

## 1.4 Gehirn, Mustererkennung und Künstliche Intelligenz

- Das menschliche Gehirn

Das Gehirn ist das am höchsten entwickelte Interface/[1/](#), das die Evolution auf unserer Erde hervorgebracht hat. Die Komplexität seiner Strukturen und Prozesse ermöglicht nichtlineares Verhalten, die Generierung einer inneren Welt (Endo-Welt), eine rasche Kommunikation und soziale Interaktion. Das Gehirn des Menschen ist deshalb als Modell für das Verständnis von Komplexität, Nichtlinearer Dynamik, Endophysik und Management von fundamentaler Bedeutung. Insofern ist es eine entscheidende Aufgabe der Gehirnforschung, die 'Sprache' des Gehirns/[2/](#) zu verstehen und diese unserem Wortschatz anzugleichen./[3/](#)

Zwar hat die physiologische Evolution des Menschen - anders als seine kulturelle - nahezu aufgehört, nicht jedoch die Entwicklung des menschlichen Neocortex. Der Neocortex ermöglicht durch Loslösung von der Realität (Abstraktion) die Simulation von Endo-Welten. Die vergleichsweise große Dimensionierung des Gehirns ist Teil der Merkmale, die seine Leistungsfähigkeit ausmachen und zu der außerdem gehören: der aufrechte Gang des Menschen, ein hohes absolutes und relatives Gehirngewicht, eine hohe morphologische und funktionale Differenzierung,

ein hochentwickeltes neuronales Steuerungszentrum und eine starke kommunikative Ausrichtung.<sup>4/</sup>

Es bedarf des menschlichen Gehirns, um über das menschliche Gehirn zu reflektieren.<sup>5/</sup> Das Gehirn nutzt Prozesse, die das Gehirn selbst verändern, jedoch nur soweit wie es dies selber zuläßt. **Minsky** beschrieb das Gehirn folgendermaßen: "Minds are simple what brains do."<sup>6/</sup> Ich halte diesen einfachen Satz für wichtig, denn bevor wir uns über die Funktionsweise des Gehirns Gedanken machen, sollten wir erst einmal verstehen, was das Gehirn eigentlich macht. Wir sehen nicht mit den Sinnesorganen, sondern mit unserem Interface, dem Gehirn, das die besondere Eigenschaft hat, Wirklichkeiten zu erzeugen.

- Eigenschaften des Gehirns

Das vom Neurologen P. **MacLean** entwickelte Konzept der stammesgeschichtlichen Gehirnentwicklung ist heutzutage ebenso überholt, wie die Theorie des rechts- und links- hemisphärischen Gehirns. Es gibt zwar bestimmte Regionen im Cortex, die bei konkreten Anforderungen besonders stark aktiviert werden, es lassen sich jedoch keine Theorien aufrechterhalten, die einzelne kognitive Fähigkeiten ausschließlich mit bestimmten Hirnregionen in Verbindung bringen.<sup>7/</sup> Je nach Problemstellung verkoppeln sich Hirnregionen über das Vernetzungsgefüge ihrer Ein- und Ausgangsfasern mit dem umgebenden Cortex. Die funktionale Konnektivität des Cortex, von dem die meisten Bereiche nur schwach vernetzt sind, hat fluiden Charakter, d.h. es finden ständig Ver- und Entschaltungen statt.<sup>8/</sup> Die Neuronen sind hierbei meist nicht einzeln aktiv, sondern in Verbänden von Nervenzellen. Die fluide Strukturkopplung ermöglicht den Wandel des Nervensystems im Einklang mit dem Wandel des Umfeldes und ermöglicht so das Lernen des Individuums.<sup>9/</sup>

Die Sinneszellen übersetzen das, was außerhalb des Gehirns geschieht, in die Sprache des Gehirns. Diese Sprache setzt sich aus neutralen chemischen und elektrischen Signalen zusammen. Die Neutralität des neuronalen Codes ist analog zur Ununterscheidbarkeit nach Gibbs in der Thermodynamik zu sehen. Diese Ununterscheidbarkeit gibt den Menschen nahezu die gleichen Veranlagungen und Voraussetzungen, mit Ausnahme von Hochbegabten. Unser Gehirn repräsentiert neben den während des Lebens gemachten Erfahrungen auch ein evolutionäres Gedächtnis. Dieses Gedächtnis ist die

Codierung der Zellen durch die DNA, das Gedächtnis der erfolgreichen Evolution.

Ohne das Gedächtnis ist es uns nicht möglich, die Bedeutung des aktuell Wahrgenommenen zu begreifen. Der Begründer der modernen Neurologie, J. H. **Jackson**, entwickelte hierzu die Lehre vom assoziativen Cortex./[10](#)/ Die assoziativen Cortexbereiche/[11](#)/ sind wesentlich beteiligt an den kognitiven Leistungen der Wahrnehmung, der Vorstellung, des Erinnerns und der Handlungsplanung, sind jedoch nicht Sitz dieser Funktionen./[12](#)/ Das Gehirn besitzt kein Gedächtniszentrum, da Gedächtnisinhalte in seiner gesamten "Architektur" gespeichert werden. Die enorme Verschaltung des Cortex ermöglicht diesem als assoziativer Speicher zu wirken, mit dem Vorteil, daß Muster erkannt und entsprechend ergänzt werden können.

Das Hirn als komplexes, selbstreferentielles System kann durch die Nichtlineare Dynamik Neuronaler Netze beschrieben werden. Bei der Ermittlung und Steuerung von Handlungen scheint es den Zufall zu nutzen./[13](#)/ Gehirne sind vor allem "Biologische Neuronale Netzwerke" (BNN), bei denen nicht das einzelne Neuron, sondern die parallel agierenden Neuronen-Ensembles wesentlich für das Verständnis von Komplexität sind./[14](#)/ Es ist die Wechselwirkung mikroskopischer und makroskopischer Ebenen, die das menschliche Bewußtsein erzeugt. BNNs zeigen chaotische Verhaltensmuster, die nicht auf einzelne Teilchen, sondern auf das globale System zurückzuführen sind./[15](#)/

Das menschliche Gehirn ist jedoch aufgrund seiner massiven Parallelverarbeitung bisher jedem künstlichen assoziativen Netzwerk weit überlegen. Die Wiederholung einer Struktur in paralleler Weise ist so wirkungsvoll, weil diese nur wenig Codierungs-Information benötigt./[16](#)/ Darüber hinaus scheint es für das Gehirn geradezu notwendig zu sein, nicht-algorithmische Abläufe für die Problemlösung zu besitzen./[17](#)/ Es sieht so aus, als ob die Neuronenschaltungen im Cortex weitgehend chaotisch sind und daß dort mit Signalen anders umgegangen wird als in anderen Teilen des Gehirns. Dies ermöglicht dem Gehirn ständiges Lernen und Entlernen sowie unvollständige Informationen zu ergänzen./[18](#)/ Lernen kann hierbei als ein Phasenübergang von einem Attraktor zu einem neuen Attraktor (d.h. einem Strukturwandel) aufgefaßt werden, wobei mikroskopische Fluktuationen durch positive Rückkopplung im Rahmen endogener Prozesse makroskopische Muster erzeugen (siehe Kapitel 2.3.3)./19/ Im Cortex gibt es eine riesige Zahl geschlossener Neuronenkreise

mit positiver Rückkopplung, die eine hohe Sensitivität gegenüber den Anfangsbedingungen besitzen.

