7 Die Konzeption des Mensch-Maschine-Handlungssystems

Das folgende Bild soll die Gesamtfunktionalität des Systems veranschaulichen.

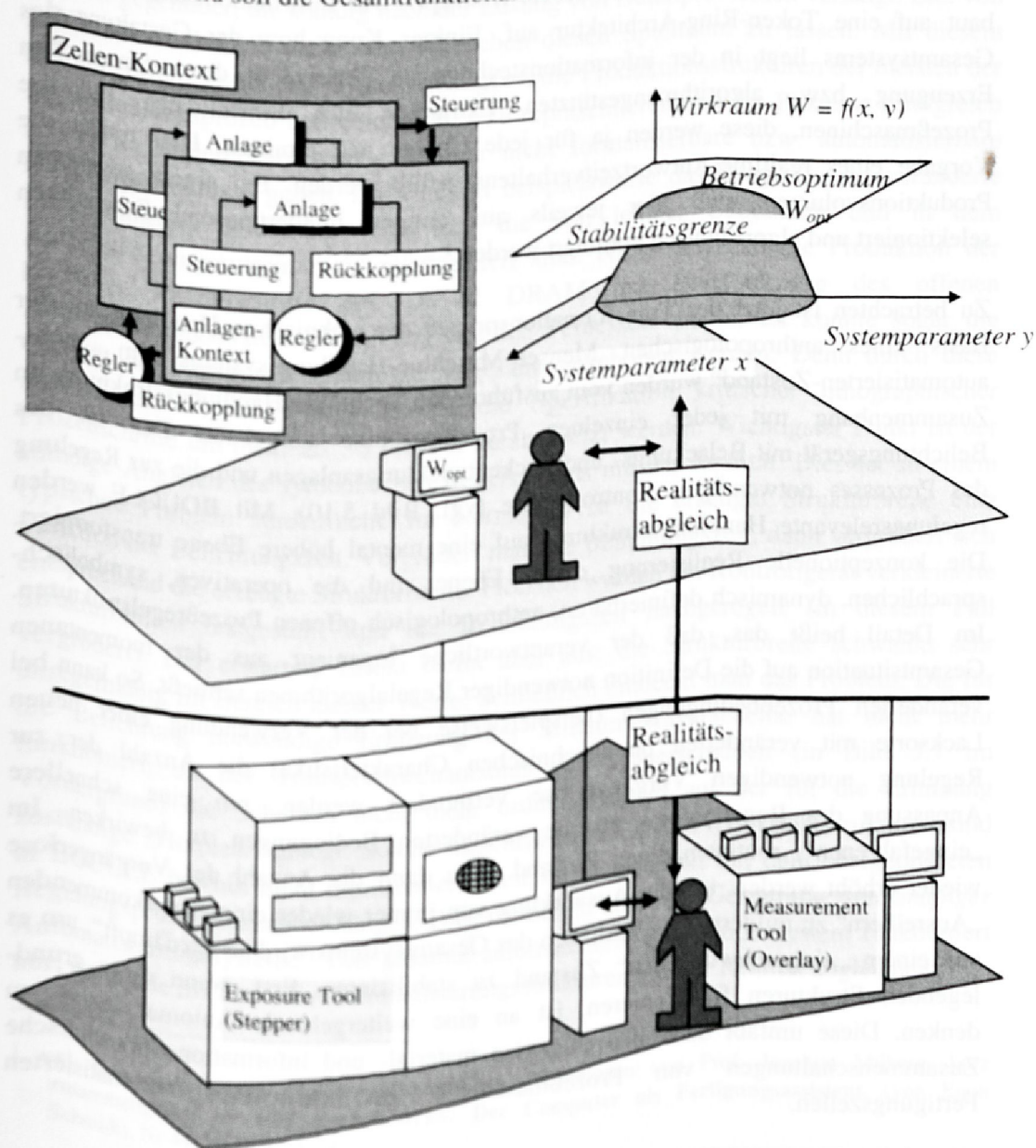


Bild 5.10

Gesamtschema des operativen Prozeßregelrings BOUCLE für die kritische Lithographieprozesse der Produktion des 16 Megabit-DRAM

Auf der operativen Ebene werden online die notwendigen, optimierten Einstellparameter berechnet. Der Anstoß dazu kommt, auf der Basis logistischer Informationen, vom Menschen. Die Daten dazu werden über entsprechende Meßgeräte und Analysetools automatisch geliefert. Diese sind informationstechnisch in das Gesamtsystem integriert. Auf der Engineering-Ebene stehen Überwachungsfunktionen für das Gesamtsystem zur Verfügung. Das Herz von BOUCLE bilden aber die Tabellen, in denen die Regelalgorithmen und damit die Wirkstrukturen des automatisierten Produktionssystems definiert werden. Informationstechnisch wurde dies mittels eines Netzwerk-Datenbanksystems realisiert (Client-Server-Konzept). Das Informationsnetzwerk selbst baut auf eine Token-Ring-Architektur auf. Einiges Know-how der Gestaltung des Gesamtsystems liegt in der informationstechnischen Architektur der automatischen Erzeugung bzw. algorithmengestützten Extraktion der Einstelldaten für die Prozeßmaschinen, diese werden ja für jede Charge neu ermittelt. Hier mußte die Vorgabe eines realtime-Antwortzeitverhaltens erfüllt werden. Bei einem gegebenen Produktionsvolumen muß hier jeweils aus einigen hunderttausend Datensätzen selektioniert und algorithmisch optimiert werden.¹

Zu betrachten ist jetzt der Transformationsprozeß der technischen Handlung auf der Basis eines anthropologischen Mensch-Maschine-Handlungssystems. Im „nicht-automatisierten-Zustand“ wurden vom ausführenden Techniker Handlungsstrukturen im Zusammenhang mit jeder einzelnen Prozeßmaschine aufgebaut: Das ist das Belichtungsgerät mit Belackungs- und Lackentwicklungsanlagen und die zur Regelung des Prozesses notwendigen Kontrollgeräte (vgl. Bild 5.10). Mit BOUCLE werden regelungsrelevante Handlungsstrukturen auf eine mental höhere Ebene transformiert. Die konzeptionelle Realisierung dieser Ebene sind die operativen, symbolisch-sprachlichen, dynamisch definierbaren, anthropologisch offenen Prozeßregelstrukturen. Im Detail heißt das, daß der verantwortliche Ingenieur aus der momentanen Gesamtsituation auf die Definition notwendiger Regelalgorithmen schließt. So kann bei veränderten Prozeßbedingungen (beispielsweise bei der Verwendung einer neuen Lacksorte mit veränderten phototechnischen Charakteristika) die Anzahl der zur Regelung notwendigen Vorgängerlose vermindert werden, um eine schnellere Anpassung des Regelsystems an die veränderten Bedingungen zu bewirken. Im „eingefahrenen“, routinemäßigen Zustand kann dann die Anzahl der Vorgängerlose wieder erhöht werden, um die Auswirkung von immer wieder einmal vorkommenden „Ausreißen“ zu mildern. Das Verhalten des Gesamtsystems wird so „gedämpft“, um es auf einem „eingeschwungenen“ Zustand zu stabilisieren. Erst, wenn diese grundlegenden Strukturen funktionieren, ist an eine weitergehende Automatisierung zu denken. Diese umfaßt dann beispielsweise material- und informationsflußtechnische Zusammenschaltungen von Prozeßmaschinen zu schrittweise automatisierten Fertigungszellen.

¹ Objektorientierte Methoden bieten den Vorteil, die Analyse des Problemfeldes direkt in Begriffen des Anwenders durchzuführen. Vgl. FICHMAN, ROBERT G.; KEMERER, CHRIS F.: Object-Oriented and Conventional Analysis and Design Methodologies. Comparison and Critique, in: IEEE COMPUTER October 1992, S. 22-39.

5.2.5 Einsatzerfahrungen

Das den erfolgreichen Einsatz dieses Systems tragende Vermögen ist das Handlungswissen der Techniker und Ingenieure, die ständig den mentalen Abgleich von den in dem System repräsentierten Zuständen mit ihrem umfangreichen Realitätsmodell vornehmen und in Problemfällen Handeln. Sie „sehen“ (im „visionären“, hochsymbolisch-anschaulichen Sinne) die Zusammenhänge. Denn den in dem System idealisiert abgebildeten Handlungsstrukturen steht die wesentlich tiefer reichende Realität gegenüber, die ständig nach der Lösung von Detailproblemen verlangt. Ziel von BOUCLE ist deshalb auch, dem Menschen diesen Spielraum zu lassen. Mit diesem bewußt „offen“ gestalteten System gelingt es, die Produktionsstrukturen der meisten der im Herstellungsprozeß befindlichen IC's zu repräsentieren und die Prozesse erfolgreich zu regeln. Andererseits wird es immer nicht formalisierbare bzw. automatisierbare Handlungsstrukturen geben. Dazu gehört beispielsweise das Reagieren auf veränderte Lackparameter, Belichtungswerte etc., die von lokaler Bedeutung und in dem Automatisierungssystem nicht repräsentiert sind. Nicht nur, daß die Produktion der kritischen Prozeßschritte des 16 M DRAM mit Unterstützung des offenen Automatisierungssystems BOUCLE deutlich verbessert wurde. Es konnte sogar die Qualität der Fertigungstechnologie insgesamt angehoben werden. Denn durch diese automatische Prozeßregelung konnte die Spezifikation kritischer lithographischer Prozeßschritte um mehr als 30 Prozent herabgesetzt werden. Wichtigster Punkt ist der ständige Abgleich des symbolischen Regelsystems mit der Realität. Dies sei an einem typischen Problem verdeutlicht. Im Normalfall ist die erzeugte Strukturbreite eine Funktion der Belichtungszeit. Vergrößert man die Belichtungszeit, dann vergrößert sich entsprechend die erzeugte Strukturbreite. Plötzlich werden am Kontrollgerät verkleinerte Strukturbreiten festgestellt und die Belichtungszeit nachgeregelt (in diesem Fall vergrößert). Der erwartete Effekt bleibt aber aus: die Strukturbreite schwankt sehr unregelmäßig im Bereich kleiner Werte. Schließlich entdeckt man das Problem: Die für die Belichtung notwendige Erhitzung der Silizium-Trägerscheibe hat nicht mehr funktioniert, da der Transportmechanismus der Trägerscheiben (in Bild 5.7 im Vordergrund) die Scheiben nicht mehr ordnungsgemäß auf der für die Erhitzung zuständige „Hotplate“ ablegt. Solche maschinenspezifische Produktionsstrukturen sind in BOUCLE bewußt nicht repräsentiert, weil sie nicht direkt mit dem übergeordneten Regelungsprozeß zusammenhängen. Dies meine ich unter der Gestaltung zweckmäßiger Automatisierungssysteme.¹ Das gesamte automatisierte Produktionssystem funktioniert nur, wenn alle im Team die Automatisierungsstrukturen mit der Realität abgleichen.²

¹ vgl. beispielsweise die arbeitsorganisatorischen Forderungen von Prof. Joachim Milberg, kurz zusammengefaßt in: *VDI NACHRICHTEN: Der Computer als Fertigungsassistent*. (von Egon Schmidt), Nr. 44, 30.10.92, S. 34

² ANTONI, CONNY H.: *Gruppenarbeit im Unternehmen. Konzepte, Erfahrungen, Perspektiven*. Weinheim 1994

5.3 Die Zukunft kybernetischer Produktionssysteme

5.3.1 Implizites Wissen und die Arbeitsgruppe

Unsere Vorfahren haben vermutlich schon erfolgreich gemeinsam gehandelt, ohne daß sie schon über eine reichhaltige Sprache verfügten. Sprache symbolisiert Handeln und ist als Mittel zur gemeinschaftlichen Handlungskoordination entstanden. Dahinter steht der enorme Vorteil, daß ein in der Praxis eingespieltes Team zu erstaunlichen Problemlösungen fähig ist. Und zwar deshalb, weil die während eines Gesprächs verwendeten Aussagen jeweils große, gemeinschaftlich gelernte Handlungsstrukturen aktivieren können. Dies ist dann der Fall, wenn man sich auf jemanden „verlassen“ kann. In der Praxis zeigt sich das so, daß ein eingespieltes Team gut 2 bis 3 Jahre benötigt, um eine neue Mikroelektronik-Technologie produktionstechnisch hochzufahren. Ein neuer Teamkollege braucht erfahrungsgemäß 1 - 2 Jahre, bis er effektiv mitarbeiten und neue Lösungen gestalten kann. Tritt ein technisches Problem auf, kann der Mensch als repräsentierendes System dann so relaxieren, daß über die assoziative Leistung des Gehirns und dem zum Gesichtererkennen herausgebildeten Gehirnnareal ein bestimmtes Gesicht im Gedächtnis aktiviert wird, das mit dem vorliegenden Problemkomplex assoziierbar ist. Das Problem wird über symbolisch-sprachliche Kommunikation mitgeteilt und so - im günstigsten Falle - eine Problemlösung gefunden. Die Schaffung gemeinsamer Erfahrungsbereiche ist also Voraussetzung für erfolgreiches gemeinsames Handeln mit der Gruppe! Es ist wesentlich, die vorhandenen Handlungsstrukturen zu *durchschauen* und sich so ein inneres Modell der Arbeitswelt zu bilden.

Mit der Sprache als Kommunikationswerkzeug gelingt der Durchbruch zu situationsbezogenen, hochsymbolisch organisierten Handlungen, indem bei auftretenden Problemen über eine symbolisch-sprachliche Ebene relaxiert werden kann: die Gruppe als Handlungssystem und damit *die soziale Dimension des impliziten Wissens* ist geboren. Peter Brödner versucht, dem im klassischen CIM-Paradigma stehenden „technozentrischen Entwicklungspfad“ den „anthropo-zentrischen Entwicklungspfad“ der Gruppentechnologie entgegenzustellen:

Im Zentrum der Gruppentechnologie steht eine andere Fertigungsorganisation nach der Devise: Mengenteilung statt Arbeitsteilung. Anstatt die Arbeit zu teilen und auf bestimmte Vorrichtungen zu spezialisieren, wird das Spektrum der Aufträge separiert und zu Familien fertigungsähnlicher Teile gebündelt.¹

Zwar sind auf der Basis dieser Konzeption in der Bundesrepublik erste ca. 180 Realisierungen bekannt², sie bietet aber prinzipiell eine Entwicklungsperspektive, die vom CIM-Paradigma noch nicht abgedeckt ist, weil damit der Versuch gemacht wird,

¹ BRÖDNER, PETER: a.a.O. S.146

² vgl. VDI Nachrichten Nr.4, 24.1.1992, S.12 (Alternative zu japanischer Lean Production. Fertigungsinseln straffen die Fabrik - Von Horst Hinz)

technisches Handeln zu konzeptualisieren. Diese Perspektive ist gerade in letzter Zeit unter dem Schlagwort der schlanken Produktion, der „Lean Production“, bekannt geworden. In der schlanken Produktion wird jegliche Art von Verschmutzung („muda“) bekämpft und ihr Herz ist das dynamische Arbeitsteam.¹ Dabei werden die Arbeiter zum *vorausschauenden* Denken ermuntert, indem ihnen Gestaltungsspielraum zur Lösung der Detailprobleme gelassen wird. In BOUCLE wurde dies durch die Offenheit und den Definitionsbedarf auf der Prozeßmaschinen- bzw. der operativen Ebene versucht zu realisieren. Tatsächlich scheint das Arbeiten in einem Netz von gegenseitigen Verpflichtungen, das aus einer solchen Offenheit resultiert, im Verlaufe der Menschwerdung strategische Vorteile gebracht zu haben, denn auch heute noch läßt sich dies an den ohne Lagerbestände lebenden Buschleuten der Kalahari nachweisen. Nur gefühlsmäßig geleitetes, gemeinsames Handeln schafft Vertrauen, jenes Vertrauen, das Sachsse als Voraussetzung zur Verwirklichung des Menschen als *homo socialis* sieht.² Auch der Aufbau sozialer Beziehungen als mentaler Modelle wird über ein Belohnungssystem belohnt und darin liegt die soziale Perspektive der Gruppenarbeit. Eine solche Zusammenarbeit kann sich aber nur in offenen Systemen ausbreiten, indem das Handeln des Einzelnen und damit seine Verantwortlichkeit schon konzeptionell verankert ist.

5.3.2 Implizites Wissen im kulturellen Kontext

Weitere anthropologische Kernaussage der schlanken Produktion ist die, daß bei gleichem gegebenem Arbeitsumfang die Arbeit schneller, qualitativ besser und damit billiger getan werden kann, wenn sie besser an die menschliche Fähigkeit zum erfolgreichen Handeln angepaßt ist. Der Mensch wächst mit seiner Aufgabe. Die Autoren zeigen dies mit dem Beispiel eines Produktionsingenieurs der Firma Toyota, Taiichi Ohno. Er untersuchte die Stückkosten und die Qualität von Karosserie-Preßteilen im Fahrzeugbau in Abhängigkeit von der Losgröße (der Anzahl jeweils zu pressender Teile). Bei kleiner Losgröße muß das Preßwerkzeug häufiger gewechselt werden als bei großen Losgrößen. Dennoch waren die Stückkosten bei kleinen Losgrößen niedriger als bei sehr großen.³ Zudem war die Qualität besser, weil Preßfehler früher von den Arbeitern selbst entdeckt wurden. Dieses unerwartete Resultat wurde durch den häufigeren Werkzeugwechsel möglich, der automatisch eine genauere Kenntnis der Preßmaschine und ihres Verhaltens zur Folge hatte. Die Arbeiter bauten so ein „inneres Modell“ der Preßmaschine auf. Daraus folgt, möglichst ein Maximum an

¹ vgl. WOMAK, JAMES P.; JONES, DANIEL T.; ROOS, DANIEL: *Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology*. Frankfurt ⁵1992, S.104

² vgl. SACHSSE, HANS: a.a.O., S.258-70 (Kapitel 7.4 „Komplementäre Gesellschaft“)

³ vgl. WOMAK, JAMES P. u.a.: a.a.O. S.58

Aufgaben und Verantwortung auf die Arbeiter zu übertragen (vergleichbar sind die Freiräume auf der operativen Ebene bei BOUCLE).¹ Die Autoren sind sich einig, daß diese anthropologischen Grundprinzipien der schlanken Produktion überall und von jedem anwendbar sind. Sie zeigen damit, daß heutige Ingenieurität auch erfolgreich jenseits sachtechnischer Probleme durchgeführt werden kann. Man hofft heute, daß

nach einer Zeit überzogener Computergläubigkeit [...] nun wieder jener Alltag in die Fabrikhallen einkehrt, der unspektakulär nach passenden und bezahlbaren Lösungen sucht.²

Die schlanke Produktion scheint nicht zufällig in Japan entstanden zu sein. Vielmehr wurden die vom Westen übernommenen Technologien unter Ausschöpfung der japanischen Gegebenheiten optimiert.³ Unter dem Titel »Human and Social Development Programme« wurde von dem japanischen Industrieforscher Takeshi Hayashi eine Studie verfaßt, in der er zu folgender Schlußfolgerung kommt:

Produktionstechnologien können in ihrer Effizienz nur von einheimischen Ingenieuren verbessert werden, die aufgrund ihres Zugangs zur Landessprache in der Lage sind, das traditionelle Wissen und die vorhandene Erfahrung zu nutzen.⁴

Dazu das Beispiel des Naßreisbaus: Diese Technik bildet den ökologischen Rahmen für das japanische Dorf („mura“). Nur durch die effektive Zusammenarbeit aller Dorfbewohner kann ein funktionsfähiges gemeinsames Bewässerungssystem erstellt werden. Baut nur ein Bauer das Bewässerungssystem nicht in einer dem Gesamtziel entsprechenden Weise, besteht die Gefahr, daß das ganze System nicht funktioniert. Vielleicht liegen darin die kulturanthropologischen Voraussetzungen für das ganzheitliche Problembewußtsein der Japaner.⁵ Der Technologe und Philosoph Kenichi Iida kommt an einem anderen Beispiel zu dem Schluß, daß

für einen ersten Schritt zur Modernisierung der Eisen- und Stahlindustrie nicht modernste Maschinen das Wichtigste [sind], sondern [es muß] zunächst das System einer allgemeinen Produktionstechnik aufgebaut werden, die an die nationalen Gegebenheiten angepaßt ist.⁶

¹ vgl. a.a.O. S.103

² aus: **VDI Nachrichten Nr.15**, Sonderteil Industrie '93, 16.4.1993, S. S12 (Fabrik der Zukunft zeigt sich auf der Hannover Messe in neuem Licht. Lean Production ergänzt Fertigungsautomation. Der Trend zum Computereinsatz in der Produktion ist ungebrochen - Von Bernd Eusemann)

³ Der Begriff „Lean Production“ ist in Japan gar nicht bekannt. Diese Konzeption scheint aus der unbewußten Praktizierung und Ausschöpfung der besonderen japanischen sozio-kulturellen Voraussetzungen zu entstehen. (Für die Diskussion dieser Zusammenhänge danke ich herzlich Herrn Peter Wirth, Siemens AG München.)

