

HOCHSCHULE FÜR BILDENDE KÜNSTE BRAUNSCHWEIG
Arbeitsstelle Designinformatik

Phänomenologie der Form

Designwissenschaftliche Untersuchungen zu
Komplexität und Ordnung von
Natur- und Artefaktform

Von der Hochschule für Bildende Künste Braunschweig
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Philosophie
– Dr. phil. –
genehmigte Dissertation von
Rolf L.A. Küster
geb. am 13.03.1968 in Braunschweig

Erstreferent:
Prof. Dr. habil. Holger van den Boom
Korreferenten:
Prof. Dr. habil. Wolfgang Jonas
Prof. Dr. Dr. habil. Siegfried Maser
Tag der mündlichen Prüfung:
26.06.2001

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Thema und Thesen	4
Systematik der Untersuchung	6
I Artefaktformen	7
1 Bestimmung: die Form der Form	8
1.1 Design	8
1.1.1 Arbeitspunkt Design	8
1.1.2 Bisherige Strategien	10
1.1.3 Der Entwurf als Problem	11
1.1.4 Entwurfsiteration und -planung im Bild der Kybernetik	14
1.1.5 Design als Optimierungsproblem: satisfizierende Lösungen	17
1.2 Der Begriffsrahmen der Form	20
1.2.1 Form und Information	22
1.2.2 Die Form als Seite einer Unterscheidung	23
1.2.3 Ur-Theorie als logische Form	26
1.2.4 Schnittstellen	28
1.2.5 Form und Zeichen (De-sign)	30
1.2.6 Formensprache	31
2 Inhärenz der Komplexität	37
2.1 Entwurfskomplexität	38
2.1.1 Komplexität nach Flood	39
2.1.2 Der Aufbau komplexer Systeme nach Courtois	41
2.2 Komplexitätsbestimmung	43
2.2.1 Deskriptive Komplexität	43
2.2.2 Integrität als Gegenpol zur Komplexität – das Design des Komplexen	47
3 Komplexitätsbewältigung	49
3.1 Design als Reduktion von Weltkomplexität	49
3.1.1 Reduktionismus	49
3.1.2 Dekomposition „Divide et Impera“	53
3.1.3 Objektorientierung	54
3.2 Wahrnehmung	57
3.2.1 Formen an sich – Erkenntnistheoretische Grundlagen	57
3.2.2 Sinnliche Wahrnehmung	59

3.2.3	Eingeschränkte Kanalkapazität	62
3.2.4	Die These des Holismus	63
3.2.5	Gestaltpsychologie	65
3.2.6	Synergetische Informationsverarbeitung	67
4	Die Form als philosophischer Gegenstand	71
4.1	Entelechie und Dýnamis	71
4.2	Potenz und Akt	73
4.3	Mechanistische Formentstehung	74
4.4	Formentstehung bei Goethe	75
II	Naturformen	77
5	Von der Unterschiedslosigkeit zur Form	78
5.1	Raumzeitliche Formentstehung	78
5.1.1	Theorien für alles	78
5.1.2	Die Ebene der Darstellung	80
5.2	Von der Urdifferenz zur Weltmannigfaltigkeit	82
5.2.1	Formbildung aus Instabilität	85
5.3	Formen des Chaos	86
5.3.1	Fraktale	91
5.3.2	Der Goldene Schnitt als fraktaler Sonderfall	96
5.3.3	Skaleninvarianz, Selbstähnlichkeit und Selbstreferenz	97
5.3.4	Ähnlichkeiten als Mittel zur Formerfassung	99
5.3.5	Ähnlichkeiten innerhalb der Naturformen	101
6	Prinzipien der Form	103
6.1	Minimalprinzipien	103
6.1.1	Minimalflächen im Design	106
6.1.2	Felder und Kräfte	109
6.1.3	Form und Kraft nach D'Arcy W. Thomson	111
6.2	Topologie	113
6.2.1	Systemtopologie	115
6.2.2	Differentialtopologie: Kontinua und Katastrophen	117
6.3	Symmetrie	120
6.3.1	Symmetrie als Entwurfsmuster	121
6.4	Evolution	123
6.4.1	Die Evolution des Designs	124
7	Spezielle Formausprägungen	128
7.1	Die Formen des Lebens	128
7.1.1	Zur Komplexität der Lebensformen	130
7.1.2	Faktoren des Wachstums	132
7.2	Formen des Virtuellen	134
7.2.1	Künstliche Intelligenz und die Unabhängigkeit des Designs	137
7.3	Dualität der Formen	138
7.3.1	Mimesis und Bionik	142

III	Ordnungsprinzipien	144
8	Ästhetik: Form und Wirkung	145
8.1	Ästhetik als Entwurfsdimension	146
8.1.1	Ästhetik und Metrik	147
8.1.2	Ästhetische Messung nach Birkhoff	148
8.1.3	Evolutionäre Aspekte der Ästhetik	152
8.2	Warenästhetik und Leiblichkeit der Warenform	153
9	Implikationen des Artifiziiellen	159
9.1	Die Wissenschaft des Entwerfens als „Synthesis of Form“	160
9.1.1	Ontologie des Entwerfens	160
9.1.2	Curriculum des guten Entwurfs	161
9.1.3	Design im Kontext von Subjekt-Objekt-Beziehungen	166
9.2	Projektionen – „form follows x“	169
9.2.1	Natürliche Muster	170
9.2.2	Kulturelle Muster	174
9.2.3	Designklassiker als Archetypen der Form	175
	Resümee und Ausblick	177
IV	Anhang	180
	Literaturverzeichnis	180
	Abbildungsverzeichnis	196

Vorwort

ERKENNTNIS

*Wüßt ich genau, wie dies Blatt aus seinem Zweige herauskam,
Schwieg ich auf ewige Zeit still: denn ich wüßte genug.*

Hugo von Hofmannsthal

Die traditionelle Aufgabe der Naturwissenschaften war und ist es, die natürlichen Dinge zu lehren: wie sie sind und wie sie funktionieren. Die Aufgabe der Ingenieur- und Designwissenschaft ist es gewesen, die künstlichen Dinge zu lehren: Wie man Artefakte herstellt und wie man sie entwirft.¹

Im Zug der Technologie verschärften sich aber die klassischen Herausforderungen an das Design anspruchsvoller Artefakte: „Komplexität, Dynamik und Abstraktion“ [Zemanek, 1992]. Die traditionell vorherrschende konstruktiv-empirische ad-hoc-Methode „Trial and Error“ ersetzt den Zufall durch den Irrtum. Sie bleibt für überschaubare Entwürfe durchaus vertretbar, zwangsweise aber wird sie jenseits einer gewissen Komplexitätsbarriere versagen. In unserer virtualisierten Zivilisation sieht man, wie die Formen von Gegenständen einander in immer höherem Tempo ablösen. Der Sog rasch wechselnder Marktbedürfnisse einerseits und der technische Fortschritt andererseits diktieren immer kürzere Entwicklungszyklen, angesichts dessen wir schließlich der Wörter ermangeln, um alle Produkte zu benennen. *Time to Market* heißt so der Prüfstein neuer Designmethoden.

In der generativen Phase – dem Entwurf – bewertet der Designer die Dimensionen der Anforderungen in einem gedanklichen Konzept für die zu erschaffende Gestalt. Das Design komplexer Artefakte stellt dabei eine Folge datenverarbeitender Handlungen dar. Informationen werden in Informationen und/oder Formen transformiert. Der Designer durchformt die Anforderungen mit der ihn tragenden Kultur und transformiert sie in das System gültiger Formensprache. Die hohe Anzahl möglicher Transformationen hat uns dabei eine Flut an Methoden beschert, die die Transparenz der Entwurfsphasen und ihrer Modelle beeinträchtigt. In dieser Schwemme nur schwerlich zu finden, ist ein umfassender Ansatz, der sich als Leitmotiv durch das gesamte Entwurfsszenario zieht: Es mangelt an durchgängigen Analyse- und Designmethoden, die Ausdrucksmittel und Konzepte bereitstellen, um die Struktur eines Designproblems ohne Brüche auf die Struktur einer Lösung abzubilden. Das Ziel ist der Weg zu komplexen Artefakten, sei es Soft- oder Hardware. Der Nobelpreisträger Herbert SIMON [Simon, 1982] nennt das „*Creating the Artificial*“.

Die vorliegende Arbeit plädiert für einen im wesentlichen an der Natur orientierten Ansatz im Designprozeß. Einerseits hat sich die Form des Gegenentwurfs zu den Artefakten

¹Vgl. Herbert [Simon, 1990], *Die Wissenschaften vom Künstlichen*, S. 95.

– das Naturprodukt Mensch – als besonders stabil erwiesen. Andererseits soll geprüft werden, ob Lösungswege auf designmethodologische Probleme bereits vorliegen – ob sie in der Natur der Sache, des Dings an sich, liegen in dem Sinn, wie Giambattista [Vico, 1970] in seinem Hauptwerk „Principi di una scienza nuova“ 1724 erklärt: verum et factum reciprocantur.

„Erkenntnis soll heißen, wir kennen die Weise, wie ein Ding entsteht. So haben wir vorzügliche Erkenntnis über die Dinge, die wir selbst geschaffen haben.“

Giambattista [Vico, 1991]

Artefakte sind Tat-Sachen; in der zwiespältigen Interdependenz zwischen den Taten und den Sachen zeigt sich die Problematik, die der heutigen Praxis beim Entwerfen von Lösungen auf komplexe Probleme zugrunde liegt. Bei der Beschreibung der Weise, der Methode, kann zumeist vom speziellen Inhalt des Problems, vom Projekt bzw. vom Einzelfall abstrahiert werden, es interessiert nur der Typ des Projekts, das, was zunächst ein komplexes Problem genannt wird. Was das ist, ein komplexes Problem, wodurch sich ein solches Problem auszeichnet, ist noch explizit zu bestimmen. Es sind bestimmte Merkmale, die einen Projekt-Typ charakterisieren und die der Einzelfall besitzen muß, damit bei seiner Lösung eine beschriebene Methode sinnvoll angewendet werden kann.² Nach Siegfried MASER gilt dabei: „Je allgemeiner die Bestimmung des Projekt-Types festgelegt wird, desto allgemeiner ist auch die Methode, d.h. desto universaler ist ihre Anwendungsmöglichkeit“ [Maser, 1972a]. Gesucht wird ein Curriculum des guten Entwurfs. Alexander Gottlieb Baumgarten postulierte die Bestimmung einer diesem zugrunde liegenden Wissenschaft vom Artefakt – der Designwissenschaft – wie folgt:

„Wenn aufgrund von sorgfältigen und etwas Schönes und Anmutiges wirklich erklärenden Definitionen, mit Hilfe einer gut zusammenhängenden Verknüpfung von Grundsätzen und von Folgerungen, die sich daraus ergeben, die wichtigsten Probleme der Erkenntnis nicht nur gut, sondern auch schön gelöst werden könnten? Ferner: Wenn nicht nur eine Kunstlehre aufgestellt würde, die sich mit dem allgemeinen Charakter eines schönen Talents befaßt, sondern auch eine, die sich in das Gewand einer Wissenschaft kleidet? Dem Gesetz dieser Kunstlehre gemäß [...] könnten wir alles, wozu der Schmuck des schönen Denkens erforderlich ist, mit größerer Gewißheit und Sicherheit bald zur Ausführung bringen, bald dem prüfenden Urteil unterwerfen.“

Alexander Gottlieb [Baumgarten, 1983, § 76, S. 51]

Die Analyse von Artefakten soll hier speziell auf ihre *Formen* abzielen. Die Formen der Dinge werden gemeinhin detailliert beschrieben, hier sollen sie aber hinsichtlich eines noch zu entwickelnden Formkonzepts analysiert werden. Nach wissenschaftlicher Ordnung folgt aus Beschreibung eines Objektes mit einfachen Ausdrücken der gewöhnlichen Sprache seine Bestimmung in der exakten Sprache der Mathematik. Formen in ihrer Universalität in einer dieser Richtung folgenden Weise zu beschreiben, sei so ebenfalls Obliegenheit der kommenden Seiten.

Diese Arbeit soll hiermit helfen, jene immer noch vorhandenen Lücken zwischen den Modellierungsphasen im Designprozeß zu überbrücken: von der Spezifikation zur Implementierung. Sie trägt in Intention und Strategie Züge einer wissenschaftlichen Studie. Nach

²Siegfried [Maser, 1972a], S. 9.

Umberto Eco ist sie dabei als kompilatorische Literaturarbeit³, als theoretische Auseinandersetzung mit den Standpunkten verschiedener Autoren, und gleichsam als eigenständige, designwissenschaftliche Forschung anzusehen [Eco, 1977].

Die vorliegende Arbeit ist eine Dissertation im Fach Designwissenschaft und, wie jede Dissertation, ein Designprodukt. Als solche hat sie sich an den *Laws of Form* zu orientieren, Vermittlungsfunktion und Wissenschaftlichkeit miteinander zu verbinden. Sie stellt eine Struktur mit zahlreichen, verschiedenen Aspekten von Formen dar, die zahlreiche Querverstrebungen aufweisen. Der Stoff widersetzt sich hierbei durch wechselseitige Beeinflussungen einer linearen Darstellung. In der Organisation dieser Aspekte habe ich mir daher ein eher als fraktal zu bezeichnendes Vorbild genommen. Einerseits ist das Formproblem der Designwissenschaft populärwissenschaftlich, andererseits umkämpfter Gegenstand der Forschung. Als dieses ist es ein techno-philosophisches Thema *par excellence*.

Dank

Ein Wort des Dankes: Herrn Prof. Dr. habil. Holger van den Boom verdanke ich nicht nur tiefe Einblicke in die sich vor uns ausbreitende Designwissenschaft. Seine zahlreichen Anregungen und Sichtweisen zu einem Thema, das einerseits auf intradisziplinäre Tiefe und andererseits auf interdisziplinäre Breite zielt, waren mir stets eine große Hilfe. Für die spontane Übernahme der Korreferate bin ich den Herren Prof. Dr. habil. Wolfgang Jonas und Prof. Dr. Dr. habil. Siegfried Maser gegenüber zu Dank verpflichtet. Insbesondere möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. habil. Siegfried Maser für seine wertvollen gutachtlichen Ratschläge danken. Dem Präsidenten der HBK-Braunschweig, Herrn Prof. Dr. Schwarz, danke ich für die freundliche Gewährung eines Stipendiums des Landes Niedersachsen. Herrn Lutz Röttger danke ich für die stets freundliche, kompetente und unbürokratische Beratung. Zudem bin ich allen gegenüber zu Dank verpflichtet, die das Manuskript durchgelesen oder mir auf andere Weise geholfen haben.

³Im 16. Jh. beschreibt Michel de [Montaigne, 1998], daß es mehr Bücher über Bücher als über irgendeinen anderen Gegenstand gäbe. Im Licht des heutigen Trends, Fernsehsendungen über Fernsehsendungen zu machen, offenbart sich die grundsätzlich fraktale Struktur kultureller Erzeugnisse (vgl. Abschnitt 5.3.5), in der eine vernetzte Gesellschaft kollektive Strömungen, Meinungen, Moden – oder allgemein Ordnungen – erzeugt. So kann auch die turbulente Informationsflut in den komplexen Kommunikations- und Computernetzen nur noch durch ein entsprechendes *Wissensmanagement* mit Navigatoren und Netzagenten bewältigt werden.

Thema und Thesen

Ihren Ausgangspunkt nimmt diese Studie in der Vielheit der uns umgebenden sinnfälligen Formen. Ihr Grundgedanke ist die eidetische Reduktion [Husserl]. Nicht Einzelfälle von Formen, die in der Designliteratur viel Raum einnehmen, sind daher Gegenstand dieser Studie, sondern ihre wesensmäßigen Grundgegebenheiten. Innerhalb unserer Zugangsweise begegnen wir Formen als Prozessen und Gestalten, von denen wir einige als Bedingung unseres Daseins erkennen. Ein Verständnis der Formen der Welt ist hierbei keine notwendige Bedingung für Design, jedoch eine hinreichende. Der Bogen spannt sich zwischen Physik und Design. Phänomenologie der Form bedeutet hier, eine Wesensschau auf die Formen der Welt zu nehmen.

Der Titel der vorliegenden Studie *Phänomenologie der Form – Designwissenschaftliche Untersuchungen zu Komplexität und Ordnung von Natur- und Artefaktform* rückt hierzu die Pragmatik des Form-Paradigmas in den Vordergrund. Folgende Thesen sollen durch die Arbeit überprüft werden:

1. Formen konstituieren die Welt

Als gemeinschaftliches Paradigma der auf den Entwurf gerichteten Disziplinen bietet sich die *Form* schon seit geraumer Zeit an; überspannt dieses doch Theorie und Praxis gleichermaßen. Zur Lösung kommender Designprobleme bedarf es daher nicht nur zuerst einer Klärung des Formbegriffs. Als Vorbedingung für den Designprozeß erfordert es zudem der genauen Kenntnis der Entstehung von Gestalt und Form. Gestaltung schließlich geschieht auf der Grundlage der Formen der Natur, deren Beschränkung letztendlich in der Struktur des Raumes liegt, so daß die Struktur des Kosmos das festlegt, was wir in bezug auf die Formen der Dinge – und damit auch unseres Entworfenen – denken, fühlen und wissen. Die Struktur der Kommunikation läßt sich nicht von der Form des Wissens ablösen. Die beiden sich dabei ergebenden Extremwerte von Formen – Chaos und Ordnung – sind, so scheint es, konstitutiv miteinander verknüpft.

2. Das natürliche Form-Paradigma ist geeignet, die Integrität komplexer Artefakte zu wahren.

Design als Konstruktion von Ordnung kann auf Analogien zum Naturprozeß verweisen. Designprobleme weisen dabei allerdings eine immense Komplexität auf, deren Reduktion die Hauptaufgabe gerade der kommenden Designprobleme bildet. Diese Probleme sind heute Grenzwertprobleme längs einer Richtung der Optimierung, die als die Orientierung des Entwurfs bezeichnet wird. Das Besondere daran ist, daß der natürliche Formentstehungsprozeß die Komplexität seines Designs scheinbar mühelos bewältigt, während der artefaktische Entwurf jenseits einer gewissen Komplexitätsbarriere selbst entworfen werden muß und sich damit von der Aufgabe zum Problem wandelt.

Das bewußte Erfassen und ein objektiveres Einordnen von Formen wird durch das Verständnis der natürlichen Morphogenese erleichtert. Man kann auf kognitionspsychologische Parallelen verweisen, die die Intuitivität von Formen plausibel machen und die die Funktion einer Handlungsanweisung und Orientierungshilfe übernehmen können. Eine Weiterentwicklung in Richtung eines Curriculums des guten Entwurfs ist möglich. Es kann eine methodische Verkürzung von Entwurfsproblemen durch Dekomposition in nahezu unabhängige Objekte und ihre Interaktionen erreicht werden. Konzepte, wie Klassifikation, Vererbung, Kapselung und Informationsaustausch, erleichtern die Modellierung komplexer Designobjekte und Strukturen.

3. Die Orientierung am natürlichen Formentstehungsprozeß ist intuitiv. Ein gutes Entwurfsergebnis stimmt ideal mit unserer Einbildungskraft bezüglich dessen überein. Aus dem Vorbild der natürlichen Morphogenese entstandene Artefakte besitzen positive Eigenschaften. So hängt die Ästhetik komplex geformter Artefakte von ihrer Nähe zum natürlichen formgenetischen Prozeß ab, da letztendlich unsere Sinne in den Naturgesetzen des Kosmos wurzeln. Die Ästhetik von Formen ist eine Folge des natürlichen evolutiven Prozesses der Morphogenese. So kommt es, daß gute Designprodukte Eigenschaften wie Proportionalität, Selbstähnlichkeit, Selbstreferenz, etc. aufweisen, so wie es der natürliche Formentstehungsprozeß vorgibt.

Im letzten Schritt lassen sich schließlich Algorithmen und Heuristiken entwickeln, die eine Konstruktion bzw. Rekonstruktion von Weltstrukturen erlauben. Der natürliche Formentstehungsprozeß eignet sich dann als methodischer Ansatz zur Entwurfsmodellierung und für allgemeingültige Konstruktions- und Designmethodologien zum kontrollierbaren Erfassen und objektiven Einordnen von Objekten der gestalthaften Umwelt. Eine Abbildung des natürlichen Formentstehungsprozesses auf den artefaktischen Entwurf ist – eingefaßt in eine Wissenschaft vom Entwerfen – möglich.

Systematik der Untersuchung

Die Vorgehensweise und Ergebnisse der vorliegenden Studie spiegeln sich in der Gliederung der Abhandlung wider. So ergeben sich folgende drei thematische Parts:

I Artefaktform: Zum Problem der Form in der Designwissenschaft – Integrität versus Komplexität.

Der heute in die Welt gesetzte Entwerfer soll Artefakte – Formen – entwerfen, diese sollen trotz ihrer immensen Komplexität integre Objekte darstellen, die sich in eben diese Welt des Designers möglichst perfekt einfügen können. Der Begriff der Form ist daher zunächst hinsichtlich Erweiterung bzw. Abgrenzung zu prüfen (Kapitel 1). Weiterhin sollen systemtheoretische Grundlagen das Problem der Komplexität von Formen erhellen (Kapitel 2) sowie die klassischen Methoden und Techniken zur Bewältigung der Komplexität skizziert werden (Kapitel 3). Die allgemeinen Ursachen, wie überhaupt Formen entstehen, werden dabei in unterschiedlichen Anschauungen aufgezeigt (Kapitel 4).

II Naturform: Untersuchung der natürlichen Morphogenese.

Von Unterschiedslosigkeit ausgehend entstehen in der Natur Formen, die sich in die Welt des Designers optimal einpassen. Die Entstehung von Formen vollzieht sich in Raum und Zeit. Die Leitgedanken interdisziplinärer Forscher sollen hierzu rezipiert und die verschiedenen Arten der Morphogenese aufgezeigt werden (Kapitel 5). Vom Allgemeinen zum Besonderen gehend, sollen anschließend aus den Ansätzen die Prinzipien der Form (Kapitel 6) sowie spezielle Ausprägungen von Formen (Kapitel 7) herausgearbeitet werden.

III Methodisch-operative Ansätze eines an der natürlichen Morphogenese orientierten Designs

Es bildet sich nunmehr langsam eine „Wissenschaft des Entwerfens“ – die Designwissenschaft – heraus. Als Prototyp einer phänomenologischen Reduktion soll die Ästhetik betrachtet werden. Sich darauf stützend werden Auswirkungen einer solchen Abbildung von Formeigenschaften festgestellt (Kapitel 8). Eine jede Theorie des Entwerfens wird Zwangsbedingungen (*constraints*) genügen müssen. Diese *constraints* sind der operative Ausdruck für die Handlungsbedingungen, die Entwurfsprinzipien und Entwurfsregeln, für Naturgesetze und Kulturnormen, denen der Designer gemeinhin unterliegt. Der Beitrag, den das Naturparadigma hier zu leisten imstande ist, soll eruiert, und die Bedingungen für eine Abbildung der natürlichen Morphogenese auf die Artefaktformentstehung sollen geklärt werden (Kapitel 9).

Teil I

Artefaktformen

Integrität versus Komplexität

Kapitel 1

Bestimmung: die Form der Form

1.1 Design

[di'zain, englisch] *das*, formgerechte und funktionale Gestaltung, v.a. von Gebrauchsgegenständen und Industrieprodukten. „Bezeichnend für das zeitgenössische Industriedesign sind schnell wechselnde Trends, die Neigung zur Miniaturisierung (v.a. auf dem Gebiet der Technik) und die Verwischung der Grenze zwischen Kunst und Design.“¹

Was ist überhaupt Design? Die Frage, was Theoretische Physik sei, beantwortet ein braunschweiger Physikprofessor mit: Theoretische Physik ist, was theoretische Physiker machen.² Diese nicht unzutreffende Feststellung mag man wohl auch auf Design ummünzen – genau wie man sie auf jede andere Disziplin menschlichen Schaffens übertragen kann. Design ist folglich, was Designer machen: Design entspringt der Leistung menschlicher Praxis. Nach Herbert SIMON ist jeder ein Designer, der bestehende Situationen in erwünschte zu verwandeln willens und in der Lage ist. „Das Verb ‚designare‘ wird mit ‚bestimmen‘ übersetzt, ganz wörtlich bedeute es aber, von oben herab zeigen. Was bestimmt ist, liege fest. Design verwandele Vagheit in Bestimmtheit durch fortwährende Differenzierung.“³ Design als diesen Weg zur Ausdifferenzierung der Form aufzuzeigen, sei nun Aufgabe des ersten Kapitels.

1.1.1 Arbeitspunkt Design

„Das Menschenwerk heißt Ordnung. Vom Himmel aus gesehen erscheint sie auf dem Erdboden in geometrischen Figuren.“⁴

LeCorbusier

Die Geschichte der Menschheit ist eine Erfolgsgeschichte. Jeden Abend wird man in den Fernsehnachrichten daran erinnert, daß sie dies nicht aus jeder Sicht ist. Doch noch sind wir nicht am Ende der Geschichte:⁵ 50% aller Menschen auf der Erde haben noch nie

¹Bibliographisches Institut & F.A. [Brockhaus, 2000]. Stichwort: Design.

²G. [Gerlich, 1990], S. 1.

³Bernhard E. BÜRDEK in seiner Rezension des Werkes: *Betrifft Design. Unterwegs zur Designwissenschaft in fünf Gedankengängen* von Holger van den Boom in: *Form Diskurs, Zeitschrift für Design und Theorie*, 1/1996, S. 108.

⁴LeCorbusier zitiert in: Ralf [Höller, 1999], S. 172.

⁵Jean BAUDRILLARD geht davon aus, daß nach den Bewegungen der Moderne und den damit zusammenhängenden Befreiungen auf allen Gebieten mittlerweile ein posthistorischer gesellschaftlicher Zustand eingetreten ist, in dem die Systeme des Produzierens, des Kommunizierens, des politischen Handelns usw. soweit gesättigt sind, daß „wir gerade von dieser Antizipation aller Resultate, von der Verfügbarkeit aller Zeichen, aller Formen, aller Begierden gequält und besessen sind“. Designer übernehmen so jetzt nach und nach die Antizipation aller Formen. Aus Sicht der Industrie tun sie dies, um den Absatz von Waren überhaupt noch möglich zu machen, vgl. [Baudrillard, 1982a] sowie [Baudrillard, 1991].

telefoniert, und noch fahren 92% der Weltbevölkerung nicht Auto. Die Grenzen des irreversiblen Wachstums sind noch immer nicht absehbar. So werden die Anforderungen an die globalisierte Marktwirtschaft als Allokationsmechanismus in der Zukunft noch weiter steigen. Eine Schlüsselposition in dem Spiel der Kräfte kommt dem Design zu: „Design ist ein Wirtschaftsfaktor. So erkennt die Industrie zurecht. Aber daß Design auch andere Faktoren bedeuten kann, hat man nicht erst mit den Müllbergen gemerkt.“⁶ Design bildet die Möglichkeit, die Zuordnung der Dinge zu den Menschen gewissermaßen mikroskopisch zu steuern, ohne gleichzeitig Totalität einzuführen.

Die Prozesse des Designs können unter physikalischen, psychologischen und soziologischen Kategorien untersucht und studiert werden. In der Tat sind fast alle Wissenschaftsdisziplinen, von der Soziologie bis zur Mathematik, in der Lage, sich im Schnittpunkt Design zu treffen. Ökologie ist dabei nur ein Aspekt unter vielen, wenngleich – auf den Globus bezogen, dessen Design in Raumordnungs-Berichten festgehalten wird, – der mit den am weitesten reichenden Folgen:

„Der Mensch besetzt allmählich immer weitere Zonen des Planeten und ‚kosmiert‘ sie nach dem Musterbeispiel, das der kosmogonische Mythos geoffenbart hat. Dank dieses Mythos wird auch der Mensch zu einem Schöpfer. Auf den ersten Blick wiederholt er nur immer wieder die gleiche archetypische Geste, in Wirklichkeit aber erobert er unermüdlich die Welt, er organisiert sie, er wandelt die natürliche Landschaft in einen kulturellen Lebensraum um.“ [Eliade, 1995]

Die Entwicklung der bislang besten aller Welten hängt also von den Musterbeispielen ab, die wir, Designer und andere, der Welt liefern. Design sollte daher verantwortungsbewußtes Planen beinhalten, und Designtheorie sollte auf den Entwurf gerichtetes, verantwortungsbewußtes Denken auf Vorrat erfassen. Design um-welt-bewußt zu betreiben, ist als zeitgemäß anerkannt. Es gilt daher, zu versuchen zu verstehen, wie sich die kosmische Umwelt unserem Körper und unserem Geist aufgeprägt hat, und wie sie nicht nur die äußere Form von Körpern und Gehirnen beeinflusst, sondern auch die der Dinge, die uns faszinieren. Was verbindet die Struktur der Welt mit der der Dinge, mit denen wir uns umgeben (sollten)? Inwieweit legt die Struktur des Kosmos das fest, was wir in bezug auf die Formen der Dinge denken und fühlen? Dies sind interessante Fragen, die eine Antwort auf viele Designprobleme erhoffen lassen. Bislang jedoch lebt die Designtheorie zumeist von Ansätzen. Diese Ansätze liefen stets Gefahr, allzu sehr im Appellativen stecken zu bleiben. Sie werden allgemein als bislang nicht befriedigend betrachtet. Was fehlt, ist ein Theoriegebäude, das das Szenario ganzheitlich beschreibt, am besten eines, das sich in das Gewand einer Wissenschaft kleiden kann. Holger VAN DEN BOOM begründet: „Designwissenschaft ist nötig, um die bestehende Krise der Artefakte zu bewältigen. [...] Langfristige Aufgabe der Designwissenschaft ist die theoretische Dimension einer technisch-praktischen Ermöglichung der Reintegration der Artefakte in die Natur – es geht nicht um eine Reduktion der Artefakte.“⁷ Eine andere Quelle verdeutlicht:

„Design ist der antizipierende Entwurf von – jeweils zukünftigen – Artefakten bzw. Artefaktensystemen, im Kontrast zur evolutiven Selbstorganisation der Naturformen. Naturformen durchlaufen kein Entwurfsstadium – eine keineswegs triviale Feststellung, wenn man gerade verstehen möchte, was ein Entwurf ist. Der Entwurfsprozeß transformiert anfängliche Unbestimmtheit zunehmend in Bestimmtheit. Die Natur hingegen kennt – außer wie in der Quantenphysik beschrieben – keinerlei Unbestimmtheit oder Indeterminiertheit; in der Natur gibt es

⁶Vgl. June H. [Park, 1994], *Design als Sinnkonstruktion: Eine systemtheoretische Skizze des Design; ein Beitrag zur Kunst- und Medienwissenschaft*, S. 1.

⁷Vgl. Holger van den [Boom, 1998b], S. 73.

das vorläufig noch vage Hinskizzierte nicht. Das liegt vor allem an dem engen Verhältnis der Naturform zur Zeit. Formstrukturen generell existieren nämlich weniger im Raum, sondern vornehmlich in der Zeit. Und die Zeit-Form schlechthin ist die Information. Design, das der Zeitlichkeit der Formexistenz entsprechen möchte, wäre demnach letztlich Informationsgestaltung – und führte als komplexes Verhalten zur Artificial Intelligence, in Kooperation mit der humanen Intelligenz und in Übereinstimmung mit der Natur (so SIMON). Unser gegenwärtiges Design ist dafür nicht schlank genug, nicht flexibel genug. Es ist immer noch zu <pyramidal>, will besagen, als verhältnismäßig starres Raumgebilde gegen den Zeitfluß gestellt.“

Holger van den [Boom, 1998b, S. 6]

Die „Krise der Artefakte“ zu überwinden, sei also die vorrangige Aufgabe der Wissenschaft vom Design. Die gegebenen Artefaktwelten in erwünschte zu verwandeln, ist ihr Ziel. Dies immer unter Berücksichtigung *aller* einzelnen Dimensionen, von der Ästhetik zur Sozialdimension, zu leisten, ist zumeist der Wunsch; die Wirklichkeit sieht aber immer anders aus. Das klassische Prinzip der Aufforderung zur Tat, zum bewußten sozialen und umweltbewußten Handeln wird uns heute unter immer neuen Bedingungen zur zentralen Zielsetzung entwerfenden Lebens. Die „strategische“ Position des Designs und der Designwissenschaft sollte hiermit zunächst deutlich werden.

Die bisherigen Publikationen zur Designwissenschaft sind oft Beiträge zur Methodologie, gleichsam oft eine Zusammenstellung von Lösungsschemata zur Problemanalyse und -strukturierung. Einige der bisherigen Paradigmen und Entwurfsstrategien sollen nun kurz vorgestellt werden.

1.1.2 Bisherige Strategien

Wenn man heute versuchen sollte, den Zustand des Designs mit einem Wort zu charakterisieren, stößt man unweigerlich auf das Wort „orientiert“. Das Design nennt man funktions-, ökologie-, erlebnis- oder gesundheitsorientiert, obwohl besser wäre, wenn es z.B. gesundheitsgerecht wäre. Die Verschiedenheit in der Orientierung zeigt sich in kleinen und in großen Wellenbewegungen und Turbulenzen. Das Wort „orientiert“ offenbart einen Wesenszug der heutigen Designwissenschaft und -ausbildung: Die Designwissenschaft ist keine in sich ruhende, abgeschlossene Wissenschaft, sie befindet sich in permanenter Evolution und experimentiert mit allen möglichen Entwicklungsrichtungen. Ursprung dieses Suchens ist sicher der Widerspruch zwischen Wunsch und Wirklichkeit, der in den Ergebnissen des Designprozesses erkennbar wird. Ausgedrückt wird dieses Suchen in immer neuen Methoden; in den großen Wellenbewegungen vollzogen sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte einige Wechsel in der Strategie (Paradigmenwechsel nach Thomas S. [Kuhn, 1970]) – weg vom Entwurf der reinen Geformtheit der Dinge hin zur Gestaltung von Informationszusammenhängen. So sah etwa Stefan LENGYEL in der bundesrepublikanischen Designausbildung nach dem Zweiten Weltkrieg folgende Schwerpunkte:⁸

- Ergonomie in den fünfziger Jahren
- Planung und Methodologie in den sechziger Jahren
- soziale Aspekte in den siebziger Jahren
- Sinnlichkeit in den achtziger Jahren.

⁸Vgl. Stefan [Lengyel, 1985], *Konturen einer möglichen Grundlehre für Industrial Designer*, in: Rainer Wick (Hrsg.), *Ist die Bauhaus-Pädagogik aktuell?*, S. 169.

Diese Paradigmenwechsel sind sicherlich nicht mit dem Wechsel vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild vergleichbar; es sind aber in den zurückliegenden Jahrzehnten verschiedene Richtungen der Entwurfsoptimierung auszumachen. So entwarf man bevorzugt mit bestmöglicher Anpassung an:⁹

- den menschlichen Körper
- die Ökonomie
- die menschliche Gesellschaft
- die menschliche Ästhetik.

Bernhard E. BÜRDEK wagte in diesem Zusammenhang 1991 die Prognose, daß in den neunziger Jahren die Mikroelektronik den Schwerpunkt bilden sollte:

„Mit dem Übergang vom Hardware- zum Software-Designer wird der wohl spannendste Wechsel des gestalterischen Aufgabenbereichs angedeutet.“

[Bürdek, 1991, S. 14]

Daß Design nicht nur materielle Realität erzeugt, sondern auch eine kommunikative Funktion erfüllt, war jahrzehntelang beachtet worden, konnte aber oft nicht hinreichend umgesetzt werden. Erst durch die Implementierung von grafischen Benutzeroberflächen in Computersystemen durch Informatiker – nicht durch Designer – wurde der Stein richtig ins Rollen gebracht. Durch die Erschließung des Massenmarktes Information schließlich wachten die Designer auf. Im Zug dieser Entwicklung wurden dann neue Designstudiengänge in Deutschland eingerichtet (Kommunikationsdesign, Designinformatik, Medienwissenschaft, etc.), und auf ganzer Breite vom „Übergang ins Informationszeitalter“ gesprochen. Offensichtlich war dieser Übergang kein Problem der Technik, sondern des Designs, denn Computer gibt es schon seit den 60er Jahren in halbwegs akzeptablem Verhältnis von Rechenpower zu Rechnergröße.

Im Rückblick kann man heute allerdings solch einheitliche Orientierungen, wie sie in den vorhergehenden Jahrzehnten erkennbar waren, im Design der 90er Jahre nicht ausmachen. Das letzte Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts war viel eher von Rückgriffen auf vergangene Stilrichtungen und eine breite Diversität in den Produktformungen geprägt. Auch das „Prinzip Chaos“ schien seinen Siegeszug nun auf das Design auszudehnen. In den Vordergrund rückten Benutzerfreundlichkeit und ökologische Aspekte, etwa die Trenn- und Wiederverwertbarkeit der verwendeten Materialien. Interessanterweise geht die curriculare Tendenz des Schwerpunktes in der Designausbildung heute wieder in die Richtung, die in den sechziger und siebziger Jahren vorherrschend war. Die damalige Kybernetikbewegung scheint nach Durchlaufen eines Tals in neuem Gewand wieder aktueller zu sein. An die Kybernetikbewegung anknüpfend sollen jetzt einige Beispiele zur Entwurfsplanung vorgestellt werden, die so oder in ähnlicher Form diskutiert wurden.

1.1.3 Der Entwurf als Problem

Design umfaßt den disziplinierten Ansatz, mit dessen Hilfe wir Lösungen für ein Problem bei der Artefaktentwicklung finden, so daß ein Pfad von den Anforderungen zur Implementierung erkennbar wird. Nach Herbert SIMON heißt dies – wie gesagt –, einen bestehenden Sachverhalt in einen erwünschten zu verwandeln. Nach Dietrich DÖRNER (*Problemlösen*

⁹Vgl. Bernhard [Bürdek, 1991], *Design*, S. 14.

als Informationsverarbeitung [Dörner, 1979]) stellt der Entwurf ein Problem dar, dem man dann gegenübersteht, wenn man sich in einem inneren oder äußeren Zustand befindet, den man für nicht wünschenswert hält, aber im Moment nicht über die Mittel verfügt, dies zu ändern. Ein Problem ist nach DÖRNER gekennzeichnet durch drei Komponenten (Bild 1.1):

- Ein unerwünschter Anfangszustand s_α
- Ein erwünschter Endzustand s_ω
- Eine Barriere, die die Transformation von s_α in s_ω momentan verhindert.

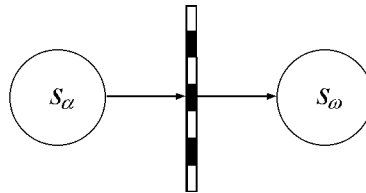


Abbildung 1.1: Die drei Komponenten eines Problems nach DÖRNER in der Darstellung von [Quibeldey-Cirkel, 1994].

Im Gegensatz zum Problem fehlt bei einer Aufgabe die Barriere. In den Worten DÖRNER bedeutet das: „Aufgaben erfordern nur reproduktives Denken, beim Problemlösen aber muß etwas Neues geschaffen werden.“¹⁰ Ob es sich für den Entwerfer um ein Problem oder um eine Aufgabe handelt, hängt daher von seiner subjektiven Vorerfahrung und davon, ob die Barriere für ihn existiert oder nicht, ab. Je nach Typ von Barriere, wie sie die Transformation des Anfangszustandes in den Endzustand verhindert, unterscheidet DÖRNER drei Problemtypen:

1. Interpolationsprobleme

Das Problem liegt hier bei der passenden Kombination oder Folge aus einer Reihe von Operationen, die zum erwünschten Zustand führen. Anfangs- und Endzustand sind bekannt, unbekannt ist die Kombination der Mittel in der Interpolation zwischen beiden. Dies bildet die *Interpolationsbarriere*. Die Menge der möglichen Transformationen ist im allgemeinen sehr groß, und ein Durchprobieren ist nur für eingeschränkte und wohlstrukturierte Sachverhalte wirtschaftlich. Beispiele sind hier Schachprobleme, das Problem der kürzesten Rundreise eines Handlungsreisenden, oder das Königsberger Brückenproblem. Eine Lösung hierfür ist der *General Problem Solver* (GPS) von NEWELL und SIMON, aber die Einschränkungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit gelten auch hier [Newell, 1972].

2. Syntheseprobleme

Hier reichen die bekannten Mittel nicht aus, um das Problem zu lösen. Die *Synthesebarriere* wird gebildet, wenn wichtige Operationen noch im Dunkel liegen. Man weiß hier, daß die bekannten Methoden nicht ausreichen und daß es erforderlich ist, das Inventar an Operationen zu erweitern. Das Problem liegt so in der Synthese, der Zusammenstellung der geeigneten Methoden. DÖRNER spricht hier vom offenen Operatorinventar und nennt als Beispiel das Alchimistenproblem: Wie macht man aus Blei Gold? Auch bergen viele Denksportaufgaben solche Synthesebarrieren. Abbildung 1.2 zeigt das bekannte Neun-Punkte Problem. Die meisten Problemlöser befinden sich im Terrain zwischen den Punkten. Der Raum, in dem nach Lösungen gesucht wird, ist kleiner als der, in dem die Lösung tatsächlich liegt.

¹⁰Dietrich [Dörner, 1979], S. 10.

3. Dialektische Probleme

Die Probleme des letzten Typs enthalten eine *dialektische Barriere*. Sie wird gebildet, indem allenfalls wenige, bestimmte Kriterien für den Zielzustand bekannt sind. Oft können solche Kriterien nicht einmal genannt werden. Diese Probleme sind im Alltagsleben wohl in der Mehrzahl. Die Lösung solcher Probleme wird meist in einem dialektischen Prozeß gefunden, in dem ein Entwurf für den Endzustand s_ω auf äußere oder innere Widersprüche überprüft und s_ω entsprechend angepaßt wird. Hier wird zwischen äußeren und inneren Widersprüchen unterschieden. Die äußeren Widersprüche sind die des Entwurfs mit Sachverhalten außerhalb seiner selbst, und die inneren sind die der Komponenten des Entwurfs zueinander. Oft findet man im Design auch *Komparitivkriterien* bei derartigen Problemen: Ein neues Produkt soll „schöner“ werden als das alte. Es bleibt aber unklar, um wieviel und hinsichtlich welcher Kriterien es verbessert werden soll.

Die Klarheit der Zielkriterien und der Bekanntheitsgrad der Mittel ermöglichen eine zweidimensionale Darstellung der Problemtypen. Tabelle 1.1 zeigt die Charakteristiken der drei Problemtypen [Dörner, 1976, S. 14]:

		Klarheit der Zielkriterien	
		hoch	gering
Bekanntheitsgrad der Mittel	hoch	Interpolationsbarriere	dialektische Barriere
	gering	Synthesebarriere	dialektische und Synthesebarriere

Tabelle 1.1: Klassifikation der Barrieretypen.

Der Barrieretyp ist im allgemeinen nicht unabhängig vom Problemlöser; er hängt vom Erfahrungs- und Wissensstand desjenigen ab, der sich an dem Problem versucht. Für den Experten mag ein Problem entweder keins sein oder eine Interpolationsbarriere enthalten, während dem Laien eine hohe Synthesebarriere den Weg versperrt. Für Design als kreativen Prozeß nimmt daher das verfügbare Wissen des Designers die Schlüsselrolle ein. Die Notwendigkeit eines Curriculums, welches Designwissen schafft, resultiert hieraus.