#### - Aufbau des Gehirns

Das Gehirn der Wirbeltiere gliedert sich in fünf Teile: das verlängerte Mark, das Kleinhirn, das Mittelhirn, das Zwischenhirn sowie das Vorderhirn (Basalkerne und Cortex), wobei der Cortex den stark eingefalteten Neocortex beinhaltet./20/ Das menschliche Gehirn/21/ entspricht in seinem Aufbau dem Gehirn der anderen Wirbeltiere. Gehirn und Rückenmark bilden zusammen das Zentralnervensystem. Beim Menschen ist das Gehirn viel umfangreicher und gefalteter als bei jeder anderen Wirbeltiergruppe. Der gefaltete Neocortex wird als der Sitz von höheren Hirnfunktionen wie Bewußtsein, Wahrnehmung, Denken und Vorstellen gesehen./22/ Durch nichtlineare Kopplung kann das Gehirn ein inneres Modell der Welt erzeugen, bei dem sich das Bewußtsein seiner selbst bewußt ist. Dies bedeutet, daß ein Beobachter, der auf sich selbst blickt, durch dieses Feedback seinen eigenen Zustand beeinflussen kann./23/ Somit ist der Mensch zur Bildung hochkomplexer Endo-Modelle fähig und in der Lage, sich beliebige zukünftige Welten auszudenken, auch solche, die physikalischen Gesetzen widersprechen, wie dies der Künstler M. C. **Escher** in seinen phantastischen Bildern (siehe Vorwort des Autors) verdeutlichte.

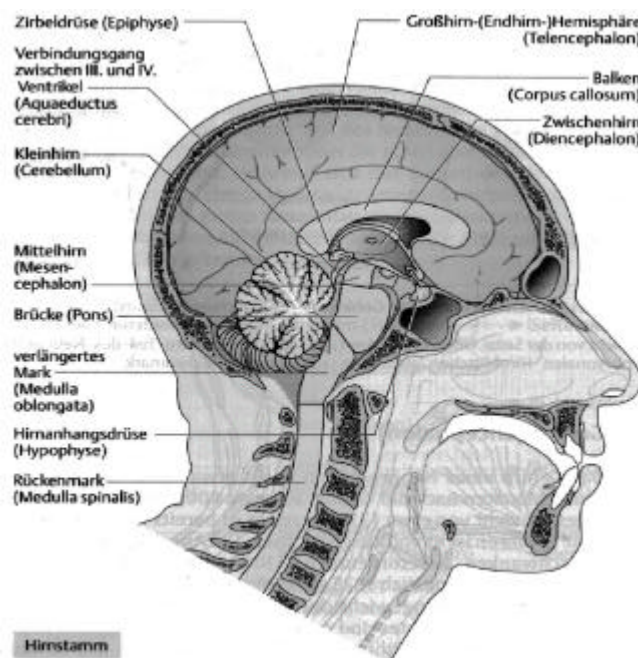


Abb. 1.25: Aufbau des menschlichen Gehirns/24/

Die Verbindungen im Gehirn scheinen eine klare geometrische und topologische Struktur zu besitzen./25/ Auch besitzt das menschliche Gehirn eine gewisse Plastizität, so daß unterschiedliche Gehirnbereiche oft für die Repräsentation der gleichen Art von Wissen verwendet werden können. Im Gehirn herrscht ein hohes Maß an Redundanz vor, so daß der Ausfall keines einzigen Neurons kritisch wäre (siehe Kapitel 1.2)./26/ Neuronale Strukturen erzeugen eine dynamische Ordnung fern vom Gleichgewicht. Mittels dieser Strukturen sind wir in der Lage verschiedene Zustände wahrzunehmen, sei es im Traum, in der Realität oder in Virtuellen Realitäten. Neuronale Vernetzung wird somit zu einer Grundvoraussetzung für die Simulation, die uns ein Fenster in unsere Endo-Welt eröffnet.

- Nervenzellen

Der Begriff des Neurons wurde 1891 von **Waley** eingeführt und durch den spanischen Neurobiologen **Ramon y Cajal** endgültig etabliert/27/. Cajal stellte den Grundsatz auf, daß Nervenzellen/28/ polar funktionieren, d.h. daß ihre Signale immer nur in eine Richtung fortleiten./29/ Das menschliche Gehirn enthält circa 1011 Nervenzellen/30/, wovon sich 1010 im Neocortex befinden und jede Nervenzelle mit mehreren Tausend anderen Nervenzellen verknüpft ist. Bei  $n$  Neuronen und den möglichen Aktivierungszuständen 0 und 1 ergeben sich  $N = 2 \cdot n^2$  mögliche Netze im Gehirn,/31/ und die Varietät des menschlichen Gehirns besteht aus der unvorstellbaren Zahl von  $2^{10^{10}}$  Zuständen./32/ Neuronen kommunizieren über spezifische elektrische Impulse miteinander, wobei diese nicht direkt mit der Umwelt in Kontakt treten können, sondern nur über Sinnesrezeptoren./33/34/

Verbindungsstellen, die oft benutzt werden, stabilisieren sich, während sich nicht benutzte Verbindungen zurückbilden. Das Gehirn ist kein festverdrahtetes System, vielmehr hängt die Verschaltung von den jeweiligen Aktivitäten ab. Das menschliche Gehirn ist eine Endo-Welt par excellence, das normalerweise operational geschlossen ist und somit an seiner eigenen Dynamik durch Selbstbezug teilnimmt. Nach **Varela** ist alles, was im menschlichen Gehirn geschieht, eine Funktion dessen, was alle Bestandteile machen./35/ Diese holistische Auffassung wird auch von Karl **Pribram** vertreten, der unter dem Einfluß des Physikers **Bohm** ein Modell impliziter Ordnung für das Gedächtnis entwarf./36/ Das Gehirn arbeitet mit einer Kombination paralleler, konvergenter und divergenter Erregungsverarbeitung, wobei schwache Signale eine positive

