

# Denken Menschen oder Maschinen?

Betrachtungen über einen Begriff ohne Definition.

Was ist wenn Maschinen denken

Denkende Systeme

Die letzte Kränkung – Denktect

Denktect - Sinn oder Unsinn

Denkverbot für Maschinen

Hinweis: Dieses Buch befindet sich in der  
Entwicklung, daher gibt es Lücken und Fehler!

Eduard Heindl

[www.heindl.de/eduard-heindl](http://www.heindl.de/eduard-heindl)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Denken Menschen oder Maschinen?.....</b>	<b>1</b>
Betrachtungen über einen Begriff ohne Definition. ....	1
Was ist wenn Maschinen denken .....	1
Denkende Systeme.....	1
Die letzte Kränkung – Denktect.....	1
Denktect - Sinn oder Unsinn.....	1
Denkverbot für Maschinen .....	1
Eduard Heindl.....	1
<b>1 Die Ausgangslage .....</b>	<b>10</b>
1.1 Revolution.....	10
1.1.1 Kopernikus.....	11
1.1.2 Darwin, die Entstehung der Arten.....	13
1.1.3 Die Herkunft des Menschen.....	16
1.1.4 Cogito, ergo sum.....	17
1.1.5 Denken eine kleine Abgrenzung.....	18
1.1.6 Gibt es schon denkende Maschinen? .....	19
1.1.7 Dynamik in der Beurteilung.....	20
1.2 Die Hyperkomplexität.....	20
1.2.1 Grosse Zahlen .....	22
1.2.2 Jenseits der Million.....	23
1.2.3 Das Gehirn in Zahlen .....	24
1.2.4 Hyperkomplexe Systeme .....	25
1.3 Die Rechenkapazität .....	27
1.4 Exponentielles Wachstum.....	28
1.4.1 Size Matters .....	29
1.4.2 Chipfläche .....	30
1.4.3 Zeit spielt eine Rolle .....	30
1.4.4 Kooperation der Chips .....	31
1.4.5 Realistische Steigerung der Systeme .....	31
1.5 Daten - Information und Wissen.....	31
1.6 Kommunikation .....	32
1.7 Die Oberfläche .....	33
1.8 Hintergrundwissen .....	34
1.8.1 Ohne Vorwissen zu erlernen!.....	35
1.8.2 Das Wissen eines Menschen.....	35
1.8.3 Informationsbeschaffung für Computer.....	36
1.8.4 Redundanz .....	37

1.9	Die Verarbeitungsmethode .....	38
<b>2</b>	<b><i>Spiele</i></b> .....	<b>40</b>
2.1.1	Kartenspiele .....	40
2.1.2	Schach.....	42
2.1.3	Der Schachcomputer, seriell, paralleles denken, Spiele als Denkmuster .....	45
2.1.4	Spielzeug .....	46
2.1.5	Kinderspielzeug .....	46
2.1.6	Modellsysteme .....	47
2.1.7	Computerspiele .....	48
2.1.8	Spielende Computer.....	48
2.2	Denken messen, eine Metrik des Denkens .....	48
2.2.1	Intelligenztest.....	49
2.2.2	Test für Maschinen .....	50
2.2.3	Kooperation mehrerer Systeme.....	52
2.3	Das Internet.....	53
2.4	Die Organe des Internet .....	54
2.5	Organisation der Datenerfassung.....	55
2.6	Quantitative Unterschiede.....	55
2.7	Hyperlink .....	56
2.8	Das System von Alexa.....	57
2.9	Suchmaschinen .....	58
<b>3</b>	<b><i>Denken anders, die Evolution</i></b> .....	<b>60</b>
<b>4</b>	<b><i>Das Gehirn und seine Arbeitsweise</i></b> .....	<b>63</b>
4.1	Entwicklung des Gehirns .....	63
4.1.1	Aufgaben des Gehirns.....	64
4.2	Vergessen ist lernen.....	66
4.2.1	An was wir uns erinnern .....	66
4.2.2	Wenn uns ein Gedanke kommt.....	66
4.2.3	Das Unbewusste, Traum der unverarbeiteten Themen .....	66
4.3	Kopplung von Gedanken .....	66
4.3.1	Assoziation .....	66
4.3.2	Transparente Schnittstelle.....	66
4.3.3	Ich und die Sinne .....	66
4.4	Sehen und malen.....	66
4.4.1	Warum realistisch wirkende Computerbilder so leicht zu erstellen sind .....	66
4.4.2	Kunst als Abstraktion .....	67

4.4.3	Wahrnehmen und Werte speichern .....	67
4.4.4	Sprache als Reflektion des Denkens oder Denken nichtvokalisierte Sprache .....	67
4.5	Kohärente Welterfassung, eine Entscheidung, ein Weg.....	67
4.5.1	Männchen im Kopf Psychisch Probleme bewerten, denken .....	67
4.6	Scannen von Gehirnen .....	67
<b>5</b>	<b><i>Neuronale Netze</i></b> .....	<b>68</b>
5.1	Arbeitsweise.....	68
5.1.1	Hyperraum .....	68
5.1.2	Die perfekte Wetterstation .....	70
<b>6</b>	<b><i>Der gescheiterte Versuch der KI</i></b> .....	<b>72</b>
6.1	Die Idee von Turing .....	72
6.1.1	Das Problem der falschen Vorstellung.....	73
6.1.2	Neuronale Netze I .....	74
6.1.3	Das Ende der Neuronalen Netze .....	75
6.1.4	Neuronale Netze II.....	76
6.2	.....	76
6.3	Die Zukunft der Computerintelligenz .....	76
6.3.1	Denken als Vereinfachen .....	76
6.3.2	Die mögliche Verarbeitung der Daten .....	77
6.3.3	Auffinden der Drehparameter .....	78
6.3.4	Lernen braucht Zeit.....	80
6.3.5	Optimale Leistung bei biologischen Systemen .....	80
<b>7</b>	<b><i>Computertechnik</i></b> .....	<b>82</b>
7.1	Hyperparallele Computer.....	83
7.2	Architekturansätze .....	83
<b>8</b>	<b><i>Angenommen es ist so</i></b> .....	<b>85</b>
8.1	Der Schleichende Übergang.....	86
8.1.1	Optimale Vorschläge .....	87
8.2	Universität Ade .....	87
8.2.1	Die Leistung der Lehre .....	88
8.2.2	Forschungsarbeit .....	89
8.2.3	Handarbeit.....	89
8.2.4	Theoretische Arbeiten .....	90
8.3	Auswirkung auf die Börse .....	90
8.3.1	Unternehmen die denkende Maschinen bauen .....	90
8.3.2	Unternehmen die denkende Maschinen nutzen.....	90

8.3.3	Trennung zwischen einfachen und weisen Computern .....	90
8.3.4	Phase Drei .....	92
<b>9</b>	<b><i>Warum die Welt simple ist</i></b> .....	<b>94</b>
9.1	Die leicht überschaubare Natur .....	94
9.2	Das Auge .....	95
9.3	Alle biologischen Formen sind endlich und niederdimensional .....	96
9.4	Unsere Umwelt ist einfach, bis auf wenige Ausnahmen	97
9.4.1	Wasser .....	97
9.4.2	Feuer .....	97
9.4.3	Edelstein .....	98
9.5	Ist das der Grund .....	99
9.6	Raum und Materie, ein ähnliches modernes Problem der Kopplung wie Geist und Materie .....	99
9.7	Nil, Psi, dns, nn, ? .....	101
<b>10</b>	<b><i>Anhang</i></b> .....	<b>104</b>
10.1	Personenregister .....	104
10.2	Glossar .....	104
10.3	Index .....	105

**Vorbetrachtung**

Dieses Buch soll den Versuch darstellen, eine sich anbahnende Revolution in der Frühphase zu erkennen und zu beschreiben. Es soll aufmerksam machen auf einen Paradigmenwechsel im Weltbild des Menschen, der Übergang von einer Informationsgesellschaft, die Informationen erarbeitet, transportiert, speichert, vermittelt und verwertet zu einer Gesellschaft, die Informationen von Systemen entgegennimmt, die in ihrer Kompetenz den Menschen und damit den ursprünglichen Initiatoren der Entwicklung weit überlegen sind.

Dabei trennen sich die Wege nur sehr langsam und es wird nicht den Tag geben, an dem auf der Comdex<sup>1</sup> der denkende Computer wie eine neue Prozessorgeneration von Intel vorgestellt wird und die Fachpresse ihre Begeisterung kundtut. Nein - es handelt sich diesmal um einen Prozess, der schleichend abläuft, ähnlich der Einführung des Automobils, zunächst eher ein belächeltes Fahrzeug, dann ein wichtiges volkswirtschaftliches Gut und zuletzt ein Objekt, das das Leben in jeder Hinsicht verändert hat. Aber auch ein Objekt, das Probleme verursacht und das vor allem nie wieder zurückzuholen ist.

Der Unterschied zu vergleichbaren Entwicklungen liegt aber tiefer, das Selbstverständnis des Menschen war früher durch eine religiöse Hierarchie gegliedert, das Denkwunder Gott, Priester und Laie, danach folgte der Übergang zur aufgeklärten Gesellschaft - der Mensch denkt, ich denke also bin ich - und bald folgt der nächste Schritt, wir lassen denken und denken mit.

Das klingt auf dem ersten Blick verrückt und es ist genau so verrückt, wie wen jemand vor zweihundert Jahren die Reise mit dem Jumbojet erklärt hätte oder vor hundert Jahren die gentechnischen Möglichkeiten der Gegenwart, etwa die Tatsache, dass das gesamte Humangenom auf einer Silberscheibe mit zehn Zentimetern Durchmesser abgespeichert werden kann und an jedem Ort per Internet abrufbar ist<sup>2</sup>. War das Leben oder zumindest der Mensch nicht ein Geheimnis, wenn auch bereits rational durch Darwin und Freud angegriffen so doch etwas nicht durch einen schlichten Code beschreibbares.

<sup>1</sup> Computermesse in Las Vegas

<sup>2</sup> <http://www.ornl.gov/hgmis/posters/chromosome/>

Das Buch soll diesen Weg nachzeichnen aber auch vorzeichnen, es soll alles an Wissen vermitteln, damit klar wird, an welcher Schwelle wir stehen, welche Prozesse dorthin geführt haben und vor allem soll es klar machen, warum es zwangsläufig so ähnlich kommen wird. Noch scheinen die Philosophen das Thema zu meiden, das mag daran liegen, dass ihre Arbeitslosigkeit beschrieben wird, zumindest die längerfristige Bedeutungslosigkeit der menschlichen Philosophie, so wie das handgewebte Hemd in der Industriegesellschaft eine reizvolles aber nicht ein notwendiges Kleidungsstück darstellt. So wie der Handweber ein guter oder schlechter Handweber sein kann, wird es weiter gute und schlechte Philosophen geben, aber kaum bedeutende.

Die Medien und der Film greifen die Themen manchmal auf, dabei fehlt es an jeglicher Tiefenschärfe, die einen Leitfaden zum Nachdenken geben kann und im Innersten wird das alles als nicht wirklich mehr als Science Fiktion abgetan. Dies mag an der Gedankenlosigkeit der Zeit liegen, aber ich glaube, es liegt am verbreiteten Unwissen, was zur Zeit in den Labors der Computer- und Softwareindustrie entsteht. Nicht, dass bereits das Projekt Homunkulus<sup>3</sup> gestartet worden wäre, es sind Trends die ablaufen, die zu diesem Fixpunkt am geistigen Horizont führen, die mit nie gekannter Gleichmäßigkeit und Geschwindigkeit ablaufen.

Das Buch soll aber auch zum Nachdenken über den Ablauf der Dinge anregen und sensibilisieren für Entwicklungen, die unscheinbar ablaufen. Wer denkt schon bei der Meldung, Prozessortakt um 30% erhöht über die Konsequenz nach, wenn sich das alle sechs Monate wiederholt? Die Flut der Informationen aus dem Technologiebereich hat uns abgestumpft und daher sieht man die großen Trends hinter den Trippelschritten oft nicht. Sensibilisierung führt zur verstärkten Wahrnehmung, bewusste Wahrnehmung ist aber auch der Schlüssel für die Fähigkeit, steuernd in einen Prozess einzugreifen, damit er kontrolliert abläuft. Gelingt es, die Wahrnehmung zu schärfen und den Prozess zu verstehen, ist es dem Autor gelungen, sein Ziel zu erreichen.

Eduard Heindl, Tübingen 2002

<sup>3</sup> <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/>, das Projekt scheint am weitesten in Richtung künstliche Wesen zu gehen.

## 1 DIE AUSGANGSLAGE

### 1.1 REVOLUTION

Der Fluss fließt geruhsam in seinem Bett, seit vielen Kilometern ist der Wasserspiegel nur wenige Meter gesunken, es gab einige kleine Wirbel, als einige Felsen im Fluss lagen und an einer Schleife hat er seine Richtung geändert. Das Boot liegt ruhig im Wasser und die Mannschaft freut sich über die gleichmäßige Strömung. Der Kapitän beobachtet erfreut, dass das Wasser sehr schön glatt ist und außerdem die Strömung zunimmt. Da wird man wohl schneller am Ziel sein, als man bisher kalkuliert hat. Vor vielen Millionen Jahren hat an dieser Stelle ein Meer gelegen, das tausender von Tonnen harten Muschelkalk abgelagert hat, auf einer Schicht aus hartem Granit. Der Fluss läuft über diese Kalkschicht und alle Steine sind weich und weiß.

Im Boot wird gerade der Kurs etwas angepasst, das Boot soll exakt in der Mitte des Flusses liegen, da dort die Strömung am schnellsten ist. Die Kalkschicht wurde vor vielen Millionen Jahren angehoben und liegt jetzt einige hundert Meter über dem Meeresspiegel. Der Fluss nutzt diese Route zum Meer seit der letzten Eiszeit und hat tausender von Tonnen kleiner Kalkpartikel zum Ozean getragen. Während eines Hochwassers, bei starker Strömung viel, zu Trockenzeiten fast unbedeutende Portionen. Das Boot liegt jetzt wieder optimal in der Strömung, der Horizont weitet sich, da bahnt sich die Veränderung an, man hört ein leises Rauschen, nein das Boot liegt ruhig im Wasser, der der jetzt weit vorausschaut, kann sehen, dass eine große Veränderung bevorsteht, der Strudel beginnt, und nach einiger Zeit sitzt man auf einem tieferen Niveau.

Das Beispiel mit dem Wasserfall soll andeuten, dass ein Phasenübergang nicht ohne Wirbel abgeht, dass danach die Welt anders aussieht und dass es sehr schwer ist, zu erkennen, dass ein Phasenübergang naht. Nicht viel anders geht es uns heute in der Informationstechnologie.

Wissenschaftliche Revolutionen bahnen sich immer dann an, wenn bestehende Weltbilder nicht mehr für unumstößlich gehalten werden. So war die kopernikanische Wende zuerst in keiner Weise

durch überzeugende Tatsachen ausgelöst, sondern durch die Vorstellung, dass es vielleicht auch anders sein könnte als bisher geglaubt.

### 1.1.1 Kopernikus

Am Ende des Mittelalters, als die „Alten“ wieder gelesen wurden, entdeckte man auch die Texte, bei denen Aristarch von Samos (310-230 v. Chr.) darauf hinweist, dass die Sonne im Mittelpunkt der Welt steht. Er hatte bereits vor über 2000 Jahren aus scharfsinnigen astronomischen Beobachtungen die Größenverhältnisse zwischen Erde, Mond und Sonne ermittelt. Dabei fand er, dass der Durchmesser der Sonne etwa zwanzigmal größer als der der Erde ist, in Wahrheit ist der Unterschied natürlich viel größer, die Ursache seiner Fehleinschätzung liegt in Problemen bei der Genauigkeit damaliger Messgeräte, jedoch nicht im Prinzipiellen. Daraus folgerte er, dass es logisch sei, dass das Große Feuer, die Sonne, in der Mitte ruht und die Erde, zusammen mit ihrem Begleiter Mond, um die Sonne kreist.

Andere Wissenschaftler seiner Zeit in Griechenland kamen zu anderen Einsichten, vor allem sind hier Hipparch (ca. 190 - 125 v. Chr.) und Claudios Ptolemaios (ca. 100 - 178 n.Chr.) zu nennen, die vor allem aus der Beobachtung, dass Berechnungen, die mit der Erde im Zentrum rechnen, bessere Resultate lieferten, schlossen, dass es auch so sei. Die Ursache für die guten Rechenergebnisse der geozentrischen Betrachtung lag in der damaligen Hypothese, dass sich alles auf vollkommenen Kreisbahnen<sup>4</sup> bewegt, da nur diese dem perfekten Weltenraum würdig sind. Das Kriterium für die Entscheidung, was die richtige Lösung ist, lag bei den Wissenschaftlern der damaligen Zeit, wie auch heute, an der vernünftigsten Interpretation der vorhandenen Daten. Beide Weltbilder lagen praktisch unentscheidbar nebeneinander, man konnte entweder einer Philosophie der perfekten Natur der Sache, also den idealen Kreisbahnen und den daraus folgenden guten experimentellen Resultaten anhängen oder

<sup>4</sup> Genaugenommen sind es nicht nur einfach Kreisbahnen, sondern Ptolemaios verwendet eine Verfeinerung aus überlagerte Kreisbewegungen, den Epizykel, der wiederum auf dem Deferenten (Trägerkreis) liegt.

dem schlichten Argument folgen, dass das größte Objekt in Ruhe verharrt und damit den Mittelpunkt für das Weltbild liefert. Obwohl uns das letztere Argument sogar weniger metaphysisch erscheint, die Große, zentrale Masse ruht, hat sich das Bild der ruhenden Erde durchgesetzt, weil es für die einfache, alltägliche Anschauung am leichtesten akzeptabel erscheint<sup>5</sup>.

Hier ist insbesondere von Bedeutung, dass der Mensch, bevor er eine Vorstellung von der Komplexität der Welt bekommt, bereits augenscheinlich feststellt, dass sich die Sonne am Firmament bewegt und im Besonderen morgens aufsteigt und abends untergeht. Dies ist eine Erfahrung aus früher Kindheit und es fällt auch dem modernen Menschen schwer, wenn er am Abend die Sonne untergehen sieht, dies als sein eigenes Wegdrehen in Richtung Osten zu interpretieren.

In der Reoperspektive ist es natürlich leicht, die entsprechenden Weltbilder zu begutachten, wenn man sich aber in eine Zeit versetzt, in der der einfache Mensch in seinen Empfindungen noch tief in der Natur verwurzelt war und darauf angewiesen war, dass ihm sein Gefühl die Entscheidung abnimmt was wahr ist, sieht die Sache völlig anders aus. Hinzu kommt, dass die Gelehrten in jenen Tagen aus dem Kreis der Kirche kamen und versuchten, die Texte der Bibel möglichst sorgfältig auf ihre Bedeutung hin zu prüfen. Eine Kunst, die sehr hoch entwickelt war und dabei stößt man nur auf wenige Stellen, die die damals nicht sonderlich brisante Frage, Erde oder Sonne im Mittelpunkt, relativ elegant entscheidet.

Die Bibel hat tatsächlich die vielzitierte Stelle „Da hielt die Sonne an, und der Mond stand still, bis er sich gerächt hatte am Volke seiner Feinde.“<sup>6</sup>, die man so interpretieren kann, dass sich die Sonne bewegt haben muss, bevor sie still stand, ergo ruht die Erde und steht in der Mitte. Allerdings hat sich die Interpretation, dass die Erde in der Mitte steht auch deshalb durchgesetzt, weil es natürlich viel einfacher zu vermitteln ist als eine Erde, die mit viertausendfacher Laufgeschwindigkeit durch den Weltenraum jagt, ohne dass man das Geringste spürt! Lehrmeinungen müssen

<sup>5</sup> In Deutschland sind immer noch ca. 11% der Bevölkerung über 16 Jahre der Meinung, dass die Sonne sich um die Erde dreht, Allensbach – Umfrage Frühjahr 2000!

<sup>6</sup> Josua 10,13-14

eben immer auch etwas auf den Geschmack des Publikums Rücksicht nehmen, vor allem, wenn man das ganz breite, ungebildete des Mittelalters gewinnen will. Der Glaube ist daher immer ein Abbild einer gesellschaftlichen Konvention, was als wahr zu erachten ist.

Die neue Lehre von Kopernikus, dass die Sonne im Mittelpunkt steht, die Erde um die Sonne kreist und sich der Mond um die Erde dreht, ist für den Alltag unbedeutend. Dabei ist sie zudem nicht wirklich neu sondern das wiederaufgetaute Wissen des Altertums und ist wohl zunächst für das Weltbild nicht als sehr bedeutsam erachtet worden, da es kein Dogma gab, das diese Position verurteilt hätte. So trägt man die Ansichten Kopernikus auch 1533 Papst Klemens VII vor, der die Meinung nicht Teilt aber auch nicht verurteilt, erst im Jahre 1611 landet das Buch „De Revolutionibus“ das die Lehre von Kopernikus enthält auf Anweisung von Urban VIII ???auf dem Index, von dem es erst im Jahre 1835 wieder entfernt wird<sup>7</sup>.

Diskussion der Frage, ob der Weltbildwechsel mit einem topologischen Defekt in einen nn??? vergleichbar ist

### 1.1.2 Darwin, die Entstehung der Arten

Die Kopernikanische Wende war der Auftakt zu einer Reihe von wissenschaftlichen Revolutionen die das Weltbild grundlegend erschüttert haben. Die Idee Darwins ist aus zwei Gründen bedeutend für den Inhalt dieses Buchs, zum einem zeigt sie, wie eine fester Bestandteil des Weltbilds vollständig und für viele schmerzhaft verschwindet, zum anderen ist die Abstammung des Menschen vom Affen ein klarer Hinweis, dass Denken kontinuierlich entstehen kann.

Wir sind von einer unfassbaren Vielfalt lebender Wesen umgeben, es sind mit Sicherheit mehr als eine Million verschiedenen Arten. Die erste große Leistung der Biologen war die systematische Erfassung aller Lebewesen und insbesondere die hierarchische Systematisierung in Form von Klassen. Wer jemals versucht hat eine Sammlung von Objekten in ein hierarchisches System einzuordnen versteht das Problem viel leichter. Will man die

<sup>7</sup> <http://www.blupete.com/Literature/Biographies/Science/Copernicus.htm>

Bücher im Schrank sortieren oder die Musiksammlung systematisieren, stößt man sehr schnell auf Elemente, die an mehreren Stellen logisch Platz hätten. Die große Kunst eines Bibliothekars liegt in der Fähigkeit, Bücher richtig in eine Systematik einzuordnen. Der Biologe versucht das mit den Lebewesen und hat gelernt, dass dies mit Erfolg möglich ist. Damit gibt es einen ersten Hinweis, dass ein logischer Zusammenhang zwischen den verschiedenen Lebewesen existiert. Wären alle Lebewesen erschaffen worden oder unabhängig voneinander entstanden, es gäbe keinen vernünftigen Grund, dass verschiedene Lebewesen sehr ähnliche morphologische Eigenschaften haben. Damit ist aber klar, dass es eine Verwandtschaft zwischen den Lebewesen geben muss und das bedeutet gemeinsame Vorfahren.

Die Paläontologie hat auch bereits früh entdeckt, dass es Fossilien gibt, die nicht zu lebenden Tieren gehören aber als Vorform interpretiert werden können. Damit ist aber nicht klar, wie die Entwicklung der Lebewesen insgesamt zu höheren Formen gesteuert wird und insbesondere ob der Mensch, mit seiner offensichtlich herausragenden Stellung als kulturtragendes Wesen, ein Nachfahre von einem Affen ist, den er sich mit den Menschenaffen teilt.

Damit es zur entscheidenden Neugestaltung des Weltbilds kommen konnte mussten auch an dieser Stelle wieder zwei fast unüberwindbare Hürden genommen werden. Zunächst muss sich der Mensch eingestehen, dass er keine grundlegend andere Position in der Biologie einnimmt wie jedes andere Lebewesen. Dies ist nicht nur für den religiösen Menschen eine sehr kühne Behauptung, da der scheinbare Abstand zu unseren nächsten Verwandten, den Menschenaffen, relativ groß erscheint. Zudem sind gerade die Menschenaffen im Gegensatz zum Hund, mit dem der Mensch seit über fünfzigtausend Jahren in einem symbiotischen Verhältnis lebt, nicht stubenrein. Obwohl letzteres eine biologisch völlig irrelevante Eigenschaft ist, hat sie gerade in der Gesellschaft des neunzehnten Jahrhunderts sicherlich einen erheblichen unbewussten Einfluss auf die Diskussion gehabt.

Die zweite, aus rationaler Sicht, schwerwiegendere Hürde, ist die Aussage, dass der schlichte Zufall für die Entwicklung der Arten und insbesondere für das Hervorbringen des Menschen von

entscheidender Bedeutung sein soll. An dieser Stelle muss man auch wissen, dass gerade die Entdeckung der Gesetze der Thermodynamik durch Clausius 1854 das genaue Gegenteil postulierten. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass die Entropie eines geschlossenen Systems mit der Zeit immer weiter zunimmt, was nichts anderes bedeutet, dass der Zufall die Ordnung zerstört. Der scheinbare Widerspruch der Theorie von Darwin und Clausius ist heute natürlich leicht aufzuklären, Clausius postuliert den zweiten Hauptsatz mit der Einschränkung – in geschlossenen Systemen – auf der Erde liegt jedoch in keiner Weise ein geschlossenes System vor, permanent wird von der Sonne Energie zugeführt und von der Erde Wärme in das Weltall abgestrahlt. Dabei laufen viele Prozesse ab, die neue Strukturen bilden, indem sie diesen Energiefluss nutzen, angefangen beim Wetter bis zum Aufbau von Gebirgen.

Darwins entscheidende Abhandlung „on the origin of species“<sup>8</sup> wurde 1859 der Linnean Society vorgelegt und 1859 veröffentlicht. In der Abhandlung über den Ursprung der Arten werden die beiden Grundthesen der Evolutionslehre postuliert, dass es eine natürliche Zuchtwahl gibt, die dem passendsten (fittest) Lebewesen einer Gattung eine höhere Überlebenschance und damit eine höhere Anzahl an Nachkommen einräumt und zum Zweiten, dass die Unterschiede der einzelnen Exemplare einer Gattung durch zufällige Prozesse zustande kommen.

Ein weiteres Problem für den Menschen stellen die großen Zeiträume dar, in denen die Evolution neues hervorbringt. Es ist gerade eine typische Eigenschaft, dass sich innerhalb der Lebensspanne eines Lebewesens keine sichtbare Veränderung ergibt, da erst im Laufe von vielen Generationen eine positive Mutation in der Population hervortritt und die bestehenden Typen langsam verdrängt. Daher ist das klassische Argument gegen die Evolutionstheorie, mit dem Satz „noch niemand hat eine neue Art

---

<sup>8</sup> Alfred Russel Wallace legte 1857 Darwin eine Arbeit mit dem selben Gedankengang über die Evolution vor, worauf sich Darwin entschied, den von ihm bereits seit 1838 formulierten Gedankengang zu publizieren, die Details dieser sehr spannenden Entdeckung sollen hier nicht weiter verfolgt werden.

entstehen sehen“, beschrieben, ein typischer Effekt einer speziellen Form von Beobachterblindheit.

Im Laufe von über hundertfünfzig Jahren Forschung besteht allerdings nicht mehr der geringste Zweifel, dass der Mechanismus der Evolution ausreicht um die Entstehung der Arten auf der Erde zu erklären. Die Tatsache, dass einige Effekte, wie die Entwicklung des Rad des Pfauen, nicht auf Anhieb plausibel erscheinen, kann nicht als fundamentales Problem der Theorie betrachtet werden. Die Tatsache, dass immer noch sehr viele Menschen die Darwinsche Evolutionstheorie kategorisch ablehnen zeigt allerdings sehr klar, dass sich eine wissenschaftliche Theorie nicht nur aufgrund ihrer Beweislage durchsetzt, sondern auch dass nur ein Teil der Menschen ein naturwissenschaftliches Weltbild konsequent akzeptiert.