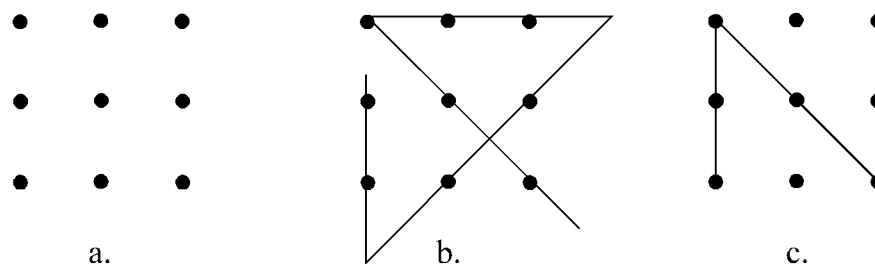


Abbildung 1.2: Neun-Punkte-Problem als klassisches Beispiel eines Syntheseproblems. Die Punkte in Abb. a. sind durch vier gerade Linien zu verbinden. Abb. b. zeigt eine Lösung und Abb. c. ein Element des subjektiven Suchraums der meisten Problemlöser.

1.1.4 Entwurfsiteration und -planung im Bild der Kybernetik

Die Kybernetik, die auf den Arbeiten von Norbert WIENER gründet, sollte eine Brücke zwischen den Wissenschaften bilden.¹¹ Sie abstrahiert als interdisziplinäre „Wissenschaft von den Wirkungsgefügen“ von der physikalischen Natur der Wirkungsträger: der Materie und der Energie [Sachsse, 1974]. Indem sie sich auf die logisch-strukturellen Verbindungen in natürlichen und technischen Systemen kapriziert, bildet sie den Vorläufer u.a. der Informatik. Die Informationsverarbeitung als das „Gemeinsame im Verschiedenen“¹² prädestiniert sie als interdisziplinäre Meta-Sprache.¹³ Es ist daher nicht weiter verwunderlich, daß auch im Design ein Großteil der entwurfsplanerischen Ansätze in der kybernetischen Betrachtungsweise begründet ist.

Im Zug der Kybernetikbewegung war der Entwurf selbst in den Blickpunkt des Entwurfens gelangt. Von den zahlreichen Veröffentlichungen, die sich mit dem „Entwurf des Entwurfs“ befassen, beruhen viele auf dem kybernetisch-regelungstechnischen Ansatz, den man durch die Gleichung

$$y_{i+k} = f(\delta_i) = f(x_i - \varphi_i) \quad (1.1)$$

ausdrücken kann. Dieser sog. Black-box-Ansatz beinhaltet bereits wesentliche Aspekte sowohl der natürlichen Entwicklung von Strukturen als auch des artefaktischen Entwurfsprozesses. Ein *Beobachter* im Entwurfsprozeß – Mensch oder Maschine – ermittelt die Abweichung einer Regelgröße x_i des aktuellen Entwurfsergebnisses entlang eines Entwurfsabschnitts. Die Abweichung wird von der Führungsgröße φ_i , dem vorgegebenen Entwurfsauftrag, aus gemessen. Die Differenz zwischen Vorgabe und Ergebnis δ_i wird dann in geeigneter Weise als Stellgröße auf den Eingang des Systems zurückgeführt. Die Hypothesen des Entwurfs werden in diesem Prozeß – meist an der Erfahrung – überprüft; dem dienen gezielte Experimente, Beobachtung oder Messungen. Dies ist das Prinzip der Rückkopplung und der selektiven Information. Am Ausgang des Systems stellt sich die Größe y_i ein, verzögert um die Reaktionszeit k . Im „eingeschwungenen“ Zustand liegt schließlich ein hinsichtlich der Regelabweichung δ_i optimierter Entwurf vor.¹⁴

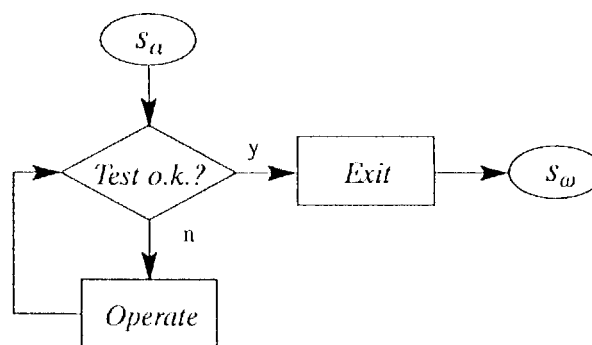


Abbildung 1.3: *Trial and Error* im Designprozeß. Nach Karl POPPER irren wir uns empor [Popper, 1994].

¹¹ Ein Buchtitel verdeutlicht: *Kybernetik – Brücke zwischen den Wissenschaften*, herausgegeben von Helmar [Frank, 1970].

¹² Hans [Sachsse, 1974], S. 31.

¹³ J. H. [Armkreutz, 1976].

¹⁴ [Quibeldey-Cirkel, 1994], S. 116.

Wenn die Reaktion des Systems durch die Eingangsinformation bestimmt wird, heißt der Regelkreis deterministisch. Er ist darüber hinaus dynamisch, wenn er über ein Gedächtnis für früheres Verhalten verfügt und wenn die Eingangsinformation und die Geschichte der zurückliegenden Einwirkungen gemeinsam die aktuelle Systemkonfiguration bestimmen.¹⁵

Aus dem o.g. Ansatz lassen sich bereits einige Aspekte herauslösen, die das Wesen des Entwurfs und auch der natürlichen Formentstehung beschreiben können. So resultiert aus dem Prinzip der Rückkopplung und Selektion der starke *evolutive Charakter* der beiden Formentstehungsprozesse – bei der Naturform und auch beim Artefakt. Außerdem ist der zeitliche Aspekt, daß höherentwickelte Entwürfe mehr Zeit benötigen, in diesem Modell bereits enthalten. Vor diesem Hintergrund entwickelt J. H. ARMKREUTZ, aus der Architektur kommend, seine regelungstechnischen Modelle zum Entwurfsprozeß. Er nennt seine Vorgehensweise *model reticulation*. Sie führt auf ein vernetztes Regelsystem, wie es Bild 1.4 zeigt. Das Schema nach Armkrechtz verschafft einen Zugang in das Innere der Black-box

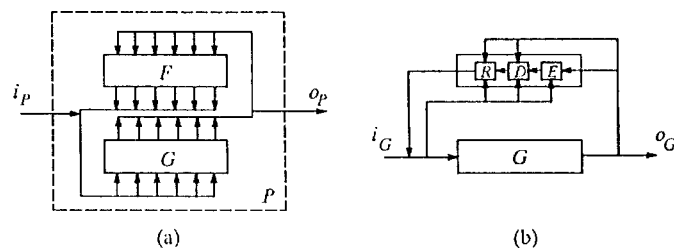


Abbildung 1.4: Entwurfsprozeß als Regelsystem nach ARMKREUTZ

nach Gleichung 1.1: Es wird prinzipiell zwischen zwei informationsverarbeitenden Funktionsblöcken unterschieden: „generation“ G und „feedback“ F . Für den Entwurfsprozeß bedeutet dies, daß er sich letztlich als ein System gekoppelter Regelkreise zusammensetzt (Abbildung 1.4 (a)). Die Bearbeitung der einzelnen Entwurfsabschnitte erfolgt hier i.a. nicht sequentiell, so daß in der Verbindungsstruktur zwischen den Größen G und F kombinatorische Vielfalt herrschen kann. Gestützt wird das Armkrechtz-Modell von dem Informationsbegriff, wie ihn Claude SHANNON entwickelte. Sein Kommunikationsmodell besteht aus fünf notwendigen Teilen: (1) der Nachrichtenquelle, die eine Nachricht produziert, (2) dem Sender, der die Nachricht umformt, um ein Signal zu erzeugen, (3) dem Kanal als Mittel zur Übertragung des Signals, (4) dem Empfänger, der die Nachricht wieder aus dem Signal rekonstruiert und (5) dem Nachrichtenziel als der Person oder Sache, für die die Nachricht bestimmt ist [Shannon, 1976, S. 43 f.]. Für das Verständnis von Information instruktiv ist das von Shannon für den Fall des *correction system with observer* entwickelte Schema:

¹⁵ *Ebenda.*

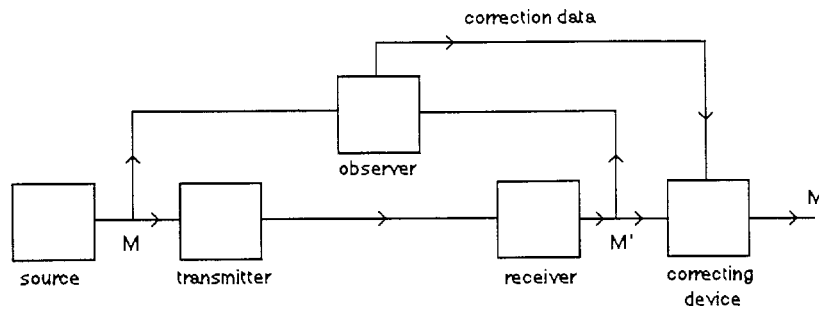


Abbildung 1.5: Informationsmodell nach Claude SHANNON.

Dieses besagt, daß die Information auf der Ebene der Beobachtung zweiter Ordnung generiert wird.¹⁶ Ebenfalls den iterativen Ansatz zur Erklärung des Entwurfsprozesses verfolgt Olaf Weber.¹⁷ Er teilt den Entwurfsprozeß insgesamt in drei Phasen, in die

1. generative Phase,
2. die Speicherphase
3. und die rezeptive Phase.

Danach liegt zwischen Entwurf und Konsumption eines Designprodukts eine Phase der Speicherung, innerhalb derer ein Anpassungsprozeß stattfindet. Horst [Rittel, 1972] schlüsselt die Vorgehensweise noch etwas genauer auf und nennt insgesamt sieben Phasen eines Planungsprozesses:

1. Problem verstehen
2. Informationen sammeln
3. Analyse der Information
4. Kreativer Akt
5. Synthese
6. Ausführung
7. Kommunikation der Ergebnisse

Er betrachtet den Planungsvorgang als „Prozeß der Bildung eines ‚Images‘ über das Problem und seine Lösung“¹⁸. Er erkennt darin ein schrittweises Herantasten an Entwurfsprobleme. Er stellt seine Vorgehensweise in einem iterativen Modell dar (Abb. 1.6). Design in dieser Darstellung verwendet in erster Linie als erfahrungswissenschaftlich zu bezeichnende Methoden, so daß man vom Wechselspiel zwischen Erfahrung und Theorie profitiert. Da von der unmittelbaren Erfahrung kein direkter Weg zur Theorie führt, bleibt man auf Versuch und Irrtumsbeseitigung angewiesen.¹⁹ Hinsichtlich der Methode stellt *Trial and Error* selbst einen Versuch dar, so daß man sich im Prinzip innerhalb einer unendlichen

¹⁶Dirk [Baecker, 1998], S. 2.

¹⁷Olaf [Weber, 1994], *Die Funktion der Form*, S. 111.

¹⁸Horst [Rittel, 1992], S. 82.

¹⁹Vgl. Gerhard [Vollmer, 1995], S. 29.

Entwurfsschleife befindet. Zum Finden von Lösungen auf Entwurfsprobleme sind schließlich alle denkbaren Mittel erlaubt: „Intuition, Assoziation, Analogien, Kreativitätstechniken, Brainstorming, Träume, Visionen, Spekulationen“.²⁰ Es bedarf dabei jedoch einer möglichst genauen Darstellung von Anfangs- und Endzustand des Entwurfsprozesses.

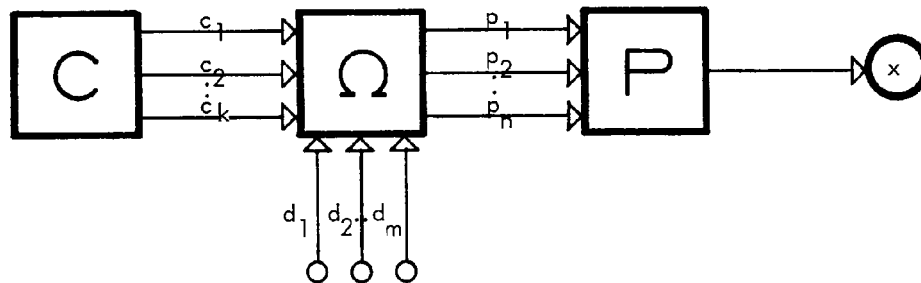


Abbildung 1.6: Iteratives Planungsmodell nach Horst RITTEL mit: C = Kontext-Modell, c_i = Kontext-Variable ($i=1,2,\dots, k$), Ω = Objekt-Modell, d_j = Design-Variable ($j=1,2,\dots, m$), P = Performance-Modell, p_k = Performance-Variable ($k=1,2,\dots, n$), x = Endurteil.

1.1.5 Design als Optimierungsproblem: satisfizierende Lösungen

“It’s based on the idea that every design problem begins with an effort to achieve fitness between two entities: the form in question and its context. The form is the solution to the problem; the context defines the problem.” Christopher [Alexander, 1964, S.15]

In einem weiteren Bild gilt das Interesse des Designs der schöpferischen Gestaltung des *zweckbestimmten* Interfaces. Hier liegt die Achse der Welt des Künstlichen darin, Artefakte zu erfinden, die Ziele erreichen sollen: „Die Welt des Künstlichen hat ihren Mittelpunkt genau an dieser Schnittstelle zwischen inneren und äußeren Umgebungen; in ihr geht es um das Erreichen von Zielen durch Adaption der ersteren an die letztere. Die Erforschung des Künstlichen zielt auf die Weise, in der diese Anpassung der Mittel an die Umgebungen zustande kommt – und im Mittelpunkt steht der Vorgang des Entwerfens selbst.“²¹ Nach Herbert SIMON wird das Artefakt seinen Bestimmungszweck erfüllen, wenn die innere Umgebung der äußeren angemessen ist. Er untersucht in seinem Werk „Die Wissenschaften vom Künstlichen“, welches Logiksystem sich für die Erreichung dieses Zieles, die *Angemessenheit* beider Umgebungen aneinander zu erreichen, geeignet ist.²²

Daß hierfür die gewöhnlichen Logiksysteme, wie sie in der Wissenschaft (etwa die herkömmliche Aussagenlogik und der Prädikatenkalkül) Verwendung finden, bezweifelt er. Er plädiert für eine geringfügige Adaption der gewöhnlichen Aussagenlogik an die Anforderungen des Entwerfens. So liegt die Logik des Entwerfens eher in der Suche nach einer *zufriedenstellenden* Lösung aus mehreren Alternativen als in der absoluten Optimierung von Artefakten. In der Logik der Optimierungs-Methoden wird dabei die innere Umgebung des Entwurfsproblems durch eine Reihe gegebener Handlungsalternativen repräsentiert: „Die Alternativen können *in extenso* gegeben sein; gewöhnlich sind sie in Gestalt von *Bestimmungsvariablen* mit genau definierten Bereichen spezifiziert.“²³

²⁰ Ebenda.

²¹ Herbert [Simon, 1982], S. 97.

²² ebd. a.a.O., S. 98 ff.

²³ Ebenda.

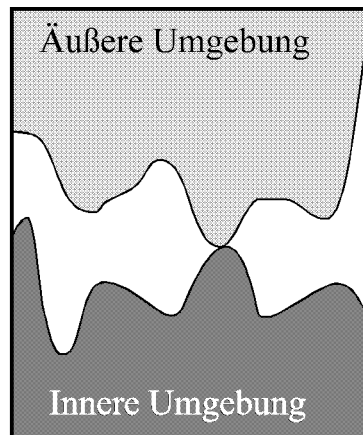


Abbildung 1.7: Das Artefakt zwischen innerer und äußerer Umgebung.

Die verbleibende äußere Umgebung ist gegeben durch eine Menge von Parametern. Diese können exakt oder nur als Verteilung von Wahrscheinlichkeiten vorliegen. Das Optimierungsproblem der Anpassung wird nun gelöst durch das Aufstellen einer Nutzenfunktion und dem anschließenden Maximieren des Nutzens. Bei Variation von Handlungsalternativen und den anderen Parametern wird die optimale Lösung herausgefiltert. Dies geschieht in etwa analog zur Kosten/Nutzen-Rechnung der Betriebswirtschaftslehre. Ertrag, Aufwand und der Quotient aus beiden werden gemäß einer vorher festgelegten Funktion – meist eine skalare Funktion der Bestimmungsvariablen – berechnet. Eine derartige Optimierung von Artefaktsystemen ist ein häufiger Gegenstand der Forschung, gerade auch in den Wirtschaftswissenschaften. Statistische Entscheidungstheorie und Managementtheorien sind weitentwickelte Beispiele hierfür. Der Informatiker J. MOSTOW erklärt, daß es Zweck des Designs sei, ein System zu konstruieren, das

- eine (vielleicht informell) vorgegebene funktionale Spezifikation bietet,
- den Einschränkungen des Zielmediums gerecht wird,
- die impliziten oder expliziten Anforderungen bezüglich der Performance und der Verwendung von Ressourcen erfüllt,
- die impliziten oder expliziten Designkriterien der Vorgabe entsprechend erfüllt,
- den Einschränkungen des Design-Prozesses selbst nicht widerspricht. (Das können etwa die Dauer oder die Kosten oder auch die Werkzeuge sein, die für das Design verwendet werden können.)²⁴

Diese Punkte, die an sich im Kontext des Softwaredesigns stehen, können sicher bei entsprechender Interpretation auch auf andere Entwurfsaufgaben als Software – folglich auf Hardware – übertragen werden. Auch die Anforderungen und Designkriterien hinsichtlich etwa der Ästhetik sind schließlich in dieser Formulierung enthalten.

Gälte Entwerfen als reines Optimierungsproblem, so ließen sich die Methoden der mathematischen linearen Optimierung hier in idealer Weise anwenden. Unter der linearen

²⁴J. [Mostow, 1985], *Toward Better Models of the Design Process*, S. 44.

Optimierung versteht man gemeinhin die Ermittlung eines Minimums oder Maximums einer linearen Funktion endlich vieler Variabler. Diese Variablen, gleichsam das Erzeugendensystem eines Entwurfssystems, müssen hierbei endlich vielen linearen Nebenbedingungen genügen.²⁵ Die Nebenbedingungen, auch Restriktionen genannt, haben dabei die Gestalt linearer Gleichungen bzw. linearer Ungleichungen. Das Entwurfsproblem ließe sich hier durch Errechnung des Optimalpunktes einer Zielfunktion lösen, und in einer mehrdimensionalen Darstellung ließe sich die Lösung als ein Punkt zeigen. Ergeben sich mehrere Lösungen, so sind unterschiedliche, gleich gute Lösungen denkbar. Im allgemeinen ist die Anzahl der Lösungen hier aber gering, meist eins. Eine durchgängige Optimierung aller Entwürfe hätte wahrscheinlich ein fatales Ergebnis zur Folge: Einförmigkeit bzw. Uniformität. Damit wäre eine globale Hauptforderung an das Design verletzt: die Anpassung der Schnittstelle an die Bedürfnisse der Menschen.

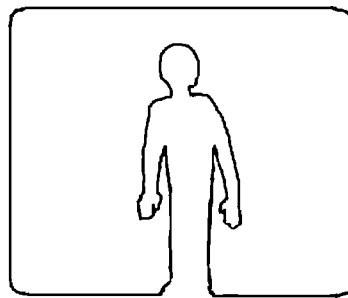


Abbildung 1.8: Die Artefaktform und ihre Gegenform – der Mensch – in schematischer Darstellung.

Entwerfen läßt sich daher nicht bedingungslos auf das Problem komprimieren, eine gewissen Beschränkungen unterliegende Funktion zu maximieren bzw. zu minimieren, davon abgesehen, daß dies ohnehin nur in einfachen Fällen möglich bzw. effektiv ist. Bei der im allgemeinen sehr großen Anzahl von möglichen Lösungen liegt hierin zwar eine große theoretische Bedeutung, aber in der Praxis erweist sich das Verfahren oft als zu aufwendig. Allgemein ist der Designer nicht in der Lage, alle *möglichen Welten* antizipierend in den Entwurf einfließen zu lassen. Er ist auf eine beschränkte Menge möglicher Szenarios angewiesen. Und er wird versuchen, einen in erster Linie *zufriedenstellenden* Entwurf abzuliefern; aus der Menge der möglichen Welten eine der besten zu isolieren. Es gilt demnach als hinreichende Bedingung, eine satisfizierende²⁶ Lösung zu finden. So sehen die traditionellen Entwurfsmethoden viel eher den Gebrauch von Ungleichheiten – Spezifikationen einer zufriedenstellenden Leistung – als von Maxima und Minima vor.²⁷ Ein Kriterium für „das Beste“ ist ja zudem oft genug selbst Gegenstand der Optimierung. Vielmehr gilt es also, sich aus der Anzahl der Möglichkeiten für eine zu entscheiden, die zufriedenstellend bzw. „satisficing“ ist, und die das Gemeinsame im Verschiedenen aller guten Lösungen in sich trägt. Innerhalb der Grenzen zufriedenstellender Lösungen kann Vielfalt durchaus eine Zieldimension sein, auch „weil sie erlaubt, der Suche selbst ebenso wie ihrem Ergebnis einen Wert beizumessen – den Entwurfsvorgang selbst als eine Tätigkeit zu betrachten, die

²⁵Vgl. etwa [Bronstein, 1987], S. 695.

²⁶Herbert [Simon, 1990], S. 102. Er hat den Begriff „satisficing“ eigens zum Suchen bzw. zum Finden von guten oder befriedigenden statt optimalen Lösungen eingeführt. Er entwickelte eine Unternehmenstheorie, nach der die pluralen Entscheidungsinstanzen aufgrund persönlicher, sozialer u.s.w. Bindungen im Gegensatz zum klassischen Unternehmer nicht in der Lage sind, die besten Möglichkeiten zu wählen, sondern sich mit befriedigenden Kompromissen begnügen. Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften 1978.

²⁷So Herbert [Simon, 1990], S. 102.

für alle Beteiligten einen Wert besitzt.²⁸ Ohne diese Einsicht wären wesentliche Momente, die das Aussehen von Design heute prägen, etwa Mode oder Stil, nicht möglich.

1.2 Der Begriffsrahmen der Form

“The ultimate object of design is form.”

“These notes are about the process of design; the process of inventing physical things which display new physical order, organisation, form, in response to function.”

Christopher [Alexander, 1964]

Um Design einer wissenschaftlichen Betrachtung zugänglich machen zu können, müssen seine Stadien und seine Prozesse im Sinne von Zustandsbeschreibungen möglich sein. Dazu bietet sich der Begriff der Form an. Die Form ist eine wesentliche Manifestation eines Objekts. Es gibt unzählige Formen, ihre Variationsbreite scheint unendlich groß zu sein. Objekte können äußerst komplizierte Formen aufweisen und sich aus zahlreichen Komponenten zusammensetzen. So ist der Begriff der Form universell; kaum ein Begriff findet sich in so vielen Facetten wie der der Form. Er ist vieldeutig: In ihm zeigen sich sowohl subjektiv wahrgenommene als auch objektiv meßbare Aspekte auf. *Form* ist das *four-letter-word* im Design²⁹, und das Wort Form taucht in zahlreichen Bedeutungen in nahezu allen Bereichen von Wissenschaft und täglichem Leben auf. In einem doppeldeutigen Sinne bezieht es sich sowohl auf die „schöne Form“, über die wohl zuerst gründlich im alten Griechenland nachgedacht wurde, als auch auf die Struktur, die Konfiguration, anders spezifizierter Systeme. Nur einige Beispiele seien genannt, in welchen Zusammenhängen das Wort Form auftaucht: Formal, Formalismus, Formalität, Formalwissenschaft, Format, Formation, Formativ, Formel, Formular, Formulierung und Information, aber auch: *la formation* (frz. Erziehung und Ausbildung).

Als ein allgemeiner Begriff hat „Form“ einen kleinen Inhalt (er sagt wenig aus) und einen großen Umfang (er ist auf vieles anwendbar). Daraus erwächst folgende Konsequenz: Als allgemeiner Begriff ist Form vollständig (der wenige Inhalt ist explizit in der Definition vollständig angebbbar), aber nicht eindeutig zu definieren, d.h. bei seiner Anwendung auf Spezielles bleiben vielfältige Deutungen möglich. Darin kommt ein Dilemma der Designwissenschaft zu liegen: Als Wissenschaft – die das Designwissen schafft – will sie ihr Wissen ja möglichst vollständig und eindeutig bestimmen.³⁰ Eine Wissenschaft schließlich wird durch ihre Funktion gemessen, und ihre Regeln werden sehr genau definiert. Eine Wissenschaft muß die Analyse der Dinge in ihren einfachsten Elementen gestatten. Sie muß möglichst bis zum Ursprung zerlegen, aber sie muß auch zeigen, wie die Kombination ihrer Elemente möglich wird, und die bildliche Genese der Komplexität der Dinge erlauben. Als Wissenschaft formuliert die Designwissenschaft ihr Wissen über ihre Gegenstände und ihre Methoden. Was dabei ein möglicher Gegenstand ist, wirft ontologische Probleme auf: Ist die Form ein möglicher Gegenstand, über den die Designwissenschaft ihr Wissen formulieren kann?

Formen sind dabei viel mehr als nur die Hüllflächen der dreidimensionalen Körper. Mit Form bezeichnet man mithin den *Zustand* oder die *Konfiguration* eines wie auch immer *gestalteten* Systems. Das System, in dem sich die Form „abspielt“, läßt sich zunächst nicht weiter spezifizieren. Es ist jedes System denkbar: „Begriffe“, „Konstanten“, „Strukturen“, „Organisationen“ usw. sind ein- und dasselbe: *Formen*.³¹ Oft wird die Deskription eines

²⁸Herbert [Simon, 1990], S. 102.

²⁹Zwei der bedeutendsten Fachzeitschriften im Design tragen z.B. das Wort *Form* im Titel.

³⁰Siegfried [Maser, 1972b], S. 6.

³¹Holger van den [Boom, 1980], *Philosophy*, S. 89.

formalen Systems als Form und die Idee der Form als Gestalt beschrieben. Das Formproblem ist dann durch Analyse der Einzelfakten und das Gestaltproblem durch Verständnis des Formalen – durch Synthese der Einzelfaktoren und durch Kenntnis dieser Einzelfaktoren zueinander – zu begreifen. Gestalt ist nach EHRENFELS die Zusammenführung von wohlunterschiedenen Elementen zu einem Ganzen. Das Charakteristische der Gestalt ist seine Ganzheit, der Ganzheitsgedanke, der nicht nur die Teile beherrscht, sondern mehr aus ihnen macht als die Summe seiner Teile (Übersummativität). Die Gestalt kann man gemeinhin erst erfassen, wenn man auch die Idee erfaßt hat, die dahintersteht.

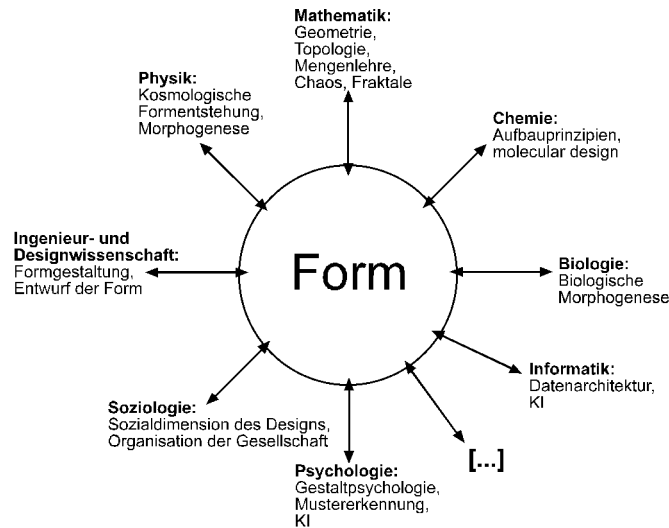


Abbildung 1.9: Wissenschaftliche Disziplinen können sich im Formbegriff treffen. Formen werden in jedem Fach auf ihre eigene Weise hin untersucht (Hier sind nur einige Aspekte o.B.d.A. angeführt).

Als *Denkwerkzeug* besitzt die Form eine lange Tradition in den Wissenschaften. Die Anfänge wurden im aristotelischen *Hylemorphismus* angelegt, um eine Lösung des Problems vom Werden und Vergehen zu erreichen. Der *Isomorphismus* von Gesetzen hingegen machte das Konzept einer allgemeinen Systemtheorie möglich. Sie stellt eine rein formale logische Disziplin dar, die auf alle Wissenschaften angewandt werden kann, in denen Systemvorstellungen benutzt werden. Die Dimension n eines formalen Systems, aufgefaßt als n -dimensionaler Raum, kann sehr hoch sein. Es wird für Raumformen aber zumeist $n \leq 3$ sein. Für die Mathematik läßt sich ein Beispiel für ein solches System angeben: der euklidische n -dimensionale (Form-)Raum R^n , in dem Formen gedacht werden können als Teilmengen, die verschiedene Eigenschaften besitzen. Sie sind etwa kompakt, zusammenhängend etc., können aber auch fraktale Dimensionen o.ä. besitzen. Das Ziel ist es jedoch, den Formbegriff möglichst universell zu fassen und so reich wie möglich zu machen. Darum seien im folgenden zunächst Formen, die sich von Begriffen wie Raum, Geist oder Materie abheben, behandelt. Formen werden erschaffen; der Prozeß *Morphogenese*, der die Formen hervorbringt, steht momentan stark in der wissenschaftlichen Diskussion. In dieser Arbeit wird der Begriff Morphogenese in seiner ursprünglichen Bedeutung verwendet, in der Art, wie ihn der französische Mathematiker René THOM beschreibt:

“According to some purists, the French term ‘Morphogénèse’ is used only to designate the appearance of new organic forms in the course of Evolution; in English the word ‘Morphogénèse’ is more widely used, since it designates, among other things, the development of the adult organism from the embryo. However, some Anglo-Saxon authors set ‘Morpho-

genése' in opposition to 'Pattern formation'. 'Morphogenése' would then be used only of those processes [...] accompanied by spatial movements of global nature. 'Pattern formation' would be reserved for development processes of a static type, like the formation of bones or the growth of hair or feathers or skin. This distinction may seem somewhat arbitrary and of doubtful interest. Here we shall employ the term 'Morphogenése' as its etymology indicates, in the widest sense, to denote any process creating (or destroying) forms. We shall concern ourselves neither with the nature (material or otherwise) of the substrate of the forms considered, nor with the nature of the forces which cause these changes."

René [Thom, 1983]

Der Begriff Morphogenese wird hier also in größerer Allgemeinheit verwendet, als das sonst der Fall ist. Gemeinhin wird Morphogenese nur auf den Bereich der Formentstehung in der Biologie bezogen, beschäftigt sich also nur mit Lebensformen. Zunächst soll der Formbegriff logisch betrachtet werden.

Die logische Form

Das Ziel der klassischen Formalwissenschaften (Logik, Mathematik) besteht in der Erstellung von Kalkülen im Sinne von Leerformen, die sowohl im Bereich der Realwissenschaften, als auch im Bereich der Humanwissenschaften Anwendung finden. Das Instrumentarium der Formalwissenschaftler sind dabei die Leerformen. Als Gegenbegriff zur Form fungiert dabei der Inhalt. Die Inhalte der Welt kristallisieren in einer bestimmten Form.³² Die logischen Implikationen gründen in der Struktur. Holger VAN DEN BOOM präzisiert: „Denn besondere Inhalte sind – derzeit noch – versteckte Formen.“³³ Inhalte bedingen einander, aber nicht in gleicher Weise: „Form und Inhalt bilden einen formalen Zusammenhang, sie bilden keinen inhaltlichen Zusammenhang“³⁴.

1.2.1 Form und Information

Seinem Wesen nach ist der Begriff „Form“ äußerst universell, so daß sich Form als Begriff erweitern oder einschränken läßt und nicht unbedingt an Materie als Träger gebunden ist. Die Form bedarf nicht zwingend einer materiellen Trägersubstanz. Als erweiterter Formbegriff³⁵ bezieht sich Form folglich nicht nur auf Materieformen – auf plastische Gebilde – sondern auch auf Systeme, die vollständig aus Informationszusammenhängen bestehen. „Form“ bezieht sich demgemäß auf die Dualität von Materieform und Information. Nach Norbert WIENER gilt: Information ist Information, ist weder Materie noch Energie. Er spricht vom Primat der Information über die Materie [Wiener, 1961], obwohl sinnvolle Information nicht ohne Energieübertrag abgegeben werden kann. Nach Hans SACHSSE beträgt die zur Übertragung von 1Bit Information benötigte Energie mindestens $\Delta E = 6,84 \cdot 10^{-22} cal = 2,86 \cdot 10^{-21} J$. Durch den Aufbau der Information kommt es zu einem Aufwand an Energie durch reversible Entropieabnahme. Als *sinnvolle* Information aufgefaßt, impliziert Form eine gewisse Ordnung. Da ohne Ordnung – also im thermodynamischen Gleichgewicht – kein Übertrag von Informationen im Sinne eines Unterscheidens vom Rest eines Systems möglich ist.

Die Information über ein Objekt nimmt eine Stellvertreterrolle ein, ist nicht das Objekt selbst. Das macht es möglich, Informationen über Dinge zu versenden, ohne die Dinge

³²Ernst [Cassirer, 1961b], S. 54.

³³Holger van den [Boom, 2000], *Prolegomena*, S. 7.

³⁴Holger van den [Boom, 2000], *Prolegomena*, S. 8.

³⁵Vgl. mit dem erweiterten Designbegriff von June H. [Park, 1994].

selbst wegzugeben. Die Botschaft, die erzeugt und versendet wird, kann dergestalt u.U. auch behalten werden. Die wichtigsten Mittel einer wirtschaftlichen Aktivität geben so die PCs und die digitalen Netze den Designern in die Hände. Ihre Produktion besteht heute vor allem darin, Information zu bearbeiten. Nach Horst RITTEL ist Information nur wirksam, wenn sie als Änderung des Wissens eines Empfängers hervortritt.³⁶ Es macht zudem keinen Sinn, ohne einen Empfänger von einer Information zu sprechen: Ein Buch etwa enthält keine Informationen für jemanden, der es nicht lesen kann. Ihr Beziehungsaspekt macht die Information mehr zu einem holistischen denn zu einem mechanistischen Begriff. In einer vierseitigen Darstellung zeigt Abbildung 1.10 die vom Designprodukt transportierte Information analog zur Kommunikationstheorie.³⁷

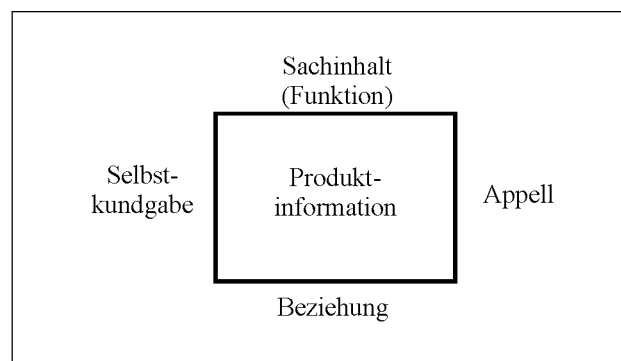


Abbildung 1.10: Die vier Aspekte der Produktnachricht in rechteckiger Darstellung adaptiert nach F. SCHULZ v. THUN.

Zum Begriff der Form erweisen sich so zwei Bezüge sicher als wesentlich: Es sind dies das betrachtete System und der Betrachter. Ein solches System besitzt immer bestimmte Eigenschaften, wie etwa Struktur und Verhalten. In diesem Sinne ist die Form ein Ausschnitt (Teilmenge) eines Systems, u.U. aber auch das gesamte System (das Universum etwa). Diesen Ansatz des Unterscheidens verfolgen wir weiter in der Art, wie es George SPENCER BROWN vorgesehen hat.

1.2.2 Die Form als Seite einer Unterscheidung

„Wir nehmen die Idee der Unterscheidung und die Idee der Bezeichnung als gegeben an, und daß wir keine Bezeichnung vornehmen können, ohne eine Unterscheidung zu treffen.

Wir nehmen daher die Form der Unterscheidung für die Form.“

George [Spencer Brown, 1997]

Den wahrscheinlich weitestgehenden Formbegriff benutzt George SPENCER BROWN. In seinen „Laws of Form“ (Gesetze der Form, dt. 1997) beschreibt er die Form als *Form der Unterscheidung* [Spencer-Brown, 1994]. Für ihn ist die Form gleichbedeutend mit einer Seite einer Entscheidung. Um zu einer Form zu gelangen, fordert er in seinen Laws of Form primär auf: „draw a distinction“. Diese Entscheidung, gleichsam der kleinste unteilbare artefaktische Entwurf, entzweit in ihrer Folge die Innenseite von der Außenseite der Form, und das vormalig Kompakte wird aufgetrennt. „Als Form einer Unterscheidung formuliert der Formbegriff nach SPENCER BROWN einen Typ von *Operationen*, der insofern relational ist, als daß sie Einschlüsse nur im Kontext von Ausschlüssen vorkommen

³⁶Horst [Rittel, 1992], S. 153.

³⁷Friedemann [Schulz v. Thun, 1981], S. 14.

läßt.“³⁸ Zur Realisierung seines Vorhabens, ein System iterierter Unterscheidungen und Bezugnahmen zu entwickeln, hält George SPENCER BROWN es für erforderlich, ein völlig neues, ungewöhnliches Notationsdesign einzuführen (s.u.). Ein Zeichenrepertoire, das frei von seiner Anwendung vorausseilender Bedeutungen ist. Nur so schien es ihm offenbar möglich, die jedem beliebigen formalen System zugrunde liegende Formbildung im Sinne einer Protologik zu beschreiben.

$$\begin{array}{cc} \neg\neg = \neg & \neg\neg = \neg \\ \text{(a) the law of calling} & \text{(b) the law of crossing} \end{array}$$

Abbildung 1.11: Die beiden Gesetze des Formkalküls in ihrer speziellen Notation nach SPENCER BROWN.

Sein logischer Kalkül geht dabei von zwei Grundgedanken aus, die er in Form von Gesetzen formuliert: der Idee des Nennens (*the law of calling*) und der Idee des Kreuzens (*the law of crossing*). Die beiden Grundgesetze sind für SPENCER BROWN insofern untrennbar, als daß ein Hinweis nicht ohne gleichzeitiges Unterscheiden getroffen werden kann. Da jeder Bezug auf Formen einen Akt des Hinweises erfordert, wählt er die Form der Unterscheidung als jenen Formbegriff, der zu untersuchen ist.³⁹ Niklas LUHMANN stellt dazu fest:

„Eine Form hat zwei Seiten, soviel scheint festzustehen. Sie wird eingesetzt durch die Fixierung einer Grenze, die bewirkt, daß zwei Seiten getrennt werden mit der Folge, daß man die eine Seite nur durch eine weitere Operation erreichen kann, die die Grenze kreuzt. Formsetzung ist also Unterscheiden, und Unterscheiden ist eine Operation. Und das setzt, wie alles Operieren, Zeit voraus.“⁴⁰

Mengentheoretisch werden die unterschiedene Menge und ihr Komplement getrennt. Die beiden Neurobiologen Humberto R. MATORANA und Francisco J. VARELA meinen:

„Das Aufzeigen eines Wesens, Objekts, einer Sache oder Einheit ist mit einem Akt der Unterscheidung verbunden, der das Aufgezeigte von einem Hintergrund unterscheidet und damit von diesem trennt. Immer wenn wir auf etwas implizit oder explizit Bezug nehmen, haben wir ein Unterscheidungskriterium festgelegt, das das Kennzeichen dessen, von dem wir gerade sprechen, und seine Eigenschaften als Wesen, Einheit oder als Objekt spezifiziert. [...] Eine Einheit (Entität, Wesen, Objekt) ist durch einen Akt der Unterscheidung definiert. Anders herum: Immer dann, wenn wir in unseren Beschreibungen auf eine Einheit Bezug nehmen, implizieren wir eine Operation der Unterscheidung, die die Einheit definiert und möglich macht.“⁴¹

Durch seinen logischen Kalkül schneidet SPENCER BROWN die Form aus einer als kontinuierlich angenommenen Welt. Form bedeutet in diesem Fall Weltausschnitt, und das

³⁸Vgl. [Baecker, 1998]. Einen interessanten Vergleich bildet auch der Ausspruch von Parmenides: „Sein ist und Nichtsein ist nicht“. Die Fragmente der Vorsokratiker, in: [Diels + Kranz, 1985].

³⁹So Mattias Varga von Kibéd und Rudolf Matzka, *Motive und Grundgedanken der „Gesetze der Form“*, in: Dirk Baecker (Hrsg.); *Kalkül der Form*, [Baecker, 1993], S. 59.

⁴⁰Niklas LUHMANN, *Die Paradoxie der Form*, in: Dirk BAECKER (Hrsg.), *Kalkül der Form*, S. 199 f.

⁴¹[Maturana + Varela, 1987], S. 46.

einfachste Benennen einer Form ist ein Denkkakt – zu ihm gehört, daß man eine Form mit anderen vergleicht, daß man bestimmte gemeinsame Merkmale auswählt, daß man das Unterscheidende außer acht läßt und in der Vorstellung Kategorien schafft. Der Designer, der die Formen aus der Welt „heraussägt“, hat damit die Arbeit der *Distinktion* zu leisten.

„All diese Begriffe: Form und Materie, Eines und Vieles, Subjektivität und Objektivität, Potenz und Akt, Unendliches und Endliches, Vollkommenheit und Unvollkommenheit, Spontaneität und Rezeptivität ... – sie alle drücken nur verschiedene Aspekte derselben Grundunterscheidung aus von dem, was anders sein kann und dem, was nicht anders sein kann, von Notwendigem und Zufälligem.“ Holger van den [Boom, 1980, S. 72–73]



Abbildung 1.12: Links: Die Form nach George SPENCER BROWN wird durch Unterscheiden aus dem „Universum“ herausgelöst. Rechts: Nach George SPENCER BROWN generiert *crossing* von innen nach außen Zeit.

Die Form als Form der Unterscheidung nach George SPENCER BROWN zeigt Abbildung 1.12. Durch Unterscheidung bilden sich eine Positivform und eine Negativform – im HEGELschen Sinne: Das Positive ist das Positive des Negativen.⁴² Nach Ernst CASSIRER läßt sich dies weiterverfolgen, es unterscheidet sich das Besondere, bis es zum Singulären wird. In Abbildung 1.12 ist zu sehen, wie nach George SPENCER BROWN durch fortwährendes Überschreiten der Grenze (sog. *crossing*) Zeit generiert werden soll. In jedem Fall enthält die Form in dem von Geoge SPENCER BROWN eingeführten Kalkül nicht nur die trennende Grenze, sondern indirekt auch die beiden Seiten, die sie separiert: „Dies könnte hinter der rätselhaften Formulierung ‚distinction is perfect continence‘ stecken“, meint Niklas LUHMANN.⁴³ Er stellt die Paradoxie, welche darin steckt, deutlich heraus:

„Operativ kann [...] nur eine, die bezeichnete Seite der Form verwendet werden. Wer beide Seiten zugleich verwenden will, verstößt gegen den Sinn der Unterscheidung. Dies geht nicht, es liefe auf eine Paradoxie hinaus. Denn dann müßte man in einem Zuge das Verschiedene als dasselbe bezeichnen. Wir kommen also nicht umhin: die Form ist ein Paradox. Es geht um die Identität einer Differenz, um eine Unterscheidung, die sich selber in sich selber unterscheidet. Und wenn man formuliert die sich selber in sich selber unterscheidet, könnte man auch vermuten, daß es sich um ein Symbol für die Welt handelt. Als Paradox beobachtet, symbolisiert jede Form die Welt.“⁴⁴

Im Formkonzept von SPENCER BROWN zeigen sich zahlreiche selbstreferente bzw. autopoietische Aspekte und Parallelen zur Übertragung von Informationen auf, z.B. daß Verabredung nur im Medium der Sprache möglich ist. Das Indikationenkalkül von SPENCER

⁴²G.W.F. [Hegel, 1996], *Phänomenologie des Geistes*, Orig. Ausg. v. 1807.