Rückkopplung benötigen, um neue Bedeutungen hervorzurufen./37/ Roth unterscheidet hierbei vier Zustände im menschlichen Gehirn:/38/

#### 1) Rein physiologische Ereignisse

#### 2) Neuronale Prozesse

#### 3) Präkognitive Prozesse

#### 4) Kognitive, d. h. bedeutungshafte, Prozesse

Dadurch, daß der Cortex nicht direkt mit einem Sinneseingangsbereich verbunden ist, sondern die eingehenden Erregungen zunächst in Rückkopplungsschleifen reflektiert werden, kann sich das neuronale System mehr und mehr von der konkreten Umweltsituation entkoppeln, d.h. operational schließen. Diese Entkopplung von den Reizeingängen der Umwelt ermöglicht einen zunehmenden Selbstbezug, der auch zuläßt, Fehler zu machen und diese durch Lernen zu beheben. Ich vertrete jedoch in diesem Buch nicht die Ansicht, daß das Gehirn ständig operational geschlossen ist, da bei der Generierung von Ideen Phasenübergänge von neuen Mustern stattzufinden scheinen. Auch scheint zukünftig durch Biochips eine weitergehende operationale Öffnung des Gehirns möglich (siehe Kapitel 4.4.3).

- Operationsweise

Das Gehirn besitzt nur Hardware, es hat keine vorgegebene Software, d.h. es erzeugt seine Prozesse durch Selbstorganisation und nicht durch Algorithmen. Das Gehirn ist darüber hinaus fehlertolerant, da keine Operation im Gehirn auf einem einzigen Neuron basiert. Es ist nicht die Vergrößerung des Gehirns allein, die zu einer höheren Leistungsfähigkeit geführt hat, sondern es ist die Verbesserung der Operationsweise, die uns Denken und Bewußtsein ermöglicht. Die Architektur des Neocortex wird nur durch die hochgradige Vernetzung, nicht durch die Einzelaktivität der Neuronen, verständlich. Hierbei durchläuft die Initialerregung im Neocortex erst einige Rückkopplungsschleifen, ehe es zu einer Umsetzung in ein motorisches Programm kommt.

Bei Aktivierung einzelner Neuronen werden mittels Rückkopplung ganze Ensembles von Neuronenkettten angeregt, was zu einer Überlagerung komplexer Interferenzmuster führt. Neuronen sorgen hierbei für eine rasche

Kommunikation innerhalb des Gehirns, da sie schnell und effizient nichtlineare Transformationen ausführen können. Hierbei arbeiten unsere Sinnesrezeptoren mit ununterscheidbaren Signalen. Der Übergang von einem Zustand zum anderen wird durch den Begriff Relaxation beschrieben. Hierbei kann der Necker-Kubus von **Rumelhart** dazu verwendet werden, dies graphisch zu verdeutlichen. Verbindet man die Übergänge von einem Zustand des Kubus zum anderen, so erhält man den bereits zuvor eingeführten Hyperkubus, der somit auch als Symbol für Wandel und Transformation im Rahmen von Gehirnzuständen herangezogen werden kann.

Ob das Gehirn als Ganzes operational offen oder als operational geschlossen betrachtet werden kann oder vielleicht beide Operationsweisen ermöglicht, ist von wesentlicher Bedeutung für die Autonomie des Gehirns. Operationale Geschlossenheit bedeutet, daß die Wirkungen der dynamischen Prozesse, die für das System charakteristisch sind, nicht das Netzwerk überschreiten, in dem die Prozesse definiert sind./39/ Auf lokaler Ebene scheint das Gehirn durch eine operationale Offenheit und fehlende Strukturdeterminiertheit gekennzeichnet zu sein.

Christoph von **Malsburg**s Korrelationstheorie aus dem Jahr 1982 eröffnet eine neue Erklärung der komplexen Abläufe im menschlichen Gehirn. Malsburgs Modell geht davon aus, daß sich neue Zell-Ensembles und somit kurzfristig stabile Strukturen im Cortex durch blitzschnelles Erhöhen der synaptischen Stärken innerhalb von Millisekunden bilden und selbst organisieren können./40/ Neuronen, die ein bestimmtes Muster repräsentieren, können im Gleichtakt Signale aussenden, jedoch asynchron zu denen, die anderen Mustern zugeordnet sind, wodurch extrem hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten erzielt werden können./41/ Das Lenkungs-Programm wird somit durch die lokalen Wechselwirkungen geschaffen, die die Strukturen formen. Es könnte sein, daß es gerade diese Korrelationen sind, die dem Erkennen, Lernen und Handeln zugrunde liegen./42/

- Mustererkennung

Die Mustererkennung des Gehirns hat die Aufgabe, gespeicherte Kontexte im Gedächtnis abzurufen und diese für Denkprozesse nutzbar zu machen. Mustererkennung ist nicht möglich ohne komplexe Interfaces, die sich ständig weiterentwickeln und somit das Erkennen immer komplexerer Muster erlauben. Statt Mustererkennung könnte auch synonym das Wort

Kontexterkennung verwendet werden. Die Mustererkennung ist beim Menschen stärker ausgeprägt als die Fähigkeit zum Erkennen von Veränderungen und Bewegungen./43/ Das Erkennen von Mustern ist neben der Nichtlinearen Dynamik eine der wesentlichen Charakteristika unseres Gehirns. Mustererkennung erfordert einen hohen Grad an Abstraktionsfähigkeit, wobei Entscheidungen höherer Ordnung durch das Finden von Regeln/44/ in Entscheidungen niedriger Ordnung zerlegt werden müssen. Die Mustererkennung findet unbewußt auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen statt, wobei das Gehirn ebenso wie die Natur einem bestimmten Codierungsschema unterliegt. Durch Abstraktion und Klassifizierung reduziert das Gehirn hierbei die Unsicherheit seiner Umwelt beträchtlich./45/ Es ist nicht mehr ausreichend, einen Satz fundamentaler Gleichungen aufzustellen, die alles beschreiben, sondern es ist eine zentrale Voraussetzung, die zugrunde liegenden Muster zu erkennen, um zu treffsicheren Entscheidungen zu gelangen. Mustererkennung ist deshalb auch eine entscheidende Herausforderung für das Management.