### 1.1.3 Die Herkunft des Menschen

Die Beschreibung der Entstehung der Arten ist aber nur ein Teil des Darwinschen Weltbilds, der andere ist die kontinuierliche Entwicklung des Denkens aus dem Dunkel der animalischen Herkunft des Menschen. Innerhalb von einigen tausend Generationen hat ein Lebewesen, lange nachdem das Gehirnvolumen bereits das heutige Volumen erreicht hatte, eine völlig neue Art der Informationsverarbeitung entwickelt, Das Denken aus dem nichts. Aus den Artefakten wird sich der genaue Ablauf nicht mehr rekonstruieren lassen aber einige Eckdaten bleiben bemerkenswert. Die ersten Menschen der Gattung Homo Sapiens hatte vor etwa vierhunderttausend Jahren den Boden Afrikas betreten, das Gehirn hatte damals bereits ein Volumen von über 1000 ccm. Die ältesten Kunstwerke des Menschen datieren etwa 30 bis 60 tausend Jahre vor unserer Zeit. Es gab also eine Zeitspanne von mehreren hunderttausend Jahren, in denen die Menschen trotz des leistungsfähigen Gehirns nicht die heutigen Kulturtechniken der Sprache und Kunst zeigten. Dafür kann es viele Gründe geben, möglicherweise gab es noch nicht die „richtige“ plastische Entwicklung des Gehirns, es kann auch sein, dass es ein sehr langsamer Prozess ist, bis aus kleinsten Ansätzen kultureller Tätigkeit eine positive Rückkopplung einsetzt, die



einen entscheidenden Vorteil bei der Bewältigung des Lebens in einer rauen Umwelt ergibt.

Dabei scheint die Entwicklung der Sprache der Schlüssel zur explosionsartigen Entwicklung kultureller Leistungen zu sein<sup>9</sup>. Die Sprache ist nicht nur ein System, das es ermöglicht, einem anderen die eigene Weltsicht mitzuteilen sondern sie wird in einem Kultursystem zu Träger der Kultur selbst, so wie die Gene den Faden des Lebens spinnen. Die in einer Kultur sprachlich gespeicherte Information wird sich über lange Phasen nach Gesetzen der Evolutionstheorie selbst fortgepflanzt haben und den Menschen nur als Träger der Meme<sup>10</sup> genutzt haben. Ein Vorgang, der erst mit dem aufkommen der modernen Naturwissenschaften auf weiten Strecken zum Erliegen gekommen ist.??detaillierter

#### 1.1.4 Cogito, ergo sum

Der moderne Mensch definiert seine Existenz seit Rene Descartes (1596-1650 n.Chr.) mit dem Satz: „Ich denke, also bin ich“ über die Tatsache, dass er denkt. Mit der inzwischen weit über den Kreis der Philosophie hinaus bekannten Äußerung sollte ein Versuch unternommen werden, die Existenz von innen heraus zu beweisen. Dabei hatte Descartes diesen Satz nicht in unserem modernen Sinne gesehen, für ihm war es ein Beweis für den Geist, der neben der Materie existiert. Letztendlich ist der Satz für Descartes ein Gottesbeweis, da er eindeutig die Existenz des Geistes und damit die Existenz Gottes belegt. Wie alle Versuche dieser Art sind sie problematisch, weil Subjekt und Objekt nicht sorgfältig getrennt werden. Hier ist von besonderem Interesse, dass das Denken als Tätigkeit für ihn selbstverständlich stattfindet, es wird weder definiert oder kritisch hinterfragt. Das Denken des

<sup>9</sup> Die Bedeutung von Sprache wird ausführlich von Keith Devlin in seinem lesenswerten Buch „Das Mathe-Gen“ beschrieben. Seine These lautet, dass erst die Sprache unsere hochentwickeltes Denken ermöglicht hat.

<sup>10</sup> Der Begriff des Meme ist eine Anlehnung an das Wort Memory und Gen, die Idee des Mems wurde von Richard Dawkins 1976 mit dem Buch „The Selfish Gene“ eingeführt. Ein Meme ist eine Idee, die ähnlich einem Virus, vom Trägerorganismus (Wirt) weiterverbreitet wird, in unserem Fall ist der Wirt der Mensch.

Menschen dient dann aber als Ausgangspunkt eines Existenzbeweises.

Dies ist eine Vorgehensweise, die an den Aufbau des Aristoteleschen Weltbildes erinnert, in dem der „gesunde“ Menschenverstand eine exakte Beschreibung der Natur liefern soll. Das Erfolgsgeheimnis solcher Weltbilder liegt in der Suggestivkraft, da sie sofort jedem plausibel erscheinen, es sind sozusagen Mittelwerte des einfachen Weltverständnisses. In unserem Fall ist sich jeder sicher, dass er denkt, unabhängig davon, was er als denken bezeichnet. Er ist sich ähnlich sicher zu wissen, dass er Denkt, wie er glaubt zu wissen, was die Zeit ist, solange er nicht nachdenkt was den Denken ist, ganz im Sinne des Thomas von Aquin (1225 - 1274 n.Chr.), der meinte, er wisse was die Zeit ist, solange ihn niemand danach fragt.

Daraus leiten wir eines der Fundamente unseres Weltbildes ab, die Vorstellung von der Einmaligkeit der menschlichen Fähigkeit zu denken. Dieser Ansatz ist nicht nur theoretisch problematisch, da er uns in dieser Frage auf eine falsche Fährte lockt. Zunächst muss genau klar werden, was mit dem Begriff Denken in diesem Zusammenhang gemeint ist und vor allen, was nicht gemeint ist, dann kann über die Frage nachgedacht werden ob sich die Fähigkeit zu den Denken auf den Menschen beschränken lässt.

#### 1.1.5 Denken eine kleine Abgrenzung

In der deutschen Sprache stehen die Worte Seele, Geist, Bewusstsein, Denken und Intelligenz eng zusammen und werden daher in vielen Diskussionen unreflektiert zusammengeworfen. Während die Seele aber klar auf ihre religiöse Bedeutung verwiesen werden kann, sie wird immer als etwas immaterielles Verstanden, das sich von der Materie trennen lässt, trifft dies für die anderen Begriffe nicht zu. Der Geist kann als die aufgeklärte Beschreibung des Begriffs Seele verstanden werden, indem man ihm die menschliche Existenz zuordnet ohne eine mögliche Abkopplung von einer materiellen Basis zuzulassen. Bewusstsein ist sicherlich eine Sonderform des Selbstverständnisses eines datenverarbeitenden Systems, wie es im Menschen realisiert ist. Es hat sich in der Evolution bewährt um ein System mit

Planungsfähigkeit bei den Handlungen auf das Ziel, der eigenen Erhaltung und Vermehrung, zu optimieren.

Denken soll als ein Vorgang verstanden werden, bei dem komplexe Informationen erfolgreich verarbeitet werden, ein mögliches Maß für diese Leistung bei Menschen ist die Intelligenz, andere mögliche Maßstäbe werden im Kapitel 2.2 diskutiert.

Die Begriffe Geist, Bewusstsein und Denken sind eng verwoben, da sie sich gegenseitig bedingen und trotz der Definitionsversuche nicht säuberlich getrennt werden können. So erfordert ein Bewusstsein immer die Fähigkeit zu denken, umgekehrt kann es sein, dass ab einer gewissen Form von Denken Bewusstsein als „Abfallprodukt“ anfällt. Es ist auch schwer sich einen Geist ohne Bewusstsein vorzustellen, vielleicht ist aber der Begriff Geist nur ein Versuch das Bewusstsein durch einen pseudoreligiösen Begriff zu schminken, damit es leichter fällt, eine Brücke zwischen der religiösen Begriffswelt und der wissenschaftlichen Begriffswelt zu bauen.

### 1.1.6 Gibt es schon denkende Maschinen?

In der Frage nach denkenden Maschinen wird klar, wie eng die Definition des Begriffs Denken mit der Beantwortung der Frage verwoben ist. Daneben steht für die meisten Menschen das viel größere Problem, eine denkende Maschine überhaupt in Erwägung zu ziehen. Wenn man prinzipiell ableugnet, dass eine Maschine Denken kann, dann erübrigt sich die Beantwortung der Frage automatisch. Zum jetzigen Zeitpunkt (2002) gibt es noch keine Belege für Maschinen, die in der Lage sind, Leistungen zu vollbringen, die mit menschlichem Denken gleichgesetzt werden können. Dies ist nicht nur eine subjektive Feststellung, sondern durch den Turingtest prinzipiell auch objektivierbar. Bisher hat kein System den Test in der Form gewonnen, dass es in der Lage gewesen wäre, einem Fragenden durch geschickte Antworten vorzugaukeln, dass es sich um ein menschliches Wesen handelt. Allerdings ist der Turingtest in seiner einfachen Form problematisch und sollte für eine präzise Analyse der Denkfähigkeit modifiziert werden, siehe Kapitel 2.2.

Die Ausgangssituation ist damit klar umrissen, es gibt heute keine denkenden Maschinen, die Fähigkeit zu denken wird dem Menschen und nur ihm zugeschrieben, diese Situation wird als statisch und weltbildbestimmend empfunden.

### 1.1.7 Dynamik in der Beurteilung

Hier soll nun die These aufgestellt werden, dass es sich nicht um eine statische Tatsache handelt, sondern, dass der Begriff des Denkens und die Abgrenzung der Fähigkeit als rein menschengebundenes Phänomen in die Irre führt und zudem uns der Fähigkeit beraubt, die Zukunft und vielleicht sogar die nähere Zukunft richtig einzuschätzen und zu gestalten. Dies ist eine analoge Situation wie bei vielen Verschiebungen im Weltbild, wie sie sehr ähnlich bei der Erkenntnis zutage trat, dass Biologie und Chemie nicht grundsätzlich verschiedene Reiche sind. Bis zur Harnstoffsynthese<sup>11</sup> gab es keinen wissenschaftlichen Beleg, und nur ein solcher soll zählen, dass biologische Systeme nach den gleichen Regeln arbeiten als ein Chemiereaktor.

Unabhängig davon ist aber bereits lange vorher die Idee gereift, dass möglicherweise kein grundlegender Unterschied zwischen belebter und unbelebter Natur existiert. Die mechanische Ente des Barock ist aber ein Beleg dafür, wie weit oft die Phantasie der Künstler neben dem Kern des Problems liegt. Der Nachbau einer Ente ist bis heute nicht gelungen, wengleich jetzt kein Zweifel mehr an der vollständigen biochemischen Beschreibbarkeit einer natürlichen Ente besteht. Und in der Tat sind wir zufällig gerade heute auch in der Lage abzuschätzen, wie schwer es ist, ein solches Wesen zu bauen.

## 1.2 DIE HYPERKOMPLEXITÄT

Komplexität ist für den Menschen eine schwer zu fassende Eigenschaft. Ist eine Fragestellung so aufgebaut, dass der Mensch

<sup>11</sup> Wöhlers Entdeckung der Harnstoffsynthese wird allgemein als Ende der Theorie betrachtet, die dachte, dass eine „Lebenskraft“ für die Bildung biologischer Substanzen notwendig ist. Einige Anmerkungen unter [http://www.museum.chemie.uni-goettingen.de/musbrief/19/musb19\\_1.htm](http://www.museum.chemie.uni-goettingen.de/musbrief/19/musb19_1.htm)

die Verarbeitung nicht durch vorgegebene Gehirnstrukturen wie die Sehrinde sofort erfassen kann, dann ist die Fähigkeit ein Problem zu verstehen sehr eingeschränkt. Bereits wenige gleiche Gegenstände, die auf einen Tisch liegen kann er nicht sofort zahlenmäßig erfassen. Dabei liegt das Limit je nach Untersuchung etwa bei sieben Objekten, vielleicht ein Grund warum die Woche sieben Tage hat, die gerade noch vollständig überschaubare Zahl von Tagen. Sobald mehrere Objekte gleichzeitig im Bewusstsein verarbeitet werden sollen, kann dies nur gelingen, wenn mehrere Objekte zu Chunks<sup>12</sup> zusammengefasst werden.

Mit dieser erstaunlich geringen Übersicht versucht sich der Mensch erfolgreich durch das Leben zu bewegen. Dass der Mensch dabei oft auf Fragen stößt, die er nicht „im Kopf“ lösen kann versteht sich damit viel leichter, viele Rätsel sind darauf aufgebaut. Wir bemerken dieses erhebliche Defizit bei dem Versuch Probleme zu verstehen und zu Lösen jedoch meist nicht, da wir mühelos einzelne Objekte zu Chunks zusammenfassen, die vielen Buchstaben sind Worte, die Worte werden Sätze, die Sätze Absätze, Kapitel, Bücher, usw., die vielen Bäume sind der Wald, die vielen Häuser der Ort und die vielen Blumen der Strauß.

Sobald aber ein Ort betreten wird, der erheblich mehr Objekte zu bieten hat als wir verarbeiten können und wir mit den einzelnen Objekten noch nicht vertraut sind, entsteht das Gefühl der Überforderung und der Wunsch nach Ordnung. Ein klassisches Beispiel ist inzwischen das Internet geworden, dort werden wir auf fast jeder Webseite mit unzähligen Informationen überschüttet und wir können sie nur schlecht einordnen, weil wir noch nicht die richtigen Chunks gebildet haben um mit dem scheinbaren Chaos umzugehen.

---

<sup>12</sup> Miller entdeckte, dass der Mensch nur 7, plusminus 2, Chunks gleichzeitig erfassen kann. Ein Chunk ist dabei eine Zusammengruppierung von Objekten, die bereits im Gedächtnis repräsentiert ist, etwa eine bekannte Jahreszahl oder ein Wort anstelle von Ziffern oder Buchstaben. Psychological Review, 1956, Band 63, Seite 81-97

### 1.2.1 Grosse Zahlen

Viele Betrachtungen über die Arbeitsweise des Gehirns und der Umgang mit komplexen Strukturen erfordert ein Verständnis für große Zahlen. Daher wird in diesem Abschnitt der Versuch gemacht, dem Leser einige Zahlen jenseits der Sieben bildlich zu vermitteln.

Die letzte kleine oder die erste große Zahl ist oft die *Tausend*, eine Eins mit drei Nullen. In vielen Währungen ist es der Wert des größten Geldscheins. Im römischen Zahlensystem ist es das höchste gebräuchliche Zeichen, M, obwohl auch die Römer größerer Zahlen kannten<sup>13</sup>. Nach tausend Tagen sind wir so alt, dass wir uns an Ereignisse erinnern können. In unserer Kultur ist tausend der häufigste Faktor für Einheiten<sup>14</sup> und jeder kennt den Kilometer als Basisgröße für Reiseentfernungen, die Strecke ist leicht vorstellbar und in zehn Minuten zu Fuß abzuschreiten, die Ausgangseinheit, der Meter, eine Strecke die wir mit den Armen erreichen können, die Entfernung die wir mit einem Schritt zurücklegen.

Auch die Verkleinerung des Meters auf ein tausendstel<sup>15</sup>, den Millimeter, ist eine leicht vorstellbare Größen. Der Meterstab, heute meist zwei Meter lang, ist ein ideales Symbol um die tausend Millimeter für unsere Vorstellungswelt erfahrbar zu machen. Die Buchstaben dieses Textes sind etwa einen Millimeter breit, einen Millimeter kann man mit dem Auge noch gut erkennen, die kleinsten Objekte die wir greifen können sind etwa einen Millimeter groß

Aus den beiden Größen, Millimeter und Kilometer kann man leicht die *Million*, eine Eins mit sechs Nullen, für die Vorstellung konstruieren. Ein Kilometer besteht aus einer Million Millimeter, man muss sich also nur die Distanz eines Kilometers vergegenwärtigen und nach jedem Millimeter einen Strich ziehen. Die Million ist aber bereits jenseits dessen, was wir uns wirklich gut vorstellen können, selbst die besten Gedächtniskünstler können sich nicht eine Million unterschiedlicher Zahlen merken, kein

---

<sup>13</sup> Es gibt auch Römische Zahlzeichen für 5.000, 10.000 100.000 und eine Million

<sup>14</sup> abgekürzt k für Kilo aus dem Griechischen für tausend

<sup>15</sup> Abgekürzt m für milli, aus dem Lateinischen millesima, ein Tausendstel

Mensch kann eine Million Tage alt werden. Nur sehr wenige Menschen haben mehr als eine Million Seiten in Büchern gelesen, leider. Dieses Buch enthält etwa eine Million Buchstaben. In einer großen Stadt leben eine Million Menschen, aber niemand kennt alle, es ist eine anonyme Millionenstadt. In der Sprache der Ägypter, den Hieroglyphen, steht das Symbol für eine Million auch für Gott.

### 1.2.2 Jenseits der Million

Bekanntermaßen ist beim Geldverdienen die erste Million die schwerste, für unsere Vorstellungskraft beginnt jenseits der Million der Bereich größerer Probleme. Die folgenden Zahlen kann man zwar ebenfalls umschreiben, ich habe aber gewisse Zweifel, ob wir wirklich eine brauchbar Vorstellung von der Größe der jeweiligen Zahl entwickeln, insbesondere ob wir auch in der Lage sind die Konsequenzen abzuschätzen, wenn ein Wert in diesen Größenbereich vordringt.

Die *Milliarde*, eine Eins mit neun Nullen. Man sich die Zahl begrifflich machen, wenn man einen Sandkasten mit einem Meter Länge, Breite und Höhe mit groben Sand füllt, jedes Sandkorn soll etwa einen Millimeter Durchmesser haben, in der Kiste liegen dann eine Milliarde Sandkörner. Wer in der ersten Schulklasse zu zählen beginnt, erreicht etwa mit dem dreißigsten Lebensjahr die Zahl eine Milliarde, ein handelsüblicher PC kann in jeder Sekunde auf eine Milliarde zählen!

Denkt man sich eine Fläche von einem mal einem Kilometern mit Millimeterpapier ausgelegt, dann findet man darauf eine *Billion*, eine Eins mit 12 Nullen, Kästchen. Wer das wirklich mal ausprobieren will muss etwa 100.000 Euro für das Papier ausgeben. So gewaltig die Zahl erscheint, eine moderne Festplatte kann hat genau so viele Speicherplätze für Einsen und Nullen (120Gbyte), eine moderne Datenleitung mit Glasfaser kann die Information in einer Sekunde über eine Strecke von 1000 km Übertragen.

Jenseits der Billion kommen Mengen sowohl im Alltag, oder im Staatshaushalt, nur sehr selten vor. Für die Betrachtung des Gehirns und seiner Komplexität, aber auch um seine Rechenleistung zu verstehen, muss man noch einige Schritte

weiter auf der Zahlenskala gehen. Auf die Billion folgt die *Billiarde* im System der Zahlennamen, ein System in dem jeweils mit tausend multipliziert wird um zum nächsten Begriff zu kommen. Eine Billiarde hat demzufolge 15 Nullen und es ist etwa die Zahl der Nervenverbindungen die im menschlichen Gehirn vorliegen. Das bedeutet, man benötigt theoretisch tausend moderne Festplatten um die Informationsstruktur des Gehirns abzuspeichern.

Die *Trillion*, eine Eins mit 18 Nullen, kann man sich als sehr große Sandkiste vorstellen, einen Kilometer breit, einen Kilometer hoch und einen Kilometer tief, so tief wie ein sehr tiefes Bergwerk. Verteilt man diesen Sand an alle Erdenbürger, so bekommt jeder 200 Millionen Körnchen und ist über fünf Jahre mit dem nachzählen beschäftigt. Schaltelemente in modernen Mikroprozessoren haben nur einen tausendstel Millimeter Kantenlänge, könnte man einen Würfel mit einem Meter Kantenlänge damit füllen, wären genau eine Trillion Schaltungen in diesem Würfel, vermutlich die Menge an elektronischen Schaltelementen, die weltweit vorhanden ist.

Die *Trilliarde*, eine Eins mit 21 Nullen, lässt sich erahnen, wenn man alle Information, die jemals von Menschen digital gespeichert wurde imaginiert.

Zuletzt bleibt die *Quadrillion*, eine Eins mit 24 Nullen, die größte Zahl für die es eine einheitliches Zeichen gibt, das Y oder yotta. Versucht man sich diese Zahl durch reale Objekte vorzustellen, erhält man einen Würfel mit hundert Kilometer Breite, Länge und Höhe, also bis in das nahe Weltall hinaufreichend, mit Sandkörnern gefüllt. Für den Chemiker aber eine kleine Zahl, da sie etwa der Anzahl an Wassermolekülen in einem Schnapsglas entspricht.

### 1.2.3 Das Gehirn in Zahlen

Das Gehirn, unzweifelhaft der Ort des Denkens, ist ein materielles Gebilde ungeheurer Komplexität. Und es klingt fast wie eine Tautologie, dass ein System bestehend aus 100 Milliarden Zellen und etwa tausend mal so viele Verbindungen nicht vollständig in seiner Struktur von einem System mit gerade mal 100 Milliarden

Bauteilen und jeweils tausend Verknüpfungen gespeichert werden kann. Und wenn es gelingt, bleibt kein Platz dies mitzuteilen.

Wir müssen als erstes davon Abschied nehmen, dass wir das Gehirn wie eine Taschenuhr verstehen können, die wir aufschrauben und die zumindest ein Uhrmacher vollständig kennt und damit auch reparieren, verändern oder weiterentwickeln kann. Wir befinden uns aber bereits heute in der Situation, dass wir von Systemen umgeben sind, deren Komplexität weit jenseits unserer Aufnahmefähigkeit liegt. Bereits ein normaler Personalcomputer mit einem Mikroprozessor, bestehend aus hundert Millionen Transistoren ist im Sinne einer Taschenuhr nicht vollständig gedanklich zu erfassen, wiewohl das System zweifellos von Menschen geplant und genutzt wird.

Die Komplexität eines Systems ist kein Maß für die Natürlichkeit eines Systems, weil inzwischen die Technik Systeme bauen kann, die funktionieren und in Teilen auch von Menschen entworfen wurden, jedoch nicht mehr für das menschliche Auffassungsvermögen überschaubar sind. Diese enorme Zunahme der Komplexität ist vermutlich eine der grundlegendsten Veränderungen in der Struktur von technischen Systemen im zwanzigsten Jahrhundert gewesen. Nicht die Wahl eines bestimmten Metalls oder der Einsatz einer bestimmten Energiequelle noch die Reise in den nahen Weltraum sind in der historischen Perspektive von so entscheidender Bedeutung wie das Verlassen des Vorstellungsvermögens bei der Strukturierung der Materie durch den Mensch.

#### 1.2.4 Hyperkomplexe Systeme

Die Eigenschaft von Objekten, die eine Komplexität jenseits der Vorstellungskraft eines Menschen aufweisen, sollen als Hyperkomplex bezeichnet werden.

In unserer Umwelt treffen wir auf sehr viele Hyperkomplexe Systeme, die meisten davon sind natürlichen Ursprungs. Es ist das Reich der Biologie, in dem selbst die einfachste Zelle als molekulare Fabrik mehr aktive Elemente aufweist, als wir in Gedanken fassen können. Dies muss nicht bedeuten, dass der Prozessablauf in einer Zelle für die Wissenschaft nicht vollständig zugänglich ist, es bedeutet nur, dass kein Mensch die Abläufe im

einzelnen überschauen kann. Ein Verbund von Zellen, so wie er Beispielsweise in den einfachen Organen wie der Lunge vorliegt, soll nicht als Hyperkomplex bezeichnet werden, da die einzelnen Elemente in einem hohen Grad regelmäßig, wenn auch fraktal<sup>16</sup>, aufgebaut sind.

Anders verhält es sich mit dem Gehirn, die Zahl der Zellen ist vergleichbar mit der Lunge, aber die entscheidende Anordnung der neuronalen Verschaltung ist entscheidend für seine Arbeit und nicht auf ein einfaches System, wie eine fraktale Struktur, zurückzuführen.

Technische Systeme sind heute oft an der Schwelle zur Hyperkomplexität. Dies liegt an der immer häufigeren Verwendung von rechnergestützten Funktionen. Das System als solches, wie etwa ein Auto, ist in seiner Mechanik für einen Ingenieur sehr wohl überschaubar, aber bereits ein hinreichend leistungsfähiger Bordcomputer überschreitet die Schwelle zur Hyperkomplexität.

Eine etwas andere Maßlatte für die Klassifikation von technischen Systemen mit Hyperkomplexität liegt in der Möglichkeit der Behebung von Systemfehlern. Klassische Systeme erlauben eine Störungsbehebung auf der Ebene des Systemfehlers. So können Sie bei einem tropfenden Wasserhahn die Dichtung auswechseln, ein unterfangen, das man je nach Charakter auch einen Klempner überlassen kann. Niemand würde aber das Wasserversorgungsnetz einer Stadt neu einrichten, nur weil ein Wasserhahn tropft. Das Wasserleitungssystem einer Stadt ist damit nicht Hyperkomplex sondern nur ungewöhnlich Groß und verzweigt für eine einfache Maschine. Völlig anders stellt sich die Situation nach einem Absturz eines Computers dar. Selbst wenn Sie die besten Experten aus dem Computerclub holen gelingt die Fehlerbehebung nicht, indem in einer bestimmten Anzahl von Speicherzelle des Computers die Werte von Null auf eins gesetzt werden, selbst wenn dies durch geeignete technische Geräte wie Mikroskop und

<sup>16</sup> Fraktalen Systemen im engerem Sinn, liegt eine einfache, ordnungsgebende Regel zugrunde. Leider ist die Eigenschaft „fraktal“ in den letzten Jahre populärwissenschaftlich oft unglücklicherweise mit chaotisch oder komplex konnotiert worden. Es gilt: Chaotische Systeme können fraktale Strukturen enthalten, komplexe Systeme können nicht weiter reduziert werden.

Nanotastköpfe möglich wäre. Es wird immer eine Art Neuentwicklung des Systems durchgeführt, die durch einen Reset veranlasst wird. Leider können dadurch Daten unwiederbringlich verloren gehen, aber dies ist eben eine typische Eigenschaft von hyperkomplexen Systemen.

Hyperkomplexität ist jedoch keine hinreichende Eigenschaft für denkende Systeme. Kein Computer wird durch die Fähigkeit, abzustürzen zum denkenden Computer, aber sie ist eine notwendige Bedingung für die Entwicklung von Systemen, die in der Lage sein werden zu Denken.

### 1.3 DIE RECHENKAPAZITÄT

Ohne ausreichende Rechenkapazität ist Denken schwer vorstellbar. Daher muss man zuerst abschätzen, wie viele Operationen pro Sekunde von verschiedenen Systemen geleistet werden. Das Gehirn des Menschen ist zwar vielfach untersucht worden, jedoch fehlen erstaunlicherweise viele Daten, die eine exakte quantitative Abschätzung der Rechenleistung des Gehirns zulassen würden. Einige Randbedingungen sind bekannt und hier werden Werte an der bekannten Obergrenze genommen, um von vornherein sicher zu sein, dass keine Unterschätzung auftritt.

Die Zahl der Nervenzellen im Kortex liegt bei höchstens 100 Milliarden, ein Wert der sehr unsicher ist, da zum einen verschiedene Zelltypen vorliegen und der jeweilige Anteil an der Arbeitsleistung nicht genau aufgeklärt ist, zum anderen, weil je nach Region unterschiedliche Dichten der Nervenzellen beobachtet werden. Wenn man dann noch dazunimmt, dass Zellen absterben und möglicherweise teilweise inaktiv sind wird das Problem der quantitativen Bestimmung klar. Jede Nervenzelle ist mit ca. 1.000 bis 10.000 anderen Zellen verbunden. Im Mittel kann man optimistisch von 5.000 Synapsen ausgehen.

Dieses System arbeitet nun in der Form, dass einzelne Neuronen Signale aussenden, feuern, und daraufhin weitere Neuronen ebenfalls feuern oder eben nicht feuern. Die Wiederholfrequenz liegt bei etwa 50 Hz, auch wenn man davon ausgehen kann, dass nur ein relativ kleiner Teil gerade feuert bewirkt doch die hohe Konnektivität eine, zumindest passive, Beteiligung vieler an diesem Prozess. Mithin hat man es mit

$100.000.000.000 * 5.000 * 50 = 25.000.000.000.000.000$  oder 25.000 Terraflips pro Sekunde zu tun. Dieser Wert ist außerordentlich groß und sicherlich noch von keinem verfügbaren Rechnersystem erreicht.

Der Stand der Rechentechnik liegt heute bei etwa 10 Terraflips pro Sekunde, das sind Gleitzahlberechnungen. Jede Gleitzahlberechnung besteht allerdings aus 64 Binäroperationen, was einer Leistung von 640 Terraflips entspricht.

Dies kann selbstverständlich nur eine extrem grobe Schätzung sein, zeigt aber dass es noch einen „Sicherheitsabstand“ von einem knappen Faktor hundert gibt. Es gilt bekanntlich das Moorsche Gesetz<sup>17</sup>, das besagt, dass sich alle 18 Monate die Rechenleistung der Systeme verdoppelt, somit dauert es noch etwa zehn Jahre bis Computersysteme zumindest die gleiche Rechenleistung wie ein menschliches Gehirn besitzen.

