

Theatrum Scientiarum

Trial and Error

Abschlussbericht

von Ina Zimmermann

Projektförderung von Januar bis Juni 2011
durch die Kunststiftung des Landes Sachsen- Anhalt

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--------|---|
| Prolog | 7 |
|--------|---|

Teil I

| | |
|--|----|
| Zum Thema | 9 |
| Zelluläre Automaten | 17 |
| Genetische Algorithmen und evolutionäre Strategien | 22 |
| Neuronale Netzwerke | 23 |
| Lernfähige Algorithmen | 30 |
| KI | 32 |
| Embodiment Theorie | 33 |
| Extended mind These (aktiver Externalismus) | 34 |
| Fuzzy | 40 |

Teil II

| | |
|------------------------------|----|
| (Zur) Sprache finden | 45 |
| Konstruktion und Rezeption | 48 |
| (Er-) Forschung | 51 |
| Verlagerung und Neubewertung | 54 |
| Von der Kunst | 62 |
| Epilog | 64 |
| Literaturverzeichnis | 67 |
| Verzeichnis der Web Quellen | 69 |

Prolog

Innerhalb einer sechsmonatigen intensiven Arbeitsphase hat sich das Projekt Theatrum Scientiarum mit dem Teilbereich der biologischen Musterbildung und den auf ihr beruhenden technologischen Phänomenen künstlerisch auseinander gesetzt. Dem Prinzip Trial and Error, Versuch und Fehler, folgend entstanden verschiedene Lösungsansätze, die jedoch alle unter dem Leitbegriff des be-greifen, (greifen, herstellen, konstruieren) einer komplexen Problemstellung zu verstehen sind. Neben bildnerischen Arbeiten, die weitestgehend ohne Worte auskommen, hatte ich mich zusätzlich für die schriftliche Ausarbeitung einiger Ergebnisse meiner Recherchen in Form eines Büchleins entschieden. Leider ist dieses zum jetzigen Zeitpunkt aus verschiedenen Gründen nicht zustande gekommen, weshalb ich versuchen möchte, meine theoretischen Arbeitsergebnisse vorerst innerhalb dieses Projektberichtes zusammen zu fassen. Es ist wichtig hervorzuheben, dass die künstlerische Arbeit in direktem Bezug zu dieser schriftlichen Auseinandersetzung mit dem Themas steht. Um einem interdisziplinären Anspruch zu genügen, ist das eine ohne das andere undenkbar.

Nachfolgend soll nun eine kurze Einleitung in den Themenbereich einführen, wobei ich versuchen will, einige Grundbegriffe zu erklären, um diese anschließend im Bezug zur Darstellung zu analysieren.

Zu den Hintergründen

Den Anstoß für das Projekt gaben zwei einfache Beobachtungen. Die erstere war eine zunehmende Technologisierung des Alltags, die es nahezu unmöglich macht, sich dieser zu entziehen oder gar zu verweigern, will man am gesellschaftlichen Leben teilhaben. Die verwendeten Technologien verlieren dabei zunehmend den Charakter des Werkzeugs und werden zum integralen Teil des Individuums, wodurch sie sich der direkten Wahrnehmung als Hilfsmittel größtenteils entziehen.

Die zweite Beobachtung schließt sich hier an. Im Zuge dieser Entwicklung finden Begriffe aus dem Bereich der Biologie im Bereich der Technologie Verwendung und vice versa. Das diese Begriffsübertragung auch mit einer Übertragung von Bedeutung verbunden ist, soll untersucht werden, erscheint jedoch naheliegend.

Diese Beobachtung knüpft dabei an die in den 90-ziger Jahren von Heinz von Foerster¹ analysierten linguistischen Phänomene an. Foerster stellte eine Tendenz in der Verwendung von Artikeln und Pronomen fest, die vom Sächlichen über das Männliche zum Weiblichen tendierte. Dabei war diese Verschiebung ins Weibliche mit einer Aufwertung und Bedeutungszuwachs der betreffenden Technologie (z.B. spezielle Supercomputer) verbunden. Auch ein Hang zur Personifizierung dieser Gerätschaften ging bereits aus der Untersuchung hervor.

Mir hingegen fiel besonders die Verwendung der Begriffe Generation und Evolution zur Beschreibung der Prozesse innerhalb von denjenigen Computersimulationen auf, bei welchen sich selbst verändernde Algorithmen mathematische Probleme lösen, wobei sich die Frage aufdrängte, in wie weit es sich hier um Evolution im Sinne des Begriff aus der Biologie handeln könnte.

Die Projektarbeit erfolgte nun grundlegend in zwei Phasen. Die Einarbeitung in ein fachfremdes Gebiet und die anschließende Umsetzung gewonnener Erkenntnisse in Form von artifiziellen Objekten. Das Verbindungsstück zwischen beiden sollte ein Buch bilden.

1 Foerster, H. v. (1997), Wissen und Gewissen: Versuch einer Brücke. (Hrsg.) Siegfried J. Schmidt, Suhrkamp, Frankfurt am Main

Teil I

Zum Thema

*Wenn wir die Gesetze der Natur und den Anfangszustand exakt kennen würden, so könnten wir den Zustand des Universums zu jedem weiteren Zeitpunkt vorhersagen. Aber selbst wenn die Naturgesetze keine Geheimnisse mehr vor uns hätten, so könnten wir die Anfangsbedingungen doch nur genähert bestimmen. Wenn uns dies erlaubt, die folgenden Zustände mit der gleichen Näherung anzugehen, so sagen wir, dass das Verhalten vorhersagbar wurde, dass es Gesetzmäßigkeiten folgt. Aber das ist nicht immer der Fall: Es kann vorkommen, dass kleine Unterschiede in den Anfangsbedingungen große im Ergebnis zur Folge haben (...)*²

Poincarés fast schon poetische Beschreibung, trifft auch hervorragend auf das Phänomen der Musterbildung zu. Auch hier kann mit Hilfe von Modellen, die Gesetzmäßigkeiten folgen, eine Aussage über die Entwicklung eines komplexen Systems getroffen werden. Allerdings trifft auch für die Gesetzmäßigkeiten der Musterbildung zu „ (...) dass kleine Unterschiede in den Anfangsbedingungen große im Ergebnis zur Folge haben“³.

Musterbildung ist ein natürliches Phänomen, welches nahezu überall in unserer Umgebung aufzutreten scheint. So spricht man sowohl in der Chemie zB. Belousov- Zhabotinsky- Reaktion, der Physik Bénard-Konvection, der Meteorologie (Wetter), als auch in der Biologie (Morphogenese) von Musterbildung. Es scheint sich also um ein Grundprinzip, ein Gesetz der Natur, wie es Poincaré nennen würde, zu handeln.

Eine genauere Definition lautet:

*Musterbildung ist ein Prozess, bei dem ein räumlich homogener Zustand instabil wird und einem inhomogenen Zustand, also einem Muster, weicht. Meist wird eine solche spontane Symmetriebrechung durch Veränderung eines Parameters in einem nichtlinearen System erzielt.*⁴

2 H. Poincaré, *Wissenschaft und Methode*, (frz. Paris 1908) hrsg. v. F. Und L. Lindemann, Berlin 2003

3 Ebd.

4 <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Musterbildung.html>
(Stand 13.05.2011)

oder noch etwas genauer:

Musterbildung ist ein in verschiedenen Zusammenhängen auftretender, zeitlich begrenzter dynamischer Prozess, bei dem sich selbstständig periodische Muster bzw. Strukturen bilden, nachdem zuvor ein ursprünglich räumlich homogener Zustand instabil geworden ist, also ein Phasenübergang stattgefunden hat.

Musterbildung kann räumlich, zeitlich, oder räumlich-zeitlich stattfinden. Von „Strukturen“ statt „Mustern“ spricht man i. d. R., wenn die Muster räumlich und nicht-flüchtig auftreten, d.h. wenn sich temporäre räumliche Muster stabilisieren.⁵

Um nun von dieser allgemeinen Definition ein wenig mehr ins Detail zu gehen, soll der Prozess der Morphogenese für die weiteren Betrachtungen ein wenig konkretisiert werden. Unter Morphogenese versteht man: Die Entwicklung von Organen, Organismen sowie deren Strukturen und Merkmale im Verlauf der Ontogenese von Lebewesen (Menschen, Tiere, Pflanzen, Bakterien, Viren). Ontogenese bezeichnet dabei die Geschichte des strukturellen Wandels einer Einheit ohne Verlust ihrer Organisation.⁶

Im Detail bezeichnet Morphogenese einen biochemischen Prozess, bei welchem durch ein chemisches Ungleichgewicht in der Zelle Muster oder Strukturen gebildet werden. Ein beliebtes und anschauliches Beispiel sind die rhythmischen Muster auf Schneckenhäusern und Tierfellen; aber auch die Zelldifferenzierung im Embryo, die Beispielsweise zur Ausbildung von Gliedmaßen führt, wird als Morphogenese bezeichnet.⁷

Bleibt man hier bei dem schon erwähnten Beispiel des Schneckenhauses, so bedeutet die vorangegangene Definition genauer betrachtet, dass das Wachstum der Schnecke durch Steuermoleküle (Morphogene) ausgelöst wird. Dabei findet eine Wechselwirkung zwischen den Stoffen, die ein Merkmal ausbilden (Aktivator), und denen, die die Ausbildung eines Merkmals verhindern (Inhibitor), statt. Die autokatalytische Ausbildung des Aktivators führt dabei auch zur Ausbildung des Inhibitors, der wiederum die Bildung des Aktivators hemmt. Dieser Prozess wird durch

5 www.uni-protokolle.de/ (Stand 10.05 2011)

6 Vgl. <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Morphogenese.html/> (Stand 19.08.2011)

7 Vgl. Meinhardt, H. and Klingler, M. (1987). A model for pattern formation on the shells of molluscs. J. theor. Biol 126, 63-69.[PDF]/ <http://www.eb.tuebingen.mpg.de/departments/former-departments/h-meinhardt/pattern7.html> (Stand 11.08.2011)

das Gierer Meinhardt- Modell beschrieben.⁸

Ein ganz anderes Beispiel für die Bildung von Mustern, welches jedoch einem ähnliches Funktionsprinzip zu unterliegen scheint, findet sich in der Reaktion der Neuronen in unseren Gehirnen. Diese reagieren auf Stimulation des zentralen Nervensystems mit reizspezifischen Erregungsmustern, die man neuronale Aktivierungsmuster nennt. Ein bestimmter äußerer Reiz ist somit mit einem bestimmten inneren Reaktionsmuster verbunden. Ähnlich dem Aktivator Inhibitor Modell, muss auch für die Erregung eines Neurons ein bestimmter biochemischer Reiz einen Schwellenwert überschreiten, wodurch ein Aktionspotential hervorgerufen und weitergeleitet wird („das Neuron feuert“). Auch in diesem Fall führt ein biochemisches Ungleichgewicht in der Zelle zur Bildung spezifischer (Reiz)Muster.⁹

Einer der ersten, der sich bereits 1952 dem Problem der Morphogenese mathematisch näherte, war Alan Mathison Turing¹⁰, der wahrscheinlich nicht zufällig auch als einer der Begründer der frühen theoretischen Informatik und Computerwissenschaft gilt. Sein Bestreben war es, mit Hilfe einer einfachen Reaktions- Diffusions- Gleichung darzustellen, wie sich Zellen innerhalb eines Zeitraums durch den Einfluss eines so genannten Morphogens differenzieren. Diese Grundidee wurde 1972 durch Gierer und Meinhardt zum, bereits erwähnten, Aktivator Inhibitor Modell weiter entwickelt. Turing ist ebenso der Erfinder des Turing - Testes als auch der Turing Maschine, um nur einige seiner weiteren Leistungen zu benennen.