Mustererkennung, Bewegungskoordination und andere komplexe Aufgaben des menschlichen Lernens können nicht durch serielle Berechnungen bewältigt werden, sondern erfordern die Koordination paralleler Prozesse. Der Parallelismus des Gehirns ist viel mächtiger als alle bisher realisierbaren Rechnerarchitekturen. Durch die immense Anzahl von Neuronen und deren mannigfaltige Verknüpfungen kann eine große Menge codierten Wissens in Form von Mustern erkannt werden. Es war die Chaosforschung, die offenbart hat, daß sich hinter vielen Phänomenen verborgene Muster oder implizite Strukturen befinden (siehe Kapitel 2.3.2). So repräsentiert zwar jedes Muster eine Ordnung, jedoch nicht jede Ordnung ein Muster/46/, da insbesondere in der Natur viele Muster nach einer verborgener Ordnung aufgebaut sind. So ist das menschliche Immunsystem eines der effizientesten Erkennungssysteme für Muster. Auch bei den Genen können durch Codierung und deren Variation komplexe Gestalten erzeugt werden./47/

Das menschliche Interface nutzt für die Bildfilterung zwischen Wirklichkeit und Gehirn eine Kombination analoger und massiver paralleler Verarbeitung, wobei eine Vielzahl von Transformationen durchlaufen wird. Hierbei unterscheidet sich die Mustererkennung von logischen Denkprozessen dadurch, daß das Sehen parallelen und die Logik seriellen Prozessen unterliegt./48/ Durch die massive Parallelverarbeitung bei Bildern ist die Wahrnehmung nicht so fehleranfällig wie das logische Denken. Während in seriellen Computern jede einzelne Komponente äußerst wichtig

ist, arbeitet unser Gehirn nach dem Prinzip der redundanten Parallelverarbeitung. Hauptziel einer systemorientierten Wissenschaft muß es sein, die Redundanzen oder Musterungen der phänomenalen Welt zu ergründen./49/ Hierbei besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Bildung von Ordnung, Organisationsstrukturen und der Mustererkennung, da sich bestimmte Formen und Muster in selbstähnlicher Weise im Mikro- wie im Makrokosmos wiederholen und somit reproduzierbar sind. Aufgrund seiner Parallelität, seiner Fähigkeit zur Mustererkennung und seiner deterministisch chaotischen Operationsweise, kann das Gehirn als Vorbild für den Aufbau komplexer Interfaces im Management dienen (siehe Hyperkubus-Struktur in Kapitel 4.3.3.2).

Da es beim zukünftigen Lernen in der telematischen Gesellschaft immer mehr darauf ankommen wird, Muster zu erkennen, sind neue Lesetechniken erforderlich, die nicht Buchstaben, Wörter oder Absätze seriell abarbeiten, sondern durch Mustererkennung wesentliche Kontexte herausfiltern. Insbesondere im Zeitalter der telematischen Bilder wird die Vorstellungskraft und die damit verbundene Fähigkeit zur Mustererkennung genauso wichtig wie unser Denken und die damit verbundene Generierung neuer Kontexte. Weil analoge Berechnungen schneller als digitale durchgeführt werden, könnte sich der Trend weg von analogen Rechnern hin zu digitalen wieder umkehren. Und da Berechnungen für bestimmte Filter kein hohes Maß an Genauigkeit erfordern, reichen analoge Multiplikationen aus, um Bilder zu generieren./50/51/

- Künstliche Intelligenz (KI)

Lullus, der Erfinder der Missionsmaschine, die Moslems zum Christentum bekehren sollte, kann gegenwärtig als ein Urahn der Künstlichen Intelligenz betrachtet werden./52/ Das Fachgebiet der Künstlichen Intelligenz (Artificial Intelligence) wurde von John **McCarthy**, Alan **Turing**, Norbert **Wiener**, Claude **Shannon**, Herbert **Simon**, Marvin **Minsky** ins Leben gerufen. Die KI-Theoretiker gehen von der These aus, daß irgendwann Maschinen (bzw. Roboter) geschaffen werden, die in der Lage sind, selbständig Probleme zu lösen oder intelligente Handlungen durchzuführen./53/ KI ist eine Unterdisziplin der Computerwissenschaft und benötigt eine Metatheorie, um tatsächlich intelligente Maschinen bauen zu können. Diese Theorie existiert bis heute nicht./54/ Im Rahmen der KI-Forschung resultiert die Intelligenz nicht aus der Hardware, sondern soll eine Eigenschaft der Software sein, die nichtlineare Phänomene des Gehirns, die zu Intelligenz und Bewußtsein

führen, nachbildet./55/ Die KI ist sowohl eine neue Form theoretischer und experimenteller Psychologie und Biologie als auch ein neuer Typ von Ingenieurwissenschaften und eine neue Philosophie./56/

Die zwei wesentlichen Ansätze der KI sind die strukturbezogene Symbolverarbeitung auf der Makroebene (Top-Down-Ansatz) und der auf Parallelverarbeitung basierende Konnektionismus einer subsymbolischen Mikroebene (Bottom-Up-Ansatz), die durch die Fortschritte in der Mikrosystemtechnik zunehmend miteinander verschmelzen werden. Während beim Top-Down-Ansatz versucht wird, die Regeln bzw. Sprachen höherer Ordnung zu finden, nach denen das Gehirn arbeitet und diese für den Computereinsatz zu codieren, geht es beim Bottom-Up-Ansatz darum die physischen Strukturen zu finden, die Intelligenz ermöglichen und jene in Maschinenform abzubilden./57/ Der Top-Down-Ansatz hat eine exophysikalische und der Bottom-Up-Ansatz eine endophysikalische Perspektive (siehe Kapitel 2.2.3)./58/

Ein Beispiel für den Top-Down-Ansatz war das Programm "General Problem Solver" von Herbert Simon, Allen **Newell** und J.C. **Shaw**./59/ Der Bottom-Up-Ansatz der Konnektionisten basiert darauf, jedes Prozessorelement eines Rechners in Analogie zum menschlichen Neuron zu sehen. Wenn eine solche Maschine, in der sich Prozessoren flexibel vernetzen können, startet, hat diese ein geringes Wissen. Mit jedem erfolgreich erprobten Muster erweitert es sein Wissen über die von ihm erfahrbare Welt. Der Vorteil der Neuronalen Netze liegt darin, daß sie eine theoriefreie Welt repräsentieren, in der intelligentes Verhalten möglich erscheint, ohne eine Theorie a priori haben zu müssen (siehe Kapitel 2.2.4)./60/

Im Rahmen der KI-Forschung wird das Gehirn als eine überaus leistungsstarke Maschine angesehen. Die KI-Forschung versucht deshalb, Maschinen zu konzipieren, die in der Lage sind, menschliche Intelligenz nachzubilden, wozu Minsky ausführte:/61/

"There is not the slightest reason to doubt that brains are anything other than machines with enormous numbers of parts that work in perfect accord with physical laws...The serious problems come from our having had so little experience with machines of such complexity that we are not yet prepared to think effectively about them."