### 1.4 EXPONENTIELLES WACHSTUM

Mathematische Gesetze haben für viele etwas Abstraktes an sich, sobald einer dieser Begriffe fällt, fällt auch der Vorhang der Aufmerksamkeit. Gerade dies sollte hier nicht geschehen, da exponentielles Verhalten nicht nur für die weitere Betrachtung hier von entscheidender Bedeutung ist. Fast jeder kennt die Geschichte mit dem Reiskorn auf dem Schachbrett. Der Erfinder des Spiels wollte als Lohn ein Reiskorn auf dem ersten Feld, doppelt so viele Körner auf dem zweiten Feld, und so weiter. Dies wirkt auf dem ersten Blick genügsam und darin liegt der Denkfehler. Niemand ist in der Lage, intuitiv sofort wahrzunehmen dass der Erfinder damit fast tausendmal die Weltreisernte von 1994 als Lohn erhalten will. Jede weitere Aufgabe die mit Verdoppelung arbeitet, und das ist der Kern des exponentiellen Wachstums, führt zu ähnlich ungläublichen Resultaten. Wenn man in einer Stunde einen Kilometer im langsamen Gang zurücklegt, in der nächsten Stunde sein Tempo aber verdoppelt, und in der folgenden Stunde mit dem Üblichen Tempo eines Spaziergängers geht, erscheint das nicht

<sup>17</sup> Gordon Moore, Mitgründer der Firma Intel, hat dies 1965 erstmals in einem Artikel angedeutet, in welchem er die Zahl der Transistoren für 1975 auf 65000 (2E16) pro Chip extrapolierte.  
<http://www.intel.com/research/silicon/moorespaper.pdf>

dramatisch. Führt man die Geschwindigkeitsverdopplung aber durch gemaches Joggen in der vierten Stunde fort, steigt dann aufs Fahrrad und fährt mit 16km/h weiter klingt das alles sehr gemütlich. Ist man am Morgen um sieben in Richtung Osten losgezogen, so kommt man um Mitternacht aus Westen zuhause vorbei. Nach dieser Erdumrundung geht es geradeaus weiter, Vormittags um 11 Uhr passiert man die Sonne, nach zwei Reisetage verlässt man die Milchstrasse und erreicht am dritten Tag das Ende des Weltalls!

Das Beispiel soll zwei Faktoren in Erinnerung rufen, erstens kommen irgendwann andere Gesetze zur Anwendung die leider das Spiel verderben. Hier ist es zuerst die Beschleunigung die in der 18. Stunde den armen Menschen mit über zehnfacher Erdbeschleunigung zerdrückt. Nach 31 Stunden wird das Beispiel auch für die Rakete sinnlos, weil die Überschreitung der Lichtgeschwindigkeit ansteht, was nach den Naturgesetzen nicht möglich ist. Das Reiseende nach drei Tagen am Ende des Weltalls erübrigt sich damit, zeigt aber die zweite fundamentale Grenze auf, dass kein Wachstum in dieser Welt ewig weiter geht.

Für die Betrachtung von exponentiellen Gesetzmäßigkeiten sind drei Faktoren wichtig, wie lange dauert eine Verdopplung, welcher Zeitraum soll betrachtet werden und mit welchem Startwert geht das Wachstum los. So kann niemand Millionär werden, der nur einen Cent bei seiner Geburt auf die Bank legt und mit zehn Prozent verzinst, da er zum hundertsten Geburtstag nur 125Euro besitzt. Nach weiteren 95 Jahren sind allerdings seine Erben mit über einer Million Euros sehr Wohlhabend.

Welche Wachstumsrate gilt für Rechnersysteme? Der Masstab sind dort die binären Operationen in einer Sekunde. Dazu benötigt man integrierte Schaltungen die einerseits viele Schaltungen beherbergen und zum anderen mit einer hohen Taktrate die einzelnen Operationen durchführen. In den letzten vierzig Jahren sind zumindest fünf entscheidende Faktoren so verändert, dass die Leistung von Rechnersystemen zunimmt.

#### 1.4.1 Size Matters

Seit dem Jahre Null in der Entwicklung digitaler Computerchips, das 1959 Jahre nach dem Beginn unserer Zeitrechnung liegt, hat

sich die lineare Ausdehnung der Schaltungen von einem hundertstel Millimeter auf einen zehntausendstel Millimeter verringert. Dieser Faktor 100 in der Länge hat zugleich die Fläche eines Elements um den Faktor 10.000 schrumpfen lassen. Damit kann man schließen, dass innerhalb von 20 Jahren die lineare Ausdehnung einer digitalen Schaltung um den Faktor 10 schrumpft. Aktuell werden die Schaltungen mit einer Breite von 100nm hergestellt. Eine weitere Schrumpfung um den Faktor 10 in den nächsten 20 Jahren erscheint ohne unüberwindbaren Hürden möglich, da bereits im Labor Schaltungen mit dieser Kantenlänge realisiert wurden. Damit passen auf die gleiche Fläche **100 mal** so viele Bauteile als im Jahr 2000

#### 1.4.2 Chipfläche

Obwohl die Fläche eines Chips scheinbar kein besonderes Problem darstellen sollte, man kann bereits seit Jahrzehnten mehrere Centimeter grosse Siliziumplättchen herstellen, hat sich die Größe der Chips nach oben bewegt. Dabei spielt im wesentlichen die Qualität der Reinräume eine Rolle, da bei großen Flächen die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers zunimmt. Es hat in den letzten vierzig Jahren kein dramatischer Flächenzuwachs stattgefunden, für die Extrapolation soll von einer Verzehnfachung der Fläche innerhalb von 20 Jahren ausgegangen werden. Eine Vergrößerung der Fläche um den **Faktor 10** in den nächsten 20 Jahren erscheint ohne grundlegende Probleme möglich, insbesondere wenn man bedenkt, dass die Siliziumscheiben für die Produktion bereits einen Durchmesser von 30 Centimeter haben. Das Potential für Fortschritte in der Reinraumtechnik ist insbesondere durch die weitere Ausschaltung des Störfaktors Mensch erheblich.

#### 1.4.3 Zeit spielt eine Rolle

Bereits in den ersten elektronischen Schaltungen wurden die Signale schneller als im menschlichen Gehirn verarbeitet. In den Computerchips hat die Geschwindigkeit der einzelnen Schaltvorgänge rapide zugenommen. Innerhalb von 20 Jahren hat sich die Taktfrequenz um den Faktor 1.000 gesteigert. Wurden 1980 die Mikroprozessoren noch mit einem Megahertz betrieben, so sind es im Jahre 2000 bereits ein Gigahertz. Eine weitere

Steigerung der Schaltgeschwindigkeit jenseits der heutigen Werte ist sicher realistisch. Allerdings erscheint der Faktor 1.000 in den nächsten zwanzig Jahren wesentlich schwerer zu erreichen, als in den andern Bereichen die analoge Fortschreibung des Fortschritts. In der Abschätzung soll daher eher von einem **Faktor 100** in den nächsten zwanzig Jahren ausgegangen werden.

#### 1.4.4 Kooperation der Chips

Bis vor wenigen Jahren waren in einem Rechner nur ein Prozessor eingebaut. Inzwischen sind Mehrprozessorsysteme üblich und zudem die Verschaltung mehrere Rechner zu Cluster. Dabei werden für praktische Aufgaben bereits bis zu 10.000 Rechner zusammengeschaltet, wie im Fall der Suchmaschine Google. Inwieweit dieser Trend fortgeführt werden kann ist unklar, da die Systemverknüpfung zu erheblichen Kosten, was Raum und Energieverbrauch betrifft, führt. Es soll daher davon ausgegangen werden, dass die Zahl der verknüpften Prozessoren nicht mehr als um den **Faktor 10** für ein isoliertes System wächst.

#### 1.4.5 Realistische Steigerung der Systeme

Innerhalb der nächsten zwanzig Jahre werden einige Faktoren etwas schneller und andere Faktoren etwas langsamer wachsen wie in den Detailbetrachtungen angesetzt. Zusammengefasst bekommt man für das Jahr 2020 eine Rechenleistung die gegenüber den aktuellen Wert um den Faktor 1.000.000 oder  $2^{20}$  höher liegt.

### 1.5 DATEN - INFORMATION UND WISSEN

Viele Betrachtungen über das Verarbeiten von Daten können nur Sinnvoll geführt werden, wenn die drei Zentralen Begriffe, von denen auch dieses Buch handelt, klar definiert werden. Das Rohmaterial allen Wissens sind Daten. Daten sind alles, was über reale Objekte auf einem Datenträger hinterlegt ist. Jedes Tonband und jeder Film ist ein Datenträger nach dem Bespielen. Daten können analog oder digital vorliegen, für die Verarbeitung in modernen Computersystemen spielen dabei nur digitale Daten eine

Rolle. Sofern nicht explizit erwähnt, sind hier immer digitale Daten gemeint, wenn von Daten gesprochen wird.

Informationen werden aus Daten gewonnen, Daten sind der Rohstoff der Information. Informationen sind der Teil der Daten, der nicht weiter reduziert werden kann, ohne dass Informationen verloren gehen. Information ist die Überraschung die in Daten steckt. Daten, die bereits erwartet wurden, enthalten keine Information, ausser vielleicht, dass die eingetroffen sind. Stellt man eine Frage, die mit ja oder nein beantwortet werden kann, so erhält man Information. Ist die Wahrscheinlichkeit für beide Antworten gleich hoch, so hat man genau ein Bit Information gewonnen. Mit jeder weiteren Frage kann man dann maximal ein weiteres Bit hinzugewinnen. In der Praxis ist aber die Wahrscheinlichkeit selten exakt fünfzig zu fünfzig und dann enthält die Antwort ein geringere Mengen an Information, obwohl ein Bit Daten zur Verfügung stehen.

Wieviel Information ein beliebiger Satz von Daten enthält ist in der Praxis sehr schwer zu bestimmen, weil es von den Vorkenntnissen über die Daten abhängt. Für einen Menschen der keinen deutschen Text kennt, ist jeder Buchstabe eine Überraschung, aber für den geübten Leser enthält ein Buchstabe selten mehr als drei Bit Information. Da aber ein Mensch oft auch das nächste Wort bereits erraten kann, ist auch der Gehalt eines Wortes nicht einfach die Summe seiner Daten. Und vielleicht wissen Sie das alles schon, dann hatte der Text keine Information, also null Bit Information, obwohl der Text unabhängig von Ihrem Wissen immer ein Feste Zahl von Bits für das Speichern der Daten benötigt.

Wissen entsteht durch die Aufnahme von Information durch den Menschen.

### 1.6 KOMMUNIKATION

Kommunikation transportiert Informationen von einem System zu einem anderem. Dieser Transport kann zwischen Maschinen erfolgen, die zumeist Bit für Bit austauschen oder zwischen Menschen, dann werden aber Worte gewählt, Symbole die das gegenüber erkennen verarbeiten und speichern kann.



## 1.7 DIE OBERFLÄCHE

Der Mensch trägt ein Bild des Menschen in sich und da der Mensch denkt und bisher nur der Mensch denkt, denkt der Mensch, nur ein Mensch kann denken.

Die Benutzeroberfläche eines Systems ist wesentlich wichtiger für die Einschätzung der Leistungsfähigkeit eines Systems als allgemein geglaubt wird. Nicht zuletzt die jüngere Geschichte der Akzeptanz verschiedener Betriebssysteme hat dies gezeigt. Dabei haben wir es selbstverständlich noch nicht mit denkenden Systemen zu tun, wenngleich oft das Gegenteil behauptet und vermutet wird. Es handelt sich aber bereits um Systeme, die durch geschickt aufgebaute Oberflächen den Nutzer immer wieder suggerieren, dass dahinter ein Wesen operiert, wie etwa die Büroklammer bei den Officeprodukten von Microsoft.

Umgekehrt hat der Mensch ein außergewöhnlich feines Gespür für die Kompetenz seines menschlichen Gegenüber, und es ist wohl nicht übertrieben, zu sagen, dass das Geschick eines Menschen wesentlich von dieser Fähigkeit abhängt und man könnte sogar soweit gehen, dies als das, oder zumindest ein Kernelement des Denkens zu bezeichnen. Dabei geht der Mensch aber oft sehr oberflächlich (sic) vor, indem er das Äußere des Mitmenschen genau studiert. Ist der Körper gepflegt, die Kleidung angemessen, und vor allem, passt die Mimik zum Gesagten und zum Kulturkreis.

Und aus all dem entstehen vorzeitige Urteile, weil ein Urteil oft zu spät käme um in einer Situation angemessen zu reagieren. Es ist diese Rasterfahndung nach den ehrlichen Gegenüber, die uns vermeintlich Mögliches wie denken im Kleid eines Computers ausschließen lässt. Daher ist es wichtig zu reflektieren, was uns so sicher sein lässt, dass es auf die Oberfläche ankommt. So haben wir zwar akzeptiert, dass das denkende Wesen nicht vokal sprechen kann, aber das nehmen wir nur an, wenn uns alle vertrauten sagen, dass es ein hochintelligenter Physiker<sup>18</sup> ist. Auch haben wir gelernt, dass ein Gespräch mit einem netten Therapeuten im Chatroom nur das schlichte Wiederholen unserer Eingaben durch ein einfaches Programm sein kann<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Hawking

<sup>19</sup> Weizenbaum 1965 mit dem Programm Elisa

Daraus folgt, dass die Beurteilung eines Computerprogramms anhand der Oberfläche nicht möglich ist und die einfache Äußerung, Computer sind nicht aus Fleisch und Blut eine leere Floskel ist, die an den frühe Trennung zwischen Biologie und Chemie erinnert, aber in keiner Weise in der Frage nach dem Wesen des Denkens und dem dazugehörigen Substrat weiterhilft.

## 1.8 HINTERGRUNDWISSEN

Denken ohne Wissen ist wie Licht ohne Materie, Logik ohne Rätsel, Computer ohne Software. Nicht nur Pädagogen können leidenschaftlich über die Frage diskutieren, wie viel Wissen für einen Menschen notwendig ist, damit er erfolgreich durch das Leben gehen kann. Dabei wird klar; dass die Frage der Aufnahme von Information etwas genauer betrachtet werden muss.

Daten, Information und Wissen sind natürlich nicht dasselbe, sondern aufeinander aufbauende Qualitäten, reine Daten sind inhaltslos, Information basiert auf Daten, sie sind die Differenz zu dem erwarteten, Wissen wird aus Informationen gelernt.

Es ist ein einfaches unterfangen, den Umfang von Daten, insbesondere wenn sie digital vorliegen, zu bestimmen. Die Datenmenge ist die Anzahl an Bits, die auf dem jeweiligen Datenträger liegen oder übertragen werden. Im Gehirn könnte man diese Zahl etwa proportional der Anzahl an Synapsen setzen, die Daten speichern. Ein unterfangen, das leider nur eine geringe Aussagekraft hat, da reine Daten keinen Wert darstellen. Daten enthalten fast immer eine gewisse Redundanz. So besteht dieser Text aus Buchstaben und jeder Buchstabe hat eine andere Wahrscheinlichkeit im Text zu stehen. Mit diesem Wissen kann man den Text deutlich kompakter notieren. Dass dies leicht geht zeigen Programme die Dateien verdichten, so kann dieser Text um 63% mit dem Zip-Packer verkleinert werden ohne dass Information verloren geht. Einfache Programme zum Verdichten von Daten berücksichtigen nur einfache Regeln, wie die Häufigkeit der einzelnen Zeichen, komplexere Programme könnten erheblich mehr Datenreduktion erreichen ohne Informationen zu verlieren.

Doch selbst das beste Programm zum Verpacken der Information versteht nicht was es verpackt hat und kann keine Auskunft über den Inhalt geben, damit ist eine Menge an Informationen noch kein

Wissen, erst der Leser kann den Inhalt des Buches soweit verarbeiten, dass er auch Fragen über den Inhalt des Buchs beantworten kann. Und mit jedem weiteren Buch, das gelesen wird, wird der Datenspeicher im Gehirn, der ein Wissensspeicher ist, nicht an seine Grenzen gebracht sondern bekommt scheinbar sogar neue Ressourcen hinzu.

### 1.8.1 Ohne Vorwissen zu erlernen!

In der Buchhandlung gibt es Bände mit dem Titel Programmieren ohne Vorwissen in 17 Tage lernen. (mehr ???)

### 1.8.2 Das Wissen eines Menschen

Der Mensch akkumuliert bis zu seinem Lebensende Informationen und baut damit ein gewaltiges Wissen über die Welt auf. Auch hier ist, ähnlich zur Frage der Rechenleistung, wieder das Datenmaterial über die Kapazität des Gehirns und die Menge der rezeptierten Information unklar. Die Speicherkapazität wird von verschiedenen Autoren zwischen einem und hunderten Terabyte eingeschätzt. Geht man wieder mit einer Überschlagsrechnung an die Frage heran, so findet man dieses Resultat ebenfalls plausibel. Nimmt man jede Sekunde etwa 1kByte auf, sind das in einer Milliarde Sekunden ein Terabyte, das sind 90 Jahre mit einem Achtstundentag.

Dabei sind die Eingabekanäle des Menschen klar durch Auge, Ohr und einige weitere Sinne, definiert. Die Kanalbreite ist allerdings bei Auge und Ohr derart groß, dass sofort eine Vorverarbeitungsstufe die Datenflut reduziert und mit Sicherheit werden nicht alle Daten vollständig aufgezeichnet.

Eine detaillierte Betrachtung muss bei der Speicherkapazität zwischen aktiven und passiven Wissen unterscheiden. Es ist ein erheblicher Unterschied, ob ich eine bestimmte Information bewusst mit einigem Nachdenken abrufen kann oder ob eine Information nur unter sehr speziellen Randbedingungen wieder abrufbar ist. Für eine Messung des aktiven Wissens ist es im Prinzip möglich, einen Fragebogen zu entwickeln, der einen bestimmten Bruchteil des vermuteten Wissens abfragt und damit das gesamte Wissen extrapoliert.

Völlig anders stellt sich die Situation bei passivem Wissen dar, dieses ist nur unter bestimmten Bedingungen wiederabrufbar. Wenn jemand an den Ort seiner Kindheit zurückkehrt kann er plötzlich wieder genau sagen welche Steine an einer bestimmten Stelle lagen und wie es klang wenn die Treppe knarrte.

Besonders bemerkenswert ist die Fähigkeit zu erkennen, wenn etwas fehlt. In einem Ensemble das wir sehen nehmen wir oft nicht jedes Element so bewusst wahr, dass wir es vollständig rekonstruieren können, die Lücke ist jedoch zu erkennen, damit ist aber klar, dass auch der Inhalt der Lücke in gewisser Weise gespeichert war, nur eben nicht aktiv abrufbar. Eine besondere Form dieser Lücken stellen falsch gespielte Noten in einem Musikstück dar, der musikalische Mensch hört sofort, wenn eine bestimmte Note nicht korrekt wiedergegeben wird, dazu muss er aber nicht das Stück schon kennen sondern kann dies aus seinem musikalischen Gefühl erkennen. Dies ist letztendlich nur durch ein umfangreiches, jedoch für viele nicht aktiv abrufbares, Wissen über die Regeln der guten Komposition zu erklären, das durch hören ungezählter Töne aufgebaut wurde. Damit wird auch das Dilemma klar, das bei der künstlichen Unterscheidung zwischen Wissen und Fähigkeit, liegt zu dem später noch mehr zu sagen sein wird.???(wo)

### 1.8.3 Informationsbeschaffung für Computer

Für Computer stellt sich die Frage der Informationsbeschaffung anders, da es allgemein üblich ist, dem Computer nicht einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten für die Betrachtung der Welt zur Verfügung zu stellen. Eine optimale Quelle kann hier das Internet sein, das mit etwa 20 Terabyte Datenbestand eine gute Quelle ist, was das Volumen und die Abrufbarkeit betrifft, darstellt. Und es ist auch schon mehrfach gelungen, diese Informationsmenge auf einen einzigen Rechner einzulesen, etwa google.com oder alexa.com.

Es ist allerdings wenig über die Redundanz der Daten im Internet bekannt, viele Informationen sind schlicht von anderen Seiten kopiert oder beschreiben den gleichen Sachverhalt aus einer sehr ähnlichen Perspektive. Dies ist allerdings weniger problematisch als es zuerst erscheint, da gerade ähnliches für das Lernen

außerordentlich nützlich ist, so haben wir den Begriff Ball aus den vielen Bällen, die uns in der Jugend zugespielt wurden erfolgreich abgeleitet und abstrahiert. Für Computer ist es denkbar, dass sie mit der gleichen Strategie die Information aus dem Netz weiterverarbeiten.

Es liegt also genügend gespeicherte Information digital verfügbar vor, um ein System mit ausreichenden Kapazitäten erfolgreich zu trainieren.

#### 1.8.4 Redundanz

Wie groß die Redundanz im Internet tatsächlich ist kann nicht einfach beantwortet werden, dies liegt nicht an mangelnden Messungen sondern an der tieferliegenden Frage, was als Redundant definiert wird. Information ist definiert als der Überraschungswert, der in neuen Daten steckt. Also jene Bits, die überraschend kommen. Ein einfacher Fall macht die Problematik sofort deutlich, nimmt man einen Text und übersetzt diesen automatisch so entsteht damit keine neue Information. Die Überraschung beim Leser der sich über die Übersetzungsfehler wundert sei hier nicht gezählt. Übersetzt hingegen ein Mensch diesen Text, so gibt es zwar nichts mehr zu lachen, aber es ist vermutlich neue Information in das Dokument eingeflossen.

Wie das? Auch der neutralste Übersetzer bringt eigene Färbungen in das Dokument ein, dies sieht man am einfachsten daran, dass eine zweite Übersetzung durch einen Menschen ein anderes Resultat liefert. Die Färbung ist zusätzliche Information und damit hat das Internet mehr, wenn auch nicht wesentlich mehr, Informationen wenn von Menschen übersetzte Texte in unterschiedlichen Sprachen im Internet stehen. Dies ist allerdings ein einfacher Fall, komplizierter ist es wenn Redakteure Informationen aufbereiten, die an anderer Stelle im Internet stehen. Dann werden erhebliche zusätzliche Informationen in das Netz gestellt.

Noch schwerer zu beurteilen ist der Informationszuwachs, wenn verschiedene Autoren zu gleichen Themen ihre Informationen in das Internet stellen. Bisher kann dieser Informationsgewinn nicht objektiv gemessen werden.

Die Bestimmung der wahren Informationsmenge im Internet kann daher in verschiedenen Stufen geschehen, zunächst kann die Rohdatenmenge des Internets eindeutig bestimmt werden. Danach können alle identischen Dokumente eliminiert werden, danach hat man den wahren Datenbestand.

In einer weiteren Stufe kann ein Kompressionsalgorithmus auf die vorhandenen Daten angewendet werden, dies liefert eine erste Vorstellung wie viel Luft in den Daten steckt. Die Problematik liegt im Kompressionsalgorithmus. Je besser der Algorithmus, um so geringer die verbleibende Datenmenge. Führt man diesen Weg beliebig weiter, wird der Algorithmus immer komplexer und übertrifft schließlich die Datenmenge des Internets. Das Minimum aus Umfang des Algorithmus und verbleibender Datenmenge nach der Kompression ist der wahre Informationsgehalt des Internet.

#### 1.9 DIE VERARBEITUNGSMETHODE

Nachdem klar ist, dass es in Zukunft genügend Rechenkapazität geben wird, ausreichend Datenmaterial zum Lernen digital vorliegt und Fleisch und Blut nicht als essentiell betrachtet werden sollten, bleibt die Frage, wie wird das System technisch aufgebaut sein.

Zunächst ist der scheinbar einfachste Weg, man baut ein Gehirn eins zu eins nach, der Erfolg ist garantiert, da bereits bekannt ist, dass ein Gehirn denken kann. Allerdings ist diese Lösung in mehrfacher Hinsicht sinnlos, da einerseits bereits genügend Gehirne existieren, eine Erweiterung des Systems, und die ist anzustreben, nicht direkt möglich ist und, und das ist der wichtigste Punkt, ein solcher Nachbau mit heutiger Technologie nicht im geringsten realistisch ist.

Daher muss angestrebt werden, nicht das biologische System, sondern das logische System nachzubauen.

Damit der Nachbau gelingt, müssen verschiedene Randbedingungen eingehalten werden, zunächst benötigt man eine ausreichende Rechnerleistung, die Abschätzung ist bereits erfolgt, auch der Zeitpunkt der Verfügbarkeit ist klar. Es ist dabei nicht notwendig eine bestimmte Hardwareplattform vorzuziehen, sie muss nur den Rahmenbedingungen genügen, spezielle Algorithmen sind auf jeden Fall emulierbar.

Die Arbeitsweise wird an die Erkenntnisse der Gehirnforschung angeglichen. Dies ist allerdings der größte Problempunkt, da die bisherige Gehirnforschung nur ein sehr vages Bild über die Arbeitsweise des Gehirns geliefert hat. Hier seien die Fakten nochmals zusammengefasst:

- Das Gehirn lernt aus den Informationen, die es bekommt.
- Jedes Gehirn liefert bei gleichem Input einen anderen aber ähnlichen Output.
- Je länger ein Gehirn betrieben wird, um so besser werden die Resultate
- Es gibt keine externe Schaltung, die das Gehirn direkt beim Lernen beeinflusst
- Unterschiedliche Bereiche im Gehirn sind für verschiedene Aufgaben zuständig
- Je älter das Gehirn, um so weniger sind Änderungen möglich
- Das Gehirn wird zu 30% im Offline-Mode betrieben (Schlaf)
- Das Gehirn arbeitet manchmal im „Dream-Mode“
- Innerhalb der Evolution gibt es keine Sprünge, auch nicht in der Gehirnentwicklung
- Bisher ist kein effizienteres, allgemeineres Datenverarbeitungssystem bekannt

## 2 SPIELE

Der Mensch spielt, besonders wenn er noch lernt, Tiere spielen, aber fast nur wenn sie noch jung sind. Allein diese Tatsache soll als Begründung genügen, um über das Spielen etwas genauer im Zusammenhang mit Lernen nachzudenken. Einfachste Lebewesen haben vermutlich ihr gesamtes Weltwissen bereits in den Genen kodiert und benötigen kein Lernen, höhere Tiere müssen Lernen, das bedeutet Informationen aus der Umwelt in das neuronale Netz einspeisen und hochentwickelte Lebewesen, wie jagende Säugetiere und insbesondere der Mensch, erwerben Informationen aus der Umwelt interaktiv, sehen, planen, handeln, Resultat begutachten und wiederholen.

Damit der Vorgang des Handelns, der Energie benötigt und gefährlich ist, trotz der allgemeinen Tendenz, Energie einzusparen und vorsichtig zu sein, realisiert wird, hat die Natur den emotional angenehmen Zustand des Spielens erfunden. Dabei werden Handlungen, die später in der Realität nützlich sind, in einer Modellsituation erlernt. Für die Betrachtung ist es dabei spannend, welche Handlungen besonders gerne im Spiel vorweggenommen werden, entweder weil sie besonders wichtig für das Überleben sind, oder weil sie aus verschiedenen anderen Gründen nicht in der Realität ausreichend erprobt werden können.

Im Lauf der Kulturgeschichte haben sich dabei Spiele fest etabliert, die vermutlich besonders genau einen Aspekt des angeborenen Spielbedarfs realisieren und damit einen Einblick in das Lernen geben.

### 2.1.1 Kartenspiele

Kartenspiele, insbesondere solche, die auf der zufälligen und verdeckten Verteilung der Karten an die einzelnen Spieler beruhen, haben sich bis vor kurzem einer außerordentlich hohen Beliebtheit erfreut. Inzwischen ist die Attraktivität durch das aufkommen neuer Medien und elektronischer Spiele zurückgegangen, aber noch immer werden Kartenspiele geliebt und überraschenderweise ist eines der verbreitetsten Computerspiele das legen von Patience unter Windows. Die Bedeutung der Kartenspiele lässt sich auch darin ablesen, dass es

eines der wenigen Gesellschaftsspiele ist, die sich in Gesetzen, Verordnungen und Steuern<sup>20</sup> niedergeschlagen haben.

Der spezielle Reiz des Spiels liegt in der Beurteilung des eigenen Blattes, dabei muss man die statistische Wahrscheinlichkeit einschätzen, dass ein Mitspieler eine bessere Karte oder im Einzelfall eine bessere Karte hat als die, die auf der eigenen Hand liegt. Bei manchen Spielen ist die exakte Situation im Prinzip vollständig determinierbar aber im Normalfall gelingt es nur, eine Wahrscheinlichkeitsaussage zu treffen. Bemerkenswert ist dabei, dass die jeweilige Wahrscheinlichkeit sehr komplex in der Berechnung ist und erst in jüngster Zeit brauchbare Computerprogramme existieren, die einen interessanten Gegner simulieren.

Die Regeln der einzelnen Kartenspiele sind für jeden nach einigem Üben leicht zu erlernen, nach dem Erlernen der Regeln muss jedoch viel gespielt werden um gegen erfahrene Gegner zu gewinnen.