⁴ **HAYASHI, TAKESHI: Zum Verhältnis von Technik und Kultur in Japan**, in: Barloewen, Constatin von und Werhahn-Mees, Kai (Hrsg.): Japan und der Westen. Band 2: Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Technologie. Frankfurt am Main 1987, S.74

⁵ Produktionsforscher vermuten ein solches „ganzheitliches Problembewußtsein“; vgl. **BULLINGER, HANS-JÖRG: DV-Integration ist nicht nur ein technisches Problem. Vernetzung von CIM und betrieblicher Bildung**, in: Computerwoche, 22.9.1989, S.56-59

⁶ **IIDA, KENICHI: Die Japaner und das Eisen**, in: Barloewen, Constatin von ... Band 2, S.180

Kein Wunder, wenn die Japaner ähnlich gelagerte Vorteile für die Produktion mikroelektronischer Produkte (sog. Halbleiter) sehen:

Die Arbeit, die mit der Herstellung von superfortschrittlichen Halbleitern einhergeht, paßt auch sehr gut zur Persönlichkeit der Japaner.¹

Unser Gehirn entwickelt sich nicht in jeder Kultur gleich, sondern in Auseinandersetzung mit der durch die jeweilige Kultur gesetzten Lebensbedingungen. Da dies für das technische Handeln meines Wissens noch nicht untersucht wurde, soll es am Beispiel der Sprache gezeigt werden:

Für die meisten Japaner (mit Ausnahme der Polynesier) beschränken sich die von der linken Hemisphäre (der Sprachhemisphäre) wahrgenommenen Klänge auf Silben und Konsonanten. Vokale hingegen, also die Geräusche unserer Umwelt sowie Sprachlaute, die Gefühle ausdrücken („Ah!“, „Oh!“), werden von der rechten Hemisphäre wahrgenommen. Allgemeiner gesagt nehmen Nichtjapaner, die sehr viel mehr Konsonanten mit ihrer Sprache verwenden, Emotionen mit der rechten Hemisphäre wahr, Japaner hingegen, die in ihrer Sprache viele Vokale verwenden, mit der linken Hemisphäre. [...] Inzwischen ließ sich nachweisen, daß diese räumlichen Unterschiede der Hirnaktivität erfahrungsabhängig und nicht durch rassische Zugehörigkeit (also genetisch) bedingt ist.²

Was läßt sich daraus lernen? Ohne hier in eine psycho-mentale Diskussion des „östlichen Denkens“ einzusteigen, scheint sich doch zu zeigen, daß kulturelle Einflüsse Rückwirkungen auf die Strukturierung des Gehirns haben. Dieses Faktum legt den einfachen Schluß nahe, daß unser persönliches Handeln kulturell vorgeprägt ist, darin liegt die *kulturelle Dimension des impliziten Wissens*. Die europäische Kultur könnte durch ihre soziale und kreative Grundausrichtung eine interessante Alternative zu der stark individualistischen Kultur Nordamerikas und zu den mehr gruppenorientierten Japanern bleiben.³ Ich möchte dazu eine eigene Erfahrung schildern: Es geht um Vertrieb und Herstellung von Büromöbeln der gehobenen Klasse. In einem Gespräch erklärte mir ein in München tätiger Japaner eines japanischen Unternehmens die Vorgehensweise. Zunächst geht es darum, patentierte gute Designs einzukaufen. Die Italiener sind traditionell gute Designer, versagen aber in der Produktion kläglich in den Augen der Japaner (zu geringe Stückzahlen, schlechte Qualität). Sind die Designs eingekauft, dann wird von Japan aus entschieden, welche Produkte in welcher Stückzahl und wo (z.B. in Japan oder auch in einem „Billiglohnland“ des Ostens) hergestellt werden sollen. Die Japaner spielen mit dieser Methode ihre Fähigkeit zu disziplinierter

¹ YOSHIO, SUNOBE: *Spitzentechnologie*, aus: Japan im Spiegel, International Society for Education Information, Code-Nr. 05309-0190, Tokyo 1990, S.11

² TSUNODA, TADANOBU: *Hemisphärendominanz bei Japanern und Vertretern westlicher Kulturen*, in: Klivington, K.A.: a.a.O., S.54f

³ 'Aus dem dichten Geflecht traditioneller Verhaltensmuster und Wertmaßstäben, wie sie als kleine Tradition in dem „normalen Japaner, der durchschnittlichen Japanerin“ heute unbewußt weiterwirken, sollen hier stellvertretend drei genannt sein, die zweifellos die Stabilität der japanischen Gesellschaft und auch die Exporterfolge der Wirtschaft mitbegründen: 1. Harmoniegebot und Gruppenzugehörigkeit [...] 2. Lerneifer [...] 3. Rollenakzeptanz' aus: POHL, MANFRED: *Tradition und Moderne in der japanischen Industriegesellschaft*, in: Aus Politik und Zeitgeschichte, Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament, B9-10, S.5ff

Arbeit voll aus und verdienen mit europäischen Designs nicht genannte Summen. – Europäische Stärken könnten – unter Überwindung des Konzeptes isolierter Einzelgeräte – in der kreativen Systemintegration und -vernetzung liegen, wie dies beispielsweise für die in Europa hergestellten öffentlichen Verkehrssysteme (z.B. Bahnen aller Art) der Fall ist.¹

Für die Automatisierung möchte ich den Vorschlag machen, neben dem traditionellen Schwerpunkt auf technischen Wirkeffekten (Prozeßautomatisierung) einen Schwerpunkt auf eine anthropologische Öffnung technischer Systeme auf der Basis eines Neubestimmen Automatisierungsbegriffs und eines sehenden, „visionären“ Menschenbildes zu legen. Dies könnte dadurch geschehen, daß die technischen Zielsetzungen von Automatisierungsprojekten mit den in dieser Studie erläuterten Zielsetzungen in Einklang gebracht werden. Insgesamt sollten wir uns auf die in unserer Kultur reichhaltig vorhandenen kreativen Fähigkeiten besinnen, indem geistes- und ingenieurwissenschaftliche Zusammenhänge wieder mehr innerhalb eines gemeinsamen Rahmens betrachtet werden. Auch diese Studie ist ein Versuch, technische Probleme mit Mitteln anthropologischer Forschung zu lösen. In diesem Sinne etwa kann man sagen: Automatisierung ist „geisteswissenschaftliche Technik“.

5.3.3 Implizites Wissen und Persönlichkeit

Ich möchte an dieser Stelle bewußt unser anschaulich gestütztes „Können“ dem sprachlich orientierten „Wissen“ gegenüberstellen, da heute die Bedeutung des Wissens überschätzt wird. Wissen ohne Können ist nicht nur nutzlos und *leer*, sondern zudem noch Ausgangspunkt für falsche Schlußfolgerungen. Ein Beispiel dafür ist das fehlgeleitete Bild der vollautomatischen Fabrik (zumindest für Produkte, die nur durch Erfahrung und Know-how hergestellt werden können). Jedenfalls würde alleine der Versuch zu einer Vollautomation den Ruin dieses Betriebes bedeuten. Es wurden in der Mikroelektronik tatsächlich Ansätze in dieser Richtung gemacht und dann aber abgebrochen. Die Voraussetzung zu einer erfolgreichen Automatisierung ist die bottom-up orientierte Formalisierung des Prozesses, d.h. der in einem operativ-symbolischen System repräsentierbare Realitätsausschnitt. Es sei an das Beispiel des Fahrradfahrens erinnert: nahezu jeder kann es, aber einen fahrradfahrenden Roboter hat es meines Wissens bis jetzt noch nicht gegeben. Auf der anderen Seite haben wir aber ein Instrumentarium gefunden, das aus anthropologischer Sicht das Vorhandensein nichtsprachlichen, anschaulichen und unbewußten „Wissens“ erklärt: Es ist die im *impliziten Wissen* gelegene Informationsfülle, deren Vorhandensein erst gefühlsgeleitetes, erfolgreiches Handeln ermöglicht.

¹ So der ehemalige Vorstandsvorsitzende der Siemens AG, Karlheinz Kaske, auf der Esprit-Konferenz Ende 1992 in Brüssel (vgl. VDI Nachrichten Nr. 12, 26.3.1993, S. 1).

[Es wäre] einiges gewonnen, wenn man sich bei der 'Arbeitsteilung' zwischen Mensch und Rechner dieses Ziel setzte: die Merkmale der Situationsgebundenheit, der ganzheitlich-emotionalen Erfassung, der Flexibilität des Schemas und der Sozialbezogenheit müssen als die besonderen Stärken der Tätigkeit des Menschen diesen erhalten bleiben.¹

Dieses implizite Wissen als Problemlösungsgenerator des handelnden Menschen ist das, was gemeinhin unter den Begriff des *Könnens* oder des *Know-how* subsumiert wird. Letztlich ist dies mittragend für unser Selbstmodell und damit für unsere Persönlichkeit. So eröffnet sich die existentielle Perspektive anthropologisch offener, kybernetischer Produktionssysteme: Indem dieses Konzept *bewußt* die Freiräume der Arbeit zur Gestaltung offen läßt, wird das Können, die Persönlichkeitsbildung und damit der Selbstaufbau des Menschen bewußt gefördert (weiteres vgl. Kapitel 6). Das automatisierte Produktionssystem ist *in das Know-how der Menschen eingebettet*. Der ständig notwendige sensumotorische und kognitive Abgleich der automatisierten Einrichtungen ist eine anspruchsvolle, „visionäre“ Tätigkeit und in ihr zeigt sich, ob die Transformation einer technischen Handlung auf eine mental höhere Ebene letztlich gelingt. Das Erkennen schon kleinster Unstimmigkeiten im Detail ist eine hervorragende Eigenschaft des menschlichen Geistes und das Aufzeigen dieses anthropologischen Hintergrundes eines der Hauptziele dieser Studie.

Technik ist ihrem Wesen nach der Aufbau mental hochorganisierter Strukturen. Dieser Aufbau wird über ein kognitives System belohnt, und deshalb kann technisches Handeln Freude bereiten, - wie Technik und Kunst einst dasselbe waren. Mir liegt daran, das „künstlerische“ der technischen Handlung durch diese Studie aufzuwerten. Denn erfolgreiche zukünftige Produktionssysteme werden auf einer mental hochorganisierten Ebene gefühlsgelenkt geführt. Damit taucht die Frage auf, mit welcher Technik und wie überhaupt wir unsere Zukunft meistern können. In einer vollautomatisierten Welt würde mit dem Körper auch der Geist arbeitslos und der Degeneration verfallen. Dennoch erscheint der vorausschauend-vernünftige Einsatz automatischer Einrichtungen als eine realistische Vision, als ein Element zur Transformation unseres Daseins auf eine kulturell höhere Ebene.² Ich habe schon in der Einleitung versucht zu zeigen, daß die Naturwissenschaftler und Ingenieure komplexe Systeme zu verstehen und zielgerichtet zu verändern wissen. Es könnte deshalb unsere Aufgabe sein, den Horizont der Technik bewußt von rein naturalen Wirkeffekten auf soziokulturelle und besonders: existentielle Gesamtsysteme auszudehnen. Die Mittel dazu stehen uns zur Verfügung und das Ziel wäre ein systemübergreifendes, „zeitbewußtes“ Denken. Vielleicht könnte so ein notwendiger Beitrag zur gemeinsamen Verantwortung unserer Zukunft und der Zukunft unserer Kinder geleistet werden!

¹ VOLPERT, WALTER: *Computer und Denken. Machen wir uns selbst zu Maschinen?* in: 7. Int. Kongress. Datenverarbeitung im europäischen Raum. Informationstechnologie / Realität und Vision. Wien 1984, S. 763

² 'Der Sinn der Technik liegt also ganz wesentlich darin, dem Menschen Arbeit abzunehmen,' aus: ROPOHL, GÜNTER: *Die Zukunft der Arbeit*, in: ders.: *Technologische Aufklärung*, a.a.O., S. 121-43

6 TECHNISCHES HANDELN IN KULTURANTHROPOLOGISCHER DIMENSION: STRUKTUREN EINER „ZEITBEWUßTEN TECHNIK“

Das Licht des menschlichen Bewußtseins ist bis jetzt das größte Wunder des Lebens und die Hauptrechtfertigung für alles Leid und Elend, das die menschliche Entwicklung begleitet hat. Im Hüten dieses Feuers, im Aufbau dieser Welt, in der Verstärkung dieses Lichts und in der Erweiterung der aufmerksamen und mitfühlenden Verbundenheit mit allem Sein liegt der Sinn der menschlichen Geschichte.¹

Das Bewußtsein einer allfälligen Bedrohung des Ökosystems Erde durch die Fortschritte der Technik und der ihr inheränten Ambivalenz wird heute kaum noch bezweifelt. Während zu Beginn der Agrarkultur wohl 5 Millionen Menschen die Erde bevölkerten, so ist deren Zahl anfangs der Industrialisierung bereits auf 600 Millionen angestiegen. Heute suchen schon 5 Milliarden Menschen Nahrung und Unterkunft auf dem blauen Planeten, deren Zahl über das Jahr 2025 mit 8,5 Milliarden nach Prognosen des Weltbevölkerungsfonds der Vereinten Nationen im Jahre 2050 die 10 Mrd-Grenze erreicht. Nach Modellrechnungen von D. und D. Meadows aus dem Jahre 1992 bringt in diesem Zeitraum - der ja noch in unseren eigenen, sicher aber in den Erlebnishorizont unserer Kinder fällt - die Abnahme der Ressourcen über einen katastrophalen Zusammenbruch des Industrie-Outputs das weitere Wachstum zum Erliegen.² Um die daraus ableitbaren Aufgaben meistern zu können, gibt es inzwischen eine Vielzahl von Ansätzen, die sich unter dem Stichwort „ökologischer Umbau der Industriegesellschaft“ subsumieren lassen. Aus der Perspektive einer technologischen Aufklärung wird dafür argumentiert, daß dazu eine neue 'Systemqualität des Wissens'³ notwendig sei. Vorausschauend denkende Ingenieure schlußfolgern sogar, daß wir *uns selbst, unser Ego* ändern müssen, um diese Aufgaben in verantwortlicher Weise zu erkennen und zu bewältigen.⁴ Wir haben unser Bewußtsein (im weiteren Sinne) als Problemlösungsprozeß expliziert, und so wird die Änderung unseres Egos einen *Bewußtseinswandel*⁵ verlangen. In diesem abschließenden Kapitel werde ich der Frage nach der notwendigen Struktur eines solchen Bewußtseinswandels nachgehen. Es soll versucht werden, auf die kognitiven Ursachen einer immer deutlicher fühlbaren und berechtigten Technikfeindlichkeit hinzuweisen. Diese liegen, kurz gesagt, darin, daß der einzelne Mensch immer weniger auf der Basis eigener Entscheidungen seine Zukunft gestalten und sich eigenverantwortlich verwirklichen kann. Dies wird noch verstärkt

¹ MUMFORD, LEWIS: a.a.O., S.45

² vgl. MEADOWS, D. UND D.: *Die neuen Grenzen des Wachstums*, Stuttgart 1992

³ ROPOHL, GÜNTER: *Technik als Gegennatur*, in: ders.: *Technologische Aufklärung*, a.a.O., S.71

⁴ vgl. JISCHA, MICHAEL F.: *Herausforderung Zukunft. Technischer Fortschritt und ökologische Perspektiven*, Heidelberg Berlin Oxford 1993, S.224ff

⁵ vgl. WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON: *Bewußtseinswandel*, in: ders.: *Die Zeit drängt. Das Ende der Geduld*, München 1989, S.232-9

durch den gesellschaftlichen Erfahrungsverlust, der durch die primäre Nutzung der Computer als Spiel- und Freizeitersatz mittels der vielbeschworenen virtuellen, imaginären Welten entsteht und es offen ist, ob die unbestritten notwendige informationelle Vernetzung der Welt als Voraussetzung für aufgeklärtes Handeln erstgenanntes Faktum dominieren kann. Aus anthropologischer Sicht vollzieht sich jedenfalls ein Umschichtungsprozeß hin zu kurzfristigen, bedürfnisbefriedigenden Handlungsschemata, deren geistige Rückwirkung keineswegs überschaut wird. Die Kurzlebigkeit der heutigen Zeit und auch vieler technischer Konsumprodukte wirken destabilisierend auf unser Selbst: Der Einfluß von Unvoraussagbarkeit und damit von Chaos wird im sozialen Handlungssystem immer größer. Denn dadurch wird die Tugend der ersten Bauern, die schließlich mit ihrem vorausschauenden Denken und Handeln die Wurzeln unserer eigenen Kultur legten, negiert: Wir verlieren immer mehr unser Gefühl für „Zeit“ und damit unseren Denkhorizont für die Zukunft. Die kognitive Grundstruktur für ein in die Zukunft weisendes Denken und Handeln ist aber unser Zeitbewußtsein. Ich meine, daß unsere Probleme im Grunde genommen keine technischen sind, sondern daß die entscheidende Frage die ist, auf der Basis welcher kognitiven Strukturen wir neue technische Systeme entwerfen sollten, damit die geschilderten Probleme sich strukturell verkleinern. Dies könnte eine *zeitbewußte Technik* leisten. Zeitbewußte Technik entsteht, wenn wir vom konsumorientierten, *dinghaften* Denken in Produkten zum Denken und Handeln in Lebens- und Handlungsprozessen übergehen. Schon das Wissen um die anthropologischen Wirkstrukturen unseres Wissens könnte zu einer Stabilisierung unseres Selbst beitragen, wenn wir die tatsächlichen, auch aus technischem Handeln entstehenden Konstitutionsfaktoren unseres Selbst „sehen“ und bewußt fördern. Dies ist ein Schritt zum „visionären“ Menschen.

Zeitbewußtsein, unser Gefühl für „Zeit“ scheint eines der größten Rätsel der Menschheit überhaupt zu sein. Denn dieses Gefühl läßt sich nicht rational lernen, sondern es wird vor dem Hintergrund impliziter, nichtsprachlicher, bildhaft-analoger, hochsymbolischer Wissensstrukturen *generiert*. In unserem Gefühl für Zeit läuft die Art und Weise unserer kulturellen und existentiellen Lebensführung zusammen. Wir haben in den vorangegangenen Kapiteln schon gesehen, daß neue Problemlösungen symbolischen, nichtsprachlichen, bildhaften und damit nichtrationalen Charakter haben. Ihre Notwendigkeit zeigt sich uns eher gefühlsmäßig und ihre Konturen sind zunächst alles andere als scharf oder gar in Form sprachlicher Aussagen gekleidet. Es geht also nicht zuletzt um eine systematische Aufwertung dieses wichtigen menschlichen Erkenntnisvermögens. Für eine solche übergreifende Anerkennung menschlichen Erkennens, Wissens und Handelns könnte der im Schatten des in rationalistischer Hochkonjunktur befindlichen Vernunftbegriffs stehende Begriff der Weisheit interessant sein. Dieser hat - wie „Wissen“ - die indogermanische Wurzel *veid-* „sehen“ und in ihm scheint noch etwas von der unverbrauchten Kraft prärationalistischer Deutungssysteme zu liegen. Denn auch heute ist mit Weisheit keinesfalls ein maschinenhaftes, sondern ein durch Erfahrung und besonnenes Handeln aufgebautes, hochsymbolisch-bildhaftes, zum Teil auch sprachlich gestütztes Wissen gemeint.

6.1 Exzerpt einer emotiven Wahrheitstheorie

a) Wahrheit ist beides: Logik und Emotion

Wahre Aussagen oder Wahrheiten werden aus kognitiver Sicht nur dann generiert, wenn auch eine entsprechende Erfahrung im Umgang mit den Gegenständen dieser Aussagen vorliegt. Der rein logische Aussagenkalkül ist zwar ein notwendiges, aber kein hinreichendes Kriterium für Wahrheit. Oder andersherum: Rein theoretische Erkenntnis ist nicht nur im praktischen Sinne nutzlos, sie wird zudem noch den Weg zu vermeintlichen Wahrheiten ebnen. Ich möchte an dieser Stelle mit Nachdruck für ein tieferes Wahrheitsverständnis plädieren, um darauf die Schlußfolgerungen für eine neue Technik und einige Hinweise für eine neue Geisteskultur zu gründen.

Unsere Empfindungen und Handlungen in Worte gefaßt sind Gedanken. Die erfolgreiche, logisch (sprachlich: Aussagenkalkül) und emotional (gefühlsmäßig: hochsymbolisches, analog-persönliches Wissen) nachvollziehbare Zusammenfügung dieser Gedanken und Handlungen ist *Wahrheit*. Wahrheit ist primär als anthropologisches Konzept zur emotiven Organisation unseres Handelns deutbar, die mittels repräsentationaler Strukturen wie Sprache, Bilder, Denkheuristiken etc. generiert wird. Dieses Zusammenfügen geschieht beim Menschen über die Prozesse der Meta-Repräsentation. Bewußtsein, als mentaler Ausgleichsprozeß in kognitiven Problemsituationen gedeutet, stellt den emotiven Erlebensaspekt der Wahrheitsgewinnung dar. Im repräsentierenden System werden durch die Lernprozesse neue kognitive Strukturen erzeugt, deren erfolgreiche Vernetzung mit den schon vorhandenen Strukturen über jenes emotive Erfolgserlebnis gesteuert wird („Aha“-Erlebnis: signalhaftes Absinken der neuronalen Aktivierung, das heißt die Aktivierungsenergie konnte erfolgreich in neu generierte Strukturen abgegeben werden und das System relaxiert). „Wahrheit“ ist das sprachliche Zeichen für den erfolgreich bewältigten kognitiven Ausgleichsprozeß des Gehirns, der von einem weniger stabilen, eher disparaten Anfangszustand ausgeht (das Problem, die Frage) und durch iterative Verfeinerung zu widerspruchsfreien Strukturen in einem stabileren Endzustand führt. Wir müssen uns um unsere Wahrheit ständig bemühen, sie wird sich leider niemals nur rein sprachlich festschreiben lassen. Aus der Position der hier ausgearbeiteten praktischen Anthropologie konstruiert sich das repräsentierende System Wahrheit in dem Sinne, daß „wahre“ Systemzustände dem beschriebenen Prozeß der Problemlösungsfindung („Aha“-Erlebnis) entsprechen und damit der Wahrheitsbegriff ein grundlegendes anthropologisches Konzept darstellen müßte, dessen Genese in der Entwicklungsgeschichte der Menschheit aufzuzeigen wäre. Mit einer Vielheit von Weltbildern ist eine Vielheit von Wahrheit möglich. Meine These ist nun, daß die Wahrheit für eine neue Technik, für eine neue Geisteskultur *in der Zeit* und unserem Bewußtsein für Zeit liegt. Denn dieses scheint uns heute verloren zu gehen. Bevor eine mögliche empirische Belegung dieser These aufgezeigt werden soll, seien im folgenden die anthropologischen Grundlagen zur Genese unseres Wahrheitsbegriffs erläutert.

β) Zur anthropologischen Genese des Wahrheitsbegriffs

Während die anthropologischen Wurzeln des Wahrheitsbegriffs sich in jenem phänomenal erlebbaren „Aha“-Erlebnis wiederfinden, folgt die logische Ebene dieses Begriffs aus einer Abstraktionsleistung, die sich nur vor dem Hintergrund symbolisch-sprachlichen, zeichenorientierten Zusammenlebens erklären läßt. Wenn Wahrheit zunächst nicht mitgeteilte Privatsache ist, dann wächst ihr ihre heute allgemein akzeptierte hervorragende Bedeutung erst dann zu, wenn die Einzelperson die Wahrheitsfindung auf der Basis eines kulturell-zeichensprachlich vermittelten Weltbildes betreibt, das den einzelnen Vertretern der jeweiligen Kultur vertraut ist. Der Wahrheitsbegriff ist originär eine kulturelle Leistung und ohne diese nicht zu erklären. In ihm spiegelt sich primär die Handlungsstruktur des Geistesprozesses, Weltbilder im sozialen Kontext aufeinander abstimmen zu müssen. In starren sozialen Systemen existiert dieses Problem überhaupt nicht. Deshalb kann der Weg zur Genese unseres Wahrheitsbegriffs erst durch die Schaffung eines offenen Gesellschaftssystems geebnet werden. Es sollte deshalb ein langer Weg sein, bis sich in Griechenland im 5. Jahrhundert v.Chr. mit der Demokratie ein *offenes Gesellschaftssystem* durchsetzt. Ein solches System ist dadurch gekennzeichnet, daß viele Menschen in dieser Gesellschaft versuchen, sozial emporzukommen. Die gesamte Gesellschaft profitiert von diesem „Wettstreit ihrer Mitglieder um die Stellung“¹. Ihre Kennzeichen sind:

- es gibt keine vorgegebene Kasten für die Individuen,
- persönliche Entscheidungsnotwendigkeit und Verantwortlichkeit,
- Erfindung der kritischen Diskussion und des offenen Gesprächs,
- freies Eingehen persönlicher Beziehungen,
- freies Arbeiten und freier Handel.