Minsky behauptet, daß das Ersetzen physikalischer Teile des Gehirns, diese solange nicht beeinflußt, wie die Abfolge von Zuständen nicht beeinflußt wird./62/ Diese Behauptung erscheint jedoch zu oberflächlich, da die Beurteilung von Intelligenz auch einen subjektiven Charakter hat. Es ist möglich, daß das Verhalten eines Objektes von einer Person als intelligent, von der anderen als unintelligent eingestuft wird. Um so wichtiger ist es, allgemeine, objektive Kriterien für Intelligenztests aufzustellen, die auch Intuition und Kreativität berücksichtigen. Für Hofstadter sind nachfolgende Kriterien für die Intelligenz ausschlaggebend:/ 63/

**- Flexibilität**

**- Nutzung von Chancen**

**- mehrdeutige Botschaften verstehen**

**- Prioritäten setzen**

**- trotz Unterschieden Ähnlichkeiten finden**

**- trotz Ähnlichkeiten Unterschiede erkennen**

**- neue Begriffe durch neue Kontexte finden**

**- völlig neue Ideen haben**

Die Entscheidungsfindung aufgrund widersprüchlicher und lückenhafter Daten kann bisher nicht von Computern, sondern nur vom Menschen geleistet werden (siehe Kapitel 4.3.2.4). Computer haben gegenwärtig keine kognitiven Fähigkeiten, lediglich syntaktische, deren Bedeutungen erst durch den Menschen erschaffen werden./64/ Ein vielversprechender Trend für die Entwicklung von Expertensystemen zeichnet sich durch die Fuzzy Logik (siehe Kapitel 2.2.4) ab, die sich auf mathematischer Basis mit unscharfen Informationen befaßt und bishervor allem bei der Mustererkennung eingesetzt wurde. Solche Expertensysteme sind Wissensdatenbanken, bei denen nach bestimmten Regeln schnell potentielle Problemlösungen gefunden werden können. Expertensysteme sind Modellierungen, Emulationen von Ausschnitten menschlicher Denkprozesse bzw. Programmen, jedoch mit einer begrenzten Kompetenz, einem reflexartigen Verhalten, einer unflexiblen Problemlösung, eingeschränkter Lernfähigkeit sowie fehlender Selbstreflexion./65/ Diese Defizite versucht

die heutige KI-Forschung durch nachfolgende Schwerpunktsetzungen zu überwinden: [/66/](#)

- mechanische Übersetzung

- Spiele

- Beweis von Sätzen

- symbolische Manipulation mathematischer Ausdrücke

- Visuelles, z. B. Schrifterkennung, Mustererkennung

- Auditives, z. B. Spracherkennung

- Spracherzeugung

- eigenständige Gedanken und Kunstwerke schaffen

- Analogiedenken

- Lernfähigkeit

Menschen und Computer unterscheiden sich dadurch, daß sie symbolhafte Kontexte und Fakten unterschiedlich gut verarbeiten können. Während Menschen keine Probleme haben, Science Fiction-Romane zu lesen und unterschiedliche Kontexte zur Gegenwart herzustellen, gelingt dies bisher keinem Computer. Dagegen können diese Milliarden von Fakten mit hoher Genauigkeit speichern, während Menschen teilweise schon Probleme haben sich Straßennamen zu merken. Die Fähigkeit zu lernen, sich Wissen anzueignen und dieses deduktiv und folgerichtig zu handhaben, wird häufig als symbolisches Denken bezeichnet, als die Fähigkeit, Symbole zu manipulieren. Daneben zeichnet sich die menschliche Intelligenz dadurch aus, auch Muster aus anderen Kontexten zu erkennen (Analogiebildung). Diese Fähigkeit zu symbolischem Denken ist insbesondere für die Entscheidungsfindung (siehe Kapitel 4.3.2.4) äußerst hilfreich. Die Wahl einer höheren Symbolstufe ist unumgänglich, wenn Maschinen Intelligenz besitzen sollen, wozu **Hofstadter** ausführt: [/67/](#)

"Wenn man ein Programm entwickeln will, das eine "intelligente" (d. h. menschenähnliche) innere Repräsentation dessen, "was dort draußen" ist, ergibt, wird man sich wahrscheinlich an einem gewissen Punkt gezwungen sehen,

**Strukturen und Vorgänge zu verwenden, die sich nicht direkt interpretieren lassen, das heißt, die sich nicht direkt auf der Wirklichkeitsebene abbilden lassen."**

Deterministisches Chaos, welches der KI-Ansatz bisher nicht berücksichtigt hat, könnte ein entscheidender Schlüssel zum Verständnis von Bedeutungen und Sinnfindung (siehe Kapitel 3.4), d.h. für intelligentes Verhalten des menschlichen Gehirns sein./68/ Deshalb sollte man wohl auch besser im Rahmen der aktuellen Forschung von Künstlichem Intellekt statt von Künstlicher Intelligenz sprechen. Der Schritt von einer intellektuellen Wissensverarbeitung zu einer intelligenten ist immens. Für eine solche Transzendenz ist die Konkretheit des Prozesses erforderlich. Was wir als intelligentes Verhalten bezeichnen, umfaßt in Wirklichkeit viele Prozesse, die gleichzeitig ablaufen und auf unterschiedlichen hierarchischen Stufen untereinander interagieren. Beim Lesen und Verstehen geschriebener Sprache beispielsweise setzen wir, wenn man es genau betrachtet, eine Vielzahl von Fähigkeiten ein: auf der Buchstabenebene die Fähigkeit zur Mustererkennung, auf der Wortebene die Fähigkeit zur syntaktischen Analyse von Wortfolgen und auf höheren Ebenen die Fähigkeit zur Entschlüsselung der Semantik, zum Wiederauffinden und zur Auffrischung unseres Grundwissens sowie die Kenntnis des allgemeinen Kontextes, in den das Thema gehört, das im Geschriebenen behandelt wird.