Im Spiel finden zwei wichtige Lernprozesse statt. Zum einen wird durch viele Spiele langsam klar, welche Blätter aussichtsreich sind, welche häufig sind und wann man am besten sofort aufgibt. Dabei werden nach und nach die neuronalen Gewichte im Kopf verändert und dies immer aufgrund eines unmittelbar sichtbaren Erfolgs oder Misserfolgs. Der Genus des Spiels mag in dem günstigen Zeitintervall zwischen Handlung und Rückkopplung liegen, die mit den Zeitkonstanten des Lernens im wirklichen Leben, so wie es unsere Vorfahren vor einigen tausend Jahren vorfanden, übereinstimmt.

Das zweite spannende Resultat des Lernprozesses ist der Gewinn an Erfahrung bei unbestimmten Situationen. Im Spiel kann erlernt werden, wie man unvollständige Information, durch statistische Einschätzung, zu erfolgreichen Entscheidungsgrundlagen ergänzt. Fast alle Entscheidungen im Leben müssen mit unvollständigem Wissen getroffen werden. Dabei ist es nützlich dies ohne dem realen Risiko zu treffen.

Bei allen Kartenspielen mit mehreren Teilnehmern kommt natürlich noch das Moment der sozialen Kontakte hinzu, dies ist

<sup>20</sup> <http://www-zr.destatis.de/zeitreih/def/def1095.htm> Kartenspielsteuer, seit 1.1.1981 abgeschafft.

allerdings bei allen Gesellschaftsspielen der Fall und soll hier in diesem Zusammenhang nicht näher betrachtet werden, obwohl es einige überraschende Zusammenhänge gibt, etwa die Tatsache, dass Bill Gates bei vielen erfolgreichen Pokerpartien einen finanziellen Grundstock für sein Unternehmen gewonnen hat und sicher auch lernte, wie Gegner einzuschätzen sind<sup>21</sup>.

## 2.1.2 Schach

Der Klassiker unter den Spielen, die im Umfeld von Denken und künstlicher Intelligenz auftauchen, ist das Schachspiel. Das Schachspiel findet zwischen zwei Spielern statt, die auf einem Brett mit vierundsechzig Feldern versuchen, den König des Gegners so einzuengen, dass er auf einem bedrohten Feld steht und diese Situation nicht durch einen Zug behoben werden kann, und damit Matt ist. Das faszinierende des Spiels sind die wenigen und zudem logischen Regeln, nach denen eine Figur gezogen werden kann. Bis auf den eigenartigen Zug Rochade und einigen Sonderregeln beim Ziehen von Bauern, kann man sich fast keine einfacheren Regeln auf einer Fläche von vierundsechzig Feldern vorstellen, die eine ähnlich hohe Komplexität des Lösungsraums erzeugen. Dies sind vermutlich die Gründe warum das Schachspiel auf weiten Strecken zu einem der wichtigsten Experimentierfelder für künstliche Intelligenz wurde. Bereits 1946 hat Alan Turing ein erstes Schachprogramm geschrieben<sup>22</sup>, das allerdings zu dieser Zeit noch nicht implementiert werden konnte, die erste Partie Computerschach datiert auf das Jahr 1952<sup>23</sup>.

### 2.1.2.1 Ablauf einer Partie

Ein Schachspiel besteht aus drei Phasen, der Eröffnung, dem Mittelspiel und dem Endspiel. Für die Eröffnung existieren umfangreiche Bibliotheken, in denen aufgezeichnet ist, welche Züge bisher in Meisterschaftspartien erfolgreich waren. Obwohl

<sup>21</sup> Bill Gates, Biografie???

<sup>22</sup> <http://www.artsci.wustl.edu/~jprin/cog10.htm> an mehreren Quellen wird auf das Jahr 1946 hingewiesen, ein faktischer Beleg fehlt leider.

<sup>23</sup> <http://www.chessbase.com/magazine/history/hist01.htm> Hier findet man auch die erste Computerschachpartie,

dies kein sicherer Maßstab ist, werden bei Computerprogrammen häufig diese Bibliotheken bis etwa zum zehnten, manchmal fünfzehnten, Zug, aufgerufen. Nach allgemeinem Verständnis ist das keine besonders intelligente Leistung, ein Standpunkt, der nicht völlig unproblematisch ist.

Das Endspiel einer Schachpartie ist durch eine stark ausgedünnte Spielfigurenzahl gekennzeichnet, die wenigen verbliebenen Figuren neben den beiden Königen können sich fast frei auf dem Schachbrett bewegen und mit hinreichend leistungsfähigen Computern kann der gesamte Möglichkeitsraum des weiteren Verlaufs abgetastet werden. Dies wurde für viele typische Endspielkonfigurationen auch durchgeführt und dabei entdeckt, dass eine Schachspielregel, die besagt, dass mindestens alle vierzig Züge ohne Bauernbewegung eine Figur geschlagen werden muss, zu einer unzulässigen Einschränkung führt. Es gibt tatsächlich Spielsituationen, bei denen nicht innerhalb von vierzig Zügen gewonnen werden können, diese Erkenntnis verdanken wir Computern und damit eine Änderung der Schachspielregeln!

Alles was zwischen Eröffnung und Endspiel liegt, wird als Mittelspiel bezeichnet, jene Phase in der noch viele Figuren auf dem Brett sind und der Möglichkeitsraum fast unendlich ist, nach Abschätzung verschiedener Autoren wird er mit  $10E44$  möglichen Stellungen angegeben. In dieser Phase ist es mit heutigen Computern, und vermutlich auch in Zukunft, nicht möglich eine vollständige Lösung zu finden. Der Computer muss daher nach endlicher Zeit die Suche nach dem besten Zug abbrechen und die „beste“ Lösung auswählen.

Die interessante Aufgabe bei der Programmierung von Computerschachprogrammen liegt in der Analyse der Stellungen und der daraus abgeleiteten Entscheidung, einen Zug durchzuführen. ???

Für die Programmierung von Schachcomputern wurden dazu von Anfang an zwei verschiedenen Strategien vorgeschlagen, „brute force“, das ist das Durchrechnen möglichst vieler Stellungen, und „intelligentes“ Suchen der Lösung. Bei der „brute force“ Lösung ist des vorgehen für den Programmierer relativ klar umrissen. Es muss ein Programm geschrieben werden, das die Schachregeln kennt und in jeder Stellung zunächst alle möglichen Züge berechnen kann. Damit entsteht ein Baum der Möglichkeiten, der

nach einer bestimmten Anzahl von Zügen abgebrochen wird und bei vielen Programmen durch gezielte Beschneidung von Ästen verkleinert wird. Danach werden alle Stellungen nach einem einfachen numerischen Schema beurteilt, das insbesondere den Wert der vorhandenen Figuren und deren Stellung im Feld gewichtet.

### 2.1.2.2 Beurteilung von Stellungen

Die Beurteilung der Stellung ist genau der Punkt, an dem andere Lösungen ansetzen. Es ist keineswegs eine triviale Aufgabe, aus der Zahl der Figuren und der Stellung einen Wert abzuleiten, der einer Metrik der Qualität der Stellung entspricht. Genaugenommen ist das Problem überhaupt nicht lösbar, aber für die praktische Umsetzung hat sich gezeigt, dass in vielen Fällen eine vereinfachte Beurteilung ein vernünftiges Resultat ergibt, das bedeutet im wesentlichen nicht mehr, als dass der Gegner auch nicht über ein besseres Verfahren verfügt. Wird die Beurteilung hinreichend tief im Baum der möglichen Züge getroffen, so ist zumindest sichergestellt, dass keine trivialen Fehler auftreten.

Anders sieht die Situation aus, wenn die Beurteilung nur eine sehr kleine Zahl von Zügen berücksichtigt oder überhaupt nur einen Zug weiterrechnet. Je geringer die Rechentiefe ist, umso besser muss die Beurteilung der folgenden Stellung sein. Es ist offensichtlich so, dass ein Mensch nur eine sehr bescheidene Anzahl an Zügen und Stellungen im Kopf beurteilt. Nur in seltenen Ausnahmefällen verfolgt ein Meister mehr als zehn Züge, üblicherweise nur drei, und Bemerkenswerterweise vernachlässigt er immer alle sinnlos erscheinenden Nebenzweige. Das bedeutet aber wiederum, dass er in der Lage ist, eine Stellung praktisch instantan Erfolgreich zu beurteilen.

Das Schachbrett hat vierundsechzig Felder und unter einem anderen Blickwinkel kann man sich dies auch als Ausschnitt aus einem Bild vorstellen. In der Bildverarbeitung ist der Mensch, wie alle höhern Tiere, in der Lage, in einem unbekanntem Muster sofort zu erkennen, welches Objekt sich dahinter verbirgt. Obwohl das Sehzentrum noch nie mit exakt dem gleichen Muster konfrontiert worden ist, gelingt es Ähnlichkeiten zu bereits gesehenem herzustellen. Bei der Beurteilung von Stellungen im Schach

arbeitet möglicherweise ein gleichartiger Mechanismus, der hochgradig parallel bekannte Stellungen vergleicht und jeweils sofort weis, ob es sich um einen guten oder schlechten Ausgang handelt. Schachspieler sprechen tatsächlich oft vom Sehen eines guten Zugs, auch wenn dies nur Metaphorisch gemeint ist, gibt es einen Hinweis auf die Vorgehensweise bei der Beurteilung einer Stellung.

Für die Programmierung von Schachcomputern bedeutet dies, das man versuchen muss, viele Stellungen, von denen bekannt ist ob sie aussichtsreich oder gefährlich sind, so abzuspeichern, dass sie parallel mit einer neuen Stellung verglichen werden können. Das dazu notwendige vorgehen, möglicherweise mit eine Form von neuronalen Netzen, kann für die Weiterentwicklung der künstlichen Intelligenz außerordentlich nützlich sein, da es ein hervorragendes Modellsystem darstellt, das zudem noch einfach in Relation zu menschlichen Denkleistungen gesetzt werden kann.

### 2.1.3 Der Schachcomputer, seriell, paralleles denken, Spiele als Denkmuster

Obwohl Schachprogramme bereits den Schachweltmeister besiegt haben, und damit mehr erreicht haben, als viele Experten<sup>24</sup> der künstlichen Intelligenz je für möglich gehalten haben, wird dieser Erfolg nicht als Beweis für künstliche Intelligenz angesehen. Dies beruht im wesentlichen auf den Erfolge der Brute Force Methode, die mit klassischen Rechentechniken das Ziel erreicht hat.

Hierbei sind zwei Anmerkungen notwendig. Zuerst ist es eine sehr wichtige Erkenntnis, dass enorme Rechenleistung in der Lage ist scheinbar unüberwindbare Aufgaben mit reiner logischer Rechenleistung zu lösen. Dies ist ein Hinweis, dass nicht auszuschließen ist, dass auch alle weiteren Forderungen an Systeme mit künstlicher Intelligenz durch schlichte Erweiterung der Rechenleistung erreicht werden kann. Damit würde man einen Pfad bei der Entwicklung denkender Systeme einschlagen, der völlig anders organisiert ist, wie es in den biologischen Systemen

<sup>24</sup> Douglas Hofstadter vermutete in seinen Buch ??? dass Schachcomputer erst dann, wenn sie auch in der Lage sind zu sagen, „heute keine Lust auf Schach“, weltmeisterlich zu spielen, was durch Deep Blue wiederlegt wurde.

und besonders bei Menschen realisiert ist. Es lohnt, diesen Pfad weiterzuverfolgen, da er bereits sichtbare Erfolge vorweisen kann und weil keiner weis ob dies nicht sogar der Königsweg ist um mit minimalen Ressourcen maximale Resultate zu erreichen.

Aber es kann auch sein, dass dieser Pfad in eine Sackgasse führt und die erfolgreichen Schachprogramme nur ein spezielles Problem lösen können, das für eine allgemeine Lösung ungeeignet ist. Daher sollten auch alternative Verfahren untersucht werden, die das gleiche Problem mit völlig anderen Mitteln lösen. Das Bedeutet ein Schachprogramm das mit assoziativen Methoden den besten Weg zum Sieg findet. Obwohl dieser Ansatz bisher nicht zu vergleichbar leistungsfähigen technischen Systemen geführt hat, könnte es an einer unvollkommenen Implementierung liegen oder schlicht an ungenügenden Ressourcen in der Datenverarbeitungskapazität liegen.???wie genau

### 2.1.4 Spielzeug

Kinder spielen, Kinder lernen im Spiel und Kinder lieben Spielzeug. Die Liebe zum Spielzeug bei Kindern ist so groß, dass es kaum ein Geschenk für Kinder gibt, das mehr Interesse als Spielzeug hervorruft. Diese Liebe zum Spielzeug ist mehr als ein angelerntes Verhalten, es gibt eine tieferliegendes Interesse, das auf dem Nutzen des Spielzeugs für die Entwicklung der geistigen Fähigkeiten liegt. Kinder wohlhabender Eltern haben mehr Spielzeug, ist das ein grund dass diese Kinder ihre geistigen Fähigkeiten besser entwickeln können als andere denen es daran mangelt. Obwohl diese Frage hier nicht abschließend geklärt werden kann lohnt sich die Betrachtung über die Funktion des Spielzeugs als Werkzeug zum Lernen und damit als Element für die Entwicklung menschlicher Intelligenz und möglicher Ansätze für maschinelles Denken.

### 2.1.5 Kinderspielzeug

Die ersten Spielzeug sind Objekte, die es dem Kind erlauben, die Umwelt detailliert und ungefährdet wahrzunehmen. Der Teddy als liebes Wesen, das nicht beißt aber ein weiches, warmes Fell besitzt. Der Ball, der sich selbstständig bewegt, den man aber auch fangen und bewegen kann, ein Spielzeug, das auch von jungen

Katzen geliebt wird. Später die Puppenstube und die Holzeisenbahn, Modellsysteme für die reale Welt. Mit Spielzeug wird gespielt, das bedeutet, es wird benutzt um die Eigenschaften in der Interaktion zu erkunden. Jede dieser Eigenschaften wird durch wiederholen gelernt, der Ball wird angestoßen, er rollt, wird er wieder angestoßen rollt er wieder. Manchmal verschwindet er unter dem Tisch, dort ist er aber zu finden, läst man den Ball los, fällt er zu Boden und beginnt zu rollen, auch das kann man wiederholen, bis es langweilig wird. Langweilig bedeutet, man hat verstanden, dass das Verhalten des Objekts bei ähnlicher Ausgangsbedingung immer gleich ist. Dieser Lernprozess ist sehr wichtig, aber erst in Ansätzen verstanden und in Rechnersystemen nachgebildet.

### 2.1.6 Modellsysteme

Eine zweite Klasse von Spielzeug sind Modellsysteme, der kleine Spielzeugkinderwagen, die Modelleisenbahn, das Puppenhaus und das Spielzeugauto. Fast alle Objekte der Welt finden sich verkleinert in der Spielzeugkiste wieder. Warum sind diese Objekte in der Entwicklung so bleibt? Eine mögliche Erklärung ist die Objektbildung im Denksystem. Das Modellauto ist ein Auto und damit wird klar, dass das reale Auto durch ein Symbol repräsentiert werden kann. Es ist eine erhebliche Abstraktionsleistung, einem verkleinertem Gegenstand die gleiche Bedeutung zuzuordnen, wie dem Original, obwohl man sich nicht hineinsetzen kann.

Dass dies nicht einfach ist, sieht man im langsamen verändern des Maßstabs im Lauf der Entwicklungsjahre. Zuerst ist das Spielzeugpferd nur so weit verkleinert, dass es das Kind bequem besteigen kann, später kann man nur noch die Puppe darauf reiten lassen, bis es schließlich, etwa in der Modelleisenbahn, in Form einer kleinen Plastikfigur ein Pferd symbolisiert. Ist die der Masstab der Entwicklungsphase nicht angepasst, findet das Kind kaum Interesse an dem Objekt.

Parallel dazu entwickelt sich die Sprache, die diese Objekte benennen kann. Die Fähigkeit verkleinerte Abbildungen der Welt wahrzunehmen findet man auch in den frühesten Kunstwerken der Menschheit. Das kleine Pferd aus Elfenbein???, das unsere

Vorfahren vor 20000 Jahren geschnitzt haben war daher ein wichtiger Schritt zur Entwicklung der Abstraktionsfähigkeit die für das Denken eine Basisfähigkeit darstellt.

### 2.1.7 Computerspiele

### 2.1.8 Spielende Computer

#### 2.1.8.1 Das ELO System

Für die Bewertung der Fähigkeiten von Schachspielern existiert ein mathematisch ausgefeiltes System der Beurteilung, des ELO Punktsystems. Dieses System soll etwas näher betrachtet werden um einerseits auf die Metrik des Denkens vorzubereiten mag, aber auch, weil es Hinweise gibt, wieweit bestimmte Rechenleistungen im Computer ein bestimmtes Spielniveau ermöglichen.

Das Elosystem beruht auf dem Vergleich von Schachspielern, die in Turnieren teilnehmen und damit ihre Position innerhalb der Klasse der Turnierspieler bestimmen, wenn sie gegen Spielern mit höherer ELO Zahl gewinnen und entsprechend ELO-Punkte verlieren, wenn sie

## 2.2 DENKEN MESSEN, EINE METRIK DES DENKENS

Die Diskussion um die Fähigkeit des Denkens kann nicht nur qualitativ geführt werden, da dabei immer nur eine binäre Entscheidung zu fällen ist, was keine sinnvolle Einordnung zulässt. Schon die Einschätzung der Denkfähigkeit eines Menschen wird oft durch eine Skala beurteilt. Dabei ist die Bestimmung eines Intelligenzquotient verbreitet, der nichts anders leistet, als die Ergebnisse von Fragebögen so einzuteilen, dass der numerische Wert in der Gruppe der Teilnehmer zum einem im Mittel hundert ergibt, und in der Verteilung eine Altersabhängigkeit der Testergebnisse gewährleistet ist. Dieses Mittel ist für die Beurteilung von Maschinen aus zwei Gründen ungeeignet, zum einem gibt es kein Alter, ein Faktor der noch genauer zu betrachten ist, zum anderen keine durchschnittliche Maschine. Will man nicht einfach den Fragebogen, wie er den



Menschlichen Teilnehmer vorgelegt wird, übernehmen, muss man zuerst den Inhalt des Fragebogens betrachten.

### 2.2.1 Intelligenztest

-Intelligenz wurde von Sir Francis Galton 1869 in den wissenschaftlichen Sprachgebrauch als generelle geistige Fähigkeit des Menschen eingeführt.<sup>25</sup>

Der klassische Intelligenztest versucht, durch einen Fragebogen die Intelligenz des Probanden altersunabhängig zu messen. Zudem existiert bei vielen Tests der Ehrgeiz auch völlig kulturabhängig zu arbeiten. Dies sind Anforderungen, die nicht vollständig erfüllt werden können, so wird jemand, der in einer Kultur ohne Schreibstift aufgewachsen ist, schlecht die richtigen Antworten ankreuzen können, zumindest ist er benachteiligt, wenn er nur reine Computertests gewohnt ist. Auch die Sprache, in der der Test formuliert ist, ist in mehrfacher Weise problematisch. Zunächst ist vorauszusetzen, dass es eine Sprache ist, die dem Proband geläufig ist, dann sollte die Sprache auch keinen zu hohe Komplexität aufweisen, dies ist bei der Formulierung komplexer Probleme keineswegs trivial. Zuletzt sollte die Sprache auf spezielles kulturelles Wissen verzichten, da sonst das Fehlen des Hintergrundwissens bereits zu fehlerhaften Antworten führt.

Ursprünglich dienten Intelligenztests zur Beurteilung von schwachbegabten Schülern, die in Förderklassen kommen sollten, der Test sollte die Lernfähigkeit abfragen, so war zumindest die Aufgabenstellung an A. Binet (1905) als er für die französische Schulverwaltung den ersten Test entwickelte.

Der Aufbau des Fragebogens sollte die gesamte Bandbreite menschlicher Intelligenzleistungen abfragen, vom sprachlichen Verständnis bis zum räumlichen Denken. Dies führt automatisch zu massiven Problemen bei der gerechten Einschätzung, welche Teilbereich wie relevant für die Intelligenz sind. So hat Thurstone sieben Primärfähigkeiten (Primary mental abilities) für seine Tests herausgearbeitet: Sprachverständnis, Wortflüssigkeit, Rechengewandtheit, räumliches Denken,

<sup>25</sup> <http://www.psychologie.uni-mannheim.de/psycho3/LehreSS01/Intelligenz/300401.pdf>

Auffassungsgeschwindigkeit, Merkfähigkeit und schlussfolgerndes Denken. Spermann arbeitet nur mit zwei Faktoren, allgemeine und spezifische Faktoren für die Beurteilung der Intelligenz. J.P. Guilford hat bis zu 120 Primärfaktoren ausfindig gemacht, die die Intelligenz bestimmen.

»Intelligenz ist die Fähigkeit zur Erfassung und Herstellung von Bedeutungen, Beziehungen und Sinnzusammenhängen« (Wenzl, 1957, S. 14)

Die meisten Fragebögen zur Intelligenz gliedern sich in mehrere Teilbereiche, die verschiedene, zumeist sehr gut entwickelte Fähigkeiten des Menschen, abprüfen. Dabei werden Bereiche, die keine oder nur eine geringe Differenzierung ergeben, weggelassen. So fragt man nicht nach einfachen Fakten, die immer richtig beantwortet werden. Etwa die Frage, ist es Hell im Raum, ist ohne Interesse, da völlig selbstverständlich eine vernünftige Antwort folgt. Auch die Fähigkeit, den Namen richtig einzutragen, wird nicht mitgewertet. Beides Aufgaben, die einen normalen Rechner bereits vor unlösbaren Problemen stellen kann.

Weiterhin gibt es keine Fragen, die für einen Menschen in vernünftiger Zeit unlösbar sind. Darunter fallen fast alle umfangreichen numerischen Fragen (die Primfaktoren einer hundertstelligen Zahl), viele Fragen, die nur durch Nachschlagen lösbar sind (Welches Patent wird durch die Nummer 123.231E beschrieben) und Fragen nach philosophischen Aspekten (Was liegt jenseits der Zeit).

### 2.2.2 Test für Maschinen

Intelligenztests sind sehr stark anthropozentrisch aufgebaut, daher eignen sie sich kaum eine Maschine in ihrer Leistungsfähigkeit zu prüfen. Das Ziel ist daher eine wertneutralere Skala einzuführen, die alle datenverarbeitende Systeme beurteilen kann. Für eine einfachere Bezeichnung der Leistungsfähigkeit wird zuerst eine logarithmische Skala eingeführt deren Nullpunkt die Leistungsfähigkeit eines durchschnittlichen Menschen beschreibt, dies lehnt sich an die Vorgehensweise der Astronomen an, die einem hellen Stern ebenfalls die Helligkeit null zuordnen, die anderen Probleme der astronomischen Skala werden nicht

übernommen. Ein System, das zehnfach leistungsfähiger ist, soll den T-Wert eins bekommen, ein System mit einem Hundertstel der menschlichen Fähigkeiten hat den T-Wert  $-2$ .

Als Skalierung soll die kooperative Verarbeitung herangezogen werden, ein System ist zehnfach besser, wenn es alleine die Leistung von zehn einfachen Systemen erreicht.

Damit die Skala praktisch umsetzbar ist muss ein praktikabler Weg gefunden werden, der die Denkleistung unabhängig von speziellen Fähigkeiten messen kann. Dabei stehen zwei Wege zur Verfügung, einmal kann die Leistung in einem speziellen Test gemessen werden, der immer einen konstanten Satz an Aufgaben beinhaltet und damit längerfristige Vergleichbarkeit schafft. Alternativ oder parallel kann ein direkter Vergleich mit einem Mitbewerber stattfinden. Dafür existiert eine ausgefeilte Theorie, auf der das Punktesystem im Schach basiert.

### 2.2.2.1 Aufbau des Vergleichssystems

Vergleichende Systeme benötigen eine Aufgabe, die zwei Teilnehmer gegeneinander antreten lässt und die dann eine eindeutige Entscheidung, gewonnen, verloren und in manchen Systemen unentschieden, liefern. Sind beide Gegner gleich gut, ist die Wahrscheinlichkeit eines Gewinns fünfzig Prozent für beide Seiten. Ist ein Gegner etwas stärker als der andere, wird dadurch nicht automatisch die Wahrscheinlichkeit eines Sieges hundert Prozent, dies liegt daran, dass in allen sinnvollen Spielsituationen auch ein zufälliger Anteil auftritt. Die gemessene Wahrscheinlichkeit, die sich nach vielen Spielen zwischen beiden Teilnehmern ergibt ist ein gutes Maß für den Abstand der Leistungsfähigkeit der beiden Systeme. So ordnet das USCF System<sup>26</sup> bei Schach einem Spieler, der zu 76% gegen einen anderen Spieler gewinnt, einen USCF-Wert zu, der um zweihundert Punkte höher liegt als sein schwächerer Gegner. Allgemein kann die Erwartung, dass ein Spieler gewinnt immer aus dem Abstand der beiden USCF-Werte berechnet werden<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> Das USCF Wertungssystem ist nach der U.S. Chess Federation benannt, das ELO System nach seinem Erfinder.

<sup>27</sup> Eine ausführliche Erläuterung der Bewertungssysteme bei Schach, insbesondere von USCF und kritische Anmerkungen findet man bei Mark

Interessant ist an dieser Einteilung der Spielleistung von Schach die Tatsache, dass zwischen einem blutigen Anfänger, der eine USCF Wertung von Null hat und dem Weltmeister 2800 Punkte oder vierzehn Klassen liegen. Man hat selbstverständlich auch Schachcomputer einer Bewertung im USCF System unterzogen. Dabei zeigt sich, dass die USCF-Werte von Schachcomputern proportional zum Logarithmus der Rechenoperationen steigen.

### 2.2.3 Kooperation mehrerer Systeme

Wenn mehrere Systeme gemeinsam an einer Aufgabe beteiligt sind, kann es zu einem schnelleren Auffinden der Lösung kommen. Dazu ist es notwendig, dass die Systeme kommunizieren und die einlaufenden Informationen sinnvoll im weiteren Verarbeitungsprozess der einzelnen Systeme integriert werden. Im Prinzip stellt jede Forschungsabteilung ein solches System dar, aber auch moderne vernetzte Computersysteme sind in gewissen Grenzen in der Lage, Ansätze von kooperativen Verhalten zu zeigen. Hierbei sollte man allerdings mehr an digitale Fußballmannschaften denken, als an einfache Parallelrechner, da letztere nur wenig kooperatives Verhalten zeigen. Parallelrechner bewältigen komplexe Aufgaben im wesentlichen, indem jeder Rechner ihm zugewiesene Aufgabe parallel zu den anderen Rechnern löst. Am Ende werden oft nur die Resultate zusammengeführt, ohne dass eine Zusammenarbeit entsteht. Anders bei den digitalen Fußballspielern, die ihr Verhalten eng an die Position der anderen Spieler ausrichten und damit versuchen, die Mannschaft zum Erfolg zu bringen.

Die Abhängigkeit der Gesamtleistung ist in keinem Fall das einfache Produkt aus den Einzelsystemleistungen. In einem Grenzfall kann das Gesamtsystem nur die Qualität eines einzelnen Teilsystems reproduzieren, dies vermutet man manchmal bei der Zusammenarbeit von Menschen und möglicherweise ist dies sogar eine optimistische Annahme.

Es kann bei der Kooperation von Systemen manchmal auch zu unerwarteten, neuen Phänomenen kommen, die eine einzelne

---

E. Gickman, "A Comprehensive Guide to Chess Ratings" (1995). American Chess Journal, 3, pp. 59—102, online unter <http://math.bu.edu/people/mg/papers/acjpaper.ps> verfügbar.

Komponente nie geschaffen hätte. Auf dem ersten Blick gibt es zwei Systeme, bei denen dies offensichtlich der Fall ist, das ist zum einen die Kultur die von großen menschlichen Gruppen aufgebaut wird und zum anderen das Gehirn, das aus einer Vielzahl einfacher Nervenzellen aufgebaut ist. Beide Leistungen sind durch die reine Betrachtung der Individuen weder zu erwarten, noch ist das zustande kommen einfach zu verstehen. Das Resultat kann auch nur schlecht auf einer Skala der Leistung sinnvoll eingeordnet werden, so ist der Intelligenzquotient einer Nervenzelle genauso unbekannt, wie der einer Kultur. In der Physik sind solche Phänomene wohlbekannt, so hat ein Gasmolekül keine Entropie, das Gasvolumen jedoch schon. Zukünftige Theorien des Denkens müssen solche Fragestellungen auf jeden Fall handhaben können.