Die Grundstruktur dieses komplexen sozialen Prozesses liegt auch hier darin, daß mit der persönlichen Verantwortungsübernahme des Individuums und mit der Erfindung sozial offener Interaktionen der Übergang vom dinghaften Denken zu einer prozeßhaften Modellierung von sozialen Strukturen und damit zum Aufbau eines individuellen Selbst übergegangen wird. Mit der Erfindung der Schrift (einst als Buchhaltungssystem) und der kritischen Diskussion, der Rede beginnt die Menschheit ihren Gang aus der zeitlosen Urzeit in die historische Neuzeit: Ab dann hat die Menschheit sowie jeder einzelne Mensch eine historische Geschichte. Der Mensch ist ein offenes System, und er kann sich in einer offenen Gesellschaft angemessener verwirklichen als in einer geschlossenen. Als Beispiel gescheiterter Kulturen mit relativ geschlossenen Strukturen lassen sich die Maya nennen. Ihre Führungsschicht, die in der kritischen spätklassischen Periode immer mehr durch Verwandtschaftsbeziehungen und nicht unbedingt durch Leistung besetzt wurde, konnte den Untergang dieser Hochkultur nicht mehr verhindern.² Auch der Untergang der DDR ist (teilweise) ähnlich erklärbar.

¹ POPPER, KARL R.: Die offene Gesellschaft und ihre Feinde I. Der Zauber Platons. Tübingen 1980, S. 234

² vgl. SABLOFF, JEREMY A.: Die Maya. Archäologie einer Hochkultur. Heidelberg 1991

Im Anblick der Menschheitsgeschichte kommt das Gefühl auf, daß Wahrheit nur ein dünnes Eis sei, eine sich wandelnde und verflüchtigende Erscheinung vor dem Hintergrund vielgestaltiger, teilweise widersprüchlicher Weltbilder. Wahrheit ist fest mit diesen Weltbildern verbunden, sie ist der „Firn“ der jeweiligen Kultur. So erläutert der ehemalige Präsident des Bundesverfassungsgerichtes Ernst Benda am Beispiel neuer Techniken wie die des Kernreaktorbaus oder der Gentechnologie das Dilemma, in der sich die Juristen mit dem Problem der Wahrheitsfindung befinden. Denn für die Richter bleibt aus eigener Sachkenntnis regelmäßig die Frage unbeantwortbar,

ob etwa beim Reaktorbau >>die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage getroffen ist<< (§ 7 Abs. 2 Nr. 3 des Atomgesetzes).¹

Letztlich verlagert sich das Problem der Wahrheitsfindung wieder auf den technischen Sachverständigen, also solche Personen, die den technischen Wandel selbst betreiben. Denn wird etwa eine neue mentale Struktur generiert - beispielsweise als Problemlösung einer technischen Fragestellung -, dann *erscheint darin neue Wahrheit*. Unter einer vorsprachlichen Blickrichtung betrachtet, wird eine solche neue Vorstellung als „angenehm“ („ich kann das“), also „machbar“ also „wahr“ empfunden. Dieses Empfindungsvermögen führt schließlich, zusammen mit kulturell formalisierten, durch Sprachzeichen interpersonal rekonstruierbaren Schlußfolgerungsregeln zu unserer *zweiwertigen Logik*. Das Wahre ist nicht nur die logische Stimmigkeit einer Aussage, sondern deren erkenntnistheoretische Kohärenz mit dem Ganzen der Erfahrung.

Nicht die Aussage ist der primäre >>Ort<< der Wahrheit, sondern *umgekehrt*, die Aussage als Aneignungsmodus der Entdecktheit und als Weise des In-der-Welt-seins gründet im Entdecken bzw. der *Erschlossenheit* des Daseins.²

Durch das evoluiierende Aha-Erlebnis bei der spontanen Bildung neuer kognitiver Strukturen in neu verfügbaren Gehirnnarealen entsteht Wahrheit mit dem schmalen Band der Freiheit als *lumen naturale*, als Lichtung des Daseins. Eine neue, entdeckende Realitätssicht entsteht aus der gefühlsmäßigen Befindlichkeit des Daseins vor dem Hintergrund zu regelnder Angelegenheiten, die Heidegger als „Sorge“ bezeichnet:

Die Struktur der Sorge als *Sichvorweg* - schon sein in der Welt - als Sein bei innerweltlichem Seienden birgt in sich Erschlossenheit des Daseins. Mit und durch sie ist Entdecktheit, daher wird erst mit der *Erschlossenheit* des Daseins das *ursprüngliche* Phänomen der Wahrheit erreicht.³

Durch seine ungeheure informationelle Verdichtung wird im sprachlichen Symbol die ganze Wahrheit aus der vielschichtigen, multimodalen, „analogen“ Umgangserfahrung auf eine einfache mentale Oberflächenstruktur transformiert. Sprachliches Wissen wird deshalb durch das Attribut „digital“⁴ charakterisiert, das einen Wahrheitsgehalt haben

¹ BENDA, ERNST: *Von der Ambivalenz des technischen Fortschritts*, in: Weizsäcker, Carl Friedrich von: *Die Zeit drängt. Das Ende der Geduld*, München 1989, S. 190

² HEIDEGGER, MARTIN: *Sein und Zeit*, a.a.O., S. 226

³ a.a.O., S. 220

⁴ vgl. ZIMMER, DIETER E.: *So kommt der Mensch zur Sprache. Über Spracherwerb, Sprachentstehung und Sprache & Denken*, Zürich 1988, S. 155ff

kann: 'Ein Aussagesatz ist genau dann wahr, wenn eine bestimmte Handlung zum Erfolg führen würde.'¹ Die algorithmisierte Schrift ist bloß instrumentalistische Fortsetzung der gefühlsmäßigen, „analogen“ Grundthesen auch jedes theoretischen Systems, die letztlich auf symbolisch-anschauliche, persönliche Erfahrung - mentalen Modellen - rekurren.

Die zentralen Entitäten - mentale Modelle - sind bereits in einen kausal-teleologischen Kontext eingebettet, weil sie vom System *benutzte* Instrumente sind, die in sich eine Steuer-, eine Repräsentations- und eine Vorhersage- bzw. Simulationsfähigkeit vereinigen. Sie müssen nicht interpretiert werden, weil sie *funktional aktive* Strukturen innerhalb eines Systems sind, welches bestimmte Probleme lösen und gewisse Ziele verfolgen muß. Ihr Gehalt ist ihr Gebrauch.²

Als Galilei die Fallgesetze entdeckt, hat er intuitiv eine Verbindung zwischen seinen Fallexperimenten und einer formelhaften Veranschaulichung durch Bleistift und Papier in einer einzigen mentalen Aktivierungsstruktur generiert. Dieser liegt ein einziges mentales Modell zugrunde, das durch assoziative mentale Mechanismen entweder vom Experiment oder von der (in einer Skizze visualisierten) Formel aktiviert werden kann. Dies ist die kognitive Basis der Naturwissenschaften, und wir sehen, daß in dieser vereinfachten Modellbildung die Zeit als irreversibler Prozeß hinausdividiert wurde. Damit wird Newtons „zeitlose“ Mechanik möglich, die uns heute noch beherrscht. Zeitbewußtsein aus handlungs- und bewußtseinstheoretischer Sicht soll hier zunächst verstanden werden 'als Streben von Differenz nach wiederzugewinnender Einheit oder als Zukunftsöffnung'.³ Die prinzipielle Dialektik des Bewußtseinsprozesses haben wir ja bereits kennengelernt, und so kann es nicht überraschen, daß in der „wiederzugewinnenden Einheit“ bereits eine selbstgesetzte Idee oder ein Symbol des eigenen Selbst fundiert liegen müsse und wir uns damit in einem Zirkel befänden. Dies ist jedoch nur dann ein Problem, wenn wir als Wahrheitsgrundlage unseres Wissens ausschließlich unser rationales, sprachlich orientiertes Denkvermögen sehen. Anders wird die Lage, wenn wir den Kern unseres sprachlich-logischen Denkens als ein Konstrukt eines repräsentierenden Systems zur erfolgreichen Gestaltung seiner Handlungen herauschälen. Dann nämlich wird klar, daß solche selbstbezüglichen Aussagen immer weniger den Charakter von Aussagen annehmen und daß sie damit im Lichte einer rein sprachorientierten Wissensrepräsentation immer inhaltsleerer werden. Es bleibt übrig, daß die Annahme, der Mensch sei ein „sich selbst setzendes und sich selbst verwirklichendes, symbolisches System“ eine emotive *Lebensweisheit* darstellen könnte, die den Lernbedarf eines kognitiv massiv offenen Systems widerspiegelt. Der sprachliche Zirkel wird durchbrochen, indem diese Aussage nur noch auf dieses emotive Erlebnis des erfolgreichen Denkens und Handelns, das heißt auf Wahrheit rekurriert.

Wir können mit Piaget sagen, daß die Struktur unserer Selbstideesetzung auf der genetischen Ebene gegeben ist. Sie ist für die konkreten Denkinhalte unseres Bewußtseins nicht deterministisch, wohl aber für dessen Struktur (d.h. es gibt eine strukturelle Transzendenz unseres objektiven Wissens, das nur von einem nicht-mehr-

¹ WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON: *Der Garten des Menschlichen*, a.a.O., S.225

² METZINGER, THOMAS: *Subjekt und Selbstmodell*, a.a.O., S.112f

³ FRANK, MANFRED: *Zeitbewußtsein*, Pfullingen 1990, S.134

objektivierbaren Fühlen aus möglich ist). Demnach befinden wir uns aus kognitiver Sicht stets auf dem Weg der iterativen Verfeinerung und Abstimmung (was Auslöschung und Annulation nicht ausschließt) unserer mentalen Modellstrukturen und damit unseres gesamten Wissens. 'Leben ist im wesentlichen Selbstregelung.'¹ Lernen wird möglich, weil sich neue Lösungen bei Bewährung im neuronalen Substrat stabilisieren. In Abkehr von der klassischen Stimulus-Response-Theorie sieht Piaget den Organismus als aktives System, das durch seine offene, nach außen gewendete Verhaltensweise erst Einwirkungen der Umwelt ermöglicht; der Organismus ist ein *offenes System*². Die durchaus notwendige Stabilität wird dadurch erzeugt, daß eine Art „Geschlossenheit“ durch neue, zunächst rein symbolisch-nichtsprachliche, persönliche Lösungen auf einer „Meta-Ebene“ entsteht, die sich bei Bewährung stabilisiert. Durch diesen offenen, rückgekoppelten Mechanismus strebt der Organismus zyklisch einer Ordnung entgegen, die er dennoch nie erreicht. So wird die Umwelt des Organismus z.B. durch kognitive Regulationen und durch Korrektur der Regulationen durch weitere Regulationen ständig erweitert. Kennzeichnend für diese „Schließung“ ist die gewonnene Stabilität bzw. *der Erfolg*: am Beispiel des Übergangs von den Reflexschemata hin zu *mental höher organisierten Verhaltensweisen* zeigt Piaget, 'daß die beobachteten Fortschritte auf Regulationen von Regulationen zurückzuführen sind [...] und, daß sie infolgedessen die >Schließung< des offenen Systems gegenüber der Umwelt immer weiter hinausschieben.'³ Im konnektionistischen System ist eine solche offene Systemcharakteristik durch die beschriebenen Lernmechanismen erklärbar.⁴ So ist die äußerlich wahrnehmbare Technik der weltliche Gegenpart von inneren, sich mental stabilisierenden Regulationsmechanismen. In der Technik manifestiert sich der Sachverhalt, daß mental niederstehende Handlungen zu neuen, mental höherstehenden Handlungen transformiert werden. Dies ist aber ein fortwährender, durch hoch-symbolische, implizite Wissensstrukturen gekennzeichnete Prozeß, da die Schließung des offenen Systems „Mensch“ sich auf immer weitere Meta-Ebenen hinausschiebt. Durch dieses Hinausschieben wird der zeitliche Denkhorizont des Menschen aber nur dann vergrößert, wenn mit der internen Repräsentation irreversibler Naturprozesse begonnen wird. Neben unserem Wissen über die Natur liegt in der Erkenntnis des Selbst der Ursprung des Menschen als einem geistigen Wesen. Zeitbewußtsein wird durch implizites Wissen *generiert*. Der Zeitbegriff liegt keinesfalls, wie noch Kant annahm, allen unseren Anschauungen und Symbolen in der energetischen Bilanz kognitiver Vorgänge sozusagen unbeschränkt „zum Grunde“. Vielmehr wird Zeitbewußtsein erst dann generiert, wenn *irreversible Systemzustände* in interne Regelmechanismen eingebaut werden. Die Zeit ist die „Innenseite“ unseres Denkens.

¹ PIAGET, JEAN: *Biologie und Erkenntnis. Über die Beziehungen zwischen organischen Regulationen und kognitiven Prozessen*. Frankfurt am Main 1983, S. 27

² vgl. PIAGET, JEAN: a.a.O., S. 157ff

³ a.a.O., S. 362

⁴ Der Amerikanische Biologe Christopher Wills verwendet die Bezeichnung „Durchgänger-Gehirn“, um diese rückgekoppelte, extrem lernfähige Systemcharakteristik unseres Denkkorgans zu beschreiben. Vgl. WILLS, CHRISTOPHER: *Das vorausseilende Gehirn*, a.a.O.

Ein gemeinschaftliches Verständnis von Zeit entsteht erst, wenn im sozialen Handlungssystem interpersonal verfügbare, sprachlich artikulierbare Taktgeber (Gezeiten, Tageszeit etc.) kommunizierbar werden. Der Zeitbegriff geht wahrscheinlich deshalb auf die indogermanische Wurzel *da[i]* „teilen“ zurück. Damit kann dargelegt werden, wie die phänomenal erlebte Zeit im repräsentierenden System generiert wird und *nur implizit* gegeben ist: Innerliche Zeitlichkeit muß erst auf äußere Merkmale projiziert und kommuniziert werden. „Zeit“ ist dem System in den mentalen Bewegungsmodellen somit zunächst bloß als zusätzliches Attribut von Aktionen gegeben. Eine Zeitfolge ist Summe der Einzelzeiten. Eine Problemlösung, eine mentale Aktion ist demnach primär eine Abfolge mentaler Modelle und keine Zeit. In diesem Sinne ist „Zeit“ immer nur implizit gegeben und kann nicht explizit ausgewählt werden, da sie primär Attribut-Charakter hat. Die Vorstellung von „Zeit“ ist aus anthropologischer Sicht eine der schwierigsten und noch keinesfalls befriedigend gelösten Probleme der Menschen überhaupt. Darin vollzieht sich der Übergang vom Denken in Dingen zum *Denken in Prozessen*. Rein räumliche Regelkoordinationen bedürfen überhaupt keines Zeitbegriffs, der „Vergangenheit“ oder „Zukunft“ konzeptualisiert. Die unserem mechanistischen Denken anhaftende Intuition, daß die Zeit, wie die räumlichen Dimensionen, eine frei disponierbare Systemgröße sei, ist ein erklärbarer und gefährlicher Fehlschluß. Denn in diesem mechanistischen Weltbild wird nicht klar, daß die Bestimmung der Zeit als dem chronometrisch gemessenen Ablauf eines Geschehens den eigentlichen Kern der Sache verpaßt, denn im mechanistischen Weltbild sind diese Geschehnisse *reversibel*. Aus physikalischer Sicht sind aber nur irreversible Prozesse durch eine *zeitliche Gerichtetheit* gekennzeichnet (etwa das Wachsen eines Baumes), während Newtons grundlegende Naturgesetze umkehrbar sind und es nach diesen Gesetzen eigentlich keine „vergehende“ Zeit gibt. In irreversiblen Prozessen ist die Zeit gewissermaßen selbst ein Teil des Geschehens.¹ Aus Sicht des repräsentierenden Systems verbirgt sich hinter dem Denken in Dingen die Eigenschaft, daß die Repräsentanda von den kontinuierlichen Aktivierungsströmen der sensomotorischen Ebene durch interne Synchronisationsvorgänge zeitlich entkoppelt werden. Damit wird erklärbar, daß ein bewegter Gegenstand trotz geänderter perzeptueller Inputs dennoch durch ein einheitliches mentales Modell, das heißt *als Ding* intern repräsentierbar wird.² Die mentale Modellierung von *Prozessen* ist demgegenüber bedeutend schwieriger, da dann die zeitkonstante Stabilität des Dinges aufgelöst und durch Konstanz erzeugende Zustandsänderungsgesetze ersetzt wird. Die Synchronisationsvorgänge zur Erzeugung eines mentalen Modells von einem Prozeß laufen auf einer mental höheren Ebene ab, innerhalb der nicht bloß ein Zustand, sondern mehrere Zustände, die aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte miteinander verkoppelt sein können, eine Art von innerer Zeitlichkeit *generieren*. Die mentale Vorstellung eines Dinges ist sozusagen der Grenzfall der Vorstellung eines Prozesses.

¹ vgl. PRIGOGINE, ILYA: *Die Wiederentdeckung der Zeit*. a.a.o. Siehe auch die physikalischen, historischen und bewußtseinstheoretischen Beiträge zum Thema „Zeit“ in: Gumin, Heinz; Meier, Heinrich (Hrsg.): a.a.O.

² vgl. METZINGER, THOMAS: *Zeitfenster und die Einheit des Bewußtseins. Der Zusammenhang zwischen phänomenalem Bewußtsein und subsymbolischer Informationsverarbeitung*. in: Lenk, Hans; Poser, H. (Hrsg.): *Neue Realitäten - Herausforderung der Philosophie*. Berlin 1994

6.2 Historische Dimensionen des Zeitbewußtseins

α) Anthropologische Krisen

Dem Denken und Handeln mit relativ unveränderlichen mentalen Modellen entspricht die Wahrnehmung von Anfangs- und Endzuständen von sich verändernden Dingen der Wirklichkeit. Natürliche und soziale Prozesse sind im evolutionären Entstehungsprozeß des Menschen auf der Grundlage seines zunächst „primitiven“, d.h. dem „ersten Stadium“ zugehörigen Denkens nur schwer oder gar nicht modellierbar bzw. analysierbar.¹ Eine fehlende operative Koordinierbarkeit von Prozessen führt zu Erklärungen in Essenzen, zur Verdinglichung von Eigenschaften, zur Behandlung der Prozesse als Substanzen, zur Postulierung substantieller Kräfte, die den Dingen inhärent sind und bei entsprechender Gegebenheit (ob gewollt oder ungewollt) geweckt werden. Auch das eigene Leben ist zunächst ein solches zeitloses Ding, das nur durch das Eingreifen eines anderen Dinges, des Todes, beendet wird. In primitiven Gesellschaften drückt sich die Zeit implizit in der Organisation von Handlungen aus, die sich hauptsächlich am Wetter oder an den Jahreszeiten orientieren (für die Römer war die Zeit Wetter, Wetterzeit, *tempus, tempestos*; und auch im heutigen Französisch sagt man noch: „il fait mauvais temps“). Die älteste, abstrakte Notation einer Zeitspanne ist erst 30.000 Jahre alt, umfaßt lediglich 2 1/4 Monate und entstand vor dem Neolithikum (vgl. Abschnitt 3.2.3).

Aus *Homo erectus* ist *Homo sapiens* mit den beiden Unterarten *Homo sapiens neanderthalensis* (HSN) und *Homo sapiens sapiens* (HSS) in Afrika entstanden. Diese beiden Linien scheinen sich auch nicht vermischt zu haben, obwohl sie zueinander in Kontakt gestanden haben könnten.² Der Neandertaler hat sich auf die eiszeitlichen Lebensverhältnisse in Europa spezialisiert und er stirbt aus, als nach dem Ende der letzten Eiszeit seine Nahrungsquellen versiegen. Die Populationsdichte von Wollhaarnashörnern und Mammuts verringert sich dramatisch, weil Tagestemperaturen von über Null Grad Celsius und Regen ihren Körper erbarmungslos abkühlen, da das Haarkleid nur bei Temperaturen unter Null Grad und den eiszeitlich trockenen Lebensverhältnissen schützt. Denn sie besitzen keine Talgdrüsen zum Einfetten der Haare, so daß viele Tiere einer Art „Schockgefrieren“ zum Opfer fallen. Den Rest besorgen die noch lebenden Neandertaler, bis beide gemeinsam aussterben. Immerhin haben HSN und HSS für ca. 150.000 Jahre nebeneinander existiert und HSN ist erst vor ca. 20.000 Jahren endgültig von der Erdoberfläche verschwunden. Inzwischen ist in einem weiteren kladogenetischen Schub in einer eingegrenzten, kulturell isolierten Region in Gafzeh in Palästina der moderne Mensch entstanden; dieses

¹ vgl. HALLPIKE, CHRISTOPHER R.: Die Grundlagen primitiven Denkens, München 1990, S. 504

² vgl. STRINGER, CHRISTOPHER B.: Die Herkunft des anatomisch modernen Menschen, in: Spektrum der Wissenschaft, Februar 1991, S. 118

Ereignis hat vor ca. 70.000 Jahren stattgefunden.¹ Dann dauert es noch ca. 30.000 Jahre bis HSS Europa besiedelt und - bedingt durch seine nochmals gesteigerte Intelligenz und sein Anpassungsvermögen - von da aus die ganze Welt. Der moderne Mensch verläßt dabei den afrikanischen Kontinent unter erheblichem Druck. Nicht Wasserknappheit oder Nahrungsmangel, sondern die die Schlafkrankheit bringende Tsetse-Fliege erzwingt den Auszug von Menschengruppen aus Afrika in überraschend schneller Zeit. Denn in den Zwischeneiszeiten wurden durch veränderte Niederschlagsverhältnisse aus den tsetsefreien Trockensavannen und Grasländern Feuchtsavannen mit Tsetse-Vorkommen. Wahrscheinlich wurde in nur zwei oder drei Menschengenerationen die „paradiesische Savanne“ für die menschliche Besiedelung unmöglich.²

Das Ergebnis ist, daß HSS, dessen Bestände durch die Schlafkrankheit recht niedrig gehalten werden, sich aufgrund dieser lebensbedrohenden Verhältnisse vor ca. 10.000 Jahren (dem Ende der letzten Eiszeit) auf die Wanderschaft begibt.³ Während der damaligen Vereisung liegt der Meeresspiegel über 100 Meter tiefer als heute und zahlreiche Flußtäler erstrecken sich in fruchtbare, heute vom Meer bedeckte Niederungen. In der von Euphrat und Tigris gebildeten Flußniederung, dem Zweistromland, finden sich schließlich die ersten Zeichen menschlicher Kultur, weil die aus Afrika auswandernden Menschengruppen nur dort eine ausreichende Ernährungsgrundlage finden. Wildrinder weiden in den sammentragenden Gräsern der fruchtbaren Täler, die eingefangen und deren Milch genutzt werden konnten. In den Flußtälern steckt auch der Ursprung des Ackerbaus, wo dem nährstoffreichen Boden mit einfachsten Methoden des Nutzpflanzenbaues Ernten abgewonnen werden konnten. Mit dem Ende der Eiszeit überfluten die abschmelzenden Eismassen jedoch einen Großteil dieser Flußtäler. Dennoch sind die aktiv die Natur verändernden Bauern gegenüber den einseitig die Natur bejagenden Jägern im Vorteil. Während Jäger wie der HSN mit der Ausrottung ihrer Jagdbestände aussterben, setzt sich mit den Bauern das symbolisch-prozeßhaft orientierte, „visionäre“, langfristig vorausschauende Denken durch. Sie weichen den aufsteigenden Meeresfluten aus und müssen in höher liegendem, unfruchtbarerem Gelände „im Schweiß ihres Angesichts“ säen und ernten. Dieses zeitlich vorausschauende Denken und Handeln bewährt sich gegenüber der auf Kurzfristigkeit ausgelegten Kraft der Jäger und schafft - zusammen mit der Sprache - die Voraussetzungen zur Entstehung unseres Selbstbewußtseins.