**Church, Turing und Gödel** haben mit ihren Theoremen die Grenzen der KI-Technologie aufgezeigt (siehe Kapitel 1.2). Die entscheidende Frage bleibt jedoch, ob menschliches Denken durch rekursive Funktionen abgebildet werden kann. Wegen der obigen Theoreme scheint eine Antwort nur auf heuristischem Wege erzielt werden zu können. Die Unterscheidung zwischen menschlichen und Künstlichen Intelligenzen ist eine Unterscheidung zwischen zweckgerichteten und automatisch erzeugten Informationen. Maschinen, gleichgültig welche Intelligenz sie erreichen können, führen immer dann keine Prozesse durch, wenn diese ausgeschaltet sind. Menschliche Gehirn führen selbst beim Träumen Prozesse durch. Erst der Tod des Menschen führt zur Beendigung aller Gehirnprozesse. Deshalb ist der Zustand des Schlafens nicht mit dem Zustand des Ausschaltens der Maschine identisch (siehe auch Kapitel 4.4.2). Während unser Gehirn beim Schlaf im Unterbewußtsein weiterarbeitet, kann ein der Energieversorgung beraubter Computer keine Berechnungen durchführen.

Werden zukünftig Künstliche Intelligenzen für Tätigkeiten eingesetzt, die deren ständige Prozessbereitschaft erfordern, muß sichergestellt sein, daß

diese keine Ausfälle haben und deren Lenkungsfähigkeit gewahrt bleibt. Da die Zahl der produzierten Informationen immer vielfältiger wird, verlieren die Computer unter Umständen die Fähigkeit ihr Programm zu stoppen. Wenn sich die ursprüngliche Anwendung der Computer, unwahrscheinliche Situationen zu erzeugen, umkehrt und nun automatisch das Wahrscheinliche erzeugt wird, so besteht die Gefahr eines Apparate-Totalitarismus./69/ Da Humanität das wahrhaft Menschliche im Menschen ist,/70/ gilt es die Codierungen zu suchen, die die Humanität bewahren. Für Konfuzius war die Vervollkommnung des Selbst Humanität, die Vervollkommnung der Wesen Intelligenz./71/ Künstliche Intelligenz ohne Vervollkommnung unseres Selbst wird deshalb zur Inhumanität führen. Die entscheidende Frage von Algorithmen wird deshalb sein, ob es gelingt, mit diesen Gefühle zu simulieren (siehe Kapitel 4.4.2)./72/

Im Rahmen der Künstlichen Intelligenz ist auch die Frage von besonderem Interesse, ob ein Computerprogramm aus sich selbst herauspringen und sich somit selbst modifizieren kann. Hierbei stellt sich die Frage, ob sich die Automatizität des Apparates vom Menschen emanzipieren kann, so daß er die Kontrolle über die von ihm konzipierten Maschinen verliert./73/ Gödel hat die Existenz einer Maschine, die die gleichen Fähigkeiten wie das menschliche Gehirn besitzt, nicht ausgeschlossen, jedoch würden wir diese komplexe Maschine wegen unserer strukturellen und operationalen Begrenzungen nicht verstehen. Hierzu müßten wir Maschinen entwickeln, die größere Fähigkeiten als das menschliche Gehirn besitzen und somit als Superbeobachter die Maschine, die unser Gehirn simuliert, verstehen können. Treffend auf den Punkt gebracht hat dies Wallace **Marshall**, für den ein schlichtes Kopieren von Fähigkeiten nur zu künstlicher Dummheit führt:/74/

"Künstliche Dummheit (KD) kann als der Versuch von Computer-wissenschaftlern angesehen werden, Computerprogramme zu entwerfen, die in der Lage sind, die Art von Problemen zu erzeugen, die normalerweise in der menschlichen Denkweise begründet sind."

Es gibt keine Beweise dafür, daß das menschliche Gehirn formalen Regeln folgt. **Dreyfus** stellt hierzu fest, daß, auch wenn sich die Welt unseres Gehirns in digitalisierter Form in den Computer transformieren läßt, dies keinen Schluß darüber zuläßt, ob man diese Welt später wieder konsistent durch formale Regeln zusammenfügen kann./75/ Weitere Kritikpunkte an der KI wurden vor allem von **Searle** geäußert. Zwar bestreitet Searle nicht, daß das menschliche Denken durch Computerprogramme simuliert werden

könne, jedoch sind für ihn das Denken und die formale Symbolmanipulation nicht äquivalent, da der Computer syntaktisch ist, das menschliche Denken jedoch Bedeutungen erzeugt, wobei für ihn die Syntax weder notwendig noch hinreichend für die Semantik ist.<sup>[76]</sup> Ob dies jedoch tatsächlich so ist, ist Forschungsgegenstand der KI-Forschung und kann a priori, wie Searle dies versuchte, nicht entschieden werden. Er ist auch deshalb etwas voreilig, weil die Möglichkeit besteht, daß das Gehirn nicht durch einen Computer vom Turing-Typ simuliert werden kann, sondern durch einen Computer mit radikal anderen Eigenschaften.<sup>[77]</sup> Da Turing-Maschinen sequentiell arbeiten, scheinen diese für die Simulation der Evolution oder des Gehirns nicht besonders gut geeignet zu sein.<sup>[78]</sup> Evolutionären Systemen liegt ein Parallelismus zugrunde, der chaotisches Verhalten hervorbringen kann. Gerald **Edelmann** geht deshalb davon aus, daß die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns eher dem Evolutionsprozeß als dem Rechengvorgang eines Computers gleicht.

Aus dem Dilemma der obigen Kritikpunkte scheinen zwei neue Forschungsprogramme zu führen: Endophysik und Künstliches Leben. Während die Endophysik, unsere Interfaces der Wahrnehmung zu beschreiben sucht, konzentrieren sich Forschungen zum Künstlichen Leben auf die Erzeugung von Leben durch virtuelle Simulation im Computer. Endophysik und Künstliches Leben basieren maßgeblich auf der Annahme, daß wir über die für uns erfahrbare Wirklichkeit außerhalb des Computers etwas lernen können, wenn wir als Superbeobachter anschauen, was Künstliches Leben innerhalb des Computers macht. Unter den weiteren Annahmen, daß Turing-Maschinen physische Prozesse simulieren können, daß Leben ein physikalischer Prozess ist und daß wir zwischen lebenden und nicht-lebenden Systemen unterscheiden können und daß wir das, was wir in Computern simulieren, als Wirklichkeit akzeptieren können, sollte der Ansatz zur Erforschung des Künstlichen Lebens (siehe Kapitel 2.3.4) zu interessanten Einsichten führen.<sup>[79]</sup> Die Codierung des Lebens kann, wie das Beispiel des Menschen zeigt, zu intelligenten Lebewesen führen. Warum sollte es nicht gelingen, solche Codierungen im Computer zu simulieren?