Ein besonderes System, das durch Kooperation einen speziellen Status der Metaintelligenz erreicht ist das World Wide Web, in dem durch gemeinsames, unabhängiges, einspeichern von Information durch viele Individuen, mit einem geringen Grad an übergeordneter Organisation, ein sehr vernünftiges Resultat in Form einer fast universellen Bibliothek entstanden ist.

### 2.3 DAS INTERNET

Das Internet stellt neben dem Telefonnetz die größte Maschine des Menschen dar. Das Internet besteht bei genauerer Betrachtung aus zwei Netzen, dem Kommunikationsnetz und dem Informationsnetz. Das Kommunikationsnetz ist heute für den Transport von sehr großen Datenmengen optimiert. Zum Verständnis der Größenordnung sollen einige Zahlen genannt werden, das Backbone, jene Leitungen die die großen Städte verbinden, hat eine aktivierbare Übertragungskapazität von etwa 100TBit<sup>28</sup> pro Sekunde, eine solche Verbindung zwischen zwei Metropolen kann parallel 1,5 Milliarden Telefongespräche transportieren oder in einer Sekunde den gesamten Datenbestand (Bilder und Texte) des Internets übertragen.

---

<sup>28</sup> Leitungskapazität des E-Bone im Besitz von kpnQuest mit ca. 25000km Glasfaserstrecke, andere Netzbetreiber verfügen über zusätzliche Kapazitäten.

Das Informationsnetz, häufig als World Wide Web (WWW) bezeichnet, nutzt diese Infrastruktur um Dokumente auszutauschen. Die Dokumente sind untereinander durch Hyperlinks verbunden, die logische Zusammenhänge zwischen den Dokumenten herstellen. Da die meisten Dokumente mehr als zwei Links haben spricht man von einem Netz (Web). Viele Informationen sind allerdings nur indirekt über Eingabeformulare zugänglich und daher als gesonderte Entität zu behandeln. Die Wichtigsten sind dabei die Resultate der Suchmaschineresultate, die der Nutzer nach der Eingabe eines Stichworts erhält, es verbietet sich geradezu, diese Informationen dem verlinkten Dokumentenbestand zuzuordnen, da dann ein unendlicher Regress entstehen würde.

### 2.4 DIE ORGANE DES INTERNET

Als System, das für die Entwicklung von künstlichen Denken in Frage kommt, ist von Interesse, dass es viele Millionen Zugänge mit entsprechenden Ein- und Ausgabegeräten gibt. Diese können aus der Sicht des Systems Internet als Sensoren und Aktoren betrachtet werden. Die Tastatur wird somit zu einem Sinnesorgane des Internet, da es die Eingaben eines Benutzers wahrnimmt, ebenso die Maus oder das Mikrofon, sowie andere Geräte, mit denen der Nutzer mit dem Internet kommuniziert. Der Monitor und der Lautsprecher zählt zu den aktiven Gliedern des Systems, damit kann das System auf seine Umwelt einwirken, indem es sich mitteilt.

Die Zahl der Sinnesorgane das Internet mit dem es Information in Form von eingetippten Text, gescannten Bildern und Echtzeitinformationen mit Webcams gewinnt wächst dabei ständig, insbesondere gibt es eine Tendenz zu autonomen Sinnen, die durch automatische Erfassung von Information entstehen. Auf der Seite der Aktoren ist der Bildschirm und der Drucker der bei weitem dominierende Kanal, nur sehr wenige Systeme können direkt in die physische Umwelt direkt eingreifen. Dies liegt zum einen daran, dass solche Systeme erheblich teurer sind und natürlich ein schwer kalkulierbares Risiko mit sich bringen.

## 2.5 ORGANISATION DER DATENERFASSUNG

Das Internet unterscheidet sich nicht nur quantitativ von bisherigen Rechnernetzen, sondern auch qualitativ, da es keine festen Spielregeln für das Einspeisen von Informationen in das System gibt, damit wird das System fast im wörtlichem Sinne lebendig.

## 2.6 QUANTITATIVE UNTERSCHIEDE

Die wichtigsten Unterschiede Des Internets zu bisher bekannten Informations- und Computersystemen:

- Umfang des Datenbestands
- Anzahl der Teilnehmer
- Logische Datenstruktur

Für die Einschätzung des Internets als datenverarbeitendes System ist die tatsächliche Struktur der Kommunikationsnetze von untergeordneter Bedeutung. In der Tat ist das Internet in der Form wie es von vielen Usern wahrgenommen wird, die nur auf sehr wenige physische Rechner zugreifen, kein besonders großes Netz. Einige Unternehmen haben mehrere Millionen Websites auf ihren Rechnern installiert, die einzelnen Dokumente und Websites sind dabei physikalisch oft nur einen tausendstel Millimeter voneinander entfernt, das nächste Dokument kann allerdings bereits vom anderem Ende des Globus kommen. Der logische Abstand der einzelnen Dokumente ist von völlig anderer Natur. Er wird durch die Anzahl der Hyperlinks bestimmt, die benutzt werden müssen, bis das Zieldokument erreicht wird. Nach einer in Nature veröffentlichten Analyse hat das Internet einen Durchmesser von 17. Darunter ist zu verstehen, dass man maximal 17 Hyperlinks folgen muss um zu jedem beliebigen Dokument zu kommen. Die Bedeutung des Begriffs Durchmesser ist dabei ähnlich wie bei einer Kugel, jeder Punkt in einer Kugel hat zu einen beliebigen anderen Punkt maximal den Kugeldurchmesser als Abstand.

Im Hyperraum des Internets ist die Situation durch die eigenartige Dimensionalität des Hyperraums etwas schwieriger zu bestimmen, da das Netz keine feste Anzahl an Verbindungen zwischen den einzelnen Knoten (Dokumenten) hat. So gibt es Dokumente, von denen geht überhaupt kein Link weg, andere von denen gehen mehrere weg und Linklisten mit Hunderten von Links. Umgekehrt

gibt es Dokumente zu denen führt kein Link und zu anderen führen außerordentlich viel Links, zu manchen Seiten über eine Million. Diese Aspekte sind einerseits mathematisch schwierig zu behandeln, andererseits verraten sie sehr viel über die Informationsstruktur des WWW und werden daher auch bei der Analyse durch Suchmaschinen herangezogen.

## 2.7 HYPERLINK

Ein Hyperlink verbindet eine Internetdokument mit einem anderen Dokument, dies ist zunächst ein völlig unspektakulärer Vorgang. Der Link weist dabei eine Eigenart auf, die auch im biologischen Nervensystemen vorhanden ist, der Link ist ein gerichteter Graph, das bedeutet, er führt von einer Seite weg zu einer neuen Seite hin, der Rückweg ist aber nicht explizit vorhanden. Bei Neuronen im Nervensystem ist der Übergang zwischen zwei Nervenzellen ebenfalls gerichtet, eine Nervenfasern kann ein Signal an eine benachbarte Zelle über eine Synapse übermitteln, der umgekehrte Weg ist aber ebenfalls nicht allgemein vorhanden.

Eine weitere interessante Analogie zum Nervensystem stellt die Verbindung von zusammengehörigen Dokumenten dar. Hat ein Dokument inhaltlich ähnliche Informationen wie ein anderes, kann es passieren, dass der Autor des einen Dokuments einen Link<sup>29</sup> zum anderen Dokument legt. Diese Verknüpfung entstehen nicht durch eine zentral Steuerung sondern durch individuelle Vorgänge. Analog verstärkt eine Nervenzelle eine Verbindung, wenn bestimmte Signale synchron einlaufen, mithin eine Ähnlichkeit zwischen den Zellen besteht. Die exakten Zusammenhänge liegen zwar noch immer im dunklen, es ist aber bereits jetzt klar, dass auch hier keine zentrale Steuerung vorliegt.

Damit sind die Hyperlinks als Systemelement des Internets von herausragender Bedeutung, sie sind auf der Ebene des Nutzers nur scheinbar einfache Hilfsmittel zur Navigation, aus einer

---

<sup>29</sup> So nützlich diese Form der Selbstorganisation des Netzes ist, so umstritten ist sie bei Juristen, nach einem Urteil Landgerichts Hamburg vom 12. Mai 1998 entsteht eine Haftung für eigene Links, welcher Schaden durch solche Urteile für die Informationsstruktur des Netzes entsteht ist weniger bekannt.

erweiterten Perspektive sind sie ein Informationssystem an sich, das einer genaueren Betrachtung bedarf.

## 2.8 DAS SYSTEM VON ALEXA

Das in San Francisco beheimatete Unternehmen Alexa, 1996 von Brewster Kahle und Bruce Gillant gegründet, hat einen sehr interessanten Weg gefunden die Linkstruktur des Internets für das Auffinden von assoziierten Dokumenten einzusetzen. Jeder Internetteilnehmer, der Interesse hat, kann sich dort ein kleines Tool holen, das in den Browser integriert wird. Dieses Tool bewältigt zwei Aufgaben, zum einem meldet es jede Internetseite, die der Nutzer aufruft an einen zentralen Rechner, der bei alexa.com steht, zum anderen gibt es dem Nutzer einige nützliche Zusatzfunktionen, die ihm motivieren, das Programm überhaupt einzusetzen. Es ist nämlich nicht für jeden akzeptabel, dass ein Unternehmen das Surfverhalten von Nutzern aufzeichnet und auswertet. An dieser Stelle sollen aber entsprechende Datenschutzbedenken<sup>30</sup> nicht weiter diskutiert werden.

Ein Nutzer des Internets, der mit dem Tool surft und dabei von einem Dokument zum nächsten springt, verhält sich aus dem Blickwinkel des Alexa-Rechners wie ein Nervenimpuls für den Gehirnforscher. Der durch das Gehirn wandernde Nervenimpuls springt von einer Nervenzelle (Dokument) über eine verbindende Synapse (Hyperlink), zur nächsten Nervenzelle, falls die Randbedingung Synapsenstärke (Linkdesign) und Neuronenaktivität (Nutzerwunsch) ausreichend groß sind. Und wie im Gehirn ist die Aussagekraft eines Impulses nicht sonderlich hoch, jedoch die Summe sehr vieler Nervenimpulse kann einen Eindruck von Denkvorgängen liefern, so wie sie der Neurologe im Elektroenzephalogramm, EEG, abgeleitet.

Die synaptische Verbindungsstärke wird dabei durch den Autor und dessen Webdesign bestimmt, ist der Link an hervorgehobener Stelle, in fetter Schrift oder durch andere Stilmittel moduliert. Der Besucher (Nervenimpuls!) nutzt diesen Link in Abhängigkeit seines Interesses und der Präsentation des entsprechenden Links. Die Analogie zwischen den beiden Systemen ist frappant, unklar

<sup>30</sup> Das Unternehmen alexa.com hält seine Datenschutzrichtlinien auf der Seite <http://www.alexa.com/company/privacy.html> zum Abruf bereit.

bleibt aber zunächst, ob es einen tieferen Zusammenhang gibt, die Vorstellung, dass das Internet bereits denkt ist sicherlich falsch, aber die Bedeutung der von Alexa gesammelten Information darf nicht unterschätzt werden, zumindest das Unternehmen amazon<sup>31</sup> hat dafür einen hohen Kaufpreis gezahlt.

## 2.9 SUCHMASCHINEN

Parallel zum Wachstum der Dokumente und Datenleitungen im Internet haben die Internetsuchmaschinen einen enormen technischen Fortschritt bei der Realisierung von Retrieval-Systemen bewirkt. Der Motor dieser Entwicklung ist die starke Abhängigkeit der Nutzer von der Verfügbarkeit leistungsfähiger Suchsysteme und damit der hohen Besucherfrequenz bei den entsprechenden Webseiten, etwa zehn Prozent aller Seitenaufrufe finden bei den Suchmaschinen statt.

Die Arbeitsweise dieser Internetsuchmaschinen soll hier zuerst etwas erläutert werden, damit die enorme Bedeutung für die Entwicklung denkender Systeme klar wird. Jede Suchmaschine muss zunächst den Datenbestand des Internet einlesen, dies machen sogenannte Robots, Programme die systematisch jedem Hyperlink im WWW folgen, und die verknüpften Dokumente im Volltext in einer Datenbank ablegen. Das bedeutet, jede Suchmaschine verfügt über eine vollständige Kopie des Internetinhalts. Einige Einschränkungen bezüglich der Aktualität und sogenannter dunkler Bereiche im Internet, jene Bereiche zu denen kein Hyperlink führt, seien hier nicht näher betrachtet.

In einem zweiten Schritt wird die Datenbank so aufbereitet, dass es für den Anfragenden möglich ist, innerhalb kürzester Zeit ein Resultat auf seine Anfrage zu bekommen. Genau diese Aufbereitung ist der Schlüssel zu guten Suchergebnissen und damit zu wirtschaftlich erfolgreichen Suchmaschinen, es werden daher inzwischen erhebliche Ressourcen für diesen Schritt aufgewendet.

In der „Steinzeit“ der Suchmaschinen wurde einfach jedes Dokument, das den gewünschten Begriff enthielt als Suchergebnis präsentiert, die Sortierung erfolgte nach einfachen Kriterien wie

<sup>31</sup> Der US online Buchladen Amazon.com hat das Unternehmen Alexa aufgekauft

Anzahl und Ort des ersten Auftretens des gesuchten Wortes im Text. Dieses Vorgehen hätte sich sicherlich noch einige Zeit als praktikabel erwiesen, wenn nicht einige, weniger ehrliche Internetautoren, Seiten so verändert hätten, dass sie mit ihren Resultaten weit oben in den Suchmaschinen erschienen sind. Daraufhin haben die Betreiber der Suchmaschinen immer wieder versucht trotz der Betrugsversuche gute Resultate an die Besucher auszuliefern. Dieser Kleinkrieg zwischen Suchmaschinenprogrammierern und Webseitenprogrammierern ist der Vater des Fortschritts bei den Suchsystemen im Internet.

Das bemerkenswerteste System hat Google entwickelt, die Entwickler haben sich, wie auch die Entwickler von Alexa, mit der Struktur der Hyperlinks im Internet beschäftigt.

### 2.9.1.1

## 3 DENKEN ANDERS, DIE EVOLUTION

Bevor auf die Arbeitsweise des Gehirns näher eingegangen wird, soll der älteste Mechanismus zum lösen komplexer Probleme betrachtet werden, die Arbeitsweise der Natur bei der Entstehung der Arten. Die Evolution basiert auf der Vermehrung der erfolgreichsten Organismen und der zufälligen Änderung der einzelnen Organismen.

Betrachtet man diesen Prozess genauer, so stellt er eine bestimmte Form der Datenverarbeitung dar, eine Form, die man auch über die Rechenleistung definieren kann. Dazu dient folgende Betrachtung, hat ein Organismus  $n$  Gene und findet eine erfolgreiche Reproduktion statt, so stellt dies  $n$  Rechenschritte dar. Jedes Gen wurde gewissermaßen einmal geprüft, dies darf natürlich nicht zu wörtlich genommen werden, da selbstredend nur das Gesamtsystem überlebt. Besteht eine Population aus  $m$  Mitgliedern, die sich über  $o$  Generationen weiterentwickeln und im Wettbewerb mit  $p$  anderen Gattungen stehen, so ist die Zahl der Rechenschritte  $n*m*o*p*q$ .

Damit kann man die Entwicklung des Menschen als eine Rechenaufgabe betrachten, die aus einer bestimmten Menge von Primäroperationen besteht. Der Zahlenwert ergibt sich nach folgenden vereinfachten Annahmen: Die Entwicklung der Mehrzeller läuft seit etwa  $10E9$  Jahren. Der Zeitpunkt, zu dem die ersten Mehrzeller erscheinen ist immer noch umstritten, klare Artefakte gibt es seit der Zeit als versteinierungsfähiges Material in Form von Kalkgehäusen entstand. Die Ältesten Schalentiere aus dem frühen „Präkambrium“ datieren auf 700 Millionen Jahre, was sich aus sicheren Altersbestimmungen im begleitenden Gestein rekonstruieren lässt. Allerdings sind in letzter Zeit von Prof. ??? in Tübingen entdeckt worden, die Zeigen, dass es wohl schon lange vorher einfache wurmartige Mehrzeller gegeben haben muss, da man deren Gänge im Sediment sehen kann. Somit ist das Alter der Mehrzeller mit etwa einer Milliarde Jahre sicher kein besonders unsicherer Wert, insbesondere wenn man die anderen Faktoren der Gleichung näher betrachtet.

Die Anzahl der Mitglieder einer Gattung ist bei den verschiedenen Tieren extrem unterschiedlich. So findet man immer nur wenige

Spezies bei den Raubtieren, was eine logische Folge der Ernährungsgewohnheit ist. Jedes Raubtier muss mindestens hundert bis zu vielen tausend Beutetieren schlagen, bis es sich selbst reproduziert. Zudem gibt es Tiere und Pflanzen sehr unterschiedlicher Größe, damit steht den Populationen auch ein sehr unterschiedlich breiter Lebensraum zur Verfügung. Hier wird als Mittelwert eine Population von jeweils einer Million angenommen, was auch auf die frühe menschliche Populationsgröße zutrifft. Damit wird der Wert für  $m$  auf  $10E6$  Mitglieder pro Gattung gesetzt.

Der modernen Biologie ist es immer noch nicht gelungen, einen auch nur annähernd genauen Wert für die Anzahl der verschiedenen Tiere und Pflanzen anzugeben. Dies liegt zum einen an der schlechten Zugänglichkeit von zwei Drittel des Planeten, man denke nur an die Tiefsee, an der zum Teil sehr geringen Verbreitung einzelner Arten und der zahlenmäßigen Explosion, wenn man zu immer kleineren Lebewesen hinabsteigt. Die meisten Angaben liegen bei mehreren Millionen Arten, da es sicher in der Frühphase nur wenige mehrzellige Arten gegeben hat und hier eine Betrachtung über den gesamten Zeitraum stattfinden soll, wird schlicht von einer Million verschiedener Arten ausgegangen. Eine Vereinfachung die sicherlich von vielen Biologen angegriffen wird, aber für eine Überschlagsrechnung gerechtfertigt ist. Die Variable  $o$  wird damit auf  $10E6$  Gattungen gesetzt.

Jedes Individuum hat ein genetisches Erbe, das aus aktiven und passiven Genen in der D-N-A besteht. In dieser Sequenz von Genen sind die Baupläne der Proteine und damit der gesamte Phänotyp des Lebewesens gespeichert. Erstaunlicherweise ist die Zahl der aktiven Gene einschließlich des Menschen relativ gering, wie aktuelle Ergebnisse der Forschung zeigen. Für den Menschen geht man von etwa hunderttausend Genen aus, die Zahl ist aber vielleicht sogar kleiner. Erstaunlicherweise ist die Gensequenz von „einfachen“ Lebewesen oft nur unerheblich kleiner und daher wird dieser Wert als Standard für die Variable  $p=10E5$  gesetzt.

Die Reproduktionsrate des Menschen ist mit über zwanzig Jahren sicherlich ungewöhnlich lange, bei einfacheren Tieren und insbesondere bei einjährigen Pflanzen beobachten man einen Jahreszyklus bei der Reproduktion. Vermutlich ist die Mittlere

Rate in den Tropen deutlich kürzer, über den gesamten Zeitraum der Entwicklung hin zum Menschen ist aber die Annahme von einem Jahr sicherlich wieder vertretbar. bei einer durchschnittlichen Reproduktion innerhalb von einem Jahr ergeben sich für die Variable  $q=10E26$  Rechenoperationen. Das ist ein Wert, der verblüffend nahe bei den  $0,25*10E26$  Rechenoperationen liegt, die ein Mensch nach 40 Lebensjahren durchgeführt hat um eine gewisse Weisheit zu erreichen. Wendet man noch ein, dass das Leben seit vier Milliarden Jahren auf der Erde einer evolutionären Entwicklung unterliegt, erhält man sogar exakt den gleichen Wert.

Sicherlich sind einige der Annahmen in der Rechnung nicht exakt und auch nicht konstant. Die Zahl der Gene im Menschen und insbesondere in den vielen anderen Organismen bleibt nicht immer gleich, bei fast allen Organismen beobachtet man jedoch einen Wert zwischen  $10E4$  und  $10E6$ . Die Größe der Populationen ist selbstverständlich keine Konstante, allerdings ist das Produkt aus Populationsgröße und Gattungen ein Produkt aus Besatzdichte und Größe der Biosphäre, letztere sollte in den letzten  $10E9$  Jahren relativ konstant geblieben sein, wenn man von Eiszeitlichen Schwankungen absieht, die jedoch keine Größenordnung ausmachen. Die Besatzdichte ist eine Funktion der verfügbaren Nahrung und diese wiederum abhängig von der umgewandelten Sonnenstrahlung, ebenfalls eine Langzeitkonstante. Die Größe der Individuen ist durch Räuber-Beute Beziehungen abgestimmt und sollte sich ebenfalls nicht grundsätzlich gewandelt haben.

Ohne Probleme kann die Aussage gemacht werden, dass im Lauf der Evolution die Komplexität der Organismen zugenommen hat und diese damit direkt eine Folge umfangreicher Berechnungen war. Die Anzahl der koordiniert durchgeführten Rechenschritte übertrifft dabei die aktuelle Leistung von technischen Systemen um mehrere Größenordnungen, jedoch liegt die Anzahl der Rechenoperationen nicht außerhalb der Reichweite zukünftiger Systeme in den nächsten dreißig Jahren.

## 4 DAS GEHIRNS UND SEINE ARBEITSWEISE

Spricht man über Denken, muss man ein genaues Bild über den Aufbau und die Arbeitsweise des Gehirns und insbesondere des menschlichen Gehirns haben. Dabei ist unklar, was die wirklich wichtigen Erkenntnisse der Gehirnforschung sind, da immer noch ein zusammenhängendes Bild fehlt. Daher werden einige Beobachtungen, die relevant für das Denken, und für die Nachahmung dieser Fähigkeit durch den Computer, erscheinen, vorgestellt.

### 4.1 ENTWICKLUNG DES GEHIRNS

Das zentrale Nervensystem der Wirbeltiere, und damit des Menschen, entwickelt sich relativ früh in der Schwangerschaft, so dass bereits nach hundert Tagen alle wesentlichen Zelltypen an ihrem Platz sind. Die einzelnen Nervenzellen bilden dabei eine regelmäßigen Schichtstruktur aus sechs Lagen, in die unterste Lage werden die Informationen im reifen Gehirn von den Sinnesorganen oder von benachbarten Regionen aufgenommen, dann durch die verschiedenen Schichten geleitet und von den oberen Schichten an andere Regionen des Gehirns weitergeleitet. In der ersten Entwicklungsphase der Gehirnzellen haben diese aber noch kein ausgeprägte Verknüpfung zu anderen Zellen. Der Aufbau der Verknüpfungen in Form von Nervenfasern läuft beim Menschen in den ersten Lebensjahren ab und ist etwa mit dem zehnten Lebensjahr abgeschlossen.

Die einzelnen Verbindungen, die Synapsen, können sich während des gesamten Lebens verändern, sie sind für den Aufbau des Langzeitgedächtnisses verantwortlich. Nach dem Abschluss des Zellaufbaus können im Gehirn praktisch keine neuen Nervenzellen gebildet werden. Dass die Natur diese Beschränkung eingeführt hat, liegt vermutlich in dem Problem, dass zusätzliche Zellen nicht sinnvoll verdrahtet werden können. Jede bereits vorhandene Verbindung ist immer auf der Basis des bestehenden Zellkorpus aufgebaut worden, neue Zellen würden dieses fein durch den Lernprozess abgestimmte System mehr stören als verbessern. Umgekehrt sterben im laufe des Lebens Nervenzellen im Gehirn ab, dabei ist allerdings die Zahl des Verlustes gering, nur wenige

Prozent gehen verloren. Zudem kann es leicht sein, dass gerade das entfernen von wenig benötigten Zellen im Gehirn die Fähigkeit zum Verallgemeinern erheblich voranbringt. So weiß man aus der Untersuchung von künstlichen neuronalen Netzen<sup>32</sup>, dass diese durch entfernen von unbedeutenden Verbindungen besser ein Problem verallgemeinern als ohne diese Maßnahme. Damit könnte man auch erklären, warum gerade ältere Menschen sehr gut strategisch Denken können und nicht zuletzt hat dies zum Beispiel im Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland Eingang gefunden, das besagt, dass der Bundespräsident mindestens vierzig Lebensjahre alt sein muss.

#### 4.1.1 Aufgaben des Gehirns

Für die Betrachtung des Denkens ist es nützlich, sich die einzelnen Aufgabenstellungen des menschlichen Gehirns klarzumachen. Auf der Eingabeseite stehen hier außergewöhnlich hochauflösende Sinnesorgane, insbesondere der Gesichtssinn und das Gehör zur Verfügung. Bis heute ist die Leistung des menschlichen Auges hinsichtlich der Ortsauflösung aber auch im Bezug auf den nutzbaren Helligkeitsbereich nicht technisch nachvollzogen.

Diese Rohdaten kommen als gewaltiger Strom in den zuständigen Arealen des Kortex an und müssen dort in Echtzeit, das heißt in weniger als einer Sekunde, zu nützlicher Information verarbeitet werden. Der erste Arbeitsschritt ist die primäre Bildverarbeitung in Form von Kantenerkennung, Kontrastverstärkung und dem auffinden zusammenhängender Gebiete. Obwohl diese Aufgaben heute mit ausgereifter Software problemlos gelöst wird, darf man gerade an dieser Stelle die Leistung des Nervensystems nicht unterschätzen. Es hat eben keine einfach vorgegebenen Algorithmen, sondern es muss sich, weitgehend durch Selbstorganisation, diese Leistungen autonom beibringen.

In der nächsten Ebene der Bildverarbeitung werden zusammenhängende Objekte erkannt und ihre räumliche Anordnung in das vorhandene Modell der Umgebung eingefügt. Dabei ist besonders das Abgleichen zwischen Gesehenem und erwartetem der

<sup>32</sup> *G. Thimm and E. Fiesler* Neural Network Pruning and Pruning Parameters [http://www.idiap.ch/nnpapers/MLP\\_pruning\\_parameters/pruning.html](http://www.idiap.ch/nnpapers/MLP_pruning_parameters/pruning.html)



spannende Prozess. Hier muss ein kontinuierliches Lernen, aber auch verarbeiten, umgesetzt werden, das von heutigen Rechnern nicht annähernd so elegant gelöst ist.

Zu der statischen Objektinterpretation kommt noch eine weitere Dimension, die Zeit, in der die Bewegung von Objekten mit höchster Präzision erkannt wird, man denke nur an den Tischtennispieler.

Diese Informationen werden mit den anderen Kanälen, Gehör, Tastsinn, Gleichgewichtssinn und vielen weiteren, oft unterschätzen, Sinnen zusammengeführt, und daraus ein kohärenter Eindruck der Welt aufgebaut. Bereits kleine Abweichungen von der gewohnten Kohärenz führen zu erheblichem Unwohlsein, wie jeder schon auf einem schwankende Schiff oder bei verstopfte Gehörgängen erfahren hat.

Die erkannte Situation wird mit instinktiven und rationalem Denken zusammengeführt und daraus ein Handlungskonzept entwickelt, das gewogen, überdacht oder spontan ausgeführt werden kann. Die Handlungen sind zusammengesetzt aus elementaren Muskelbewegungen, die nun, fast komplementär zur Akkumulation der einlaufenden Information, ein Verstreuen an viele Untersysteme darstellt. Dabei wird bei vielen Bewegungen ein ungewöhnlich hoher Grad an Präzision erreicht, den jeder beim Klavierspieler vermutet, aber auch das Löffeln einer Suppe, das Gehen im Gelände und insbesondere das Sprechen, sind sehr komplexe Vorgänge, wie die mäßige Lerngeschwindigkeit von Kindern vermuten lässt.

Neben diesem direkten Tun, steht das Entwickeln von Gedanken; wie wir es nur beim Menschen vermuten, wobei einiges dafür spricht, dass zumindest Vorformen von Gedanken bei höheren Tieren auftreten. Hierbei wird das Beobachtete reflektiert und ohne direkte Handlung weiterentwickelt. Dieser Vorgang, der von uns als Kern des Denkens empfunden wird, ist aber möglicherweise nur eine abgewandelte Form der Weiterverarbeitung von Signalen, wie sie in den vielen anderen Stufen der Datenaufbereitung im Gehirn anzutreffen ist. Das Besondere liegt in der Fiktion des Ichs, die uns in das Planspiel einbezieht und uns als zentrale Achse des Geschehens betrachten lässt. Vermutlich eine fast zwangsläufige Erscheinung, wenn genügend Verarbeitungs- und Abstraktionsstufen erklommen sind.