Zur kurzen Beschreibung:

Der Turing - Test soll innerhalb eines Versuchsaufbaus feststellen, ob eine Maschine gegenüber dem Menschen über ebenbürtige geistige Fähigkeiten verfügt, also als intelligent zu bezeichnen ist.

Die Turingmaschine ist ein mathematisches Maschinenmodell, welches sich mit der Berechnung von Funktionen bzw. Problemen befasst. Ist die Funktion lösbar, ist sie durch die Turingmaschine darstellbar. Turing

8 www.schwerpunkt-biophysik.physik.lmu.de/ (Stand 13.05.2011)

9 Vgl. H. Schloffer, E. Prang, A.F.-Salzmann Gedächtnistraining: Theoretische und praktische Grundlagen, <http://books.google.de/books/>, Kapitel 1, S. 20 (Stand 19.08.2011)

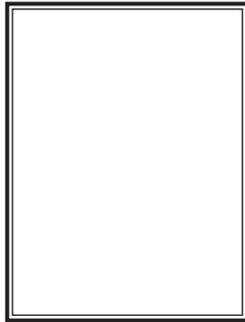
10 Vgl. A. M. Turing, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, Vol. 237, No. 641. (Aug. 14, 1952), pp. 37-72 (PDF) / <http://www.dna.caltech.edu/courses/cs191/paperscs191/turing.pdf> (Stand 11.08.2011)

verfolgte mit diesem Modell das Ziel, eine mathematische Repräsentation für den logisch denkenden Menschen zu schaffen.

Hier deutet sich nun schon an, in welche Richtung die Auseinandersetzung mit dem Phänomen der Musterbildung führen wird: Nämlich von der Sphäre der Biologie in die der Mathematik und Informatik. Auch hier gibt es, wie sich durch die Turingmaschine bereits andeutet, Versuche, jene biologischen Prozesse mathematisch zu beschreiben. Die Turingmaschine wird dabei zum universelles Modell.

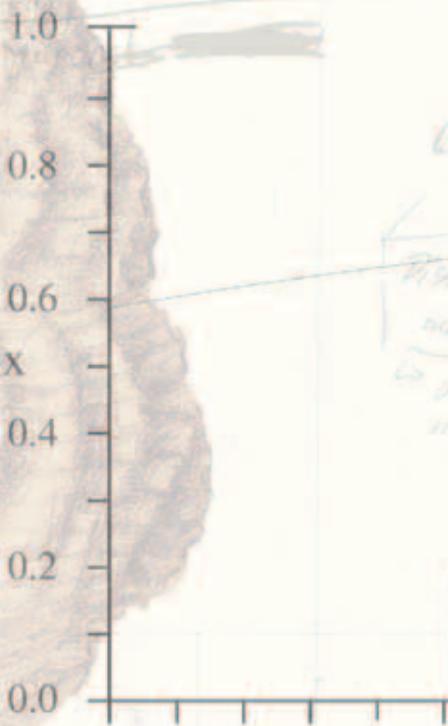
Den Anfang bilden die so genannten Zellulären Automaten, mit deren Hilfe John von Neumann bewies, dass die Fähigkeit zur Selbstreproduktion nicht an deren materiellen Bausteine gebunden ist, sondern an ihre Organisationsstruktur, welche eine vollständige Beschreibung ihrer selbst enthält und diese zur Reproduktion von Klonen verwendet.¹¹

11 J. v. Neumann, Theory of Self- Reproducing Automata , edited and completed by Arthur W. Burks, University of Illinois Press, Urbana and London (1966) PDF /<http://cba.mit.edu/events/03.11.ASE/docs/VonNeumann.pdf> (Stand 11.08.2011)



A. M.Turing

steine



Etablierung von
höheren Ordnung-
Strukturen
Evolut. & Emergenz
Grundlage

Quasi-Verordnung

disipative Struktur

$$\frac{d}{dt} X = f(X, Y, \dots) + D : \frac{\partial^2}{\partial x^2} X$$

dissipative

$$\left. \begin{aligned} u_t &= \Delta u + \gamma f(u, v) \\ v_t &= d \Delta v + \gamma g(u, v) \end{aligned} \right\} \text{ auf } B \subseteq \mathbb{R}^n$$
 makroskop.
$$n \cdot \nabla u = n \cdot \nabla v = 0 \text{ auf } \partial B$$

↳ Abstand zwischen Diff. v.
in reduzierbaren Ordnung
↳ Bedingung & Entstehung
v. Info in $\frac{1}{10}$ Systemen



mit d. Daten

Polarisierung
Kritik

Erlebnis

zwischen Nat. &
Kult. Wissenschaft

$\Delta w_k + k^2 w = 0$, d. h. $w_k(r) \propto \cos\left(\frac{n\pi}{L} r\right)$, $n \in \mathbb{Z}$ und $k := \frac{n\pi}{L}$

$w(r, t) = \sum_k c_k \exp(\lambda(k)t) w_k(r)$

$d f_u + g_v > 0 \quad (d f_u + g_v)^2 - 4 d (f_u g_v - f_v g_u) > 0$

$$\gamma \frac{(d f_u + g_v) - \sqrt{(d f_u + g_v)^2 - 4 d \det(A)}}{2 d} < k^2 < \gamma \frac{(d f_u + g_v) + \sqrt{(d f_u + g_v)^2 - 4 d \det(A)}}{2 d}$$



Logikwissenschaft:

1 Tractatus Logico-philosophicus

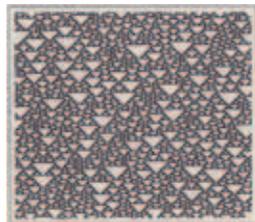
Tafel II



Gleichgewicht



Oszillation



Zufall und Chaos



komplexe Struktur

Zelluläre Automaten

Ein Zellulärer Automat ist dabei wohl am anschaulichsten durch die Felder eines Schachbretts beschrieben, wobei jedes Feld endlich viele Zustände oder Farben (Schwarz, Weiß) einnehmen kann. Bei einem Zellulären Automaten werden diese Zustände durch Regeln bestimmt, bei welchen der Zustand der Zelle in Abhängigkeit zu ihren Nachbarn definiert wird. Durch dieses simple Modell, bei welchem lediglich zwei Zustände der Zellen möglich sind, lassen sich bereits komplexe Muster erzeugen. Dabei ergeben sich vier Klassen¹², die durch ihre Endmuster unterschieden werden können, und der Klassifizierung dynamischer, biologischer Prozesse entsprechen. Man unterscheidet: Gleichgewicht, Oszillation, Zufall und Chaos sowie Komplexe Strukturen (Tafel II).

Folgt man der Churchsche These¹³, wonach die Turingmaschine zum logisch- mathematischen Modell für Berechenbarkeit überhaupt wird, so funktionieren auch Zelluläre Automaten als universelle Turingmaschinen. Grundlegend lässt sich zudem sagen, dass Zellulären Automaten, ähnlich den Zellen eines Organismus, als Träger des Erbgutes oder besser der Beschreibung ihrer Organisationsstruktur fungieren und die Grundbausteine der Entwicklung hin zu komplexen Strukturen bilden. Unterwirft man diese Automaten so genannten *Genetischen Algorithmen*, lassen sich Entwicklungsprozesse simulieren, die dem Prozess der natürlichen Evolution entsprechen.

12 Vgl. Stephen Wolfram, *Statistical Mechanics of Cellular Automata* (1983), <http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/83-statistical/> (Stand 19.08.2011)

13 Vgl. Klaus Mainzer, *Leben als Maschine?*, Von der Systembiologie zur Robotik und Künstlichen Intelligenz, mentis Verlag GmbH, Paderborn 2010

Genetische Algorithmen und evolutionäre Strategien

Ein Genetischer Algorithmus ist in erster Linie ein Algorithmus, also ein Verfahren zur Berechnung einer Funktion, oder anders gesagt, eines Problems. Genetische Algorithmen ahmen hierfür einen evolutionären Prozess (mit Rekombination, Mutation, Cross Over, Fortpflanzung und Iteration) auf der Suche nach der optimalen Lösung eines Problems nach. Zur Grundausstattung dieser Algorithmen gehört die Kodierung des Optimierungsproblems, ein Mutationsoperator und ein Austauschoperator. Diese Algorithmen erzeugen Generationen von Zellulären Automaten, welche parallel existieren und Populationen möglicher Lösungen bilden.

Je nach dem, welchem evolutionären Schema diese Populationen folgen (Rechenberg, von Holland sind wohl die üblichsten), beruht ihre Strategie eher auf Mutation als auf Rekombination und umgekehrt. Im allgemeinen beinhaltet ein solches Evolutionsschema Fitness-, Umwelt- und Selektionsfunktionen, sowie genetische Operatoren wie Mutation, Rekombination, Cross Over, Iteration und Fortpflanzung.¹⁴ Die Definition der genetischen Operatoren würde an dieser Stelle zu weit führen.

Die entstehenden Lösungen werden durch verschiedenartige Muster repräsentiert. Zelluläre Automaten sind somit in der Lage, den natürlichen Prozess der Musterbildung nachzuahmen, wobei Genetische Algorithmen eine geeignete Technik zur Beschreibung evolutionärer Prozesse darstellen. Sie eignen sich außerdem zur technischen Analyse im Finanzwesen, zur optimierten Anordnung von Bauteilen innerhalb einer komplexen Struktur im Ingenieurwesen sowie zur Optimierung von Kulturmedien zur Zellkultivierung in der Biologie. Zudem werden sie für das Training künstlicher Neuronaler Netzwerke verwendet, und dienen dort der Einrichtung einer geeigneten (optimierten) Netztopologie, also der Etablierung geeigneter Verbindungsstrukturen zwischen den einzelnen Neuronen.

14 Vgl. Dr. -Ing.- Artur P. Schmidt, Endo- Management, Entrepreneurship im Interface des World Wide Web, Blue Planet Network, Release 3.0, <http://www.wissensnavigator.com/interface4/management/endo-management>, 2.2.4 Neuronale Netze, Bionik und Fuzzy Logik/ S. 6-9 (Stand 12.08.2011)

Neuronale Netzwerke

Die Neuronen dieser Netzwerke sind in ihrem Funktionsprinzip den bereits beschriebenen Zellulären Automaten in sofern ähnlich, als dass auch sie aus Zellen bestehen, welche genau zwei Zustände (aktiv, inaktiv) haben können und dies aus dem Zustand ihrer Nachbarzellen ableiten. Auch hier besteht das Ziel (die Lösung des Problems) in der Erzeugung eines Musters. Wie bereits erwähnt, bestehen auch die künstlichen Netzwerke aus Neuronen, wobei es drei verschiedene Arten von Neuronen (auch Units genannt) gibt. Man unterscheidet Input-Units, die Hidden- Units und die Output- Units. Input- und Output- Units stehen mit der Umgebung in Kontakt. Die Hidden- Units sind nur mit anderen Units verbunden. Die Topologie dieser Neuronen, also ihre Verschaltungsstruktur, dient dabei zur allgemeinen Unterscheidung verschiedener Arten von neuronalen Netzwerken. So differenziert man zwischen einschichtigen, zweischichtigen und rekurrenten Netzen, wobei diese Strukturen kombinierbar sind.

Das Lernverhalten des jeweiligen Netzes ist direkt mit seiner Struktur verbunden und muss dieser angepasst werden. Allen gemein ist hingegen, dass jener Lernprozess nicht auf vorher einprogrammierten Regeln basiert. Die Regeln zur Erkennung eines Musters müssen hier erst innerhalb des Lernprozesses antrainiert werden. Auch im Nachhinein kann keine logische Regel für diesen Lernprozess ermittelt werden, weshalb man bei jenen Vorgängen innerhalb des Netzwerkes von einer so genannten Blackbox oder Blackboxfunktion spricht. Das Wissen, welches das Netz erlernt, ist damit implizit, das heißt, es befindet sich innerhalb der Netzwerkstruktur, um genauer zu sein innerhalb der Gewichte der Verbindungen, und hat keine symbolische Repräsentation.