- Durch nichtlineare Kopplung von Neuronen werden Strukturen und Prozesse erzeugt, die im Rahmen der Evolution Machtpotentiale repräsentieren.
- Die Fähigkeit zur flexiblen Ver- und Entschaltung von Neuronen, gibt dem Menschen die Macht neues Wissen zu erzeugen.
- Erst die Mustererkennung ermöglicht Teilnehmern, anschlussfähige Handlungen durchzuführen und somit Macht aufzubauen. Mustererkennung ermöglicht jedoch auch Machtmißbrauch zu erkennen, und den Aufbau einer Gegenmacht einzuleiten.
- Künstliche Intelligenzen ohne ein Bewußtsein für Humanität gefährden die Freiheit des Menschen.

Abb. 1.26: Konsequenzen für Macht und Freiheit

- Management erfordert, viele Probleme parallel zu lösen.
- Das Gehirn kann als Vorbild für den Aufbau komplexer Interfaces dienen.
- Wie beim Gehirn sollten die Prozesse im Management fern vom Gleichgewicht ablaufen.
- Lenkung sollte nicht durch Algorithmen erfolgen, sondern durch Selbstorganisation.
- Management erfordert, komplexe Muster wahrzunehmen. Deshalb müssen die Interfaces auf die Problemstellungen zugeschnitten werden.
- Komplexe Managemententscheidungen sollten primär von Menschen und nicht von Maschinen getroffen werden.

Abb. 1.27: Konsequenzen für das Endo-Management

---

[1](#) Das Interface des Gehirns ist von Schutzschichten umgeben, nämlich einer Flüssigkeit und der härtesten Knochenschicht des Körpers.

[2](#) In den letzten drei Millionen Jahren hat sich das Hirnvolumen beim Menschen (vom Australopithecus mit 480 cm<sup>3</sup> bis zum Homo Sapiens 1350 cm<sup>3</sup>) verdreifacht. Vgl. Stringa (Hirnevolution), 143f.

[3](#) Während beim Schimpansen, der mit einem weiterentwickelten Gehirn als der Mensch geboren wird, das Gehirnwachstum sich nach der Geburt verlangsamt und nach einem Jahr abgeschlossen ist, setzt es sich beim Menschen noch zwei Jahre fort, um erst nach etwa vier bis fünf Jahren abgeschlossen zu sein.

Vgl. Wesson (Ordnung), 325.

[4](#) Vgl. Roth (Gehirn), 64.

[5](#) Roth betont, daß ein Gehirnforscher zugleich Erkenntnissubjekt, Erkenntnismittel und Erkenntnisobjekt ist, da das reale Gehirn die Wirklichkeit hervorbringt, in der es wirkliche Organismen mit wirklichen Gehirnen gibt. Vgl. Roth (Gehirn), 325.

[6](#) Minsky (Mind), 287.

[7](#) Vgl. Breidbach (Kopfes), 203.

[8](#) Vgl. Sejnowski (Computation), 385.

[9](#) Vgl. Maturana (Erkenntnis), 187.

[10](#) Vgl. Roth (Gehirn), 180 .

[11](#) Das assoziative Gedächtnis entsteht durch Kopplung von Zellen zu Zell-Ensembles, die uns die Mustererkennung ermöglichen. Ein Gedächtnisverlust kann hierbei durch Löschung der Inhalte oder der Zugriffsmöglichkeiten zustande kommen.

[12](#) Vgl. Roth (Gehirn), 191.

[13](#) Vgl. Schulten (Chaos), 268.

[14](#) Die Großhirnrinde (Neocortex) unterscheidet sich von anderen Hirnbereichen dadurch, daß die

Verbindungen im Innern nahezu isotrop (gleiche Richtungen) sind, diese eine extreme Verschaltung der Neuronen aufweist und daß die Zahl der Neuronen riesig ist im Vergleich zu den Fasern, die Signale an diese herantragen.

[15](#) Vgl. Freeman (Brain), 78.

[16](#) Vgl. von Foerster (Einsicht), 155.

[17](#) Vgl. Penrose (Computerdenken), 394.

[18](#) Interessant in diesem Kontext ist, daß Neuronale Netze unseres Gehirns im Gegensatz zu herkömmlichen Computern keine separaten Speicher besitzen. Dies legt den Schluß nahe, daß es sich beim Cortex um eine Art Mischmaschine von Signalen handelt, die abhängig vom subjektiven Gedächtnis neue Informationen und Bedeutungen hervorbringt und diese dann erneut abspeichert.

[19](#) Vgl. Freeman (Brain), 79ff.

[20](#) Vgl. Roth (Wahrnehmung), 328 - 331.

[21](#) Das Gehirns des Homo Sapiens ist keine vollständige Neuschöpfung, d.h. es existieren ältere Gehirnstrukturen. Erst die Weiterentwicklung des Neocortex ermöglichte die Ausprägung des menschlichen, selbstreflexiven Bewußtseins.

[22](#) Vgl. Roth (Gehirn), 56.

[23](#) Vgl. Breidbach (Kopfes), 202.

[24](#) Faller (Körper), 374.

[25](#) Vgl. Rumelhart (Issues), 132.

[26](#) Vgl. Rumelhart (Processing 1), 134.

Dies ist anders, wenn größere Verschaltungsbereiche des Gehirns, wie beispielsweise das Sprachverständnis oder das Erinnerungsvermögen, verletzt werden. Krankheiten wie Multiple Sklerose oder das Alzheimer-Syndrom belegen, welche fundamentalen Folgen der Abbau von Nervenzellen für die menschliche Gesundheit hat.

[27](#) Vgl. Roth (Gehirn), 15.

[28](#) Strukturell gliedert sich die Nervenzelle in drei Grundbereiche: den Zellkörper, den Dendriten und den axonalen Bereich. An den Dendriten finden sich speziell ausgebildete Kontaktstrukturen, die Synapsen (Zellplasma-Brücken), über die sich Nervenzellen aneinander anlagern und ihre Erregung von der jeweils vorgelagerten (präsynaptischen) in die nachgelagerte (postsynaptische) Zelle übertragen. Die Dendriten eines Neurons können mit bis zu 100.000 anderen Neuronen in Verbindung treten, im Mittel sind es jedoch etwa 10.000 Verbindungen. Axone sorgen für die Übermittlung von Sequenzen elektrischer Impulse, während Dendriten die Integration dieser Impulse vornehmen. Lernen und Erinnern findet in dem riesigen verknüpften Netzwerk der Synapsen statt. Der Ruhezustand eines Axons entspricht dem des Nichtgleichgewichts, während bei der Erregung dieses sich nahe dem Gleichgewicht befindet. In Analogie zu Unternehmen könnte dies bedeuten, daß der Ruhezustand eines Unternehmens der des Nichtgleichgewichts sein muß, da nur durch erfolgreichen, von Innovationen getragenen Wandel im Rahmen des Wettbewerbs die innere Ruhe, d.h. ein exzellentes Betriebsklima, gewahrt bleiben kann.