## 4.2 VERGESSEN IST LERNEN

Eine riesige Sammlung von Daten enthält nicht viel Information, wenn diese nicht sorgfältig aus den Daten extrahiert wurde

### 4.2.1 An was wir uns erinnern

### 4.2.2 Wenn uns ein Gedanke kommt

### 4.2.3 Das Unbewusste, Traum der unverarbeiteten Themen

## 4.3 KOPPLUNG VON GEDANKEN

### 4.3.1 Assoziation

### 4.3.2 Transparente Schnittstelle

### 4.3.3 Ich und die Sinne

## 4.4 SEHEN UND MALEN

### 4.4.1 Warum realistisch wirkende Computerbilder so leicht zu erstellen sind

Jedes Computerspiel kann heute in Zusammenarbeit mit einer modernen Grafikkarte ein virtuelle Welt in genau der Zeit aufbauen, die der Mensch benötigt sie wahrzunehmen. Sicherlich gibt es immer noch ein Verbesserungspotential was die Auflösung oder einige Effekte betrifft, Berücksicht man den geradezu lächerlichen Preis der notwendigen Hardware so stellt sich die Frage warum die Gegenrichtung nicht verfügbar ist. Eine Videokamera, die in Echtzeit uns erzählt was sie Sieht, alle Objekte und Personen erkennt, auf Gefahren hinweist und auch bei schlechter Beleuchtung funktioniert. Heute kann selbst der beste

Rechner nicht die Zahl von Stühlen auf einem Bild erkennen, ein Testbild, das von einem Rechner erzeugt wurde!

#### 4.4.2 Kunst als Abstraktion

#### 4.4.3 Wahrnehmen und Werte speichern

#### 4.4.4 Sprache als Reflektion des Denkens oder Denken nichtvokalisierte Sprache

### 4.5 KOHÄRENTE WELTERFASSUNG, EINE ENTSCHEIDUNG, EIN WEG

#### 4.5.1 Männchen im Kopf Psychisch Probleme bewerten, denken

### 4.6 SCANNEN VON GEHIRNEN

## 5 NEURONALE NETZE

### 5.1 ARBEITSWEISE

#### 5.1.1 Hyperraum

Das Wort Hyperraum lässt viele an Science Fiktion denken, manche haben den Begriff in Zusammenhang mit der Relativitätstheorie gehört, aber nur wenige sind sich über seine Bedeutung im klaren. Zum Verständnis von Hyperraum muss man zuerst verstehen was Raum ist oder genauer, was ein Mathematiker unter dem Begriff Raum versteht. Jedem ist klar was eine Linie ist, für den Mathematiker ist bereits diese Frage sehr kompliziert. Daher werde ich mich hier nur auf eine Eigenschaft beschränken, die Möglichkeit, mit einer Zahl den Abstand zweier Punkte auf einer Linie zu bestimmen. Dass dies so gut geht, kennt jeder, der mit einem Stück Schnur versucht ein Zimmer auszumessen, man spannt die Schnur markiert das Ende des Raums und danach kann man in aller Ruhe die Länge der Schnur mit einem Meterstab messen. Bemerkenswert ist die Möglichkeit, dass man mit einer Schnur auch den Umfang eines Körpers messen kann, man legt die Schnur um das Objekt (denken Sie an den Brustumfang), markiert den Punkt an dem die Schnur das andere Ende trifft, und kann dann mit einem Meterstab die Länge der Schnur messen. Solange Sie eine gute Schnur verwenden wird das Ergebnis stimmen, bei einem Gummiband jedoch nicht, hier werden wir aber nur von ordentlichen Schnüren berichten. Da es nur eine Zahl gibt, die Länge, die eine Position auf der Schnur bestimmt, spricht man von einer eindimensionalen Größe.

#### Mehrere Dimensionen

Will man bei einer Wohnungsbesichtigung die Fläche eines rechteckigen Zimmers festhalten, benötigt man zwei Schnüre, eine für jede Richtung, es gibt also zwei unabhängige Richtungen und

damit ist eine Fläche, wie wir sie kennen<sup>33</sup>, Zweidimensional. Für die Bestimmung des Volumens einer Lagerhalle sind drei Schnüre notwendig, damit kann das Volumen bestimmt werden. Mit diesen drei Größen kann man einen einfachen dreidimensionalen Raum ausmessen. Würden Sie in einer vierdimensionalen Welt leben, dann sollten Sie vier Schnüre mitnehmen um eine Lagerhalle auszumessen.

Da wir in einer dreidimensionalen Welt leben und unser Gehirn in einer wichtigen Prägephase beobachtet hat, dass man mit drei Schnüren alles ausmessen kann, genaugenommen, dass man bei Greifbewegungen nur drei Freiheitsgrade des Orts hat, finden wir einen vierdimensionalen Raum sehr komisch. Jeder Raum, der mehr als drei Dimensionen hat wird heute als Hyperraum bezeichnet. Würden wir in einer zweidimensionalen Welt leben würde sicherlich auch der dreidimensionale Raum als Hyperraum bezeichnet. Wozu eine solche Betrachtung führt hat ??? in seinem Klassiker Flatland bereits 18??? Beschrieben.

Es gibt eine Betrachtung der Welt, in der die Zeit ebenfalls eine Dimension ist, die Relativitätstheorie von Albert Einstein beruht darauf. Weil die Zeit, und bei der Allgemeinen Relativitätstheorie auch der Raum, dabei einige ungewöhnliche Eigenschaften haben, wird sie gerne von Sciencefiction Autoren als Platz für Abendteuer genutzt. In der technischen Realität ist es allerdings so, dass alle spannenden Effekte des vierdimensionalen Hyperraums erst nahe der Lichtgeschwindigkeit auftreten und daher im Alltag<sup>34</sup> fast unbedeutend sind.

## Viele Dimensionen

Für das Verständnis von neuronalen Netzen ist die Betrachtung von vier, fünf oder sechs Dimensionen aber noch nicht ausreichend. Da die Zahl der Dimensionen fast beliebig anwachsen kann, spricht man daher vereinfachend von Hyperraum. Dabei

<sup>33</sup> Bei der Beschreibung von hochdimensionalen Räumen werden alle Unterräume, die weniger Dimensionen als der betrachtete haben, als Fläche bezeichnet.

<sup>34</sup> Es gibt heute nur eine praktische Anwendung, bei der die allgemeine Relativitätstheorie eine bedeutende Rolle spielt und das ist das GPS, mit dem man seinen Ort anhand von Satelliten im Weltraum bestimmen kann.

muss man sich immer nur merken, wie viele Zahlen notwendig sind um ein Problem zu beschreiben, und schon kennt man die Dimension des Problems.

## 5.1.2 Die perfekte Wetterstation

Zur Veranschaulichung der vielen Dimensionen, und der Probleme und Phänomene die dabei auftreten, wird hier der Bau einer perfekten Wetterstation beschrieben, die feststellen kann ob sie einen Regenschirm mitnehmen sollten. Sie kaufen ein handelsübliches Thermometer und messen jeden Tag die (Außen)Temperatur und tragen auf einem Blatt Papier ein Linie ein, entlang der Sie zu jeder Temperatur eintragen, ob es an diesem Tag geregnet hat oder nicht. Nach einem Jahr stellen sie fest, dass es bei Temperaturen unter Null selten regnet und auch bei sehr warmen Wetter relativ selten Regen fällt. Allerdings sind Sie frustriert und wollen eine etwas zuverlässigere Methode um die Regenwahrscheinlichkeit zu bestimmen. Sie kaufen sich zusätzlich ein Hygrometer um die Luftfeuchtigkeit zu bestimmen. Jetzt zeichnen sie für jeden Tag in einem Karopapier ein ob es bei einer bestimmten Temperatur und bei einer bestimmten Luftfeuchte regnet. Auf dieser Karte sehen sie jetzt schon ein wesentlich genaueres Bild der Wirklichkeit. Allerdings, immer wieder kommt es vor, dass bei hoher Luftfeuchtigkeit und bei einer bestimmten Temperatur kein Regen auftritt.

Daher bauen Sie ihre Wetterstation weiter aus indem sie ein Barometer zur Bestimmung des Luftdrucks erwerben. Als sie am Abend des ersten Tages den Wert eintragen wollen stellen sie ein Problem fest, sie können die Werte nicht auf ein Blatt Papier eintragen. Daher nehmen sie Stecknadeln, mit blauen Köpfen, die Regen bedeuten und Roten Köpfen, die trockenes Wetter symbolisieren. Die Nadel wird jetzt auf dem Blatt an der Stelle eingesteckt wo die Temperatur und die Luftfeuchte den Tageswert entsprechen, die Höhe des Stecknadelkopfes über Papier soll den Luftdruck symbolisieren. Und tatsächlich, am Ende des Jahres können sie die Bereiche mit geringer Regenwahrscheinlichkeit ganz gut eingrenzen.

Doch bevor sie beginnen, dem metrologischen Dienst im Internet anzubieten, wollen sie auf ganz sicher gehen und messen

zusätzlich die Windrichtung, indem sie einen Wetterhahn auf das Dach montieren. Am ersten Abend kommt dann das Ende der großen Pläne, es will einfach nicht gelingen, die vierte Größe in ein Datenblatt unabhängig einzutragen. So lange sie auch versuchen, durch drehen und wenden der Nadeln Erfolg zu haben, es gibt in unserer dreidimensionalen Welt keine echte Möglichkeit vier Zahlenwerte unabhängig in eine Grafik einzutragen. Aber zum Glück haben sie den letzten Abschnitt gelesen, gehen in den Hyperraum mit der Dimension vier und alles ist völlig müheles.

Alles? Nein es gibt ein neues Problem, das Sie in Ansätzen auch schon in den letzten Jahren bei ihren Messungen beobachtet haben, je weiter man die Zahl der Dimensionen erhöht, um so weniger Messpunkte sind in einer bestimmten Region der Graphik am Jahresende eingetragen, es gibt immer wieder Gebiete, in denen überhaupt keine brauchbaren, benachbarten Punkte stehen, wenn sie sagen sollen, ob es einen Erfahrungswert gibt. -??? , die will man bestimmen, wie das Wetter gerade ist, muss man die Temperatur der Luft, die Luftfeuchte und den Luftdruck bestimmen. Das sind drei Zahlen also ist der Raum für dieses Problem dreidimensional. Macht man jeden Tag eine Messung und trägt den jeweiligen Wetterwert in ein dreidimensionales Millimeterpapier ein, so wird man bald bemerken, dass es bestimmte Bereiche im Raum des „Wetters“ gibt, wo häufig Regen auftritt und andere wo öfter die Sonne scheint. Wer eine moderne Wetterstation kauft, kann dieses Resultat dann als kleine Wölkchen im Display ablesen. Im Hintergrund bestimmt dieser einfache Rechner nicht mehr, als die Position des aktuellen Wetters im Wetterraum und gibt die entsprechende Information die er für einen bestimmten Ort im Wetterraum gespeichert hat aus. Für diejenigen, der sich selbst einen kleinen Wettercomputer bauen will genügt für das Model Simple I

Nach einiger Zeit wird man allerdings feststellen, das man oft umsonst den Regenschirm eingepackt hat und fragt sich, ob eine gute Wetterstation nicht noch zusätzlich die Windrichtung und die Windstärke berücksichtigen kann.???- kann entfallen

## 6 DER GESCHEITERTE VERSUCH DER KI

Die Geschichte der künstlichen Intelligenz ist lange und reicht zumindest bis in das Barock zurück. Für die heutige Diskussion sind allerdings die neuen Entwicklungen seit der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts wesentlich, weil seit dieser Zeit eine konkrete Vorstellung von der Arbeitsweise und den Möglichkeiten von Computersystemen vorliegt. Daher soll diese Entwicklung aufgezeichnet werden, sie gibt viele entscheidende Hinweise auf typische Irrtümer bei dem Versuch wieder, künstliches Denken auf Computern abzubilden. Viele einzelne Aspekte sind bis heute nicht hinreichend untersucht, was aber erst sinnvoll wird, wenn das Ziel genauer verstanden wird.

### 6.1 DIE IDEE VON TURING

Noch vor der erste elektronische Rechner, die ENIAC in den Labors für das amerikanischen Militärs<sup>35</sup> in der Moore School 1945 zusammengeschraubt wurde, entwickelte der Mathematiker Alan M. Turing eine grundlegende Theorie über die Berechenbarkeit der Welt mit Computern. Die Ausgangsidee lag dabei in der Vorstellung, dass alle Denkopoperationen logische Operationen im Sinne der Booleschen Logik sind. Wenn also das Gehirn im wesentlichen boolesche Operationen verarbeitet, dann kann eine Maschine, die ebenfalls boolesche Operationen verarbeitet, die Leistung des Gehirns abbilden.

Das Modell von Turing war dabei eine Maschine<sup>36</sup>, die ein Band mit Anweisungen enthält, das an einem Lesekopf vorbeiläuft. Ein Prozessor führt dann aufgrund der Anweisungen auf dem Band bestimmte Operationen aus, im wesentlichen das Band um eine bestimmte Zahl von Positionen nach vorne oder hinten zu bewegen oder ein Zeichen auf das Band zu schreiben. Bereits mit diesen einfachsten Regeln ist es möglich beliebig komplexe Probleme anzupacken, vor allem dann, wenn die Länge des Bandes

<sup>35</sup> <http://ftp.arl.mil/~mike/comphist/eniac-story.html>

<sup>36</sup> Für Freunde des realen Experiments gibt es im Internet eine Turingmaschine zu Download unter der Adresse [http://www.informatik.uni-rostock.de/~grbuc/turi\\_old.html](http://www.informatik.uni-rostock.de/~grbuc/turi_old.html)

unendlich ist und der Zwischenspeicher im Prozessor große Zahlen speichern kann. Zudem benötigt man für die Bearbeitung noch eine große Menge an Zeitschritten, damit am Ende die Lösung des Problems vollständig auf dem Band steht.

Anhand dieses einfachen Gedankenexperiments hat Turing so wesentliche Fragestellungen wie das Halteproblem<sup>37</sup> in Rechner-Systemen entdeckt.

Der konkrete Aufbau einer Turingmaschine ist für die Fähigkeit, bestimmte Probleme zu lösen, nicht relevant. Man kann beliebig viele Systeme konstruieren die in ihrem Verhalten isomorph zur ursprünglichen Turingmaschine sind und damit sind sie ebenfalls Turingmaschinen. Alle heutigen Computersysteme sind im wesentlichen Turingmaschinen, allerdings mit der praktischen Einschränkung, dass der Speicher nicht unendlich ist.

### 6.1.1 Das Problem der falschen Vorstellung

Der erste vollelektronische Rechner, die ENIAC, war nach ihrem Ausbau mit einem automatischen Programmwerk auf Anregung von von Neumann und dem Hinzufügen eines Hauptspeichers von 200Byte im Jahre 1953 ein Computer im heutigen Sinn. Damit konnte das System alle Anforderungen einer Turingmaschine bewältigen, außer der Anforderung eines unendlichen Speichers, womit zumindest prinzipiell künstliche Intelligenz realisierbar wurde. Zu dieser Zeit ??? wurde dem System auch sofort der Name Elektronengehirn zugewiesen, was in weiten Teilen der

---

<sup>37</sup> Das Halteproblem besteht darin, dass es prinzipiell nicht möglich ist, anhand des Programmcodes im allgemeinen zu entscheiden, wann und ob der Rechenprozess jemals zu einem Ende kommen wird. Ein Phänomen, das den heutigen Computerbenutzer sicherlich sehr vertraut ist, der immer wieder beobachtet, dass ein Rechner „hängt“ das heißt nichts tut obwohl der Prozessor hundertprozentig ausgelastet ist. Es ist in solchen Situationen theoretisch nicht möglich, zu entscheiden, ob der Rechner nach endlicher Zeit wieder in einen stabilen Zustand zurückkehrt oder für alle Ewigkeit versucht, das Programm abzuarbeiten.

Bevölkerung sehr abenteuerliche Vorstellungen über die Leistungsfähigkeit eines solchen Systems hervorrief.

Tatsächlich ist immer noch der Glaube in einer bestimmten Gruppe von Philosophen vorhanden, das Gehirn als ein System zu betrachten, das unablässig logische Operationen ausführt. Diese Vorstellung wurzelt möglicherweise auch darin, dass die Mathematik mit ihrer Logik einen sehr guten Ruf genießt und daher das Operieren mit logischen Operationen als wertvoll gilt. Zudem erscheint es immer noch für viele möglich, allein mit logischen Operationen die Antwort auf alle Fragen zu finden. Dass dies auch theoretisch nicht möglich ist, hat zuerst Gödel 1931 in seinem Beweis der Unvollständigkeit gezeigt, der in sehr schöner kompakter Weise von Hofstaedter beschrieben wird,

„In seiner absolut reinsten Fassung stellt Gödels Entdeckung die Übersetzung einer uralten philosophischen Paradoxie in die Sprache der Mathematik dar. Es handelt sich um die sogenannte Epimenides- oder Lügner-Paradoxie. Epimenides war ein Kreter, der einen unsterblichen Satz aussprach: ‚Alle Kreter sind Lügner.‘ Eine verschärfte Version dieser Aussage lautet einfach: ‚Ich lüge‘ oder: ‚Diese Aussage ist falsch.‘“<sup>38</sup>

Das Gehirn ist kein einfaches System, das auf der Ebene von logischen Operationen zu einer Lösung kommt, so wie dies heutige Digitalcomputer machen, andererseits ist jedes System auf ein logisches System reduzierbar, dieser scheinbare Widerspruch muss daher aufgelöst werden. Dazu soll hier nicht ein System entwickelt werden, wie es Penrose vorschlägt, das auf mysteriöse quantenmechanische Effekte in den Neuronen des Gehirns baut sondern eine Weiterentwicklung bestehender Systeme vorgeschlagen werden.

### 6.1.2 Neuronale Netze I

Neuronale Netze sind eine technische Beschreibung der biologischen Gehirnmasse. Dabei werden in allen Versuchen der Beschreibung, und insbesondere der Nachbildung auf konventionellen Computern, erhebliche, und im weiteren für die Funktion des Denkens auch unzulässige Vereinfachungen, durchgeführt. Die Idee, technische neuronale Netze aufzubauen

---

<sup>38</sup> Hofstaedter Gödel, Escher, Bach, Seite 19, Zeile 2 ff

beruht auf der ersten Beschreibung der Lernregel von Hebb. Diese besagt, dass zwei Neurone ihre Verbindung stärken, wenn sie gemeinsam Signale empfangen. Aufbauend auf dieser einfachen Regel wurden in den Jahren von 1950 bis etwa 1963 viele, zum Teil sehr ehrgeizige Projekte zum Aufbau von künstlicher Intelligenz gestartet.

Die technische Umsetzung der neuronalen Netze erfolgte in diesem Zeitabschnitt oft mit einfacher analoger Technik. So gab es ein System, bei dem mehrere Drähte in einer Silbersalzlösung gespannt wurden die bei gleichzeitigem Stromfluss durch zwei Drähte die gewünschte Ablagerung von Silber verursacht. Da Silber selbst leitfähig ist, hat sich damit eine Verbindung zwischen den Drähten entwickelt und dazu geführt, dass jetzt eine engere Verknüpfung von zwei zunächst getrennten Signalen vorlag. Wie die Beschreibung aber bereits zeigt, handelt es sich dabei um ein relativ primitives System, das nur sehr unzuverlässig funktioniert und zudem nur begrenzt miniaturisierbar und damit nicht weiter entwickelbar war.

Alle ähnliche, frühen analogen Ansätze litten darunter, dass es zu wenig Schaltelemente gab und dass der Aufbau sehr teuer ist, da nach einem misslungenen Versuch nicht einfach der Resetknopf, wie bei heutigen Systemen, gedrückt werden konnte, sondern aufwendige Reinigungs- und Rekonfigurationsprozesse notwendig waren.

#### 6.1.2.1 Arbeitsweise von neuronalen Netzen

#### 6.1.3 Das Ende der Neuronalen Netze

So vielversprechend die erste Entwicklungsphase der neuronalen Netze begonnen hat, so abrupt endete sie. Es konnte nämlich gezeigt werden, dass lineare Netzwerke, und diese wurden bis dahin verwendet, auch die einfachsten logischen Operationen, wie die XOR Operation, nicht abbilden können. Damit war für die meisten Entwickler klar, dass es für die Entwicklung künstlicher neuronaler Netze keine Zukunft gibt und dass sich daher eine weitere Erforschung nicht lohnt. Damit kam es fast zu einer self-fulfilling Prophecy, einer selbstbestätigenden Vorhersage, da über

mehr als zehn Jahre praktisch keine weitere Forschung im Bereich der neuronalen Netze stattfand.

Es gab aber auch andere Gründe für diesen starken Rückgang in diesem Forschungsbereich. Die normalen digitalen Computer begannen in ihrer Leistungsfähigkeit enorm zu wachsen. Durch die Einführung der integrierten Schaltungen gab es kein wirkliches Limit bei der Verkleinerung und Beschleunigung der Rechenleistung. Diese Systeme benötigten natürlich Software und daher wurden alle Kräfte zunächst für die klassische Entwicklung von Software und Betriebssysteme eingesetzt.

#### 6.1.4 Neuronale Netze II

Emulation, CRA Chinesisches Zimmer

#### 6.2

#### 6.3 DIE ZUKUNFT DER COMPUTERINTELLIGENZ

##### 6.3.1 Denken als Vereinfachen

Betrachtet man die verschiedenen Aktivitäten des Gehirns, so findet sich die Vereinfachung und die Klassifikation als die zentralen Paradigmen der Datenverarbeitung in verstehenden Systemen.

Vereinfachen immer im Sinne von „das Wesentliche erkennen“ und Klassifikation als trennen anhand von wesentlichen Merkmalen.

So lernen wir im Laufe des Lebens Tag und Nacht zu unterscheiden, trennen Gut und Böse, Vater und Mutter aber auch Äpfel von Birnen. Das gesamte schulische Lernen ist das Zuordnen dieser Erkenntnis an gesellschaftliche Konventionen über die jeweiligen Begriffe. Aber auch das selbstständige Lernen, von der Unterscheidung verschiedener Berührungen bis zum Erkennen verschiedener Gesichter ist ein Klassifizieren aufgrund von multiplen Sinneseindrücken. Klassifikation geht bei der Weiterentwicklung aber auch immer mit dem Erkennen von Hierarchien einher, in die sich die Objekte einordnen lassen, der

rote Apfel ist ein Apfel ist eine Frucht, ist ein Lebensmittel, ein käufliches Objekt von dieser Welt.

Die Fähigkeit der Klassifikation ist eine erstaunliche Leistung in einer mehrdeutigen Welt, es gibt nämlich nur in seltenen Ausnahmefällen eindeutige Lösungen für das Klassifikationsproblem. Eine rote Birne und ein roter Apfel mögen für eine Kamera sehr ähnlich sein, für den Menschen der den Geschmack zu schätzen weis, ist aber sie Farbe des Objekts nicht so ausschlaggebend, sondern die Art der Frucht. Damit hat man aber eine Klassifikation geschaffen, die für eine Maschine schwer nachzuvollziehen ist. Bemerkenswerterweise bleibt diese Klassifikation aber sinnvoll, wenn tieferliegende biologische Zusammenhänge miteinbezogen werden. ???Riedel

### 6.3.2 Die mögliche Verarbeitung der Daten

Als erstes soll die Verarbeitung von einlaufenden Informationen aus den Sinnesorganen betrachtet werden, und hier exemplarisch der Sehsinn. Sicherlich ist die Verarbeitung der anderen Sinnesorgane nicht prinzipiell anders und hier wird eher das Prinzip und weniger das Spezielle beleuchtet.

Betrachtet man ein kleines Areal der Netzhaut, dann treffen dort immer wieder ähnliche Informationen ein. Eine schlichte Information ist ein einfacher hell-dunkel Kontrast, der innerhalb eines abgegrenzten Gebiets eine helle Fläche, und durch eine gerade Linie abgegrenzt, eine dunkle Fläche aufweist. Liegen  $n$  Sensoren in diesem Gebiet, so werden davon  $m$  Sensoren ein Lichtsignal melden und die restlichen,  $(n-m)$  Sensoren, Dunkelheit oder eben kein Signal. Damit sind scheinbar zwei hoch  $n$  verschiedenen Signale als Ausgabe möglich. Dies bedeutet bereits bei einer kleinen Fläche von zehn mal zehn Sensoren fast unendlich viel Möglichkeiten, genaugenommen eine 1 mit 30 Nullen. Kein noch so leistungsfähiges System kann eine derartige Datenmenge sinnvoll speichern und zuordnen, wenn nicht nachhaltige Vereinfachungen vorgenommen werden. Zunächst reduziert sich die Zahl der Möglichkeiten etwas, weil nur ein einfacher hell-dunkel Übergang angenommen wurde, aber auch dann ist die Zahl der möglichen Situationen extrem hoch. Betrachtet man die Information mit dem Auge des Wissenden,

erkennt man, dass es nur zwei nützliche Informationen gibt, das ist zum einem die Richtung des Übergangs und zum anderen die Position desselben.

Die Leistung der neuronalen Verarbeitung liegt nun in der Extraktion genau dieser zwei Größen, ohne, dass dem System von außen Informationen über den Sachverhalt mitgegeben werden. Gelingt es einen Mechanismus anzugeben, der aus einer großen Anzahl möglicher Eingangssignale diesen Zusammenhang richtig auffindet und für die weitere Verarbeitung zugänglich macht, hat man eine zentrale Forderung für lernfähige Systeme ohne externen Lehrer erfüllt.

Mathematisch betrachtet, handelt es sich um einen hundert-dimensionalen Hyperraum, in dem jedes mögliche Eingangssignal als Ort kodiert ist, dabei können problemlos auch Grauwerte einbezogen werden, ohne dass sich die Dimensionalität erhöht. Eine bestimmte Beleuchtungssituation kann damit als Vektor in diesem Raum kodiert werden. Aufgrund der Tatsache, dass es im gegebenen Beispiel nur zwei Freiheitsgrade für das Eingangssignal gibt, liegen alle möglichen Vektoren in einer Ebene. Die Ebene wird gerade durch die beiden Größen, Richtung und Position, aufgespannt. Das Problem für das neuronale Netz reduziert sich daher auf das Auffinden dieser Ebene.

### 6.3.3 Auffinden der Drehparameter

Es muss also gelingen, einen Mechanismus anzugeben, der diese Ebene auffindet und dann die Daten als Position in dieser Ebene kodiert. In der Mathematik verwendet man hier die Hauptachsentransformation, die durch eine Drehung der Vektoren Mithilfe einer Drehmatrix erfolgt. Die entscheidende Größe ist dabei die Drehmatrix, deren einzelne Gewichte gefunden werden müssen. Von Interesse ist hier die Tatsache, dass ein neuronales Netz im feed forward Konfiguration, eine Anordnung die im Prinzip im Gehirn vorliegt, genau diese Aufgabe einer Drehung löst, allerdings dabei nicht automatisch eine Drehung in Richtung der Hauptachsen durchführt.

Damit ist das Problem an die Stelle der Gewichtung der einzelnen Verbindungen des neuronalen Netzes verschoben, die geeignet

verändert werden müssen, damit die gewünschte Transformation erfolgt.

In der bisherigen Entwicklung von künstlichen neuronalen Netzen wurde dazu der Backpropagation Algorithmus verwendet, der allerdings eine externe Information über die Abweichung der Netzergebnisse vom Zielwert benötigt. Eine erstaunliche Beobachtung an diesen Netzen ist die Tatsache, dass unter Verwendung linearer Übertragungsfunktionen die Eigenvektoren der Problemstellung, mithin eine Drehung in die Hauptachsen, gefunden wird. Die Einspeisung der Korrektursignale, wie es bei Backpropagation erfolgt, ist für ein biologisches System unplausibel und für ein autonom arbeitendes künstliches System ungeeignet, speziell können damit unbekannte Informationsgebiete nicht exploriert werden.

Es ist daher notwendig eine Steuerung zu finden, die eine natürliche Verschiebung der Gewichte erzielt, und dabei allmählich die Hauptachsen auffindet. Eine Möglichkeit ist das Minimieren einer Energiefunktion, was bei vielen biologischen Anpassungsprozessen beobachtet wird. So verändert sich Knochengewebe entsprechend der Anforderung so lange, bis es mit einem Minimum an Gewebe ein Maximum an bekannten Belastungen gewachsen ist. Genau dieses Prinzip soll für die Arbeitsweise der biologischen Neuronalen Netze postuliert werden.