⁴³Niklas LUHMANN in: *Die Paradoxie der Form*, [Baecker, 1993], S. 199.

⁴⁴Niklas LUHMANN, a.a.O., S. 201.

BROWN dient der systembezogenen Differenzierung. Design ist demnach das Herauslösen – das Auswählen – von möglichen Konfigurationen aus einem Kontext. SPENCER BROWN folgend benötigt Design nicht nur Zeit, es generiert sie sogar (!). Als Beispiel für die Beziehung von Entscheidungen zur Raum-Zeit dient der folgende Abschnitt. Er hat die Fortführung der Differenzierungen ins Infinitesimale zum Inhalt.

1.2.3 Ur-Theorie als logische Form

An dieser Stelle soll kurz eine quantenmechanische Darstellung von Entscheidungen genannt werden, wie sie als Konstituenten des physikalischen Raums in Frage kommen. Die Gedanken hierzu stammen im wesentlichen von A. M. Klaus [Müller, 1995] und Carl Friedrich von [Weizsäcker, 1995].

Nach der Ur-Theorie von Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER sind die Ur-Alternativen die letzten logischen „Atome“ der objektivierbaren Seite der Natur⁴⁵: „Objektivierung in der Wissenschaft bedeutet die Zerschneidung des Ganzen der Natur nach einer Vielzahl von einfachen Quantenalternativen (Ur-Alternativen). Diese konstituieren (wechselwirkungsfrei) den physikalischen Raum.“⁴⁶ Der dreidimensionale Raum ist daher ein Quanteneffekt, indem sich Formen durch fortwährendes Differenzieren bilden. Faßt man die Entscheidung als Quantenobjekt – als ein logisches Atom – auf, so läßt sich ihr Ergebnis als Superposition von zwei Vektoren darstellen. Die beiden Vektoren sind der Ja- und der Neinvektor:

$$\text{Ja} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{Nein} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (1.2)$$

wobei Ja und Nein als sicher gelten sollen. Die Superposition von Ja- und Neinvektor ergibt dann in der Dirac-Schreibweise:

$$u_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + u_2 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} \equiv |u \rangle \quad (1.3)$$

Bei der quantenmechanischen Superposition beider werden Ja und Nein *unbestimmt*. Die Wahrscheinlichkeiten für Ja und Nein im Zustand $|u \rangle$ sind dann w_1 und w_2 .

Die Existenz des physikalischen Raums läßt sich wie folgt herleiten: Damit eine Entscheidung im Zustand $|u \rangle$ sicher und nicht unscharf ist, kann jedem „Spinor“ $|u \rangle$ ein *dreidimensionaler* Vektor \vec{k} zugeordnet werden, der eine Richtung festlegt:

$$\vec{k} \begin{cases} k^1 = u_1^* u_2 + u_2^* u_1 \\ k^2 = (-i)(u_1^* u_2 - u_2^* u_1) \\ k^3 = u_1^* u_1 - u_2^* u_2 \end{cases} \quad (1.4)$$

Wenn jede Entscheidung entweder auf Ja oder Nein als den beiden einzig möglichen Ergebnissen führen soll, muß die Vollständigkeitsrelation

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (1.5)$$

gelten. Dies definiert die Struktur (die Symmetriegruppe) des Quantenraums der $|u \rangle$:

$$|u' \rangle = S|u \rangle, \quad (1.6)$$

⁴⁵[Müller, 1995], S. 98.

⁴⁶*Ebenda.*

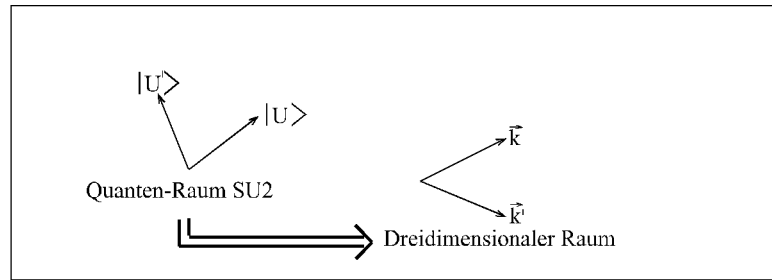


Abbildung 1.13: Herleitung des physikalischen Raums aus der Symmetrie des logischen Atoms bei [Müller, 1995].

wobei S als unitär mit $DetS = +1$ folgt. Die „Phase“ bleibt frei. Der dreidimensionale Raum ist in diesem Kalkül ein Quanteneffekt. Das Konzept läßt sich auch auf die Herleitung der vierdimensionalen Raum-Zeit erweitern. Die Idee führt so zu einer Vereinigung der allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantentheorie, dem großen fehlenden Baustein in der Physik des Universums. Die Vermutung geht weiter dahin, daß die Elementarteilchen der Physik aus Clustern von sehr vielen Ur-Objekten gebildet werden. Nach Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER setzt sich ein Proton aus etwa 10^{40} Uren zusammen. A.M.K. MÜLLER folgert hieraus:

„Die Ur-Theorie bedeutet eine Umkehrung des Geist-Materie-Verhältnisses. In dieser Sprache: Nicht die Materie bringt Geist hervor, sondern: Der Geist erfährt sich als Materie, sofern er sich selbst objektiviert. Es gibt dann ‚Materie‘ nicht als eigene Substanz (Descartes), sondern: Materie ist das, was Gesetzen genügt (C.F.v. Weizsäcker). Gesetze aber sind die Folge der Zerschneidung des Ganzen nach Ur-Alternativen. Das unzerschnittene Ganze erscheint nicht als Objekt der Physik (Wissenschaft). Das wissenschaftlich Denkbare besitzt Ausdehnung.“ A. M. Klaus [Müller, 1995, S. 100]

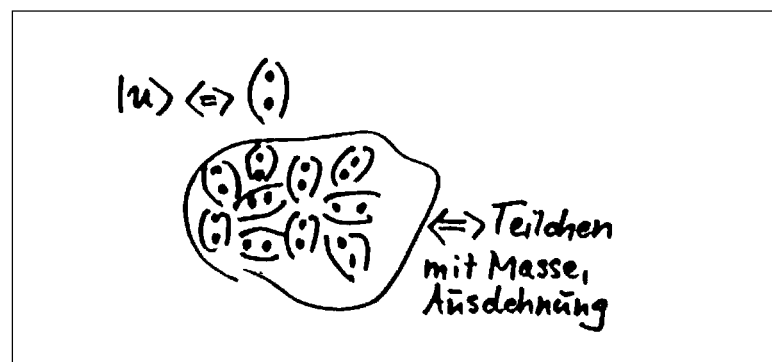


Abbildung 1.14: Elementarteilchen aufgebaut aus Uren in der Darstellung von [Müller, 1995].

Unterscheidung ins Infinitesimale

Das *Eine* besitzt in der philosophischen Diskussion einen festen Platz (PLOTIN, Nik.v. KUES, etc.). Im materialistischen Sinne ist die Materie das Primäre, während im idealistischen der Geist das Primäre und damit Formende ist. Gottfried Wilhelm LEIBNIZ nennt seine einfachen Substanzen, die wahrhaften Atome der Natur, wie Giordano BRUNO Monaden: „Es heißt dort, solange es Ausdehnung und damit Wesen der Materie gibt, ist ihre Teilung möglich. Das gilt auch dann, wenn wir das praktisch nicht mehr zuwege bringen, weil die Teilchen zu klein werden. [...] Das gleichbleibende und unteilbare Wesen der Dinge kann darum nicht in der immer weiter teilbaren Materie gesucht werden. Es muß vielmehr immateriell, geistig-seelisch sein.“⁴⁷ In dieser Konsequenz muß am Anfang der Betrachtung zum Aufbau der Formen die logische Form stehen, erst aus ihr folgt die Materieform.

Einstofflichkeit ist das Thema zahlreicher Spekulationen über die Zusammensetzung des Kosmos. Das Ordnungsprinzip von Spinoza, daß die Wirklichkeit aus einer Substanz und von Gott vollkommen eingerichtet ist, behandelt dies ähnlich wie die modernen Ableger der Teilchenphysik, deren Stoff aus der Raumzeit besteht. Der Superstringtheorie zufolge setzt sich jedes Elementarteilchen aus einem einzelnen String zusammen.⁴⁸ Jedes Teilchen ist ein jeweiliger String, und die an sich identischen Strings unterscheiden sich durch ihre Schwingungsmuster.

1.2.4 Schnittstellen

Die Form, die infolge von Entscheidungen – infolge der Setzung einer Grenze – festgestellt wird, separiert in ihrer Folge die Innenseite von der Außenseite der Form. Durch eine Form F werden so andere Entwurfsdimensionen – etwa das Material oder die Farbe – abgegrenzt; sie wird zu einem umhüllenden Gefäß, das wie eine Vase oder eine Flasche die innewohnende Substanz aufnimmt. Im Sinne der Vektoranalysis wird F begrenzt durch ihren Rand ∂F .⁴⁹ Die Artefaktform betreffend ist der Designer das bestimmende Regulativ der Grenzfläche (Oberflächengestaltung). Zu der Aufgabe des Designers schreibt Holger VAN DEN BOOM 1989:

„Die Gestaltung der Benutzeroberfläche tritt im weitesten Sinne gleichberechtigt neben die Konstruktion der Maschine“ Holger van den [Boom, 1989].

In diesem Sinne entwirft der Designer in erster Linie die Form (dann im Grunde die Fläche) der Schnittstelle. Eventuell besser wird der Sachverhalt mit dem Wort Interface – dem Zwischengesicht zwischen dem Menschen und dem Produkt – bezeichnet. Dabei könnten die Formen der Produkte, was auch in diesem Begriff steckt, auch ihre wahre Oberflächen verdecken, – sie könnten Masken tragen. Schnittstelle ist hier vom bloßen Erscheinungsbild zu unterscheiden, jedoch auch das Erscheinungsbild eines Systems ist zuerst immer durch das System bestimmt. Dazu Herbert SIMON im Jahr 1982:

„Ein Artefakt kann als Punkt der Begegnung – in der heutigen Terminologie: als ‚Schnittstelle‘ – zwischen einer ‚inneren‘ Umgebung, der Substanz und inneren Gliederung des Artefakts selbst, und einer ‚äußeren‘ Umgebung, der Umwelt in der es operiert, gedacht werden. Wenn die innere Umgebung der äußeren angemessen ist oder umgekehrt, dann wird das Artefakt seinen Bestimmungszweck erfüllen.“ Herbert [Simon, 1990, S. 6]

⁴⁷Karl [Holzamer, 1961], S. 232.

⁴⁸Vgl. Brian [Greene, 2000], S. 175.

⁴⁹Interessant ist der Vergleich in und mit der Vektoranalysis, etwa der Satz von Gauß.

Das Konzept der Schnittstelle betrachtend, läßt sich das Designproblem folglich auf das Problem der Adaption der inneren Umgebung des Artefakts an die äußere zurückverfolgen. Herbert SIMON sieht den Vorgang des Entwerfens in der Mitte von beiden Umgebungen stehend. Es handelt sich also im Prinzip zunächst um ein Grenzwertproblem und anschließend um ein Optimierungsproblem. Ein Psychologe würde die Gestaltung des Interface wohl eher als Gestaltung einer Beziehung auffassen und Design in diesem Zusammenhang als die Gestaltung von Beziehungen bezeichnen.

Die Thematik der Schnittstellen ist in der Praxis nicht auf Bildschirmarbeit begrenzt. Grafische Benutzeroberflächen stellen in diesem Zusammenhang aber ein Paradebeispiel in mehrfacher Weise dar. Zum einen wird bei ihnen ihre Funktion als Schnittstelle besonders offensichtlich, zum anderen kann man anhand ihrer Entwicklung sehr gut Fehler studieren, die während ihres Entwurfs gemacht wurden. Diese Fehler beziehen sich sowohl auf die äußere Umgebung (Software-Ergonomie bzw. Video-Ergonomie) als auch auf die innere Umgebung (die Programmierung). Jean BAUDRILLARD sieht sich nicht mehr mit den Schnittstellen der Produkte konfrontiert, sondern betrachtet sich selbst schon als Teil der virtuellen Maschinen und neuen Technologien: „Sie bilden mit mir einen integrierten Schaltkreis (dies ist das Prinzip des Interface). Groß- und Mikrocomputer, Fernsehen, Video und selbst der Fotoapparat sind wie Kontaktlinsen, durchsichtige Prothesen, die derart in den Körper integriert sind, daß sie fast schon genetisch zu ihm gehören [...]“⁵⁰

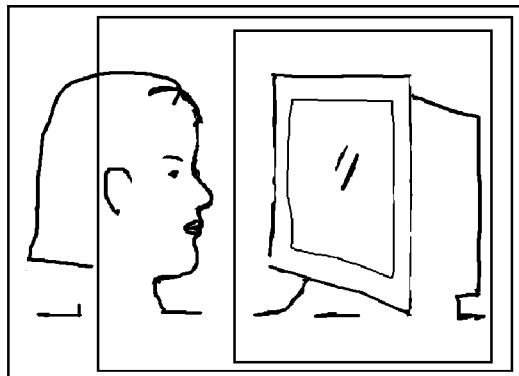


Abbildung 1.15: Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Wo fängt sie an? Wo hört sie auf?

Bemerkenswert ist, daß er die Schnittstelle damit nicht länger als außerhalb von ihm selbst lokalisiert; sie ist vielmehr hineingezogen worden in sein Inneres. Ein durch das Phänomen der *Immersion* gekennzeichnetes Designprodukt ist damit nicht mehr bestimmt als Ding außerhalb eines Nutzers. Die Gestaltung eines Artefakts bedeutet so nicht mehr die Gestaltung von Objekten, sondern von Subjekt/Objekt-Beziehungen⁵¹. „In der Verallgemeinerung heißt das: Jedes Produkt ist das, was für den Benutzer sinnlich wahrnehmbar wird, nämlich durch seine Benutzeroberfläche.“⁵² Design gestaltet so die Beziehungen des Menschen zu seiner Umwelt durch das „Fenster“ der Schnittstelle hindurch und dient der gerichteten Kanalisation dieser Beziehungen. Im Zusammenbringen von verschiedenen Schnittstellen ein und desselben Produkts kann eine Schwierigkeit des Entwerfens liegen,

⁵⁰ Jean [Baudrillard, 1989], S. 125.

⁵¹ Vgl. Holger van den [Boom, 1994] *Betrifft Design: Unterwegs zur Designwissenschaft in fünf Gedankengängen*, S. 103.

⁵² Bernhard E. Bürdek in seiner Rezension von *Unterwegs zur Designwissenschaft in fünf Gedankengängen* von Holger VAN DEN BOOM, in: *Form Diskurs, Zeitschrift für Design und Theorie*, 1/1996, S. 110.

so weist das Design von Automobilen, von außen oder von innen betrachtet, grundverschiedene Charakteristika auf.

1.2.5 Form und Zeichen (De-sign)

Die Scheidewand, die durch die Form in dieser Weise aufgerichtet wird, trennt zwischen den Dingen und ihrer Umwelt auf halbem Wege. Dergestalt betrachtet ist sie nur die Einhüllende, die Enveloppe des Objekts. Mattias GÖTZ bezeichnet diese Grenzschrift als den Schein:

„Jedes Objekt legt mit seiner Form, welche durch ihre Grenzen definiert ist, einen Schnitt durch den Raum seiner Umgebung und jedes ausgedehnte Objekt präsentiert als Dreidimensionales Oberflächen seiner selbst, die ‚innen‘ von ‚außen‘ oder auch ‚außen‘ von ‚außen‘ scheiden. Einen Gegenstand dieses Zustands und diesen Zustand selbst nennt man ‚Erscheinung‘; die Grenzflächen dieser Erscheinung als solcher seien Schein genannt.“ Michael [Götz, 1982]

Nach GÖTZ weisen gemachte Objekte einen geplanten Schein auf. Die Form entblößt sich demnach dem Betrachter als bloßer Schein. In seiner Dissertation mit dem Titel „Scheindesign: die Form und ihre Planung in semiotischer Sicht“ untersucht er die Zeichenfunktion einer solchen zum Schein gewordenen Form. Diese fungiert so als eines der Zeichen, mit der unsere Welt bedeckt ist. „Erkennen heißt also interpretieren: vom sichtbaren Zeichen zu dem dadurch Ausgedrückten gehen, das ohne das Zeichen stummes Wort, in den Dingen schlafend bliebe“.⁵³ Die Formen müssen damit vom Designer kodiert werden und von ihrem Konsumenten entziffert werden können. Die entworfene Form steht so als Zeichen zwischen den beiden und nimmt Bezug auf Drittes. Als Fundament zwischen den beiden fungiert die Kultur, die sie beide stützt. Sie bildet den Rahmen, innerhalb dessen sich die Kommunikation via Zeichen abspielt. Ein Designprodukt kann dabei, vom jeweiligen Kontext abhängig, eine Fülle von Zeichen präsentieren, so daß die Zeichenfülle bei der Rezeption durch das Sieb der Kultur gezogen wird. In der Aneinanderreihung der Zeichen wird die Form zu einer Sprache, zur sog. Formensprache. Die Form spricht so nicht nur einen in sie hineingesteckten Anforderungskatalog, sondern auch den gemeinsamen kulturellen Nenner zwischen Designer und Benutzer aus. Die Welt muß auch hier vorausgesetzt werden, um miteinander sprechen zu können.⁵⁴

Ein wesentlicher Faktor bei der Planung der Artefaktformen ist daher, zu erkennen, wie und was die Formen aussagen werden: „Indem sie untereinander in Beziehung stehen und durch ihre Stilisierung auf homologe Gestaltung hinweisen, bilden sie einen vollkommenen Formenkreis, eine optimale Verwirklichung dessen, was wesentlich im Menschen und in der Welt ist.“⁵⁵ Die Übersetzung der Aufgabenstellung in eine Formensprache, die der Anwender versteht, ist auf diese Weise die Aufgabe des formgebenden Designers. Er erzeugt Dokumente, deren Inhalt für von Menschen wahrnehmbare Formen sind.

Dazu ist es notwendig, die Konnotationen von Formen zu untersuchen. Jene sind die Funktionen, die bei der Vergegenwärtigung zum Zeichen gewordener Formen mitgedacht werden. Nach C. S. PEIRCE ist das Zeichen dem Bewußtsein etwas von außerhalb seiner selbst. Das, wofür es steht, nennt man sein Objekt und das, was es vermittelt, seine Bedeutung. Die Vorstellung, die es verursacht, nennt man seinen Interpretanten. In der Semiotik von Ferdinand DE SAUSSURE hingegen besteht ein Zeichen aus einem Signifikanten

⁵³ Michel [Foucault, 1999], *Die Ordnung der Dinge*, S. 63.

⁵⁴ Vgl. Johann Wolfgang v. Goethe: *Faust*; *Der Tragödie erster Teil*, 1223-1237; [Goethe, 1981], S. 37.

⁵⁵ Jean [Baudrillard, 1991], S. 62.

und einem Signifikat.⁵⁶ Beide werden durch eine Beziehung, die Referenz, zusammengehalten. Durch die Ambivalenz zwischen Signifikanten und Signifikat kommt es zu einer Zwei-Welten-Ontologie⁵⁷: hier die Welt der Zeichen, dort die Welt der materiellen Dinge – annähernd analog zur PLATONSchen Zwei-Welten-Theorie.

Der Designer bezeichnet den Inhalt mit seiner Form. Das Bezeichnete ist das Gemeinte, das Hineingezeichnete oder auch das mit der Form Gemeinte. Es bilden sich über die Zeichenfunktion Referenzen zu anderen Formen der Welt. Mit der inneren Form wird der Inhalt, das von innen heraus formende System, die notwendigen Wesenszusammenhänge, d.h. i.d.R. die funktionellen Zusammenhänge gemeint. Die äußere Form tritt dem Betrachter als Erscheinung entgegen. Designer determinieren dabei oft nur die äußere Form. Die innere Form wird bei den komplexeren Artefakten meist von Ingenieuren bestimmt. So betrachten Designer das Formproblem in der Regel von außen und Ingenieure von innen. Unter dieser zweigeteilten Sichtweise wird deutlich, daß die Form den Inhalt von außen her bestimmt, ebenso wie der Inhalt die Form von innen her bestimmt. Der Inhalt tritt dem Betrachter immer als geformter, und damit interpretierter Inhalt entgegen, während die Form immer inhaltliche Form ist⁵⁸: „Das, was die Form bezeichnet, ist die innere Form. Das, was Form annimmt, ist die äußere Form. Die Form stellt die Verbindung zwischen dem ‚personalen‘ und dem ‚objektivierten Geist‘ her, sie ist eine ‚Brücke zwischen Gegenstand und Sinn‘ und macht so den Gegenstand erst als sinnvolles Werk möglich.“⁵⁹ Die Vorschriften der Deutung eines Zeichens sind nicht exakt festgelegt. So wie aus der Erfindung der Schrift die sehr spezifischen Zwänge der Dekontextualisierung des Diskurses resultieren, so folgen jedoch auch aus der Gestaltung unser Produkte Vorschriften ihrer Deutung.

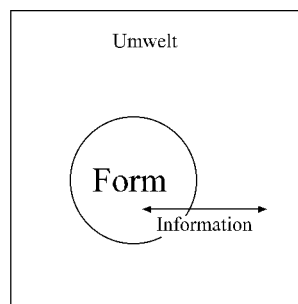


Abbildung 1.16: Die Form tauscht Information mit der Umwelt als dem die Information tragenden Kontext aus. Wieviel Information ist nötig, um diese Information zu verstehen?

1.2.6 Formensprache

„Die Erfindung sogar der einfachsten Adjektive muß mehr Metaphysik erfordert haben, als wir überhaupt begreifen können.“
Adam SMITH zitiert bei [Foucault, 1999, S. 121]

Als Fügung von bedeutungstragenden Einheiten oder sprachlichen Zeichen bildet sich eine übergeordnete Struktur auf höherer Organisationsebene; man spricht metaphorisch von einer Formensprache (bzw. Produktsprache). Man sagt, etwas sei auf einen Leib geschrieben. Eine formenverwandte Sprache, eine sprachverwandte Form oder Design als

⁵⁶ John STEWART zitiert bei Klaus [Krippendorff, 1998].

⁵⁷ Nach John STEWART zitiert bei Klaus [Krippendorff, 1998].

⁵⁸ Dazu: Wolfgang [Lörcher, 1972], S. 73.

⁵⁹ Wolfgang [Lörcher, 1972], S. 72.

Artikulation innerhalb einer Formensprache eröffnet einen weiteren Aspekt der Formen der Welt: Aus der Form entspinnt sich ein Dialog. Zusammengenommen kann man alle menschlichen Entwürfe als eine Kunstsprache betrachten. Sie verfügen über einen Symbolwortschatz, eine Grammatik zur Kombination von Symbolen zu zulässigen Ketten, über – freilich nicht ganz zwingende – Regeln zur Bestimmung bedeutungshaltiger Kombinationen von Symbolketten.⁶⁰ Die Formen weisen Referenzen aufeinander sowie auf uns auf; diese werden durch Informationen vermittelt. Die die Grundbedeutung eines Etwas begleitende Vorstellung bezeichnet man als Konnotation. Konnotation der Form heißt, daß sowohl das geformte Subjekt (z.B. das Designprodukt) als auch das Prädikat (etwa seine Funktion) für etwas, eine Entität, steht. Aus dieser Sichtweise kommt es darauf an, daß die Entitäten, für die ein jeweiliges Produkt des Designs steht, in Raum und Zeit identifiziert werden können.⁶¹ Aus dem Gewimmel der Welt werden einzelne Informationsabschnitte herausgeschnitten und, je nach Länge ihrer Beschreibung, als Entitäten miteinander in Verbindung gebracht. Die als seriell aneinander gesetzt betrachteten Entitäten bilden die sog. Formensprache – wahrscheinlich muß diese von den Individuen erlernt werden. Um im Entwurf Prägnanz zu erreichen, ist es nötig, möglichst starke sprachliche Verbindungen zwischen dem Produkt und seinen Funktionen zu erreichen. Die Konnotationen sind aus dieser Perspektive die Querverstrebungen, die sich innerhalb des Geistes bilden bzw. gebildet haben, wobei zum Verstehen einer Konnotation i.A. weitere Information vonnöten ist. Olaf WEBER unterscheidet dazu drei Bedeutungsebenen von Formen.⁶²

1. Ebene

Das Abbild der Eigenschaftsstruktur des materiellen Bedeutungsträgers ist die Bedeutung der Form (Denotation).

2. Ebene

Die Bedeutung der Form ist das Abbild der kulturellen Verhaltensnormen, Muster und Mythen, die von einer Form semantisch vertreten werden (Denotation und Konnotation).

3. Ebene

Die Bedeutung der Form kommt als Ergebnis subjektiver Assoziationsprozesse zustande (Konnotation).

Er stellt fest, daß Formen, deren Ausdruck zum Gebrauchswert tendieren, in der Hauptsache denotiert werden, und Formen, welche einen Kulturwert konstituieren, vorrangig konnotiert werden.

Die Informationstheorie untersucht, wieviel Information nötig ist, um eine andere Information zu verstehen. Nach Bernd Olaf KÜPPERS muß die verstehende Informationseinheit mindestens den Komplexitätsgrad der verstandenen Information aufweisen (siehe Abschnitt 2.2).⁶³ Die Informationen, die die Konnotationen herstellen, rühren in der Regel von früheren Erfahrungen her. Beispielsweise stellt man irgendwann fest, daß auf einer schiefen Ebene abgelegte Gegenstände herunterrutschen. Eine Konnotation von schiefen Ebenen (m.a.W. Flächen, die nicht Äquipotentialflächen des Gravitationspotentials sind) ist also das Auslösen von Bewegung. In diesem Falle teilt die „Schiefheit“ der Form mit: Es wird gleich etwas passieren, der Gegenstand rutscht erst und fällt womöglich. Dies ist ein sehr vereinfachter Fall, andere weit kompliziertere Szenarien sind denkbar. Jedoch

⁶⁰ Vgl. George A. [Miller, 1993], S. 251.

⁶¹ Vgl. [Tugendhat + Wolf, 1983], S. 86.

⁶² Olaf [Weber, 1994], S. 196.

⁶³ Bernd Olaf [Küppers, 1996].

beziehen sich Designformen in ihrer Wirkung auf die vom Nutzer mutmaßlich gemachten Vor-Erfahrungen. Daraus resultiert einerseits die Abhängigkeit vom Kulturkreis des Rezipienten – er bestimmt die Kohärenz der Zeichen zwischen den Individuen –, andererseits wiederum eine evolutionsmäßige Entwicklung der Designformen. Formen referieren so vormals gemachte Erfahrungen ebenso wie die physikalischen Gesetze, die diesen zugrundeliegen. Die Formen stellen die Verbindung von Konsequenzen dar; sie tragen die Eigenschaften weiter, durch die sie selbst getragen werden. Die Formfindung als artikulierendes Geschehen beschreibt Holger VAN DEN BOOM folgendermaßen:

„Wo der Töpfer einen Batzen Ton in eine irdene Form verwandelt, hat er die Welt als ganze thematisiert: Das Ringen um die eine Form macht alle Form verständlicher. Er hat auf den Formenreichtum der Welt eine Antwort gefunden: seine Form. Er hat ein Zeichen gesetzt. Wenn also in der Welt irgendeine verständliche Ordnung ist, muß diese von verwandter Art derjenigen sein, wie sie der Töpfer aufgrund seiner Arbeit im Gefäß sieht. Das weiß er dann schon mal, das gewährt Orientierung.“⁶⁴

Es spannen sich mit dem vorhergehenden zwei Beziehungen zu den Formen, die uns umgeben. Es sind dies die physikalischen Gesetze, aufgrund derer sie überhaupt existieren können, und unsere Erfahrungen, durch die wir die Gewohnheit gewonnen haben, viele verschiedene und ähnliche Dinge einzuteilen. In unserem Geist entspinnt sich ein mehrdimensionaler Raum von Identitäten, Ähnlichkeiten, Analogien und Differenzen auf. In einer extrem kurzen Zeitspanne können wir Verbindungen herstellen, etwa zwischen sich ähnelnden Formen, und daraus Schlüsse ziehen. Das Design eines Produkts erfordert, als sprachliche Äußerung betrachtet, eine wohldosierte Modulation seines Gesprochenen. In ihrem kulturellen Rahmen verlangen die Formen Eigenschaften wie z.B. syntaktische Richtigkeit. Das Produkt soll zum Konsumenten unter Berücksichtigung von Inhalts- und Beziehungsaspekt sprechen und sich idealerweise durch ein möglichst kurzes Gespräch selbst erklären. In der ideologisierenden Darstellung von Wolfgang Fritz HAUG verkommt dieses Gespräch zum – möglichst zwingenden – Verkaufsgespräch bzw. zum Kauf-Befehl. Berücksichtigt man die Leiblichkeit des Menschen, so bezeichnet man die Sprache der Formen auch als eine Art *Gestik der Dinge* – eine Gebärdensprache, die sich von Naturvorgängen her ableitet.

Die Interdependenz zwischen Ding und Sprache ist in jede Richtung mit einer hohen Komplexität verbunden. Der Aspekt der Produktsprache kann so zwar neue Blickwinkel eröffnen, aber, so wie man einen Sachverhalt unterschiedlich mit Worten ausdrücken kann, ist bislang keine eindeutige Zuordnung Form \rightarrow Ausdruck bzw. Form \rightarrow Wirkung möglich. Formen sind mehrfach kodiert. Eine Formensprache als System hätte eine Menge von Objekten zu umfassen, zwischen denen Beziehungen bestünden, und die Menge von bestehenden Beziehungen zwischen den Objekten (Elemente, Art und Anzahl der Beziehungen) hätten eine Struktur, die man untersuchen könnte. Es zeigen sich aber in dieser Art der Entwurfsbetrachtung weitere Aspekte auf, u.a. paradigmatische und syntagmatische Beziehungen, semantische und logische Form, die Teil-Ganzes-Relation usw. Auch spricht man hier von Produktsemantik. Aufgrund des Fehlens eines Regelsystems gegenständlicher Sprache bleiben wesentliche Fragen zum Formensprache-Konzept jedoch offen. Das Problem der Analysierbarkeit, der Herstellung eines Bedeutungszusammenhangs zwischen einer Gesamtform und den Bedeutungen seiner Teile spielt hier eine große Rolle.

⁶⁴Holger van den [Boom, 1987], *Digitale Ästhetik*, S. 35.

Nach Susan GOLDIN-MEADOW und Carolyn MYLANDER besitzen Menschen eine angeborene Fähigkeit zur Sprach- und Satzbildung, die unabhängig von der Kultur spezifischen Regeln gehorcht.⁶⁵ Nach Noam CHOMSKY haben alle menschlichen Sprachen eine *gemeinsame Form*.⁶⁶ Die Form von Sprachen muß nach CHOMSKY als artspezifisch und angeboren betrachtet werden. Sprache bildet als spontanes Bild ein Raster der Dinge. Bei der Formensprache ist festzustellen, daß sie, wie jede andere Sprache auch, hierarchisch aufgebaut ist. Je nach Länge nennt man die Segmente sprachlicher Informationen Buchstabe, Wort, Satz, Text etc. Die Kombination dieser informationstheoretischen Brocken bildet Strukturen, die durch das grammatische Muster vorgeprägt sind: „Wir reden zwar z.B. mehr oder weniger metaphorisch von der Grammatik der industriellen Form, ohne dabei jedoch ausdrücklich anzuerkennen, daß die linguistische Grammatik-Theorie ja einen ganz eigenen morphologischen, syntaktischen und semantischen Formbegriff entwickelt, der mit dem einer Begrenzungsfläche zunächst nichts zu tun hat.“⁶⁷ Eine Grammatik der Formen aufzustellen, erweist sich als schwierig. Formen bilden zwar einerseits eine *lingua general*, mit der sich alle Menschen untereinander auf irgendeine Weise unterhalten können, aber andererseits kann ein und derselbe Sachverhalt auch auf verschiedene Weisen ausgesagt werden. Das Problem beim Aufstellen einer solchen *Grammatik der Form* dürfte sein, daß eine Eindeutigkeit bzw. Beschränktheit der Zuordnung Signifikant \Rightarrow Signifikat weder in die eine noch in die andere Richtung existiert. Die Formensprache bildet so eine eher probabilistische Struktur. „Die Struktur ist jene Bezeichnung des Sichtbaren, die ihm in einer Art prälinguistischen Wahl gestattet, sich in die Sprache zu transkribieren.“⁶⁸ Zur Entstehung einer Struktur lassen sich drei Punkte angeben:⁶⁹

- Es existiert eine Menge von Gegenständen, zwischen denen eine Beziehung besteht.
- Die Verknüpfungen von Gegenständen lassen ein System erkennen.
- Die Menge der Beziehungen zwischen den Gegenständen macht die Struktur aus.

Motiviert durch die Globalisierung versucht die Industrie zunehmend, sich diese interkontinentale Formensprache anzueignen bzw. eine solche durchzusetzen. Als Beispiel für die Querverstrebung zwischen Sprache und Ding sei hier die aktuelle, extrem erfolgreiche LKW-Produktreihe der Daimler-Chrysler AG genannt. Dies betrifft die Abbildung Form \rightarrow Sprache: Die Beziehung zwischen bezeichnetem Objekt und kommunikativer Bezeichnung wird hier durch den Namen *Actros* ausgedrückt. Der Kunstbegriff, der durch Spezialisten kreiert wurde, verbindet klassische Vorbilder aus der griechisch-römischen Disziplin mit den modernen Sprachassoziationen aus dem anglo-amerikanischen Raum. *Actros* scheint sehr gut mit unserer Einbildungskraft bezüglich eines vollständigen Wortes für einen Lastkraftwagen übereinzustimmen. Solche verkürzenden Bezeichnungen entwickelten sich offenbar häufig erst über einen gewissen Zeitraum hinweg, beispielweise lautet der Name für Motorrad in der Patentbeschreibung „Reitwagen für Petroleumkraftstoff“. Heute werden Produkt und Bezeichnung oft gleichzeitig auf den Markt gebracht (Beispiel: Walkman von Sony).

Sprachbewußtsein und Objektbewußtsein sind aneinander gekoppelt.⁷⁰ Sprache und Kunst bilden eine an sich bestehende Wirklichkeit nach. Sie bilden nach Ernst CASSIRER aber auch vor, weil sie bestimmte Weisen der Objektivierung sind.⁷¹ Demnach muß alles

⁶⁵In: Alfred [Hückler, 2000], S. 14.

⁶⁶*Ebenda*.

⁶⁷Holger van den [Boom, 2000], *Prolegomena*, S. 7.

⁶⁸Michel [Foucault, 1999], S. 180.

⁶⁹Dieter [Kastovsky, 1982] nennt diese drei Punkte im Kontext sprachlicher Strukturen, S. 273.

⁷⁰Ernst [Cassirer, 1961b], S. 15.

⁷¹Ernst [Cassirer, 1961b], S. 30.

unformulierte Denken im Entwurfsprozeß in Worte gefaßt werden, so daß gewissermaßen zwei Strukturen zur Deckung gebracht werden müssen: die der Sprache und die des Denkens. Ernst CASSIRER formuliert: „Die Sprache ist also keineswegs lediglich Entfernung von uns selbst; sie ist vielmehr, gleich der Kunst und gleich jeder anderen ‚symbolischen Form‘, ein Weg zu uns selbst; sie ist produktiv in dem Sinne, daß sich durch sie unser Ichbewußtsein und Selbstbewußtsein erst konstituiert.“⁷² Nach Wilhelm VON HUMBOLDT gilt, daß sich in jeder Sprachform eine eigene Weltansicht ausdrückt.⁷³

In den verschiedenen Sprachen gibt es unterschiedliche Entsprechungen für Formen. So gibt es beispielsweise für den einen deutschen Begriff „Ecke“ im Spanischen zwei: Die eingezogene negative Ecke wird bezeichnet mit *rincón*, und die Ecke außen heißt *esquina*. Eine interessante Frage ist, inwiefern diese sprachlichen Differenzen Einfluß nehmen auf die Apperzeption. Aber auch umgekehrt beeinflussen Formen die Sprache z.B. Onomatopöie. Eine weitere Form der Wechselwirkung von sprachlicher und dinglicher Form zeigt sich z.B. am Wort „Zickzack“. Hier spiegelt sich seine Bedeutung gleich mehrfach in der geschriebenen sowie auch der gesprochenen Form wider. Zickzack ist in hohem Maße selbstähnlich und damit selbsterklärend. Dies mag der Grund für den Erfolg des Wortes sein, denn im Französischen und Englischen heißt es *zigzag*.

Innerhalb einer gesprochenen oder geschriebenen Sprache müssen Inhalte Teil für Teil in einer linearen Ordnung angelegt werden und können nicht mit einem Schlag in einer Totalität dargestellt werden. Die strukturelle Beschreibung einer Sprache umfaßt Operationen wie Segmentierung und Klassifizierung. Indem die einzelnen bedeutungstragenden Teile einer Sprache isoliert werden, und die Beziehungen, die sich zwischen den Einheiten ergeben, untersucht werden, kann die phonologische und grammatische Struktur einer Sprache entdeckt werden.⁷⁴ Das analytische Verfahren reicht dabei von konkreten, längeren Äußerungen bis hin zu den kleinsten *bedeutungsunterscheidenden* Einheiten der Sprache.⁷⁵ In der Genetik vergleicht man den Aufbau der DNA (die zur Entfaltung von Formen führt) analog zum Aufbau von Sprachen. Die Form des Genotyps ist gewissermaßen formuliert in der Sprache der DNA.⁷⁶ Aus den Grundbausteinen A,U(T),G,C wird in der Doppelhelix der Text des Bauplans festgehalten. Die Analogien zwischen Sprache und DNA sind in der Reihenfolge der Hierarchie vom Einfachen zum Komplexen folgende:

- Nukleotid/Buchstabe, Morph
- Codon/Phonem (Morphem)
- Gen/Wort
- Scripton/Satz
- Replicon/Sektion
- Chromosom/Kapitel
- Genom/Text.

⁷²Ernst [Cassirer, 1961b], S. 54.

⁷³So Ernst [Cassirer, 1961b], S. 60 ff. HUMBOLDTs Auffassung, in jeder Sprache sei eine besondere Weltansicht begründet, findet sich in der Einleitung zu seinem Werk „Über die Kawi-Sprache auf der Insel Java“, 3 Bände, 1836-40.

⁷⁴Dieter [Kastovsky, 1982], S. 242.

⁷⁵*Ebenda*.

⁷⁶Murray [Gell-Mann, 1995] spricht sogar von einer kulturellen DNS als Gesamtheit aller kulturellen Informationen; *ebenda*, S. 408 ff.

Als Form des Wissens gibt es eine Verbindung zwischen der Theorie der Klassifikation der Natur und denen der Sprache. Eine Segmentierung liefert Einheiten, die jeweils in Art und Umfang unterschiedliche Bedeutung tragen. Das Ziel einer strukturellen Untersuchung einer Formensprache muß sein, die kleinsten bedeutungstragenden Einheiten des Systems zu finden. Hat man einen Kandidaten gefunden, muß man die Fragen stellen, (a) ob er überhaupt eine Einheit darstellt, und (b) ob er die kleinste bedeutungstragende Einheit ist. Wenn man ein Segment fände, das innerhalb dieses Systems als bedeutungstragende Einheit definierbar ist und nicht weiter innerhalb des Systems zerlegbar ist, so wäre der Weg frei für eine wissenschaftliche Beschreibung der Formensprache. Diesen Segmenten müßte man dann auch eine gewisse „Lebensdauer“ zuweisen: „Denn wie jede Sprache einen bestimmten Wortschatz aufweist, den sie nicht im Augenblick erschafft, sondern über den sie als einen festen Besitz verfügt, so gilt das gleiche auch für alle Arten bildender Tätigkeit.“⁷⁷ Ob Formen ein synchrones Sprachsystem bilden, ist aber aus heutiger Sicht zumindest fraglich, da die Beziehungen zwischen den Segmentierungen nicht uneindeutig sind. Dies ist bei anderen Sprachen auch nur annähernd der Fall. Festzuhalten bleibt, daß Formen die wesentliche Funktion der Sprache, die Übermittlung von Nachrichten, auszuüben in der Lage sind. Der Mathematiker und Logiker Gottlob FREGE vergleicht die Sprache als logisches Gefüge mit der Hand:

„Die Sprache kann in dieser Hinsicht mit der Hand verglichen werden, die uns trotz ihrer Fähigkeit, sich den verschiedensten Aufgaben anzupassen, nicht genügt. Wir schaffen uns künstliche Hände, Werkzeuge für besondere Zwecke, die genau so arbeiten, wie die Hand es nicht vermöchte. Und wodurch wird diese Genauigkeit möglich? Durch eben die Starrheit, die Unveränderlichkeit der Teile, deren Mangel die Hand so vielseitig geschickt macht. So genügt auch die Wortsprache nicht. Wir bedürfen eines Ganzen von Zeichen, aus dem jede Vieldeutigkeit verbannt ist, dessen strenger logischer Form der Inhalt nicht entschlüpfen kann.“

Gottlob [Frege, 1991]

Fazit

Die Designwissenschaft kann über den Gegenstand der Form ihr Wissen formulieren. Der Begriff Form impliziert dabei eine gewisse Ordnung, die im Falle der artefaktischen Formentstehung durch eine Folge von Entscheidungen entsteht. Der Akt der Unterscheidung definiert eine Einheit, eine Entität, an deren Schnittstelle sich die innere und äußere Umgebung des Artefakts treffen. Die Schnittstelle steht als Kombination von Zeichen zwischen Designer und Rezipient. Im allgemeinen ist Entwerfen ein Syntheseproblem: Anfangs- und Zielzustand sind bekannt, wenn auch zumeist vage formuliert. Die Menge der Operationen, die den Anfangszustand in den Endzustand überführen, sind dagegen unbekannt. Beobachtung, Rückkopplung und selektive Information sind wesentliche Momente im Syntheseprozess der Form.

Die Zeichen bzw. Konnotationen der Formen lassen sich in serieller Betrachtungsweise zu einer Formensprache hin entwickelt betrachten. Die Analyse einer solchen Sprache wird aufgrund ihrer Multidimensionalität mit einer hohen Komplexität belastet. Durch unsere Sprache als eine Struktur unseres Erkenntnis ist ein Teil unseres Empfindens und Vorstellens der Form von Dingen bedingt. Die Formulierung der Aufgabe im Entwurfsprozess bildet die Präzeption der zu erschaffenden Gestalt.

⁷⁷Ernst [Cassirer, 1961b], S. 116.