¹ vgl. *ECCLES, JOHN C.*: a.a.O., S.73 [Die Diskussion hierüber ist aber noch nicht abgeschlossen, wie Stringer in seinem Beitrag zeigt; vgl. a.a.O.]

² vgl. *REICHHOLF, JOSEF H.*: a.a.O., S.244f

³ Nach Untersuchungen des Biologen Hubert Markl hat der Mensch vor der neolithischen Revolution in einem geregelten Acht-Stunden-Tag und in einer absolut kariesfreien Zeit sich ohne größere Mühe durch Sammeln und Jagen seinen Lebensunterhalt sichern können. Einziges Manko war die hohe Kindersterblichkeit. Wahrscheinlich würden wir uns heute noch in der Savanne befinden, wenn nicht die geschilderten lebensbedrohenden Umstände zum Handeln gezwungen hätten; siehe auch Kapitel 6.3 ff.

Alleine schon aus ökologischer Sichtweise war der Mensch zu einer optimierten Nutzung der Natur *gezwungen*, und zwar mit *völlig neuen Handlungszielen*. Denn um mit dem Rückgang jagdbaren Wildes nicht zu verhungern, wie es auch vielen in Amerika angekommenen HSS-Jägern und späteren Indianern ergangen ist, muß er sich *völlig neue Handlungsstrukturen* ausdenken.¹ Somit gibt es gute Gründe für die Annahme, daß unsere Vorfahren in eine *anthropologische Krise* geraten sind, in der die gesamte *ego- bzw. dingzentrierte Organisation des Handelns*, aufgrund lebensweltlicher Anforderungen massiv umstrukturiert wurde.² Die Grundstruktur dieser anthropologischen Krisen ist die folgende: Aufgrund geänderter Lebensverhältnisse gerät der Mensch in eine existentielle Notlage. Schließlich setzen sich diejenigen Vertreter unserer Vorfahren durch, die durch symbolisch-vorausschauendes, Prozesse statt Dinge modellierendes, d.h. „visionäres“ oder „weises“ Denken ihr Leben und Handeln auf einer solchen mentalen Ebene höherorganisieren, so daß die *gefühlten* Probleme durch *zeitbewußte* Problemlösungen kompensiert werden. Jeder echte Fortschritt entsteht aus einem akuten Mangel heraus und verändert das herrschende Wertesystem. Was vordem kritiklos „gut“ war (erfolgreiches Jagen), wird im nachhinein nur noch bedingt toleriert. Unsere Kultur entsteht unter diesem Druck aus solcher Lebensweisheit.

β) Vom Denken in Dingen zum Denken in Prozessen

Wie aber konnte diese gewaltige kognitive Leistung vollbracht werden, da doch die unter direkt vergleichbarem Zeitdruck stehenden Neandertaler eine Umorganisation ihres Lebens beispielsweise auf die jagdbaren Tiere des sich jetzt ausbreitenden Waldes nicht schafften? Das Gehirn des HSN war sogar größer als das des weniger spezialisierten HSS. Und dennoch gibt es einen großen Unterschied: Aufgrund anatomischer Gegebenheiten (zu hoher Kehlkopf) hat HSN über keine rapide Wortsprache verfügt. Diese hat demgegenüber HSS bereits vor ca. 35.000 Jahren zur Verfügung gestanden und mit ihr wird es möglich, Handlungserfahrung über neue Nahrungsquellen mitzuteilen und *neue Handlungen symbolisch-sprachlich gemeinsam zu planen*. Daraus resultiert eine durch äußeren Druck entstehende Normierungsleistung auf die Bildung einer größeren Anzahl von Wörtern, um die schwieriger werdenden Lebensverhältnisse dennoch zu meistern. Dies führt an den Ufern von Euphrat und Tigris vor ca. 10.000 Jahren zu den ersten Spuren von Ackerbau und damit zu den *Wurzeln menschlicher Kultur*. Erfindungen wie der Pflug oder wie für die Felderwirtschaft wichtige Vorratsbehälter haben sehr große soziale Auswirkungen.

¹ Die als „Overkill“ bekannt gewordenen Massenschlachtungen der ersten in Amerika eingetroffenen Jäger bewirkte eine zeitliche Verflachung des Selbst, die bei dem zunächst herrschenden Produktüberangebot dessen Zerstörung nicht verhinderte. Hier konnte kein problematisierendes Selbstbewußtsein herausgebildet werden.

² vgl. dazu auch GROH, DIETER: *Anthropologische Dimensionen der Geschichte*. Frankfurt am Main 1992, S.82-86 [Die Wirkung technologischer Innovationen und das Problem der Neolithischen Revolution]

Die Technik ist auf der Stufe dieses „primitiven Denkens“ ein Ausdruck der sozialen Beziehungen; reine Techniker gibt es damals noch nicht. Sammeln und Jagen wird durch Vieh- und Pflanzenzucht ergänzt und ersetzt diese mehr und mehr. Die damalige Felderwirtschaft ist eingebettet in ein neues, die Jahreszeiten übergreifendes Systemdenken der Bauern, das erstmals die (zumindest nähere) Natur als ökologisches, *begrenztes Ganzes* nimmt. Hier, am Ursprung unserer Kultur, wird das Denken in Dingen zum Denken, Erkennen und Handeln in Prozessen.

Nach der Jägermentalität, die noch die Natur als Quelle unerschöpflichen Reichtums betrachtete, setzt sich jetzt eine prozeßhafte Repräsentation biologisch-organischer Vorgänge durch, die eine langsame Entstehung des Zeitbewußtseins bewirkt, das wiederum zu einer Anzahl von symbolisch im Sprachlaut verfügbarer, die Jahreszeiten übergreifenden Handlungsstrukturen führt. So wird die Landwirtschaft zunächst ohne irgend einen die Jahre übergreifenden Kalender betrieben. Das Einsetzen agrikultureller Handlungen richtet sich noch ganz nach dem Auftreten natürlich-dinghafter Ereignisse wie den verschiedenen Anzeichen der Bodenbeschaffenheit oder das Auftreten bestimmter Zugvögel am Himmel.¹ Erst langsam entsteht daraus ein Verständnis dafür, daß die Dinge (wie das eigene Leben) Prozesse sind und daß diese Prozesse zur operativen Koordination eines gemeinsamen Koordinatensystems bedürfen (etwa den Sternen- und Mondzyklen), das letztlich zu unserer metrischen, durch mechanische Uhren meßbaren Zeit führt. Diese Entwicklung des Zeitbewußtseins auf der kognitiven Grundlage der internen Repräsentation irreversibler Naturprozesse erfolgt aus der Notlage des Nahrungsmangels heraus. Der Mensch meistert diese Krise dank seinem Vermögen, mental niederstehende Aktionen (wie das Jagen bei kurzfristig auftretendem Nahrungsbedarf) zu neuen, mental höher stehenden und prozeßhaft angelegten Handlungen transformieren zu können (die langfristig angelegte Tier- und Futterhaltung). Mumford sieht in dieser neolithischen Dorfgemeinschaft das Idealbild einer menschlichen Gemeinschaft:

Kurz, jedem Mitglied der Dorfgemeinschaft, vom Kind bis zum Greis, fiel eine aktive Rolle im ökonomischen und sozialen Leben zu, wobei jedes nach Kräften seinen Beitrag leistete. [...] In der neolithischen Landwirtschaft hatte der Mensch zum ersten Mal ein Tätigkeitsfeld, abwechslungsreich, anstrengend und vergnügend zugleich, an dem die ganze Gemeinschaft sich auf einer viel höheren Stufe als in der Sammlerwirtschaft beteiligen konnte. [...] Ihr Motto war: Genügend ist viel.²

In den Umbruchzeiten (Umweltkatastrophen, Völkerwanderungen) ab ca. 2.000 v. Chr. entsteht ein erneuter Druck, den kulturell verschiedenen „Gegenüber“ detailliert zu verstehen. Daraus entsteht - rückübertragend - unser Selbstbewußtsein durch die detaillierte Erkenntnis des eigenen Selbst.³

¹ vgl. HALLPIKE, CHRISTOPHER R.: a.a.O., S. 408f

² MUMFORD, LEWIS: a.a.O., S. 189ff

³ Ausführlich dargestellt hat dies Julian Jaynes, auf dessen Buch ich mich hier berufe.

6.3 Krise der Technik und die Möglichkeit einer zeitbewußten Technik

Newtons Naturgesetze werden - inklusive ihrer elektrischen und mikroelektronischen Derivate - gerade in den Technikwissenschaften sehr erfolgreich eingesetzt. Die Konzeption technischer Systeme erfolgt größtenteils auf der Basis reversibler Modelle. Die Folge davon ist, daß die moderne Technik keinerlei Beiträge zur Bildung unseres Zeitbewußtseins liefert. Unsere Fähigkeit zum zeitlich vorausschauenden Handeln wird sogar unter dem Begriff der Vernunft subsumiert.¹ Wird diese untergraben, dann läßt sich aus der hier ausgearbeiteten handlungstheoretisch-anthropologischen Perspektive zeigen, daß jenes heute herrschende „ungute Gefühl“ gegenüber der Technik sich gerade dann einstellt, wenn die Geschwindigkeit des Technisierungsprozesses ein Maximum erreicht. Dann nämlich bewirkt die voranschreitende Technisierung eine derart rasche Veränderung der existentiellen Lebensbedingungen, daß der auf Eigeninitiative ruhenden, vorausschauenden Lebensgestaltung der Boden unter den Füßen weggezogen und unser Selbst destabilisiert wird.² Die moderne Technik ist deshalb auf dem Weg in eine *kulturelle Krise*. Das Irrationale bestimmt häufig das Rationale, und wir Techniker fördern ohne unser Wissen dieses Irrationale. Das Irrationale ist die Gefahr der Degeneration der modernen Technik und damit unseres Selbst zu einer zeitlichen Oberflächlichkeit, in der die Verantwortlichkeit des Menschen auf einen noch nie dagewesenen Minimalwert herabsinken könnte.

α) Wurzeln der industriellen Technik: die Entstehung der modernen Existenz

Die Aristokratie Englands vernichtet zu Beginn des 19. Jahrhunderts mehr und mehr den unabhängigen Bauernstand, so daß die Bauernsöhne zunehmend auf eine Rekrutierung als Arbeiter und Hilfskräfte beim aufstrebenden Stand der Händler und Industriellen angewiesen sind. Die industrielle Revolution geht von England aus, dem Land, das (wie Japan) nie eine wirkliche Revolution kennengelernt hat. Dort zählt bereits 1815 die im Agrarsektor beschäftigte Bevölkerung nur noch 35% der insgesamt Beschäftigten. Die Fortschritte der Industrialisierung werden möglich, weil gerade zu Beginn dieser Phase schlechte Lebensverhältnisse, Degeneration und Unsittlichkeit für das Vorhandensein einer Unzahl arbeitswilliger Menschen sorgen. Es gab keine Kontrolle der Arbeitszeit, Lohn und Wohnort hingen vom Unternehmer ab. Frauen und

¹ Immanuel Kant hat den Vernunftbegriff unter anderem folgendermaßen charakterisiert: 'Der dritte Schritt der Vernunft, nachdem sie sich in die ersten unmittelbar empfundenen Bedürfnisse gemischt hatte, war die überlegte Erwartung des Künftigen. Dieses Vermögen, nicht bloß den gegenwärtigen Lebensaugenblick zu genießen, sondern die kommende, oft sehr entfernte Zeit sich gegenwärtig zu machen, ist das entscheidendste Kennzeichen des menschlichen Vorzuges, um seiner Bestimmung gemäß sich zu entfernten Zwecken vorzubereiten [...]' aus: KANT, IMMANUEL: **Mutmaßlicher Anfang der Menschheitsgeschichte**, in: ders. (Hrsg.: Weischedel, Wilhelm): *Schriften zur Anthropologie, Geschichtsphilosophie, Politik und Pädagogik* I. Frankfurt am Main 1991, S. 90.

² Hans Jonas hat dieses Paradoxon meines Wissens als erster herausgestellt: 'Wir wissen einerseits mehr, andererseits weniger über unsere Zukunft als unsere vormodernen Ahnen. Mehr, weil unser analytisch-kausales Wissen mit seiner methodischen Anwendung auf das Gegebene viel größer ist; weniger, weil wir es mit einem konstitutionellen Zustand der Veränderung zu tun haben, während die Früheren es mit einem im ganzen bleibenden (oder so erscheinenden) zu tun hatten.' aus: JONAS, HANS: **Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation**. Frankfurt am Main 1984, S. 216.

Kinder wurden ohne jede Einschränkung beschäftigt [...].¹ Doch gerade der aufsteigende, unternehmerische Mittelstand beginnt, sozialpolitische Maßnahmen zu praktizieren. Die Arbeitszeit wird zunächst geregelt und später verkürzt, und es wird für bessere Nahrung und Wohnraum gesorgt. Literaten wie Dickens sprechen für die Armen und so setzt sich insgesamt in England ein Klima durch, in dem die Industrialisierung im gegenseitigen Nutzen aufgebaut wird: 'Kohle ersetzt Holz als Brennmaterial, Eisen ersetzt Holz als Baumaterial und die Dampfmaschine ersetzt das Wasserrad.'²

Mit der direkten Verbindung von Dampfmaschine und Stromerzeugung durch Werner Siemens (1816 - 1892) kann sich die industrielle Welt endgültig von den einst von der Natur vorgegebenen Rhythmen abkoppeln. Es ist in Deutschland der Übergang vom „reinen Denken“ zum „reinen Handeln“, das unbefangen das Richtige tut; es ist 'der Übergang von Schelling und Hegel zu Siemens & Halske.'³ Erst im folgenden Jahrhundert tritt die Gefahr der Selbstzerstörung des Menschen durch die Technik vollständig hervor und verlangt heute eine Verbindung dieser beiden Strömungen. Die Veränderung der Welt durch die Technik muß *zuerst „gesehen“ werden*. Mit dem sich in automatischen Einrichtungen manifestierenden Verfahren der *operativen Schrift* werden technische Prozesse (relativ) personenunabhängig reproduzierbar. Ermöglicht wird diese Entwicklung aber durch soziale Fortschritte, wie einer verbesserten Ausbildung, der Abschaffung des Sklavenhandels und der staatlichen Überwachung der Fabriken (in England um 1833). Der endgültige Durchbruch der industriellen Revolution stellt sich schließlich dann ein, wenn die Technik insgesamt *Systemcharakter* einnimmt. Dann nämlich lassen sich technische Systeme mit (nahezu) identischen Funktionen, Leistungen und Kennzahlen unabhängig von einzelnen Personen herstellen, weil durch eine intensive *Forschungsmethodik* die Herstellung vereinheitlichter, normierter Systembauteile ermöglicht wird. Technische Neuerungen erzeugen auf der Basis dieser Methode einen *Multiplikatoreffekt*⁴, da sie als Subsysteme in explosionsartig steigenden Kombinationsmöglichkeiten in neuen technischen Gesamtsystemen integriert werden können.

Immer mehr subjektiv gewonnene Erkenntnisse und Techniken werden in kulturell objektivierter Form einer Vielzahl weiterer Menschen verfügbar. Friedrich Rapp analysiert die geistigen Voraussetzungen zur Entstehung der modernen Technik. Neben sozialen (Wertschätzung der Arbeit) und naturalen Aspekten (rationelles Wirtschaften, experimentelle Untersuchungen) kommt dem existentiell erlebten technischen Handeln eine tragende Bedeutung zu.⁵ Dies wird deshalb möglich, weil durch die Betonung der

¹ VALENTIN, VEIT: *Illustrierte Weltgeschichte*. Band 3. Köln 1976, S.1010

² JISCHA, MICHAEL F.: a.a.O., S.24

³ WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON: *Wahrnehmung der Neuzeit*. München ²1986, S.53

⁴ vgl. RAPP, FRIEDRICH: *Analytische Technikphilosophie*. Freiburg München 1978, S.156ff

⁵ vgl. a.a.O., S.105-34

Individualität in der modernen Kultur individuelle, neue Problemlösungen über eine wissenschaftlich objektivierte Sprache leicht mitteilbar werden. Solche Individualität wird vom kulturellen System belohnt: Es ist die Karriere des Individuums als einzigartiger *Existenz*, als selbstbewußtem Wesen. Während früher der Erhalt des Bestehenden die Kräfte größtenteils ausschöpft, setzt sich heute „Veränderung“ als Selbstwert durch, weil sich der Mensch auf der Basis der neuen soziotechnischen Handlungsstrukturen weitgehend ungehindert in die Umwelt ausdehnen kann und dafür im geltenden Wertesystem der Gesellschaft belohnt wird. Rapp weist zurecht darauf hin, daß ein solches technisches Handeln nur um der Technik willen keineswegs „naturgesetzlich“ in der Menschheitsgeschichte auftritt. Technisches Handeln ist immer eingebettet in ein sozio-kulturelles und ökologisches Wertesystem, das ein entsprechendes Handeln zuläßt oder sanktioniert. Seit der Industrialisierung befinden wir uns wieder in einer Phase der (noch) ungehinderten Ausbreitung. Dazu sind eine mechanische Naturauffassung, die Systemtechnik und die operative Schrift natürlich wichtige Instrumentarien, mit deren Hilfe der Mensch sich schnell und (vordergründig) erfolgreich immer weiter in die Biosphäre ausdehnt. Er gestaltet die ihn umgebende Umwelt immer mehr zu einer artifiziellen „Technosphäre“ um, deren Kern allerdings reversible, mechanistische Denkmodelle sind.

β) Die Irrationalität des Rationalen

Durch den Erfolg der Technik und durch deren exponentiell zunehmende Gestaltungsmöglichkeiten stellt sich schließlich auch jener Effekt ein, den Marx *Entfremdung* genannt hat: Der Arbeiter hat zu dem von ihm hergestellten Produkt überhaupt keine persönliche Beziehung mehr! Dieser Effekt ist besonders stark in der tayloristischen Phase der Industrialisierung und trifft in know-how-intensiven Unternehmen nicht zu. Durch die Spezialisierung der Industrie auf naturale Wirkeffekte werden sozio-existentielle menschlichen Werte, wie die Zuwendung zum Mitmenschen, auf eine rein sachtechnische Problemebene transformiert. Das kann den heutigen Unternehmen aber nicht pauschal zum Vorwurf gemacht werden, da deren Handeln einfach durch andere Werte bestimmt ist. Und dieser Grundwert ist die am Verkauf von Produkten orientierte Gewinnmaximierung, denn das „Überleben“ des Unternehmens hängt im heutigen Wertesystem zuallererst von seinem erwirtschafteten, materiellen Gewinn ab. Das eigentlich *Bestürzende der modernen Technik* liegt aber in dem sich ständig beschleunigenden technischen Wandel, der auf einer Philosophie des Produktes gründet, der es letztlich nur um ein Denken in Dingen („Bedarf“ <-> „Produkt“) geht. In der energetischen Bilanz dieses mentalen Vorgangs zeigt sich dies so, daß das Denken in Dingen aus Sicht des repräsentierenden Systems auf energieärmeren, mental niederstehenden Stufen abläuft.

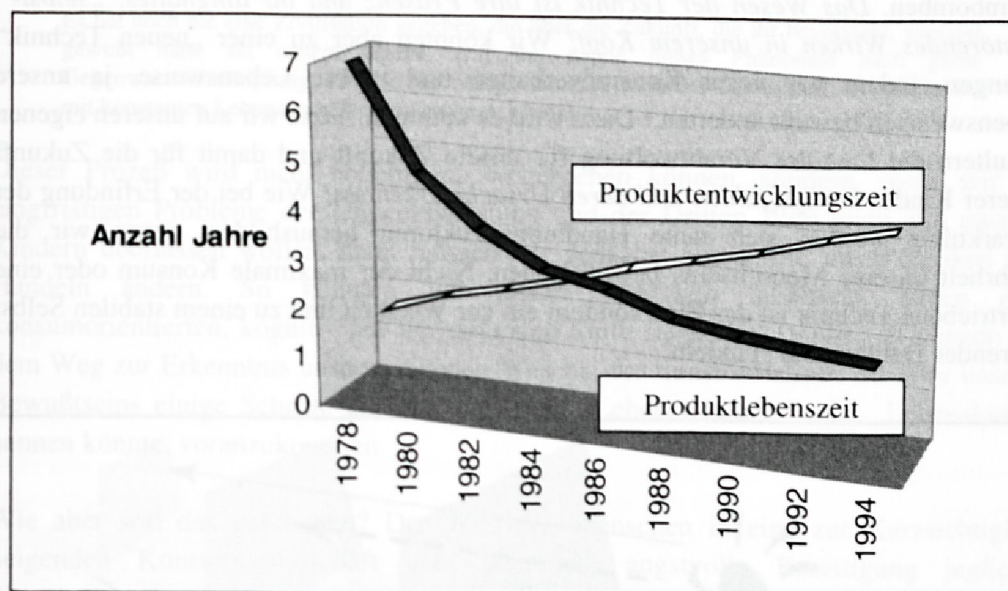


Bild 6.1 Veränderung von Produktlebens- und -entwicklungszeiten¹

Bei einer Vielzahl dinghafter Sachsysteme ist die Kreation neuer, am mechanistischen Weltbild orientierter, bewußtseinstheoretisch-zeitlich degenerierender Produkte nur die logische Folge. Und das mündet zwangsläufig, hier soll in aller Deutlichkeit die Irrationalität unserer modernen Technik offengelegt werden, zu einer Destabilisierung unseres Selbst. - „Wo liegt jetzt eigentlich das Problem?“, mag sich der Leser fragen. Denn um konkurrenzfähig zu bleiben, muß man doch möglichst vor der Konkurrenz mit neuen Produkten auf den Markt kommen. Das Problem liegt gerade in diesem impliziten, stillschweigend akzeptierten Postulat moderner Marktwirtschaft. Darin, daß diese in Bild 6.1 dargestellte Entwicklung überhaupt nicht kritisch reflektiert und rundweg als positiv angesehen wird, und daß man sich dieser „Herausforderung“ stellen müsse (hierher gehören Stichworte wie „Rapid Prototyping“ etc.), liegt das eigentliche Übel. Dem einmaligen Denken in Prozessen, das sich an der uns umgebenden organischen Natur herausgebildet hat, weicht mehr und mehr ein Denken in Produkten, die man haben sollte (suggeriert jedenfalls die Werbung) und damit ein Denken in Dingen. Der Verlust unseres Zeitbewußtseins und die Degeneration unseres Selbst in unserem mechanistischen Weltbild scheint vorprogrammiert. So verstellt uns der andauernde Konsum nicht nur den Blick für die Welt, in der wir leben, sondern - auf der Rückseite dieses Konsums - besteht die Gefahr, daß der Mensch die Erde nach und nach in einen einzigen Supermarkt verwandelt. Durch die Technik stellt der Mensch die Natur, wie Heidegger sagt, und macht sie abrufbereit wie in den Regalen eines riesigen Kaufhauses. Das Wesen der Technik ist nicht die Welt der Maschinen, Fabriken und

¹ aus: GRABOWSKI, H.; LANGOLTZ, G.; RUDE, S.: 25 Jahre CAD in Deutschland: Standortbestimmung und notwendige Entwicklungen, in: VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb (Hrsg.): Jahrbuch 93, Düsseldorf 1993, S.140

Es hat noch nie eine Zivilisation gegeben, die über die Zukunft, die ihr bevorsteht, weniger gewußt hätte als unsere eigene. [...] Ich nenne dieses Phänomen auch gerne Gegenwartsschrumpfung, d.h. die chronologische Extension der Zeit nimmt ab, für die wir mit konstanten Lebensverhältnissen rechnen können.¹

Dieser Prozeß wird nicht beliebig so weitergehen können, sondern, wenn wir die langfristigen Probleme der Umweltbelastung und der Dritten Welt nicht alle unseren Kindern überlassen wollen, dann müssen wir zunächst uns selbst, unser Denken und Handeln ändern. So könnten wir unsere Fähigkeit ausbauen, neben dem konsumorientierten, kognitiv auf der untersten Stufe stehenden Denken in Dingen auf dem Weg zur Erkenntnis unseres eigenen Wesens, der transformativen Struktur unseres Bewußtseins einige Schritte auf das, was man „Lebensweisheit“ oder „Lebenskunst“ nennen könnte, voranzukommen.