Strukturell findet dieser Lernprozess durch die Entwicklung neuer und dem Löschen alter Verbindungen zwischen den Neuronen, der Änderung der Gewichtung der Verbindungen und die Anpassung des Schwellenwertes, der ein Aktivierungsfunktion auslöst, statt. Auch das Hinzufügen oder Löschen von Neuronen kann zum Lernprozess gehören.¹⁵Der Lernprozess wird dabei durch spezifische Algorithmen

15 Vgl. Klaus Mainzer, *Leben als Maschine?*, Von der Systembiologie zur Robotik und Künstlichen Intelligenz, mentis Verlag GmbH, Paderborn 2010 (S. 65-82)
Vgl. <http://www.neuronales-netz.de/NeuronalesNetz.pdf> (Stand 22.08.2011)

gesteuert. Diese bestimmen durch Vorschriften, welches Gewicht welche Verbindung besitzt.

Lernfähige Algorithmen

Wie bereits beschrieben, findet der Lernprozess innerhalb eines künstlichen neuronalen Netzes durch die Veränderung der Gewichte der Verbindungen zwischen den einzelnen Neuronen statt. Diese Veränderungen werden dabei durch einen Algorithmus gesteuert.

Als Beispiel soll hier der Backpropagations- Algorithmus-, innerhalb eines überwachten Lernverfahrens dienen. Um die Anpassung der Gewichte vorzunehmen, werden dem Netzwerk Input und ein Zielwert für den gewünschten Output zur Verfügung gestellt. Zunächst wird nun die Fehlerfunktion zwischen Soll- und Ist- Wert definiert und ein Gesamtfehlerquotient ermittelt. Durch die schrittweise Veränderung der Gewichte wird nun der Gesamtfehlerquotient minimiert. Das System lernt.

Geht man von einem Fehlerquotienten und nur zwei anzupassenden Gewichten aus, so lässt sich der Lernprozess innerhalb eines kartesischen Koordinatensystems grafisch darstellen. Nimmt die Anzahl der Gewichte zu, kann der Prozess nur noch mathematisch abstrahiert werden.

Im Falle des Backpropagations- Algorithmus- wird somit der Lernprozess zur Suche nach dem globalen Minimum einer nicht linearen Funktion im n- dimensionalen Raum. Backpropagation bedeutet dabei nichts anderes, als dass der ermittelte Fehler entgegen des vorwärts gerichteten Informationsflusses des Netzwerkes zur Anpassung der Gewichte verwendet wird.¹⁶ Diese und andere Algorithmen besitzen die Fähigkeit, entstehende Muster wieder zu erkennen und zu vergleichen, wodurch sie in der Lage sind, neue Zusammenhänge selbstständig zu erkennen.

16 Vgl. W. Oberhofer, T. Zimmerer, Wie Künstliche Neuronale Netze lernen: Ein Blick in die Black Box der Backpropagation Netzwerke, Regensburger Diskussionsbeiträge Nr. 287, Nov. 2006/ http://www.hs-ansbach.de/fileadmin/bachelor/Betriebswirtschaftslehre/Zimmerer/Literatur/DP_287.pdf S. 5- 20 (Stand 22.08.2011)

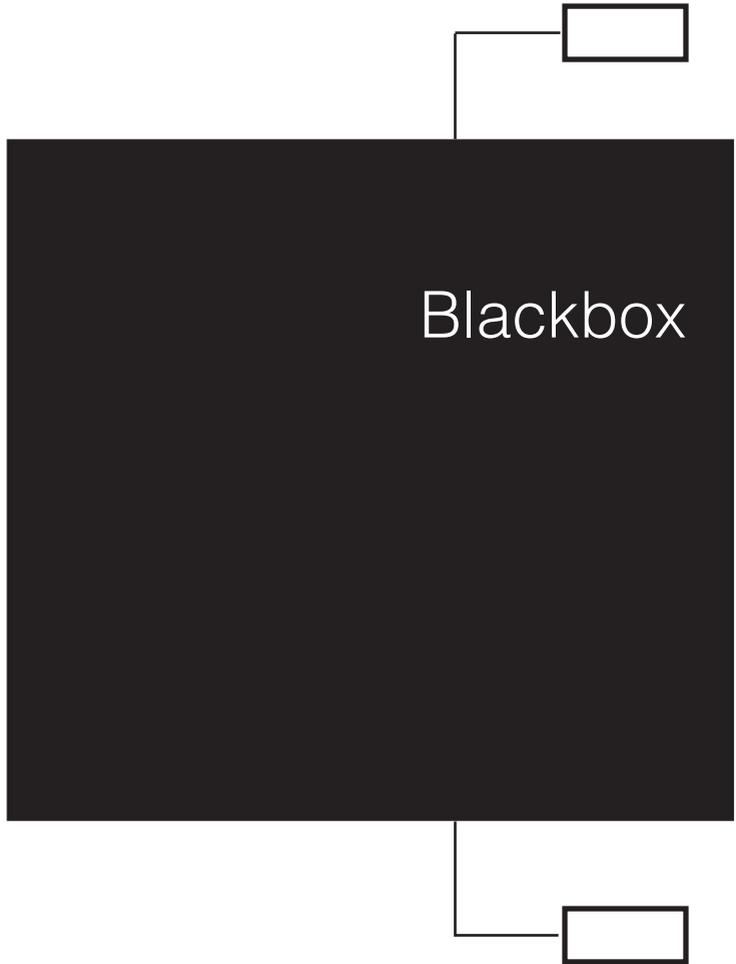
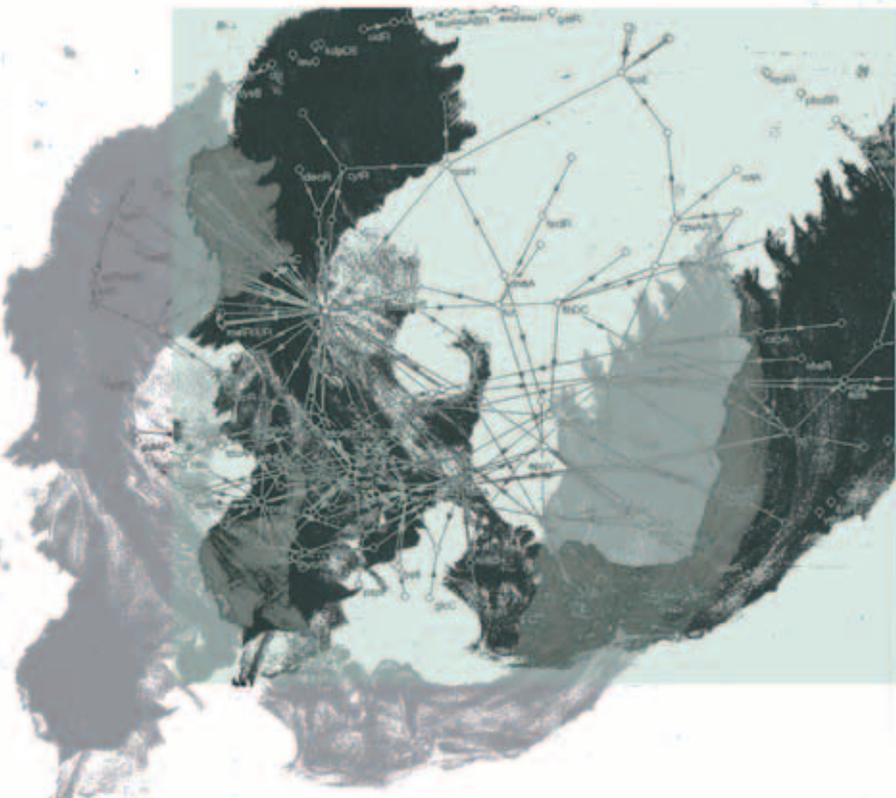


Figure 1. The network of international air routes connecting major cities in the world. The map shows a dense web of connections, with a high concentration of routes in North America, Europe, and Asia. The map is oriented with North to the left.



The network of international air routes is highly interconnected, with a central hub-and-spoke structure. Major hubs are located in North America (e.g., New York, Los Angeles, Chicago), Europe (e.g., London, Frankfurt, Paris), and Asia (e.g., Tokyo, Seoul, Singapore). The network also includes numerous smaller regional hubs and direct routes between major cities. The map shows a high density of routes in the Northern Hemisphere, particularly in North America, Europe, and Asia, with fewer routes in the Southern Hemisphere. The map is oriented with North to the left.

Neuronale Netze, evolutionäre Algorithmen und Lernalgorithmen bilden zusammen die wichtigsten Techniken des Soft Computings, welches sich vorwiegend mit Fehler-toleranten, flexiblen Strategien zur Problemlösung auseinandersetzt.¹⁷ Dem gegenüber steht der Begriff des Hard Computings, welches sich für die Lösung linearer, regelbasierter Probleme besser eignet.

Nach dieser Einführung in die Bedeutung einiger Begriffe und Erkenntnisse lässt sich ein erstes Fazit zur einleitenden Fragestellung ziehen, in wie weit hier eine Ähnlichkeit zwischen biologischem Vorbild und technischer Simulation besteht, die es rechtfertigt, dieselben Begriffe zu nutzen.

Unser Verständnis von Musterbildung und damit verbundenen Begriffen wie Evolution und Genetik beruhen auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, welche Regelmäßigkeiten innerhalb von Phänomenen durch berechenbare physikalische Modelle repräsentieren. Hier sei daran erinnert, dass John von Neumann unter Zuhilfenahme seiner Zellulären Automaten seine These über die Voraussetzungen zur Befähigung zur Selbstreproduktion bewies.

Diese Modelle finden innerhalb des Soft Computings ihre Realisierung. Damit ist die Verwendung jener aus der Biologie stammenden Begriffe gerechtfertigt, da es sich biologisch um den selben Vorgang handelt. Dennoch bestehen Unterschiede im Wesen und in der Komplexität beider Systeme.

Der Annäherungsprozess zwischen biologischer und technologischer Sphäre ist dennoch nicht von der Hand zu weisen. Dabei ist anzunehmen, dass dieser Prozess voranschreitet und sich proportional zur Komplexität der Vernetzung elektronischer Systeme verhält. Gerade im Hinblick auf die bereits erwähnten künstlichen neuronalen Netze besteht die Frage, in wie weit hier von künstlicher Intelligenz gesprochen werden kann und was genau man darunter versteht.

17 Perspektive Künstliche Intelligenz, Autor: Klaus Mainzer - M.I.T. Magazin für Innovation „Technology Review“ (Dt. Ausgabe 2/2004)./ <http://www.liss-kompandium.de/erkenntnis+thesen/ki-trend.htm> (Stand 11.08.2011)

Künstliche Intelligenz steckt (...) weniger in einem einzigen Computerprogramm als in Verbunden von Programmen. Ähnliches gilt mittlerweile auch für die vernetzte Infrastruktur von Endgeräten, die eine intelligente Nutzerumgebung schaffen. Die Intelligenz entsteht dann durch Interaktion dieser Umgebung mit dem Menschen. (...)¹⁸

Künstliche Intelligenz scheint nach den vorangegangenen Erläuterungen greifbar nah und lediglich an zeitliche Faktoren in der Entwicklung der Computerindustrie gebunden zu sein. Auch hier gibt es einige Begriffe und Theorien, die ich vorstellen möchte um einen Einblick in die Thematik zu verschaffen.