Kapitel 2

Inhärenz der Komplexität

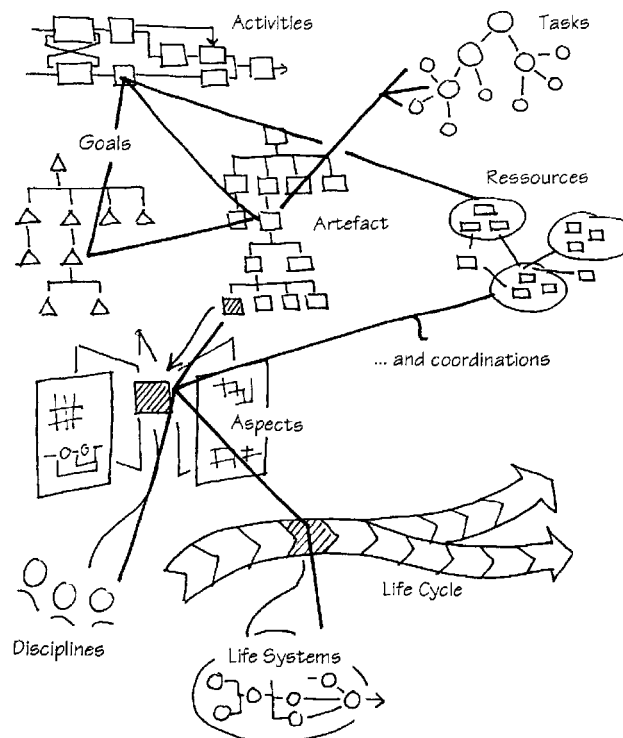


Abbildung 2.1: *Design Co-ordination Framework* nach ANDREASEN und DUFFY.

„Gott würfelt nicht“, soll Albert Einstein einmal gesagt haben. Er war davon überzeugt, daß es eine sehr einfache Erklärung für die Naturgesetze geben müsse, da Gott nicht launisch oder willkürlich sein könne. Die Einfachheit der Lösungen, die auch in der Physik noch nicht erwiesen ist, trifft auf Designprobleme nur ausnahmsweise zu. Horst RITTEL bezeichnet Planungsprobleme – und damit Designprobleme – als *inhärent böse*. Die Informationen, die nötig sind, um das Problem zu *verstehen*, hängen bereits von der jeweiligen Vorstellung ab, wie es zu *lösen* sei.¹ Meist muß der Designer mit einer hohen Komplexität umgehen – mit willkürlicher Komplexität – im Gegensatz zur natürlichen Komplexität. Warum die Komplexität eine wesentliche Eigenschaft aller großen Entwurfsaufgaben ist, soll in diesem Kapitel dargestellt werden.

¹Horst [Rittel, 1992], S. 22 ff.

2.1 Entwurfskomplexität

Komplexität ist gewissermaßen eine Steigerungsform von Kompliziertheit. Man verwendet diesen Begriff zur Darstellung einer unüberschaubaren Vielfalt von Merkmalen und Zusammenhängen in einem System. Für Christopher ALEXANDER resultiert die Komplexität des Entwerfens aus einer Anzahl von komplementären Forderungen an das zu entwickelnde Produkt, die mithin sehr groß werden kann [Alexander, 1964]. Der Designer steht vor der Aufgabe, eine Reihe von miteinander konkurrierenden Eigenschaften in einem für sich stehenden Artefakt kondensieren zu lassen. Diese jeweiligen Formideen besitzen untereinander eine Menge Querverbindungen. Abbildung 2.2 zeigt ein typisches Designproblem nach Christopher ALEXANDER. Die Forderungen an das Produkt werden mehrdimensional dargestellt. Die einzelnen Entwurfsdimensionen bilden das Erzeugendensystem des Entwurfskonzepts.

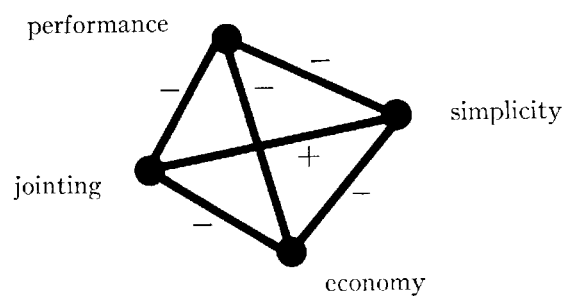


Abbildung 2.2: Designproblem nach Christopher ALEXANDER.

“This is a typical design problem; it has requirements which have to be met; and there are interactions between the requirements, which makes the requirements hard to meet. This problem is simple to solve. It falls easily within the compass of a single man’s intuition. But what a more complicated problem? Consider the task of designing a complete environment for a million people...”

Christopher [Alexander, 1964]

Es gibt Forderungen an Artefakte, die sich positiv zueinander verhalten; ebenso gibt solche, die sich widersprechen oder nur schwer miteinander zu vereinbaren sind. An die Stelle der Unabhängigkeit tritt die Erfahrung einer möglichen Abhängigkeit der Entwurfsparameter voneinander. Nach Siegfried MASER hat dies „wesentlich zur Erstellung von Simulationsmodellen geführt, die versuchen, Probleme möglichst als Ganzes zu erfassen [...]. Diese Abhängigkeit schließt gleichzeitig eine bloße Addition von Wissen aus und führt so zu der Forderung nach interdisziplinärer Problemlösung.“² Das entscheidende Charakteristikum der heutigen, industriell gefertigten Artefakte ist, daß es für den einzelnen Entwickler sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich ist, alle Feinheiten des Designproblems zu verstehen. Die Probleme, die das Design aufwirft, beinhalten hierbei oft Elemente unvermeidbarer Komplexität: Die Anzahl konkurrierender oder sich widersprechender Anforderungen ist mitunter sehr hoch. Deutlich wird dies, wenn man sich etwa die Anforderungen für die Schnittstelle Mensch/Maschine in der Schaltzentrale eines Kernkraftwerks vor Augen führt. Schon die bloße Funktionalität eines solchen Systems ist schwierig zu verstehen, jedoch wird dies durch die nicht-funktionalen Anforderungen überstiegen, wie: Zuverlässigkeit, Handhabung, Performance, Kosten, Konkurrenzfähigkeit und wirtschaftlicher Nutzen. Dergestaltige Elemente des Designprozesses zeigt Abbildung 2.1

²Siegfried [Maser, 1972b], S. 27.

in der Darstellung von ANDREASEN und DUFFY. Sie zeigt das Artefakt, verwoben in einem Netz aus verschiedenen Aktivitäten, Fragen und Zielen, Ressourcen, Koordinationen, Disziplinen, Lebenssystemen und -zyklen, so daß die entsprechenden Querverstrebungen nur schwer zu durchschauen sind.

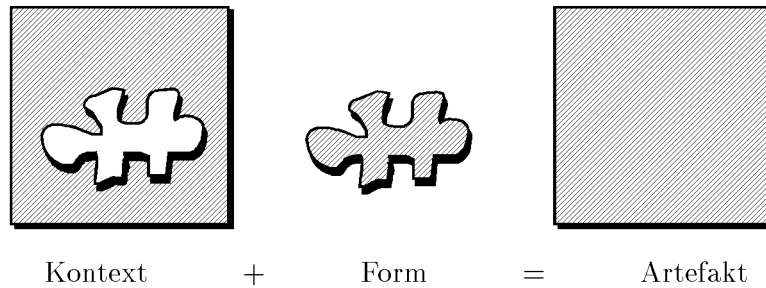


Abbildung 2.3: Fitting, Form und Kontext bilden ein Artefakt.

2.1.1 Komplexität nach Flood

Zur Erklärung des Begriffs der Komplexität soll hier das Schema nach Robert FLOOD vorgestellt werden [Flood, 1987], wie es Abbildung 2.4 zeigt. Der Komplexitätsbegriff (er-

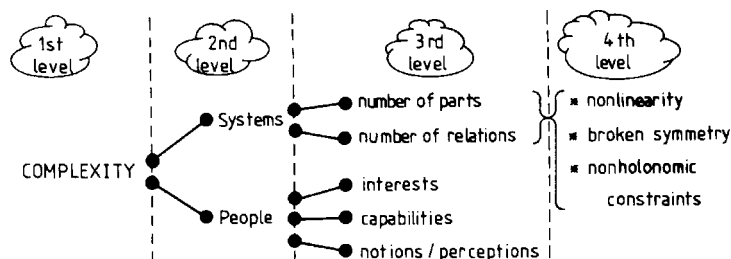


Abbildung 2.4: Komplexitätsbegriff nach FLOOD.

ste Ebene) wird hier, ausgehend vom Begriffspaar Mensch – System (zweite Ebene), auf insgesamt vier Ebenen differenziert dargestellt. Auf der dritten Ebene bergen die Teile und die Beziehungen untereinander eine immense kombinatorische Vielfalt, so daß sie sich dem unmittelbaren Verständnis des Betrachters entziehen. Das Geflecht aus Teilen und Beziehungen wirkt auf ihn kontra-intuitiv. Der Mensch verliert sich in den Teilen und kann hier nur durch selektive Wahrnehmung zu einem partiellen Systemverständnis gelangen (die Interessen, Fähigkeiten, Vorstellungen und das Vorwissen des Betrachters bilden hier gewissermaßen ein Filter). Auf der vierten Ebene der Analyse entlang der System-Differenzierung in Bild 2.4 nennt FLOOD weitere Faktoren, die maßgeblich zu einer hohen Komplexität führen:

- Nichtlineare Dynamik

Im Gegensatz zum linearen Fall ist die Beschreibung des dynamischen Verhaltens von nichtlinearen Systeme bei weitem schwieriger. Die Dynamik linearer Systeme zeichnet sich im allgemeinen dadurch aus, daß leicht verschiedene Anfangszustände auf

denselben eingeschwungenen Endzustand übergehen, ohne ein instabiles Verhalten zu zeigen.

Das Verhalten nichtlinearer Systeme dagegen ist schwerer zu fassen: Hier hängt der Endzustand äußerst empfindlich vom Anfangszustand des Systems ab, und ein instabiles Verhalten ist prinzipiell möglich. Die Wirkungen hängen in diesem Falle nicht geradlinig von den Ursachen ab. Dies gilt selbst dann, wenn die das System beschreibenden Gleichungen vollständig deterministischer Art sind. Das diesem Zu- grundeliegende ist das Bild der schwachen Kausalität: Gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen. Die Wirkungen beeinflussen mitunter ihre Ursachen und können zu sich selbst verstärkenden oder vernichtenden Prozessen führen. Unsere intuitive Erwartungen werden dann von der nichtlinearen Dynamik durchkreuzt.

- Gebrochene Symmetrien

Gebrochene Symmetrien potenzieren den Informationsbedarf für Entwurf und Konstruktion. Hier können einmalig auftretende Teilstrukturen nicht planmäßig wiederverwendet werden (Layoutsymmetrien), und das Verständnis für die Gesamtstruktur wird erheblich erschwert. Solche gebrochenen Symmetrien treten z.B. in biologischen Systemen durch differenziertes Zellwachstum auf. Auch wird ein komplexer Organismus hierdurch von einer bloßen Aneinanderreihung von Zellen unterschieden.

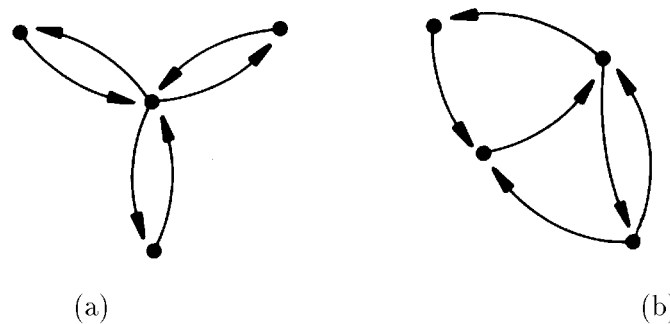


Abbildung 2.5: Zwei mögliche Konfigurationen für ein Kommunikations-System mit vier Knoten (a) symmetrisch und (b) asymmetrisch nach [Flood, 1987b, S. 177-185].

- Nichtholonome Constraints (griech. holos = ganz, nomos = Gesetz)

Von holonomen Zwangsbedingungen spricht man in der klassischen physikalischen Mechanik, wenn ein System durch Gleichungen beschrieben werden kann, die die Koordinaten der Teilchen und die Zeit in Beziehung setzen. Diese Gleichungen müssen die Form

$$f(r_1, r_2, r_3, \dots, t) = 0 \quad (2.1)$$

besitzen, wobei jene r_i die Koordinaten und t die Zeit bedeuten. Holonome Zwangsbedingungen ermöglichen die Einführung von generalisierten Koordinaten bei der Beschreibung eines Problems und damit zumindest eine subjektive Reduktion der Komplexität. Zwangsbedingungen, die nicht in dieser Weise dargestellt werden können, sind demzufolge nichtholonome. Sie können jedoch u.U. als Ungleichung dargestellt werden. Beispielsweise können die Zwangsbedingungen für ein Teilchen, das auf die Oberfläche einer Kugel gesetzt wird, durch die Ungleichung

$$r^2 - a^2 \geq 0 \quad (2.2)$$

mit a als Radius der Kugel und r als Koordinate beschrieben werden. So wird ein Teilchen, das in einem Gravitationsfeld auf die oberste Stelle der Kugel gesetzt wird, schließlich bis zum Äquator die Oberfläche herunterrollen und dann herabfallen.³ In welche Richtung, von oben betrachtet, weiß man dabei nicht. Solche Systemeigenschaften bergen daher die Unwägbarkeit eines lokal unkontrollierbaren Verhaltens; sie bleiben in praxi meist unberechenbar.

Die Dimensionen von Komplexität, so wie sie Robert FLOOD vorstellt, sind primär qualitativ. Sie sollen dem Grundverständnis und der Beurteilung komplexer Systeme dienen. Die aufgezeigten Aspekte sind jedoch von grundsätzlicher Bedeutung für den Designprozeß. Die entscheidende Rolle spielt hier sicher die vierte Zerlegungsebene der Komplexität; so erlauben erst Layoutsymmetrien und der arbeitsteilige, lokal isolierte Teilentwurf auf Bausteinebene die Höchstintegration etwa elektronischer Schaltungen. Auch die Softwaretechnik erkennt im (objektorientierten) Bausteinentwurf das Potential der Wiederverwendung: *Megaprogramming* ist hier das Schlagwort.⁴

2.1.2 Der Aufbau komplexer Systeme nach Courtois

Komplexen Systemen liegen gemeinsame Systemeigenschaften zugrunde. P.-J. COURTOIS nennt unter Bezugnahme auf die Arbeiten von Herbert SIMON und Albert ANDO fünf gemeinsame Attribute komplexer Systeme:

1. Hierarchie

Komplexe Systeme bestehen aus einer Schichtung von Subsystemen, die wiederum aus Subsystemen aufgebaut sein können, bis die unterste Ebene der Elementarkomponenten erreicht ist (Abb. 2.6 u. 2.7).

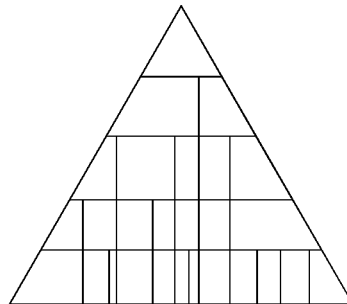


Abbildung 2.6: Beispiel einer pyramidalen Systemhierarchie.

2. Willkürlichkeit der Elementarkomponenten

Die Wahl der Elementarkomponenten ist willkürlich und hängt vom individuellen Standpunkt des Beobachters ab, woraus unter anderem das Willkürliche der Komplexität resultiert.

3. Frequenzabhängigkeit

Die Relationen zwischen den Subsystemen sind im allgemeinen schwächer als die, die sich innerhalb der einzelnen Komponenten bilden. Aus der unterschiedlichen Kopplungsstärke resultiert eine Frequenzabhängigkeit: Innerhalb der Komponenten ist ein hochfrequentes Verhalten festzustellen und außerhalb, in der Beziehung zwischen den Subsystemen, niederfrequentes Verhalten. Dies entspricht den Vorgängen, wie sie aus

³Vgl. Herbert [Goldstein, 1989], *Klassische Mechanik*, S. 12.

⁴[Boehm & Scherlin, 1987]; Johnson (*et al.*), 1992, zitiert in: [Quibeldey-Cirkel, 1994].

der Physik gekoppelter Systeme bekannt sind, so daß sich hier weitreichende Parallelen ziehen lassen.

4. Vielfalt aus Einfachheit

Hierarchische Systeme setzen sich meist aus nur wenigen Arten von Subsystemen in zahlreichen Anordnungen und Kombinationen zusammen.

5. Evolutionärer Ursprung

Ein komplexes System hat sich mit *Sicherheit*⁵ aus einem einfachen System über stabile Zwischenstufen entwickelt. Zudem hat sich ein stabiles, komplexes System mit Sicherheit aus einem einfacheren System entwickelt, das funktioniert: „Ein komplexes System, das von Grund auf neu entworfen wird, funktioniert niemals und kann auch nicht dazu gebracht werden, zu funktionieren.“⁶ Dies hat zur Folge, daß man beim Entwerfen schließlich wieder von vorn anfangen und mit einem einfachen und funktionierenden System beginnen muß.

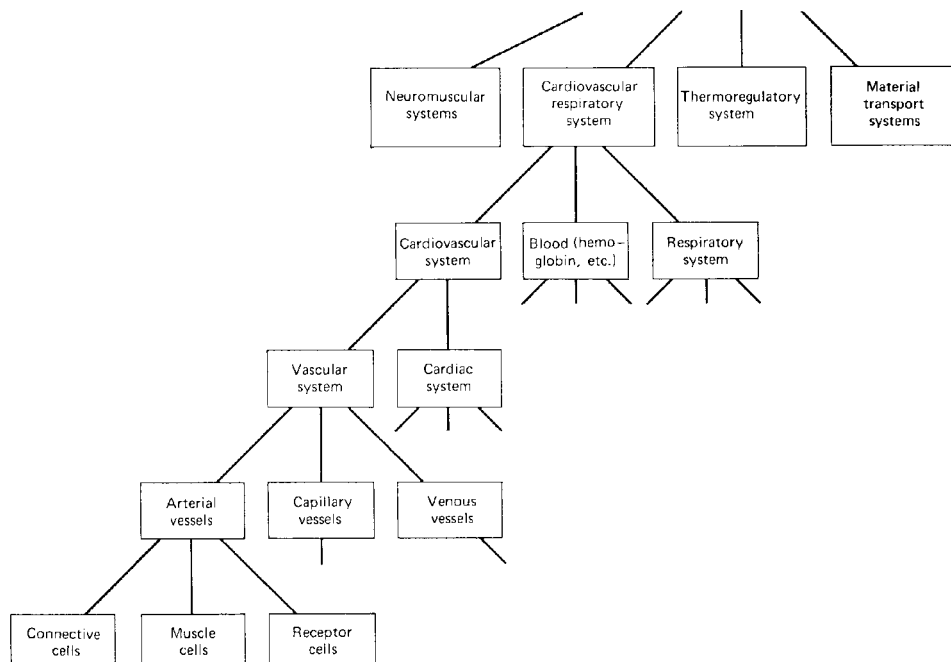


Abbildung 2.7: Herz-Atmungs-System-Hierarchie nach John H. MILSUM.

Die Genese der Formen, die sich hier als komplexe Systeme denken lassen, ist die Verbindung mehr oder weniger gleichartiger Teile zu immer komplexeren Gebilden. Im systemtheoretischen Sinne ist das Ganze mehr als die Summe seiner Teile. Dieses „Mehr“ ist, wenn man so will, gerade die Komplexität des Systems. Das Verständnis für ein komplexes Gesamtsystem läßt sich jedoch meist nur über seine Teile erschließen. Dergestalt sind Systeme nicht nur hierarchisch angeordnet. Die Ebenen dieser Hierarchie stellen auch unterschiedliche Abstraktionsebenen dar, die aufeinander aufbauen und welche doch jede für sich betrachtet werden kann.⁷ Auf jeder Abstraktionsebene findet man eine Reihe von Funktionseinheiten, die zusammenarbeiten, um den höheren Ebenen bestimmte Unterstützungen zur Verfügung zu stellen. Entsprechend der aktuellen Anforderungen wählt

⁵Herbert [Simon, 1990], S. 149 ff.

⁶J. [Gall, 1986], S. 65, zitiert in: [Booch, 1994], S. 28.

⁷Grady [Booch, 1994], S. 24.

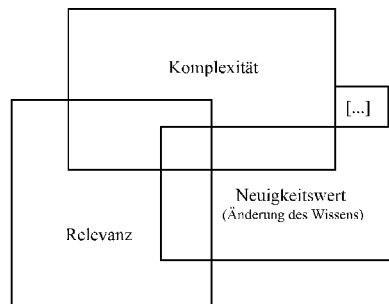


Abbildung 2.8: Komplexität ist eine Komponente einer Information. Dazu gibt es andere Eigenschaften, wie Relevanz oder Neuigkeitswert. Gemeinhin kann von einem erkennenden Subjekt hierbei jeweils nur eine Teilmenge erfaßt werden.

man im Entwurf eine bestimmte Abstraktionsebene. Nach P.-J. Courtois ist das Design eines komplexen Systems durch Festlegung der Elementarkomponenten und deren Anordnung in einer Hierarchie gekennzeichnet. Der Aufbau des Systems, der in diesem Zusammenhang gelegentlich auch seine Architektur genannt wird, beginnt mit einer einfachen Ordnung und evolviert schließlich zu einer komplexen. Design erscheint erst zum Schluß als das Endprodukt eines solchen Designprozesses.

2.2 Komplexitätsbestimmung

“To the neurophysiologist the brain, as a feltwork of fibers and a soup of enzymes, is certainly complex; and equally the transmission of a detailed description of it would require much time. To a butcher the brain is simple, for he has to distinguish it from only about thirty other ‘meats’, so not more than $\log_2(30)$, i.e. about 5 bits, are involved” (zitiert nach [Klir, 1985].)

Die Frage, was man eigentlich unter den gegensätzlichen Begriffen Einfachheit und Komplexität versteht, ist, wie aus diesem illustrativen Zitat hervorgeht, nicht leicht zu beantworten: „Wahrscheinlich reicht ein einziger Komplexitätsbegriff nicht aus, um unsere intuitiven Vorstellungen von der Bedeutung des Wortes angemessen wiederzugeben. Vielleicht müssen wir mehrere Arten von Komplexität definieren, von denen wir uns einige noch nicht einmal vorstellen können.“⁸ In der Informatik wird die Komplexität häufig als proportional zu der Rechenzeit betrachtet, die ein Computer zur Lösung eines bestimmten Problems benötigt. Diese Zeit hängt natürlich von der Wahl des Rechners ab; sie ist somit vom Kontext abhängig. Die Abhängigkeit vom Kontext taucht dergestalt immer wieder auf, versucht man verschiedene Arten der Komplexität zu definieren. Das Kontra-intuitive der Komplexität manifestiert sich in der Betrachtung der Komplexität selbst. Dabei ist dies wohl nicht aufgrund quantitativer Eigenschaften so, es mag vielmehr an der Unnatur der Entwürfe und der Fülle möglicher Perspektiven und Modellvorstellungen liegen. Komplexität ist eng verwoben mit Information oder genauer: mit der Darstellung von Information.⁹

2.2.1 Deskriptive Komplexität

Zwei allgemeine Prinzipien *deskriptiver* Komplexität lassen sich unterscheiden: Entweder ist die Komplexität zur Informationsmenge proportional, die (a) erforderlich ist, um ein System hinreichend zu beschreiben oder um (b) eine Unsicherheit (Ungewissheit oder

⁸So der „Erfinder“ der Quarks und Nobelpreisträger Murray [Gell-Mann, 1995], S. 66.

⁹Vgl. [Quibeldey-Cirkel, 1994], S. 13.

Ungenauigkeit) in der Systembeschreibung auszuschließen. Die beiden Prinzipien sind einander gegenläufig. Während sich im ersten Fall als einheitliche Größe für die Komplexität die *Länge der Beschreibung* (KOLMOGOROFF, CHAITIN) angeben läßt, stützt sich das zweite, das Ausschlußprinzip (BAR-HILLEL, CARNAP), eher auf die allgemeine Maßeinheit der Unbestimmtheit, die Entropie S :

$$S = k \ln[w] \quad (2.3)$$

Hierbei ist k die (normierende) Boltzmannkonstante und w die Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Zustand. Die Entropie ist nur dann ein nützliches Konzept, wenn die kleinsten Komponenten – die „Grobkörnigkeit“ – des betrachteten Systems festliegen, so daß bestimmte Arten von Informationen als bedeutsam angesehen werden, der Rest der Informationen aber als unwichtig gilt und ignoriert wird (semantisch abgeschlossenes System). Die Gliederungstiefe, bis zu der ein System beschrieben wird, wirkt sich auf die Höhe der zuzuordnenden Entropie aus. Eine uneingeschränkte Gliederungstiefe führt zu einer willkürlichen Komplexität, so daß sich in dieser Konsequenz irgendwann alle Entwürfe sowie alle Fragen als komplex erweisen.

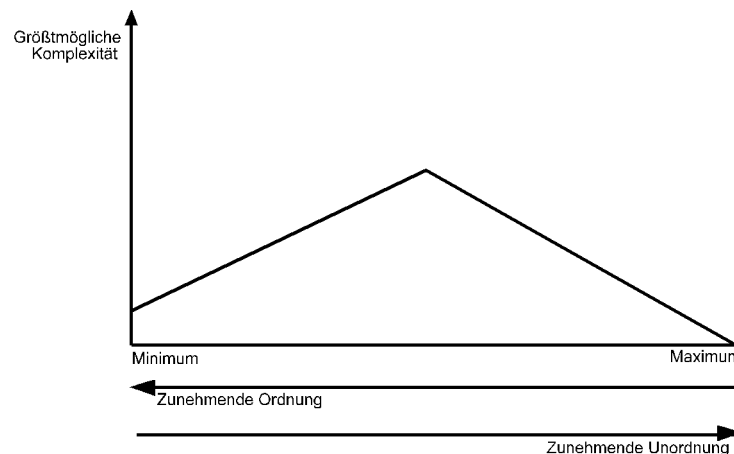


Abbildung 2.9: Variation der effektiven Komplexität mit dem AIC nach [Gell-Mann, 1995].

Im genannten Fall (a) bemißt sich das Komplexitätsmaß nach KOLMOGOROFF und CHAITIN an der Länge der kürzesten unregelmäßigen Folge, die zur Beschreibung eines Sachverhalts noch geeignet ist. Zufällige Zeichenfolgen, die keinerlei Regelmäßigkeiten aufweisen, zeichnen sich dadurch aus, daß sie durch keinen Algorithmus komprimierbar sind. Sie tragen somit eine *maximale* deskriptive Komplexität in sich. Die Beschaffenheit der Relation zwischen Inhalt und Komplexität entscheidet darüber, ob die Komplexität durch eine algorithmische Kompression herabgesetzt werden kann. Murray GELL-MANN verwendet zur Messung der Komplexität eines Systems den algorithmischen Informationsgehalt AIC (*algorithmic information content*). Dieser gibt die Länge der prägnanten Beschreibung der Regelmäßigkeiten eines Systems an. Der AIC ist bei einer Zufallsfolge maximal. Die *effektive Komplexität*, die ein Beobachter einer Zufallsfolge zuschreiben würde, ist dabei nach Murray GELL-MANN jedoch nicht maximal, sondern Null, da das einzige Schema, das ein beobachtendes System ihr zuweisen würde, die Länge Null haben sollte.¹⁰ Bei einer vollkommen regelmäßigen Folge liegt die Länge der kürzesten Beschreibung ebenfalls sehr nahe bei Null. Sein Maximum erreicht die effektive Komplexität, so wie sie von einem beobachtenden System wahrgenommen würde, im Zwischenbereich zwischen völliger

¹⁰Murray [Gell-Mann, 1995], S. 105 ff.

Ordnung und Unordnung. Abbildung 2.9 zeigt den Zusammenhang zwischen AIC und effektiver Komplexität.

Ein interessanter Ansatz ist es nun, das Augenmerk nicht nur auf die Komplexität eines Systems, sondern auch auf die Komplexität eines zweiten Systems zu richten, welches das erste beobachtet. Nach Bernd Olaf KÜPPERS muß das beobachtende System mindestens die gleiche Komplexität aufweisen wie das System selbst, um die übermittelte Information verstehen zu können (Abbildung 2.10). Das Modell weist Analogien zum Verhalten dissipativer dynamischer Systeme und dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik auf (Unmöglichkeit eines Perpetuum Mobile 2. Art).¹¹

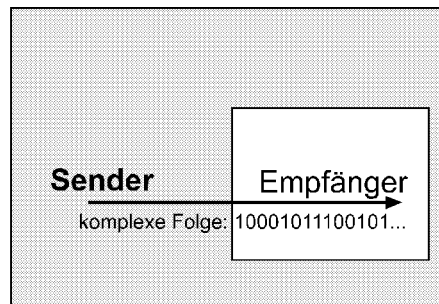


Abbildung 2.10: Um eine Information verstehen zu können, muß ihr Empfänger in einem Informationssystem nach B.O. KÜPPERS mindestens die gleiche Komplexität aufweisen wie der Sender.

Ein solches beobachtendes System nennt Murray GELL-MANN ein *komplexes adaptives System*. Ein komplexes adaptives System unterscheidet in einem Informationsfluß zwischen Zufälligkeiten und Regelmäßigkeiten, um darin eine Ordnung aufzufinden. Der Datenstrom wird dazu in viele Abschnitte zerlegt. Abschnitte, in denen in irgendeiner Hinsicht miteinander vergleichbare oder sogar übereinstimmende Informationen auftauchen, sind für Regelmäßigkeiten charakteristisch. Die Komplexität kann in diesem Falle definiert werden als die Länge des Schemas, mit dem ein komplexes adaptives System die Merkmale eines ankommenden Datenstroms beschreibt. Dergestalt stellen Menschen als komplexe adaptive Systeme Regelmäßigkeiten in den Informationsströmen, die sie empfangen, fest und verdichten diese zu Schemata. Ein System hat sich dabei nach Murray GELL-MANN womöglich zu dem Zweck entwickelt, Schemata zu entdecken: „Jedes komplexe adaptive System hat sich entwickelt, um Muster zu entdecken, daher ist ein Muster in gewissem Sinne seine eigene Belohnung.“¹² Beispielweise muß ein Mensch als komplexes adaptives System fungieren, um zu lernen. Dabei werden verschiedene Kennzeichnungen von Regelmäßigkeiten ausprobiert und zu Informationen verdichtet. Die verschiedenen aufgefundenen Regelmäßigkeiten konkurrieren miteinander in ihrer Anwendung, so daß sich die erfolgreich erkannten Muster und Formen schließlich verfestigen können.

Komplexe adaptive Systeme funktionieren nach Murray GELL-MANN am besten in einem Zwischenbereich zwischen Ordnung und Chaos, da die effektive Komplexität in diesem Bereich am größten ist.¹³ Dabei tritt systemtheoretisch das Phänomen des *Zunehmens der Komplexität* zutage: Das Universum unterliegt relativ einfachen Gesetzen. Nach dem Standardmodell der Kosmologie wurden aus den einfachen Bausteinen des Universums im

¹¹ Vgl. [Küppers, 1996].

¹² Murray [Gell-Mann, 1995], S. 414.

¹³ Murray [Gell-Mann, 1995], S. 507.

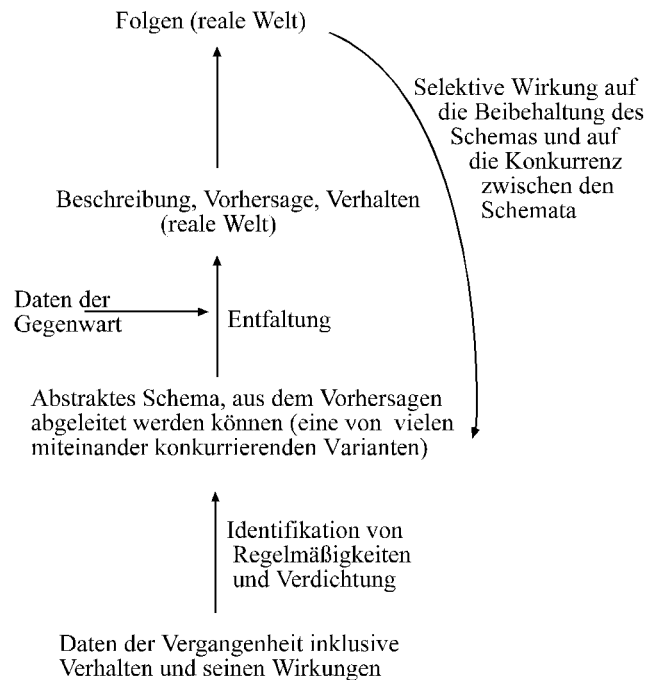


Abbildung 2.11: Funktionsweise eines komplexen adaptiven Systems nach GELL-MANN.

Lauf der Zeit immer kompliziertere Gebilde. Murray GELL-MANN beschreibt die Zunahme der Komplexität in adaptiven Systemen mit Hilfe des Begriffs des Selektionsdrucks. Selektionsdrücke erleichtern in komplexen adaptiven Systemen eine ansteigende Komplexität, indem zufällig entstehende komplexere Systeme einfacheren gegenüber begünstigt werden.¹⁴ Diese können ihrerseits wieder komplexere Informationen verwerten. Die Ausprägung des Selektionsdrucks besitzt dabei Auswirkungen auf die entstehenden Formen der Systeme. Ähnliche Formen von nichtverwandten Pflanzen oder Tieren etwa auf verschiedenen Erdteilen sind demnach das Ergebnis des Einwirkens ähnlicher Selektionsdrücke. In der biologischen Evolution wird ein phänotypisches Merkmal gegenüber einem anderen bevorzugt, und die Konkurrenz zwischen den Genotypen wird solchermaßen beeinflusst – mit der prinzipiellen Folge: *survival of the fittest*.

Es kommt, obwohl makroskopisch nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik verboten, zwischen komplementären Systemen, die sich gegenseitig beeinflussen, zu einem Ansteigen der Komplexität. Indem sich die durch Zufall entstehenden komplexeren Formen gegenüber einfacheren durchzusetzen vermögen, steigt die mittlere Komplexität eines Gesamtsystems, etwa des Universums, an: Das System wird sich schließlich selbst zum Beobachter.¹⁵ Den Gipfelpunkt komplizierter dynamischer Systeme bildet wahrscheinlich im Prozeß der biologischen Evolution entweder das menschliche Zentralnervensystem oder das Denken. Der Prozeß verleitet dazu, intuitiv zu erkennen, daß hinter dieser Entwicklung zu komplexen adaptiven Systemen hin ein Sinn steckt. Vor einigen Milliarden Jahren gab es so nur einige Tropfen Protoplasma; jetzt Milliarden Jahre später gibt es Menschen. Viele Informationen wurden so aus wenigen geschaffen und in unserer Struktur angelegt.

¹⁴ „Solche Systeme und Umgebungen, in denen Komplexität höchst vorteilhaft ist, zu charakterisieren, stellt eine große intellektuelle Herausforderung dar“, [Gell-Mann, 1995], S. 347.

¹⁵ Vgl. Wolfgang JONAS, Design-System-Theorie, S. 105.

Informationen werden dergestalt nicht nur erzeugt – neu geschaffen aus Verbindungen, die vorher nicht da waren, sondern auch in uns gesammelt, verwaltet und – heute mittels Design – weitergegeben.¹⁶

Das Augenmerk wird hiermit gerichtet auf die Erkennungs- und Lernmechanismen, die es einem System gestatten, sich in schrittweise steigender Effizienz an spezielle äußere Umgebungen anzupassen. Die Adaptivität erkennender Systeme, der Aufwand, mit der neue Strategien erworben werden und der es möglich macht, sich in hochspezialisierten Artefaktwelten zurechtzufinden, macht aus ihr ein lohnenswertes Ziel wissenschaftlicher Untersuchungen.

2.2.2 Integrität als Gegenpol zur Komplexität – das Design des Komplexen

„*Simplex Sigillum Veri*“ [Paracelsus]

„Nehmen wir ein einfaches Beispiel: die primitive Kommunikationstechnik der Rauchzeichen. Ich weiß zwar nicht genau, welche Inhalte die Indianer früher mit ihren Rauchzeichen übermittle haben, aber ich bin mir sicher, daß philosophische Gedankengänge nicht dazu gehörten. Rauchwölkchen sind nicht so komplex, daß man mit ihnen Gedanken über das Wesen des Daseins zum Ausdruck bringen könnte – und selbst wenn sie es wären, würden dem Cherokee-Philosophen entweder das Holz oder die Decken ausgehen, bevor er auch nur zu seinem zweiten Axiom gelangt wäre. Mit Rauch kann man nicht philosophieren. Seine Form schließt diesen Inhalt aus.“ Neil [Postman, 1985, S. 15]

Zur Frage, wie sich Komplexität im artefaktischen Entwurf ausnimmt, soll an dieser Stelle ihre Einteilung nach Warren WEAVER genannt werden. Er teilte die Komplexität wissenschaftlicher Aufgaben in drei unterschiedliche Stufen ein [Weaver, 1948]:

- *Problems of simplicity*
- *Problems of disorganised complexity*
- *Problems of organised complexity*

Anspruchsvolle Entwurfsaufgaben sind nach Warren WEAVER in die Kategorie mittlerer Komplexität einzuordnen. Auch ein PC z.B. stellt so lediglich ein System mittlerer Komplexität dar. Man kann bei Entwurfsproblemen von einem Problem geordneter Komplexität ausgehen. Nach WEAVER schließt eine solche „organisch“ gewachsene Komplexität eine exakte Bestimmung aus. Wie im Vorhergehenden geschildert, ist im Bereich der mittleren Komplexität das interessanteste Terrain für komplexe adaptive Systeme angesiedelt.

Als informationsverdichtende Instanz dient Design dem Beziehungsgefüge des Menschen zur Welt. In dieser Darstellung ist die Aufgabe des Designs, die Produkt-Komplexität, so weit es geht, zu reduzieren: Produkte so einfach wie möglich zu gestalten – jedoch auch nicht einfacher, denn das bedeutete einen Verlust an Prägnanz bzw. Vollständigkeit. Ein Produkt muß zu einer wahrnehmbaren Einheit werden, damit es als Summe von Informationen schnell und einfach interpretiert werden kann. Etwas Mannigfaltiges muß dabei in etwas Einheitlichem untergebracht werden. Die Komplexität des Entwerfens resultiert dabei in erster Linie aus der Vielfalt der Merkmale der äußeren Artefaktumgebung. Sie nimmt dabei Bezug auf die von Nutzer gespeicherten Informationen von der Welt und ihrer Struktur. Die innere Umgebung ist zumeist durch eine eher kürzere Beschreibung im Sinne eines Anforderungskatalogs zu formulieren. Bei komplexen Entwürfen gilt es, die

¹⁶James [Gleick, 1988], S. 363.

Illusion von Einfachheit zu bewahren, um den Anwender des Entwurfs von der großen und oft willkürlichen Komplexität des Objekts abzulenken. Um eine saubere und relativ einfache interne Struktur zu erzeugen, wird man probieren, ausgefeilte Mechanismen zu erfinden, die die Illusion von Einfachheit vermitteln, oder man wird versuchen, ein bereits bestehendes Design wiederzuverwenden. In diesem Falle kann der Nutzer aus der Erfahrung schöpfen und dementsprechend das neue abgewandelte Produkt verwenden. Den vorangegangenen Ausführungen zufolge wird sich in dieser Schematisierung ein Muster gewissermaßen selbst zur Belohnung, und typisierte Objekte und Beziehungen bilden modellierte Informationsbereiche in einem Universum des Diskurses. Das folgende Kapitel skizziert die Bewältigung der Komplexität in einer dieser Richtungen folgenden Weise.

Fazit

Die Konstruktion anspruchsvoller Artefakte stellt ein komplexes Unterfangen dar. Die Komplexität, ob im konzeptionellen Rahmen nach Robert FLOOD oder als eine die Systembeschreibung verlängernde Eigenschaft, ist dabei eine zentrale Entwurfsgröße. Die Teile und die Beziehungen bergen untereinander eine immense kombinatorische Vielfalt, so daß sie sich dem unmittelbaren Verständnis eines Betrachters entziehen. Nichtlineare Dynamik, gebrochene Symmetrien, nichtholonome Constraints sind Eigenschaften, die ein komplexes System aufweist und es bedingen.

Jenseits einer gewissen Komplexitätsbarriere rücken Entwurf und Entwerfer selbst in den Blickpunkt des Entwerfens. Die Strukturierung in Hierarchien und die Messung von Komplexität erweist sich dabei als extrem schwierig. Ein essentielles Mittel zu diesem Zweck zu finden, ist eine zentrale Frage der Designwissenschaft. Komplexität effektiv zu bewältigen, ist eine zentrale Aufgabe einer Wissenschaft vom Entwerfen.

Das Konzept des komplexen adaptiven Systems kann hier zu weitreichenden Ergebnissen beitragen. Die Verdichtung von Regelmäßigkeiten in Informationsströmen zu Schemata ist für komplexe adaptive Systeme essentiell. Die Reduktion der Schnittstellenkomplexität kommender Artefakte wird hieraus plausibel. Design zeigt sich als ein Anpassungsprozeß mittlerer Komplexität zwischen Ordnungen verschiedener Systeme.

Kapitel 3

Komplexitätsbewältigung

Solange sich der Entwurfsprozeß auf einige wenige Entscheidungen oder Handlungen begrenzt, bleibt er übersichtlich, und die Aufgabe bleibt zu bewerkstelligen. Diese Kompetenz sollte man den Entwerfern nicht absprechen, doch schon nach wenigen prozessualen Schritten stößt man zuweilen an Grenzen. An den Projekten, die heutzutage bearbeitet werden müssen, sind im allgemeinen mehrere Personen, oftmals ganze Abteilungen von Entwerfern beteiligt. Der Entwurfsprozeß muß selbst entworfen und strukturiert werden, damit man Teile davon als Einheiten behandeln kann. Es sind also nicht nur die Artefakte selber, die eine zunehmende Komplexität aufweisen. Komplexität ist vielmehr eine inhärente Eigenschaft von Entwurfsproblemen. Kurzum, zu deren Bewältigung muß die Entwurfskomplexität herabgesetzt werden.

3.1 Design als Reduktion von Weltkomplexität

3.1.1 Reduktionismus

„Wir alle sind, wie Huxley einmal gesagt hat, große Abkürzer; niemand ist so klug, daß er die ganze Wahrheit herausfinden könnte, und wer glaubt, sie gefunden zu haben, der hätte doch weder die Zeit, sie zu verkünden, noch das leichtgläubige Publikum, das sie einfach hinnimmt.“

[Neil Postman, 1985, S. 15]

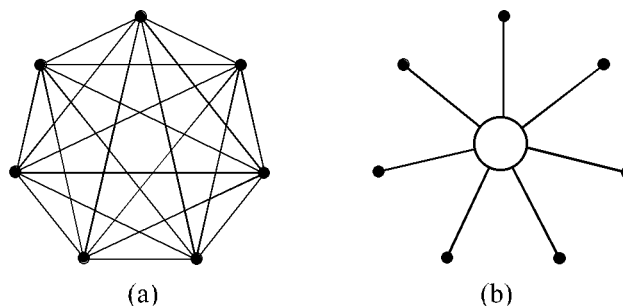


Abbildung 3.1: Reduktion der Schnittstellenkomplexität.