Wie aber soll das geschehen? Der Weg des Menschen in eine zur Kurzsichtigkeit neigenden Konsumgesellschaft geht über die angstvolle Beseitigung jeglicher Situationen, die die Laune verderben könnten, und verschafft eine systemimmanente Beschleunigung zur Veränderung der Lebensverhältnisse, mit dem Ziel, ja keine Gelegenheit zu „verpassen“. Daraus folgt die Tendenz, keine technische Möglichkeit ungetan zu lassen, wie beispielsweise jener US-amerikanische Mathematiker vor einem öffentlichen Gericht verlangt, sein Gehirn noch vor seinem natürlichen Tod einfrieren zu dürfen.² Restriktive Maßnahmen gegen die Abarten der modernen Technik erscheinen mir als kein echter Ausweg und verhalfen unseren Vorfahren beim Rückgang des jagdbaren Wildes auch sicherlich nicht zur Erfindung der Agrarwirtschaft. Eine verbesserte Möglichkeit und gesellschaftlich verankerte Vorgehensweise könnte sich in der Technikfolgenabschätzung auf tun. In diesem Rahmen plädiert Günter Ropohl für eine „konzertierte Technikbewertung“³, in der die institutionelle Unterstützung der Techniker mit der individuellen Verantwortungsübernahme verbunden wird. Hier geht es, wie Ropohl feststellt, um die vorausschauende Verantwortungsübernahme dafür, was unsere Technik heute schon leistet und geleistet hat. Die Hauptaufgabe liegt meines Erachtens deshalb darin, kreativ neue technische Systeme derart zu entwerfen, daß die geschilderten Probleme (die Konsumorientierung) sich *strukturell verkleinern*. Dies könnte eine „zeitbewußte Technik“ leisten! *Zeitbewußte Technik* entsteht durch mentale Höherorganisation, d.h. Transformation aus der „inneren Bewältigung“ zeitlich weitgreifender, irreversibler Handlungen, die auf der Basis eines Wissens um die Prozeßhaftigkeit unseres Geistes generiert werden.

¹ LÜBBE, HERMANN: *Die schwarze Wand der Zukunft*. in: Fischer, Ernst P. (Hrsg.): *Mannheimer Gespräche. Auf der Suche nach der verlorenen Sicherheit*. München 1991, S.28

² vgl. GRONEMEYER, MARIANNE: „*Gebraucht der Zeit, sie geht so schnell von hinnen ...*“ *Das Leben als letzte Gelegenheit*. in: Goldegger Dialoge, Tagungsband 1993: *ZEIT-Erleben zwischen Hektik und Müßiggang*. S.67ff

³ vgl. ROPOHL, GÜNTER: *Neue Wege, die Technik zu verantworten*. in: Lenk, Hans; Ropohl, Günter (Hrsg.): *Technik und Ethik*. Stuttgart 1987, S.149-76

Liegen denn nicht in der Gestaltung unserer Zukunft noch ungeheure Aufgabenpotentiale? Fehlt es uns denn nicht heute - da wir die Ausweglosigkeit immer rascher voranschreitender Konsumzyklen fühlen - überhaupt an weiterführenden Zielen für eine Technik, die uns und unsere Kinder in eine (noch) lebbarere Zukunft helfen könnte? Beispiele hierfür Techniken, die „vom Ding zum Prozeß“ praktizieren:

- vom Recycling bis zum „idealen industriellen System“, in dem die Rohstoffkreisläufe an die natürlichen Ökosysteme angeglichen werden;¹
- Umwelttechnik, neue Abfallkonzepte und integrierter Umweltschutz;
- Neue Energiesysteme und andere technische Ansätze;²
- Dezentralisierung unter dem Motto *Small is beautiful*.³

Entscheidend ist aber, daß *wir* unsere Denkstrukturen umstellen müssen. Nicht das technische Produkt ist das eigentliche Problem, sondern eine Methode, die zur langfristig beherrschten Handhabung technischer Systeme in unserem Kopf und zu einer Stabilisierung unseres Selbst führt! *Wir* müssen uns zunächst ändern, um mit diesen neuen Techniken tatsächlich auch das zu erreichen, was damit erreichbar scheint!⁴ Die notwendige Energie für ein solches Umdenken kann aber nicht aus einem administrativen Apparat, sondern nur aus uns selbst kommen. Wir werden unser Handeln dann ändern, wenn wir die Notwendigkeit dazu fühlen, wenn die auf unseren Schultern lastende Verantwortung dieses Gefühl erzeugt. Wenn wir uns wirklich ernsthaft um die bedrohte Zukunft unserer Kinder sorgen, dann müssen wir unser dem Zeitbewußtsein entgegenstehendes Bedürfnisdenken ändern, um die Destabilisierung unseres Selbst zu bremsen.⁵ Die überfällige Exegese der technisierten Welt, des „Technotops“ (Ropohl) vor dem Hintergrund des aufgezeigten Wahrheitsbegriffs könnte dabei helfen, den Prozeß der inneren Verarmung und Degeneration zu bremsen. Dazu wird es aber unumgänglich sein, die Technik als Wahrheit unserer Kultur anzuerkennen.

¹ vgl. JISCHA, MICHAEL F.: a.a.O., S.134-50 [Kapitel 7. Endliche Ressourcen oder plündern wir unseren Planeten? Rohstoffversorgung, Recycling, Wasserhaushalt, Entwaldung und Bodenerosion, Welternährung, Bedrohung der Artenvielfalt]

² 'Eines ist bei sämtlichen Energieexperten unbestritten: In einem kurzen Zeitraum von etwa zwei Generationen werden wir kein oder kaum noch Erdöl und Erdgas zur Verfügung haben,' aus: JISCHA, MICHAEL F.: a.a.O., S.86. Als Alternative zu den fossilen Energiequellen kommen Kernenergie oder Solarenergie in Frage. Da aber die Nutzung der Kernenergie vor allem schwierige und unvorhersehbare Probleme bei der Entsorgung entstehen läßt, kristallisiert sich die Solarenergie immer mehr als kompetente Alternative heraus, zumal damit neben zentralen auch dezentrale Lösungen möglich werden, die in Eigenverantwortlichkeit des einzelnen Menschen entstehen können.

³ vgl. COLOMBO, UMBERTO: *Technologische Revolution und die Zukunft der Dritten Welt*, in: Siemens-Zeitschrift Special, FuE, Frühjahr 1990, S.4-10

⁴ vgl. JISCHA, MICHAEL F.: a.a.O., S.224-43 [Kap.11. Wer kann was tun? Global denken - lokal handeln]

⁵ vgl. auch MARTIN, HENNO: *Menschheit auf dem Prüfstand. Einsichten aus 4,5 Mrd. Jahren Erd-, Lebens- und Menschheitsgeschichte*. Berlin Heidelberg 1992, [Kap. 23 Ist Macht verwerflich?, S.329-38, 'auf vielen Evolutionsstufen [wurden] Höherentwicklungen durch bessere Fürsorge für weniger Nachkommen eingeleitet,' aus: a.a.O., S.338]

γ) Wurzeln einer neuen Geisteskultur

Es wird eine Vorgehensweise in kleinen Schritten nahegelegt, die Korrekturen und Überprüfungen jederzeit möglich macht. Als Zielheuristik sollte keine „Utopie“ (*Utopia* gr.-fr.: Land, das nirgends ist), vielleicht aber eine „Vision“, ein in bezug auf die Zukunft entworfenes Bild unseres Selbst dienen. Woher soll aber die Motivation für eine Änderung unseres Handelns und Denkens kommen? Realistisch betrachtet erscheint dies nur möglich, wenn die Motivation aus dem Wertgefühl der Sache selbst heraus entspringt. „Äußerlich“ betrachtet ist dies mit Respekt vor menschlicher Arbeit, Mühe und Kunstfertigkeit zu bezeichnen. Hier sollten wir die Geschichte der Menschheit, etwa Indizien zur Gestalt und zum Ablauf mentaler Neuorientierungen, zur Informationsgewinnung nutzen. „Innerlich“ betrachtet kann die notwendige Motivation durch die Erkenntnis genährt werden, daß unzusammenhängendes, disparates Handeln und Denken nicht zum Aufbau und zur Festigung unseres Selbst und langfristig zu einer kognitiv-mental Degeneration dieses Selbst führt. Dies zu zeigen ist ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Studie. Nicht ausgeführt werden sollen hier sozial-ethische Überlegungen und Werte, sondern kognitive Voraussetzungen für eine erfolgreiche Gestaltung unseres Menschseins. Das einzige empirische Argument, das ich hier ins Felde führen kann (o.g. Zielheuristik), ist der Aufbau eines kognitiv stabilen Selbst.

Das Grundelement technischen Handelns ist das Ding. Die Erkenntnis der Zeit kommt, indem in einer prozeßhaften, irreversiblen Umgebung technisch gehandelt wird. Mit der Kultur beginnt die *zeitliche* Höherorganisation von Handlungsstrukturen. Dieses Handeln kostet uns Energie, und wir tun es nicht umsonst: es ist die äußere Last der Lebensverhältnisse, die uns neue Wege jenseits „funktionierender“ Lösungen suchen läßt. In der mentalen Bilanz dieses Geschehens wird der mit diesem Handeln einhergehende Wissensaufbau über ein kognitives System belohnt, und daher erhält dieses Wissen einen Wert an sich. Diesem Effekt entgegen wirkt aber die Tendenz, die nach sofortiger Befriedigung offener Bilanzen verlangt und uns in eine „Nullzeitgesellschaft“ schlittern läßt, in der jeglicher Bedarf über verfügbare Dinge sofort befriedigt werden muß. Andererseits steckt aber in den nichtsprachlichen, prozeßhaften, „gekonnten“ Umgangserfahrungen des Technikers dasjenige *Know-how*, das ein Unternehmen international wettbewerbsfähig macht. Jetzt kann erarbeitet werden, wie sich solches Handeln darstellen würde, wenn als Basis für die Lösungsfindung bereits ein Verständnis für den Menschen, seine Offenheit, und seinen Selbstaufbau stünde. Heute ist das Handlungsziel das reine Sachsystem, losgelöst vom Menschen, der es verwenden will. Morgen könnte das Handlungsziel den das Sachsystem verwendenden Menschen einschließen, und die Transformationsstruktur seines Bewußtseinsprozesses könnte genauso wie das Sachsystem und die uns umgebende, prozeßhafte Natur konzeptualisiert sein. Von da an erscheinen folgende Probleme: Die Fragen sind, wie wird sich die naturale, soziale und existentielle Erfahrungsstruktur des Menschen ändern bzw. wie möchte man, daß sie sich ändert. Im Sinne eines zu zeitbewußter Technik führenden Bewußtseinswandels könnte dies folgendes bedeuten:

- Naturale Ebene: Der Werkzeugcharakter der Technik zum prozeßhaften Gestalten der Welt muß zunehmen. Hier liegt der Übergang vom Denken in Dingen zum Denken in Prozessen. Die Welt als Ganzes zählt, die es zunächst mental zu modellieren gilt. Von besonderem Wert erscheint hier eine Aufklärung über das Wesen unseres impliziten Wissens. Dann lassen sich globale Tendenzen und Strukturen der Welt und unseres Denkens viel leichter erkennen und die Voraussetzungen für einen *echten Bewußtseinswandel* wären geschaffen.
- Soziale Ebene: Die Verantwortung für unsere Mitmenschen in den ärmeren Nationen wird sich nur dann festigen, wenn wir eine individuelle Verbundenheit zu ihnen aufbauen. Langfristig (d.h. 2 - 3 Generationen) hat das Konzept nationaler Staaten ausgedient: Wir müssen mit der offenen Gesellschaft weltweit ernst machen, ohne dabei allerdings unsere Geschichte zu vergessen. Aus kognitiver Sicht geht es hier weniger um das Problem, daß einige wenige Menschen auf Kosten der meisten anderen im privilegierten Luxus leben. Vielmehr geht es um die Erkenntnis, daß in allen bisherigen Gesellschaftsformen, in denen sich die Eliteschicht gegenüber der Masse ausgrenzte, diese Eliteschicht ihren kognitiven Verstehens- und Handlungsbezug zur Realität einbüßte, was bisher immer zum Zusammenbruch der jeweiligen Gesellschaft führte.
- Existentielle Ebene: Für erfolgreiches - auch technisches - Handeln braucht der Mensch ein umfangreiches, in großen Teilen prozeßhaftes, multimodales Selbstmodell, das nur durch tätigen Umgang entsteht und zur Bildung seiner individuellen Persönlichkeit führt. Der Aufbau von Erfahrung wird von einem kognitiven System belohnt und es ist diese Freude in der Anstrengung, die den existentiellen Sinn der Arbeit ausmacht. Hans Jonas kritisiert vor einem solchen Hintergrund Ernst Blochs Utopie einer vollautomatisierten Welt: *'Mit dem Körper wird auch der Geist arbeitslos.'*¹ Ohne den Ernst des Daseins, die Anspannung der Lebensprozesse hat der Mensch aber nie erfolgreich das Leben gemeistert oder gar Fortschritte gemacht. Diese entstehen erst in einer echten Situation des Mangels, wie der Biologe und Anthropologe Reichholf herausarbeitet. So würde Blochs Ideal einer „tätigen Muße“ in einer Welt, in der es keine „wirkliche, mühselige“ Arbeit mehr gäbe, in ihrer kognitiven Bilanz mit degenerierten und inkonsistenten Erfahrungsstrukturen und damit überhaupt mit einer Degeneration der menschlichen Persönlichkeit einhergehen. Betrachten wir den Menschen hingegen als - auch mit Mühe gefertigtes - „Kunstwerk“, dann erscheint unser Selbst sowohl als rational-arbeitender wie auch als visionär-kreativer Seinsprozeß, so daß die hier geschilderten biologisch-historisch-existentiellen Zusammenhänge transparent und „fühlbar“ anwesend sind. - Wir würden nicht das Bild einer vollautomatisierten Welt entwerfen, sondern wir würden die *Wahrheit* des Menschen aus seinen Handlungszusammenhängen heraus entstehend sehen. Denn in diesem neuen Selbst wäre die Kunst der Ratio, des Verstehens mit der Kunst der Weisheit, des Sehens zu einer neuen Wahrheit vereinigt: der „visionäre“ Mensch wäre entstanden.

¹ JONAS, HANS: a.a.O., S.351

Betrachten wir dazu ein praktisches Beispiel: Ohne die Tätigkeit unserer Hände ist unsere Persönlichkeit als operational-perzeptuelle Repräsentationsstruktur unvollständig: ihr fehlt das „motorische Individuum“, ohne das der Mensch geistig degeneriert. Der Psychologe Oliver Sacks beschreibt den Fall einer sechzigjährigen Frau, die durch eine zerebrale Kinderlähmung behindert war und deshalb ihr ganzes Leben von der Familie versorgt wurde. Diese Kinderlähmung beeinträchtigt aber nicht die Hände, sie hatte einfach nicht gelernt, damit umzugehen. Diese Frau fristete, wohlbehütet in ihrer Familie, ein ereignisloses Dasein, das gerade wegen seines Wohlbehütet-seins eine erschreckende Parallele zur möglichen Degeneration des menschlichen Geistes in einer vollautomatisierten Welt abgeben könnte. Sacks „überlistet“ diese Frau dann dadurch zum Handeln, daß er ihr Essen etwas außerhalb ihrer Reichweite aufstellte. 'Es war ihre Geburtsstunde als <<motorisches Individuum>>'.¹ Das motorische Erfahren der Welt macht ihr dann derart Freude, daß sie binnen kurzer Zeit sogar Plastiken verfertigt. Bemerkenswert dabei ist, daß sie mit einfachen Sachen beginnt und schließlich sogar Personen modelliert. Ihre Persönlichkeit machte durch dieses „motorische Individuum“ eine späte, aber deutliche und positive Entwicklung hin zu einer neuen „Lebens-Kunst“. Natürlich braucht der Mensch auch Muße und Entspannung. Es gibt sogar Hinweise, daß es Menschen, die in einer technisch weit weniger entwickelten Gesellschaftsform leben, psychologisch besser geht als uns selbst. Und zwar hauptsächlich deshalb, weil ihr Arbeitsleben bedeutend streßfreier abläuft als das unsere.² Heute scheint das Ziel jedoch zu sein, diese Welt sehend und verstehend zu bewältigen.

Der Mensch ist ein repräsentierendes System, das einen Entwicklungsprozeß in Richtung einer iterativen Verfeinerung, informationellen Abstimmung und damit einer möglichst widerspruchsfreier Organisation seines kognitiven Apparates durchmacht. Der Mensch ist ein offenes System und die kognitiven Anfangsbedingungen sind von Individuum zu Individuum zu Beginn dieses Iterationsprozesses verschieden. Die Folge

¹ Vgl. SACKS, OLIVER: a.a.O., S.88-96 [Kapitel 5 „Hände“]. Hans Jonas hat diese Zusammenhänge aus einer technologischen Perspektive herausgearbeitet, vgl. sein Kapitel KRITIK DES MARXISTISCHEN UTOPISMUS in seinem Buch **Das Prinzip Verantwortung**, a.a.O. Mir kommt es darauf an, daß es aus der energetischen Bilanz des kognitiven Systems „Mensch“ tatsächlich Argumente für eine Bestätigung dieser These finden.

² Dieter Groh verwendet für diesen Zusammenhang den Terminus der „Mußepräferenz“. Aus Muße oder Nichtarbeit kann nämlich das überraschende Phänomen folgen, daß daraus eine Risikominimierung des gesellschaftlichen Lebens und Überlebens impliziert wird: Mußepräferenz als Überlebensstrategie. Dies trifft aber nur insofern zu, als keine echten Krisen - wie die Krise, die zur Entstehung der Agrikultur führte - auftauchen dürfen, durch die die praktizierten Denk- und Handlungsschemata ihre Gültigkeit verlieren. Bei der bald zu erwartenden Zahl von 10 Milliarden Menschen, die auf unserem Planeten Nahrung suchen, scheint mit vor allem ein Verständnis der Gesamtzusammenhänge wichtig. Vgl. auch GROH, DIETER: a.a.O., S.54-113 [Kapitel 1 „ÖKONOMISCHE ANTHROPOLOGIE“, Abschnitt 5: „Strategien, Zeit und Ressourcen. Risikominimierung, Unterproduktivität und Mußepräferenz - zentrale Kategorien von Subsistenzökonomien“]

davon ist, daß jeder Mensch seine ihm eigene Persönlichkeit ausbilden kann, wenn man ihn läßt. Vor diesem Hintergrund würde Technik zur *Kunst*, wenn der Techniker auch nicht-rationalisiertes Wissen (aus Sicht des Industrieunternehmens) in seine Arbeit einfließen ließe, das mit Worten wie „Wahrheit“ oder „Zukunftsstabilität“ beschreibbar wäre. Vielleicht wurde dadurch auch - zunächst ungeplant - jene Qualität erzeugt, die einst das „made in Germany“ (zunächst unbeabsichtigt) schmückte:

Kunst entsteht, wenn aus vielen Einsichten der Erfahrung eine einzige allgemeingültige Erkenntnis von gleichartigen Dingen entspringt.¹

Ingo Rentschler weist am Beispiel von Kunstwerken den nichtsprachlich-symbolischen Anteil im Wahrnehmungsprozeß nach, wie ihn unsere These, daß zeitbewußte Technik *Kunst* sei, fordern würde. Er zeigt, daß

die Entwicklung des Weltbildes der Kunst mit einer Verschiebung der Aufmerksamkeit innerhalb der visuellen Repräsentation der Sehdinge im Gehirn verbunden ist. Diese These ergibt sich zunächst aus der Erkenntnis, daß die Wahrnehmung nicht durch die physikalische Natur der Sehobjekte determiniert, sondern ein Tun zur Gewinnung vernünftiger, das heißt im Hinblick auf das Handeln optimaler Modelle der Welt ist.²

So ergaben beispielsweise Analysen von Bildern aus verschiedenen kunsthistorischen Epochen, daß der Künstler durch sein Weltbild entscheidenden Einfluß darauf hat, wo er Linien erkennt und diese dann zeichnet. Künstler wie Wassily Kandinsky oder Paul Klee teilen dabei die Meinung des Physiologen Charles Sherrington (der Lehrer von John C. Eccles), auf den sich Rentschler in seinem Beitrag bezieht: '«it is the mind whose thinking largely accepts <lines> and manufactures them»'.³ Die Techniker können ihre Arbeit (wieder) als Kunst verstehen, wie ja die Sprachwurzel *τεχνη* [gr. *techne*] auch die *ποίησις* [gr. *poiesis*] der schönen Künste bedeutete.⁴

*

Als heuristische Zielvorstellung einer zeitbewußten Technik ist der vorausschauend handelnde, die Wirkstrukturen des Lebens kennende Mensch denkbar - ein insgesamt eher „mittlerer Weg“, der die Motivation menschlichen Handelns nicht aus utopischen Zielen, sondern aus dem Wertgefühl, der kreativen Kraft eines kognitiv stabilen Selbst schöpft. Das muß nicht ein platter Kompromiß sein, sondern kann zu neuen Handlungsstrukturen führen, wobei die „überkommenen“ Strukturen - wie der am dinghaften Denken orientierte, mental degenerierende Mensch - jedoch ständig als fühlbar zu regulierender Mißstand anwesend bleiben. Genau wie sich der Bewußtseinsprozeß durch eine offene Systemcharakteristik im Wechselspiel von top-

¹ ARISTOTELES (HRS.G.: GIGON, OLOF): *Einführungsschriften*. München 1982, S.171

² RENTSCHLER, INGO: *Weltbilder der Kunst - Erscheinungsformen der Wirklichkeit*. in: Dürr, Hans-Peter; Zimmerli, Walther Ch.: a.a.O., S.132

³ a.a.O., S.130

⁴ vgl. HEIDEGGER, MARTIN: *Die Frage nach der Technik*. in: ders. *Die Technik und die Kehre*. Tübingen, 81991, S.34

down gerichteten Soll- und bottom-up gerichteten Istzuständen auf einer mittleren Aktivierungsebene abspielt, so scheint eine „mittlere Kultur“ ein möglicher Weg in die Zukunft zu sein. Auch im Bewußtseinsprozeß hängen aktivierte Soll- und Istzustände von bereits gemachten Erfahrungen ab, ja sie zeigen sich gleichsam in deren Gewandt. Eine solche offene, von den Vereinten Nationen getragene Gesellschaftsstruktur, in der prinzipiell alle alles beeinflussen, ist der dafür in Frage kommende Kandidat.