Ersteinmal sei jedoch erwähnt, dass sich keine einheitliche Definition für Intelligenz finden lässt. Viel eher gibt es zahlreiche den jeweiligen Fachgebieten angepasste Bestimmungskriterien. So spricht man nicht von der Intelligenz an sich, sondern von praktischer, ästhetischer, emotionaler, impliziter oder expliziter Intelligenz, um nur einige Auslegungen zu nennen. Der Begriff Intelligenz stammt aus dem Lateinischen und bedeutet so viel wie Erkenntnisvermögen, wobei er die Fähigkeit eines komplexen dynamischen Systems zur Anpassung an wechselnde Umgebungsbedingungen beschreibt.

Diese Systeme nutzen verschiedene Fertigkeiten zur Anpassung. Als Beispiele seien Lernfähigkeit, Kreativität, Kommunikation, Interaktion, Evolution neben vielen anderen, genannt. Diese Fähigkeiten können unterschiedlich ausgeprägt werden, sind nicht zwingend von Anfang an in der selben Ausprägung vorhanden und bleiben kombinierbar. Komplexe dynamische Systeme sind in diesem Zusammenhang also hybride Systeme. Sie setzen sich aus verschiedenen Einheiten mit unterschiedlichen Spezifikationen zusammen.¹⁹ Erweitert man diese Beschreibung und bettet jene dynamischen Systeme in eine sozial, technologischen Kontext ein, ist man bei der *Embodiment Theorie* angelangt.

18 Ebd.

19 Vgl. Klaus Mainzer, *Leben als Maschine?*, Von der Systembiologie zur Robotik und Künstlichen Intelligenz, mentis Verlag GmbH, Paderborn 2010, S. 164

Embodiment Theorie

Diese besagt, dass Intelligenz kein Produkt des Zufalls ist, sondern sich innerhalb eines evolutionären Vorgangs aus einfachen Prozessen entwickelt hat. Dabei ist diese Intelligenzentwicklung unmittelbar an den Körper gebunden, welcher in einen sozialtechnologischen Kontext eingebettet ist.²⁰

Die Embodiment Theorie geht also davon aus, das intelligentes Verhalten nicht zentral im Gehirn gesteuert wird, sondern sich innerhalb der verschiedenen sensorischen Wechselwirkungen des Körpers mit der ihn umgebenden Umwelt entwickelt. Dabei wird gerade im Hinblick auf die Entwicklung von KI Systemen in der Robotik in drei Stufen des Embodiment unterteilt.

In der ersten Stufe ist das System in der Lage, seine Umwelt wahrzunehmen und auf sie zu reagieren.

In der zweiten Stufe wird eine interne Selbstwahrnehmung entwickelt (ein Bild von sich selbst), wodurch nicht nur Wahrnehmung und Reaktion möglich sind, sondern Reaktionen verbessert und „geplant“ werden können.

Die dritte Stufe entwickelt eine phänomenologische Ebene, durch die das System in die Lage versetzt werden würde bewusst zu erleben, zu fühlen und einen Willen zu entwickeln.²¹

Diese Stufen sind deutlich am Menschen orientiert, wobei die berechnete Frage besteht, ob bei der KI Entwicklung die Eigenschaften der dritten Stufe überhaupt wünschenswert und zweckdienlich sind. Im Zusammenhang mit der Embodiment Theorie steht die extended mind These von Andy Clark und David Chalmers.

Extended mind These (aktiver Externalismus)

Die extended mind These schließt sich an die Embodiment Theorie an und ist aus dieser heraus besser zu verstehen. Schon im Embodiment finden kognitive Prozesse nicht nur im Gehirn statt, sondern sind eine Leistung des gesamten Systems. Die extended mind These erweitert

20 <http://www.uibk.ac.at/psychologie/mitarbeiter/leidlmair/mind-embodied-and-embedded.pdf> / S. 3(Stand 17.08.2011)

21 Ebd. S.16

dieses System um den Faktor seiner Umgebung. Clark vertritt hier die Meinung, dass Verhalten kein zentral gesteuerter, sondern ein selbstorganisierter Prozess ist, bei welchem zahlreiche Faktoren eine Einheit bilden und in Wechselwirkung zueinander stehen. Zu diesen Faktoren zählen unter anderen Sprache, soziale Strukturen, Umgebung, Körper und Gehirn.

Intelligenz wird hier zu einem räumlich-zeitlichen Prozess, bei welchem das Individuum die verfügbaren Faktoren seiner Umwelt als externe kognitive Werkzeuge in den erkenntnistheoretischen Prozess einbezieht. Die Umgebung ist damit aktiv in den kognitiven Prozess eingebunden. Gerade das Vermögen, solche Werkzeuge zur Unterstützung interner kognitiven Prozesse zu erschaffen, zeichnet hier den Menschen aus. Der Sprache kommt dabei eine besondere Rolle zu, da sie das Individuum in die Lage versetzt zu abstrahieren.

Der kognitive Prozess kann als ein Prozess der Mustererkennung aufgefasst werden, bei welchem neben der Erkennung (Vervollständigung auftauchender Muster) auch Rekombination und Variation möglich sind. Ein Problem der extended mind These ist, dass der kognitive Prozess aktionsorientiert ist, wobei nur nützliche Aspekte der Umgebung wahrgenommen werden können. Eine aktionsneutrale oder anders gesagt objektive Wahrnehmung der Welt wäre damit durch den einzelnen nicht möglich.²²

Ebenso gestaltet es sich als schwierig den Geist (des denkenden Individuums) von den als Werkzeug verwendeten Elementen seiner Umgebung klar abzugrenzen. Clark und Chalmers schlagen hier drei Kriterien vor, denen jene Werkzeugen genügen müssen, um als solche überhaupt in Frage zu kommen: Zugänglichkeit, Stabilität, Zuverlässigkeit.²³

Der Geist ist damit ein ontologisch hoch komplexes Gebilde, welches in der Lage ist zeit- und raumübergreifend, Stücke der Umgebung, Sprache, soziale Strukturen, Körper und Gehirn innerhalb seiner kognitiven Prozesse zu verbinden.²⁴

Mustererkennung ist hier gleichbedeutend mit Problemlösung. Zu erwähnen bleibt, dass viele dieser zu erkennenden Muster unvollständig

22 Vgl. A. Clark, D. Chalmers, The Extended Mind, 1998, <http://cogprints.org/320/1/extended.html>

23 Vgl. Anthony Chemero, 1998, Review of: Andy Clark (1997) Being There: Putting Brain, Body and World Together Again. MIT Press: Cambridge, Massachusetts. xiii+267pp. ISBN 0-262-03240-6/ <http://theassc.org/files/assc/2369.pdf> / S.2-6 (Stand 17.08.2011)

24 Ebd. S.5

sind, und dennoch durch den Menschen erkannt werden können. Dabei sind die gegebenen Faktoren, die das zu erkennende Problem (Muster) bezeichnen oft ungenau. Diese Ungenauigkeit wird in der mathematischen Logik als *Fuzzy* bezeichnet.

Fuzzy

Das Wort stammt aus dem Englischen und bedeutet so viel wie unscharf oder verschwommen. Die Fuzzylogik wurde von Lotfi A. Zadek entwickelt und stellt ein mathematisches Verfahren dar, bei dem es unendlich viele Zustände zwischen wahr und falsch (1 und 0) gibt. In der klassischen Booleschen Logik gibt es nur die genannten zwei Zustände und Lukasiewicz, der Zadek voran ging, entwickelte eine Logik mit drei Zuständen (wahr, nicht entscheidbar, falsch).

Die Fuzzylogik arbeitet zur Modellierung der Wahrscheinlichkeit mit unscharfen linguistischen Variablen (Beispiel aus der Temperatur: warm, kalt) diese Variablen können mehrere linguistische Terme besitzen (z.B. lauwarm, warm, heiß). Diese linguistischen Terme bekommen fuzzy Mengen, die die Zugehörigkeit des Einzelwertes zum Term bestimmen, zugewiesen (üblicherweise Mengen zwischen 1 und 0). Die Zusammenführung von Termen und Mengen nennt man „fuzzy sets“, diese sind durch Funktionen in einem Diagramm darstellbar, häufig durch Dreiecks, Rechtecks- oder Trapezfunktionen. Die Zuordnung eines Einzelwertes zu einem fuzzy set nennt man dabei Fuzzyifizierung.²⁵

Um in der Informatik mit fuzzy Mengen zu arbeiten, muss eine Regelbasis erstellt werden. Diese besteht meistens aus simplen Tabellen mit WENN..., DANN... Regeln, welche auf Expertenwissen basieren. Um ein beliebiges System jedoch optimal beschreiben zu können, bedarf es ausreichend vieler und treffender Verknüpfungsregeln. Mit diesen Regeln wird dann ein Inferenzschema (Schlussfolgerungsschema) erstellt. Zu diesem Zweck werden Aggregationsoperationen verwendet welche, die Daten der WENN- Regel (linke Seite des Satzes vor dem Komma) mit den zugehörigen Einzelwerten der Terme zu Dateneinheiten zusammenfassen. Anschließend wird diesen Aggregationsoperationen mit Hilfe eines Implikationsoperators (Zusammenfassung der Aussagen) ein Ergebnis für die rechte Seite zugeordnet. Dabei werden meistens Minimaloperatoren und Produktoperatoren verwendet, wodurch das

25 B. Kemp, Grundlagen der Fuzzylogik, Technische Universität Clausthal, WS 2001/02/ http://www2.in.tu-clausthal.de/~reuter/ausarbeitung/Bjoern_Kempf_-_Fuzzy-Logik.pdf/ S. 1-5 (Stand 18.08.2011)

Ergebnis auf ein Minimum der vorgegebenen Werte des Terms gekappt oder das Maximum der Werte gestaucht wird.

An dieser Stelle existiert nun für jede Regel eine gestutzte Termfläche. Um hier nun zu einer Gesamtaussage zu gelangen, müssen die Ergebnisse der Implikationsoperation zusammengefasst werden. Dies geschieht durch einen Akkumulationsoperator, welcher die erhaltenen Termflächen aneinanderreicht. Als Ergebnis liegt nun eine Gesamtheit von Flächen vor, die eine unscharfe Menge der Ausgabeinformation darstellt.