Nicht das ganze Spektrum der wirklichen Möglichkeiten darzustellen, macht den Designprozeß heute aus, sondern sich auf das Wesentliche möglichst ohne Beschränkung einer Allgemeinheit zu konzentrieren. Meisterlich beherrscht dies die moderne Medienlandschaft, und sie ist hierfür ein vielgenutzte Vorbild. In immer kürzeren Filmsequenzen wird versucht, immer mehr Inhalt unter Zuhilfenahme von vorgefertigten Gefühlen, Meinungen

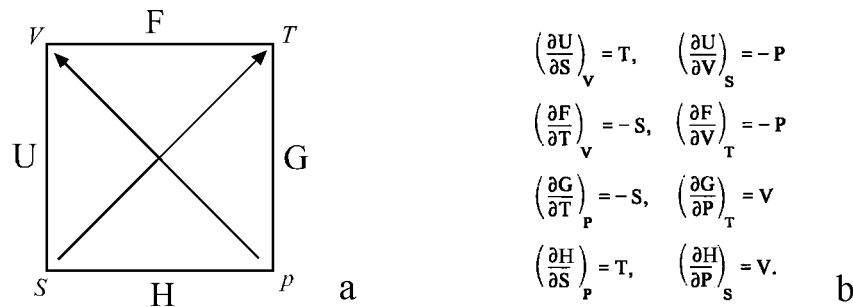


Abbildung 3.2: Komplexität ist verbunden mit der Darstellung von Information. Links: Darstellung der thermodynamischen Zustandsfunktionen mit den Potentialen, Zustandsgrößen und der Möglichkeit einer Legendre-Transformation in einem Merkschema nach [Adam + Hittmair, 1992]. Die thermodynamischen Potentiale sind F, G, H, U – an den Ecken stehen die natürlichen Variablen – V: Volumen, T: Temperatur, S: Entropie, P: Druck. Rechts: Die partiellen Ableitungen, die man dem Schema entnehmen kann, erscheinen komplizierter als das Schema, sind es aber nicht.

und Erwartungen zu transportieren. Der Designer hat dabei die Arbeit der Kondensation zu leisten und die essentiellen Informationen zu einem möglichst inkompressiblen Paket zu bündeln. Ein gutes Beispiel dafür ist der Entwurf von Werbefilmen, Logos (Logo – engl., gekürzt aus *logotype*) und *Corporate Identities*, bei denen es darauf ankommt, die wesentlichen Eigenschaften (*skills*) in etwas Konsistentes und Eigenständiges zu verwandeln.

Eine Form der Strukturierung, der sich Menschen bedienen, ist die Abstraktion: „Abstraktion ist ein (natürlicher, mentaler) Prozeß, der sowohl dem Verständnis der Welt als auch der Reduktion der Komplexität dient.“¹ Abstraktion heißt dabei in der Regel das Weglassen weniger relevanter Informationen und die damit verbundene Hervorhebung des verbleibenden Informationsrests: „Alle Entwürfe, die wir Menschen machen, dienen der Vereinfachung des Lebens – mit den Worten des Soziologen Niklas Luhmann: – der Reduktion von Weltkomplexität; insbesondere tun das die sozialen Systeme.“² Im Prinzip bedeutet jedes Formulieren und jedes „in Begriffe fassen“ eine Abstraktion, bei der ein Teil der Informationen über etwas auf der Strecke bleibt. Jedes Design zieht eine Beschränkung nach sich.

Um die enorme Komplexität kommender Designprobleme bewältigen zu können, benötigen wir Methodologien, die diese Komplexität herabsetzen, die die Dimension der Probleme verringern. Dazu stellt das Weglassen – der Reduktionismus – ein Repertoire an Methoden und Techniken für die meisten Designaufgaben. Gute Designer verfügen über ein solches Repertoire anscheinend intuitiv – aus dem Bauch heraus, ohne darüber nennenswert reflektieren zu müssen. Im Rahmen der Systemtheorie wird der Reduktionismus jedoch zum wissenschaftlichen Gegenstand erhoben. Gerald WEINBERG etwa definiert sie sogar als Wissenschaft der „Simplifizierung“ und unterstreicht zugleich ihre Wichtigkeit.³

Komplexität scheint eine inhärente Eigenschaft natürlicher Systeme zu sein; die Komplexität ist schuld, daß wir zum Beispiel die Funktionsweise des Gehirns noch nicht erklären können, obwohl seine einzelnen Teile mit den Mitteln der Physik und Chemie erklärbar sind. Denken ist nicht durch physikalische Grundgesetze erklärbar, obwohl diese darin gelten. Er bedarf hier vielmehr zusätzlicher Theorien und Prinzipien, die auf höherer Ebene

¹ WIRFS-BROCK *et. al.* zitiert in: [Clausen, 1998], S. 11.

² Holger van den [Boom, 1984], *Ein designtheoretischer Versuch*, S. 11.

³ Vgl. [Quibeldey-Cirkel, 1994], S. 33.

ne der Organisation Gültigkeit besitzen. Die Emergenz neuer Eigenschaften in Systemen jenseits eines gewissen Komplexitätsgrades macht damit neue Theorien nötig und auch möglich. Die Physik hat sich lange Zeit auf die Erklärung immer tiefer liegender Ebenen der Materie spezialisiert und reduktionistisch gearbeitet. Erst mit der Chaosforschung und den anhängigen Theorien wandte sie sich auch den Phänomenen zu, die durch Interaktion längst bekannter Dinge auf höherer Ebene entstehen.

“Newton was a genius, but not because of superior computational power of his brain. Newton’s genius was on the contrary his ability to simplify, idealize, and streamline the world so that it became, in some measure, tractable to the brain of perfectly ordinary men. By studying the methods of simplification which have succeeded and failed in the past, the general systems theorist hopes to make the progress of human knowledge a little less dependent on genius.”

(zitiert nach [Klir, 1985, S. 135])

Der Reduktionismus – der Plan einer allgemeinen Wissenschaft der Ordnung – war in den vergangenen Jahrhunderten erstaunlich erfolgreich. NEWTON war durch Rückführung seines Beobachteten auf drei Axiome in der Lage, zahlreiche bis dahin als unterschiedlich gedeutete Phänomene zu beschreiben. Seine Leistung lag darin, die Beschreibung des Funktionellen bis ins Extrem zu verkürzen, ohne seine Funktionalität zu beeinträchtigen. Durch die Verdichtung der Notation erlangten die von Newton gefundenen Gleichungen ihre Durchschlagskraft, eigneten sich zur Deskription des Newtonschen Universums. Weitere Beispiele solcher Abstraktionen finden sich zahlreich in der Physik, z.B. die Maxwell’schen Gleichungen oder die Lorentztransformation. Hinter der Reduktion auf Einfaches steht das Finden des richtigen Theoriedesigns und das Erschaffen einer passenden Gestalt, die eine ganzheitliche Darstellung bildet, welche anschließend auch von anderen gelesen, verwendet und weiterentwickelt werden kann.

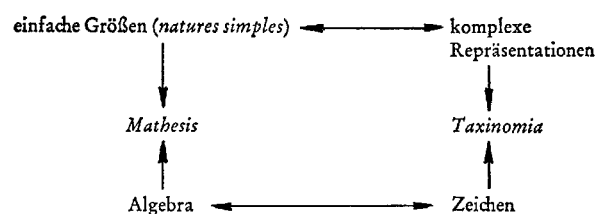


Abbildung 3.3: Allgemeine Ordnungswissenschaft bei FOUCAULT.

Der Ordnungsprozeß im Design verfolgt einen ganz ähnlichen Weg. Man verwendet dazu gemeinhin geordnete Charts bzw. Tableaus, analysiert Identitäten und Unterschiede und bildet Kategorien und Zerlegungen. Michel FOUCAULT schildert das Schema einer allgemeinen Ordnungswissenschaft: Einfache *Größen* – *natures* ordnet man in einer *mathesis*, deren universelle Methode durch die Algebra bereitgestellt wird; die *mathesis* ist eine Wissenschaft der Gleichheiten, der Urteile und Zuweisungen. Komplexe Repräsentationen, *Größen* – *natures* hingegen ordnet man in einer *taxinomia*, und dazu muß man zuvor ein Zeichensystem gebildet haben [Foucault, 1999]. Die *taxinomia* ist die Wissenschaft der Gliederung und der Klassen; sie behandelt Identitäten und Unterschiede. Die Bezüge, die die einzelnen Größen und Ordnungen aufeinander bilden, sind in Abbildung 3.3 gezeigt. Die *taxinomia* impliziert ein Kontinuum (eine Nicht-Diskontinuität) von Zuständen „und eine bestimmte Kraft der Imagination, die das erscheinen läßt, was nicht ist, aber dadurch selbst gestattet, das Kontinuierliche an den Tag zu bringen.“⁴ Zur Bildung von Ordnung

⁴Michel [Foucault, 1999], S. 108.

benutzt man die Operationen, die mit Identifizieren und Unterscheiden möglich sind, und knüpft ein festes Netz von Zugehörigkeiten, welches ein erstes Bild des zu entwerfenden Objekts darstellt.

Design kann die Weltkomplexität natürlich nicht wirklich reduzieren⁵, es kann komplexe Vorgänge einfacher darstellen und dadurch für Menschen nutzbar machen. Beim Autofahren beherrscht der Fahrer die kinetische Energie des Fahrzeugs, meist ohne wirklich zu wissen, wie der Antrieb, die Lenkung oder die Bremsen funktionieren. Komplexes läßt sich mithin auf Einfaches reduzieren. An die Stelle der Vollständigkeit der Beschreibungen tritt das Kriterium der Effektivität: Da vollständiges Wissen unmöglich ist, muß eine Auswahl getroffen werden, insbesondere relativ zur Prägnanz und Signifikanz des Wissens. Die Chaos-Theorie gibt dem verwendeten Verfahren dabei eine gewisse Berechtigung: Sie zeigt, daß man auch bei chaotischem Verhalten immer noch nach einfachen Grundgesetzen suchen kann.

„Doch heute verengt sich die Kluft zwischen vermeintlich einfachen und komplexen Phänomenen. Die Elementarteilchen und die Probleme der Kosmologie entsprechen, wie wir heute wissen, äußerst komplexen Phänomenen, die kaum noch etwas mit dem zu tun haben, was man vor wenigen Jahrzehnten darüber dachte. Auf der anderen Seite ist es gelungen, einfache Modelle aufzustellen, die auf wenn auch schematische, so doch aufschlußreiche Weise Probleme beschreiben, die seit jeher als komplex galten, wie das Funktionieren des Gehirns oder das Verhalten von Insektengesellschaften.“ Ilya [Prigogyne, 1998, S. 15]

Bei der Reduktion der Komplexität eines Systems sind drei Konflikte wahrscheinlich:

- Es entsteht zwischen größtmöglicher Abstraktion und einer späteren eventuell notwendigen Korrektur ein Konflikt. Wurden aus der Fülle von Informationen die falschen „herausabstrahiert“, so kann dies nur schwerlich rückgängig gemacht werden. Es kann nicht mehr auf unterster Ebene in den Entwurfsprozeß eingegriffen werden, sondern man kann nur noch die „Oberfläche“ ankratzen. In der Praxis ergibt sich zudem meist ein zeitliches Problem.
- Der zweite Konflikt entsteht zwischen Abstraktion und Effizienz. Je abstrakter die Entwurfsaufgabe wird, desto weniger ist beeinflussbar, wie sie umgesetzt werden soll, und das Problem wandert zusehends vom Speziellen ins Allgemeine ab.
- Zuletzt kann Abstraktion auch kontraproduktiv wirken. Bei entsprechender Auswahl von Entwurfsthemen besteht letztendlich die Gefahr, daß ein System noch komplexer gestaltet wird, statt es durch eine Abstraktion schlichter und übersichtlicher zu gestalten.

Ein Reduktionismus hat dergestalt zuerst die Analyse der Teile eines Systems, ihrer Hierarchie und ihrer Interaktionen zum Gegenstand, um die Architektur (im Sinne von Systembeschreibung) zu erfassen. Architektur ist im Computerzeitalter ein Modewort für *Kurzbeschreibung*⁶ geworden, das verwendet wird, um die Eigenschaften eines Systems zu beschreiben, wie sie der Entwerfer sieht. Um die Konzepte und das funktionelle Verhalten im Unterschied zur Organisation, des logischen Entwurfs und der physischen Realisierung

⁵Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik schließt dies aus.

⁶Heinz [Zemanek, 1992], S. 127.

effektiv zu erfassen, muß man zunächst mindestens gedanklich ein-teilen.⁷ Das Grundprinzip der Quasi-Separierbarkeit liefert damit den ersten Ansatz zur entwerferischen Komplexitätsreduktion. Abschnitt 3.1.2 skizziert weitere Aspekte dieses Prinzips *Divide-et-Impera* für die entwerferische Praxis.

3.1.2 Dekomposition „Divide et Impera“

Die einzig praktizierbare Chance, die Entwurfskomplexität zu verringern, liegt bislang wohl in der Technik der *Dekomposition* – der systematischen Zerlegung eines Systems in handhabbare Komponenten: „Die Technik, mit der Komplexität beherrscht werden kann, ist schon seit alter Zeit her bekannt: *divide et impera* (teile und herrsche).“⁸ Durch Teilen des Problems wird es möglich, eine Anpassung an die Beschränkungen der menschlichen Informationsverarbeitung zu erreichen. Um teilen zu können, muß das zu teilende System eine Reihe von Anforderungen erfüllen. Das System muß aus Teilsystemen bestehen, und diese Teile müssen voneinander unterschieden und näherungsweise voneinander getrennt werden können. Das System muß in möglichst unabhängige strukturelle Einheiten zerlegt werden, und die Übergänge dazwischen müssen klar definiert werden. Nur wenn die Systemausschnitte hinreichend kontextfrei isoliert werden können, liefert die Technik der Dekomposition zufriedenstellende Ergebnisse. Daher ist sie nicht gleichermaßen auf alle Klassen komplexer Systeme anwendbar. Nach P.-J. COURTOIS liefert eine isolierte Analyse der Systembestandteile nur dann brauchbare Ergebnisse, wenn die zeitlichen oder/und räumlichen Maßstäbe (*time and size scales*) der beteiligten Strukturen untereinander weit auseinanderliegen⁹, d.h. in der Beobachtung innen/außen eines isoliert als abgeschlossene Einheit betrachteten Systemausschnitts müssen hierzu die zeitlichen und räumlichen Maßstäbe um Größenordnungen auseinanderklaffen. Da Entwurfsentscheidungen langfristiger Natur sind, ist es hier notwendig, auch in der Zeit gedanklich einzuteilen. In der Natur finden sich sowohl Systeme, bei denen sich die raumzeitlichen Dimensionen, betrachtet man das Innere und Äußere, um extreme Größenordnungen unterscheiden (z.B. schwarze Löcher), als auch welche, bei denen sie marginal sind (dissipative Strukturen, etwa bei Phasenübergängen zweiter Ordnung). Bei den Naturformen, die wir intuitiv als geschlossene Einheiten wahrnehmen, lassen sich jedoch fast immer deutliche Unterschiede hierin ausmachen. Das Phänomen, das man mit Dispersion bezeichnen könnte, läßt sich sowohl bei der belebten als auch bei der unbelebten Natur feststellen. Zudem lassen sich mitunter Zusammenhänge zwischen räumlichen und zeitlichen Dimensionen herstellen. Beispielsweise finden sich bei Lebensformen näherungsweise proportionale Zusammenhänge zwischen erreichbarem Lebensalter und körperlicher Größe. Bei Sternen findet sich ein ähnlicher Zusammenhang, aber mit umgekehrtem Vorzeichen. Die differentiellen Kopplungsgrade in einem System entscheiden dergestalt über sein kurz- und langfristiges Verhalten. Herbert SIMON und Albert ANDO stellten dazu für *beinahe zerlegbare Systeme* zwei Theoreme mit großer Tragweite in Natur- und Technikwissenschaft auf und bewiesen diese mathematisch:¹⁰

Theorem 3.1 (Simon-Ando): *Es läßt sich für jedes beinahe zerlegbare System eine kurzfristige Zeitspanne angeben, in der es sich annähernd wie ein vollständig zerlegbares verhält. Auf die starken inneren Bindungen geht die kurzfristige Dynamik eines (Sub-)Systems zurück, und jedes Teilsystem strebt für sich ein lokales Gleichgewicht an, das nahezu unabhängig vom Rest ist.*

⁷Vgl. *ebenda*, S. 128.

⁸Edsger W. [Dijkstra, 1979], S. 5.

⁹P.-J. [Courtois, 1995], S. 591.

¹⁰[Ando + Simon, 1961]

Theorem 3.2 (Simon-Ando): *Die langfristige Dynamik resultiert aus den schwachen inneren Bindungen. Das Gesamtsystem strebt unter deren Einfluß auf ein globales Gleichgewicht zu. Dabei bleiben die lokalen Gleichgewichte annähernd und relativ zueinander erhalten.*

Für die Analyse schwach gekoppelter Teilsysteme besitzen die beiden Theoreme höchstes Gewicht. Daß jedes Teilsystem ein örtlich begrenztes inneres Gleichgewicht anstrebt, entspricht dem in der Natur allseits anzutreffenden *Prinzip der Lokalität*. Eng benachbarte Bindungen sind in der Regel stärker als über große Entfernungen wirkende. Erstrecken sich ähnliche Kopplungstärken über ein weites Gebiet, so bilden sich in der Regel fraktal strukturierte Formen. Eine Analyse der raumzeitlichen Interaktionen eines Systemaufbaus kann damit neue Aspekte der Betrachtung des Entwerfens eröffnen.

3.1.3 Objektorientierung

Eine lange Tradition in der Zerlegung von Entwurfsproblemen besitzen die Ingenieurwissenschaften. In der Teilung von Problemstellungen und dem Klassifizieren liegt einer ihrer Schwerpunkte und Hauptaufgaben. Besondere Anstrengungen, die dem Entwurf inhärente Komplexität zu reduzieren, werden in neuerer Zeit in der Informatik unternommen. Das Augenmerk richtet sich hier speziell auf den objektorientierten Entwurf von Software. Für den Laien ist Software oft in hohem Maße unanschaulich und wird oft als häßliche Schattenseite von Programmen empfunden. Software wirkt auf den nicht eingeweihten Betrachter *kraus* und *kryptisch*. Eine getrennte Darstellung von Quelldatei und Anwenderprogramm (z.B. bei Computerspielen) ist erforderlich. Zur Überwindung dergestaltiger Softwareeigenschaften sucht die Informatik schon seit langem nach einer Didaktik des guten Entwurfs. Dabei orientierte man sich im Lauf der Entwurfsevolution an verschiedenen Entitäten: 1. Funktionsorientierung, 2. Datenorientierung, 3. Objektorientierung. Auf den Entwurf im Industrial-Design übertragen, bedeutet Funktionsorientierung, daß man sich zunächst auf die Funktion des Produkts kaprizierte. Ein Stuhl wird auf die Funktion des Sitzens hin konzipiert. Das langgehegte *form-follows-funktion*-Paradigma steht, aus dieser Perspektive gesehen, erst am Anfang der Entwurfs-Entwicklung. Nachteilig wirkt sich dabei aus, daß das Vorgehen zu Insellösungen mit Redundanz-, Synonym- sowie Homonymproblemen führt.¹¹ Das datenorientierte Vorgehen zeichnet sich hingegen durch eine Konzentration auf die im Entwurf zu berücksichtigenden Datenbestände aus. In den Entwurf muß dazu eine Festlegung der Qualität der Daten eingehen.¹² In der Regel ist in diesem Zusammenhang von einer globalen Datenarchitektur die Rede, wobei Daten und Funktionen getrennt betrachtet werden. In der Entwurfsevolution stellt die Orientierung auf Objekte die dritte Stufe dar. Das Konzept der Objektorientierung wird insbesondere bei der Entwicklung von Programmiersprache und Datenbanksystemen angewendet und geht dabei weitgehend von der Erscheinung einer Welt aus, die aus gleichberechtigten und einheitlichen Objekten besteht. Sie baut dabei nicht auf Daten und Prozeduren auf, sondern auf Aktivitäten (innerhalb von Objekten – Methoden genannt), Kommunikation (Austausch von Nachrichten zwischen Objekten) und Vererbung (Weitergabe von Deklarationen zwischen den Objekten – Attribute genannt) auf. Objekte nur von außen zu betrachten und ihren inneren Aufbau zu ignorieren, stellt dabei das höchste Prinzip der Objektorientierung dar (Black-Box-Ansatz). Die Struktur der Objekte wird anschließend durch Klassen festgelegt. Alle Objekte, die nach der Struktur einer Klasse aufgebaut sind,

¹¹ Vgl. Max [Vetter, 1998], S. 11.

¹² Herbert [Simon, 1990], S. 126.

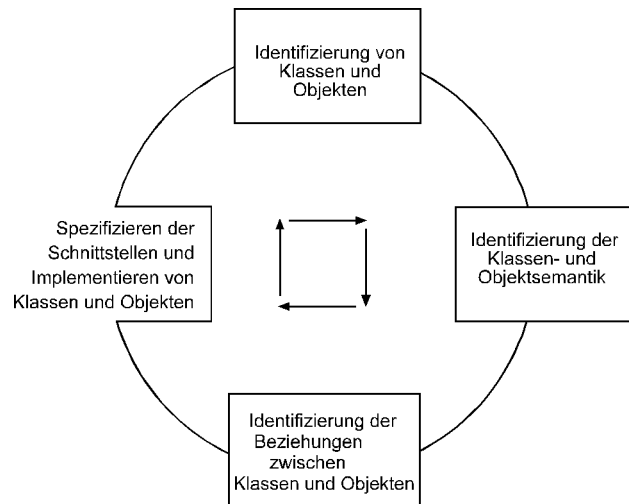


Abbildung 3.4: Kreislauf des objektorientierten Entwurfs nach Grady [Booch, 1994].

sind Instanzen dieser Klasse. Ziel ist es, daß jene Objekte ihre Aktivitäten prinzipiell in eigener Verantwortung erledigen. Dabei vergleicht man die Objekte oft mit Organismen, die als *informationstechnologisches Objekt* bezeichnet werden. Für die Softwareentwicklung bedeutet dies ein naturähnliches Vorgehen, wie Konfigurieren, Ergänzen und Anpassen anstelle von Neuentwicklung. Häufig wird in der Literatur die Ähnlichkeit zwischen der biologischen Zelle und den objektorientierten Objekten hervorgehoben. Eine Zelle wird durch ihre Zellmembran nach außen *abgekapselt*, und der Zellkern fungiert als Informationsträger. Um den Zellkern herum gruppieren sich die *Funktionen* zur Energieumwandlung (Mitochondrien) sowie zur Eiweiß-Herstellung (endoplasmatisches Retikulum). Nachrichten chemischer und elektrischer Art werden von der Zellmembran empfangen und ins Zellinnere weitergegeben, worauf die Zelle entsprechend handeln kann. Die Zelle versteckt also ihre innere Komplexität (Prinzip: *information hiding*) und verkehrt mit der Außenwelt über eine relativ simple Schnittstelle.¹³ Ein *informationstechnologisches Objekt* wird mitunter als Datenkapsel bezeichnet; es schirmt die objektrelevanten Daten nach außen ab und läßt nur genau definierte Interaktionen zu. Im Inneren vermag es darüber hinaus, genau wie die Zelle, mittels der empfangenen Informationen eigene Daten zu verarbeiten. Objekte weisen ein bestimmtes Verhaltensmuster auf. Sie sind in der Lage, kraft der Einwirkung anderweitiger Objekte nicht nur zu reagieren, sondern zu agieren. Daten bestimmen den Status eines Objekts, Methoden hingegen dessen Verhalten im Kontext äußerer Einflüsse.¹⁴ Der Unterschied zur klassischen Entwurfsbearbeitung liegt in der Dynamik der zu entwerfenden Objekte, die mit den erratischen Systemblöcken der Vergangenheit nichts mehr gemein haben. Die Programmiersprache LISP (*List Processing Language*) – eine Programmiersprache der 5. Generation – unterscheidet sich so von den althergebrachten Sprachen:

Mit Pascal kann man Pyramiden bauen – imposante, atemberaubende statische Gebilde, gebaut von Armeen, die schwere Blöcke an den vorhergesehenen Platz wuchten. Mit Lisp kann man Pyramiden bauen – imposante, atemberaubende dynamische Gebilde, gebaut von Trupps, die sich ständig verändernde Myriaden von einfachen Organismen an den vorhergesehenen Platz dirigieren.
[Abelson, 1991]

¹³Vgl. Max [Vetter, 1998], S. 15 ff.

¹⁴Vgl. *Ebenda*.

Während des objektorientierten Designs müssen folgende Fragen bezüglich der Systemarchitektur beantwortet werden:¹⁵

- Welche Klassen existieren und in welcher Beziehung stehen sie?
- Welche Mechanismen werden verwendet, um die Zusammenarbeit der Objekte zu steuern?
- Wo sollen die einzelnen Klassen und Objekte deklariert werden?
- Welchem Prozessor sollte ein Prozeß zugeordnet werden?

Die Objekte im auf sie orientierten Design stellen als Abstraktionen von Einheiten der realen Welt ein besonders dichtes und in sich geschlossenes Informationscluster dar.¹⁶ Eine intelligente Klassifizierung entsteht dabei am besten in einem inkrementellen und iterativen Prozeß¹⁷, so daß das objektorientierte Design zu einer objektorientierten Zerlegung führt. Dazu verfolgt man die sog. Prototypentheorie: Eine Klassen von Objekten wird durch ein Prototyp-Objekt repräsentiert, und ein Objekt wird nur als Element dieser Klasse erkannt, wenn und nur wenn es diesem Prototypen in signifikanten Merkmalen entspricht, so daß die Prototypen-Theorie die Dinge gemäß ihrem *Verwandschaftsgrad* zu konkreten Prototypen gruppiert. Dieser Ansatz – verwandte Eigenschaften als Kriterium für die Gleichheit für Objekte zu verwenden – kann auf Parallelen zur geistigen Entwicklung des Menschen verweisen. PIAGET beobachtete, daß ein Kind im Alter von etwa einem Jahr das Konzept der Dauerhaftigkeit von Objekten erkennt. Am Anfang teilt es in grundlegende Kategorien, wie etwa Hund, Katze oder Spielzeug. Später entdeckt das Kind die allgemeineren Kategorien (wie etwa Tiere) sowie die spezifischeren (wie etwa Pudel).¹⁸ Zum Klassifizieren von Objekten geben Humberto R. Maturana und Francisco J. Varela zu bedenken:

„Damit ich ein Objekt als Stuhl bezeichnen kann, muß ich zuvor anerkennen, daß gewisse Relationen zwischen den Teilen, die ich Beine, Lehne, Sitzfläche nenne, auf eine Weise gegeben sind, die das Sitzen möglich machen. Ob es aus Holz mit Nägeln oder aus Kunststoff mit Schrauben besteht, ist dafür, daß ich es als Stuhl qualifiziere oder klassifiziere, gänzlich irrelevant. Die Tatsache, daß wir beim Aufzeigen oder Unterscheiden eines Objekts implizit oder explizit dessen Organisation anerkennen, ist insofern universell, als wir diesen Akt andauernd als einen kognitiven Akt vollziehen. Er besteht in nicht mehr und nicht weniger als im Erzeugen von Klassen jedweder Art. So ist die Klasse der Stühle durch die Relationen definiert, denen etwas entsprechen muß, damit ich es als einen Stuhl klassifiziere.“ [Maturana, 1987, S. 49]

Die 1990 von der Firma Sun entwickelte objektorientierte Programmiersprache *Java* sollte die Kommunikation zwischen verschiedenen Hardware-Designs überbrücken. Sie besitzt mittlerweile eine breite plattformübergreifende Anwendungsmöglichkeit. Klaus Mainzer sieht in ihr schon eine *lingua universalis der Computernetze*.¹⁹ *Java*-Programme bestehen formal aus Klassen. Als Kapselung werden nur innerhalb dieser Klassen Methoden und Datenfelder definiert. Die Klassen bilden dabei das Definitionsschema zur Erzeugung von Objekten. Diese bilden das hochvariable Raster, in dem Dinge mit *Java* dargestellt werden

¹⁵Grady [Booch, 1994], S. 221.

¹⁶Grady [Booch, 1994], S. 37.

¹⁷Vgl. Grady [Booch, 1994], S. 191.

¹⁸Jean PIAGET zitiert in Grady [Booch, 1994].

¹⁹Klaus [Mainzer, 1999], S. 47.

können.

Durch Klassifizierung und die zugehörige Bezeichnung ordnen wir die Besonderheiten unserer Wahrnehmungen und zerschneiden den Fluß der Gedanken in Formen. Die objektorientierten Programmiersprachen tragen dem auf beachtenswerte Art Rechnung. Dieser Art der Entwurfsbetrachtung auch für Hardware wird in Zukunft mit Sicherheit viel Bedeutung zukommen. Daß das Design im Gebiet der Wahrnehmung operiert und daß diese die Grenzen der zu entwerfenden Formen und eines zu betreibenden Aufwands bestimmt, darzustellen, sei die Aufgabe des nun folgenden Abschnitts.

3.2 Wahrnehmung

3.2.1 Formen an sich – Erkenntnistheoretische Grundlagen

Die Dinge, mit denen wir uns im allgemeinen konfrontiert sehen, sind Gegenstände, die von uns sinnlich wahr-genommen werden. Durch die Wahrnehmung wird eine Abbildung des Gegenstands und damit seiner Formen in uns angelegt: „Aus dem sinnlichen Sein wird er ein Allgemeines; aber dies Allgemeine ist, da es *aus dem sinnlichen herkommt*, wesentlich durch dasselbe *bedingt*, und daher überhaupt nicht wahrhaft sich selbst gleiche, sondern *mit einem Gegensatze affizierte* Allgemeinheit, welche sich darum in die Extreme der Einzelheit und Allgemeinheit, des Eins der Eigenschaften und des Auchs der freien Materien trennt“.²⁰ Bestimmt wird durch dieses Design ein Gegenstand, ein Sein für ein Anderes.

Andersherum sind Designprodukte Dinge an sich und (gleichzeitig) Dinge für Andere. Immanuel KANT unterscheidet zwischen den Dingen an sich und denen für uns. Als Ding *an sich* gilt ein Gegenstand, der für sich existiert, unabhängig von einem erkennenden Subjekt. Er stellt fest, daß wir vom Ding an sich *nichts* wissen können. Das unverstellte Ding an sich können wir nicht kennen, sondern wir werden durch unsere Wahrnehmung darin beeinflusst. Schon aufgrund der Denkgesetze bzw. der Logik, also unüberwindlicher Hindernisse, ist es nach der Kritik Kants unmöglich, die höchste Wirklichkeit zu erfahren. Kant konnte zeigen, daß die Wahrnehmung das Wahrgenommene aufgrund elementarer Denkgesetze beeinflusst (ohne etwa die Heisenbergsche Unschärferelation gekannt zu haben). Er wies in der Kritik der reinen Vernunft nach, daß alles, was denkbar oder benennbar ist, gezwungenermaßen mit der inhärenten Struktur des Geistes konform sein muß. Dies wird häufig als das Ende der Metaphysik bezeichnet. Es bleibt uns sonach keine andere Wahl, als alle

²⁰G.F.W. HEGEL, *Phänomenologie des Geistes*, II Wahrnehmung; oder das Ding und die Täuschung, [Hegel, 1987], S. 101.

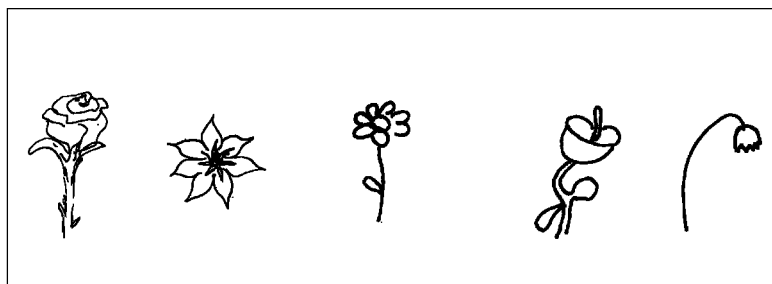


Abbildung 3.5: Trotz sehr unterschiedlicher Formen werden diese Strukturen schnell der Klasse der Blumen zugeordnet.

Repräsentationen des Universums durch unseren Wahrnehmungsapparat zu filtern. Das Ding-an-sich bleibt unbeobachtbar; in der Folge ist die Wirklichkeit damit letztlich nicht erkennbar. Die Grenzen, die hierdurch gesetzt werden, muß auch das Design einhalten. Gestaltung macht nur Sinn, solange seine Ergebnisse wahrnehmbar bleiben, bzw. solange die Unterscheidungen, die damit getroffen werden, noch einen Unterschied ausmachen, so daß diese Tatsache das Sublime am Design bestimmt. Es ergibt sich, je nach Anschauung, ein Spektrum der realen Gehalte unserer Welt. Gerhard VOLLMER differenziert dazu vier verschiedene Ausprägungen von Realismen:

- Naiver Realismus
Es gibt eine Welt; sie ist so beschaffen, wie wir sie wahrnehmen.
- Kritischer Realismus
Es gibt eine Welt; sie ist aber nicht in allen Zügen so beschaffen, wie sie uns erscheint.
- Streng kritischer Realismus
Es gibt eine reale Welt; aber keine ihrer Strukturen ist so, wie sie uns erscheint.
- Hypothetischer Realismus
Wir nehmen an, daß es eine reale Welt gibt, daß sie gewisse Strukturen hat und daß diese Strukturen teilweise erkennbar sind, und prüfen, wie weit wir mit diesen Hypothesen kommen.²¹

Es ist dergestalt fraglich, welche Strukturen die Welt durchweben und wie sie sich auf unser Bild der Welt auswirken. Es sind dies Fragen nach den Bestimmtheiten der Dinge, welche seine Wesenheiten ausmachen. Designer gestalten sinnliche Reize, arbeiten grundsätzlich im Bereich des Wahrnehmbaren. Johann Gottlieb FICHTE drückte solches Arbeiten folgendermaßen aus: „Du teilst, du begrenzest, du bestimmst die möglichen Formen der Dinge, und die Verhältnisse dieser Formen von aller Wahrnehmung vorher. Kein Wunder; du begrenzest und bestimmst dadurch immer nur dein Wissen selbst, wovon du ohne Zweifel weißt. Darum wird ein Wissen vom Dinge möglich. Es ist nicht im Dinge, und strömt nicht von ihm aus. Es strömt von dir aus, indem es ist, und dessen eigenes Wesen es ist.“²² In einer Hinsicht ist Design so eine Theorie über die Art und Weise, in der die Welt dem Menschen erscheint. Die Welt um uns herum kennen wir im Detail nicht, und wir können sie nur bis zu einer gewissen Gliederungstiefe erfassen. Die Leistung des Designers liegt demgemäß in einer Darstellung, die der Wahrnehmung des Menschen entspricht. Wolfgang JONAS stellt fest: „Alle Systeme sind gedankliche *Konstrukte*, bezogen auf eine ihrerseits in der Wahrnehmung konstruierte Wirklichkeit. Ihre Modellierung als kybernetisch oder evolutionär hat mit unserem Erkenntnis- bzw. Zweckinteresse zu tun. Dies erfordert die Klärung unserer *Erkenntnisfähigkeit* als *Systembeobachter*.“²³

Unser Wissen von den Artefakten weicht nach Giambattista VICO von dem der Naturformen ab: „Erkenntnis soll heißen, wir kennen die Weise, wie ein Ding entsteht. So haben wir vorzügliche Erkenntnis über die Dinge, die wir selbst geschaffen haben.“²⁴ Getreu seiner These, daß der Mensch nur erkennen könne, was er selbst gemacht habe, verneint VICO die Möglichkeit der Naturerkenntnis. Er wendete sich der historischen Forschung zu, da diese seiner Ansicht nach vom Menschen gemacht sei und wurde der Begründer der

²¹ Gerhard [Vollmer, 1995], *Evolutionäre Erkenntnistheorie*, S. 35.

²² Johann Gottlieb [Fichte, 1800], S. 65; in d. Origausg. v. 1800: S. 137–138. Das Zitat kann diesen Zusammenhang sehr gut darstellen; es ist sonst jedoch in seinem Kontext zu betrachten.

²³ Wolfgang JONAS, *Design-System-Theorie*, S. 111.

²⁴ Giambattista [Vico, 1991].

Geschichtsphilosophie und der Völkerpsychologie. Er versuchte, einen typischen Kreislauf der Geschichte nachzuweisen mit je einem theokratischen, heroischen und menschlichen Zeitalter in einem Zyklus von Aufstieg, Verfall und ständiger Wiederkehr [Vico, 1970]. Er zeigte dabei die Eigenart der historischen Erkenntnis. So sind die Werke der menschlichen Kultur die einzigen für ihn verstehbaren Formen, da sie aus dem Kreis der eignen Begriffsbildung nicht hinaustreten können. Die innere Struktur ihres Seins ist dem Menschen zugänglich, weil er sie selbst geschaffen hat. Demnach ist jede Darstellung, auch das Design, ein Objekt, das der menschlichen Erkenntnis angemessen ist.²⁵ Nicht die Naturerkenntnis, sondern die menschliche Selbsterkenntnis bildet nach VICO das Ziel unseres Wissens.²⁶

3.2.2 Sinnliche Wahrnehmung

Die Wahrnehmung und das Denken sind die Ordnungsmechanismen der Menschen im Inneren; außerhalb von ihnen wird das Ordnen über ihre Entwürfe vollzogen. Das Finden von Ordnung als Vorgang ist ein Selektionseffekt in einem Chaos der Realität: „Die Welt ist chaotischen Wahrnehmungen gegeben, die uns unvermittelt auf den Leib rücken – Kant spricht vom ‚Gewühl der Empfindungen‘“²⁷. Bei LEIBNIZ ist jede Ansicht der Welt eine Welt für sich.²⁸ Wenn man mit dem vorhergehenden Abschnitt zugibt, daß unsere Umwelt und, daraus resultierend, unsere Weltanschauung zu einem guten Teil ein funktionelles Truggebilde ist, stellt sich die Frage, was die realen Gehalte der Formen sein können und was die Korrelation zwischen den erscheinenden Gegenständen und ihren Erscheinungen im Vollzug des Bewußtseins bestimmen kann. Dazu ist es notwendig, zur Quelle der Reize zurückzugehen. Menschen und Tiere erfassen Formen vermittelt ihrer Sinne. Art und Umfang der Formerfassung unterscheiden sich bei jeder Art und jedem Individuum erheblich. Dabei hat die Formwahrnehmung und -erfassung in der belebten Natur eine immense Bedeutung. So erkennen Tiere ihre Beute und ihre Partner an jeweilig vorgeprägten Formen. Teilweise sind diese Formen des Erkennens variabel. Beispielsweise identifiziert eine Graugans ihre Mutter in einer sehr kurzen Zeitspanne nach dem Schlüpfen. Durch die Versuche von Konrad LORENZ ist das genetische Programm der Prägung bekannt geworden, bei dem „die Form der Eltern“ festgelegt wird. Nach LORENZ akzeptieren die Gänseküken beim Erstkontakt jede beliebige Form, wenn sie sich bewegt und Geräusche macht.

Es gibt Tiere, die spezielle Sinnesorgane entwickelt haben, um Formen zu erkennen. Die meisten Lebewesen – insbesondere der Mensch – nehmen Formen über Tast- und Sehorgane wahr. Schwieriger ist es dagegen, Formen auch über den Gehör- oder den Geruchssinn zu erfassen. Dieses Problem haben einzelne Tierarten jedoch perfekt gelöst. Die Menschen haben es geschafft, sich durch Technik neue Bereiche in ihrer Formenwahrnehmung zusätzlich zu erschließen. Mikroskope und Teleskope machen es möglich, in vorher ungeahnte Dimensionen bei der Naturformbetrachtung vorzudringen. Die Aufnahmen des Hubble-Space-Teleskops in neuerer Zeit etwa verdeutlichen dies. Diese Instrumente machen es möglich, Formenvergleiche über astronomische Größenordnungen hinweg zu ziehen.

In ihrer Wahrnehmung scheint die Wirkung einer Form offenkundig und natürlich. Die Wahrnehmung mancher Formen weckt unweigerlich Gefühle, die anschließend zu einer veränderten sinnlichen Wahrnehmung führen können. Viele nahestehende, bekannte Dinge rufen zudem einen ganzen Katalog von Erinnerungen hervor, die eine objektive Erfassung

²⁵ Vgl. Ernst [Cassirer, 1961b], S. 10.

²⁶ Ernst [Cassirer, 1961b], S. 9.

²⁷ Norbert [Bolz, 1992], S. 43.

²⁸ LEIBNIZ zitiert in: Maurice [Merleau-Ponty, 1976], S. 283.

von Formen unmöglich machen. Eine annähernd objektive Erfassung von Formen ist nur möglich, wenn zugleich die Grenzen der Objektivität erfaßt werden. Die Wirkung einer Form ist eine unermesslich große Anzahl erworbener praktikabler Ideen – eine Vielzahl im Leben erlernter Regeln und Erwartungen, Dispositionen und Tendenzen, Abwägungen und Kontrollen.²⁹ Dabei sind die Details sowohl funktions- als auch datenspezifischer Art in einer wiederauffindbaren Weise geordnet.

Zum Einordnen nehmen wir Informationen mit den Sinnen auf und halten diese – mehr oder weniger – für wahr oder falsch (*true/false*). Dabei fängt die menschliche Wahrnehmung nicht zu jeder Sekunde bei Null an, sie operiert aktiv mit angeborenen wie mit erworbenen kognitiven Schemata bzw. Perzeptionsmustern. Menschen benötigen z.B. nur etwa eine Hundertstelsekunde, um festzustellen, ob ein jeweiliger Gegenstand ein Gesicht darstellt oder nicht. Die Einordnung – *if true* – dessen auf eine konkrete, bekannte Person hin, dauert nur circa eine Zehntelsekunde. Von den Informationen, den Schemata und der Geschwindigkeit ist es abhängig, wie die Siebung *true/false* ausgeht. Die Aufgabe der Schemata ist es, die Interaktionen des Organismus mit der Umwelt derart in eine Ordnung zu verwandeln, daß sie den Strukturen und Funktionsweisen des wahrnehmenden Apparates zugänglich werden (Intentionalität). Diese Ordnungsbildung und damit Formung ist die große konstruktive Leistung kognitiver Systeme. Durch deren Bildung von Ordnung wird die Komplexität der Informationen herabgesetzt. Ohne diese Leistung des Wahrnehmungsapparates würde das Gehirn permanent *information-overflow* anzeigen. Dabei wird im Gehirn keine Kopie der Ordnung der Umwelt abgelegt, sondern das Gehirn *konstruiert* die Ordnung systemspezifisch, so daß die Konstrukte der Gestaltung des Gehirns entspringen. Dabei, so sind sich die Psychologen einig, verläuft der Prozeß weitgehend automatisch und nicht bewußtseinsfähig ab. Siegfried J. SCHMIDT beschreibt den Vorgang folgendermaßen: „Kein Beobachter kann im Akt des Beobachtens den blinden Fleck seiner Beobachtungen beobachten. Keiner sieht im Sehen, warum er sieht, was er sieht“.³⁰ Durch die Schnittstelle der Wahrnehmung stellt der Mensch sowohl einen Außen- als auch einen Selbstbezug her. Die Instrumente dieser Bezugsherstellung sind die Sinnesorgane. Sie bilden die Vermittlung zu den Artefakten und den natürlich gegebenen Dingen. Denen ist gemeinsam: Sie sind *Zustände* unserer Welt. Max BENSE nennt jene *ästhetische* Zustände (vgl. Abschnitt 8.1.2). Als solche Weltzustände werden die Dinge von uns im Sinne einer Informationsaufnahme wahrgenommen. Die Bilder der wahrgenommenen Dinge nennt Maurice MERLEAU-PONTY Vor-Dinge (*pré choses*) im Gegensatz zu den Dingen an sich [Merleau-Ponty, 1976]. Der Mathematiker Felix HAUSDORFF nennt solche Manifestationen ebenfalls „Weltzustände“ und bemerkt:

„Die zwischengeschaltete Selectionsvorrichtung heisst Bewusstsein: für das Bewusstsein, das in ein bestimmtes Continuum c von Weltzuständen hineinverflochten ist, stellen sich die Bestimmtheiten der entsprechenden empirischen Welt als allgemeingültige und fortwährend erfüllte Naturgesetze dar, während das transzendente Geschehen diese Gesetze bisweilen erfüllt, meist aber übertritt.“ Felix [Hausdorff, 1974]

Die wahrgenommenen Ereignisse, wie Weltzustände in der Physik der vierdimensionalen Raumzeit genannt werden, werden in der Psychologie in integrierter Form Erlebnisse genannt. Die Abbildung der Weltzustände wird durch das Wahrnehmungsfenster eingengt. Die menschliche Erkenntnisfähigkeit ist dadurch begrenzt und setzt wirkungsvoll die Komplexität eines Zustandes herab. In dieser Konsequenz werden die Weltzustände zu

²⁹ Vgl. Marvin [Minsky, 1990], S. 22.