Diese „mittlere“, die Formen eines neuen gesellschaftlichen Bewußtseins erzeugende Schicht ist gerade nicht in den top-Etagen der heutigen geistigen Kulturen angesiedelt, sondern erzeugt in einem heute noch wertfreien Raum neue Denk- und Handlungsstrukturen. Analog, wie die soziokulturelle Organisation der Städte mentale Voraussetzung zum Bau mikroelektronischer Produkte ist, wird diese neue Bindeschicht sich von den heute zunehmend belasteten Städten - mit deren inzwischen sozial entkoppelten, reichen Intelligenzen - abwenden und neuen mentalen Zielen zuwenden.

Wie sieht es aber mit der Technik aus, deren Wesen ja doch eine mentale Höherorganisation des Handelns ist? Die Technik ist zwar seit der Industrialisierung hochorganisiert und „mächtig“, als mechanistisch-produktorientierte Technik jedoch degeneriert sie auf eine zeitliche Oberflächlichkeit und verirrt sich in dem Gespenst einer vollautomatisierten Welt. Was heute zählt, sind nur *kurzzeitig* beherrschte (nicht: kurzzeitig wirkende) Instrumentarien. Das heißt, die Entwicklung der Technik zu mental höheren Strukturen geht auf Kosten der darin repräsentierten Zeit und des Selbst. In einem multikulturellen Umfeld darf das primäre, gesellschaftlich belohnte Ziel nicht mehr alleine das Bruttosozialprodukt sein, sondern es muß eine Wertkategorie für den Aufbau und die Stabilisierung unseres Selbst gefunden werden. So könnten Aktionen, die unser Selbst gefährden, bewußt sanktioniert werden. Weiterhin ergibt sich in einem sozial vielgestaltigen Umfeld die Chance, daß sich unser Selbst als Reaktion darauf in einer neuen kulturellen Dimension und Verfeinerung herausbildet. Es wird zu einer nachhaltigen Veränderung unserer Persönlichkeit kommen, wenn wir den Mut haben, die Wahrheit und die wahrheitskonstitutive Rolle unserer impliziten, nichtsprachlichen Wissensstrukturen zu sehen und ihre „visionäre“ Sprache im Zusammenspiel mit der Schaffung unserer Persönlichkeit zu verstehen! Unsere Informationssysteme sind auf diesem Weg immer nur Mittel, und es erscheint mir sinnvoll, nicht mit dem Leitbild einer im rationalistischen Dogma stehenden „Informationsgesellschaft“ zu arbeiten.¹ Zwar brauchen wir Informationen in einem weltweit offenen Netz, gerade aber eine aus dem Normativen folgende Dechiffrierbarkeit dieses expliziten Wissens wird unser Wesen jenseits dieser Normen (wie z.B. durch die Werbung gesetzt) entstehen lassen. Der extreme Weg in die virtuellen, imaginären Spielwelten der Computerindustrie (und hier sind deren größte Zuwachsraten zu erkennen) desavouiert den aufgeklärten, informierten, vernünftig handelnden Menschen einer mittleren Kultur.

¹ Siehe dazu z.B. die Überlegungen des Informatik-Professors Arno Rolf. So analysiert Rolf, daß etwa bei Teleshopping der ursprüngliche Kundenverkehr mit dem Warentransport bilanziert werden muß, oder daß Telearbeit in Verbindung mit einer maximierten (und nicht minimierten) Reisetätigkeit für eine erhöhte Kundenpräsenz genutzt wird. Vgl.: ROLF, ARNO: **Ökologischer Wunschkursch. Das Schlagwort von der Informationsgesellschaft stellt den Blick auf sinnvolle ökonomische Konzepte.** in: DIE ZEIT Nr. 12, 15.3.96, S. 26

Wir haben Grund, an die Kraft zu einer Veränderung im Verständnis und in der Kooperation der Weltregionen zu glauben und zunächst an einem Wandel des westlichen Denkens und Handelns in Richtung auf eine Erdpolitik zu arbeiten.

[... Die Weltumweltkonferenz] will ein globales Programm des „sustainable development“, der langfristig umweltverträglichen Entwicklung, zum zentralen Bestandteil ihrer Sicherheits- und Außenpolitik machen.¹

Ein Beispiel für eine zeitbewußte Technik (wie ich *sustainable development* hier deute) mit meines Erachtens bis jetzt nur unzureichend gewürdigten Aspekten ist die Eisenbahn. Natürlicher Aspekt: Die Energieversorgung der Eisenbahn ist primär nicht von fossilen Energiequellen abhängig. Sozialer Aspekt: Die Eisenbahn ist nicht nur ein „Ort der Begegnung“, große Teile der Weltbevölkerung können sich auf relativ einfache Weise mit diesem Verkehrssystem ausrüsten. Das Benzin würde in Europa versiegen, wenn beispielsweise alle Chinesen ab übermorgen Auto fahren würden. Existentieller Aspekt: Die geradezu paradoxe Ambivalenz der Technik zeigt sich darin, daß die modernen Autos nicht sicherer sind, sondern im Gegenteil zu riskanter Fahrweise verleiten und damit schlimmere und mehr Unfälle provozieren, als die alten Automodelle.² Bei der Eisenbahn ist dies keineswegs der Fall. Ein anderes Beispiel sind die Kirchen. Tatsächlich spiegelt sich das traditionsorientierte, von modischen Strömungen unabhängige und auf Langfristigkeit angelegte Denken der Kirche auch in ihren Gebäuden wider. Für Kirchentüren werden Mindestgarantiezeiten von 30 Jahren verlangt! Wieso sollten wir nicht baldmöglichst Autos bauen können, die 30 Jahre halten und keine fossilen Brennstoffe (z.B. Wasserstoff oder Strom) benötigen? Mit dem Willen für die Zukunft könnte die Technik sich an vorausschauender Selbstversorgung und kultureller Eigeninitiative des Menschen ausrichten. Aber nur individuell von vielen getragene, und vielleicht zunächst unbewußt ausgeführte Praktiken (wie die „zeitbewußte“ Konzeption der Bahn) werden auch wirklich zu neuen, mehrheitsfähigen Erfahrungen führen. Wer erfindet zeitbewußte Technik mit echten Zukunftsperspektiven? Wer erfindet den „Zukunfts-Kulturkreis“, in dem im Geiste kritischen Gedankenaustausches eine neuen „Lebens-Kunst“ zur Erschließung neuer Dimensionen des Bewußtseins entsteht? Gibt es nicht auch eine *Ästhetik des Bewußtseins*, wie beispielsweise eine zeitbewußte Kunst (im technischen Handeln) zum Wiederentdecken?³

Daß es uns heute überhaupt gibt, ist eine Folge davon, daß unsere Vorfahren „verantwortlich“ gehandelt haben: Sie sind nämlich nicht - wie die Neandertaler - ausgestorben. So ist der Mensch das gefährdete Wesen, er ist in jeder Hinsicht „unfertig“ und sich selbst stets auch Aufgabe:

¹ WEIZSÄCKER, RICHARD VON: Außenpolitik muß heute Erdpolitik sein. in: DIE ZEIT Nr.50, 10.12.1993, S.6

² vgl. LINSE, JÖRG: Unser Auto- eine geplante Fehlkonstruktion? Frankfurt am Main

³ Man braucht keine „Anthropologie des Flohmarktes“, um unsere Vorliebe für künstlerisch-zeitlose Ware zu deuten. Wir brauchen diesen Sinn für höhere Harmonien!

Sofern der Mensch auf sich selbst gestellt eine solche lebensnotwendige Aufgabe auch verpassen kann, ist er das gefährdete oder „riskierte“ Wesen, mit einer konstitutionellen Chance, zu verunglücken. Der Mensch ist schließlich *vorsehend*. Er ist - ein Prometheus - angewiesen auf das Entfernte, auf das Nichtgegenwärtige in Raum und Zeit, er lebt - im Gegensatz zum Tier - für die Zukunft und nicht in der Gegenwart.¹

Durch vorausschauendes, vernünftiges Handeln lassen sich die Risiken von morgen an mentalen Modellen von heute simulieren. Hans Jonas hat auf dieser Einsicht das *Prinzip Verantwortung* gegründet. Er begründet zurecht die Pflichten der heutigen technologischen Macht aus dem zu gewährleistenden Fortbestand der Menschen sowie der gesamten, vielfältigen, verletzlichen Biosphäre des blauen Planeten.² Das menschliche Gehirn ist dafür gemacht, eine Menge von Umgebungsreizen kreativ zu verarbeiten und Bedeutung zu geben. Mit jedem Rückgang in der Natur und im sozialen Umfeld verarmt der existentielle Lebensvollzug des Menschen. Der fühlbare Antrieb zum vorausschauenden Handeln kann durch das Aufzeigen der Gefahr einer mentalen Degeneration des Selbst bewirkt werden. Und dies fußt auf einer tiefgreifenden Erkenntnis von *Wahrheit* (als Ursprung der Weisheit) - dem herausragendsten Konzept menschlicher Kultur. Unsere Technischen Hochschulen und Universitäten könnten die ihnen oft vorgeworfene Praxisferne verringern, wenn sie die anthropologische Basis kreativen, auch technischen Handelns als Instrument begreifen lernten.

Nicht unser sprachliches Wissen, sondern unser Können-Wissen ist unser Schicksal. Handeln wir *für* unsere Gefühle, denn ohne die Herausbildung unserer Gefühle für unser Bewußtsein und für unsere Welt werden wir nicht mehr für eine (noch) lebbare Zukunft unserer Kinder sorgen können. Könnte das Licht unseres Bewußtseins sich nicht dadurch weiter ausbreiten, daß es uns immer weiter einen Weg aus der „alten“ Vergangenheit in die „ferne“ Zukunft zeigt, indem durch die immer weiter sich erstreckende Zusammenschau der Ereignisse sich neue Wege in die Zukunft auf immer höheren Erfahrungshorizonten eröffnen? Bedeutet die Entwicklung dieser Erfahrungshorizonte nicht eine Entwicklung unseres Gefühls für die Natur, für das soziale Gefüge und für unsere eigene Existenz? Können wir damit nicht die Weichen stellen für eine neue Kultur unseres Geistes?

*

- Die Aufgabe heißt, die Zukunft „sehen“ zu wollen!

¹ GEHLEN, ARNOLD: *Der Mensch*. a.a.O., S.32

² Hans Lenk fordert dies in einer notwendigen Weiterentwicklung unserer heutigen Ethik: 'Verantwortung für das Ganze ist auch, aber nicht mehr nur, Verantwortung für das Wohlergehen der Menschen allein.' aus: LENK, HANS: *Über Verantwortungsbegriffe und das Verantwortungsproblem in der Technik*. in: Lenk, Hans; Ropohl, Günter (Hrsg.): *Technik und Ethik*. Stuttgart 1987, S.143

7 ZUSAMMENFASSUNG

Soweit es praktisch, das heißt fürs planende Handeln, etwas von der Geschichte zu >>lernen<< gibt (eine schwankende Möglichkeit, da >>Vergessen<< zum Schöpferischen gehört), so muß man mit diesem einzigen Wissen, das wir vom Menschen haben, an das Entwerfen der Zukunft gehen, soweit es so etwas überhaupt gibt.¹

Es wird der Versuch gemacht, einen Beitrag zur Lösung drängender Probleme technischen Handelns aus einer philosophisch-anthropologischen Perspektive zu leisten. Der Text richtet sich an Menschen, die sich mit der Technik befassen. Die praktische Umsetzung der in dieser Studie skizzierten Industrieprojekte geht aus der Zusammenarbeit mit der Universität Erlangen-Nürnberg hervor und betrifft die Automatisierung. Diese ist ein zentrales Paradigma heutiger Ingenieurtätigkeit und deshalb sind in der Einleitung die Hauptfragen dieser Studie aus Sicht der Automatisierung erarbeitet und mittels eines praktischen Beispiels verdeutlicht (Automatisierung der produktbegleitenden Informationsverarbeitung in der Mikroelektronik-Produktion).

In der Einleitung wird die Motivation für eine umfassende Thematisierung der Technik und des technischen Handelns gegeben. Vor dem Hintergrund der gescheiterten Bemühungen zur vollautomatischen Fabrik und den einsetzenden Reparaturversuchen geht es dabei darum, die Struktur, Rolle und mögliche Perspektiven des technischen Handelns wissenschaftlich zu analysieren und neue Lösungsvorschläge am Beispiel der Produktionstechnik zu erarbeiten. Diese Studie ist deshalb auch als Beitrag zu verstehen, die durch die rationalistische Methode der Naturwissenschaften geprägten Technikwissenschaften wieder näher an das Thema „Mensch“ heranzubringen. Denn mit der Gründung eigener Hochschulen zogen sich die Technikwissenschaftler noch weiter aus dem humanistisch orientierten Umfeld der Universitäten zurück. Es geht um eine Radikalisierung des Menschenbegriffs mit dem Ziel, daraus Schlußfolgerungen für eine neue Technikauffassung zu ziehen. Als techniktheoretischer Rahmen wird dafür eine anthropologische Technologie vorgeschlagen.

In Kapitel 2 wird ein systemtheoretisches Modell zur anthropologischen Deutung des technischen Wissens und Handelns entwickelt. Dazu wird mit dem Deutungskonstrukt neuronaler Netzwerke ein Informationsflußdiagramm zur Charakterisierung menschlichen Handelns, Wissens und Fühlens entworfen und dessen Grundfunktionalität vor dem Hintergrund einer informationellen Bewußtseinstheorie besprochen. In Kapitel 3 wird daraufhin der Geist menschlicher Handlungspraxis umrissen, der sich in Sprache, operativer Schrift und Kreativität zeigt. Dies ermöglicht

¹ JONAS, HANS: *Das Prinzip Verantwortung*, a.a.O., S. 384

einen Explikationsvorschlag für die unbewußten, nichtsprachlichen, analog-bildhaften, hochsymbolischen Handlungsstrukturen, das heißt für unser implizites Wissen, wodurch etwas Licht auf diese „dunkle“ Seite des Wissens geworfen wird. Somit ist erklärbar, wie und warum der Mensch zunächst einfache Steinwerkzeuge, später Ansiedlungen, Städte und schließlich die Produkte der Hochtechnologie bis hin zur Mikroelektronik hervorbrachte.

Im weiteren Verlauf der Studie werden mittels der zuvor skizzierten handlungstheoretischen Anthropologie Schlußfolgerungen für die moderne Technik und deren Probleme gezogen. Es wird das Leitziel einer anthropologischen Technologie entworfen. Dies besteht in der bewußten Gestaltung technischer Systeme in solcher Art, daß diese durch eine *strukturelle Offenheit* auf einer systemtheoretisch *höheren Ebene* mit der technischen Handlung zu einem handlungstheoretischen Gesamtsystem *verkoppelt* werden können. Damit wird die geschlossene Eindimensionalität bisheriger Technikkonzeptionen überwindbar. Dazu werden in Kapitel 4 die Begriffe der operativen Schrift und der Information aus einer anthropologischen Perspektive erklärt. Die Übertragung des Maschinenprinzips auf den Menschen in der heutigen rationalistischen Denktradition führt zu dem Problem, daß dieser in der durch Automatisierung geprägten modernen Technik scheinbar keinen Platz mehr findet. Deshalb werden am Beispiel der Automatisierung der Mikroelektronik-Herstellung handlungstheoretische Grenzen der Informationsverarbeitung und der Automatisierung aufgezeigt.

In Kapitel 5 wird der Begriff der Automatisierung aus anthropologischer Perspektive neu definiert. Der Ausgangspunkt für neue Wege der Automatisierung besteht darin, technische Systeme nicht als eindimensional determiniert zu konzipieren, sondern einen Wirkraum zu gestalten, innerhalb dessen der Mensch sein Know-how einbringen kann, um damit das Gesamtsystem zu stabilisieren. Rückübertragend geht es dabei auch um den bewußten Aufbau unseres Selbst. Technisches Handeln ist insgesamt ambivalent: Es ist gleichermaßen gekennzeichnet durch Stabilisierungs- und Verfallstendenzen, die zum Aufbau und Untergang moderner Kulturen beitragen.

Kapitel 6 widmet sich im Rahmen eines Ausblicks unserer *Zeitbewußtseinsstruktur*. Wir geraten heute durch die unreflektierte Zeitstruktur des technischen Handelns nicht nur in die Falle des abnehmenden Zeitbewußtseins, sondern wir gefährden dadurch sogar die Stabilität unseres eigenen Selbst. Hier gilt es, mögliche Perspektiven einer neuen Geisteskultur zu beleuchten. Dazu müssen wir auf einen Wahrheitsbegriff rekurrieren, der *Wahrheit* als *Logik und Emotion* definiert. - Die Motivation für eine Änderung unseres Handelns und Denkens müßte aus dem Wertgefühl für die Sache selbst heraus entspringen. Dazu sind einerseits in der Geschichte der Menschheit Indizien zur Gestalt und zum Ablauf mentaler Neuorientierungen nutzbar, andererseits kann das Aufzeigen der Gefahr einer kognitiven Degeneration unseres Selbst den Grundstein für eine heute notwendig werdende mentale Neuorientierung liefern.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] ABEL, V.; HAAS, K.: Statistische Qualitätskontrolle von Prozeßlinien. Vorgehensweise zur Erstellung von Kontrollkarten. München ³1986
- [2] AEBLI, HANS: Denken: Das Ornen des Tuns. Band 1, Stuttgart 1980
- [3] - : Denken: Das Ornen des Tuns. Band 2, Stuttgart 1981
- [4] ALBERTI DI MAZZERI, SILVIA: Leonardo da Vinci. Die moderne Deutung eines Universalgenies. München 1990
- [5] ALVAREZ, WALTER; ASAVO, FRANK: Die Kreide-Tertiär-Wende: ein Meteoriteneinschlag? in: Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1990, S.52-9
- [6] ALKON, DANIEL L.: Gedächtnisspuren in Nervensystemen und künstliche neuronale Netze. in: Gehirn und Kognition, a.a.O.
- [7] ANDERSON, JOHN R.: Kognitive Psychologie. Eine Einführung. Heidelberg 1988
- [8] ANSERMET, ERNEST: Die Grundlagen der Musik im menschlichen Bewußtsein. München ⁴1986
- [9] ANTONI, CONNY H.: Gruppenarbeit im Unternehmen. Konzepte, Erfahrungen, Perspektiven. Weinheim 1994
- [10] ARISTOTELES (HRSG.: GIGON, OLOF): Einführungsschriften. München 1982
- [11] BAMMÉ, ARNO; FEUERSTEIN, GÜNTER; GENTH, RENATE; HOLLING, EGGERT; KAHLE, RENATE; KEMPIN, PETER: Maschinen-Menschen, Mensch-Maschinen. Grundrisse einer sozialen Beziehung. Reinbek bei Hamburg 1983
- [12] BARLDEWEN, CONSTATIN VON UND WERHAHN-MEES, KAI (HRSG.): Japan und der Westen. Band 1: Philosophie, Geistesgeschichte, Anthropologie. Frankfurt am Main 1987
- [13] - : Japan und der Westen. Band 2: Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Technologie. Frankfurt am Main 1987
- [14] - : Japan und der Westen. Band 3: Politik, Kultur, Gesellschaft. Frankfurt am Main 1987
- [15] BARUZZI, ARNO: Mensch und Maschine. Das Denken sub specie machinae. München 1973
- [16] BECKER, FRANK S.: Mikroelektronik: Vom Forschungsthema zur Schlüsseltechnologie. Sonderdruck aus Siemens Components 4/90, S.116-19

- [17] **BECKERMANN, ANSGAR (HRSG.): Analytische Handlungstheorie. Band 2. Handlungs-
erklärungen.** Frankfurt am Main 1985
- [18] - : **Handeln und Handlungserklärungen.** in: ders. (Hrsg.): a.a.O., S.7-84
- [19] **BENDA, ERNST: Von der Ambivalenz des technischen Fortschritts.** in: Weizsäcker, Carl Friedrich
von: Die Zeit drängt. a.a.O.
- [20] **BISCHOF-KÖHLER, DORIS: Jenseits des Rubikon.** Die Entstehung spezifisch menschlicher Erkennt-
nisformen und ihre Auswirkung auf das Sozialverhalten. in: Fischer, Ernst Peter (Hrsg.): a.a.O.
- [21] **BIEDERMANN, IRVING: Recognition-by-Components: A Theory of Human Image
Understanding.** in: Psychological Review (1987), Vol.94, No.2
- [22] **BÖHME, GERNOT: Anthropologie in pragmatischer Hinsicht.** Frankfurt am Main 1985
- [23] **BRADSHAW, JOHN L.: The evolution of human lateral asymmetries: new evidence and second
thoughts.** in: Journal of Human Evolution (1988) 17
- [24] **BRADSHAW, JOHN L.: Animal asymetry and human heredity: Dextrality, tool use and language
in evolution - 10 years after Walker (1980).** in: British Journal of Psychology (1991) 82
- [25] **BRAITENBERG, VALENTIN: Vehikel. Experimente mit kybernetischen Wesen.** Reinbek bei
Hamburg 1993
- [26] **BRAITENBERG, VALENTIN; SCHÜTZ, ALMUT: Cortex: hohe Ordnung oder größtmögliches
Durdcheinander?** in: Gehirn und Kognition. a.a.O.
- [27] **BRÖDNER, PETER: Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik.**
Berlin ³1986
- [28] **BUBNER, RÜDIGER: Handlung, Sprache, Vernunft.** Grundbegriffe praktischer Philosophie.
Frankfurt am Main 1982
- [29] **BULLINGER, H.-J.; GANZ, W.: Ohne Human Integrated Manufacturing kein CIM.** in: io
Management Zeitschrift 59 (1990) Nr.6, Zürich, S.48-52
- [30] **BULLINGER, HANS-JÖRG: DV-Integration ist nicht nur ein technisches Problem. Vernetzung von
CIM und betrieblicher Bildung.** in: Computerwoche, 22.9.1989, S.56-59
- [31] **BURGGRAAF, PIETER: The Automated Side of Wafer Processing.** in: Semiconductor International
Vol.16 No.7, June 1993.