In einigen angewandten Fällen muss nun eine Defuzzifizierung erfolgen, da eine konkrete Ausgabeinformation erforderlich ist. Dazu werden im wesentlichen drei Operationen verwandt; Am häufigsten setzt man die Flächenschwerpunktmethod ein, bei welcher man davon ausgeht, dass der diskrete Wert im Schwerpunkt der Flächen liegt. Die beiden anderen häufigen Methoden sind die Maximum-Mittel-Methode und die Maximum- Methode.²⁶

Anhand dieser Beschreibungen sollte deutlich werden, dass die Fuzzylogik die Boolesche und die L3-Logik von Lukasiewicz als Sonderfälle einschließt. Kemp weist jedoch darauf hin, dass beim Übergang zwischen den Modellen Übersetzungen vorgenommen werden müssen. So kann es in der Fuzzylogik zu Überschneidungen von Werten bestimmter Fuzzy Mengen kommen. Dies wird durch die unscharfe Belegung der linguistischen Variablen hervorgerufen, die von 0 zur gleichen Zeit verschiedene Wahrscheinlichkeiten einnehmen können. In die Boolesche Logik übertragen, führt dies dann zu paradoxen Feststellungen.²⁷

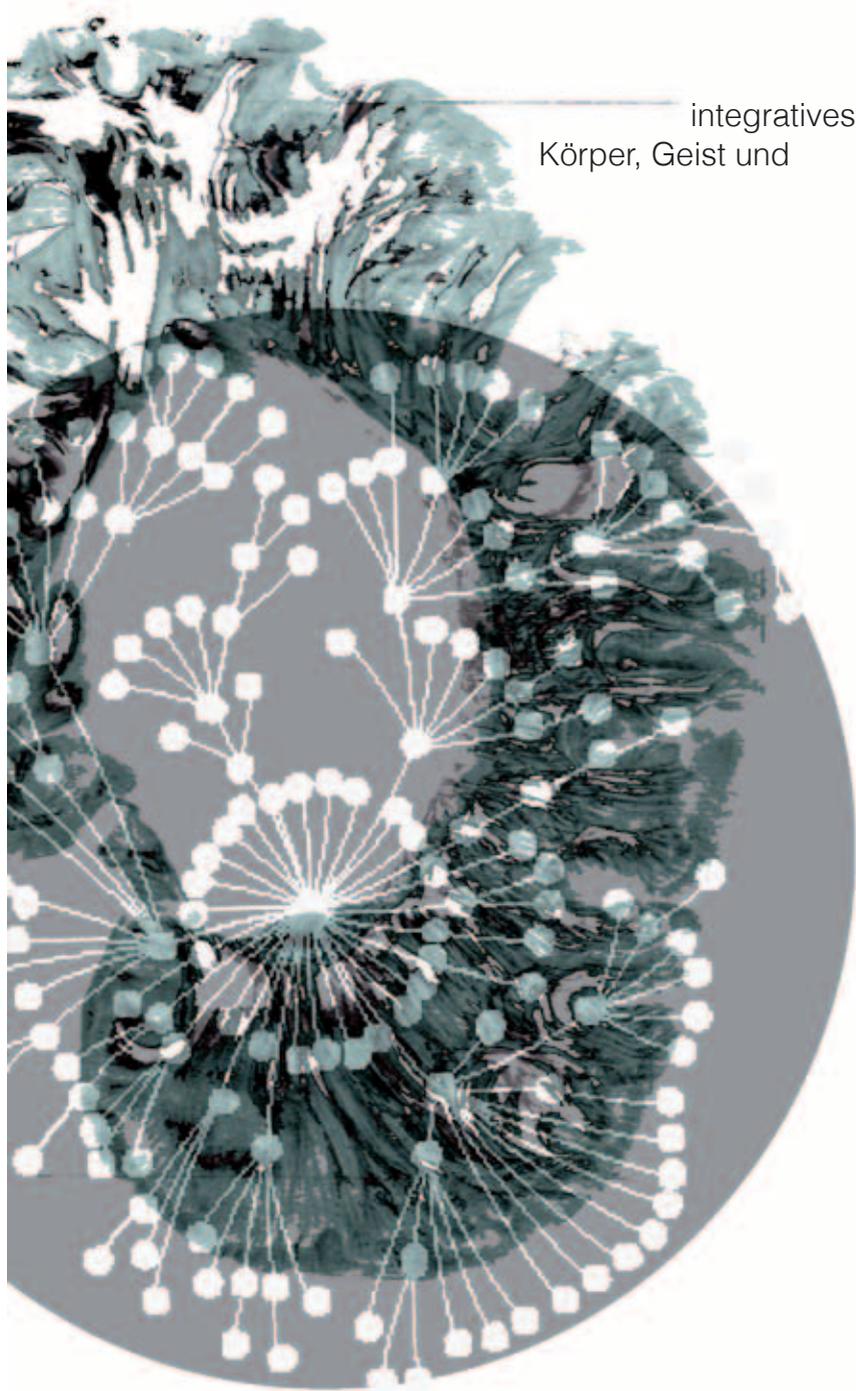
Damit soll dieser kurze Einblick in den Bereich der Musterbildung (und Erkennung) nun beendet werden. Ich hoffe hier in erster Linie Neugier geweckt zu haben, sich mit dem Thema noch einmal intensiver auseinander zu setzen. Natürlich sind die vorangegangenen Erklärungen vereinfacht und gekürzt, dennoch können sie im Querschnitt zu einem besseren Verständnis der technologischen Entwicklungen beitragen. Mit dem nun gewonnenen Hintergrundwissen will ich in die philosophischen Debatte einführen und einige Aspekte hervorheben, die auch für die Kunst von Interesse sind.

26 E. Bratz, Fuzzy- Logik, wie funktioniert das?/ <http://www.ernst-bratz.de/fuzzy/fuzzy.html> / S. 1-2 (Stand 18.08.2011)

27B. Kemp, Grundlagen der Fuzzylogik, Technische Universität Clausthal, WS 2001/02/ http://www2.in.tu-clausthal.de/~reuter/ausarbeitung/Bjoern_Kempf_-_Fuzzy-Logik.pdf/ S. 1(Stand 18.08.2011)



integratives Modell
Körper, Geist und



Teil II

(Zur) Sprache finden

In Anbetracht der vorangegangenen Erläuterungen kommt der Sprache eine zentrale Rolle zu. Sie dient nicht nur als zwischenmenschliches Mittel der Verständigung, sondern wird auch kognitives Werkzeug und Programmierungsgrundlage.

In all diesen Anwendungen und Interpretationen der Sprache ist die Beziehung zwischen Zeichen und Bezeichnetem von zentraler Bedeutung. Das auch Bilder, als komplexe Zeichensysteme, in diesem Zusammenhang als eine Form der Sprache gedeutet werden können, ist naheliegend.

Schon Wittgenstein hat Theorien zu Semiotik und Semantik verfasst, in welchen er Modelle entwickelt, welche verschiedene Formen der Sprache differenzieren. Sein Ziel war es zu ermitteln, welche Bedeutung in der Wirklichkeit über diese Sprachformen transportiert wird beziehungsweise welche Aussage über die Wirklichkeit durch die Sprache vorgenommen werden kann.

Dabei kam er zu dem Schluss, dass der einzige Berührungspunkt zwischen Sprache und Wirklichkeit (Welt) die Logik ist. Die Bedeutung eines Satzes hängt vom Sachverhalt ab, unter welchem er wahr ist. Besteht der Sachverhalt in der Wirklichkeit, ist der Satz wahr. Elemente der Welt respektive der Wirklichkeit lassen sich also in der Sprache abbilden.²⁸

Die Welt an sich, in ihrer Gesamtheit, wird jedoch erst durch die Sprache erschlossen; sie kann nicht in ihr abgebildet werden. Kutschera bringt diese Phänomen auf den Punkt, in dem er sagt, dass um die Welt als ganzes definieren zu können, es nötig wäre, Betrachtungen von Außen vorzunehmen. Da dies nicht möglich ist, kann die Wirklichkeit nur als Summe von Tatsachen dargestellt werden.²⁹ Die Bedeutung eines Wortes oder Zeichens erschließt sich laut Wittgenstein erst aus dessen Verwendung heraus. Wobei er sagt: „Die Erklärung der Bedeutung erklärt den Gebrauch (...)“³⁰. Eine Metaebene oder Wurzel der Bedeutung gibt es nicht bzw. lässt sich diese nicht durch die Sprache formulieren. Die

28 Vgl. R.A. Dietrich, Sprache und Wirklichkeit in Wittgensteins Tractatus. In: Berkle, E. Herbert (Hrsg.) et al: Linguistische Arbeiten. Bd. 7 –Tübingen: Max Niemeyer Verlag 1973

29 Vgl. F. v. Kutschera, Sprachphilosophie, München: 1971 S.220

30 L. Wittgenstein, Werkausgabe, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/Main 1984, darin: Bd. IV: Philosophische Grammatik § 27

Bedeutung entspricht somit dem Zweck.³¹

Der Sprechakt des Einzelnen erhält seine Kontinuität damit nicht aus dem Rückbezug auf eine Metaebene der Bedeutung, sondern durch den Bezug zu seiner Umgebung. Dieser Umgebungsbegriff setzt sich hier aus Sprachgemeinschaft, Vorstellung (Erinnerung) und Erfahrung zusammen.

Selbiges das Wittgenstein so trefflich für die Sprache formuliert, soll des weiteren hier auch für die Bildsprache gelten, auch wenn die dort verwendeten Zeichen in ihrer Bedeutung relativ bleibt und syntaktische Untersuchungen nicht zu eindeutigen Ergebnissen führen.

Konstruktion und Rezeption

Kommen wir nun zum Thema zurück. Die Extended mind These von Clark und Chalmers habe ich bereits erläutert. Die Aufhebung des Körper-Geist-Dualismus ist eine Konsequenz dieser Theorie. Um es hier noch einmal deutlich hervorzuheben, Sprache, soziale Strukturen, Umgebung, Körper und Gehirn bilden innerhalb des kognitiven Prozesses nach Clark eine Einheit. Man kann also von einem „eingebetteten“ Modell des denkenden Menschen sprechen, was einen radikalen Unterschied zu vorangegangenen Modellen darstellt.

Da diese Theorie Wahrnehmungsprozesse analysiert und sich mit deren Art und Funktion auseinandersetzt, hat sie Auswirkungen auf das Verständnis des künstlerischen Schaffensprozesses und der Rezeption durch den Betrachter. Folgt man Clarks Argumentation, gibt es keine reine Wahrnehmung, keinen passiven Informationseingang. Die meisten Wahrnehmungen enthalten bereits spezifische Aktionsmöglichkeiten, wodurch Wahrnehmung gleichzeitig Beschreibung und Vorschrift beinhaltet. Wahrnehmung und Aktionsmöglichkeiten sind hier so eng miteinander verbunden, dass eine zentrale Steuereinrichtung eigentlich überflüssig erscheint. Verstand wird als eine im Kontext der Aktion spezifische Kontrollstruktur aufgefasst und ist damit dezentral.

Eine detaillierte innere Repräsentation der Welt existiert in diesem Modell nicht. Es verhält sich ähnlich wie in Wittgensteins Sprachtheorie: Es können nur Teile der Welt abgebildet werden, und diese sind zweck- bzw. aktionsorientiert (sie beziehen sich auf die Wahrnehmung).

Der Körper und seine Möglichkeiten beeinflussen die Wahrnehmung dabei entscheidend. Ein einfaches Beispiel untermauert diese

31 L. Wittgenstein, Ein Reader Bedeutung, Kenny, Anthony (Hrsg.), Philipp Reclam jun., Stuttgart (1996) / S.66-85

Feststellung: ein Stuhl stellt für einen Menschen eine Sitzgelegenheit dar; ein Hamster wird ihn wohl anders wahrnehmen. Unsere körperlichen Gegebenheiten wirken also nicht nur über die Sinnesorgane direkt auf den kognitiven Prozess.³²

Sprache (Schriftsprache) und Kulturgüter (zu diesen gehört auch die bildende Kunst) spielen in diesem Modell eine gesonderte Rolle. Sie werden als kognitive Werkzeuge aufgefasst. Ihre Entwicklung und Nutzung stellen nicht nur den entscheidenden Unterschied vom Menschen zum Tier dar, sie befähigen uns außerdem, in einer Art Schneeball-prinzip neue, bessere Denkmodelle hervorzubringen, die wiederum neue Werkzeuge hervorbringen usw.³³

Was bedeutet dies nun im Bezug zum Kunstwerk, seinem Erzeuger und seinem Rezipienten?

Kunstwerke können als kognitive Werkzeuge verstanden werden. Als solche entwickeln sie sich, ist dieser Prozess einmal angestoßen, stetig weiter und führen zu neuen Kunstwerken. Die Wahrnehmung des Künstlers, die wie bereits erwähnt, nicht als passiver, neutraler Input zu verstehen ist, spielt eine zentrale Rolle. Sie beinhaltet durch jenen Komplex von Beschreibung und Handlungsvorschrift bereits einen Teil des späteren Werkes.