***Biologische Neuronale Netze lernen, indem sie von den bekannten Mustern ein Minimum an Signalen weiterleiten und damit ein Maximum an Information transportieren.***

Jedes Neuron verbraucht bei der Weiterleitung eines Nervensignals Energie, da es für den elektrischen Signaltransport den Ionenhaushalt aktiv wieder ausgleichen muss, und an den Synapsen Transmitterproteine verliert, die wiederaufgebaut werden müssen. Daher sollte jedes Neuron versuchen, das aktive Feuern von Nervensignalen unter verschiedenen Randbedingungen zu minimieren. Zur Steuerung der Optimierung ist es möglich, dass Neuronen, die in der gleichen Ebene oder am Ende der Verarbeitungskette sitzen, Rückkopplungssignale an vorherige Verarbeitungsschichten oder parallele Neuronen abgeben, um die Optimierung voranzutreiben. Dabei muss man beachten, dass auch dieser Steuerungsprozess mit Verbesserung der Verschaltung,

absteigende Signalpegel hat, wiederum als Teil der energetischen Optimierung des Systems anzusehen ist.

Der genaue Prozess ist allerdings noch nicht aufgeklärt, da die Komplexität von lernfähigen Systemen keine vollständige Beobachtung zulässt.

### 6.3.4 Lernen braucht Zeit

Mit vierzig wird der Schwabe geschickter, wie der Volksmund sagt, auch das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland legt fest, dass der Bundespräsident mindestens vierzig Jahre alt sein muss. Beides Erkenntnisse, die aus langen Erfahrungen gewonnen wurden und zumindest einen Hinweis liefern, dass der Mensch viele Jahrzehnte des Lernens benötigt, bis er beste Resultate beim Auffinden von Lösungen liefert.

Computer mit integrierten Schaltungen gibt es seit Anfang der sechziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts, wäre zu diesem Zeitpunkt bereits ein perfekter Computer mit der Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns gebaut worden, würde das System keine wesentlich besseren Antworten als der Autor dieses Textes liefern! In vielen Diskussionen um die Entwicklung von künstlicher Intelligenz ist der erhebliche Zeitbedarf für das Erlernen des „Weltwissens“ nicht berücksichtigt. Zur Veranschaulichung nochmals ein Zahlenbeispiel, ein Mensch trainiert sein Gehirn bis zum vierzigsten Lebensjahr etwa eine Milliarde Sekunden, dabei werden vermutlich 25.000.000.000.000.000.000.000 Flips ( $25 \cdot 10^{24}$ ) ausgeführt. Nimmt man an, dass biologische Systeme im Lauf der Evolution auf optimalen Wissenserwerb hin optimiert wurden, kann man sogar zur Feststellung gelangen, dass es sich hier um die untere Schranke für die Zahl der primären Rechenoperationen handelt, die notwendig sind um eine vergleichbare Leistung wie ein erwachsener Mensch zu erreichen.

### 6.3.5 Optimale Leistung bei biologischen Systemen

Biologische Systeme sind durch einige Randbedingungen definiert. Jedes System muss die verwendete Energie selbst beschaffen, damit ist die Energie eine sehr knappe Ressource, der Energieverbrauch pro Rechenschritt sollte daher kaum weiteres



Potential zur Optimierung enthalten. Das System unterliegt einer scharfen Platzbegrenzung, dem Gehirn stehen etwa 1600 Kubikzentimeter geschütztes Volumen innerhalb der Schädeldecke zur Verfügung. Eine Verkleinerung scheint scheinbar eine gravierende Verringerung der Leistungsfähigkeit nach sich zu ziehen, so hatten unsere Vorfahren *Australopithecus afarensis* mit 500 Kubikzentimeter nur wenig mehr als ein Schimpanse. Prinzipiell ist das Volumen kein geeignetes Maß für die Leistungsfähigkeit, wie viele Großvolumige Gehirne aus der Tierwelt zeigen, jedoch kann man annehmen, dass die sehr enge Verwandtschaft zwischen Mensch und Affe nur wenig bezüglich der Größe der Nervenzellen verändert hat.

Anders ist sicherlich die Situation bei Vögeln, deren Gehirne in erster Linie auf geringes Gewicht hin optimiert sind. Da die Aufgabe, fehlerfreies Bewegen im dreidimensionalen Raum bei hoher Geschwindigkeit und das Lösen komplexer Aufgaben wie der Nestbau und der Vogelzug erhebliche Denkfähigkeit erfordert, ist es erstaunlich, dass wir keine Flügel haben. Ein möglicher Grund könnte eben das Mindestvolumen für das Gehirn sein. An dieser Stelle ist auch das Insektengehirn von Interesse, das ein sehr geringes Volumen hat aber auf eine außerordentlich große Zahl an Generationen zurückschauen kann und damit viele evolutionäre Rechenoperationen bei seiner Entwicklung nutzen kann. Bei der Untersuchung des Sehsystems von Fliegen findet man daher auch wesentlich exakter aufgebaute neuronale Verschaltungen, als sie bei Säugetieren üblich sind. Hier ist Information aus der Evolution in die Reduktion der notwendigen Schaltelemente des Gehirns dieser Tiere geflossen.

## 7 COMPUTERTECHNIK

Die heutige Computertechnik arbeitet nach einem Prinzip, das um 1940 von Wissenschaftlern wie Turing und von Neumann geprägt wurde. Es findet eine strikte Trennung zwischen Datenspeicher und Programmspeicher statt, die Daten werden nach Anweisungen des Programms linear im Prozessor verarbeitet. Alle Verarbeitungsschritte sind strikt digital und basieren auf wenigen logischen Grundfunktionen, wie der xor Funktion, die aus zwei Binärwerten einen resultierenden Binärwert erzeugt.

Dieses Vorgehen hat den entscheidenden Vorteil, dass das Resultat exakt vorhersehbar ist, wenn auch nur für eine einzelne Operation. Umfangreiche Programme liefern aufgrund der Komplexität manchmal unerwartete Resultate, was zum einen schlicht auf fehlerhafte Umsetzung der Vorgaben rückführbar ist, aber auch bei perfekter Umsetzung aus logischen Gründen nicht anders bestimmt werden kann als eben durch einen entsprechenden Programmablauf. Diese Erkenntnis ist Turing und in allgemeiner Form den mathematischen Betrachtungen von Gödel zu verdanken.

Für die praktische Umsetzung hatte das Verfahren aber noch einen anderen Grund, der zu wenig Beachtung findet. Ursprünglich war das Rechenwerk der technisch schnellste Bereich im System, Daten und Programmspeicher waren langsamer, weil sie auf preiswerter Technik wie Festplatten oder Magnetkernspeicher beruhten. Diese Bild hat sich aber durch die technische Revolution der Mikrostrukturierung grundsätzlich gewandelt. So sind praktisch alle Elemente, wie Hauptspeicher, gleich schnell und gleich kostengünstig herzustellen. Dies führt zu einem unvernünftigen Verhältnis zwischen der Anzahl der elektronischen Bauelemente in einem Computer und den aktiven Bauelementen. So hat ein mittlerer PC etwa eine Milliarde Transistoren, aber nur einige hundert sind aktiv an der Verarbeitung der Daten beteiligt, die anderen Elemente führen eine Art Dämmerzustand der höchstens durch Refreshzyklen unterbrochen wird, die nicht direkt zur Datenverarbeitung beitragen. Somit wäre es bei optimaler Architektur möglich, Rechnersysteme fast um den Faktor eine Milliarde zu beschleunigen. Die Konsequenzen aus diesen Betrachtungen sollen jetzt näher besprochen werden.

## 7.1 HYPERPARALLELE COMPUTER

Ein Computer bei dem alle Bauelemente aktiv arbeiten soll hier als hyperparallel bezeichnet werden. Dieses Konzept unterscheidet sich von den klassischen parallelen Systemen, in denen mehrere, zumeist einige hundert selten mehrere tausend Standard-Prozessoren, ein Rechnercluster bilden, dadurch, dass bereits auf der Ebene der Systemarchitektur jedes Schaltelement aktiv an der Verarbeitung der Daten beteiligt ist. Eine kurze Abschätzung der Leistungspotentiale soll die Bedeutung nochmals beleuchten.

Sind  $10E10$  Schaltungen mit einer Taktfrequenz von  $10E9$  Operationen in der Sekunde aktiv, so kann innerhalb von etwa einer Stunde die Rechenleistung eines Menschen, der vierzig Jahre sein Gehirn trainiert hat, nachgebildet werden. Die angenommene Zahl der Schaltelemente liegt dabei deutlich unterhalb der Anzahl von Schaltelemente, die ein konventioneller Parallelcomputer besitzt, die Taktfrequenz von einem Gigahertz hat heute jeder einfache PC.

Die Frage bei der Realisierung eines solchen Systems liegen daher in der Rechnerarchitektur und nicht in der Leistungsfähigkeit der Systemkomponenten als solche. Das bedeutet, hätte man die geeignete Architektur, würde man bereits heute denkende Computer bauen können.

## 7.2 ARCHITEKTURANSÄTZE

Damit jedes Bauelement aktiv an der Verarbeitung der Daten mitwirkt, muss zunächst jedes Bauelement zu einer Aufgabe Zugang haben. Stellt man sich ein in dieser Technik realisiertes Bilderfassungssystem mit 100.000 Bildpunkten vor, das die Intensitätswerte jedes Bildpunkts an 10.000 Schaltelemente zuführt, könnten  $10E10$  Schaltkreise aktiv an der Bildauswertung mitarbeiten. Jede Schaltelement kann für sich, aufgrund von Erfahrungswerten aus der Vergangenheit, ein Ausgabesignal generieren, damit wäre in der ersten Stufe der Bildverarbeitung bereits ein entsprechendes Konzept umgesetzt. Die Ausgangssignale würden in eine höhere Ebene mit einer ähnlichen Komplexität eingespeist und nach dem Durchlauf einiger Ebenen sind die Informationen aus dem Eingangsbild hochwertig aufbereitet.

Man weiß, dass ein Mensch innerhalb einer zehntel Sekunde auf ein Eingangssignal reflexartig und innerhalb einer Sekunde auch bewusst reagieren kann. Da das Gehirn etwa mit einer Taktzeit von zwanzig Millisekunden arbeitet, sind für einen Reflex nicht mehr als fünf Taktzyklen notwendig. Damit kann man abschätzen, dass für das Erkennen von Informationen im Bildverarbeitungssystem des Menschen etwa fünf Verarbeitungsebenen verwendet werden. Heutige Bildverarbeitungssysteme, die teilweise zu solchen Leistungen fähig sind, benötigen Milliarden von Taktzyklen, um auch nur annähernd so gute Resultate wie ein Mensch zu liefern, was natürlich wieder an der unökonomischen Umsetzung der Aufgabe in bisherigen Rechnern liegt.

Der entscheidende und schwierigste Punkt in der obigen Betrachtung liegt in den Worten „Aufgrund von Erfahrung der Schaltung“. Jede Nervenzelle im Gehirn sammelt im Lauf der Entwicklung solche Erfahrung und leitet daraus ab ob sie bei entsprechenden Eingangssignalen feuern soll oder nicht. Leider ist es bisher nicht gelungen genau zu verstehen wie diese Erfahrungen gesammelt und umgesetzt werden.

Möglicherweise muss man aber nicht exakt die Arbeitsweise kennen, sondern nur einige plausible Annahmen umsetzen. Experimentell könnten die entsprechenden Steuerparameter im Lauf der Zeit optimiert werden. Viel wichtiger ist es zu verstehen, wie hyperkomplexe Systeme auf hochgradig redundante Signale nach langer Zeit reagieren. Man weiß etwa, dass zelluläre Automaten, basierend auf sehr einfache Regeln hochkomplexes Verhalten zeigen. Die dazu notwendigen Simulationen, wie sie von Stephen Wolfram durchgeführt wurden, haben allerdings auf klassischen Systemen stattgefunden und erforderten daher sehr viel Rechenzeit.

## 8 ANGENOMMEN ES IST SO

Wie bereits dargestellt, kann man davon ausgehen, dass einfache Prinzipien das Lernen und die Verarbeitung von Daten in neuronalen Netzen steuern. Ungeachtet der Tatsache, dass die Details der Prinzipien noch nicht aufgeklärt sind, zeichnet sich aber ab, dass künstliche neuronale Netze einen möglichen Zugang zu künstlicher Intelligenz darstellen. Allerdings mit einem enormen Bedarf an Rechenleistung, wenn vergleichbares wie in der Natur realisiert werden soll.

Betrachtet man alte Landschafts- und Städtebilder, so sind dort oft Personen abgebildet. Personen von hohem Stand aber oft auch jene der breiten Schicht. Diese tragen fast immer eine schwere Last auf dem Rücken. Ähnliches beobachtet man heute in einigen, von der westlichen Zivilisation unberührten Gebirgsgegenden der Erde. Mit der Fähigkeit, schwere Gegenstände mit Motorkraft zu bewegen, ist die Aufgabe des Trägers verschwunden und wir bewegen uns alle frei von größeren Lasten durch die Welt.

Was aber geschieht, wenn es denkende Maschinen gibt? Zunächst werden diese sehr teuer sein, und ihr Einsatz nur dort realisiert, wo es lohnt, so wie der Hubschrauber auch heute nur im Ausnahmefall zum Einsatz kommt um eine Last zu transportieren. Der Preis der entsprechenden Maschine liegt zunächst bei etwa hundert Millionen<sup>39</sup>, jener Geldbetrag, der bisher immer für den besten Computer zu zahlen war, und es dauert viele Jahre, bis der Preis auf das Niveau eines Automobils absteigt und damit jedermann zugänglich wird. Nimmt man an, dass dann immer noch das Moorsche Gesetz gilt, sind es etwa fünfzehn Jahre. In dieser Zeit wird die entscheidende Diskussion um die Einordnung des Phänomens Computerdenken stattfinden. Zunächst erscheinen die Auswirkungen unbedeutend, da es sich nur um eine exotische Fähigkeit handelt, die nicht in das alltägliche vordringt. So wurde auch die Bedeutung ersten Computer völlig falsch eingeschätzt, angeblich glaubte man, dass weltweit nur etwa fünf Computer nötig sind und daher kein kommerzieller Erfolg mit dem Bau dieser Rechenmaschinen möglich ist.

<sup>39</sup> Dollar, Euro, oder was es dann noch geben mag.

Es ist fast sicher, dass es ähnliche Einschätzungen auch in Zukunft geben wird, möglicherweise auch wieder einen ähnlichen Hype, wie bei der Einführung des WWW.

Weitere Diskussionen ähneln der aktuellen Analyse der ethischen Einordnung der Gentechnik. Fragen nach der Zulässigkeit bestimmter Systeme oder deren Rechte werden im üblichen Kanon der Politik abgehandelt. Während dieser zähen Diskussion wird aber völlig übersehen, wie rasch die Entwicklung voranschreitet und durch die Tatsache, dass niemand mehr auf die intelligenten Fähigkeiten der Phase Zwei Maschinen verzichten kann beendet.

### 8.1 DER SCHLEICHENDE ÜBERGANG

Wer schnell mit dem Auto an sein Ziel gelangen will, der gibt das Ziel in das Navigationssystem ein und folgt sorgfältig den Anweisungen. Nächste Abzweigung rechts, wählen sie die Abbiegespur, fahren sie jetzt lange geradeaus. Ohne nachzudenken folgen wir sorgfältig den Anweisungen und wieder haben wir etwas unserer Kernkompetenz, die uns die Natur mitgegeben, hat an eine Maschine abgegeben. Wie immer hatten wir die Wahl, entweder mit Mühe die Karte studieren und mit dem Wissen, dass man oder frau immer wieder einen Abzweig übersieht, was viel Zeit kosten kann. Daneben ist das System auch zuverlässig, moderne Systeme berücksichtigen auch Staus, das Wetter, vielleicht auch Radarfallen. Oder die Systeme teilen uns beim Einsteigen mit, dass der Gesprächspartner vermutlich eine Stunde zu spät kommt.

Nach weiterer Optimierung der Systeme erfahren wir, dass die Verhandlungen aussichtslos sind und sich der Weg nicht lohnt, da bei der letzten Besprechung unser System beobachtet hat, wie eine unüberwindbare Zurückhaltung in der Mimik und im Tonfall festzustellen waren. Wir bleiben zuhause, sparen den wertvollen Wasserstoff für eine nette Tour am Wochenende. Und wieder haben wir nicht bemerkt, wie uns eine Entscheidung abgenommen wurde. Wir haben uns daran gewöhnt den Vorschlägen der Systeme Folge zu leisten, da andernfalls viel sinnlose Zeit vertan und unnötige Ressourcen vergeudet werden. Das fing vor langer Zeit an, als der Wasserhahn selbstständig die Temperatur beim Duschen geregelt hat, wo wird dieser Kreislauf enden?

### 8.1.1 Optimale Vorschläge

Ein Kernpunkt der Systeme ist die Fähigkeit gute Vorschläge zu machen, man muss sich nicht an die Vorschläge halten, aber man tut gut daran sich danach zu halten. Diese Form der schleichenden Machtübernahme der Optimierer ist kaum etwas entgegenzusetzen. Die Menschen werden daher den Vorschlägen folgen noch mit scheinbar freiem Willen. Die Fähigkeiten der Optimierer darf man dabei allerdings nicht überschätzen, ein Optimierer ist noch keine denkende Maschine auf der höchsten Stufe, aber der Optimierer ist ein Zwischenglied, jenes System bei dem wir lernen unseren eigenen Fähigkeiten immer weniger zuzutrauen, uns fast schmerzlos in fremde Hände zu begeben.

In sehr vielen Bereichen erleben wir bereits heute den Prozess der Kompetenzübergabe an Systeme. Lesen wir einen Englischen Text, hilft uns das Quicktionary schnell das fehlende Wort zu finden. Sind wir im Internet, hilft uns eine Suchmaschinen das beste Dokument zu finden, freundlicherweise gibt sie uns noch eine Auswahl der guten Fundstellen, ob es bessere gäbe wissen wir nicht! Benötigen wir eine Bahnverbindung sucht der Rechner die geeignete Verbindung, vor einigen Jahren konnte man mit etwas Geschick eine bessere Verbindung „mit der Hand“ finden, das gelingt immer seltener. Kaufen wir Aktien, berät uns ein Analysecomputer, kaufen wir andere Werte, kann das teuer werden, haben alle das gleiche Analyseprogramm, wird es noch teurer!

## 8.2 UNIVERSITÄT ADE

Der Hort des Wissens, der Ort der Wissenschaft, eine Errungenschaft von tausend Jahren abendländischer Kultur auf die Müllhalde der Geschichte? Diesen Aspekt zu besprechen ist ein Sakrileg und es wird ein Punkt sein der Widerspruch von jenen hervorruft, die sich für das bewahren und vermehren des Wissens an diesem Ort berufen fühlen.

Zum Ziel führt nur eine neutrale Diskussion der Aufgaben, die ein Computer besser meistern kann als der Organismus dieser gewachsenen Institution. Es gab Zeiten, zu denen gab es keine Universitäten, weil die Gesellschaft noch nicht reif war eine Institution zu tragen die keine offensichtlichen Früchte trägt und

nicht der religiösen Stabilität dient. Es wird eine Zeit geben, in der die Technik so reif ist, dass es keine Universität in unserem heutigen Verständnis geben wird, weil sie nicht mehr in der Lage ist, ihre Aufgabe zu erfüllen.

### 8.2.1 Die Leistung der Lehre

Die klassische Universität gibt Wissen an Studenten weiter, die Studenten bekommen Wissen aus erster Hand vermittelt, die Universität hält in Form von Bibliotheken auch zusätzliche Ressourcen für die Vermittlung von Wissen bereit. Wissen durch Computer zu vermitteln, ist ein Traum der seit über dreißig Jahren geträumt wird und der mit dem aufkommen des Internets an Realität gewonnen hat. Aber Wissen nimmt der Mensch nicht alleine durch bereitstellen von Information auf. Sonst müsste man den Kindern nur das Lesen beibringen und nach zehn Jahren Bücherstudium hätte man einen reifen gebildeten Menschen vor sich.

Der Mensch ist anders, er lernt nicht gern allein. Er geht am liebsten gemeinsam mit einer Gruppe auf die Jagd, sammelt gerne gemeinsam Früchte und erzählen sich Geschichten. Die Schule und Universität nutzt dieses Verhalten indem sie Gruppen bildet, die gemeinsam Wissen sammeln, die zusammen im Hörsaal einem klugen Menschen lauschen und dabei an das Verhalten der anderen ankoppeln. Ohne besondere Anstrengung wird das Wissen von jenen aufgenommen, die bereit sind zu studieren, das bedeutet, die bereit sind sich in die gemeinschaftliche Situation des Sammelns zu begeben.

Die Kunst des Pädagogen liegt nur zu einem Teil in der Fähigkeit sein Wissen mitzuteilen, genauso wichtig ist seine Fähigkeit, das aufnehmen von Wissen als einen gemeinschaftlichen Prozess erlebbar zu machen. Da der Mensch nur den Menschen als gleichwertig betrachtet, hat es eine Maschine unendlich schwer, wissen erfolgreich weiterzugeben. Damit ist aber eine wesentliche Aufgabe der Universität nicht alleine von Maschinen zu erfüllen. Allerdings bleibt die Frage, welches Wissen eine Lehre vermittelt, die nicht primär das Wissen erarbeitet. Es ist dann nicht die klassische Lehre an den Universitäten sondern eine Schule auf hohem Niveau.

### 8.2.2 Forschungsarbeit

Forschung ist das Sammeln von Daten über die Natur und die Synthese von Wissen aus den belegbaren Informationen. Der kreative Akt besteht zu einem großen Teil in der originellen Frage, die Arbeit liegt im Sammeln der belegbaren, reproduzierbaren Daten. Bereits heute übernehmen Rechnersysteme einen sehr großen Teil der Datensammelaufgabe, ein modernes Labor erscheint vielen eher als Rechenzentrum als die, in der Vorstellung noch existente, alchimistische Werkstatt.

Die Rechen und Speichertechnik erlaubt es auch, die Menge der erfassten Daten in das unvorstellbare zu steigern, nicht nur im Bereich der Elementarteilchenforschung liegen Größenordnungen bei Terrabytes. Viele Stufen der Datenaufbereitung werden von Rechnersystemen realisiert, neuronale Netze entscheiden bereits heute, welches Ereignis so signifikant war, dass es ein menschlicher Forscher zu Gesicht bekommt.

Ein Wesentlicher Teil der Forschung besteht heute auch in der Simulation von komplexen Prozessen. Die Zugrunde liegenden Naturgesetze sind häufig bekannt, die Fragen liegen oft in der Bestimmung des Verhaltens unter vorgegebenen Randbedingungen.

### 8.2.3 Handarbeit

Das arbeiten mit den Händen teilt sich in zwei Bereiche, der Arbeit, bei der die zentrale Leistung im Umsetzen von Energie liegt und Tätigkeiten die Information umsetzen. Zu ersteren gehören viele klassische Arbeiten des rohen Handwerks, vom Hobeln bis zum Mauern, zu letzteren gehörten alle komplexen feingesteuerten Bewegungen etwa das Lösen eines Knotens aber auch das eintippen eines Textes in einen Computer.

Die groben Tätigkeiten werden bereits rasch an Maschinen übergeben, oft finden sich Lösungen, die den Vorgang nur im Ergebnis nachahmen, jedoch nicht die Arbeitsweise des Handwerkers simulieren. Der Mähdrescher mäht weder mit der Sense, noch ist er in der Lage den Dreschflegel zu schwingen und trotzdem ist im Sammelbehälter gedroschenes Korn ohne Computerleistung gesammelt. Bei manchen, scheinbar schlichten repetierenden Tätigkeiten weigert sich die Materie durch einfache

Maschinen manipuliert zu werden, so formt bis heute keine Maschine zufriedenstellend Bäckerbrezeln aus rohem Teig. Die Arbeit eines Baggerfahrers, der einen Schacht oder eine Baugrube Ausheben soll, ist zwar gut maschinell unterstützt, eine selbstständige Lösung der Aufgabe durch eine Maschine steht noch aus. Aber auch die scheinbar schlichte Aufgabe, die in manchen Bundesländern als Zeichen der Schulreife gewertet wird, die Schuhe selbstständig zu binden ist für heutige, unbehände Roboter, nicht allgemein gelöst.

Die Entwicklung intelligenter Maschinen wird also auch darin sichtbar, dass zusehends Handarbeit dem Menschen abgenommen werden kann. Der lange erwartete Haushaltsroboter wird sicherlich eines der starken äußerlichen Zeichen sein, dass Denkende Maschinen ante portas stehen. Sie werden so zahlreich in unsere Häuser einkehren, kehren und wiederkehren wie die Dienstmagd das Haus vor hundert Jahren verlassen hat. Verlassen zu jenem Zeitpunkt, als die klassische Haushaltsmaschine eingezogen ist, um aus der Frau des Hauses die Hausfrau und dann die im Berufsleben stehende Hausfrau zu erfinden.

### 8.2.4 Theoretische Arbeiten

## 8.3 AUSWIRKUNG AUF DIE BÖRSE

### 8.3.1 Unternehmen die denkende Maschinen bauen

### 8.3.2 Unternehmen die denkende Maschinen nutzen

### 8.3.3 Trennung zwischen einfachen und weisen Computern

Alle Menschen sind fast mit der gleichen Fähigkeit zu denken ausgestattet. Die Unterschiede sind in der Tat so gering, dass es erhebliche Probleme bereitet, unabhängig von Ideologischen Fragen, signifikante Unterschiede den Veranlagungen zuzuschreiben. Die Situation bei denkenden Computern ist eine

völlig andere. Da es keine offensichtliche Begrenzung gibt, die die Zahl der logischen Operationen pro Sekunde begrenzt, werden sehr rasch nach der Bereitstellung der ersten denkenden Computer, Systeme auf den Markt kommen, die eine noch größere Rechenleistung besitzen. So kann man heute Schachcomputer bauen, die ältere Schachcomputer, die nur den Schachweltmeister besiegen konnten, besiegen.

Denkende Computer sind nur der Anfang, diese Maschinen sind mit ihren Fähigkeiten nicht viel anders als Menschen, manchmal brauchen sie einen Weil, bis ihnen etwas einfällt, sie verschätzen sich, wenn sie etwas schätzen sollen, sie kennen manche Sachen nicht, die der Mensch weiß, der mit so einer Maschine gerade spricht. Erklärt man ihnen einen Sachverhalt, muss man die Sache wiederholen, bis es der Maschine klar wird, nach einiger Zeit vergessen sie, dass man schon mal über das Thema gesprochen hat. Manchmal haben sie sehr unsinnige Vorstellungen von der Welt, die zur Vermutung führt, dass diese Maschinen nicht denken können. Zumeist liegt es aber an einseitigen Informationen, die man ihnen gefüttert hat, weil man dachte das wäre nützlich.

Doch nach einiger Zeit werden die Systeme leistungsfähiger und man hat bei den Gesprächen das Gefühl, woher weiß die Maschine das alles oder oft das Erlebnis, genau, daran hatte ich nicht gedacht. Der Unterschied empfindet man ähnlich zu jenem Unterschied, wenn man mit einem einfachen Arbeiter spricht oder mit einem hochgebildeten Universitätslehrer.

Die zunehmende Qualifikation der Maschinen wird nicht nur durch mehr Rechenleistung erreicht, die mit der Zeit zur Verfügung steht, sondern auch mehr Zeit zum Trainieren der Systeme und durch den Einsatz von besserer Information. Hier ist besonders ein Punkt entscheidend, dass alle in Büchern und Zeitschriften jemals festgehaltenen Informationen elektronisch zugänglich werden. Dazu wird das Copyright grundlegend geändert werden und in einer, dem Human Genom Projekt vergleichbaren, Kraftanstrengung wird alles elektronisch erfasst, was in den zahlreichen Bibliotheken der Welt lagert.

An diese Stelle ist die Phase Zwei, die der Superintelligenz erreicht, jenen Systemen, die nicht nur denken können sondern außerordentlich viel Hintergrundwissen haben und damit neue Zusammenhänge herstellen, die bisher verborgen blieben. Viele

Erkenntnisse der Menschheit basieren auf das neue Zusammenstellen bereits bekannter Information und den daraus folgenden Theorien. So hat Einstein „nur“ das Wissen über die Lichtgeschwindigkeit, einige mathematische Modelle und mehrere Gedankenexperimente zusammengeführt, um die spezielle Relativitätstheorie zu entwickeln.

Diese und ähnliche Leistungen beruhen aber bisher oft auf glücklichen Umständen, dass nämlich einem hochbegabten Menschen alle notwendigen Sachverhalte zugänglich werden und dass er genügend Interesse und Energie auf die Fragestellung verwendet. Anders bei zukünftigen Maschinen der Phase Zwei, ihnen stehen genügend Informationen und Rechenkapazität zur Verfügung, um fast alle, aus den bisherigen Unterlagen erschließbaren, Zusammenhänge, aufzudecken.