- [32] **CALLAHAN, R.L.; PAULHAC, F.:** *L'Usine du Futur est un Mythe.* in: *Congres Automatique 1988.* Quelle Automatique dans les Industries Manufacturieres, Grenoble, France 10-12 Oct. 1988, S.639-653
- [33] **CASTAÑEDA, HECTOR-NERI:** *Sprache und Erfahrung.* Frankfurt am Main 1982
- [34] **CHOMSKY, NOAM:** *Die formale Natur der Sprache.* in: Scherer, K.R. u.a.: a.a.O.
- [35] **COLOMBO, UMBERTO:** *Technologische Revolution und die Zukunft der Dritten Welt.* in: *Siemens-Zeitschrift Special, FuE, Frühjahr 1990, S.4-10*
- [36] **CORBALLIS, MICHAEL C.:** *Laterality and Human Evolution.* in: *Psychological Review* (1989), Vol.96, No.3
- [37] **CORETH, EMERICH:** *Was ist der Mensch? Grundzüge einer philosophischen Anthropologie.* Innsbruck Wien 1986
- [38] **COURTILLOT, VINCENT E.:** *Die Kreide-Tertiär-Wende: verheerender Vulkanismus?* in: *Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1990, S.60-9*
- [39] **CREUTZFELDT, OTTO:** *Bewußtsein und Selbstbewußtsein als neurophysiologisches Problem der Philosophie.* in: Rössner, Hans (Hrsg.): a.a.O.
- [40] **CRICK, FRANCIS; KOCH, CHRISTOF:** *Das Problem des Bewußtseins.* in: *Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992*
- [41] **DAMASIO, ANTONIO R.; DAMASIO, HANNA:** *Sprache und Gehirn.* in: *Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992*
- [42] **DENNETT, DANIEL C.:** *Intentionale Systeme in der kognitiven Verhaltensforschung.* in: Münch, Dieter (Hrsg.): a.a.O., S.343-86
- [43] **DIRKS, HEINZ:** *Psychologie. Eine moderne Seelenkunde.* Gütersloh ⁴1961
- [44] **DIETRICH, OLAF:** *Kognitive, organische und gesellschaftliche Evolution.* Berlin 1989
- [45] **DITFURTH, HOIMAR VON:** *Der Geist fiel nicht vom Himmel. Die Evolution unseres Bewußtseins.* München ⁵1983
- [46] **-:** *So laßt uns denn ein Apfelbäumchen pflanzen.* Hamburg 1985
- [47] **DÖRNER, DIETRICH:** *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen.* Reinbek bei Hamburg 1989

- [48] DREYFUS, HUBERT L.; DREYFUS, STUART E.: **Künstliche Intelligenz.** Von den Grenzen der Denkmachine und dem Wert der Intuition. Reinbek bei Hamburg 1987
- [49] DÜRR, HANS-PETER; ZIMMERLI, WALTHER CH. (HRSG.): **Geist und Natur. Über den Widerspruch zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und philosophischer Welterfahrung.** Bern München Wien 1989
- [50] DYLLA, NORBERT: **Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.** München Wien 1991
- [51] ECCLES, JOHN C.: **Die Evolution des Gehirns - die Erschaffung des Selbst.** München 1989
- [52] EDELMANN, GERALD M.: **Göttliche Luft, vernichtendes Feuer. Wie der Geist im Gehirn entsteht.** München Zürich ²1995
- [53] EIBL-EIBESFELDT, IRENÄUS: **Der Mensch - das riskierte Wesen.** München ⁴1991
- [54] - : **Die Biologie des menschlichen Verhaltens.** Grundriß der Humanethologie. München - Zürich ²1986
- [55] EIBL-EIBESFELDT, IRENÄUS; LORENZ, KONRAD: **Die stammesgeschichtlichen Grundlagen menschlichen Verhaltens.** in: Lorenz, Konrad: *Das Wirkungsgefüge...* a.a.O.
- [56] EIGEN, MANFRED; WINKLER, RUTHILD: **Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall.** München ⁸1987
- [57] ELI, MAX: **Japans Wirtschaft im Griff der Konglomerate.** Verbundgruppen Banken Universalhandelshäuser. Frankfurt am Main 1988
- [58] ENDERLEIN, ROLF: **Mikroelektronik.** Eine allgemeine Einführung in die Welt der Mikrochips, ihre Funktionen, Herstellung und Anwendung. Heidelberg 1993
- [59] EVARTS, EDWARD V.: **Die Steuerung von Bewegungen durch das Gehirn.** in: *Gehirn und Nervensystem.* a.a.O., S.152-158
- [60] **Evolution.** Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen. Heidelberg ⁷1988
- [61] FALLETTA, NICHOLAS: **Paradoxon.** München 1985
- [62] FERGUSON, EUGENE S.: **Das innere Auge. Von der Kunst des Ingenieurs.** Basel Boston Berlin 1993
- [63] FELDMANN, KLAUS (HRSG.): **atp-Sonderheft Fertigungsautomatisierung.** München 1987
- [64] - (HRSG.): **Skripte zur Vorlesung "Produktionssysteme in der Elektronik".** Universität Erlangen-Nürnberg 1990/91

- [65] - : **Ziele, Aufbau und Arbeitsweise des Kooperationsprojektes PAP.** aus: Fachtagung Rechnerintegrierte Produktionssysteme, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 27.-28.10.1989, S.29-41
- [66] **FICHMAN, ROBERT G.; KEMERER, CHRIS F.:** Object-Oriented and Conventional Analysis and Design Methodologies. Comparison and Critique. in: IEEE COMPUTER October 1992, S.22-39
- [67] **FISCHER, ERNST PETER (HRSG.): Mannheimer Forum 90/91.** München 1991
- [68] - (HRSG.): **Mannheimer Gespräche. Auf der Suche nach der verlorenen Sicherheit.** München 1991
- [69] **FÖLL, H.; BECKER, FRANK S.:** Industrielle Entwicklung und Fertigung von Halbleiterbauelementen. in: KFA Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Festkörperforschung, Festkörperforschung für die Informatik, März 1990
- [70] **FOX, ROBIN:** The Evolution of Mind. An Anthropological Approach. in: Journal of Anthropological Research, Volume 35, Number 1, New Mexico (USA) Spring 1979
- [71] **FRANK, MANFRED:** Zeitbewußtsein. Pfullingen 1990
- [72] **FREEMAN, WALTER J.:** Physiologie und Simulation der Geruchswahrnehmung. in: Spektrum der Wissenschaft, April 04/1991
- [73] **FULDA, FRIEDRICH; HENRICH, DIETER (HRSG.): Materialien zu Hegels >Phänomenologie des Geistes<.** Frankfurt am Main ⁸1992
- [74] **FURTH, HANS G.:** Intelligenz und Erkennen. Die Grundlagen der genetischen Erkenntnistheorie Piagets. Frankfurt am Main ²1981
- [75] **GADAMER, HANS-GEORG; VOGLER, PAUL (HRSG.): Neue Anthropologie. Band 1 & 2. Biologische Anthropologie. Erster & zweiter Teil.** Stuttgart 1972
- [76] **GARDNER, HOWARD:** Dem Denken auf der Spur. Der Weg der Kognitionswissenschaft. Stuttgart 1989
- [77] **GAZZANGIA, MICHAEL S.:** Das interpretierende Gehirn. in: Klivington, K. A.: a.a.O.
- [78] **Gehirn und Nervensystem.** Heidelberg ⁹1988, S.152-158
- [79] **Gehirn und Kognition.** mit einer Einführung von Wolf Singer, Heidelberg 1990
- [80] **GEHLEN, ARNOLD:** Anthropologische und sozialpsychologische Untersuchungen. Reinbek bei Hamburg 1986
- [81] - : **Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt.** Wiesbaden ¹³1986

- [82] - : **Urmensch und Spätkultur**. Philosophische Ergebnisse und Aussagen. Wiesbaden ⁵1986
- [83] **GEITNER, UWE W. (HRSG.): CIM Handbuch. Wirtschaftlichkeit durch Integration**. Braunschweig 1987
- [84] **GESCHWIND, NORMAN: Die Großhirnrinde**. in: Gehirn und Nervensystem ... a.a.O.
- [85] **GITT, WERNER: Information - die dritte Grundgröße neben Materie und Energie**. in: Siemens-Zeitschrift 4 1989, S.4-9
- [86] **GOETHE, JOHANN WOLFGANG VON: Faust. Der Tragödie erster Teil**. in: Hamburger Ausgabe (Hrsg.: Trunz, Erich), Bd. 3, München ¹³1986, S.44
- [87] - : **Wilhelm Meisters Wanderjahre oder die Entsagenden**. in: a.a.O., Bd. 8, München ¹¹1982
- [88] - : **Maximen und Reflexionen**. in: a.a.O., Bd.12, München ¹⁰1982
- [89] **GOLDMAN-RAKIC, PATRICIA S.: Das Arbeitsgedächtnis**. in: Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992, S.94
- [90] **GRAS, ALAIN; JOERGES, BERNARD; SCARDIGLI, VICTOR: Sociologie des techniques de la vie quotidienne**. Paris 1992
- [91] **GROH, DIETER: Anthropologische Dimensionen der Geschichte**. Frankfurt am Main 1992
- [92] **GRONEMEYER, MARIANNE: "Gebraucht der Zeit, sie geht so schnell von hinnen ... " Das Leben als letzte Gelegenheit**. in: Goldegger Dialoge, Tagungsband 1993: ZEIT-Erleben zwischen Hektik und Müßiggang.
- [93] **HAEFFNER, GERD: Philosophische Anthropologie**. Stuttgart ²1989
- [94] **HALLPIKE, CHRISTOPHER R.: Die Grundlagen primitiven Denkens**. München 1990
- [95] **HAWKINGS, STEPHEN W.: Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Urkraft des Universums**. Reinbek bei Hamburg 1991
- [96] - : **Einsteins Traum. Expeditionen an die Grenzen der Raumzeit**. Reinbek bei Hamburg 1993
- [97] **HAYASHI, TAKESHI: Zum Verhältnis von Technik und Kultur in Japan**. in: Barloewen, Constatin von u.a., a.a.O., Band 2
- [98] **HEGEL, GEORG WILHELM FRIEDRICH: Phänomenologie des Geistes**. (1807) Frankfurt am Main ³1991

- [99] HEIDEGGER, MARTIN: *Die Frage nach der Technik*. in: ders.: *Die Technik und die Kehre*. a.a.O.
- [100] - : *Die Technik und die Kehre*. Tübingen, ⁸1991
- [101] - : *Sein und Zeit*. Tübingen ¹⁶1986
- [102] HERMANN, ARMIN U. SCHÖNBECK, CHARLOTTE (HRSG.): *Technik und Wissenschaft*. Düsseldorf 1991
- [103] HOFFMAN, ERNST THEODOR AMADEUS: *Die Automate*. in: ders.: *Werke in vier Bänden*, Bd. III, Salzburg 1980
- [104] HÜBEL, CH.; PAUL, R.; SUTTER, B.: *Technische Modellierung und DB-gestützte Datenhaltung - ein Ansatz für ein durchgängiges, integriertes Produktmodell*. in: *Forschungsbericht*, Universität Kaiserslautern, Zentrum Rechnergestützte Ingenieursysteme, 6 1989, S.1-30
- [105] HUBKA, VLADIMIR (HRSG.): *Proceedings of ICED 91*. Zürich 1991
- [106] HUIZINGA, JOHAN: *Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel*. Hamburg 1991
- [107] HUNING, ALOIS; MITCHAM, CARL (HRSG.): *Technikphilosophie im Zeitalter der Informationstechnik*. Braunschweig Wiesbaden 1986
- [108] IIDA, KENICHI: *Die Japaner und das Eisen*. in: Barloewen, Constatin von ... Band 2
- [109] IRRGANG, BERNHARD; KLAWITTER, JÖRG (HRSG.): *Künstliche Intelligenz*. Stuttgart 1990
- [110] - : *Künstliche Intelligenz. Technologischer Traum oder gesellschaftliches Trauma?* in: dieselben (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz*. a.a.O.
- [111] JAYNES, JULIAN: *Der Ursprung des Bewußtseins*. Reinbek bei Hamburg 1993
- [112] JISCHA, MICHAEL F.: *Herausforderung Zukunft. Technischer Fortschritt und ökologische Perspektiven*. Heidelberg Berlin Oxford 1993
- [113] JOHNSON-LAIRD, PHILIP N.: *A computational analysis of consciousness*. in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O.
- [114] JOHNSON-LAIRD, PHILIP N.; OATLEY, KEITH: *Basic Emotions, Rationality, and Folk Theory*. in: *Cognition and Emotion*, East Sussex UK 1992, 6 (3/4)
- [115] JONAS, HANS: *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Frankfurt am Main 1979
- [116] KANT, IMMANUEL: *Anthropologie in pragmatischer Hinsicht*. in: ders.: *Schriften ... 2*, a.a.O.

- [117] - (HRSG.: WEISCHEDEL, WILHELM): **Kritik der praktischen Vernunft. Grundlegung zur Metaphysik der Sitten.** Frankfurt am Main ⁶1982
- [118] - (HRSG.: WEISCHEDEL, WILHELM): **Kritik der Urteilskraft.** Frankfurt am Main 1974
- [119] - : **Mutmaßlicher Anfang der Menschheitsgeschichte.** in: ders.: Schriften zur Anthropologie ... 1, a.a.O.
- [120] - (HRSG.: WEISCHEDEL, WILHELM): **Schriften zur Anthropologie, Geschichtsphilosophie, Politik und Pädagogik 1.** ⁹1991
- [121] - (HRSG.: WEISCHEDEL, WILHELM): **Schriften zur Anthropologie, Geschichtsphilosophie, Politik und Pädagogik 2.** ⁸1991
- [122] - : **Über den Gemeinspruch: das mag in der Theorie richtig sein, taugt aber nicht für die Praxis.** in: ders.: Schriften ... 1, a.a.O.
- [123] KANTOWITZ, BARRY H.; SORKIN, ROBERT D.: **Human factors.** Understanding People - System Relationships. USA 1983
- [124] KEMKE, C.: **Der Neuere Konnektionismus. Ein Überblick.** Informatik-Spektrum (1988) 11, S.143-62
- [125] KIMURA, DOREEN: **Weibliches und männliches Gehirn.** in: Spektrum der Wissenschaft, November 11/1992, S.104-13
- [126] KIMURA, DOREEN; ARCHIBALD, YVONNE: **Motor functions of the left hemisphere.** in: Brain (1974) 97, S.337-50
- [127] KINSBOURNE, MARCEL: **Integrated field theory of consciousness.** in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O.
- [128] KLIVINGTON, KENNETH A.: **Gehirn und Geist.** Heidelberg Berlin New York 1992
- [129] KNUßMANN, RAINER: **Vergleichende Biologie des Menschen. Ein Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik.** Stuttgart 1980
- [130] KRÄMER, SYBILLE: **Die Entstehung der Künstlichen Intelligenz aus dem Geist der Schrift.** Berlin 1990 [unveröffentlichtes Manuskript]
- [131] KRAUSE, F.L.; ARMBRUST, P.; BIENERT, M.: **Methodbases and Product Models as a Basis for Integrated Design and Manufacturing.** in: Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 4, No. 1/2, UK 1988, S.33-40

- [132] **KRAUSE, FRANK-LOTHAR; SCHLINGHEIDER, J.:** Entwickeln und Konstruieren mit wissensbasierten Softwarewerkzeugen - ein Überblick. in: Jahrbuch 92 VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Düsseldorf 1992
- [133] **KUHN, THOMAS S.:** Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt am Main ¹⁰1989
- [134] **KÜPPERS, BERND-OLAF:** Ordnung aus dem Chaos. Prinzipien der Selbstorganisation und Evolution des Lebens. München 1987
- [135] **- :** Der Ursprung biologischer Information. Zur Naturphilosophie der Lebensentstehung. München Zürich ²1990
- [136] **KURLAND, JEFFREY A.; BECKERMANN, STEPHEN J.:** Optimal Foraging and Hominid Evolution: Labor and Reciprocity. in: American Anthropologist, 87 1985
- [137] **LA METTRIE, JULIEN OFFRAY DE:** Der Mensch als Maschine. [aus d. Franz. übers. u. mit einem Essay von Bernd A. Laska] Nürnberg ²1988
- [138] **LANDWEHRMANN, FR.:** Automation. in: Ritter, Joachim (Hrsg.): Historisches Wörterbuch der Philosophie. Basel Stuttgart 1980, Sp.698
- [139] **LENK, HANS:** Über Verantwortungsbegriffe und das Verantwortungsproblem in der Technik. in: Lenk, Hans; Ropohl, Günter (Hrsg.): Technik und Ethik. a.a.O.
- [140] **LENK, HANS; POSER, H. (HRSG.):** Neue Realitäten - Herausforderung der Philosophie. Berlin 1994
- [141] **LENK, HANS; ROPOHL, GÜNTER (HRSG.):** Technik und Ethik. Stuttgart 1987
- [142] **LENNEBER, ERIC H.:** Sprache im Lichte der Evolution. in: Scherer, K. R. u.a., a.a.O.
- [143] **LEROI-GOURHAN, ANDRÉ:** Hand und Wort. Die Evolution von Technik, Sprache und Kunst. Frankfurt am Main 1988
- [144] **LÉVI-STRAUSS:** Strukturele Anthropologie I. Frankfurt am Main 1977
- [145] **LEWIN, ROGER:** Spuren der Menschwerdung. Die Evolution des Homo sapiens. Heidelberg 1992
- [146] **LINSER, JÖRG:** Unser Auto- eine geplante Fehlkonstruktion? (Fischer TB) Frankfurt am Main
- [147] **LORENZ, KUNO:** Einführung in die philosophische Anthropologie. Darmstadt 1990
- [148] **LORENZ, KONRAD (HRSG.): EIBL-EIBESFELDT, IRENAUS:** Das Wirkungsgefüge der Natur und das Schicksal des Menschen. München ⁶1990

- [149] - : **Das sogenannte Böse. Zur Naturgeschichte der Aggression.** München ¹⁷1983
- [150] - : **Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens.** München ⁸1985
- [151] - : **Der Abbau des Menschlichen.** München ⁴1986
- [152] - : **Gestaltwahrnehmung als Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis.** in: ders.: Über tierisches und menschliches Verhalten. Bd.2. a.a.O., S.255-300
- [153] - (HRSG.: EIBL-EIBESFELDT, IRENÄUS): **Kants Lehre vom Apriorischen im Lichte gegenwärtiger Biologie.** in: ders.: Das Wirkungsgefüge der Natur ... a.a.O.
- [154] - : **Psychologie und Stammesgeschichte.** in: ders.: Über tierisches und menschliches Verhalten. a.a.O.
- [155] - : **Über tierisches und menschliches Verhalten. Aus dem Werdegang der Verhaltenslehre. Gesammelte Abhandlungen Band II.** München ¹⁴1988, S.255-300
- [156] LÜBBE, HERMANN: **Die schwarze Wand der Zukunft.** in: Fischer, Ernst Peter (Hrsg.): Mannheimer Gespräche. a.a.O.
- [157] LUFT, ALFRED LOTHAR: **Informatik als Technikwissenschaft. Thesen zur Informatik-Entwicklung.** in: Informatik-Spektrum Bd. 12 Heft 5 1989, S.167-273
- [158] LUHN, GERHARD: **Systemtechnik und CIM-Konzeption. Automatisierung der Mikroelektronik-Produktion.** in: Feldmann, Klaus (Hrsg.): Skripte zur Vorlesung "Produktionssysteme in der Elektronik" a.a.O.
- [159] - : **Technologie und Produktionsverfahren der Mikroelektronik.** in: Feldmann, Klaus: Skripte zur Vorlesung "Produktionssysteme in der Elektronik", a.a.O.
- [160] LUHN, GERHARD; VON DER WETH, RÜDIGER: **Abstraction and Experience. Engineering Design and Anthropological Technology** in: Hubka, Vladimir (Hrsg.): Proceedings INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN ICED 99 MUNICH, AUGUST 24-26, 1999
- [161] LURIJA, ALEXANDER R.: **Der Mann, dessen Welt in Scherben ging. Zwei neurologische Geschichten.** Reinbek bei Hamburg 1992
- [120] MALTER, RUDOLF (HRSG.): **Kleines Schopenhauer-Brevier.** Gedanken aus dem handschriftlichen Nachlaß. Frankfurt am Main ²1988
- [163] MARCEL, ANTHONY J.; BISLACH, EDOARDO (ED.): **Consciousness in Contemporary Science.** Oxford 1988

- [164] MARCEL, ANTHONY J.: **Phenomenal experience and functionalism.** in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O.
- [165] MARQUARD, ODO: **Anthropologie.** in: Ritter, Joachim (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Bd.1, Basel 1971
- [166] MARTIN, HANS; ROSE, HELMUT: **Computergestützte, erfahrungsgeleitete Arbeit (CeA). Erfahrungswissen sichern statt ausschalten.** aus: *Technische Rundschau* 12/90, S.34-41
- [167] MARTIN, HENNO: **Menschheit auf dem Prüfstand. Einsichten aus 4,5 Mrd. Jahren Erd-, Lebens- und Menschheitsgeschichte.** Berlin Heidelberg 1992
- [168] MATURANA, HUMBERTO R.; VARELA, FRANCISCO J.: **Der Baum der Erkenntnis.** Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens. Bern München 1987
- [169] MAUEL, KURT: **Technisches Wissen in Antike und Mittelalter.** in: Hermann, Armin u. Schönbeck, Charlotte (Hrsg.): a.a.O.
- [170] MEGGLE, GEORG (HRSG.): **Analytische Handlungstheorie. Band 1.** Frankfurt am Main 1985
- [171] MELLEN, SYDNEY L.W.: **The Evolution of Love.** San Francisco (USA) 1981
- [172] METZINGER, THOMAS: **Subjekt und Selbstmodell. Die Perspektivität phänomenalen Bewußtseins vor dem Hintergrund einer naturalistischen Theorie mentaler Repräsentation.** Paderborn 1993
- [173] - : **Bewußtsein.** Langstichwort in: *Wörterbuch der Kognitionswissenschaften.* Stuttgart 1994
- [174] - : **Zeitfenster und die Einheit des Bewußtseins. Der Zusammenhang zwischen phänomenalem Bewußtsein und subsymbolischer Informationsverarbeitung.** in: Lenk, Hans; Poser, H. (Hrsg.): *Neue Realitäten - Herausforderung der Philosophie.* a.a.O.
- [175] MIESBACH, STEFAN; SCHÜRMANN, BERND: **Wenn Roboter arbeiten lernen: Ideen und Methoden der Neuroinformatik zur Regelung und Steuerung.** in: *Informationstechnik* 33 (1991) 6, S.300-09
- [176] MINSKY, MARVIN LEE: **The Society of mind.** New York 1985, 1986
- [177] MISHKIN, MORTIMER; APPENZELLER, TIMOTHY: **Die Anatomie des Gedächtnisses.** in: *Gehirn und Kognition.* a.a.O.
- [178] MÖRIKE, KLAUS D.: **Biologie des Menschen.** Heidelberg ¹²1989