Eine weitere Rolle spielt, meiner Meinung nach, der Zufall, welcher innerhalb des Werkes und im Verlauf des Arbeitsprozesses mit dem Wahrgenommenen verbunden wird. Heidegger fasste diese Verbindung mit den Worten Substanz Kopula und Akzidenz zusammen.³⁴ Der kognitive Prozess erstreckt sich somit in das Kunstwerk hinein und wirkt in gewisser Weise aus ihm heraus. Dieses *herauswirken* ist wie folgt gemeint: Für den Rezipienten stellt das Kunstwerk ein kognitives Werkzeug dar. In diesem Sinne kann er über seine Wahrnehmung an der des Künstlers partiiell teilhaben. Die selbe Wahrnehmung teilen können sie jedoch nicht, da auch die Wahrnehmung des Betrachters nicht passiv ist, und wie ich bereits erwähnte, auch Zufallskomponenten eine Rolle spielen.

Die Aussage Rauschenbergs: „Alles ist Kunst (...)“ bekommt in diesem Zusammenhang eine neue Bedeutung. Im Sinne dieser Betrachtung kommt dem Kunstwerk unter den so genannten kognitiven Werkzeugen

32 Vgl. A. Clark, Being there, Putting Brain, Body and World Together Again, A Bradford Book, First MIT Press paperback edition, 1998 / S. 47- 51

33 Ebd. Vgl. S. 62

34 Vgl. Heidegger, Der Ursprung des Kunstwerkes, Reclam, Philipp, jun. GmbH, Verlag 1986

nämlich keine Sonderstellung zu, weshalb ich darauf hinweisen möchte, dass auch die Aufzeichnungen in einem Notizblock ein kognitives Werkzeug darstellen können. Andere Beispiele sind Bücher, Computer, Mobiltelefone, Mikroskope, Teleskope, Brillen, Hörgeräte, Sportgeräte etc. Kurz, alle Dinge, durch die man oder mit Hilfe derer man mit seiner Umgebung in Kontakt tritt und spezifische Aufgabenstellungen bewältigt. In diesem Sinne muss man nun Kunst nicht zur Wissenschaft erklären, um zu erkennen, dass sie in einer Hinsicht allen wissenschaftlichen Erklärungsmodellen der Welt ebenbürtig ist, nämlich in ihrer Eigenschaft, ein Spiel mit dem Problem zu sein.



(Er-) Forschung

„Fortschritt in meinem Sinne. - Auch ich rede von „Rückkehr zur Natur“, obwohl es eigentlich nicht ein Zurückgehen, sondern ein Hinaufkommen ist - hinauf in die hohe, freie, selbst furchtbare Natur und Natürlichkeit, eine solche, die mit großen Aufgaben spielt, spielen darf...“³⁵

Dieses Zitat von Nietzsche beschreibt jenen technologischen Fortschritt der letzten Jahrzehnte, mit all seinem Irritationspotential und einer gewissen Schrecklichkeit, aber auch mit seinen Möglichkeiten, poetisch und sehr präzise. Dabei zeichnet sich eine Abhängigkeit zwischen Wissenszuwachs und technologischer Möglichkeiten ab, die sich als nicht unproblematisch herausstellt.

Auch Heidegger verweist (1953) auf die zwei Seiten der technik-basierten Erforschung (oder besser Enthüllung) der Welt. Einerseits bringt diese Dinge zum Vorschein, die ohne ihre zu Hilfenahme unentdeckt geblieben wären. Andererseits bringt sie die Interpretation dessen, was mit der Entdeckung zu tun ist, gleich mit sich. Gemeint ist damit, dass technologische Untersuchungen eines Sachverhalts immer schon unter der Prämisse erfolgen, diesen Sachverhalt in irgend einer Form zu nutzen. Heidegger sieht darin die Gefahr, dass die untersuchten Sachverhalte (unter die auch der Mensch zu zählen ist) nur als manipulierbare Objekte (Bestände) oder schlicht als Mittel zum Zweck wahrgenommen werden. Weiterhin hebt er hervor, dass die Technik selbst erst den Anspruch an den Menschen stellt, einen spezifischen Sachverhalt zu erforschen, um diesen wiederum zur Weiterentwicklung der Technik zu verwenden, wodurch der Mensch durch die Technik in Anspruch genommen wird. Die Frage, in welcher Beziehung der Mensch zum Wesen der Technik steht, kommt daher für Heidegger auf jeden Fall zu spät, da er längst ein Teil dieses Wesens ist.

Wichtiger erscheint ihm hingegen die Frage, wie man sich auf dass, worin die Technik besteht, einlässt.³⁶

Luciano Floridi verweist in seinem Abstract „Children of the Fourth Revolution“ auf die unterschiedlichen Erfolge zwischen Reproduktion

35 F. Nietzsche, Götzen- Dämmerung/ <http://www.zeno.org/nid/20009256733> (Stand 25.08.2011)

36 Vgl. M. Heidegger, Die Frage nach der Technik, 1953/ <http://content.wuala.com/contents/nappan/Documents/Cyberspace/Heidegger,%20Martin%20-%20Die%20Frage%20nach%20der%20Technik.pdf> / S. 11, 12 (Stand 25.08.2011)

und Produktion intelligenten Verhaltens durch KI- Systeme und deren Konsequenzen. Dabei wurden in der Reproduktion große Erfolge erzielt (Bsp. Watson, Paro), in der Produktion allerdings so gut wie keine. Von baldigen Auftreten einer so genannten technischen Singularität, wie sie Ray Kurzweil³⁷ in einem seiner zahlreichen Bücher beschreibt, kann also nicht die Rede sein. Floridi verweist in diesem Zusammenhang jedoch auf die zunehmende Vernetzung von Geräten durch die Einrichtung einer so genannten Infosphäre, welche eine digitale Anpassung der Umgebung an die Bedürfnisse jener Systeme darstellt. Von zunehmender Anpassungsfähigkeit oder gar der Entwicklung produktiver Intelligenz kann nicht die Rede sein. Dass dieser Eindruck dennoch entsteht, ist ein Produkt der zunehmend Interaktionsmöglichkeiten mobiler Geräte innerhalb der Infosphäre.

In dieser Fehlinterpretation der Entwicklung besteht laut Floridi die Gefahr, dass zu Gunsten dieses technologischen Fortschritts zunehmend der Zwang zur Veränderung der physischen und begrifflichen Umgebung aufkommen könnte. Diese veränderten Umgebungsbedingungen würden in Folge auch den Menschen zur Anpassung zwingen, da sich dies als einzige Möglichkeit der reibungsfreien Interaktion zwischen Mensch und KI Systemen darstellen könnte.³⁸

Sowohl Heidegger, als historisches Beispiel, als auch Floridi als Vertreter einer kontemporären Auffassung sehen die Gefahren einer unreflektierten Einstellung zum technologischen Fortschritt. Beide verweisen dabei auf eine Form des Anpassungszwangs.

Bei Heidegger ist diese Anpassung in die Technik in erster Linie ein psychologischer innerer Vorgang, Floridi hingegen spricht von physiologischer und begrifflicher Anpassung der Umgebung.

Innerhalb dieser Aussagen verdeutlicht sich ein Teil des technischen Entwicklungsprozesses der vergangenen 50 Jahre. Während um 1960 die Verwendung technologischer Mittel zunehmend an Bedeutung für die Forschung gewinnt, kann 2011 von einer vollständigen Technologisierung der Wissenschaft und einer zunehmenden Technologisierung des Alltages die Rede sein. Dies führt unweigerlich zu einem bestimmten Zwang zur Technik, was letztlich nichts anderes bedeutet, als dass der Mensch zunehmend auf die Verwendung technologischer Mittel

37 Vgl. R. Kurzweil, *The Singularity Is Near. When Humans Transcend Biology*, Viking Books, New York NY 2005

38 Vgl. L. Floridi, *Philosophy and Technology, Children of the fourth Revolution*, Springer Verlag, 2011 <http://www.springerlink.com/content/1822m38575181k15/fulltext.pdf>/ S. 227- 228 (Stand 25.08.2011)

zurückgeworfen ist, wenn er seinem technologisch geprägten Alltag begegnen will.

Diese Technologisierung ist nun keineswegs wertneutral. Sie sollte zu der Frage führen, in wie weit man sich auf sie einlassen möchte. Das erscheint vorerst simpel, doch wohnt ihr die weit schwierige zu beantwortende Frage inne, was diese Technologisierung eigentlich ist. In der bloßen Beschreibung technologischer Phänomene und Errungenschaften findet sich die Antwort sicherlich nicht.

Verlagerung und Neubewertung

Schon Heidegger sagte, es sei ein trügerischer Schein, dass die moderne Technik angewandte Naturwissenschaft sei.³⁹ Ein erster Impuls will diese Aussage verneinen.

Ich hatte bereits zu Anfang von einer linguistischen Annäherung zwischen biologischer und technologischer Sphäre gesprochen. Wie es zu dieser Annäherung kommt und worin sie besteht, wurde in Teil I beschrieben. Zu den gewonnenen Erkenntnissen gehört, dass die postmoderne Technik (ich will sie von Heideggers begriff der „modernen Technik“ unterscheiden) unter anderen auf naturwissenschaftlichen Modellen von Evolution und Genetik beruht, welche Regelmäßigkeiten innerhalb dieser Phänomene durch berechenbare, physikalische Formelkomplexe repräsentieren.

Um hier Missverständnisse zu vermeiden, muss zu allererst der Begriff der Biologie von dem der Natur klar unterschieden werden.⁴⁰ Dabei versammelt der Begriff *Biologie* unser Wissen über die Phänomene der Natur. Der Begriff *Natur* bezeichnet dahingehend lediglich Dinge, die nicht vom Menschen geschaffen oder beeinflusst wurden. Er ist somit in diesem Diskurs fehl am Platz.

Des weiteren wäre es von Vorteil, die postmoderne Technik nicht als den Naturwissenschaften oder den Kulturwissenschaften zugehörig zu betrachten. Herbert Alexander Simon schlägt hier vor, eine eigene Kategorie einzurichten, nämlich die der „Künstlichen

39 Vgl. M. Heidegger, Die Frage nach der Technik, 1953/ <http://content.wuala.com/contents/nappan/Documents/Cyberspace/Heidegger,%20Martin%20-%20Die%20Frage%20nach%20der%20Technik.pdf> / S. 10 (Stand 30.08.2011)

40 Vgl. H. A., Simon, The sciences of the artificial, 3rd edition, Cambridge MIT. 1996/ [http://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=k5Sr0nFw7psC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Simon,+H.+A.+\(1996\).+The+sciences+of+the+artificial+\(3rd+ed.\).+Cambridge:+MIT&ots=-uYJnJGOBC&sig=SviRQBEDnqf7jEe79PbOnkALOU#v=onepage&q&f=false](http://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=k5Sr0nFw7psC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Simon,+H.+A.+(1996).+The+sciences+of+the+artificial+(3rd+ed.).+Cambridge:+MIT&ots=-uYJnJGOBC&sig=SviRQBEDnqf7jEe79PbOnkALOU#v=onepage&q&f=false) / S. 3 (Stand 30.08.2011)

Wissenschaften“⁴¹. Diese befassen sich mit den Möglichkeiten der Adaption biologischer Modelle in technologische Entwicklungen, mit dem Ziel künstliche Systeme zu generieren, die in der Lage sind, sich erfolgreich wechselnden Umweltbedingungen zur Erfüllung ihrer jeweiligen Aufgaben anzupassen. Dabei bleiben diese Technologien an physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Naturwissenschaften gebunden, wobei sie jedoch in keiner Form eine Anwendung dieser oder Annäherung an die Phänomene der Natur darstellen. Man könnte hier somit über künstliche Phänomene sprechen, die durch den Menschen der Natur beigefügt werden und in ihr agieren. Von evolutionären Prozessen in der Technologie Entwicklung kann nicht die Rede sein, da sie kein Teil der Natur ist und ihre Weiterentwicklung an den Menschen gebunden bleibt. Technologie ist ein Werkzeug des Menschen, wengleich sich auch das Wesen dieses Werkzeuges verändert. Was ist das Wesen der Technik als Werkzeug des Menschen, ist nun folglich die nächste Frage.