[29](#) Vgl. Kandel (Grundlagen), 122.

[30](#) Bereits bei der Geburt ist die volle Anzahl der Nervenzellen vorhanden, die der Organismus jemals hervorbringen wird. Diese haben das Potential, viele neue Verzweigungen (Dendrite) auszubilden und sich mit Nachbarzellen auf vielfältige Weise zu ver- und entschalten. Interessant hierbei ist, daß die Verdrahtungen und Verbindungen zwischen den Zellen etwa 40 % der Hirnmasse ausmachen, d.h. Vernetzungen sind von elementarer Bedeutung für unser Gehirn.

[31](#) Vgl. von Foerster (Einsicht), 153.

[32](#) Vgl. Malik (Systeme), 189.

[33](#) Vgl. Roth (Gehirn), 228.

[34](#) Nervenzellen haben keine eigene Energieversorgung, sie müssen von außen versorgt werden. Das Gehirn, das nur 2 Prozent der gesamten Körpermasse ausmacht, verbraucht im Durchschnitt 20 Prozent der gesamten Energie. Vgl. Roth (Gehirn), 201.

[35](#) Varela (Kognitionswissenschaft), 13.

[36](#) Vgl. Peat (Synchronizität), 200.

[37](#) Auch im Management werden schwache Trends nur dann zu einer Veränderung der Aktivitäten führen, wenn diese bei einer Vielzahl von Entscheidungsträgern positive Verstärkungseffekte auslösen.

[38](#) Vgl. Roth (Gehirn), 29f.

[39](#) Vgl. Krohn (Wissenschaft), 303.

[40](#) Vgl. Mechsner (Chaos), 129.

[41](#) Vgl. Crick (Problem), 170.

[42](#) In diesem Kontext ist interessant, welche Muster Teilnehmer-Ensembles im Internet hervorrufen.

Siehe hierzu auch die Arbeiten von Mayer-Kress in Kapitel 4.4.4.

[43](#) Vgl. von Foerster (Einsicht), 173.

[44](#) D.h. Codierungen für den Aufbau von Ordnungsmustern.

[45](#) Vgl. von Foerster (Einsicht), 170.

[46](#) Vgl. Bestenreiner (Spiegel), 93.

[47](#) Da die Codes der Natur nicht mit den Codes des Virtuellen übereinstimmen müssen, können im Computer völlig neue, vieldimensionale Hyperräume konstruiert werden, in denen eigene Spielregeln gelten. Dies wird zu völlig neuen Formen der Wissensvermittlung in fraktalen Datenräumen führen. Diese fraktalen Datenräume sind holistisch, da sämtliche Daten von jeder beliebigen Rekursionsstufe aus zugänglich sind.

[48](#) Bei der Mustererkennung laufen Milliarden simultaner Berechnungen in Bruchteilen von Sekunden ab, weshalb diese für uns unbewußt erfolgt.

[49](#) Vgl. Bateson (Ökologie), 534.

[50](#) Das menschliche Sehen erfordert 100 Billionen Multiplikationen pro Sekunde, was mit digitalen Schaltkreisen laut **Kurzweil** nicht realisierbar ist, jedoch unter Verwendung analoger und paralleler Techniken in den Bereich der Möglichkeit rückt. Vgl. Kurzweil (Intelligenz), 227.

[51](#) Bereits heute sind künstliche Netzhäute aus strukturiertem Silizium als CCD-Chips in Videokameras im Einsatz. Diese besitzen fast über zwei Millionen Bildpunkte für jede Grundfarbe.

Vgl. Schulenburg (Nanotechnologie), 61.

[52](#) Vgl. von Randow (Roboter), 245.

[53](#) Hauptthemen der KI-Forschung mit Relevanz für die Robotik (siehe Kapitel 4.4.2) sind hierbei Mustererkennung, Nutzung natürlicher Sprachen sowie logische Problemlösung.

Vgl. Andrew (Intelligence), 12.

[54](#) Alle bisherigen Versuche, komplexe Hirnfunktionen durch Vernetzung einer großen Zahl von Einzel-elementen zu simulieren, sind im Rahmen der KI-Forschung fehlgeschlagen. Die menschliche Denkweise ist bisher der von Maschinen weit überlegen.

[55](#) Vgl. Hofstadter (Gödel), 384.

[56](#) Vgl. Kiefer (Strategien), 187.

[57](#) Vgl. Casti (Complexification), 154.

[58](#) Vgl. Casti (Inside), 126ff.

[59](#) Der General Problem Solver ist ein Programm, das sein Ziel dadurch erreicht, daß auf jeder aktuellen Stufe anhand von Regeln zahlreiche Alternativen entworfen werden, von denen diejenige weiterverfolgt wird, die dem Ziel am nächsten liegt.

[60](#) Vgl. Casti (Complexification), 160.

[61](#) Minsky (Mind), 288.

[62](#) Vgl. Minsky (Mind), 289.

[63](#) Vgl. Hofstadter (Gödel), 29.

[64](#) Vgl. Roth (Gehirn), 26.

[65](#) Vgl. Kiefer (Leonardos), 222ff.

[66](#) Vgl. Hofstadter (Gödel), 641f.

[67](#) Hofstadter (Gödel), 608.

[68](#) Vgl. Freeman (Geruchswahrnehmung), 124.

[69](#) Vgl. Flusser (Universum), 84f.

[70](#) Vgl. Konfuzius (Texte), 37.

[71](#) Vgl. Konfuzius (Texte), 49.

[72](#) Vgl. Rötzer (Gefühle), 88.

[73](#) Vgl. Flusser (Universum), 84.

[74](#) Kurzweil (Intelligenz), 14. Das blinde Kopieren von Fallstudien im Management ist ein im höchsten Maße unintelligentes Handeln. Deshalb steht **MBA** oftmals nicht nur für **Mein Bestes Alibi**, sondern auch für **Mein Blöder Ansatz**, wenn die Lösungsansätze von Case Studies nicht zum Erfolg führen.

[75](#) Vgl. Dreyfus (Computer), 243.

[76](#) Vgl. Searle (Computerprogramm), 149.

[77](#) Diesen Computer werde ich nachfolgend Gödel-Maschine nennen.

[78](#) In diesem Kontext ist paradox, daß das Gehirn durch parallele Strukturen und Prozesse funktioniert, jedoch sequentielles Denken hervorbringt.

[79](#) Vgl. Casti (Complexification), 168f.