#### 8.3.4 Phase Drei

Innerhalb von etwa zehn Jahren sind die bisherigen Informationsressourcen ausgeschöpft und verarbeitet. Dabei werden durch ausgeklügelte Vermittlungsagenten, die neuen Informationen für Fachleute zugänglich. Ein Vorgehen, vergleichbar zum bisherigen Wissenschaftsjournalismus, der wissenschaftliche Erkenntnisse für das gebildete Publikum zugänglich macht.

Bei der Weiterverarbeitung der Informationen werden aber immer neue Zusammenhänge sichtbar, die für Menschen in ihrer Komplexität, aber auch in ihrer Logik nicht nachvollziehbar sind. Auf ähnliches ist man auch schon in der bisherigen Wissenschaftsgeschichte gestoßen, sei es, dass viele Menschen nie akzeptiert haben, dass die Erde keine Scheibe ist oder, in der modernen Wissenschaft, Inhalte der Quantenmechanik, die keiner versteht<sup>40</sup>. Die Folge ist heute, dass solche Theorien nur mit großer Mühe weiterentwickelt werden können, weil anschauliche Modelle, die unserer erfahrbaren Welt nahe liegen, fehlen.

In der Menschheitsentwicklung hat man natürlich beobachtet, dass bestimmte abstrakte und zuerst für fast alle unverständliche

<sup>40</sup> „Nobody understands quantum mechanics.“ eine Aussage von Richard Feynmann, einer der wenigen die zumindest verstanden, was sie über Quantenmechanik sagten.

Betrachtungen zum allgemeinen Kulturgut werden aber dafür sind zumeist historische Zeiträume nötig. Bestimmte Kulturleistungen, wie die Sprache, sind so komplex, dass sie sogar als Unterscheidungsmerkmal zwischen Mensch und Tier verwendet werden.

Eine ähnliche Situation wird entstehen, wenn die Phase Drei Systeme völlig neue Formen der Weltbetrachtung anstellen. Diese neue Form, etwa eine abstrakte Sprache, die jenseits der Mathematik gefunden wird, könnte dazu dienen, effizient Informationen über Hyperkomplexe Systeme auszutauschen und diese zu verstehen. Eine Fähigkeit die uns offensichtlich fehlt, wie unser mangelndes Verständnis über die Arbeitsweise von Gehirnen zeigt. Dabei muss man sich immer im klaren sein, dass es sich nicht einfach um eine Erweiterung einer bestehenden Form der Kommunikation handelt, sondern um eine neue Entität. Als Extrapolationshilfe kann der Übergang von Schrift zur Mathematik als Beispiel dienen, auch hier ist ein völlig neues Kommunikations- und Denkwerkzeug entstanden.

Auf ähnliche Weise könnten neue Formen von gesellschaftlichen Spielregeln für Phase Drei Systeme entstehen, die es erlauben eine Zusammenarbeit dieser Systeme festzulegen. Dagegen wären dann klassische Formen der Ethik oder Religion auf einem ähnlich tiefen Niveau, wie der Verhaltenskodex in einem Wolfsrudel<sup>41</sup>.

---

<sup>41</sup> Dabei ist natürlich klar, dass ein Wolfsrudel ein komplexes soziales Gebilde ist.

## 9 WARUM DIE WELT SIMPLE IST

Wir sind es gewöhnt die Welt zu verstehen. Von Kindesbein an leben wir im festen Glauben, dass wir die Welt um uns soweit kennen, dass wir uns in ihr sicher bewegen können. Alle Objekte erscheinen uns wohlgeformt und geordnet, die Bäume die Häuser und nach einiger Gewöhnung auch das etwas merkwürdige Verhalten unseres Personal Computers. Je länger man mit den Gegenständen der Welt zu tun hat, um so eher bemerkt man, dass man zwar nicht alles weiß, aber man gewinnt das Gefühl, dass es nicht ein Mangel des Geistes ist sondern eine Frage der aktiven Bemühens, offene Fragen durch entsprechendes Studium der Fachliteratur zu klären, ist. Dann gibt es da noch einige Fragen die uns von den Theologen als prinzipiell unbeantwortbar beschrieben werden. Diesen Fragen soll hier nicht nachgegangen werden, sondern die Frage, warum gelingt es uns, das Gefühl eines Weltverständnisses zu entwickeln, das keine offen klaffenden Lücken aufweist.

### 9.1 DIE LEICHT ÜBERSCHAUBARE NATUR

Bewegt sich ein höheres Lebewesen durch die Biosphäre, so kann es diese soweit verstehen, dass es sich in ihr ernähren und fortpflanzen kann. Die umgebende Natur ist also so einfach, dass es möglich ist mit einer relativ kleinen Zahl an Neuronen, alle wesentlichen Eigenschaften der Welt zu verarbeiten und funktionierende Prognosen auszuarbeiten. So selbstverständlich diese Eigenschaft erscheint, so ungewöhnlich ist sie in Wahrheit. Bereits ein relativ einfaches Computerprogramm kann Daten soweit verschlüsseln, dass es nicht möglich ist, diese Daten ohne Vorwissen zu nutzbarer Information aufzubereiten.

Die Sache wird noch ungewöhnlicher, wenn man zur Kenntnis nimmt, dass der Informationstransport in der Natur im wesentlichen über den Austausch von Lichtquanten erfolgt, in einfachen Worten, der Gesichtssinn nimmt die Teilchen des Lichts wahr und verarbeitet diese Information erfolgreich weiter. Lichtquanten sind jedoch höchst ungewöhnliche Gebilde, sie können mühelos Entfernungen von vielen Lichtjahren im Weltall zurücklegen und andererseits durch eine Schicht von wenigen

tausendstel Millimetern Metall nicht durchdringen. Die Teilchen neigen dazu, immer den schnellsten Weg zu nehmen, der Grund, warum sie an einer Glasscheibe gebrochen werden.

Doch das Verhalten von Photonen kann geradezu gespenstisches Verhalten zeigen, nimmt man einen feinen Draht und beleuchtet diesen mit einer punktförmigen Lichtquelle, für einen einfachen Versuch genügt dafür die Sonne, so liegt genau in der Mitte des Schattens ein Bereich erhöhter Helligkeit. Ohne an dieser Stelle alle physikalischen Effekte im einzelnen zu beschreiben, darf festgestellt werden, dass sich Licht als quantenmechanisches Phänomen nach Regeln verhält, die fern jeder Intuition liegen und selbst von einem Physiker des Kalibers Richard Feynman mit dem Satz kommentiert wurde "nobody understands quantum mechanics".

Betrachtet man an dieser Stelle nochmals die Frage, was wäre wenn die Daten hochgradig verschlüsselt ankommen würden, so sei darauf hingewiesen, dass die Quantenmechanik Verfahren zur Verschlüsselung erlaubt, die nach unserem Wissen über die Quantenmechanik nicht ohne Vorwissen dechiffriert werden können. Eine Tatsache, die man bereits im Labor nutzen kann um geheime Informationen zu transportieren.

Nochmals die Problematik zur Veranschaulichung. Hat man einen Lichtdetektor, der, so wie das Ohr den Schall, das Licht wahrnehmen kann, wir hätten keine Chance uns ein Bild von der Welt zu machen. Ohne Bild der Welt ist es nur schwer vorstellbar, dass Lebewesen einen Grad des Wissens von der Welt erwerben, der es ihnen ermöglicht die Naturgesetze zu verstehen. Und in der Natur ist es tatsächlich so, das an den Orten, die kein Sehen ermöglichen, wie unter der Erde, nur Würmer mit einfachsten Nervensystemen leben. Das gleich gilt für die Tiefsee mit ihrer totalen Finsternis bis auf einige lichtspendende Bakterien, keine Lebewesen mit leistungsfähigen Gehirnen anzutreffen sind. Brille!???

## 9.2 DAS AUGE

Wir leben in einer Welt des Lichts und wir können dieses Licht auf nahezu perfekte Weise orts aufgelöst wahrnehmen. Das Organ, das uns dazu befähigt ist mit einer Linse ausgestattet, ein

physikalisches Instrument mit ungewöhnlichen Eigenschaften. Eine Linse ist in der Lage, Licht, das von einem Punkt ausgeht wieder zu einem Punkt zusammenzuführen. Eine Eigenschaft, die jeder im Physikunterricht in einigen Details mit Bildpunkt und Brennpunkt gelernt hat. Diese Eigenschaft einer Linse beruht auf der Tatsache, dass der Weg für das Licht am kürzesten ist, wenn es sich im Bildpunkt sammelt. Damit diese Regel gilt, müssen Linsen aus optisch dichten Material, wie Glas, in der Mitte dick sein, dann ist der direkte Weg für das Licht etwas gebremst und das Licht, das über den dünnen Linsenrand einfällt, kann diesen Umweg wettmachen. Die optimale Form für eine Linse kann daraus auch genau berechnet werden, überraschenderweise ist aber der einfachste denkbare Körper, eine Kugel, bereits eine brauchbare Linse.

In der Natur haben alle größeren Tiere ein Auge, das mit einer Linse arbeitet. Dabei ist das Prinzip derart leicht zu finden, dass die Natur im Lauf der Evolution mehrmals das Auge mit Linse erfunden hat. Das Auge des Tintenfisch ist nicht aus der gleichen evolutionären Linie abzuleiten wie das der Säugetiere.

Die Annahme, dass eine Linse mit festem Brennpunkt keine Besonderheit darstellt, bemerkte man, als man versuchte, für Elektronen eine ähnliche Anordnung zu finden. Elektronenmikroskope arbeiten mit Elektronenlinsen, diese sind jedoch derart unvollkommen, das jedes gewölbte Stück Glas mithalten kann. Die Folge ist, dass es immer noch nicht gelungen ist auch nur annähernd so gute Optiken für Elektronen herzustellen, wie das Auge mit Linse für Licht ist. Es ist schwer, sich vorzustellen, welche Lösung die Natur gefunden hätte, wenn es keine einfache Möglichkeit geben würde Abbildende Systeme für Licht herzustellen.

## 9.3 ALLE BIOLOGISCHEN FORMEN SIND ENDLICH UND NIEDERDIMENSIONAL

Kann man so nicht sagen!

Der Aufbau aller Lebewesen oberhalb der Ebene von Zellen ist durch Organdifferenzierung geprägt. Die Funktionalität ist in einzelne Organe delegiert, die zumeist ein kleines Teilvolumen des lebenden Systems einnehmen. Die Ausnahmen, Nervensystem,



Blutsystem und einige andere wie das limbische System, sind zumindest in ihrer Funktion abgegrenzt.

#### 9.4 UNSERE UMWELT IST EINFACH, BIS AUF WENIGE AUSNAHMEN

Alle Objekte die uns umgeben sind erstaunlich einfach aufgebaut. Sie haben eine Oberfläche, die mehr oder weniger Eben ist, und ein Volumen, in das wir zumeist nicht hineinschauen oder hineingreifen können. Es gibt nur sehr wenige Ausnahmen, an die wir uns nur schwer gewöhnen können, daher spielen sie in der Welt der Mythen oft eine besondere Rolle als Schnittstelle zu einer anderen Welt.

##### 9.4.1 Wasser

Das sind zum einem die durchsichtigen Objekte, allen voran das Wasser. Da das Wasser aber eine klare Oberfläche hat und wir in das Wasser, fast wie in Luft, hineingreifen können, kommen wir damit gut zurecht. Aber immerhin haben die frühen Naturphilosophen dem Wasser den Charakter eines eigenen Elements zugeordnet. Im Fall, dass das Wasser nicht transparent ist, wird es uns sofort etwas unheimlich was der sehr negativ konnotierte Ausdruck, „im Trüben fischen“, ausspricht. Auch die Eigenschaft, dass Wasser keine feste Oberfläche hat, ist schwer in das einfache Weltbild der Objekte mit festen Oberflächen zu integrieren. Fast schon logisch erscheint es dann, dass einige Religionen das gehen auf Wasser in den Reigen ihrer Mythen aufgenommen haben.

##### 9.4.2 Feuer

Eine Sonderstellung nimmt an dieser Stelle das Feuer ein, es ist sichtbar, spürbar aber nicht berührbar. Damit fällt es am weitesten aus dem Rahmen der einfachen Objekte. Als Physiker beschreibt man das Feuer, genaugenommen die Flamme, als ein ionisiertes heißes Gas oder, exakter, als Plasma, und damit nicht als Objekt in einem klassischen Aggregatzustand wie fest, flüssig oder gasförmig. Dies und einige andere Eigenschaften machen das Feuer zu einem sehr schwer verständlichen Objekt unserer Umwelt und

die Entdeckung und Beherrschung des Feuers gilt daher zu Recht auch als Schlüsselleistung des Menschen. Dass das Feuer mit dieser Sonderstellung in keiner Religion als inhaltgebendes Element fehlen darf versteht sich von selbst, dass es als eigenständiges Element in der Physik des Altertums behandelt wird ist naheliegend.

##### 9.4.3 Edelstein

Objekte die transparent und fest sind, deren Inneres uns aber nicht zugänglich ist, sind für uns sehr ungewöhnlich und werden daher teuer gehandelt. Der wichtigste historische Fall ist der Bernstein, ein transparentes Harz, in dem Objekte eingeschlossen sind. Bereits in prähistorischer Zeit wurde Bernstein gehandelt, da er mit den beiden Eigenschaften, transparent und nicht zugänglich, aus unserem angelernten Weltverständnis herausfällt und damit Symbol mystischer Realität wurde.

Im erweiterten Sinn fallen alle Edelsteine in diese Kategorie und sind für unser subjektives Weltverständnis ungewöhnliche Objekte und damit wertvoll. Erstaunlich ist dabei immer wieder, wie der Wert von Objekten durch die Entfernung zu den alltäglichen Gegenständen unseres einfachen Weltbilds wächst. Ganze Industrien leben von der Gewinnung von Edelsteinen und Edelmetallen. Letztere zeichnen sich durch die nicht gut in unserer Weltbild zu integrierende Eigenschaft der Beständigkeit aus.

Eine weniger auffällige Abweichung von der Grundregel, feste Oberfläche, undurchsichtig, stellen Schäume und Gelee dar. Schäume kommen in der Natur relativ selten vor und zerfallen auch rasch, der Volksmund spendet daher der Schaumschlägerei wenig Beachtung. Eigenartig, wenn auch phonetisch naheliegend, bleibt die Zuordnung des Schaums in das Reich der Phantasie mit dem Spruch „Träume sind Schäume“.

Die Welt, die den Menschen umgibt ist also bis auf wenige Ausnahmen, relativ einfach strukturiert. Auf einer Ebene befinden sich Objekte, die gesehen werden können und die taktile Reize bei Berührung auslösen. Es gibt keine unsichtbaren Objekte, die man fühlen kann und praktisch keine Objekte die man sieht aber nicht fühlen kann.

## 9.5 IST DAS DER GRUND

### 9.6 RAUM UND MATERIE, EIN ÄHNLICHES MODERNES PROBLEM DER KOPPLUNG WIE GEIST UND MATERIE

Die Physik hat das Ziel, die Welt durch einen kleinen Satz mathematischer Gleichungen so zu beschreiben, dass die Vorhersage durch Experimente für jeden nachprüfbar sind. Dreihundert Jahre nach Newton ist es heute gelungen, alle Verhaltensweisen der Materie durch die Gleichungen der Quantenmechanik zu beschreiben. Diese, zuerst von Heisenberg und Schrödinger gefundenen Gleichungen, sind aus mathematischer Sicht<sup>42</sup> relativ einfach aufgebaut und haben die erstaunliche Eigenschaft, dass alle Experimente, die in den letzten siebzig Jahren ausgeführt wurden, nicht den geringsten Zweifel an der Gültigkeit der Gleichung geliefert haben. Dies ist auch deshalb bemerkenswert, weil einige Aussagen drastisch gegen das, im Menschen tief verwurzelte, Weltverständnis der Lokalität von Ereignissen verstoßen.

Der zweite Teil der modernen Physik beschreibt die Raumzeit, dieser Teil der Naturbeschreibung ist unlösbar mit dem Namen Albert Einstein verknüpft. Das von ihm zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts gefundene Gleichungssystem der allgemeinen Relativitätstheorie liefert die Beschreibung so ungewöhnliche Objekte wie die der schwarzen Löcher aber auch eine exakte Beschreibung, wie ein Apfel vom Baum fällt. Die Präzision der Vorhersagen ist bisher höher als die Genauigkeit aller Experimente die zur Überprüfung angestellt wurden. Die einzelnen Vorhersagen, insbesondere die Aussagen zur Relativität der Zeit

---

<sup>42</sup> Mathematiker mögen mir verzeihen, dass ich als Physiker dies behaupte, einige Aspekte wie die notwendigen Systeme orthogonaler Funktionen zum lösen der Gleichungen können einige Probleme bereiten, jedoch ist die Struktur der Wellengleichung von Schrödinger bemerkenswert schlicht.

sind völlig contraintuitiv, trotzdem logisch nachvollziehbar und unbestreitbar.

An dieser Stelle könnte man vermuten, dass die Physik ihre historische Aufgabe, die Naturgesetze zu finden im wesentlichen abgeschlossen hat und sich jetzt den Details zuwendet. Erstaunlicherweise gibt es jedoch ein Problem, das auch siebzig Jahre nach Entdeckung der Quantentheorie nicht gelöst ist. Es fehlt eine Brücke zwischen der Beschreibung des Raums in dem die Vorgänge der Welt ablaufen und der Beschreibung der Mechanik nach der sich die Objekte verhalten. Die Problematik im Detail ist nicht leicht nachzuvollziehen, ohne in die Mathematik der beiden physikalischen Beschreibungssysteme einzudringen, ein einfacher Aspekt ist trotzdem bemerkenswert.

Gegenstände haben eine Masse, und diese Massen ziehen sich gegenseitig an. Als Bewohner einer großen Masse, der Erde, ist uns diese Kraft gegenwärtig und scheinbar vertraut. Aber das liegt nur an der ungewöhnlichen Größe der Erdmasse, nimmt man nämlich zwei Gegenstände aus dem Alltag, etwa zwei Holzstücke, so ziehen sich diese nicht an, zumindest nicht Augenfällig. An dieser Stelle wäre es eine spannende Frage, wie Menschen, die in Schwerelosigkeit aufwachsen, die Schwerkraft nachträglich in ihr Weltbild integrieren, zumindest ist ihnen eine Massenanziehung sinnlich in der Schwerelosigkeit nie begegnet. Die beiden Holzstücke ziehen sich zwar nicht merklich an, nimmt man jedoch etwas Holzleim, so können die beiden Objekte derart fest verbunden werden, dass auch die Erdanziehung die Teile nicht mehr trennt. Die Verbindung durch das Verkleben beruht auf Mechanismen, die in der Quantenmechanik beschrieben werden, und die dabei auftretenden Kräfte sind groß. Die Anziehung der beiden Holzstücke untereinander ist extrem gering und wird durch die allgemeine Relativitätstheorie beschrieben. Warum der Unterschied in den Kräften derart groß ist bleibt für die Physiker weiterhin ein Rätsel.

Es gibt natürlich ungezählte Spekulationen und auch viele interessante theoretische Ansätze diese Kluft zwischen den elementaren Beschreibungssystemen der Welt zu Überbrücken, keine konnte jedoch bisher Aussagen machen die Experimentell geprüft werden können oder eine Prüfung schadlos überstanden haben.

Meine Spekulation deutet in eine andere Richtung, vielleicht muss es zwei verschiedene Systeme geben, damit die Vielfalt die in Weltraum liegt aufgespannt werden kann. Wenn es schon Naturgesetze gibt, dann kann es ja sein, dass es nicht nur ein Gesetz sondern vielleicht zwei unabhängige Gesetze gibt. Ähnlich wie es Information gibt, die an Materie koppeln kann, aber eben unabhängig von der jeweiligen materiellen Basis den gleichen Inhalt hat. So könnte die Materie in einen bestimmten Raum eingefangen sein, aber es ist vielleicht auch eine völlig andere Basis für die Materie denkbar als die Anordnung in einem Raumzeitsystem.

### 9.7 NIL, PSI, DNS, NN, ?

Eine ganz kurze Geschichte der Welt kann aus den fünf Symbolen der Überschrift gedeutet werden. Das Wort Nil steht hier für das Nichts, ein nichts, das wesentlich weniger als der leere Raum ist, ein Nichts, das keine Naturgesetze beschreibt, ein absolutes Nichts, eben Nil. Die grundlegende Frage aller Naturphilosophie ist warum ist nicht Nil. Die Tatsache, dass nicht Nil ist, ist unabhängig von so weitgehenden Fragen, warum diese Frage auch noch gestellt werden kann, ist das erstaunlichste Phänomen, über das wir nachdenken können. Die einfache Antwort ist entweder das anthropozentrische Erklärungssystem, das sagt, im Nil hätte niemand die Frage gestellt. Aber diese Antwort ist nicht sonderlich befriedigend, da auch ohne jemanden der die Frage stellt, und sie wurde während der letzten 15 Milliarden Jahre wohl selten gestellt, die Frage im Raum steht, in einem Raum den es auch nicht geben dürfte.

Heute leben wir mit einem Weltbild, das mit einem kosmischen Ereignis beginnt in dem die uns bekannte Materie und vor allem der uns umgebende Raum seinen Ursprung hatte. Vor dem Urknall gab es keinen Raum, zumindest nicht den Unsrigen, und wo kein Raum ist kann auch nichts knallen, daher liebe ich den Begriff nicht sonderlich, er verführt zum Glauben, die Materie hätte sich in einen bereits vorhandenen Raum hineinbewegt. Wir wissen nur, dass es seit diesem Ereignis Naturgesetze, Zeit, Raum, und Materie gibt. Das Problem ist, dass es in Nil auch keine Naturgesetze gab, den wo Gesetze sind ist nicht Nil. Wo keine

Gesetze sind können auch keine Gesetze erklärt werden die den Anfang der Zeit beschreiben, keine Singularitäten auftreten, keine Gesetze eingehalten werden. Wo aber keine Gesetze eingehalten werden müssen ist Raum für das entstehen von Gesetzen die das Entstehen einer physikalischen Welt beschreiben.

Physik, die Physik wie wir sie kennen, ist eine Physik die den griechischen Buchstaben Psi zum Beschreiben der Wellenfunktion in der Schrödinger Gleichung der Quantenmechanik gewählt hat. Diese Physik erlaubt die Entstehung von Materie, die Akkumulation durch die Schwerkraft, das Zünden von Fusionsprozessen die auf einer Zeitskala die  $10^{24}$  mal der zum Vernichten eines Positroniums<sup>43</sup> entspricht abläuft. Dabei werden Energiemengen umgesetzt, die für unsere alltägliche Erfahrung völlig unvorstellbar sind, allein die Sonne vernichtet jede Sekunde 4 Milliarden Tonnen Materie die als Strahlung unseren kleinen Planeten zu einem sehr kleinen Teil trifft. Auf der Nachtseite sehen wir die Dunkelheit die zugleich ein Hinweis auf die Endlichkeit unseres Weltalls ist und die entscheidende kalte Hälfte, damit thermodynamische Prozesse auf der Erde ablaufen können.

Diese thermodynamischen Prozesse wie das Wetter mit Blitz, Donner und Regenschauer, haben eine chemisch Reaktion angestoßen, die selbstreproduktiv abläuft. Damit wurde erstmals in der uns bekannten Welt Information gespeichert und weiterverarbeitet. Die dns als Speicherort der genetischen Information kann als Symbol der Biologie verstanden werden. Die Details der ersten selbstreproduzierenden Moleküle werden sicher im dunklen bleiben, aber der Prozess der Datenverarbeitung wie er durch die Darwinschen Gesetze aus Mutation und Selektion beschrieben wird ist derart mächtig, dass nach wenigen Milliarden

---

<sup>43</sup> Ortho-Positronium besteht aus einem Elektron und einem Antielektron, die beiden Teilchen vernichten sich nach 140ns, ein Stern wie unsere Sonne existiert etwa 10 Milliarden Jahre. Gäbe es nicht einen ungewöhnlichen Effekt, der die Antimaterie nach dem Urknall weggeräumt hat, so wäre nach etwa einer millionstel Sekunde bereits alle Materie in Strahlung verwandelt worden und nicht erst nach einem  $10^{24}$  mal so großen Zeitraum.

Generationen bereits ein neues Verfahren zur Datenverarbeitung das Licht der Welt erblickt<sup>44</sup> hat.

Die ersten mehrzelligen Lebewesen hatten sicher noch kein Nervensystem, doch sobald sensorische Zellen und aktorische Zellen getrennt vorliegen, ist eine Verknüpfung durch Nervenzellen nötig. Im Wettbewerb mit anderen Organismen war es dabei von Vorteil, wenn man den kürzesten Weg zur Nahrung fand und anhand des Geruchs die Qualität deuten konnte. Je mehr Informationen jedoch vorhanden sind, um so mehr Neuronen sind für den Transport der Information nötig. Und eines Tages ist durch einen Fehler eine Sinneszelle nicht direkt über ein Neuron an den Aktuator angeschlossen gewesen sondern ein weiteres Neuron, das auch für eine andere Sinneszelle zuständig war, wurde zwischengeschaltet. Das erste Neuronale Netz war entstanden. 10E24 genetische Berechnungen später begann der Mensch Maschinen zu Bauen die diese Technik der neuronalen Netze simulierten.

Damit bin ich am Ende der bekannten Welt der Datenverarbeitung angekommen. Werden diese neuronalen Netze jemals Denken lernen, das wird sicher geschehen, werden sie schneller Denken als Menschen, auch darin besteht für mich kein Zweifel, werden sie völlig neue Ufer der Informationsverarbeitung erschließen, einen Quantensprung in der Informationsverarbeitung wie die dns und die neuronalen Netze in der Biologie verursachen?

<sup>44</sup> Erblicken ist hier natürlich eine schöne Wortwahl, da doch ohne Nervensystem kein erblicken denkbar ist.

## 10 ANHANG

### 10.1 PERSONENREGISTER

Hier sind die Lebensdaten der in diesem Buch angesprochenen Personen zusammengestellt.

Alan M. Touring Siehe Exceldatei lebensdaten.xls

### 10.2 GLOSSAR

Zahlsymbole

Faktor Präfix Symbol Ursprung

10<sup>24</sup> yotta Y octo, lat. „acht“ (10<sup>3</sup> hoch 8 = 10<sup>24</sup>),

y wird vorangestellt, weil ein Präfix O

der Null zu ähnlich wäre. Die Endung

„-ta“ soll wohl eine gewisse

Angleichung an bisherige Präfixe leisten.

10<sup>21</sup> zetta Z septem, lat. „sieben“ (10<sup>3</sup> hoch 7 = 10<sup>21</sup>)

aus s wird z um Verwechslungen mit der

Sekunde zu vermeiden, die Endung

erklärt sich wohl wie bei yotta.

10<sup>18</sup> exa E >x griech. „sechs“ (10<sup>3</sup> hoch 6 = 10<sup>18</sup>)

10<sup>15</sup> peta P pñte griech. „fünf“ (10<sup>3</sup> hoch 5 = 10<sup>15</sup>)

10<sup>12</sup> tera T tšra\$griech. „Monster“

10<sup>9</sup> giga G g...ga\$ griech. „Gigant“

10<sup>6</sup> mega M mšga\$griech. „groß“

10<sup>3</sup> kilo K c...lioi griech. „tausend“

10<sup>2</sup> hecto H ~katÒn griech. „hundert“

10<sup>1</sup> deca Da dška griech. „zehn“

10<sup>-1</sup> deci d decima pars, lateinisch „ein Zehntel“

10<sup>-2</sup> centi c pars centesima, lat. „ein Hunderstel“

10<sup>-3</sup> milli m pars millesima, lat. „ein Tausendstel“

10-6 micro  $\mu$  mikrÒ\$, griech. „klein“  
 10-9 nano n nanus, lateinisch „Zwerg“  
 10-12 pico p pica, lateinisch „Speer“  
 10-15 femto f femten, dänisch und norwegisch „15“  
 10-18 atto a atten, dänisch und norwegisch „18“  
 10-21 zepto z septem, lat. „sieben“ ( $10^{-3}$  hoch 7 =  $10^{-21}$ ),  
 siehe auch zetta zur Erläuterung  
 10-24 yocto y octo, lat. „acht“ ( $10^{-3}$  hoch 8 =  $10^{-24}$ ),  
 siehe auch yotta zur Erläuterung

### 10.3 INDEX

Notizen:

- Statische und dynamische welt
- Gottlob Frege, Bertrand Russell, Kurt Gödel, Alan Turing, Alfred Tarski, and others, its roots may be traced to Aristotle
- *modus ponens*
- syllogism
- isomorphismen als Übergang physische- und Infowelt
- Boole 1847, 1854
- Delaunay triangulation
- Herbert Simon richness of environment!