Heidegger sagt hier über das Wesen der modernen Technik, dass es selbst nichts technisches sei.⁴² Dies führt er auf den Ursprung des Begriffes, das griechische Wort „techne“, zurück welches sich einerseits auf das Her-vor-bringen von etwas (poietes), im Sinne des in Erscheinung bringen aus dem Verborgenen (alitea), bezieht. Andererseits geht das Wort „techne“ mit dem Wort „epesteme“ zusammen, was so viel wie Erkennen oder sich auskennen bedeutet.⁴³ Das Wesen der Technik besteht also im Her-vor-bringen bzw. im in Erscheinung bringen des Verborgenen zum Erkennen. Es kann also nicht rein instrumental verstanden werden, sondern beinhaltet das Erkennen des Verborgenen. Schon in der Analyse des Wortstammes zeigt sich, dass das Wesen der Technik mit der Erforschung verbunden ist.

Sicherlich lässt sich hier einwenden, dass der Technikbegriff der Griechen nicht mehr viel mit dem heutigen zu tun hat. Dieser Eindruck entsteht dadurch, dass die postmoderne Technik auf den Naturwissenschaften beruht; dass sie jedoch nicht als deren Umsetzung zu verstehen ist, habe ich bereits erläutert. Ebenso wurde bereits darauf verwiesen, dass die Erforschung mit Hilfe der Technik die Gefahren birgt, alle Gegenstände (der Forschung) nur als Ressource zu betrachten und zu dem Schluss zu gelangen, die Phänomene der Natur vollständig erkannt

41 Ebd. S.4- 5

42 Vgl. M. Heidegger, Die Frage nach der Technik, 1953/ <http://content.wuala.com/contents/nappan/Documents/Cyberspace/Heidegger,%20Martin%20-%20Die%20Frage%20nach%20der%20Technik.pdf>
S. 10 (Stand 30.08.2011)

43 Ebd. S. 5

zu haben. Technik würde hier zum Mittel der Verwaltung, der Steuerung und Sicherung von Ressourcen, zu denen letztlich auch der Mensch gehören würde. Das Erforschen stünde hier im Dienste der Technik (nicht im Dienste des Menschen), was nichts anderes bedeutet, als dass Forschung nur zur Weiterentwicklung der Technik betrieben würde, die wieder weitere Erforschung ermöglicht usw. Doch das Wesen der Technik hat auch eine andere Seite. Sie gestattet es dem Menschen, sein Wesen in ihren Möglichkeiten zu erkennen.⁴⁴

Zusammengefasst ergibt sich hier nun ein sehr differenziertes Bild jener postmodernen Technologien, welche auf dem naturwissenschaftlichen Teilbereich der Biologie und hier speziell der Musterbildung beruhen. Sie ermöglichen einerseits ein neues, tieferes Verständnis vom Menschen. Er versteht sich nicht nur als ein der Evolution unterworfenen Lebewesen unter vielen anderen und weiß, dass es psychologische Vorgänge in seinem inneren gibt, die ihn steuern und dennoch nicht immer bekannt sind. Er beginnt hier auch zu begreifen, in welcher komplexen Beziehung er zu seiner Umwelt steht, und dass er in dieser nur scheinbar als autarkes Wesen agiert.

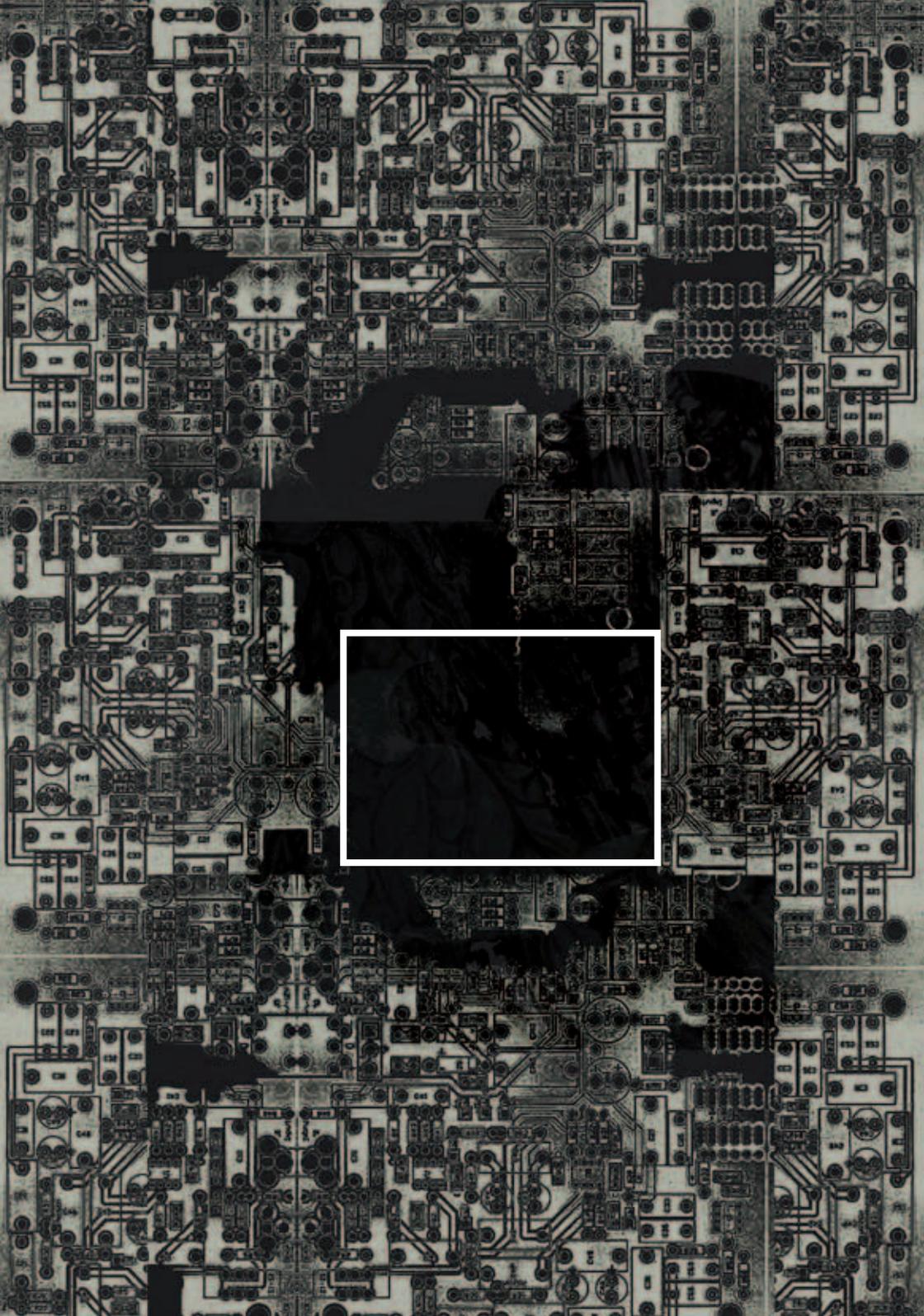
Dennoch kann nicht die Rede davon sein, dass die Gefahren, die der Technik innewohnen, erkannt oder gar gebannt wären. Heidegger führte von einer bloßen Betrachtung des Phänomens zum Kern des Problems. An dieser Stelle sollte jedoch bemerkt sein, dass dieser weder KI Systeme noch Robotik meint, wenn er über moderne Technologie spricht. Er bezieht sich auf die auf der Physik beruhenden Technologien der Energiegewinnung. Dennoch treffen seine Aussagen auch, wenn nicht noch besser, auf unsere heutige postmoderne Technologie zu.

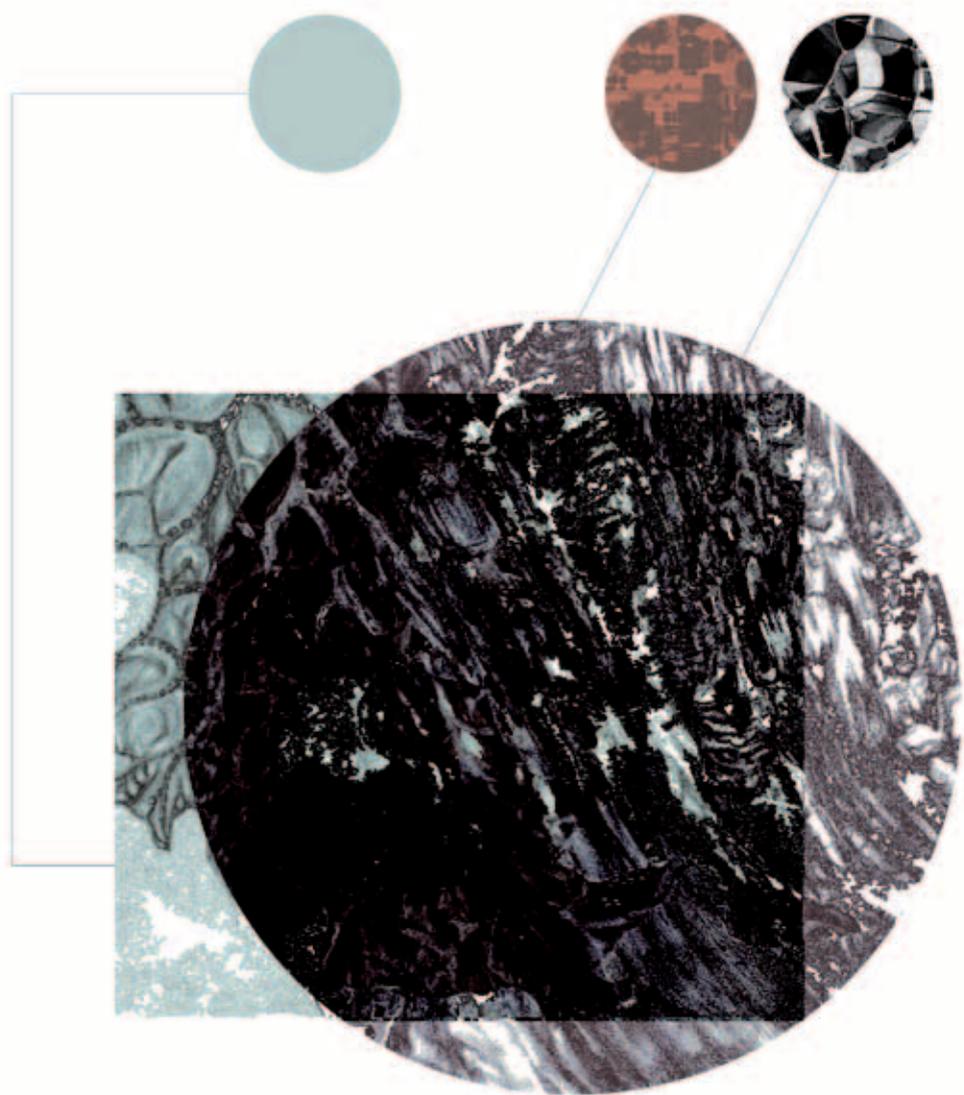
Da diese auf der Biologie beruht und sich besonders mit Prozessen der Entstehung und Entwicklung lebendiger Organismen auseinandersetzt, wird das Erkennen ihres Wesens noch beschwerlicher und folglich die Gefahr, die von ihr ausgeht, größer.