³⁰ Siegfried J. SCHMIDT in *formdiskurs*, 1/1996.

Weltmodellen, in der Addition werden sie schließlich sogar zum Weltbild, was jedoch ein Bild bleibt. Nach der Aufnahme der Information gelangen die Daten ins Gehirn und werden dort gespeichert, indem im Wahrnehmungsfeld geordnete Zustände zustande kommen. Die Informationen leben im Gehirn transformiert fort als chemischer und elektrischer Zustand. Nach Karl H. PRIBRAM sind solche Beziehungen mentale Phänomene, da Beobachtungen sowie Sinneswahrnehmungen mental sind. Er stellt zudem die zwei grundlegenden Anschauungsweisen, ob die wirklich fundamentalen Eigenschaften des Universums mentaler oder materieller Natur sind, wie folgt dar:

- Indem das Gehirn den durch die Sinne vermittelten Input aus der physischen Welt organisiert, konstruiert es mentale Eigenschaften.
- Mentale Eigenschaften sind die durchgängigen Organisationsprinzipien des Universums, zu dem auch das Gehirn gehört³¹.

Es existiert demnach eine Abbildung zwischen dem Zustandsraum (der Menge aller Zustände) eines realen Systems und dem Raum der Speicherzustände des Gehirns. Die intentionalen Akte, in denen die Bewußtseinsinhalte gegeben sind, sind Bildungen von Ordnung; für sie sind zahlreiche Bezeichnungen im Umlauf, etwa Eigenwert oder Attraktor (vgl. Abschnitt 5.3.5). Sie liefern dem Gehirn die Informationen, mit denen es System-Umwelt-Beziehungen semantisch zuordnet und bewertet. In den Mustern werden mannigfaltige Empfindungsdaten der Welt zur Einheit eines Bewußtseinszustandes gebracht; je reicher unsere Innenwelt dabei ist, desto mehr Verknüpfungen können wir herstellen. Die Perzeptionsmuster werden anschließend innerhalb der Infrastruktur des Geistes angeordnet. Die Bausteine der geistigen Entwicklung, die Fähigkeit Bilder, Symbole und Vorstellungen zu erzeugen, ist so die Grundlage des logischen Denkens sowie der emotionalen Bewältigung von Erlebnissen. Jeremy HAYWARD gliedert den Vorgang der Wahrnehmung auf einen komplexen Reiz wie folgt hierarchisch auf:³²

1. Vorbewußtes Erkennen.
2. Eine Trennung von „Innen“ und „Außen“.
3. Wahrnehmung
Das Innere verschafft sich Geltung, stellt Bezug zum Empfinden her. Erstes Bewußtwerden von „Ichheit“ gegenüber dem Reiz. Der Bezug zum Innen wird als *Ich* begriffen, und der Bezug zum Außen wird als Ding (Objekt) zum *Ergreifen* begriffen.
4. Benennung der Dinge. Die Wahrnehmung wird zu einer kohärenten Einheit, zu einer *Form mit Namen*.
5. Bewußtsein. (1/10- 1/2 s nach dem Augenblick).

Horst RITTEL bezeichnet Information – im Zusammenhang mit der Wahrnehmung – als die Änderung des Wissens³³. Eine Information, die keine Änderung im Wissen mit sich bringt, besitzt damit keine Signifikanz. Es ist sicher ein bemerkenswerter Ansatz, Information mit der Änderung einer Größe in Zusammenhang zu bringen. Die Sinne sind dabei nicht die einzigen Quellen des Wissens. Wissen zu akkumulieren, wird allgemein möglich durch:

³¹Karl H. Pribram, *Worum geht es beim holographischen Paradigma?*, in: Ken [Wilber, 1986], S. 30.

³²Jeremy [Hayward, 1990].

³³Horst [Rittel, 1992], S. 153.

1. Sinneserfahrung
2. Denken, intellektuelle Funktionen
3. Traditionen
4. Intuition. (Dies kann jedoch durch neurotische Phänomene überlagert werden.)

Dem sinnlichen Unterscheiden sind durch das WEBER-FECHNERSche Gesetz physiologisch Grenzen gesetzt. Nach W. WEBER und G.TH. FECHNER ist die Wahrnehmungsintensität L (z.B. Lautstärke) proportional zum Logarithmus der Reizintensität I (z.B. Schallintensität). Es gilt:

$$L = \text{const } \ln I . \quad (3.1)$$

Eine Änderung in der Intensität bemerkt man demnach erst, nachdem sich die Reizintensität um einen bestimmten Faktor geändert hat (empirisch 20-25 %). Durch das Logarithmieren gewinnt die Natur im interessanten Teil des Wahrnehmungsspektrums mit niedriger Reizintensität stark an Unterscheidungsschärfe. Der Lautstärkeunterschied zwischen einer und zwei Mücken wird z.B. als viel größer wahrgenommen als der zwischen zehn und elf Mücken.

3.2.3 Eingeschränkte Kanalkapazität

Die menschliche Fähigkeit, mit Komplexität umzugehen, ist grundsätzlich beschränkt durch die Informationsmenge, die pro Zeiteinheit aufgenommen werden kann. In ihrer Weiterverarbeitung scheint die eingeschränkte Kanalkapazität des menschlichen Gehirns eine wesentliche Rolle zu spielen. Die Psychologie beschäftigte sich in der Vergangenheit eingehend mit der experimentellen Erfassung der Aufnahmefähigkeit des Gehirns. Besonders bekannt geworden ist die Arbeit von George A. MILLER. Er stellte fest, daß die maximale Anzahl der Informationseinheiten, die ein Mensch gleichzeitig verarbeiten kann, in einem Bereich von plus/minus sieben liegt.³⁴ Dabei scheint die Einschränkung der Aufnahmefähigkeit mit dem Leistungsvermögen des Kurzzeitgedächtnisses in Verbindung zu stehen. Die Zahl sieben wurde als *Telefonbuchkonstante* bekannt. Normalerweise sind Menschen in der Lage, sieben Ziffern vom Ablesen bis zum Wählen zu behalten, sofern sie nicht abgelenkt werden. Herbert SIMON nennt als weiteren einschränkende Parameter die Geschwindigkeit, mit der Informationen im Gehirn eingelagert werden können. Um eine neue Informationseinheit aufzunehmen, sind demnach ungefähr fünf bis zehn Sekunden vonnöten, und um eine alte Information aufzufinden, sind einige hundert Millisekunden bis etwa zwei Sekunden erforderlich.³⁵ MILLER nennt die Informationseinheiten „chunks of information“ (Informationsblöcke); als ihre kleinste Einheit führt er das *Bit* als dimensionsloses Maß ein.

Unsere verblüffend geringe Kanalkapazität muß jedoch nicht in dieser Größenordnung verharren. Durch eine entsprechende Proportionierung, mit Hilfe einer *Codierung*, in deren Folge die Informationsmenge organisiert und gruppiert wird, kann der Informationsengpaß überwunden werden. Ein komplexitätsbewältigendes Design, das den kognitiven Prozeß unterstützen kann, muß daher die magische Zahl sieben berücksichtigen und ihre

³⁴George A. MILLER, *The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits in our Capacity for Processing Information*, 1956.

³⁵Herbert [Simon, 1982], *Sciences of the Artificial*, S. 81.

Informations-Architektur entsprechend proportioniert dosieren. Die Zahl der Abstraktionsebenen, der Funktions- und Strukturmodule oder die Alternativen in Bedienungsmenüs und – allgemein – die Menge der Klassenbildungen sollte daher auf die MILLERSche Größenordnung begrenzt bleiben. Informationstheoretisch gesehen ginge beim Überschreiten dieser Grenze der Informationsfluß in Rauschen über. Beim Verständnis von Designprodukten ist der Chunking-Prozeß unabdingbar.

3.2.4 Die These des Holismus

„Materie ist wie eine leichte Kräuselwelle auf einem riesigen Ozean von Energie [...]. Diese eingefaltete Ordnung impliziert eine Wirklichkeit, die gewaltig über das hinausreicht, was wir Materie nennen. Materie selbst ist nur eine Kräuselwelle auf diesem Hintergrund.“³⁶

Die Gegenposition zu einem Denken in Teilen bildet der Holismus. Es erschienen hierzu mittlerweile zahlreiche Publikationen; seine These ist, daß es eine besondere, synthetische Betrachtungsweise gäbe, und daß sie für die Sicht auf komplexe Systeme die einzig angemessene sei. Nach dem holistischen Paradigma ist das Universum hierarchisch sowie vernetzt organisiert. Die Entitäten Materie und Geist, Lebendes und Totes, Verstand, Körper und Seele sind Manifestationen desselben einheitlichen Systems. Durch Interaktion mit unserer Umwelt wissen wir nach dem holistischen Paradigma um das universale System. Ein inhärenter Teil unserer Rücksprache mit diesem System bliebe die Ungewißheit, die Unschärfe, so daß man, um diese Ungewißheit zu verringern, Informationen über den Weltprozeß erzeugen muß. Die Form des Wissens existiert in diesem Fall mehr als Relation denn in einer objektiv determinierten Welt oder einer subjektiven Erfahrung. Im holistischen Weltbild sind die Zusammenhänge nicht rein deterministischer Natur; es gibt keine einfache lineare Ursache-Wirkungs-Kette, sondern Kausalität herrscht vielmehr probabilistisch zwischen allen Sedimentationen des universalen Systems. Ereignisse werden sonach durch die höher- und die tieferliegenden Ebenen der Komplexität gleichermaßen vorherbestimmt. Mit einem holistischen Weltbild ausgestattet, können wir auch aus diesem Grunde nie die absolute Ursache von Ereignissen wissen, so daß ergo ihre Letzterklärung deswegen unbeobachtbar bleibt.

Karl H. PRIBRAM schlug dazu als Modell der Datenspeicherung im Gehirn das Hologramm vor: Abbilder der wahrgenommenen Dinge werden als Wellenfunktion über das gesamte Gehirn verteilt. Der Prozeß der Informationsverarbeitung stellt sich dabei als linearer Prozeß Objekt → Wellenspeicherung → Aufbau eines Bildes dar. Reziprok dazu dient die Speicherung von Wellen zur Abbildung von Objekten. Die Wellenfunktionen sind Umwandlungen von Objekten und ihren Bildern: Wie bei einem Hologramm wird sämtliche Information über das gesamte Gehirn verteilt. Gestützt wird diese These dadurch, daß Erinnerungen gegenüber lokalen Beschädigungen des Gehirns als weitgehend resistent erscheinen. Die Speicherungen sind im Gegensatz zur Computer-Festplatte nicht an einer genauen Stelle lokalisiert, sondern scheinen über den gesamten Bereich „verschmiert“ zu sein, so daß sie bei kleinen Beschädigungen wiederhergestellt werden können.³⁷ Erfahrungen bzw. Informationen sind nicht in Teilbereichen der Gehirnrinde lokalisierbar, sondern mit einer Unschärfe behaftet und über das gesamte Gehirn verstreut.

PRIBRAM schuf ein Modell, das sich die Mathematik der Fourier-Transformationen zunutze macht. Das holographische Modell des Gehirns beinhaltet die folgende Vorstellung:

³⁶Ken [Wilber, 1986], S. 164.

³⁷Karl H. Pribram, *Worum geht es beim holographischen Paradigma?*, in: Ken [Wilber, 1986], S. 30.

Während man Erfahrungen erlangt, die vom Gehirn gespeichert werden, wird ein multidimensionales Energiefeld gleichzeitig im Gehirn erzeugt. Gefühlter Sinn ist hier zudem so etwas, wie ein durch unsere Beziehungen zur Welt hervorgerufenen Netz von Interferenzmustern. Was man mit dem Körper erfühlt, impliziert in dieser Darstellung die Welt. Der gefühlte Sinn läßt sich als erfahrene Manifestation holographischer Verdichtung ansehen, wobei alle Informations-Bits zusammenwirken. Nach Ralph ABRAHAM bezeichnet man eine solche Energie-Konfiguration als „Macron“, und Bob SAMPLES zufolge sind diese Macrons in ihrer geometrischen Gestalt höchst regelmäßig.³⁸

Die Transformation von „Dingen“ in „Frequenzen“ nach Pribram ist die Umsetzung aus der Raum/Zeit-Dimension in die Raum/Frequenz-Dimension. Für die analytische Tätigkeit des Gehirns sei das graduelle Zu- und Abnehmen neuraler Potentiale (Wellen) verantwortlich, die man näherungsweise mit einem EEG erfassen kann. Als Interferenzmuster stellt man sich die Abbilder der Dinge vor, so daß die Frequenzspeicherung eine Begrenzung nach sich zieht, wie sie analog bei anderen dergestaltigen Prozessen auftritt (vgl. Theorie der Fouriertransformation).

Nach der holographischen These ergeben sich, auch mit Hilfe der Quantentheorie, eine Reihe von Folgerungen: Es gibt in der Realität weder etwas wie reine Energie noch reine Materie. Sämtliche Aspekte des Universums scheinen weder ein Ding noch ein Nichtding zu sein, sondern eher als eine Manifestation in der Form von Schwingungen in der Zeit zu existieren. Schwingungen scheinen die „natürlichsten“ aller Formen zu sein.³⁹ Aus dieser Sicht sind Materie und Energie, Körper und Geist nicht so verschieden voneinander, wie man allgemein annimmt. Irgendwo im Niemandsland zwischen Welle und Korpuskel scheinen demnach auch die Einheiten, Monopole und die für die Designwissenschaft nützlichen Atome des Bewußtseins angesiedelt. Die Aspekte des Universums finden hier Ausdruck in sich vermischenden, aber unterscheidbaren Interferenzmustern. Diese implizieren Informationen, die ihre Natur, ihren Geist, ihren Stil, ihre Stimmigkeit und ihre Identität definieren. Jeder Aspekt des Universums ist im holographischen Weltbild für sich ein Ganzes. Es ist ein vollständiges Sein, ein für sich bestehendes umfassendes System, das einen vollständigen Vorrat von Informationen über sich selbst enthält. Jeder Aspekt enthielte Wissen um das Ganze, so daß hinsichtlich des Informationsaustauschs *keine* Form im Universum als abgeschlossen gelten könnte.

„Das Wort ‚implizit‘ ist abgeleitet vom lateinischen implicare, ein- oder zusammenfalten (so wie multiplizieren ‚mehrfach zusammenfalten‘ bedeutet). Das soll uns veranlassen, die Vorstellung näher zu erforschen, daß jeder beliebige Bereich in gewisser Hinsicht eine totale Struktur in sich ‚eingefaltet‘ enthält.“
David BOHM⁴⁰

Vom Standpunkt des holographischen Paradigmas hat Design die Aufgabe, das Einzufaltende so zusammenzulegen, daß es einem anderen auf dieser Grundlage möglich ist, es wieder zu entfalten. Dabei tritt das Phänomen schon bei alltäglichen Vorgängen zutage: Wenn wir einem Freund „Guten Tag“ sagen, so ist dem ein ganzes Universum von gemeinsamen Erfahrungen von Informationen eingefaltet. Die entfalteten Formen machen dabei nur den kleinsten Teil unseres Verstandes aus. Im holographischen Weltbild vermischen sich das Ganze und seine Teile. Die Erfahrung der Formen eröffnet die Möglichkeit, uns

³⁸Nach dem US-amerik. Psychologen Ralph ABRAHAM; Bob SAMPLES in: Ken [Wilber, 1986], S. 127.

³⁹Im Lichte der Superstringtheorie scheint der Ansatz vertretbar.

⁴⁰David BOHM zitiert in: Ken [Wilber, 1986], S. 131.

ihrer Symbolik zu bedienen. Wir könnten demnach aber auch einen beliebigen Aspekt unseres Planeten herausgreifen und damit seine holographischen Beziehungen zum kosmischen Kontext begreifen, in dem er existiert. Die verschiedenen Aspekte des Lebens existieren nach dem holographischen Paradigma nicht nur als Ganzes für sich, sondern auch in Überschneidung mit anderen, als holographisch zu bezeichnenden Zusammenhängen. Weil die energetische Übereinstimmung zwischen dem Ganzen und seinen Teilen aus reiner und echter Information besteht, ergibt sich, daß jedes Seiende nicht nur sich selbst ausdrückt, sondern auch umfassende Informationen über die größeren Zusammenhänge enthält, innerhalb derer es existiert, wie z.B. die Zellen eines Organismus etwas von der Gravitation und den geologischen Gegebenheiten der Erde erzählen. Eine Zerschneidung nach dem *divide et impera*-Prinzip ist hier nicht möglich. Der These, daß das Ganze mehr als die Summe seiner Teile sei, begegnet man auch in einem etwa seit hundert Jahren existierenden Zweig der Psychologie, der sich mit dem Wahrnehmen von Formen als Gestalten beschäftigt.

3.2.5 Gestaltpsychologie

„Nach den Ansätzen von Chr. von Ehrenfels, Max Wertheimer und Wolfgang Köhler ist für eine psychische Gestalt weder ihre Entstehungsweise noch ein bestimmtes Verhältnis zwischen seinen Teilen (beispielsweise ein Verschwinden der Teile) kennzeichnend. Entscheidend ist, daß Gestalteeigenschaften da sind.“ Wolfgang [Metzger, 1986, S. 133]

Gestalt meint die äußere, wahrnehmbare Erscheinung einer Form. Der Klang des Wortes Gestalt legt es nahe, daß ihm eine klare und eindeutige Vorstellung zugrunde liegt. „Als Begriffskorrelat zu Gehalt meint Gestalt die ästhetische, stilistische, strukturelle Bearbeitung eines literarischen Stoffes.“⁴¹ In der Gestaltpsychologie wird der Begriff auch auf kognitive Vorgänge, Gedächtnisinhalte und Handlungen angewandt. Die Gestalttheorie der Psychologie untersucht zudem das Verhältnis zwischen dem sich bildenden Ganzen und den Teilen. Dabei tragen die Teile u.U. eine beträchtliche Menge an Komplexität in sich. Der Wahrnehmungsapparat ist nach Gestaltpsychologischen Grundsätzen jedoch in der Lage, diese Komplexität zu reduzieren. Nach der Definition von RÉVÉSZ ist „Gestalt oder Form eines Gegenstandes die *Einheit* seiner wahrnehmungsmäßig hervortretenden Teile *beim völligen Aufgeben der Elemente* im Gesamteindruck.“⁴²



Abbildung 3.6: Diese Zeichnung läßt gestaltlich keinen Zweifel, welcher Hund hier Plisch und welcher Plum heißt. Meisterlich fügen sich Bezeichnung und Gezeichnetes zu Gestalten bei Wilhelm Busch.

⁴¹Bibliographisches Institut & F.A. [Brockhaus, 2000]. Stichwort: Gestalt.

⁴²Révész bei [Metzger, 1986], S. 124.

Rein physikalisch setzt sich eine Gestalt zusammen aus einer im Raum nach einer bestimmten Ordnung, nach einer Idee zusammengestellten „organisierten“ Form. Gestalt impliziert dabei eine gewisse Ganzheit. Im Englischen ist Gestalt ein Fremdwort, das Form, Ganzheit und Prägnanz miteinander verbindet. Der amerikanische KI-Forscher Marvin MINSKY jedoch sagt: „Gestalt ist wohl eher ein pseudo-erklärendes Wort.“⁴³ Zum Konzept der Gestalt gehört der Begriff der Prägnanz sowie wiederum das Prinzip der Übersummativität: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile (Kriterium nach EHRENFEST⁴⁴).

Charakterisiert wird eine Gestalt durch eine qualitativ neue Einheit, die über die quantitative Zusammensetzung der von ihr umschlossenen Teile hinausgeht. Sie ist somit die Wahrnehmungseinheit, die sich als Abgeschlossenes von ihrem umgebenen Kontext, ihrem Grund, abhebt (vgl. der Begriff des Abgründigen bei HEIDEGGER). Durch ihr inneres Ordnungsgefüge weist sie Gestaltqualitäten auf, ist z.B. transponierbar, wie eine Melodie aus einer Tonart in eine andere. Zur Erklärung für das Zustandekommen von Gestalt aus bestimmten Elementen kennt die Gestalttheorie eine Reihe von Gestaltfaktoren. Norbert WIENER nennt zu diesem Zweck drei Prinzipien der Assoziation von Ideen:⁴⁵

1. *principle of contiguity*
2. *principle of similarity*
3. *principle of cause and effect.*

Eine Gestalt zeichnet sich durch Nähe, Ähnlichkeit und Stabilität aus. Unsere Wahrnehmung richtet sich demnach nach relativ einfachen Regeln. Wir versuchen offenbar, komplexe Figuren in solche mit einfacheren Eigenschaften zu zerlegen. Darüber hinaus stabil ist eine Gestalt, wenn sie unabhängig gegenüber Störungen ist. Störungen meint hier Einflüsse, wie etwa geänderte Beleuchtung, Orientierung im Raum, Größe etc. Dies spielt etwa eine herausragende Rolle, wenn es um die Gestaltung von Firmenlogos bzw. CI's geht. In der Praxis macht man, um die Stabilität eines Logos festzustellen, eine Anzahl schlechter werdende Kopien eines entsprechenden Produkts, bis sein individueller Charakter verloren geht, und man stellt fest, wieviele Kopierschritte dazu nötig waren.

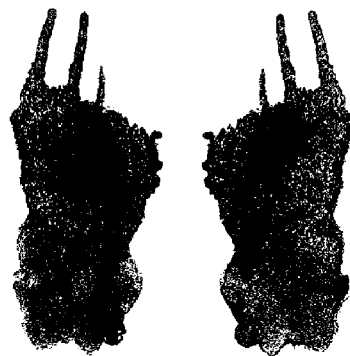


Abbildung 3.7: Tintenklecks zum projektiven Rorschach-Test.

Die Gestaltpsychologie geht von der Grundannahme aus, daß sich Erlebnisinhalte und innere Strebungen eines Menschen in seinen Wahrnehmungen, Schilderungen oder Ge-

⁴³Marvin [Minsky, 1990], S. 27.

⁴⁴T. Ehrenfest: Phys. Rev. **8,1** (1916), so zitiert bei [Bertalanffy, 1977].

⁴⁵Norbert [Wiener, 1961], Abschnitt VI, *Gestalt and Universals*, S. 133 ff.

staltungen projiziert ausdrücken (Projektion)⁴⁶. Man fragt beispielsweise: Was macht aus einem Bild mehr als eine Ansammlung von Pixeln? Was macht aus einem Gedicht mehr als eine Ansammlung von Buchstaben? Die Gestaltpsychologie hat zahlreiche Antworten auf derlei Fragen gefunden. In der Regel wird auf das Vorhandensein von Gestalteeigenschaften verwiesen, aber genau darin liegt auch das Dilemma der Gestalt-Theorie. So wird man bei eingehender Analyse überall Gestalteeigenschaften feststellen. Der Betrachtungswinkel zur Klärung des Gestaltproblems muß daher wohl eher in die Gegenrichtung zeigen: Was ist keine Gestalt? Was hat keine Gestalt? Dies sind Fragen, die hier eventuell mehr zur Klärung beitragen können.

Maurice MERLEAU-PONTY antwortet auf die Frage, was eine Gestalt sei, folgendermaßen: „Ist es ein Geist, der sie als Idee oder als Bedeutung erfaßt? Nein. Es ist ein Leib – In welchem Sinne? Mein Leib ist eine Gestalt, und er ist in jeder Gestalt kompräsent. Er ist eine Gestalt; auch ist er in höchstem Grade schwere Bedeutung, er ist Fleisch [...]. Und gleichzeitig ist er Bestandteil jeder Gestalt.“⁴⁷

3.2.6 Synergetische Informationsverarbeitung

Das Gehirn zeigt sich als Vernetzung der Neuronen, so daß ein weiterer Ansatz, die Informationsverarbeitung des Gehirns zu erklären, im Prinzip der Selbstorganisation begründet ist. Hermann HAKEN und Maria HAKEN-KRELL führen Form und Funktion des menschlichen Denkkapparates auf dieses Prinzip zurück: „Aber nicht nur beim Wachstum des Gehirns, sondern auch bei der Ausbildung unserer Gedanken müssen wir in starkem Maße Selbstorganisationsvorgänge annehmen. [...] Das Prinzip der Selbstorganisation scheint grundlegend in der Natur zu sein; es wäre verwunderlich, wenn es nicht auch für das Funktionieren des Gehirns eine Hauptrolle spielen würde.“⁴⁸ Begründet wird diese Annahme von ihnen in erster Linie experimentell. In „*Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung*“ wird zudem auf das Konzept *Synergetik*⁴⁹ von Hermann HAKEN verwiesen. Hermann Haken beschreibt darin das Zusammenwirken von verschiedenen Systemelementen und führt komplexe Zusammenhänge auf das Konzept eines Ordnungsparameters als das reduktionistische Element zurück. Der Ordnungsparameter ist dabei ein Maß für den sich in einem System ausbildenden Ordnungszustand. Durch „Versklavung“ zwingt der Ordnungsparameter dem System Ordnung auf; mit einem von Null verschiedenen Ordnungsparameter wird einem System so eine bestimmte Form aufgeprägt. Ein Beispiel aus der Physik für diese Zusammenhänge ist bei HAKEN der Laser. Der Ordnungsparameter ist hier proportional zur zugeführten Stromstärke zwischen den Spiegeln des Lasers. Bei Wahl des richtigen Ordnungsparameters verstärkt sich die Lichtwelle des Lasers durch Selbstorganisation bis hin zu dem charakteristischen, kohärenten Laserlicht. Durch Manipulation einer einzigen Größe kann komplexes Verhalten ausgelöst werden.

Das heißt auf die menschliche Wahrnehmung übertragen, daß ein (im allgemeinen als niedrigdimensional angenommener) Ordnungsparameter dem Wahrnehmungssystem

⁴⁶Vgl. z.B. projektive psychologische Testverfahren: Dem zu Testenden werden Kleckse zum Deuten (Rorschach-Test), vage Bilder zum Erzählen von Geschichten (thematischer Apperzeptionstest), angefangene Zeichnungen zum Ergänzen (Wartegg-Test), Mal-, Gestaltungs- oder Zeichenaufgaben, Spielmaterial und Ähnliches vorgelegt. Projektive Tests werden zur Begründung einer Diagnose nur als beschränkt zuverlässig und gültig beurteilt.

⁴⁷Maurice [Merleau-Ponty, 1976], *Arbeitsbiografien*, S. 263.

⁴⁸Vgl. Hermann [Haken, 1996], S. 11.

⁴⁹Synergetik meint die Entstehung neuer Eigenschaften in komplexen Systemen bzw. die Emergenz neuer Qualitäten derartiger Eigenschaften. Hermann Haken verhalf dem Begriff, sich zu etablieren. Das Karlsruher Institut, in dem er wirkt, heißt Institut für theoretische Physik und Synergetik.

eine Ordnung hervorruft, bzw. sogar aufzwingt. In den Fällen, wo verschiedene Lösungen möglich sind, kommt es zur Bifurkation: Die menschliche Wahrnehmung zeigt dann bi- bzw. multistabiles Verhalten. Als weitere Analogie zwischen den synergetischen Systemen der unbelebten und der belebten Natur nennen Haken und Haken-Krell noch die Hysterese. Analog zum physikalischen Zusammenhang Magnetfeld/Magnetisierung zeigen Haken und Haken-Krell hier, daß die menschliche Wahrnehmung ein Bewahren von Gestalten aufweist. Wird ein Reiz auf das Wahrnehmungssystem ausgeübt, so ist seine Wirkung nicht mehr augenblicklich zu löschen, sondern bleibt in gewissem Umfang zumindest eine Zeit lang erhalten (Abb. 3.8).

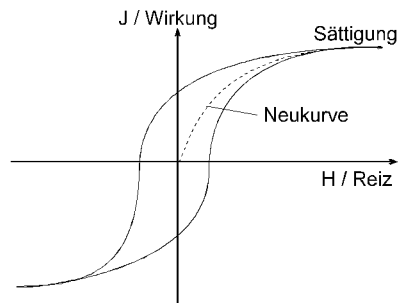


Abbildung 3.8: Hysterese und Wahrnehmung.

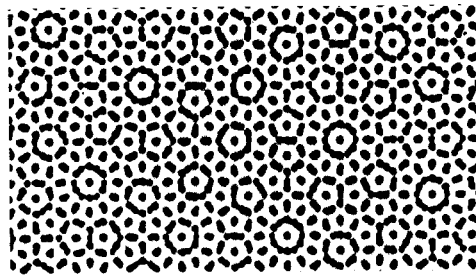


Abbildung 3.9: Multistabilität der Wahrnehmung. Aus: [Haken + Haken-Krell, 1992].

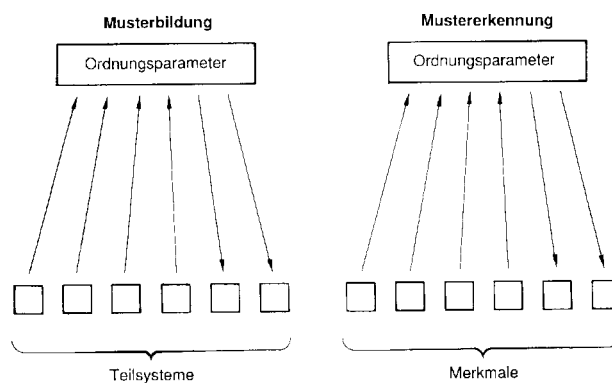


Abbildung 3.10: Musterbildung und Mustererkennung als selbstreferenter Prozeß bei [Haken + Haken-Krell, 1992].

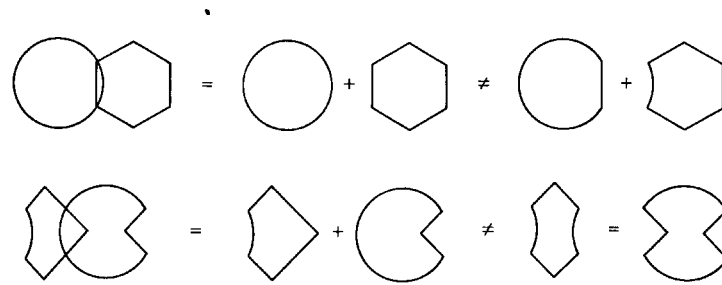


Abbildung 3.11: Beispiele für *Prägnanz* nach [Haken + Haken-Krell, 1992]. Die Figuren werden von unserer Wahrnehmung zu Gestalten ergänzt. Die linke Figur oben wird zu einem Kreis und die rechte Figur zu einem konvexen Körper vervollständigt.

Gestützt wird diese Annahme dadurch, daß die Informationsverarbeitung im Hirn parallel erfolgt, nicht seriell wie bei den heute üblichen Computern. Die Schaltzeiten der Neuronen sind klein im Vergleich zu den Schaltelementen der heutigen Computer, so daß die Verarbeitung der Informationen hier im Grunde nur parallel erfolgen kann. Die Gedanken erscheinen dann in der Form eines Interferenzbildes einzelner Arbeitsprozesse. Hermann Haken und Maria Haken-Krell vertreten die Hypothese, daß das Hervorbringen geistiger Leistungen – wie beim holographischen Bild – als ein Prozeß der Selbstorganisation allgemeinen Strukturgesetzen unterliegt.⁵⁰ Demzufolge unterlägen Gehirne als auch synergetische Computer solchen universalen Strukturgesetzen. Als Beispiele für Analogien zwischen strukturbildenden Phänomenen und unserer Wahrnehmung nennen Haken und Haken-Krell die drei Phänomene Bistabilität, Multistabilität und Hysterese.⁵¹ Das Änderungsverhalten solcher Wahrnehmungsphänomene ist typisch für nichtlineare Systeme: Die geringfügige Änderung eines Kontrollparameters kann ein und demselben System qualitativ völlig verschiedene Verhaltensweisen aufzwingen. Der Kontrollparameter kann dabei niedrigdimensional sein, auch eindimensional. Dies erklärte die Berechtigung des Reduktionismus im kreativen Prozeß: Mit geringem Aufwand können komplexe Wirkungen hervorgerufen werden. Dies gilt bei der Artefaktform-Gestaltung im besonderen, so ist weniger oft mehr. Durch Konzentration auf wenige Gestaltungsmittel kann u.U. trotzdem eine große Vielfalt an Möglichkeiten hervorgerufen werden. Daß sich unsere Wahrnehmung nach relativ einfachen Regeln richtet, veranschaulicht Abbildung 3.11. Zum Konzept der Gestalt korrespondiert auch hier der Begriff der Prägnanz. Komplexe Figuren werden von unserer Wahrnehmung in einfachere zerlegt.

⁵⁰Hermann [Haken, 1996], S. 13.

⁵¹*Ebenda*, S. 30 ff.

Fazit

Durch die Artefakt-Schnittstelle zwischen Mensch und Objekt werden die komplexen Informationsströme kanalisiert. Design dient zur Reduktion dieser Komplexität. Dazu ist es notwendig, die Informationskomplexität von Sender und Empfänger zu analysieren. Neben der Struktur und dem Verhalten komplexer Objekte ist der Aspekt der Beschränkung ein integraler Bestandteil der Objektsicht. Setzt man die Definitionen und Methoden der Gestaltpsychologie als konzeptionelle Grundeinheit, so lassen sich daraus erste Ordnungsprinzipien herleiten. Die folgenden Punkte fassen die Komplexitätsreduktionen noch einmal zusammen:

- Reduktionismus und Abstraktion. Abstraktion heißt dabei in der Regel das Weglassen weniger relevanter Informationen und die damit verbundene Hervorhebung des verbleibenden Informationsrests.
- Die Chaos-Theorie zeigt, daß man auch bei chaotischen Vorgängen immer noch einfache Grundgesetze finden kann.
- Das Prinzip *Divide-et-Impera* ermöglicht die Analyse komplexer Systeme über seine Teile.
- Die Komplexität der Weltstrukturen wird durch unsere Wahrnehmung wirkungsvoll herabgesetzt. Die Wahrnehmung strukturiert die Welt neu in einem Syntheseprozess, so daß das Weltbild zu einem Bild in diesem Raster gerät. Die Wahrnehmung besteht in einer zumeist unbewußten Interpretation von Informationen der Außenwelt und der anschließenden Rekonstruktion der Sinnesdaten. Dabei ergeben sich quantitative Beziehungen in der Sinnesphysiologie, z.B die beschränkte Kanalkapazität des Menschen oder das Weber-Fechnersche Gesetz. Das Hervorbringen geistiger Leistungen genügt höchstwahrscheinlich als ein Prozess der Selbstorganisation allgemeinen Strukturgesetzen.
- Die Objektorientierung der Informatik geht dabei weitgehend von der Erscheinung einer Welt aus, die aus gleichberechtigten und einheitlichen Objekten besteht. Sie baut dabei nicht auf Daten und Prozeduren, sondern auf Aktivitäten, Kommunikation und Vererbung auf.
- Durch „Chunking“- Blockbildung – können komplexe Problemfelder strukturiert werden.
- Die Gestaltpsychologie teilt Formen axiomatisch durch Gestaltgesetze ein.
- Synergetische Informationsverarbeitung zeigt, daß über einen einzelnen Kontrollparameter komplexes Verhalten gesteuert werden kann.

Aus diesen Punkten lassen sich etliche Erkenntnisse isolieren, die im Designprozess Verwendung finden können. Im Gegensatz dazu bietet das holografische Weltbild, wonach die Gedanken in der Form eines Interferenzbildes einzelner Arbeitsprozesse erscheinen, aus heutiger Sicht nur relativ wenige Ansatzpunkte, wie die Komplexität eines Systems verringert werden könnte. Ein weitergehendes Konzept für das Feststellen von Merkmalen, die die Kontinuität von Naturformen und ihre Verzahnung gliedern, oder andere operationalisierbare Schritte für den Designprozess konnten in dem holistischen Bild nur ansatzweise erkannt werden.

Kapitel 4

Die Form als philosophischer Gegenstand

«La Idea de que existen procesos morfogenéticos ya estaba latente en el pensamiento de los primeros filósofos griegos, pero Aristóteles fue el primero en concebir los fenómenos naturales como procesos en busca de forma; la noción aristotélica de la realización o actualización de la forma potencial es de gran importancia.» Armando Aranda [Anzaldo, 1997]

Die Vorstellung von der Entstehung von Formen spielt in der Philosophie seit jeher eine tragende Rolle. In diesem Kapitel soll ein kurzer Abriß über wichtige Stationen der philosophischen Geschichte der Formen gegeben werden, der dabei jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

4.1 Entelechie und Dýnamis

In der griechischen Philosophie war die Vorstellung von der Morphogenese schon früh mit einem harmonisch in sich geordneten Weltzusammenhang, einem Kosmos, verbunden. Aufbau und Dynamik des Kosmos ergeben sich danach aus ewigen Gesetzen – *logos*. Diese Gesetze kann man dabei als regulative Idee ansehen.¹ Das Bild der Formentstehung ist also im Prinzip schon immer untrennbar mit der Entstehung der Welt und des Kosmos, mit der Kosmologie, verbunden. Die Ideen der Vordenker im alten Griechenland wurden wahrscheinlich erst allmählich und über mehrere Stationen hinweg entwickelt. Insbesondere die Emanzipation vom Mythos vollzog sich wohl nur zögerlich. In diesem langwierigen Prozeß haben zweifellos die Vorsokratiker die bahnbrechende Arbeit des Denkens geleistet, auf der philosophische Klassiker wie PLATON und ARISTOTELES aufbauen konnten.² Aristoteles sieht mit Platon das eigentliche Ziel aller wissenschaftlichen Welterklärung in der Erkenntnis der Form.³

Die wohl erste folgenreiche Theorie über den Prozeßtypus der Formbildung geht auf Aristoteles zurück (vgl. Zitat von Armando Aranda ANZALDO, s.o.). In einem kurzen Exkurs soll die mit Aristoteles beginnende systematische Betrachtung des Naturgeschehens hier Erwähnung finden, insoweit sie sich dem Formprinzip zuwendet.

¹Vgl. Rainer Paslack, *Vom Mythos zum Logos: Chaos und Selbstorganisation bei den Griechen*, in: *Chaos und Ordnung: Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*, Reclam 1996, S. 28.

²*Ebd. a.a.O.*, S. 29.

³Ernst [Cassirer, 1961b], S. 88.

Die entelechale Betrachtung der Natur bei Aristoteles beschreibt eine Form der Bewegung, die ein Ziel anstrebt, während die endgültige Wesensgestalt bereits im Vollzug vorweggenommen ist.⁴ Die Prinzipien – Entelechien – leisten die Organisation eines Ganzen, indem sie sich selbsttätig im Zusammenspiel der Teile verwirklichen. Die organische Natur und die Reihe der Lebewesen schildert Aristoteles als eine aufsteigende Entwicklung, die von einer Form zur anderen führt. Der gesamte Prozeß der Formentstehung ist bei Aristoteles auf sein *télos* ausgerichtet. Er fragt nach den Grundursachen von Formen:

„Da wir nun offenbar eine Wissenschaft der Grundursachen (ex archês aítia) uns erwerben müssen (denn Wissen schreiben wir uns in jedem einzelnen Falle selbst dann zu, wenn wir die erste Ursache zu kennen glauben), Ursache aber in vier verschiedenen Bedeutungen gebraucht wird, einmal als Wesenheit (ousía) und Wesenswas (tò tí ên éinai), denn das Warum wird zuletzt auf den Begriff der Sache zurückgeführt, Ursache aber und im Prinzip ist das Erste Warum), zweitens als Stoff (hýl-e) und Substrat (hypokeímenon), drittens als das, wovon die Bewegung (kín-esis) ausgeht, viertens im Gegensatz zu den letzteren, als das Weswegen (tò hú héneka) und das Gute (agathón) (denn dieses ist das Ziel alles Entstehens und aller Bewegung)[...].“ [Aristoteles, 983a, S. 44]

Andernorts ist zu lesen:

„Ursache wird in Bedeutung der immanente Stoff genannt, aus welchem etwas wird; so ist das Erz der Bildsäule, das Silber der Schale Ursache und ebenso die allgemeineren Gattungen von diesen; in einer andern Bedeutung heißt Ursache die Form und das Musterbild – dies ist aber der Begriff des Wesenswas – und die allgemeineren Gattungen davon, z.B. Ursachen der Oktave im Verhältnis von zwei zu eins und allgemeiner die Zahl und die in dem Begriff enthaltenen Bestandteile. Ferner heißt Ursache dasjenige, von dem aus die Veränderung oder die Ruhe ihren ersten Anfang nimmt; so ist z.B. der Beratende Ursache, oder der Vater Ursache des Kindes, und überhaupt das Hervorbringende Ursache des Hervorgebrachten, das verändernde Ursache des Veränderten. Ferner heißt etwas Ursache als Zweck, d.h. als dasjenige, um deswillen etwas geschieht; in diesem Sinne ist die Gesundheit Ursache des Spazierengehens.“ [Aristoteles, 983a, S. 44]

Die vier Grundursachen nach Aristoteles kleiden sich in folgende vier Kausalitätsbegriffe:

- Stoffursache
- Formursache
- Bewegungsursache
- Zweckursache

Nach Aristoteles gehören zwei Komponenten dazu, damit sich etwas formt: eine auf eine Gestaltprägung angelegte Materie, die er als *Dýnamis* bezeichnete, und ein prägendes Prinzip, dem er den Namen Entelechie gegeben hat. Dieses Begriffspaar wurde von ihm entwickelt, um Bewegung und Veränderung widerspruchsfrei erklären zu können. Demgemäß synthetisiert sich ein Artefakt aus dem Stoff (griech. *hýle*; entspr. dt. Holz) und der Form (griech. *éidos/morphé*; lat. *forma*). Die Ursachen der Artefakte sind der Stoff und die Form, jedoch nicht in derselben Weise: Das eine wirkt als Substrat und das andere als Ursprung der Bewegung.⁵ Die Gegenstände werden bei Aristoteles durch ihre Substanz

⁴Vgl. Martin [Schubert, 1998], *Philosophie der Botanik: naturphilosophische und wissenschaftstheoretische Untersuchungen zur Morphologie und Physiologie der Pflanzen*, S. 264.