- [179] MÜNCH, DIETER (HRSG.): **Kognitionswissenschaft: Grundlagen, Probleme, Perspektiven.** Frankfurt am Main 1992
- [180] MUMFORD, LEWIS: **Mythos der Maschine. Kultur, Technik und Macht.** Frankfurt am Main 1977
- [181] MURPHY, SHAUN: **Human-Centred CIM Systems.** in: ESPRIT '88: Putting the Technology to Use. Proceedings of the 5th Annual ESPRIT Conference Brussels, Belgium 14-17 Nov. 1988, S.1615-29 vol.2 1988 Amsterdam, Netherlands
- [182] NAUTA, WALLE J.H.; FEIRTAG, MICHAEL: **Neuroanatomie. Eine Einführung.** Heidelberg 1990
- [183] NEUMAIER, OTTO: **Wissen und Gewissen.** Wien 1986
- [184] OATLEY, KEITH: **On changing one's mind.** in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O.
- [185] OELMÜLLER, WILLI; DÖLLE-OELMÜLLER, RUTH; GEYER, CARL-FRIEDRICH: **Philosophische Arbeitsbücher 7. Diskus: Mensch.** Paderborn 1985
- [186] OESER, ERHARD; SEITELBERGER, FRANZ: **Gehirn, Bewußtsein und Erkenntnis.** Darmstadt 1988
- [187] ORNSTEIN, ROBERT; THOMSON, RICHARD F.: **Unser Gehirn: das lebendige Labyrinth.** Reinbek bei Hamburg 1993
- [188] PAHL, GERHARD; BEITZ, WOLFGANG: **Konstruktionslehre. Handbuch für Studium und Praxis.** Berlin - Heidelberg - New York 1977
- [189] PALM, GÜNTHER: **Assoziatives Gedächtnis und Gehirntheorie.** in: Gehirn und Kognition. Heidelberg 1991 S.164-74
- [190] PASEMANN, KLAUS: **Ein neuartiger Ansatz für die Integration Produktdefinierender Daten.** Braunschweig 1988
- [191] PERRIG, WALTER J.: **Vorstellungen und Gedächtnis.** Berlin Heidelberg 1988
- [192] PIAGET, JEAN: **Assimilation und senso-motorische Erkenntnis...** in: Furth, Hans G.: a.a.O.
- [193] - : **Biologie und Erkenntnis. Über die Beziehungen zwischen organischen Regulationen und kognitiven Prozessen.** Frankfurt am Main 1983
- [194] - : **Einführung in die genetische Erkenntnistheorie. 4 Vorlesungen.** Frankfurt am Main ⁴1988
- [195] POHL, MANFRED: **Tradition und Moderne in der japanischen Industriegesellschaft.** in: Aus Politik und Zeitgeschichte. Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament. B9-10
- [196] POLANYI, MICHAEL: **Implizites Wissen.** Frankfurt am Main 1985

- [197] PÖPPEL, ERNST: Eine neuropsychologische Definition des Zustands "bewußt", in: ders. (Hrsg.): a.a.O.
- [198] - (HRSG.): *Gehirn und Bewußtsein*. Weinheim 1989
- [199] POPPER, KARL R.; ECCLES, JOHN C.: *Das Ich und sein Gehirn*. München ⁸1989
- [200] POPPER, KARL R.: *Die offene Gesellschaft und ihre Feinde I. Der Zauber Platons*. Tübingen ⁶1980
- [201] - : *Die offene Gesellschaft und ihre Feinde II. Hegel, Marx und die Folgen*. Tübingen ⁶1980
- [202] POPPER, KARL R.; LORENZ, KONRAD: *Die Zukunft ist offen*. Das Altenberger Gespräch. Mit den Texten des Wiener Popper-Symposiums. München ²1985
- [203] PRIGOGINE, ILYA: *Die Wiederentdeckung der Zeit. Naturwissenschaft in einer Welt begrenzter Vorhersagbarkeit*. in: Dürr, Hans-Peter; Zimmerli, Walther Ch. (Hrsg.): a.a.O.
- [204] PRITSCHOW, G.; SPUR, G.; WECK, M.: *Künstliche Intelligenz in der Fertigungstechnik*. München Wien 1989
- [205] QUEISSER, HANS: *Kristallene Krisen. Mikroelektronik - Wege der Forschung, Kampf um Märkte*. München ²1987
- [206] RAPOPORT, ANATOL: *Allgemeine Systemtheorie. Wesentliche Begriffe und Anwendungen*. Darmstadt 1988
- [207] RAPP, FRIEDRICH: *Analytische Technikphilosophie*. Freiburg München 1978
- [208] RAPP, FRIEDRICH (HRSG.): *Technik und Philosophie*. Düsseldorf 1990
- [209] REICHHOLF, JOSEF H.: *Das Rätsel der Menschwerdung. Die Entstehung des Menschen im Wechselspiel mit der Natur*. Stuttgart ²1990
- [210] RENSCH, BERNHARD: *Das universale Weltbild. Evolution und Naturphilosophie*. ²1991
- [211] RENTSCHLER, INGO: *Weltbilder der Kunst - Erscheinungsformen der Wirklichkeit*. in: Dürr, Hans-Peter; Zimmerli, Walther Ch.: a.a.O.
- [212] RIEDL, RUPERT: *Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft*. München 1988
- [213] RIEGAS, VOLKER; VETTER, CHRISTIAN (HRSG.): *Zur Biologie der Kognition*. Ein Gespräch mit Humberto R. Maturana und Beiträge zur Diskussion seines Werkes. Frankfurt am Main 1990

- [214] **RIESENHUBER, HEINZ:** Forschungsprojekt Jessi ist auf dem richtigen Weg. in: *Mikroelektronik* Bd.3 (1989) Heft 2, S.54-55
- [215] **ROPOHL, GÜNTER:** *Die unvollkommene Technik.* Frankfurt am Main 1985
- [216] - : *Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie.* München Wien 1979
- [217] - : *Flexible Fertigungssysteme. Zur Automatisierung der Serienfertigung.* Mainz 1971
- [218] - : *Neue Wege, die Technik zu verantworten.* in: Lenk, Hans; Ropohl, Günter (Hrsg.): *Technik und Ethik.* a.a.O.
- [219] - : *System und Methode. Die neue Philosophie im technischen Handeln.* in: Hubka, Vladimir (Hrsg.): *Proceedings of ICED 91.* Zürich 1991, Volume 1, S.210
- [220] - : *Technologische Aufklärung. Beiträge zur Technikphilosophie.* Frankfurt am Main 1991
- [221] - : *Das Risiko im Prinzip Verantwortung.* in: Sonderdruck *ETHIK UND SOZIALWISSENSCHAFTEN.* Streitforum für Erwägungskultur. EuS 5 (1994) Heft 1
- [222] **ROSE, HELMUT:** *Ressource Mensch in der Produktion. Die Wiederentdeckung der praktischen Erfahrung als notwendiger Ergänzung theoretisch fundierten Wissen.* aus: *VDI-Z* 132 (1990) Nr.12, S.12-16
- [223] **ROSENBLATT, FRANK:** Two theorems of statistical separability in the perceptron. (1959) zit.n.: Rumelhart, David E.; Zipser, David: a.a.O., S.80
- [224] **RÖSSNER, HANS (HRSG.):** *Reproduktion des Menschen. Beiträge zu einer interdisziplinären Anthropologie.* Frankfurt am Main Wien 1981 S.301-20
- [225] **ROTH, GERHARD:** *Neuronale Grundlagen des Lernens und des Gedächtnisses.* in: Schmidt, Siegfried J. (Hrsg.): a.a.O., S.127-158
- [226] **RÜCHARDT, HUGO:** *VLSI-Design-Scenario.* in: Sonderdruck aus *>>ntz<<*, Band 37 (1987), Heft 11
- [227] **RUMELHART, DAVID E.; ZIPSER, DAVID:** *Feature Discovery by Competitive Learning.* in: Waltz, David L. (Hrsg.): a.a.O.
- [228] **RYLE, GILBERT:** *Knowing How and Knowing That.* in: *Proceedings of the Aristotelian Society* 46 (1946)
- [229] **SABLOFF, JEREMY A.:** *Die Maya. Archäologie einer Hochkultur.* Heidelberg 1991

- [230] **SACHSSE, HANS:** *Anthropologie der Technik. Ein Beitrag zur Stellung des Menschen in der Welt.* Braunschweig 1978
- [231] **SACKS, OLIVER:** *Der Mann, der seine Frau mit einem Hut verwechselte.* Reinbek bei Hamburg 1990
- [232] **SAGAN, CARL:** *Die Drachen von Eden. Das Wunder der menschlichen Intelligenz.* München Zürich 1978
- [233] **SAGE, LEE; FOX, BOB:** *Human-Integrated Manufacturing.* in: *CIM Review*, Spring 1990, S.41-44
- [234] **SCHELER, MAX:** *Die Stellung des Menschen im Kosmos.* Bern ¹⁰1983, S.64
- [235] **SCHERER, KLAUS R.; STAHNKE, ADELHEID; WINKLER, PAUL (HRSG.):** *Psychobiologie. Wegweisende Texte der Verhaltensforschung von Darwin bis zur Gegenwart.* München 1987
- [236] **SCHMANDT-BESSERAT, DENISE:** *Vom Ursprung der Schrift.* in: *Spektrum der Wissenschaft* Dezember 12/1978, S.12
- [237] **SCHMIDT, SIEGFRIED J. (HRSG.):** *Gedächtnis. Probleme und Perspektiven der interdisziplinären Gedächtnisforschung.* Frankfurt am Main 1991
- [238] **SCHMIDT-BIGGEMANN, W.: Maschine.** in: Ritter, Joachim (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie.* Basel Stuttgart 1980, Sp.790
- [239] **SCHMIEDEL, G.; WINKELMANN, K.: Ein wissensbasiertes Diagnosesystem in der Halbleiterfertigung.** in: *KI 3/89 (GI)*, Oldenburg 1989
- [240] **SCHNELLE, H.: Automat.** in: *Historisches Wörterbuch der Philosophie.* a.a.O., Sp.695ff
- [241] **SCHNUPP, PETER; LEIBRANDT, UTE:** *Expertensysteme - nicht nur für Informatiker.* Berlin Heidelberg New York 1986
- [242] **SCHOPENHAUER, ARTHUR (HRSG.: LÖHNESEN, WOLFGANG FRHR. VON):** *Die Welt als Wille und Vorstellung. Bd. 1.* Frankfurt am Main ³1991
- [243] **- (HRSG.: LÖHNESEN, WOLFGANG FRHR. VON):** *Die Welt als Wille und Vorstellung. Bd. 2.* Frankfurt am Main ²1989
- [244] **- :** *Preisschrift über die Freiheit des Willens.* (1839) in: Frischeisen-Köhler, M. (Hrsg.): *Schopenhauers Werke.* Berlin

- [245] - (HRSG.: SPIERLING, VOLKER): **Theorie des gesamten Vorstellens, Denkens und Erkennens.** München 1986
- [246] SCHULTEN, KLAUS: **Ordnung aus Chaos, Vernunft aus Zufall.** in: Küppers, Bernd-Olaf: **Ordnung aus dem Chaos. Prinzipien der Selbstorganisation und Evolution des Lebens.** München 1987
- [247] SEARLE, JOHN R.: **Geist, Hirn und Wissenschaft. Die Reith Lectures 1984.** Frankfurt am Main 1986
- [248] SEMATECH CIM Framework. Austin USA 1997
- [249] SHALLICE, TIM: **Information-processing models of consciousness: possibilities and problems.** in: Marcel, Anthony J.; Bisiach, Edoardo (Ed.): a.a.O., S.305-33
- [250] SIEFERLE, ROLF PETER: **Der unterirdische Wald. Energiekrise und industrielle Revolution.** München 1982
- [251] SINGER, WOLF: **Das Gehirn: Ein biologisches Lernsystem, das sich selbst organisiert.** in: Klivington, K.E.: a.a.O.
- [252] - : **Hirnentwicklung und Umwelt.** in: *Gehirn und Kognition.* a.a.O.
- [253] - : **Zur Selbstorganisation kognitiver Strukturen.** in: Pöppel, Ernst (Hrsg.): a.a.O.
- [254] SIMONS, ELWYN L.: **Human Origins.** in: *Science*, Volume 252, Number 5014, Washington (USA), 28 June 1991, S.1344
- [255] SKOLIMOWSKI, HENRYK: **The Structure of Thinking in Technology.** in: *Technology and Culture*, Heft 3, Vol. VII (1966), S.371-383
- [256] SPIERLING, VOLKER (HRSG.): **Materialien zu Schopenhauers >Die Welt als Wille und Vorstellung<.** Frankfurt am Main 1984
- [257] SPRINGER, SALLY P.; DEUTSCH, GEORG: **Linkes - rechtes Gehirn. Funktionelle Asymmetrien.** Heidelberg ³1990
- [258] SPUR, GÜNTER: **Produktionstechnik im Wandel.** München Wien 1979
- [259] - : **Produktionstechnik im Wandel.** München Wien 1979
- [260] - : **Entwicklungslinien der Fertigungsautomatisierung.** in: *atp-Sonderheft Fertigungsautomatisierung.* a.a.O., S.4-10
- [261] SPUR, GÜNTER; FELDMANN, KLAUS; MATHES, H.: **Entwicklungsstand integrierter Fertigungssysteme.** in: *Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung* 68 (1973) Heft 5

- [262] SPUR, GÜNTER; KRAUSE, FRANK LOTHAR: CAD-Technik. Carl Hanser 1984
- [263] STACHOWIAK, HERBERT: Allgemeine Modelltheorie. Wien New York 1973
- [264] STEGMÜLLER, WOLFGANG: Hauptströmungen der Gegenwarts-Philosophie. Band I. Stuttgart⁷1989
- [265] - : Hauptströmungen der Gegenwarts-Philosophie. Band II. Stuttgart⁸1987
- [266] - : Hauptströmungen der Gegenwarts-Philosophie. Band III. Stuttgart⁷1986
- [267] STEINBUCH, KARL: Automat und Mensch. Auf dem Weg zu einer kybernetischen Anthropologie. Heidelberg⁴1971
- [268] STRINGER, CHRISTOPHER B.: Die Herkunft des anatomisch modernen Menschen. in: Spektrum der Wissenschaft, Februar 1991
- [269] STROMBACH, WERNER: Anthropologische Fragen zur Informationstechnologie. in: 7. Int. Kongress. Datenverarbeitung im europäischen Raum. Informationstechnologie / Realität und Vision. Wien 1984
- [270] TOBIAS, P.V.: The brain of *Homo habilis*. A new level of organization in cerebral evolution. in: Journal of Human Evolution (1987) 16, S.753
- [271] TOTH, NICHOLAS: Archaeological Evidence for Preferential Right-handedness in the Lower and Middle Pleistocene, and Its Possible Implications. in: Journal of Human Evolution (1985) 14
- [272] TOTH, NICHOLAS: Die ersten Steinwerkzeuge. in: Spektrum der Wissenschaft, Juni 1987, S.124-34
- [273] TSUNODA, TADANOBU: Hemisphärendominanz bei Japanern und Vertretern westlicher Kulturen. in: Klivington, K.A.: a.a.O.
- [274] VALENTIN, VEIT: Illustrierte Weltgeschichte. Band 1 - 4. Köln 1976
- [275] VARELA, FRANCISCO J.: Kognitionswissenschaft - Kognitionstechnik. Eine Skizze aktueller Perspektiven. Frankfurt am Main 1990
- [276] VESTER, FREDERIC: Das kybernetische Zeitalter. Frankfurt am Main 1974
- [277] VESTER, FREDERIC: Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. (1984) München⁷1991
- [278] VIAN, BORIS: Der Schaum der Tage. Frankfurt am Main¹⁹1985

- [279] **VOLLMER, GERHARD:** **Evolutionäre Erkenntnistheorie.** Angeborene Erkenntnisstrukturen im Kontext von Biologie, Psychologie, Linguistik, Philosophie und Wissenschaftstheorie. Stuttgart⁵1990
- [280] - : **Paradoxien und Antinomien. Stolpersteine auf dem Weg zur Wahrheit.** in: Naturwissenschaften 77, 1990
- [281] - : **Was können wir wissen? Band 1. Die Natur der Erkenntnis.** Stuttgart 1985
- [282] - : **Was können wir wissen? Band 2. Die Erkenntnis der Natur.** Stuttgart 1986
- [283] **VOLPERT, WALTER:** **Computer und Denken. Machen wir uns selbst zu Maschinen?** in: 7. Int. Kongress. Datenverarbeitung im europäischen Raum. Informationstechnologie / Realität und Vision. Wien 1984
- [284] **VORNDRAN, EDGAR P.:** **Entwicklungsgeschichte des Computers.** Mit einem Geleitwort von Konrad Zuse. Berlin Offenbach²1986
- [285] **WALLER, SIEGFRIED:** **Die automatisierte Fabrik.** aus: Sonderdruck aus "VDI-Zeitschrift", 125. Jahrgang, Heft 20/1983, S.838-42
- [286] **WALTZ, DAVID L. (HRSG.):** **Cognitive Science, incorporating the journal Cognition and Brain Theory. Special Issue: Connectionist Models and their Applications.** Volume 9, Number 1, New Jersey, USA 1985
- [287] **WALTZ, DAVID L.; POLLACK, JORDAN B.:** **Massively Parallel Parsing: A Strongly Interactive Model of Natural Language Interpretation.** in: Waltz, David L.: a.a.O.
- [288] **WARNECKE, HANS JOACHIM:** **Die fraktale Fabrik.** VDI-Verlag 1994
- [289] **WASHBURN, SHERWOOD L.:** **Die Evolution des Menschen.** in: Evolution... a.a.O.
- [290] **WATZLAWICK, PAUL:** **Wie wirklich ist die Wirklichkeit? Wahn · Täuschung · Verstehen.** München¹³1985
- [291] - : **Die erfundene Wirklichkeit.** Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus. München⁴1986
- [292] **WEDEKIND HARTMUT:** **Die Problematik des Computer Integrated Manufacturing (CIM) - Zu den Grundlagen eines strapazierten Begriffes -.** in: Arbeitsberichte, Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung (Informatik), 1988
- [293] **WEINERTH, HANS:** **Grundkonsens über den Stellenwert der Mikroelektronik tut not.** in: Mikroelektronik Band 2 (1988) Heft 3

- [294] WEIZSÄCKER, CARL FRIEDRICH VON: Der Garten des Menschlichen. Beiträge zur geschichtlichen Anthropologie. München 1977
- [295] - : Die Tragweite der Wissenschaft. Stuttgart 1990
- [296] - : Die Zeit drängt. Das Ende der Geduld. München 1989
- [297] - : Wahrnehmung der Neuzeit. München ²1986
- [298] WEIZSÄCKER, RICHARD VON: Außenpolitik muß heute Erdpolitik sein. in: DIE ZEIT Nr.50, 10.12.1993, S.6
- [299] WIENER, NORBERT: Kybernetik. Reinbek bei Hamburg 1968
- [300] WILLS, CHRISTOPHER: Das vorausseilende Gehirn. Die Evolution der menschlichen Sonderstellung. Frankfurt am Main 1996
- [301] WINOGRAD, TERRY; FLORES, FERNANDO: Erkenntnis Maschinen Verstehen. Zur Neugestaltung von Computersystemen. Berlin ²1992
- [302] WINSON, JONATHAN: Brain and Psyche: The Biology of the Unconscious. Doubleday (USA), 1985
- [303] WINSON, JONATHAN: Neurobiologie des Träumens. in: Spektrum der Wissenschaft, Januar 01/1991
- [304] WOMAK, JAMES P.; JONES, DANIEL T.; ROOS, DANIEL: Die zweite Revolution in der Autoindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie aus dem Massachusetts Institute of Technology. Frankfurt ⁵1992
- [305] WUKETITS, FRANZ M.: Jenseits von Zufall und Notwendigkeit. Biologische und kulturelle Evolution des Menschen. Basel 1988
- [306] WYNN, THOMAS: The Evolution of Spatial Competence. Illinois Studies in Anthropology. Urbana and Chicago 1989
- [307] YOSHIO, SUNOBE: Spitzentechnologie. aus: Japan im Spiegel, International Society for Education Information, Code-Nr. 05309-0190, Tokyo 1990
- [308] ZIMMER, DIETER E.: So kommt der Mensch zur Sprache. Über Spracherwerb, Sprachentstehung und Sprache & Denken. Zürich 1988
- [309] ZÖRNTLEIN, GEORG: Flexible Fertigungssysteme. Belegung, Steuerung, Datenorganisation. München Wien 1987

LEBENS LAUF

Gerhard Luhn
geboren am 28. März 1959 in Gießen
verheiratet, zwei Kinder

Schulbildung: 1965 - 1968 Volksschule Kesselbach
1968 - 1970 Mittelpunktschule Lumdatal (Förderstufe)
1970 - 1977 Gesamtschule Grünberg (gymnasialer Zweig)
Abschluß: Abitur

Studium: Von 1977 bis 1984 Studium des Maschinenbaus an der Technischen Hochschule Darmstadt, Diplomarbeit im Fachgebiet Höhere Konstruktionslehre mit Schwerpunkt CAD-Software-Entwicklung
Diplomprüfung am 12. Dezember 1984
Abschluß: Diplom
Von 1981 bis 1988 Gasthörer an philosophischen Seminaren der Universitäten Darmstadt (TH), Gießen, Heidelberg, München (TU)
Themen: Philosophische Anthropologie, Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie, Künstliche Intelligenz, Ethik und Technik

Zivildienst: Von 1985 bis 1987 Zivildienst im Zentrallabor der Chirurgischen Universitätsklinik Heidelberg

Berufstätigkeiten: In der Zeit von 1980 bis 1982 studentische Hilfskraft am Institut für Werkstoffkunde der Technischen Hochschule Darmstadt
Von 1983 bis 1985 Praktikant und freier Mitarbeiter in einem Software- und Systemhaus
Von 1987 bis heute Mitarbeiter der Siemens AG im Bereich Halbleiter:
- Im Rahmen des europäischen JESSI-Programms Leiter eines gemeinsamen Projektes zwischen dem Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen und der Siemens AG
- Ingenieur für Automatisierung in der Mikroelektronikproduktion in München (Leitung von Projekten in München, Villach, Regensburg)
- Auslandstätigkeit: 3 Jahre „Ingénieur Expert en Automation“ bei der Siemens S.A. Frankreich in Corbeil-Essonnes / Paris (Siemens-IBM)
- Seit 1994 Mitarbeiter und seit 1995 Leiter der Gruppe CAM / Zellenautomatisierung des Siemens Microelectronics Center Dresden

ISSN 1431-6226
ISBN 3-87525-116-4