Bereits in der der Arbeit vorangegangenen Publikation⁴⁵ wurde darauf verwiesen, dass die Technologisierung des Alltages ohne eine Auseinandersetzung mit dieser Technologie dazu führt, dass der Mensch zum reinen User verkümmert. Am Ende ist er dann von Technologien im Alltag umgeben, auf deren Benutzung er angewiesen ist, deren Art und Funktion er aber nicht versteht. Dies führt dazu, dass die Betrachtung

44 Vgl. Ebd. S. 5- 15

45 ECAP 10, European Conference on Computing and Philosophy, Theatrum Scientiarum, S. 527





(Bewunderung) des Phänomens an die Stelle der Reflektion tritt. Kurz gesagt, an das Erkennen des eigentlichen Wesens der Technik ist nicht zu denken, ist das Phänomen als solches nicht erkannt. Ich will nun mit meinen Erklärungen zu einem Ende kommen und diese doch sehr theoretischen Analyse zum Ende in eine fassbarere Richtung lenken.

Von der Kunst

Ich will mir nun nicht anmaßen hier eine Definition vorzulegen oder eine Aussage machen zu können, was *Kunst* eigentlich ist. Dies führt nur zu endlosen ermüdenden Monologe, die, sind sie aus der Sicht des Künstlers verfasst, viel über die Person, doch wenig über die Kunst sagen. Ich will mich darauf beschränken im Sinne des vorangegangenen Textes zu argumentieren und ein letztes Mal Heidegger ins Feld zu führen.

„Einstmals trug nicht nur die Technik den Namen techne. Einstmals hieß techne auch jenes Entbergen, das die Wahrheit in den Glanz des Scheinenden hervorbringt. Einstmals hieß techne auch das Hervorbringen des Wahren in das Schöne. Techne hieß auch die poietis der schönen Künste.“⁴⁶

Es scheint nun so, als hätten Kunst und Technik doch etwas gemein. Auch Simon, der dafür plädierte die Technik von den Naturwissenschaften durch die Einführung der „Künstlichen Wissenschaften“ zu trennen, verweist schon indirekt auf diese Gemeinsamkeit. So haben Technik und Kunst nicht nur eine gemeinsame sprachliche Wurzel, beide nehmen auch am selben Prozess teil, nämlich dem Hervorbringen (poietis) des Verborgenen zur Erkenntnis der Wahrheit. In diesem Hervorbringen sind beide an den Menschen gebunden, denn er ist es, der hervorbringt. Beide erschaffen etwas Künstliches.

Entgegen der Technik verstellt die Kunst mittels ihrer Phänomene den Blick in ihr Wesen jedoch nicht. Hierin unterscheidet sich Kunst und Technik. Beide dienen zwar der Erkenntnis, doch während die Technik, um zur Erkenntnis zu gelangen, die Dinge in ihre Bestandteile zergliedert, baut die Kunst sie vor sich auf. Beide werden dabei von den

46 M. Heidegger, Die Frage nach der Technik, 1953/ <http://content.wuala.com/cotents/nappan/Documents/Cyberspace/Heidegger,%20Martin%20-%20Die%20Frage%20nach%20der%20Technik.pdf> / S. 106(Stand 31.08.2011)

Naturwissenschaften beeinflusst. Hat man diese Beziehung erkannt, stehen Kunst und Technik sich nicht gegenüber. Ganz im Gegenteil, sie könnten in einem harmonischen Klang einander befruchten. Denn die Kunst ist im Stande, das Wesen der Technik in seiner Zweideutigkeit zu offenbaren. Während die Technik durch ihr Wesen stets neue tiefere Erkenntnis der Dinge (meint Natur, Mensch, Kosmos, Geist, etc.) ermöglicht und damit die Kunst in steter Bewegung dazu befähigt, neue Aspekte der Welt vor sich aufzustellen und diesen eine Form zu geben, die zu einem neuen Gedanken führt.

Letztlich bleibt zu erwähnen, dass es Beispiele aus der Kunstgeschichte gibt, in welchen Kunst, Technik und Wissenschaft im Einklang miteinander standen. Die frühe Neuzeit mit ihren Kabinetten und Wunderkammern kann hier als Beispiel genannt werden. Eine genaue Analyse dieses Themenbereichs findet sich in den Büchern der Reihe *Theatrum Scientiarum*⁴⁷. Besonders möchte ich hier auf den Band: “*Spuren der Avantgarde: Theatrum machinarum*“⁴⁸ verweisen, welcher für die Herangehensweise an das Projekt und letztlich für dessen Präsentationsform von Bedeutung war.

Da sich die Arbeit thematisch nicht mit den historischen Beziehungen zwischen Kunst, Technik und Wissenschaft beschäftigt, sondern versucht eine solche Beziehung kontemporär zu erarbeiten, können diese nicht Gegenstand der Betrachtung im Rahmen dieses Arbeitsberichtes sein.

47 Siehe ebenso: <http://ubu.theater.fu-berlin.de/~theatrum> (Stand 31.08.2011)

48 *Spuren der Avantgarde: Theatrum machinarum* (*Theatrum Scientiarum* IV), (Hrsg.) Helmar Schramm, Ludger Schwarte, Jan Lazardzig, Walter de Gruyter Verlag, Berlin/New York (2008)

Epilog

Der vorliegende Arbeitsbericht bietet sicherlich keine erschöpfende Erörterung der Dialogmöglichkeiten zwischen Kunst und Wissenschaft. Er ist ein exemplarischer Versuch der Gegenüberstellung faktischen Wissens aus dem Bereich der Technologie und geisteswissenschaftlicher Reflektionen aus der Philosophie.

An dieser Stelle ließe sich wohl leicht der Vorwurf erheben, dass ich zahlreiche Zitate versammelt habe und dennoch nichts über die Arbeit sage, geschweige denn, eine eigene Sichtweise der Dinge entwickelt hätte. Diesem fiktiven Vorwurf will ich mich stellen.

Aus meiner Sicht zeigt sich in dieser Tatsache, dass sich über die Arbeit nicht erschöpfend reden lässt, eine bestimmte Eigenart, die vielen künstlerischen Arbeiten inne wohnt, nämlich eine gewisse Wortlosigkeit. Das soll nun nicht heißen, dass sich gar nichts sagen ließe, doch blieben alle Worte unkonkret, selbst wenn ich sie lediglich zur Beschreibung des Ersichtlichen gebrauchen würde.

So könnte ich sagen „Kopf“ und einen bestimmten Teil der Arbeit damit beschreiben. Der Leser wüsste dann, was innerhalb der Arbeit ein „Kopf“ ist oder sein könnte. Vielleicht wüssten er auch, dass der „Kopf“ natürlich kein Kopf ist, sondern nur etwas beschreibt, das in Richtung eines Kopfes gedeutet werden kann. Womit wir wieder beim Ausgangspunkt angelangt wären, nämlich der Tatsache, dass alles bildliche beschreibt, was nicht konkret mit Worten zu fassen ist.

Nun befindet sich hier nicht wenig Text, vom welchen von mir behauptet wird, er stünde mit der Arbeit in Verbindung, auch wenn er sie, wie wir gerade erfahren mussten, nicht beschreibt. Er schildert die Umstände, unter welchen die Arbeit entstand. Im Gegensatz zu einer Beschreibung oder Interpretation der Bildinhalte oder einer Schilderung des Arbeitsvorgangs lassen sich die Umstände konkret erfassen und analysieren. Sie bilden einen Kontext, in welchem die Arbeit gesehen werden kann. Letztlich schildert dieser Text, dass Bildfindung in meinem Sinne auch ein Prozess der Sprachfindung ist, welcher sich mit der Erforschung der Umstände beschäftigt, um zu ihrem Kern vorzudringen.

Literaturverzeichnis

Clark A., Being there, Putting Brain, Body and World Together Again, A Bradford Book, First MIT Press paperback edition, 1998

Dietrich R.A., Sprache und Wirklichkeit in Wittgensteins Tractatus. In: Berkle, E. Herbert (Hrsg.) et al: Linguistische Arbeiten. Bd. 7 –Tübingen: Max Niemeyer Verlag, 1973

ECAP 10, European Conference on Computing and Philosophy, Theatrum Scientiarum, 2010

Foerster H. v., Wissen und Gewissen: Versuch einer Brücke. (Hrsg.) Siegfried J. Schmidt, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1997

Heidegger M., Der Ursprung des Kunstwerkes, Reclam, Philipp, jun. GmbH, Verlag, 1986

Kurzweil R., The Singularity Is Near. When Humans Transcend Biology, Viking Books, New York, 2005

Kutschera v. F., Sprachphilosophie, München, 1971

Mainzer K., Leben als Maschine?, Von der Systembiologie zur Robotik und Künstlichen Intelligenz, mentis Verlag GmbH, Paderborn, 2010

Poincaré H., Wissenschaft und Methode, (frz. Paris 1908) hrsg. v. F. Und L. Lindemann Berlin, 2003

Spuren der Avantgarde: Theatrum machinarum (Theatrum Scientiarum IV),(Hrsg.) Helmar Schramm, Ludger Schwarte, Jan Lazardzig, Walter de Gruyter Verlag, Berlin/New York, 2008 (2008)

Wittgenstein L., Ein Reader Bedeutung, Kenny, Anthony (Hrsg.), Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1996

Wittgenstein L., Werkausgabe, darin: Bd. IV:Philosophische Grammatik, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/Main, 1984

Verzeichnis der Web Quellen

<http://books.google.de/books>

[http://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=k5Sr0nFw7psC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Simon,+H.+A.+\(1996\).+The+sciences+of+the+artificial+\(3rd+ed.\).+Cambridge:+MIT&ots=-uYJnJGOBC&sig=SviRQBEDnqfd7jEe79PbOnkALOU#v=onepage&q&f=false](http://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=k5Sr0nFw7psC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Simon,+H.+A.+(1996).+The+sciences+of+the+artificial+(3rd+ed.).+Cambridge:+MIT&ots=-uYJnJGOBC&sig=SviRQBEDnqfd7jEe79PbOnkALOU#v=onepage&q&f=false)

<http://cba.mit.edu/events/03.11.ASE/docs/VonNeumann.pdf>

<http://cogprints.org/320/1/extended.html>

<http://content.wuala.com/contents/nappan/Documents/Cyberspace/Heidegger,%20Martin%20-%20Die%20Frage%20nach%20der%20Technik.pdf>

<http://content.wuala.com/contents/nappan/Documents/Cyberspace/Heidegger,%20Martin%20-%20Die%20Frage%20nach%20der%20Technik.pdf>

<http://content.wuala.com/contents/nappan/Documents/Cyberspace/Heidegger,%20Martin%20-%20Die%20Frage%20nach%20der%20Technik.pdf>

<http://theassc.org/files/assc/2369.pdf>

<http://ubu.theater.fu-berlin.de/~theatrum>

<http://www.dna.caltech.edu/courses/cs191/paperscs191/turing.pdf>
<http://www.eb.tuebingen.mpg.de/departments/former-departmentsmeinhardt/pattern7.html>

<http://www.ernst-bratz.de/fuzzy/fuzzy.html>

<http://www.schwerpunkt-biophysik.physik.lmu.de/>

<http://www.springerlink.com/content/1822m38575181k15/fulltext.pdf>

<http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/83-statistical/>

<http://www.uibk.ac.at/psychologie/mitarbeiter/leidlmair/mind-embodied-andembedded.pdf>

<http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Morphogenese.html/>

<http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Musterbildung.html/>

<http://www.zeno.org/nid/20009256733>

http://www2.in.tu-clausthal.de/~reuter/ausarbeitung/Bjoern_Kempf_-_Fuzzy-Logik.pdf