⁵[Aristoteles, 1994], S. 128, 1013b.

begründet und durch ihre Form abgegrenzt. Anschaulich ist hierzu die Darstellung nach [Kunzmann, 1991] in Abbildung 4.1.

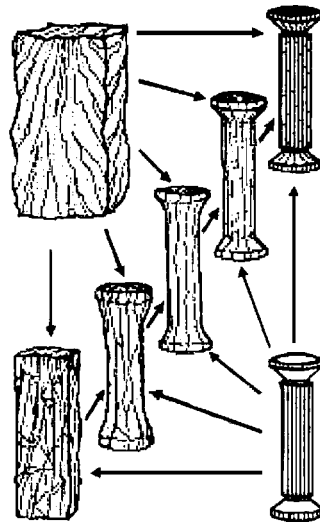


Abbildung 4.1: Die Entstehung des Gegenstandes aus Stoff und Form.

Nach ARISTOTELES verändert sich bei jeder Veränderung etwas durch etwas und in etwas. Dasjenige, wodurch es sich verändert, ist das erste Bewegende; das, was sich ändert, ist der Stoff (*Hýle*); das, worin es sich verändert, ist die Form (*Morphé*).⁶ Bei ihm entsteht jedes Entstehende und vergeht jedes Vergehende entweder aus Gegenteiligem oder zu Gegenteiligem sowie in die Mittelzustände dazwischen. Diese Mittelzustände sind ihrerseits aus den Gegensätzen herleitbar, z.B. Grau aus Weiß und Schwarz. Folglich gilt bei ihm: „Alles natürlich Entstehende wäre entweder selbst Gegensatz oder aus Gegensätzen.“⁷ Die auf Aristoteles' Metaphysik zurückgehende Lehre, in der das von Natur aus Seiende als das sich Verändernde erklärt wird, begründete den *Hylemorphismus*. Seit ARISTOTELES wird die Form so der Materie, dem Stoff bzw. auch dem Inhalt gegenübergestellt. Als die rein solche ist sie dementsprechend unstofflich sowie immateriell. Sie ist mit dem Inhalt angefüllt, selbst bleibt sie jedoch ohne Inhalt, gleicht eher einem Behältnis mit unendlich dünner Wandung.

Durch ARISTOTELES wurde Form zu einem Zentralbegriff der Philosophie, insbesondere in der Metaphysik und der Erkenntnistheorie. In Aristoteles' Hylemorphismus determiniert die Form (*morphé*) das Substrat, den Stoff, zu einem bestimmten Seienden; Seiendes ist Geformtsein, alles Werden ist Formempfangen und alles Vergehen ist Formverlieren. Der Formbegriff im Sinne des Hylemorphismus hatte über Augustinus, Thomas von Aquin und Immanuel Kant Auswirkungen bis in die Moderne.

4.2 Potenz und Akt

Von Aristoteles und von der Scholastik wurde Potenz (bzw. griech. *dýnamis*) vom Akt (der Wirklichkeit eines Seienden, griech. *energeia*) unterschieden. Nach T.v. AQUIN ist Potenz dabei die Möglichkeit, das Vermögen und die innewohnende Kraft; Akt hingegen ist Verwirklichtsein, *actus*. Die konkreten Dinge sind nicht nur Wirklichkeit, sondern stets

⁶[Aristoteles, 1994], S. 309, 1070a.

⁷[Aristoteles, 1995], S. 13 f.

auch bestimmt von Möglichkeiten, sie tragen Potentialität in sich. Der *actus* ist das nicht weiter zurückführbare Prinzip des Wirklichseins (*actus primus*) und des Wirkens (*actus secundus*).⁸ Dem entspricht die *potentia* als Prinzip des Werdens. Als *potentia activa* ist sie die Möglichkeit, einen Akt hervorzubringen, als *potentia passiva* einen Akt zu empfangen.

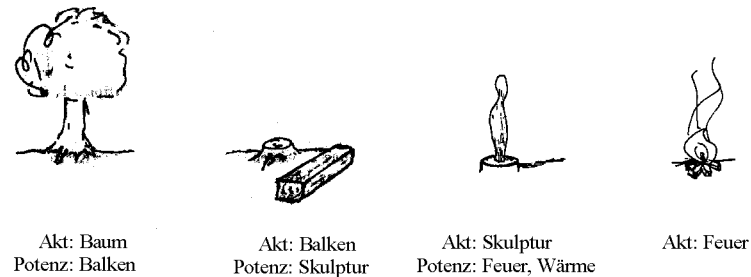


Abbildung 4.2: Einfaches Beispiel zu Potenz und Akt.

Die Gestaltung von Produkten im Designprozeß zielt entsprechend nicht nur auf ihr Wirklichsein (z.B. als starre Form gedacht), sondern auch in Hinblick auf ihre Möglichkeiten, die man mit ihnen verbindet (z.B. Funktionen oder Umweltgefahren). Es zeigen sich also dynamische und statische, funktions- und datenorientierte Aspekte. Genauso können Zustand und Verhalten eines Entwurfs in dieser Weise betrachtet werden. Die Potenz schließt eine bestimmte Voraussicht in sich. Die Korrelation und das Ineinandergreifen der beiden Momente herauszustellen, kann als Entwurfs-Methode Verwendung finden.

4.3 Mechanistische Formentstehung

Die aristotelischen Form-Begriffe hatten in der Philosophie des Abendlandes lange Zeit Gültigkeit behalten. Erst die neuzeitliche Wissenschaft löste die aristotelischen Kausalitätsbegriffe auf. Das Problem der Ordnungsstiftung, das bei den Griechen auf die Weltentstehung aus einem ungeordneten Chaos bezogen war und bei Aristoteles durch eine Theorie der immer schon geformten und daher ewigen Welt aufgelöst wurde, wurde nun zu einem Problem ausgeweitet, das alle Wirklichkeitssegmente betraf. Es stellte sich primär die Frage, wie Ordnung entstehen kann. Ohne ordnende Kräfte schien dies unmöglich. Die Veränderungen in der Natur wurden zunächst, da man keine anderen Kräfte kannte, auf rein mechanische Wechselwirkungen zurückgeführt. Die mechanische Wechselwirkung, die „*causa efficiens*“, bestimmte nach mechanistischer Sicht den Lauf der Welt. Erst nach NEWTON ergibt sich die Ordnung des Planetensystems allein aus der Gravitation. Die Ordnung des Planetensystems wurde zum Paradigma für die Ordnung einer „blinden“ Kraft und begründete das mechanistische Weltbild.⁹

In der Wissenschaftsgeschichte nimmt die mechanistische Weltsicht ihren Gipfelpunkt in der Figur des LAPLACESchen Dämons, der in Kenntnis aller Naturgesetze den Lauf der Welt voraus- und zurückberechnen kann, wenn er ihren Zustand zu nur einem Zeitpunkt kennt, so daß die Welt anschließend zum präzisen Lauf eines Uhrwerks degeneriert. In Kenntnis der Eigenschaften aller Teile könnte man in dieser Sicht das Ganze berechnen. Aus einer früheren homogenen Anfangsverteilung könnte man die heutige Gestalt des

⁸Vgl. Richard [Heinzmann, 1994], S. 39.

⁹[Küppers + Paslack, 1996], S. 47.

Universums berechnen, genauso wie die Formen unserer zukünftigen Entwürfe. Im mechanistischen Weltbild konnte man zeigen, daß die Annahme rein mechanischer Ursachen ausreicht, um die Bildung der Ordnung etwa des Sonnensystems zu erklären. Gescheitert ist die mechanistische Annahme in der Erklärung der Entstehung und Organisiertheit der Formen des Lebens. Zu diesem Zweck mußte im 18. Jh. vielmehr eine zusätzliche Kraft (die Lebenskraft) eingeführt werden.

4.4 Formentstehung bei Goethe

*Alle Gestalten sind ähnlich, und keine gleicht der andern;
Und so deutet das Chor auf ein geheimes Gesetz,
Auf ein heiliges Rätsel.
[Goethe, 1798]*

Das Werk von Johann Wolfgang von Goethe gehört der Weltliteratur an, seinem Erkenntnisdrang jedoch ist es zu verdanken, daß er auch ein unschätzbare Gut von theoretischen Schriften und Aussagen über Kunst und Kultur, Natur und Gesellschaft hinterließ. Seine Universalität führte dazu, daß auch die naturbetrachtenden Schriften Goethes ein weites Feld abdecken: „Dem Menschen wie den Tieren ist ein Zwischenkieferknochen der oberen Kinnlade zuzuschreiben“ (1784), „Über den Granit“ (1784), „Die Metamorphose der Pflanzen“ (1790), „Zur Farbenlehre“ (1810) und „Zur Naturwissenschaft überhaupt, besonders zur Morphologie“ (1817). Letztendlich war es Goethe, der den Begriff Morphologie für die Betrachtung von Raumgestalten nachhaltig prägte. In der Entdeckung des Zwischenkieferknochens sah Goethe die Bestätigung, daß in der Natur keine Gestalt von der anderen abgeschieden und schlechthin losgelöst sei.¹⁰ Die oben zitierten Zeilen aus seiner Elegie „Die Metamorphose der Pflanzen“ entstand acht Jahre nach seiner wissenschaftlichen Abhandlung desselben Themas und vereinigt Wissenschaft und Poesie auf phantastische Art und Weise. Die Einsichten, die hier geschildert werden, stimmen genau mit denen der gleichlautenden wissenschaftlichen Schrift überein. Darin definiert Goethe die Metamorphose als einen „stufenweisen“ Prozeß der Ausbildung, der durch „Umwandlung einer Gestalt in die andere, gleichsam auf einer geistigen Leiter, zu jenem Gipfel der Natur, der Fortpflanzung durch zwei Geschlechter, hinaufsteigt“. In seiner Interpretation der „Metamorphose der Pflanzen“ zeigt Karl RICHTER insgesamt vier Gesetzmäßigkeiten der Metamorphose bei Goethe auf:

1. „Alle Gestalten, die die Pflanze, von den Keimblättern über die Laub-, Kelch-, Blüten- und Staubblätter, hervorbringt, sind Varianten ein und desselben Grundorgans, des Blatts. Was sich der Farbe, Form und Funktion nach in die mannigfaltigsten Erscheinungen differenziert, zeigt in morphologischer Hinsicht eine geheime Identität.
2. Alle diese Organe werden in gesetzmäßiger Folge und Anordnung am Stengel hervorgebracht.
3. Das Geschehen unterliegt dabei einem mehrfachen Wechsel von Entfaltung und Konzentration, von Ausdehnung und Zusammenziehung.
4. Es wird als Vorgang einer stufenweisen Steigerung verstanden, wenn z.B. die wissenschaftliche Schrift vom Aufstieg zum ‚Gipfel der Natur, der Fortpflanzung durch zwei Geschlechter‘ spricht oder das Gedicht von einer Lenkung ‚in das Vollkommnere‘ [...] und von der ‚höchsten Gestalt‘ [...], in der sich wiederum als neue Stufe des Werdens

¹⁰Nach Ernst [Cassirer, 1961b], S. 24.

die Vereinigung der Geschlechter vorbereitet und ankündigt.“ [Karl Richter, 1984, S. 156-157]

In Goethes Werk wird immerfort der Zusammenhang und die Einheit alles Seienden betont, auch an den Stellen, wo er nur Einzelnes beobachtet. Sein Werk ist gekennzeichnet durch ein Streben nach einheitlicher und zusammenschauender Betrachtung, so daß man dies heute als eine holistische Betrachtung bezeichnen würde.¹¹ „Niemals verliert er sich im Detail, stets versucht er, sowohl als Künstler wie als Forscher am Besonderen das Allgemeine aufzuzeigen. Seine Tendenz, immer wieder vom einzelnen Fall her zu Verallgemeinerungen zu kommen, ist ein bedeutendes theoretisches Vermächtnis.“¹² In seinen Werken spiegelt sich ein sensibles Naturempfinden wider, wobei wir heute das, was er häufig *Natur* nennt, mit „Wirklichkeit“ übersetzen würden.¹³ Goethe war darin stets um Objektivität bemüht und besaß einen hohen Anspruch an die Inhalt-Form Beziehungen.¹⁴ Beim jungen Goethe kommt der Künstler durch die „Natur“ zur ästhetischen Idee. Der Stil ruht ihm auf den tiefsten Grundfesten der Erkenntnis, insofern es uns erlaubt ist, ihn in sichtbaren und greiflichen Gestalten zu erkennen.¹⁵ Der Weg zu einer realistischen künstlerischen Produktion führte bei ihm über die Entdeckung von Naturwahrheiten. In ihrer Produktivität wetteiferte die Kunst mit der Natur. Das Spezifische der Kunst liegt bei Goethe darin, daß sie im Besonderen das Allgemeine abbildet. Auch besitze die Kunst ihre eigene Tiefe, ihre eigene Gewalt; sie fixiere die höchsten Momente der oberflächlichen Erscheinungen, indem sie das Gesetzliche der Natur anerkennt.¹⁶ In diesem Sinne soll im kommenden Teil das Konzept der Form im Kontext der Entstehung von Naturformen überprüft werden.

Fazit

In diesem Kapitel wurden verschiedene Konzepte zur Formentstehung in einem historischen Überblick gewürdigt. Der Formbegriff besitzt eine lange Tradition in der Philosophie. Das problematische Verhältnis zwischen Ordnung und Unordnung beschäftigt die Wissenschaftler seit der Antike. Die Wandelbarkeit der Natur erregte innerhalb dieser Auseinandersetzung zunehmend die Aufmerksamkeit der Forscher. Durch sehr genaues Beobachten konnten die Forscher früherer Zeiten Erkenntnisse gewinnen, die auch heute noch in Entwurfsprozessen nützliche Konzepte bilden können.

¹¹ Vgl. Armando Aranda [Anzaldo, 1997], *la complejidad y la forma*, S. 53.

¹² Hans Jürgen [Geerdts, 1982], *Zu Goethe und anderen*, S. 77.

¹³ Hans Jürgen [Geerdts, 1982], S. 78.

¹⁴ Hans Jürgen [Geerdts, 1982], S. 89.

¹⁵ Ernst [Cassirer, 1961b], S. 31.

¹⁶ Hans Jürgen [Geerdts, 1982], S. 92.

Teil II

Naturformen

Chaos und Ordnung

Kapitel 5

Von der Unterschiedslosigkeit zur Form

„Dieser Kieselstein oder diese Muschel sind Dinge in dem Sinne, daß es in ihnen – jenseits dessen, was ich von ihnen sehe und an ihnen berühre, jenseits ihres rauhen Kontakts zu meinen Fingern oder meiner Zunge und des Geräusches, das sie machen, wenn sie auf meinen Tisch fallen – ein einzigartiges Fundament dieser verschiedenen (und vieler anderer mir noch unbekannter) ‚Eigenschaften‘ gibt, das diese dem Kieselstein oder der Muschel auferlegt oder zumindest die Variation derselben in bestimmten Grenzen hält. Dabei ist die Kraft dieses Prinzips keine faktische Kraft: denn ich weiß sehr wohl, der Kieselstein und die Muschel könnten augenblicklich durch das, was sie umgibt, zermalmt werden. Sie ist vielmehr sozusagen eine Rechtskraft, eine Legitimität: denn würden ihre Veränderungen ein bestimmtes Ausmaß überschreiten, so würden sie aufhören, dieser Kieselstein oder diese Muschel oder auch nur Kieselstein oder Muschel zu sein.“
Maurice [Merleau-Ponty, 1986, S. 209]

Das Design beschäftigt sich zunächst mit der Vielfalt und gelegentlich sogar mit der prinzipiellen Unvorhersagbarkeit seiner Formen: Darüber verliert es häufig den Blick für eine Fülle von Gemeinsamkeiten, deren Formen der Komplexität zwischen uns und den Dingen, die wir entwerfen möchten, verbinden. Eine zusammenschauende Betrachtung wie bei Goethe, welche Natur mit Wirklichkeit identifizieren kann, verbleibt als ein Beispiel für eine Theorie guten Entwurfs. Für die Theoretische Physik hingegen ist alles, was ist, Natur. Es folgt, zum Vorhergehenden nur geringfügig im Kontrast stehend, eine Darstellung der Formbildungsprozesse in der Natur. Die Ausführungen erfolgen top-down vom Allgemeinen zum Besonderen. Sie beschränken sich zumeist auf qualitative Eigenschaften; so ist es nicht möglich, die mathematischen Grundlagen (etwa die „*theorie catastrophe*“ von René Thom) der Morphogenese in allen Details darzustellen, ohne die Seitenzahl dieser Arbeit nicht zumindest zu quadrieren. Da die Designwissenschaft im wesentlichen auf qualitative Festlegung von Formen in den Grenzen, die die menschliche Wahrnehmung vorgibt, hinarbeitet, liegt hierin jedoch kein wesentlicher Verlust. Geht es doch darum, durch den Aspekt der „Prinzipien der Form“ eine weitere interdisziplinäre Dimension zu eröffnen: die wissenschaftliche Sicht auf eine Welt zusammengesetzt aus Formen.

5.1 Raumzeitliche Formentstehung

5.1.1 Theorien für alles

Eine Untersuchung von Formen zu betreiben, bedeutet, die folgenden Fragen zu stellen: Warum gibt es Form? Was sind die Bedingungen für Form, für ihre Existenz, für ihre Vielheit und ihre Identität? Die einfachsten Lösungen hierauf liefern die Weltreligionen; sie setzen als regulative Idee eine Anzahl Götter als oberste Designer ein. Diese Reduktion

der Komplexität kann ihresgleichen nicht finden; von der Schnittstelle zwischen Design und Physik aber, an der diese Arbeit angesiedelt ist, wird der Arbeitspunkt zur Klärung dieser Fragen in Richtung der Physik verschoben. Respektive Teilchenphysik und Kosmologie können hier die größten Beiträge liefern, fußt das Erklären der Form doch auf dem Prinzip der Kausalität. Die Letzterklärung zur Frage der Formen und ihrer Ursachen hat die Naturwissenschaft dabei bislang noch nicht zu Tage fördern können. Wahrscheinlich ist eine Klärung der Formenfrage auch gleichbedeutend mit der Kenntnis von Aufbau und Ursache des Universums, eine Kenntnis, die wir heute noch nicht besitzen. Die Fragen in diesem Punkt stellen sich also in erster Linie den Naturwissenschaften: „Als Monument objektiver und wahrer Erkenntnis ruhen, so scheint es, die Naturwissenschaften im geistigen Zentrum unserer Welt: ein imposantes Denkgebäude, fest gefügt aus soliden Einsichten in die Struktur der Materie und die Organisation des Lebendigen.“¹

Diese Einsichten, die die Natur dem Menschen bislang gewährt hat, haben sich noch nicht zu einem vollständigen Bild gefügt. Vielmehr gibt es diverse unterschiedliche Abbildungen, Ansichten, Schattenwürfe der Wirklichkeit auf das Wissen der Menschheit (vgl. Abschnitt 3.2.1). Zusammengefügt sollen diese unterschiedlichen Ansichten eines Tages in einer Theorie für alles – einer *theory of everything* (*TOE*) – kondensieren. In der Physik ist diese jedenfalls schon seit einiger Zeit projiziert. Einige Entwürfe einer allumfassenden Theorie liegen unlängst vor, befinden sich jedoch noch in der Diskussion der großen Forschungsinstitute. Die Architektur des physikalischen Denkgebäudes besitzt hierbei noch entscheidende Schönheitsfehler. Seine beiden Hauptsäulen, die Quantenmechanik und die allgemeine Relativitätstheorie, passen noch nicht ineinander:

„In der Welt der Elementarteilchen gelingt es der Relativitätstheorie nicht, mit den Gesetzen der Quantenmechanik in Einklang zu kommen; umgekehrt stellen im kosmischen Maßstab Schwarze Löcher die Grundlagen der Quantenmechanik in Frage. Und es ist bereits klar, daß diese Widersprüche nicht durch eine kleine Korrektur aufzulösen sind.“²

Das lohnende Ziel sei also eine *theory of everything*, die nicht nur diese Widersprüche auflöst, sondern schlichtweg alle Phänomene der Physik erklärt. Eine *TOE* bildete damit das Ende des Formenproblems, genauso wie das Ende der Naturwissenschaft schlechthin. So sagten die *TOEs* aus, „daß die Welt sein muß und daß sie so sein muß, wie sie ist.“³ Auf dem Weg zu einer *TOE* haben sich bereits einige Zwischenergebnisse als besonders hoffnungsvoll herausgestellt: die Supersymmetrie, die Superstringtheorie und die *grand unified theory* GUT.

Der entscheidende Nachteil einer solchen allumfassenden Theorie wäre, daß sie sich unerreichbar weit von den Möglichkeiten der Überprüfung durch Experimentatoren entfernte. Der klassische zweigleisige Weg der Physik, in dessen Verlauf eine enge Verbindung zwischen Experiment und Theorie besteht, ist immer schwerer zu verwirklichen, da die dem Menschen zur Verfügung stehenden Energiemengen für die zugehörigen Experimente nicht mehr ausreichen, um eine Theorie zu verifizieren (bzw. eigentlich im Gegenteil: sie zu falsifizieren (POPPER)). Das Prinzip, nach dem eine Theorie dann fällt, wenn ein Experiment gefunden wird, das gegen sie spricht, wird daher durch eine solche *TOE* in Frage gestellt.⁴ Man kann mit den *TOEs* auf eine totale Beschreibung der Formen, deren

¹Bernd Olaf [Küppers, 1993].

²Michael J. [Duff, 1998].

³Holger van den [Boom, 1997a], S. 8.

⁴Vgl. Joachim [Bublath, 1992], S. 174.

Kausal- und Bedeutungszusammenhang hoffen, um dadurch alle Inhalte der Welt form-schlüssig zusammenzubringen, aber eine solche Totalität der Form bleibt zumindest aus dem eben angeführten Grund eine Vision.

5.1.2 Die Ebene der Darstellung

Wie in Kapitel 1 festgestellt, können Formen allgemein als Zustände in der Welt aufgefaßt werden. Naturformen und Artefakte sind gemeinsam Ausschnitte der – mindestens partiell willkürlichen – Realität. Abgeschlossene Formen sind im Prinzip nur in der Wahrnehmung existent. Der Horizont etwa existiert nur in unserer Wahrnehmung, nicht im Denken. Artefakte werden für ihre Nutzung in der Realität geplant, und Naturformen können per se als real angesehen werden, sonst würden sie sich der Beobachtung durch die Naturwissenschaft entziehen.⁵ Als Realitätsausschnitte besitzen beide Ausprägungen räumliche und zeitliche Aspekte. Raum und Zeit werden hierbei gemeinhin als kontinuierlich und zusammenhängend angenommen, obwohl in der modernen Physik Zweifel hieran aufgetaucht sind. Dem zeitlichen Aspekt ist physikalisch die Hauptrolle der Realität zuzuordnen. Für Artefakte projiziert man eine Nutzungsdauer, und auch Naturformen besitzen eine begrenzte Lebensdauer. Als grundlegende Kategorie der Welt umfaßt die Zeit all das, was unsere Auffassung der Realität ausmacht: das Sein von Dingen, Personen und ihren Taten, Geschehnisse und Situationen. „Wenn die Zeit Grundkategorie alles Realen ist, ist ‚die allgemeine Seinsform des Realen das Werden‘.“⁶ Der zeitlichen Komponente unseres Daseins widerfährt das Gleiche wie der räumlichen: Im Zuge der Evolution hat sich unser Wahrnehmungsvermögen passend für unseren Raum entwickelt. Dies bringt es mit sich, daß wir uns keine Vorstellung von anderen Räumen machen können, und sich unser intuitives Raumgefühl am ehesten mit dem dreidimensionalen euklidischen Raum deckt. Die Mathematik ihrerseits teilt die Welt in ordentliche Formen. Mathematische Modelle können nichteuklidische Räume zwar vollständig beschreiben, Muster und Formen darin können wir aber nur als Projektion auf einen für uns begreifbaren Raum darstellen. Dies macht es schwierig, sich bestimmte Erkenntnisse der modernen Physik plausibel zu machen, und noch schwieriger, sie anderen zu vermitteln. Der Raum in der Welt der subatomaren Teilchen sowie der sehr großen und schweren Körper – in der Größenordnung des Universums – unterscheidet sich krass von den unserem Raumgefühl entsprechenden Dimensionen. Zahlreiche Grundbegriffe, welche entscheidend für unser alltägliches Verständnis der Welt sind, verlieren ebenfalls sämtliche Bedeutung, wenn man sich in mikroskopischen, quantenmechanischen Dimensionen bewegt.

Endgültige naturwissenschaftliche Projektionen auf den uns begreifbaren Raum liegen noch nicht vor, so daß man hierauf nicht aufbauen kann. Wir erkennen heute erst einige Schattenwürfe der Realität, die an sich natürlich unerkennbar bleiben wird. Wissenschaft nimmt implizit an, daß im Universum eine Ordnung existiert und daß Experimente darin reproduzierbar sind. Nach P.A.M. DIRAC stellt sich die Frage, ob die Naturgesetze ein Substrat steuern, von dem wir uns kein geistiges Bild verschaffen können, ohne Belanglosigkeit einzuführen.⁷ Dem Forscher bleibt gelegentlich nicht mehr, als die Form der Dinge nach dem *State of the Art* zu beurteilen, und dabei anzuerkennen, daß eine Theorie definitionsgemäß unvollständig ist, solange sie sich in Entwicklung befindet.⁸ Die Naturgesetze

⁵Natur- und Wirklichkeitsbegriff verhalten sich in der Naturwissenschaft weitgehend tautologisch. So befaßt sich die Physik mit den Wirkungen der natürlichen Dinge, mit ihrer (Wirklichkeit). Allgemein ist sie die Wissenschaft der Wechselwirkungen.

⁶Wolfgang [Lörcher, 1972], S. 8.

⁷Nach P.A.M. DIRAC, zitiert bei [Mandelbrot, 1991], S. 33.

⁸Brian [Greene, 2000], S. 198.

haben sich zur Erkenntnisgewinnung jedoch bewährt, und es gibt viele Gründe, sie zur genauen Darstellung des Weltzusammenhangs zu verwenden, beispielsweise:

- Naturgesetze erlauben es, Vorhersagen zu treffen.
- Die Naturgesetze beantworten uns die Frage, ob ein gedachter Vorgang denkbar ist, oder nicht.
- Naturgesetze sind die Grundlage der Technik.

Die Naturwissenschaften versuchen, eine Ordnung aus der Welt herauszulesen und nicht in sie hineinzulesen. Durch die Naturgesetze hoffen wir, daß die Strukturen der Welt gefunden oder wenigstens rekonstruiert werden können. Ernst CASSIRER sieht Wissenschaft nur als „Glied und Teilmoment im System der ‚symbolischen Formen‘“⁹. Die Titel der Zwischenschritte auf dem Weg zur *TOE* indessen, etwa Superstring- oder Membranentheorie (bzw. M-Theorie), zeigen dabei, daß dem *Denken in Formen* auch in den Naturwissenschaften eine immense Relevanz als bildliche Vorstellung für die wissenschaftlichen Einsichten zukommt. Auch gibt es in den Naturwissenschaften feste unveränderliche Formen, wie etwa die Graphen der Sinus- oder Exponentialfunktion $f(x) = e^x$, die ihre Form auch bei bestimmten Operationen wie Integration oder Differentiation nicht verlieren. Jede bestehende Wissenschaft bildet bestimmte Form- und Stilbegriffe aus und benutzt sie zu einem systematischen Überblick, zu einer Unterscheidung und Klassifikation der Erscheinungen, mit denen sie sich befaßt. Die unterschiedlichen Wissenschaften arbeiten dabei mit Begriffen, die in ihrer allgemeinen Form nach miteinander verwandt sind.

Die Formulierung von Zusammenhängen, das Theoriedesign, bildet, wie bereits gesagt, eine Form des Wissens, und Mathematiker und theoretische Physiker vertrauen bei der Beurteilung von Gleichungen oftmals einem bewährten Prinzip: Ein ästhetischer, einfacher Zusammenhang wird stets einem komplexen vorgezogen; die BIRKOFFSche Gleichung $M = O/C$ ist hervorragend geeignet, diesen Zusammenhang darzustellen (Abschnitt 8.1). Eleganz gilt als ein Maß für die Wahrheit eines Beweises. Zusammen mit Einfachheit sind dies Attribute, die einem Theoriedesign erst Glaubwürdigkeit verleihen. Eine Theorie, die in ihrer Abstraktion keine *schönen Formen* aufweist, bleibt unvollständig, unbegreiflich und kraus. Die moderne und universelle Funktion der Form findet nach CASSIRER ihren Ausdruck in den Theorien.¹⁰ Die schöne Form ist dann ein Inhalt und erstrebenswertes Vorbild, Zweck und Mittel in einem. Die schöne Theorieform macht aus ihrem Inhalt wenig Geheimnis und widersetzt sich einer Veränderung durch Zeit und Raum. Zum Form/Inhalt-Verhältnis, zwischen dem sich scheinbar alles Universelle aufspannt, äußert sich Holger VAN DEN BOOM wie folgt:

„Die Welt ist wirklich voller Vielfalt, voller Formen; mehr noch: In wissenschaftlich erneuerter ‚pythagoräischer‘ Sicht können wir heute sagen, die Welt besteht aus lauter Formen. Denn besondere Inhalte sind nur – derzeit noch – versteckte Formen. Der ‚Inhalt‘, die Formlosigkeit schlechthin, tritt zuletzt nur als bloße Andersseinkönnen des Faktischen, als bloße Variierbarkeit, als bloße, sich zufällig ereignende Wandelbarkeit in der Zeit auf. Die Welt befindet sich in stetem Wandel: ‚Inhalt‘ ist ja das, was sich in Ansehung der konstanten Form ändern kann, was auf gleich-gültige Weise anders sein kann, ein anderer Inhalt derselben Form. Inhalt, als Gegenbegriff zur Form, ist das, an dessen Stelle etwas Anderes treten könnte.“¹¹

⁹Ernst [Cassirer, 1961b], S. 18.

¹⁰Vgl. Ernst [Cassirer, 1961b], S. 43.

¹¹Holger van den [Boom, 2000], S. 7.

Design als Darstellung

Nach CASSIRER besitzen die Farben eines Gemäldes eine Darstellungsfunktion, sofern sie auf ein Objektives hinweisen. Wir sehen sie nicht als Farbe, sondern wir sehen durch sie ein Gegenständliches.¹² Gleiches läßt sich vielfältig darstellen. Die Darstellung von Zusammenhängen vollzieht sich *immer* in Formen. Die allbefassende „reine Anschauung“ des Raumes gelangt durch Bilder zur Darstellung. Es stellt sich hier die Frage, ob Bilder nur ein Hilfsmittel sind. „Es gehört zur Logik der Darstellung, daß, insofern die Darstellung *logisches* Bild ist, sie *nicht* Bestandteil der Welt ist.“¹³ In der Darstellung erkennt Holger VAN DEN BOOM das Artefakt schlechthin: „Wir erfassen die Welt nicht auf einen Blick; wir tasten uns ‚diskursiv‘ an die volle Erkenntnis heran durch eine Vielzahl vorläufiger Abstraktionen, durch Modelle – also durch Design. Wir legen gleichsam über die Welt eine Folie, auf der wir erste Umrisse des Erkannten einzeichnen und dann fortgesetzt korrigieren und ergänzen.“¹⁴

Die Proportion zwischen Inhalt und Form ist instruktiv. Ihre Kohärenz zu erreichen, ist ein gemeinsames Ziel von Natur- und Designwissenschaft. Diese Kohärenz scheint bei den Naturformen einheitlich gegeben zu sein. Wie man sich prinzipiell das Zustandekommen von Formen heute vorstellt, soll Aufgabe des nächsten Abschnitts sein.

5.2 Von der Urdifferenz zur Weltmannigfaltigkeit

„Nur alle Menschen machen die Menschheit aus,
nur alle Kräfte zusammengenommen die Welt.“¹⁵
Johann Wolfgang von Goethe

Im Vergleich zur Ausdehnung des Universums fällt die Ausdehnung der größten Artefakte (Internet, Weltklima, ...?) eher bescheiden aus. Das Größenspektrum der natürlichen Formen reicht vom Elementarteilchen bis zur Umrandung des Universums. Aus heutiger Sicht sind damit beide Enden des Spektrums unbestimmt. Durch die Heisenbergsche Unschärferelation wird es uns auch unmöglich gemacht, daß wir uns ein Bild der Form etwa eines Elektrons anfertigen können. Im Coulombgesetz wird das Elektron als Punktladung angenommen; bis heute wird es für fast alle physikalischen Zusammenhänge als punktförmig und damit als unteilbar betrachtet. Die Form des Elektrons als nulldimensionaler Punkt hat so auch Auswirkungen auf die Form der Gleichungen, die wir als Darstellung der physikalischen Beziehungen aufstellen. Beispielsweise ist der Atomformfaktor bei der Beugung von Wellen in Kristallen zu berücksichtigen; er ist nur bei Punktförmigkeit einfach anzugeben.¹⁶

Auch die Form des Universums kennen wir heute noch kaum, allerdings kennen wir sie besser als die des Elektrons. Gemeinhin werden beide Extreme aber als weitgehend zentralsymmetrisch angesehen. Der Ursprung des Universums wird in einem singulären Punkt der vierdimensionalen Raumzeit betrachtet; als einen sich nach allen Seiten ins Dunkel ausbreitenden Lichtpunkt stellt man sich den Urknall vor. Um den Zustand vor dem Urknall zu beschreiben, geht das Standardmodell der Kosmologie von Unterschiedslosigkeit und damit Formlosigkeit aus. Wessen bedarf es nun, damit aus Formlosigkeit, dem

¹²Ernst [Cassirer, 1961b], S. 43.

¹³Holger van den [Boom, 2000], *Prolegomena*, S. 12.

¹⁴Holger van den [Boom, 2000], *Prolegomena*, S. 10.

¹⁵J.W.v. Goethe, Wilhelm Meisters Lehrjahre, achtes Buch. In: [Goethe, 1979], S. 373.

¹⁶In der Darstellung von Charles KITTEL ist er dann gleich der Anzahl der Elektronen im Streuzentrum; Charles [Kittel, 1989], S. 68 f.

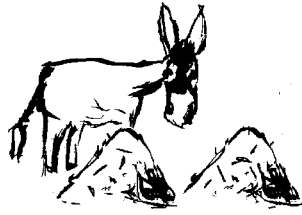


Abbildung 5.1: Ohne spontane Symmetriebrechung verhungert Buridans Esel zwischen zwei identischen Heuhaufen.

totalen Mangel an Unterschieden, eine Form entsteht? Es ist die Frage, wie überhaupt Unterschiede in die Welt kommen. Die Physik löst das Problem, das allgemeiner auch unter dem Titel „Buridans Esel“¹⁷ firmiert, durch das Postulieren einer *spontanen* Symmetriebrechung. Ein Naturgesetz ist dabei zwar unter einer bestimmten Symmetrietransformation invariant, in dem betrachteten System besitzt der Zustand mit der niedrigsten Energie die entsprechende Symmetrie jedoch nicht. So wird beispielsweise die Drehinvarianz eines ferromagnetischen Systems spontan gebrochen, wenn sich unterhalb der kritischen Curie-Temperatur benachbarte atomare Spins im energetisch günstigsten Zustand parallel zueinander ausrichten.

Damit sich Buridans Esel in Abb. 5.1 für einen der beiden Heuhaufen entscheidet, bedarf es zudem einer anziehenden Wechselwirkung. Formen, Strukturen entstehen durch anziehende Wechselwirkung: „If the world were totally regular and homogeneous, there would be no forces, and no forms.“¹⁸ Anziehende (oder negativ gesehen auch abstoßende) Wechselwirkungen rühren in der Physik im allgemeinen von den Kräften her; die Kräfte haben die Arbeit der Unterscheidung zu leisten. Nach den Ergebnissen der physikalischen Forschung lassen sich die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Stoffen und Objekten auf insgesamt vier fundamentale Kräfte zurückführen. Diese Grundkräfte sind bei Normalbedingungen:

- die elektromagnetische Kraft
Sie dominiert die Wechselwirkung zwischen den elektrisch geladenen Teilchen, etwa den Atomen und Molekülen. Zudem ist sie für elektromagnetische Strahlung, etwa das Licht, verantwortlich.
- die elektroschwache Kernkraft
Sie wurde eingeführt, um die Zusammenhänge bei der Umwandlung eines Neutrons in ein Proton im Atomkern (beim Beta-Zerfall) zu erklären.
- die starke Kernkraft
Sie erklärt die Stabilität der Atomkerne. Sie wirkt der elektrischen Abstoßung durch die gleichnamigen Ladungen im Atomkern entgegen. Aus dem sich ergebenden Potentialverlauf erklärt sich die Stabilität der Kerne.
- die Gravitation
Sie beschreibt die Massenanziehung der Körper, erklärt die Bahn und den Zusammenhalt der Planeten und Sterne.

Die Physik kann zumindest im Prinzip alle sichtbaren Phänomene faktisch erklären, indem sie die Art der Interaktion zwischen Teilchen und Kraftfeldern analysiert. Indem die Kräfte mit abnehmendem Abstand betrachteter Teilchen stärker werden, ist bei kurzen

¹⁷Die dem französischen Philosophen Johannes Buridan fälschlich zugeschriebene Metapher. Er berichtete einst von einem Esel, der zwischen zwei Heuhaufen verhungerte: Er konnte sich nicht entscheiden, welchen von beiden er fressen wollte.

¹⁸Christopher [Alexander, 1964], S. 15.

Abständen auch ihre Interaktion wesentlich stärker (Prinzip der Lokalität). In der *Quantenfeldtheorie* wirken die Kräfte durch Austausch von jeweilig zugeordneten, unterschiedlichen Teilchen. In der universellen GUT-Theorie wird versucht, die vier Grundkräfte zu einer einzigen, universellen Urkraft zu verschmelzen. Zum Zeitpunkt des Urknalls hielt danach diese Urkraft alles zusammen, und es gab nur eine Sorte gleichwertiger Teilchen. Zu genau diesem Zeitpunkt, also vor etwa $5 \cdot 10^{17} \text{ sec}$, war demnach der Zustand verwirklicht, der es erlaubte, alle Erscheinungen mit einer allumfassenden Theorie zu beschreiben. Dies besagt das „Standardmodell“ der Kosmologie, das sich in der physikalischen Weltbetrachtung seit 1970 zusehends durchsetzt.

Experimentell hat die Astronomie in jüngster Zeit immer mehr Indizien dafür gesammelt, daß das Weltall tatsächlich vor etwa 15 Milliarden Erdenjahren aus einem singulären Punkt bzw. aus dem Nichts geboren wurde. Als die Bestätigung dieser Theorie gilt das Ergebnis der Vermessung der Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung, die der Nasa-Satellit Cobe aus dem All sendete. Die sich ergebende kosmische Karte verifiziert die Hypothesen der Urknall-Modelle.

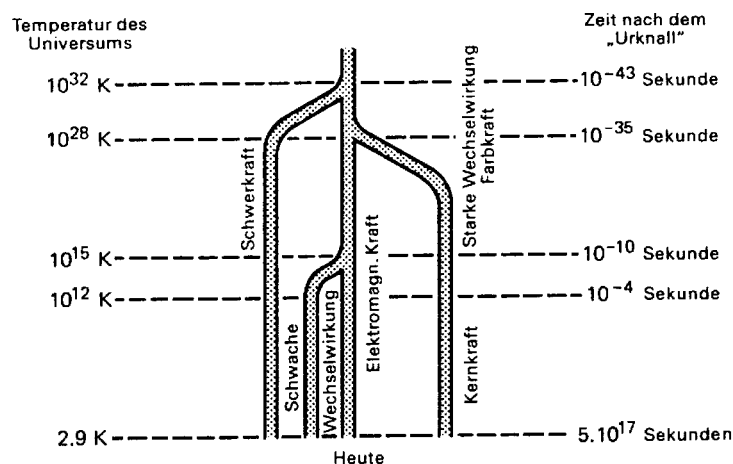


Abbildung 5.2: Darstellung der Differenzierung zwischen den Naturkräften im kosmologischen Standardmodell.

Mit der Ausdehnung des Universums nach dem Urknall bildeten sich Teilbereiche heraus, die von vier unterschiedlichen Kräften beschrieben und von ihren zugehörigen Teilchen repräsentiert werden (siehe Abbildung 5.2). Die ununterscheidbaren Teilchen zerstrahlten zunächst in Energie und kondensierten wieder in Materie. Der Kosmos kühlte allmählich ab; über instabile Zwischenzustände bildeten sich dann stabile Teilchen, die sich heute in Gattungen und Familien, den sog. „Zoo der Elementarteilchen“ einordnen lassen. Die Abkühlung ging soweit, bis die Temperaturen erreicht waren, bei denen die Physik, wie wir sie heute kennen, möglich wurde. Ob für die Urknalltheorie ein zwingender experimenteller Beweis gefunden wird, bleibt fraglich. Die Energiedichten, wie sie zum Zeitpunkt des Urknalls herrschten, werden von menschlichen Experimentatoren wohl nie erreicht. Der Miniurknall, wie er im Beschleunigerexperiment durchgeführt wird, liegt auf der energetischen Skala der Natur um astronomische Größenordnungen zu tief.

In der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins übernimmt der Raum mit seiner realen

materiellen Struktur die Rolle der Kräfte. Der Raum ist so nicht der passive Schauplatz für die Geschehnisse des Kosmos, sondern er reagiert mit seiner Form auf die Objekte in seiner Umgebung, und es herrscht Äquivalenz zwischen Kraft und Raum. John WHEELER erklärt: „Es gibt nichts in der Welt außer einem gekrümmten, leeren Raum. Materie, Ladung, Elektromagnetismus und andere Gebiete sind nur Erscheinungen der Krümmung des Raumes.“¹⁹ Nach der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins erzeugt jede Masse in ihrer Umgebung eine Verzerrung in der Raumstruktur. Bewegungen im Raum, etwa die der Erde um die Sonne, werden durch diese Krümmung bestimmt. Bekannt sind hierzu die Darstellungen mit Kugeln, die auf einem mit einem kartesischen Koordinatensystem versehenen Gummituch liegen. Sich ausbildende Dellen im Gummituch veranschaulichen die Raumkrümmung, so daß sich die auf dem Tuch befindliche kartesische Darstellungsebene verzerrt.²⁰

5.2.1 Formbildung aus Instabilität

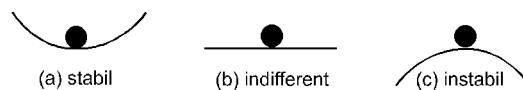


Abbildung 5.3: Massenpunkt in verschiedenen stabilen Potentialen.

Formen manifestieren sich durch die Unterscheidung im Zug spontaner Symmetriebrechungen, daher können sie in der Natur nur aus Instabilitäten entstehen. Je nach Art der Instabilität werden in der Physik verschiedene Grundmodelle unterschieden, wie die Rayleigh-Taylor-Instabilität (bei Dichtegradienten), die Kelvin-Helmholtz-Instabilität (bei Scherströmungen) oder die Rayleigh-Bénard-Instabilität (bei Unterschieden in der Viskosität). Instabilität eines Systems bedeutet, daß es sich nicht im Gleichgewicht befindet. Im allgemeinen ist hiermit das thermodynamische Gleichgewicht gemeint, was bedeutet, daß es im System dann einen Gradienten in mindestens einer thermodynamischen Zustandsgröße gibt. Zur Untersuchung der Instabilität bzw. der Stabilität eines Systems betrachtet man zunächst seinen aktuellen Zustand als Grundzustand und bezeichnet ihn mit der entsprechenden Zustandsgröße S_0 . Danach gibt man eine Störung auf das System, repräsentiert durch eine Störgröße δS :

$$S_g = S_0 + \delta S.$$

So erhält man eine Gleichung für den gestörten Zustand S_g des Systems. In der Praxis liefert dies häufig eine Eigenwertgleichung, deren Lösungen den oder die Eigenzustände des Systems bezeichnen. Vorgestellt werden kann sich das Verhalten eines solchen Systems folgendermaßen: Es werden vom System quasi instantan *alle* möglichen Konfigurationen „ausprobiert“, wovon sich die meisten aber gegenseitig auslöschen, so daß i.a. nur wenige mögliche Konfigurationen als das reale Verhalten übrigbleiben.²¹ Als Beispiel sei hier eine an zwei Punkten eingespannte Saite genannt: Im ungestörten System spannt sich die Saite gerade zwischen den Befestigungen. Lenkt man die Saite an einer Stelle etwa durch Zupfen aus, so entstehen alle möglichen Wellenformen, jedoch nur wenige raum-zeitliche Störungsmuster erweisen sich als beständig. Während sich die meisten Wellen gegenseitig auslöschen, bilden die Grundschwingung und ihre Oberschwingungen einen Eigenzustand

¹⁹ John WHEELER in: [Stevens, 1988], S. 12.

²⁰ Vgl. etwa Brian [Greene, 2000], S. 91. Er weist zurecht darauf hin, daß die zweidimensionale Darstellung nur ein Ausschnitt des vierdimensionalen Geschehens ist.

²¹ Das Verfahren besitzt Analogien zu der berühmten Pfadintegralmethode von Richard FEYNMAN.

des Systems und erweisen sich als relativ beständig. Man könnte so sagen, das entstehende Muster wird seiner Ursache am besten gerecht. Von den vielen möglichen Zuständen begünstigt die Natur auf diese Weise nur wenige. Beschrieben werden solche Eigenzustände instabiler Systeme etwa durch die Ginzburg-Landau-Gleichung oder die Hohenberg-Swift-Gleichung.

Als Folgen von Instabilitäten entstehen neue Formen aus vorhandenen Formen bzw. Konfigurationen. Die Instabilität stellt quasi das „Energiereservoir“ des Vorgangs dar. Der Ursprung der Instabilitäten sind infinitesimale Inhomogenitäten in der physikalischen Systembeschaffenheit. Neue Formen entwickeln sich so sukzessive aus vorhandenen alten Formen, wobei hieraus die Kontextabhängigkeit der Formentstehung folgt. Neue Strukturen können damit als Wiedererkennung des im physikalischen Gesetz Enthaltenen betrachtet werden. Die konkret wirkenden physikalischen Gesetze geben die Transformationsvorschrift der Formen an: Die entstehenden Formen sind Transformationen einer alten Form. Die Anzahl der unendlich vielen denkbaren Naturformen wird demgemäß reduziert, in ihrer Kombinationsvielfalt verbleiben aber immer noch unendlich viele physikalisch mögliche Formen. Sie sind Eigenzustände des Systems, in dem sie sich befinden, so daß die Natur die Form der Dinge auf diese resonante Art einschränkt.

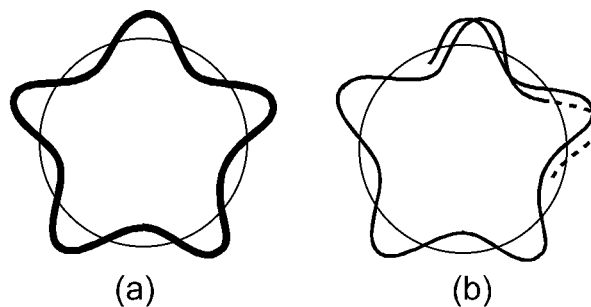


Abbildung 5.4: Sich selbst verstärkende (a) und vernichtende (b) Schwingungsformen (Interferenz).

Demgemäß lassen sich Strukturverwandschaften zwischen Gestaltbegriff und Naturform durchaus festmachen. Das Ganze ist bei den Naturformen in gewisser Weise mehr als die Summe seiner Teile. Durch das Zusammenwirken der Teile kann es zur Emergenz neuer Qualitäten kommen. Auf höherer Hierarchiestufe können Phänomene auftreten, die in den Teilen nicht auftreten können. Die Natur probiert gewissermaßen alle Konfigurationen instantan aus, minimale Abweichungen führen dazu, daß die Symmetrie spontan gebrochen wird. Die Konfigurationen, die miteinander konkurrieren, bilden ein Ensemble von mehr oder weniger wahrscheinlichen Konfigurationen. Die virtuellen Existenzen *aller* Konfigurationen beeinflussen die im Entstehen befindlichen neuen Formen dergestalt, daß sie in ihrer Addition die entstehende Form determinieren. In dieser Weise tragen die Naturformen immer einen ganzheitlichen Charakter in sich und weisen Symmetrien zwischen ihrer inneren und äußeren Umgebung auf.

5.3 Formen des Chaos

Als Entstehungsweise von Form ist die Bildung von Ordnung aus dem Chaos sehr intuitiv und besitzt in hohem Maße Plausibilität. Nicht nur, daß das Wort Chaos selbst einer Schöpfungsgeschichte entstammt; es finden auch viele Schöpfungsmythen Gleichnisse für

die Erschaffung der Welt in der Unordnung, im Spiel oder im Tanz, so daß auch das Spielerische ein zentrales Element in der Geschichte des Werdens bildet. In vielen Religionen – so in der christlich-jüdischen – entsteht das Etwas aus dem Nichts (*creatio ex nihilo*) durch zielgerichtete Handlung.²² Chaos wird als das Entstehen von allem aus allem begriffen. Die Ausformungen der Natur sind in den Mythen der Nichtexistenz, der Dunkelheit und dem Chaos entrissen worden. Durch die göttlichen Mächte hatten sie Gestalt und Ordnung angenommen, so daß die Welt aus dem Ungeordneten entsteht. Das Chaos stellt dabei den mythologischen Grundbegriff. Auch die moderne Wissenschaft hat in dem Begriff Chaos eine zentrale Metapher gefunden: „Die inzwischen gut entwickelte Chaostheorie beschäftigt sich mit den Ordnungsstrukturen, die im deterministischen Chaos verborgen liegen.“²³ Die Entdeckung von Ordnungsstrukturen bildete für die Chaostheorie den Anfang, so daß sich hier ein Paradebeispiel für eine wissenschaftliche Revolution im Sinne von Thomas [Kuhn, 1970] abgezeichnet hat. Die Idee der wissenschaftlichen Revolutionen und die Chaostheorie konnten sich sogar gegenseitig stützen, wechseln sich doch auch in der zeitlichen Betrachtung des Wissenschaftsgeschehens Phasen der Ruhe, der Verwerfung und der Neuordnung ab. Heute ist der Chaosbegriff auf dem Weg in die Normalität:

„Heute scheint Chaos ein wertfreier Begriff, der nicht Ausnahmestände, sondern Normalitäten beschreibt – so etwa gigantische Verkehrsstaus und Wirtschaftsturbulenzen. Zugleich hat die wissenschaftliche Eroberung des Ungesonderten und Komplexen Strukturen neuer Schönheit offenbart: kaleidoskopisch bunte Fraktale auf den computer screens. Sie verleihen der ehemals spröden formalisierten Mathematik eine neue Anschaulichkeit und demonstrieren die Dynamik nichtlinearer Systeme ad oculos.“ Norbert [Bolz, 1992, S. 7]

Die Symbolkraft des Chaosbegriffs für nicht überschaubare und nicht handhabbare Situationen, als Gegenbegriff zu „Ordnung“, „regelmäßig“ und „gesetzmäßig“, scheint mithin zu schwinden. Die klassische naturwissenschaftliche Grundüberzeugung des Determinismus wurde zuerst durch die Quantentheorie in ihren Grundfesten erschüttert. Bis zum Ende des 19. Jh. reichte die Auffassung, daß alles, was in der Natur geschieht, durch (Natur-)Gesetze bestimmt wird.²⁴ Ein solcher Determinismus steht in Einklang mit dem philosophischen Prinzip „Aus nichts entsteht nichts, in nichts vergeht nichts“ (*nihilo nihil, nihilum nihil*).²⁵ Durch den Einfluß der Quantentheorie wurde zunächst die absolute Version des Determinismus obsolet zugunsten einer eher probabilistischen Theorie, so daß die Unordnung einen Teil der Beschreibung physikalischer Zusammenhänge bildete. Aber auch ohne die nicht vollständig deterministischen quantenmechanischen Effekte würde ein Zustand der Unordnung eintreten. In fast allen Fällen sind ungeordnete Zustände wesentlich wahrscheinlicher als geordnete, so ist das thermodynamische Gleichgewicht – mindestens aus menschlicher Sicht – auch als ungeordnet zu bezeichnen. Sowohl die Quantentheorie als auch die (eigentlich rein mathematische) Chaostheorie erklären das Zustandekommen von geordneten Zuständen über ein kausal wirksames Prinzip im Rahmen von Wahrscheinlichkeiten. Im Rahmen der Superstringtheorie geht man heute einen Schritt voran und versucht, weitergehende Erkenntnisse als die nur über Wahrscheinlichkeiten vermittelten kausalen Zusammenhänge der Natur zu entdecken.²⁶

²² Vgl. Volker [Sommer, 1993], S. 64.

²³ Uwe an der [Heiden, 1996], S. 114.

²⁴ Dieser Standpunkt kristallisierte in der Figur des *Laplaceschen Dämons*, der in Kenntnis der Orte und Impulse aller Teilchen des Universums den genauen Weltenlauf voraussagen in der Lage wäre. (Vgl. Abschnitt 4.3.)

²⁵ Uwe an der [Heiden, 1996], S. 99.

²⁶ Vgl. Brian [Greene, 2000], S. 163 ff.

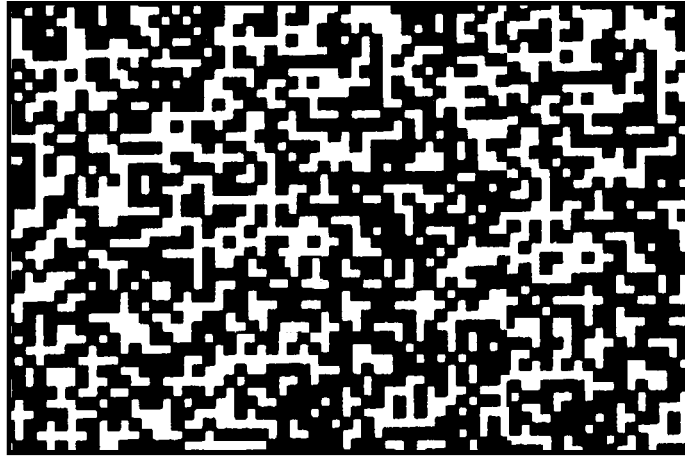


Abbildung 5.5: Ordnung im Chaos: aus einer Zufallsfolge entstandenes Muster.

Nach Ernst CASSIRER bilden Form- und Kausalbegriff die beiden Säulen der Erkenntnis: „Der Formbegriff und der Kausalbegriff bilden die zwei Pole, um die sich unser Weltbegriff bewegt. Sie sind beide unentbehrlich, wenn unser Denken zur Aufstellung einer festen Weltordnung gelangen soll.“²⁷ Als Formulierung eines Determinismus unterscheidet man dabei gemeinhin zwei Ausprägungen. Das Prinzip der „schwachen“ Kausalität sieht vor, daß gleiche Ursachen gleiche Wirkungen nach sich ziehen. Das der klassischen Physik zugrundeliegende Prinzip der „starken“ Kausalität macht hingegen Gebrauch davon, daß auf ähnliche Ursachen ähnliche Wirkungen folgen, so daß kleine Abweichungen in den Ausgangsbedingungen sich auf die späteren Zustände nur geringfügig auswirken, und kleine Ursachen nicht unvorhersagbar große Wirkungen hervorbringen können. Zudem steckt in dieser Form des klassischen Determinismus die zeitlich reversible Beschreibung der Naturgesetze und die Stabilität der Systeme.

Zwischen makroskopischen Phänomenen einerseits und mikroskopischen Phänomenen in der subatomaren Größenordnung andererseits wird den Determinismus betreffend, allgemein unterschieden: Auf der makroskopischen Ebene benutzt man gemeinhin das klassische deterministische Modell (LAPLACE). Das mikroskopische, quantenmechanische Modell gilt jedoch als fundamental unterbestimmt, hier wird allgemein der Determinismus statistisch ausgedrückt. René THOM hält diese Unterscheidung für falsch. Er plädiert hingegen dafür, den Determinismusbegriff wie folgt zu ersetzen:

“If we are only going to be happy with experimentally controllable properties, we shall be led to replace the unverifiable hypothesis of determinism by the empirically verifiable property of ‚structural stability‘: a process (P) is structural stable if a small variation in initial conditions leads to a process (P') isomorphic to (P)(in the sense that a small transformation in space-time, an ϵ -homeomorphism in geometry, will bring the process (P') back to the process (P)).” René [Thom, 1983, S. 18]

In der Chaostheorie spricht man vom *deterministischen Chaos*, wenn die Wirkungen in eindeutiger Weise von den Ursachen abhängen. Von einer deterministischen Dynamik spricht man, wenn der Zustand eines Systems im folgenden Zeitpunkt mit dem jetzigen eindeutig durch Gleichungen verknüpft ist. Bei den Systemen, die die Chaostheorie untersucht, gilt die starke Kausalität normalerweise nicht mehr. Für die Chaostheorie legt

²⁷Ernst [Cassirer, 1961b], S. 87.

man im allgemeinen die schwache Version der Kausalität zugrunde. Man verbindet so auf eine probabilistische Weise die Welt der Formen mit der der Zahlen, so daß eine neue Ausprägung der Geometrie entstehen konnte. Entscheidend für die neue Geometrie war, daß eine fundamentale Regel der Mathematik geändert wurde. So werden Formen hier nicht durch einmalige Lösung einer Gleichung definiert, sondern durch Iteration, Wiederholung der Lösung von Gleichungen in einer Rückkopplungsschleife. Festgestellt wurde hierbei, daß Chaos und Ordnung ein und dieselbe Organisationsform von dynamischen Prozessen ist, deren Kennzeichen die Rückkopplung (vgl. Abschnitt 1.1.4) von Wirkungen auf die Ursache ist. Es hat sich gezeigt, daß die zyklische Schließung von Ursache und Wirkung strukturbildend ist. Sie ist in der Lage, Formen in Raum und Zeit entstehen zu lassen, die mit einer erstaunlich hohen Komplexität verbunden sind. Die Eigenschaften chaotischer Systeme – Nichtlinearitäten, gebrochene Symmetrien, nichtholonomes Verhalten (Vgl. Abschnitt 2.1.1) – führen hierbei maßgeblich zu der immens hohen Komplexität chaotischer Systeme. Die Systeme scheinen hierbei in höchstem Maße kreativ zu sein. Die Formen, die im Chaos entstehen und wieder vergehen, gehorchen zwar mathematischen bzw. physikalischen Grundregeln, jedoch ist unwahrscheinlich, daß je eine Form der anderen exakt gleicht. Für manche Physiker bedeutet Chaos auch eher eine Wissenschaft von Prozessen statt von Zuständen, eher vom Werden als vom Sein.²⁸

Eine einfach gelöste Gleichung, z.B. eine Kreisgleichung, beschreibt eine fest umrissene Form. Hingegen wird eine Form bei wiederholter Lösung zu einem dynamischen Prozeß. Die Lösung einer solchen Iteration wird allgemein: (a) einen stabilen Zustand annehmen, (b) sich bei periodischer Wiederholung bestimmter Zustände einpendeln oder (c) außer Kontrolle geraten und gegen unendlich streben. Die wohl bekannteste Iteration dieser Art ist die Mandelbrotmenge. Die Abbildungsfunktion

$$z_{n+1} = f(z_n) = z_n^2 + c \quad (5.1)$$

wird auf der komplexen Ebene iteriert berechnet. Eine bildliche Darstellung eines Ausschnitts der Mandelbrotmenge zeigt Abbildung 5.6. Sie entsteht durch eine endlose Folge der Konstruktion und Verfeinerung der Auflösung in der Gaußschen Zahlenebene. Einige Punkte verbleiben dabei im Endlichen; andere verschwinden in verschiedener Geschwindigkeit ins Unendliche. Ein Wert c gehört dann zur Mandelbrotmenge, wenn die Iteration im Endlichen verbleibt. Beim Hineinzoomen in die Randstruktur der Menge tauchen immer wieder neue Mikrostrukturen und Kopien der Mandelbrotmenge auf.

Es sind viele weitere hochgradig illustrative Beispiele aus der Chaostheorie bekannt. Sie zeichnen sich durch einen gewaltigen ästhetischen Reiz aus und erreichen ein hohes Maß an Plausibilität, wenn es um die Beschreibung von in der Natur allgegenwärtigen Prozessen geht. Die nichtlinearen Systeme weisen als entscheidende Eigenschaften Fast-Symmetrie, Chaos und Evolution auf. Die Abbildungen 5.14-5.15 verdeutlichen dies. Das Studium des Verhaltens nichtlinearer Systeme erlaubt eine neue Sicht auf die makroskopische Wirklichkeit mit ihren spezifischen Strukturen. Mit der Chaostheorie konnten zahlreiche Wirklichkeitsstrukturen einer wissenschaftlichen Beschreibung zugänglich gemacht werden und eine immense Anzahl von Gesetzen entdeckt werden, die das Verhalten von Systemen mit hoher Komplexität beschreiben. Die Komplexität von Systemen kann mit ihren Mitteln in vielen Fällen erklärt und eingeordnet werden. Eine Besonderheit ist zudem, daß bestimmte Erscheinungsformen des Chaos scheinbar unveränderlich und damit universell sind. Dies erklärt nicht nur die Invarianz von chaotischen Formen bezüglich der

²⁸James [Gleick, 1988], S. 354.



Abbildung 5.6: Darstellung der Mandelbrotmenge

linearen Größenausdehnung – bestimmte Formen finden sich im Mikro- und Makrokosmos gleichermaßen. So läßt sich z.B. das *Feigenbaum-Szenario* für den Übergang ins Chaos in den verschiedensten Systemen nachweisen.²⁹ Die irrationale Feigenbaumzahl $f = 4,669$, die in dergestaltigen Systemen immer wieder auftaucht, gibt hierbei den Grenzwert des Quotienten zweier aufeinanderfolgender Kontrollparameter an. Das deterministische Chaos kann demnach in unterschiedlichen Beziehungen hochgradig symmetrisch sein. Es weist jedoch fast nie eine perfekte Symmetrien auf. Natürliche Systeme, wie sie hier rein mathematisch simuliert werden, weisen die Eigenschaft der Symmetrie niemals in voller Strenge auf.

Die Bedeutung der Formen des Chaos liegt insbesondere in ihrer Universalität. Dynamische Systeme scheinen dabei von Fixpunkten, periodischen Schwankungen bzw. Attraktoren angezogen zu werden. Besonders gut lassen sich Formvergleiche hier ziehen, wenn man die Vorgänge im *Phasenraum* betrachtet und Phasenportraits erstellt. In Zustandsräumen von drei und mehr Dimensionen können dabei komplizierte Attraktortypen mit chaotischen Bewegungen auftreten, die sog. seltsamen Attraktoren (*strange attractors*). Nach James GLEICK sind seltsame Attraktoren sogar Produzenten von Information.³⁰ Chaotische Systeme produzieren Informationen und erzeugen spontan Ordnungsmuster in der Welt.

²⁹Der Physiker Mitchell FEIGENBAUM erhielt den MacArthur-Preis für den Nachweis fachübergreifender, universeller Eigenschaften der logistischen Gleichung und anderer nichtlinearen Gleichungen.

³⁰James [Gleick, 1988], S. 357.

5.3.1 Fraktale

Die Formen, mit denen die Chaostheorie umgeht, bezeichnet man als Fraktale. Das Wort „Fraktal“ stammt von Benoît MANDELBROT. Abgeleitet vom lateinischen Verb *frangere* – brechen – bezeichnet ein Fraktal anschaulich eine Struktur, wie sie etwa beim Brechen von Holz, Stein, o.ä. entsteht (Abbildung 5.7). Der tiefere Sinn des Begriffs Fraktal liegt wohl darin, daß MANDELBROT damit Objekte mit gebrochenzahliger (*fraction*) Dimension bezeichnete. Eine Dimension ist gemeinhin ganzzahlig, sie gibt die allen Basen gemeinsame Anzahl der Basisvektoren in einem Vektorraum an. Es handelt sich somit um eine Abbildung des Vektorraums, regulärerweise auf die natürlichen Zahlen. Liegt eine fraktale Geometrie vor, wird jedoch auf die rationalen Zahlen abgebildet (Hausdorff-Dimension). Unterschiede in der fraktalen Dimension drücken nach MANDELBROT Unterschiede in einem nichttopologischen Aspekt der Formen aus.³¹



Abbildung 5.7: Fraktale Strukturen in Holz.

Die fraktale Geometrie stellt Verknüpfungsmuster³² bereit, mit denen natürliche Formen besser angenähert werden können als mit den herkömmlichen Methoden. Der berühmte Satz von MANDELBROT lautet: „Wolken sind keine Kugeln, Berge sind keine Kegel, Küstenlinien keine Kreise [...] und auch der Blitz bahnt sich seinen Weg nicht gerade.“³³ Nach MANDELBROT stellen viele Formen der Natur in ihrer „Unregelmäßigkeit und Zersplitterung“ ein völlig anderes Niveau gegenüber den Euklidischen Formen dar.³⁴ Als Beispiel für die Verknüpfung von Einfachheit und Kompliziertheit des Fraktalen sei hier die KOCH-Kurve erwähnt (Siehe Abbildung 5.11). Sie ist auf den ersten Blick weit komplizierter als die meisten Euklidischen Standardformen. Ihre Komplexität ist in Wirklichkeit aber eher geringer als etwa eine Kreislinie.³⁵ Dies kann bestätigt werden, wenn die mathematische Algorithmentheorie von KOLMOGOROFF und CHAITIN zur Anwendung gebracht wird (vgl. Abschnitt 3). Die Länge des kürzesten bekannten Algorithmus ist bei der KOCH-Kurve nicht größer, als zur Beschreibung eines Kreises notwendig wäre. Die Komplexität der KOCH-Kurve kann durch entsprechende Darstellung sehr wirkungsvoll reduziert werden.

³¹Benoît [Mandelbrot, 1991], S. 29.

³²Susanne [Busch, 1998], S. 38.

³³So Benoît [Mandelbrot, 1991], S. 13.

³⁴*Ebenda.*

³⁵Benoît [Mandelbrot, 1991], S. 53.

Nach [Prusinkiewicz + Lindenmayer, 1990] stellt die Kochkurve ein sog. Lindenmayer-System dar. Die Konstruktion eines solchen Systems enthält einen Initiator und einen Generator. Abbildung 5.9 zeigt die Konstruktion der Schneeflockenkurve mit Generator und Initiator. Bei dem Initiator handelt es sich allgemein um eine beliebige geometrische Form, hier um ein gleichseitiges Dreieck. Der Generator besteht hier aus einem Polygonzug aus n gleichen Seiten der Länge r . Die Konstruktion des Fraktals beginnt durch Veränderung des Initiators: Jede Seite wird substituiert durch eine verkleinerte Kopie des Generators, so daß die Eckpunkte des Generators zusammenfallen mit denen der ersetzten Seite. Dieses Verfahren kann dann ad infinitum fortgeführt werden.

Durch derartige Konstruktionspläne ist es möglich, die vielfältigen Formen natürlicher Gebilde am Computer zu simulieren. Strenggenommen sind derartige Lindenmayer-Systeme aber keine Fraktale, da die Konstruktion nach endlichen n Schritten abgebrochen wird. Sie sind damit nicht vollständig skaleninvariant. Als Approximation echter Fraktale lassen sie sich jedoch auffassen, da eine Berechnung bis ins Unendliche theoretisch denkbar ist.³⁶ Die Eigenschaft der Fraktale, *skaleninvariant* zu sein, soll uns in den folgenden Abschnitten gesondert erscheinen.

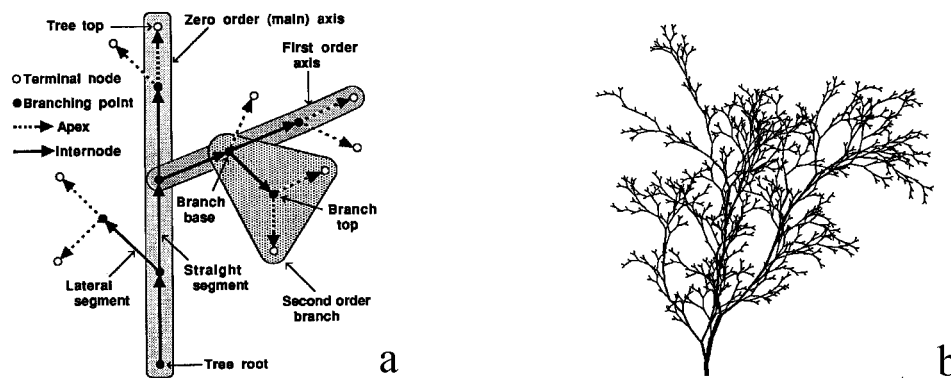


Abbildung 5.8: Axiales Wachstum eines Baums nach [Prusinkiewicz + Lindenmayer, 1990]. Verwendet wurden Algorithmen nach HORTON und STRAHLER. Die Lastenverteilung und Konstruktion bedingen einander.

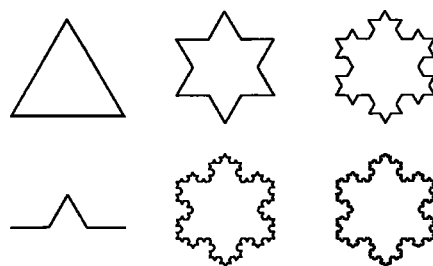


Abbildung 5.9: Konstruktion einer triadischen Kochkurve aus Initiator und Generator nach [Prusinkiewicz + Lindenmayer, 1990].

³⁶Susanne [Busch, 1998], S. 39.

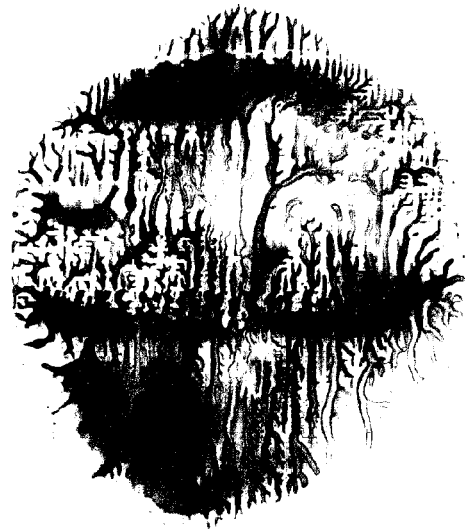


Abbildung 5.10: Fraktale Strukturen erhalten aus einem Experiment mit Glasplatten und Flüssigkeit.

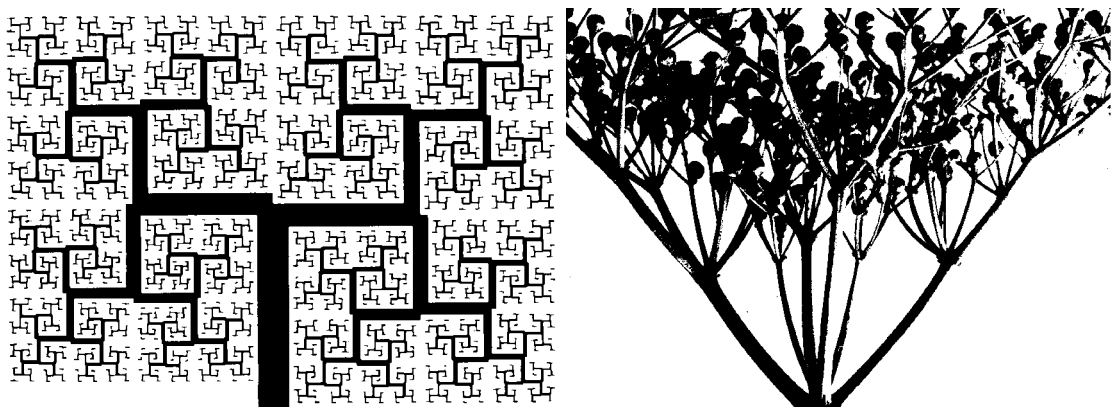


Abbildung 5.11: Kochbaum und Dolden der Schafgarbe *Achillea millefolium*.



Abbildung 5.12: Fraktale Strukturen in Wirsingkohl.

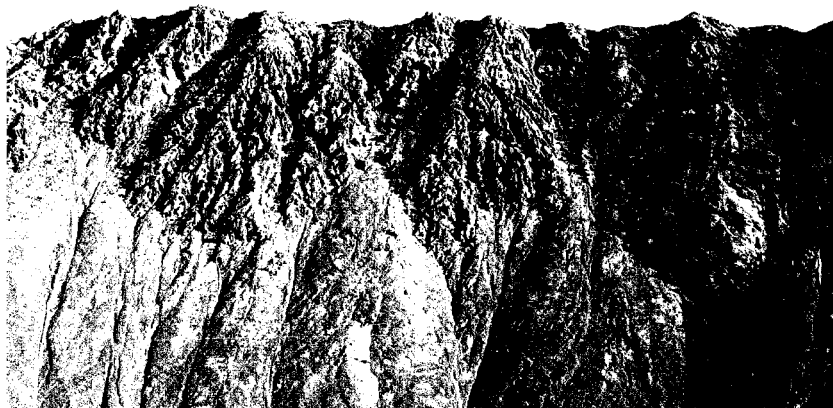


Abbildung 5.13: Ausdifferenzierung von fraktalen Formen in Sand.



Abbildung 5.14: An der Arbeitsstelle für Designinformatik entstandenes Ljapunov-Diagramm. Es weist gebrochene Strukturen, Fast-Symmetrien und auch kontinuierliche Übergänge auf.



Abbildung 5.15: An der Arbeitsstelle für Designinformatik entstandenes Ljapunov-Diagramm.

5.3.2 Der Goldene Schnitt als fraktaler Sonderfall

„In diesem schönen Verhältnis liegt nun aber die Idee der Zeugung verborgen.
Denn wie der Vater den Sohn erzeugt, der Sohn einen anderen, jeder einen
ihm ähnlichen, so wird auch bei jener Teilung die Proportion fortgesetzt,
wenn man den größeren Abschnitt zum Ganzen hinzufügt.“
Johannes [Kepler, 1982]

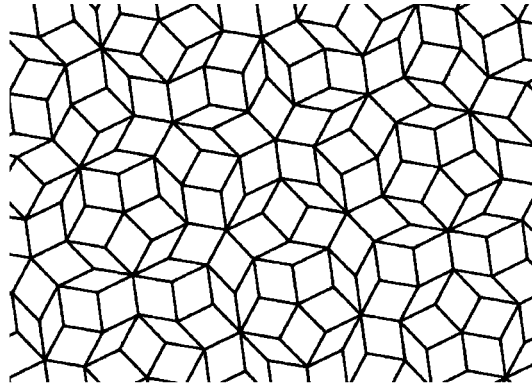


Abbildung 5.16: Fünzfähige Symmetrie im PENROSE-Muster, dessen zwei Rhomboeder Diagonalen im Verhältnis des Goldenen Schnittes besitzen.

Der Goldene Schnitt, das in der bildenden Kunst, in Architektur und Design häufig zu findende Streckenteilungsverhältnis, muß im Kontext der fraktalen Geometrie der Natur neu bewertet werden. Dazu die Definition des Goldenen Schnitts von BRONSTEIN und SEMENDJAJEW:

„Ist a eine positive reelle Zahl, so heißt jede Zerlegung dieser Zahl in zwei positive Summanden x und $a - x$ ein *Goldener Schnitt* von a , wenn x geometrisches Mittel von a und $a - x$ ist.

Aus $x = \sqrt{a(a - x)}$ folgt: $x = 1/2(\sqrt{5} - 1)a \approx 0,618a$. [...]

Aus $x^2 = a(a - x) = a^2 - ax$ folgt: $a^2 = x^2 + ax = x(x + a)$, demnach ist a auch geometrisches Mittel von x und $x + a$. Teilt also x die Zahl a im Goldenen Schnitt, so teilt auch a die Zahl $x + a$ im Goldenen Schnitt.“³⁷

Daraus folgt, daß die beiden der Teilung entsprungenen Summanden jeweils wieder im gleichen Teilungsverhältnis zueinander stehen. Der Goldene Schnitt gehorcht daher einem als fraktal zu bezeichnenden Bauprinzip. Der Goldene Schnitt ist eine relativ einfache Möglichkeit, Selbstähnlichkeit im Entwurf herzustellen. Durch Teilung von Strecken im Verhältnis $1 : x_g = 0,618033989$ erhielten Baumeister aller Zeiten den Konstruktionsplan für ihre zu erschaffenden Artefakte. Dieses Verhältnis erschien ihnen als Garant für konsistente Architektur. Der Goldene Schnitt ist in der Natur häufig aufzufinden z.B. bei der Anordnung von Blättern im Pflanzenreich (*Phyllotaxis*). So ergibt sich x_g nicht nur als Grenzwert der Fibonacci-Reihe, sondern findet sich auch in der Pflanzenwelt wieder (Sonnenblume etc.), so daß wesensmäßige Grundgesetze der Naturformen von den Konstrukteuren im Goldenen Schnitt aufgenommen und reflektiert wurden.

Irrationale Proportionen

Die Beschreibung der Dynamik nichtlinearer Prozesse ist durch irrationale Zahlen wie x_g gekennzeichnet. Irrationale Proportionen, wie vom Goldenen Schnitt repräsentiert, spie-

³⁷[Bronstein, 1987], S. 115.

geln ein Verhalten wider, das fernab von Resonanzen angesiedelt ist. Vorgänge, die Proportionen im Verhältnis rationaler Zahlen im Verhältnis p/q aufweisen, zeichnen sich durch Resonanzen in ihrem Verhalten aus. Die auffälligsten Resonanzen werden durch kleine ganze Zahlen beschrieben. Bei resonanten Prozessen charakterisieren Frequenzen in rationalen Verhältnissen sowohl stabile als auch instabile Resonanzen; in irrationalen Verhältnissen stehende dagegen störungsunempfindliche, quasiperiodische Bewegungen. Es ist sogar anzunehmen, daß die Erde schon aus ihrer Umlaufbahn geraten wäre, wenn die Umlaufzeiten der Planeten in einem anderen, rationaleren Verhältnis stünden. Chaotische Systeme weisen daher normalerweise keine offensichtlichen Symmetrien im Sinne ganzzahliger Proportionen auf, sondern besitzen Symmetrien, die sich eher im Globalen, in Formen und Verhalten zeigen. Sie sind weniger konkret anzutreffen, als vielmehr im wesensmäßigen Charakter der Formentstehungsprinzipien. Dies hebt der nächste Abschnitt noch einmal hervor.

5.3.3 Skaleninvarianz, Selbstähnlichkeit und Selbstreferenz

In den USA werden neuerdings mit großem Erfolg Puppen vertrieben, die den Kindern, die damit spielen, wie aus dem Gesicht geschnitten aussehen. Dies wird ermöglicht, indem die Puppenköpfe nach zwei per Internet eingeschickten Fotografien derselben modelliert werden. Schon warnen Psychologen vor den Folgen: einer drohenden Schwemme von Egozentrikern und sogar vor möglichen Selbstmorden. *Selbstreferenz* ist ein Phänomen, dessen Beschreibung sowohl in den Naturwissenschaften als auch in der Soziologie, der Philosophie sowie in zahlreichen anderen Bereichen zu finden ist. Beachtenswert ist dabei, daß es zu Ähnlichkeiten, zu Affinitäten in den sich aufbauenden Strukturen nicht nur innerhalb eines Systems, sondern auch über die Gräben der Disziplinen hinweg kommt. Es finden sich in allen Lebensbereichen und Forschungsdisziplinen Beispiele für selbstreferente Prozesse: „Im Bereich sozialer Prozesse läuft die Rückkopplung von Ursache und Wirkung über den (sozialen) Umgang mit Unsicherheit, denn das Soziale entsteht gerade aus dem Umgang mit Unsicherheit: Soziales Handeln baut auf der Prämisse auf, daß Ego zu wissen glaubt, was Alter von ihm erwartet und umgekehrt. Aber beide können sich ihrer Erwartungen nicht sicher sein.“³⁸ Das Wort „Beziehung“ vermag den Balanceakt im Spiel derartiger Kräfte wohl wirkungsvoll demonstrieren. Die Analogie zu den physikalischen Kräften wird komplett, betrachtet man etwa Wirtschaftsgüter oder Informationen als Austauschteilchen. Marvin MINSKY zeigt in seinem Buch *Mentopolis* die großen formalen Ähnlichkeiten zwischen Gesellschaften und Geist auf. Das Zusammenwirken der Teile einer Gesellschaft scheint über weite Strecken mit der Interaktion der geistigen Tätigkeit des Gehirns vergleichbar. So kann man etwa die Bildung einer Meinung in einer Gesellschaft und das Fassen eines Gedankens bzw. dem Auftreten einer Idee nebeneinanderhalten [Minsky, 1990]. Weitere Beispiele für Referenz und Selbstreferenz finden sich zahlreich in den Systemen der Chaostheorie, aber auch im Reich der Artefakte: Anträge auf Anträge, Fälschung und Original, Motiv und Fotografie oder Bücher über Bücher. Descartes Ausspruch „cogito ergo sum“ ist ein weiteres Exempel.³⁹ In der Geometrie ist das einfachste Beispiel für das Phänomen der Selbstreferenz die Gerade. Nach der Definition von LEIBNIZ ist eine Gerade die Kurve, die als einzige die Eigenschaft besitzt, daß deren jeder Teil dem Ganzen ähnlich ist.⁴⁰ Bestimmte selbstreferente Momente lassen sich in nahezu jedem beliebigen System konstatieren, egal ob es sich dabei um ein natürliches oder kulturell geprägtes handelt. Gewisse Grundmuster, die wir aus der Natur kennen, sind in jedem chaotischen System

³⁸ Bernd-Olaf [Küppers, 1993], S. 7.

³⁹ Vgl. June H. [Park, 1994], S. 55.

⁴⁰ Vgl. auch Benoît [Mandelbrot, 1991], *Die fraktale Geometrie der Natur*, S. 426.

zu finden. Diese Tatsache hat Auswirkungen auf unser Wahrnehmen und Verstehen von Formen.

Die Formen des Chaos üben einen gewaltigen Reiz auf uns aus, die Bahnen der Blitze, Wolken, die mikroskopischen Verästelungen von Blutgefäßen, die Anordnung der Himmelskörper. Es gibt aber auch fraktale Formen, die der intuitiven Vorstellung zuwider laufen: Sierpinski-Teppiche, Koch-Kurven, Peano-Kurven, etc. Dabei kann man gelegentlich nur einen Teil der Formen erfassen, ohne das Ganze zu begreifen. Die logistische Gleichung etwa kann man nur lokal verstehen, nicht global. Häufig erklärt sich wie beim KOCH-Baum aber auch das Ganze vollständig über seine Teile. Ein Entstehen aus Unsicherheit nach Gesetzen des Zufalls zieht eine Reihe von Eigenschaften der Formen nach sich: „Die nützlichsten Fraktale enthalten den *Zufall* sowohl in ihren Regularitäten als auch in ihren Irregularitäten. Außerdem sind die meisten der Formen skaleninvariant. Sie besitzen in allen Größenbereichen denselben Grad an Irregularität und/oder Zersplitterung.“⁴¹ Ein vergrößerter Ausschnitt sieht bei einem Fraktal mindestens dem Wesen nach aus wie das Ganze. Ähnlichkeiten über Maßstäbe hinweg sind das besondere Kennzeichen von dergestalt universellen Formen. Eine Skaleninvarianz liegt vor, wenn in einem System die beschreibenden Koordinaten durch ihr Vielfaches ohne qualitative Änderung ersetzt werden können. Das Verwunderliche an den Formen des deterministischen Chaos ist so, daß es in nichtlinearen Systemen Strukturen gibt, die immer dieselben bleiben, wenn man sie nur in der richtigen Art und Weise anschaut.⁴² James GLEICK beschreibt die Universalität von Fraktalen: „Die einzigen Dinge, die je universal sein können, sind maßstabsübergreifende Dinge.“⁴³ Skaleninvarianz jener Formen bedeutet zudem, daß in jedem einzelnen Teil der Konstruktion sämtliche Informationen einbeschlossen sind. Die kleinsten Einzeldetails enthalten bereits die komplette Bauanleitung der gesamten Struktur. Ein Gegenstand mit fraktalem Design kann somit extrem ökonomisch codiert werden, da sein Konstruktionsplan sich immens komprimieren läßt. Kennt man hier einen repräsentativen Teil des Ganzen, so kann man das Ganze vorwegnehmen, wobei jeder Teil genau so komplex und organisiert ist wie das Ganze.⁴⁴ Schlagwort der philosophischen Diskussion hierzu ist auch *Autopoiesis* ($\alpha\upsilon\tau\sigma$ = selbst; $\pi\omicron\upsilon\epsilon\upsilon\upsilon$ = Produktion). Der Begriff, der auf die beiden chilenischen Neurobiologen Humberto R. Maturana und Francisco J. Varela zurückgeht, konnte, von den biologischen Systemen ausgehend, auf zahlreiche weitere Systeme ausgedehnt werden. Der Begriff ist aus der Taufe gehoben worden, um seine Bedeutung – Selbstproduktion – nicht mit anderen, ähnlich gelagerten Begriffen in Konkurrenz treten zu lassen.⁴⁵ Durch Autopoiesis generiert sich ein System selbst, so daß es im Prinzip zur Jungferzeugung kommt, und sich das System gewissermaßen an den eigenen Haaren aus dem Ursumpf zieht (*bootstrap*-Prinzip). Wenn seine Funktion darin besteht, sich selbst demgemäß zu erhalten, nennt man ein System autopoietisch, und ein solches System weist gerade die Eigenschaften der Selbstähnlichkeit, Rekursivität und Selbstreferenz auf.⁴⁶

⁴¹ Benoît [Mandelbrot, 1991], S. 13.

⁴² James [Gleick, 1988], S. 263.

⁴³ James [Gleick, 1988], S. 268.

⁴⁴ Dies gilt aber nur bei streng fraktalem Aufbau. Sonst kann man aufgrund der Eigenschaften eines Untersystems oder der Aspekte, die alle in intensiver Wechselwirkung stehen, kein brauchbares Bild eines Ganzen zeichnen. Dann bewahrheitet sich der Satz: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.“

⁴⁵ Vgl. Milan [Zeleny, 1981], S. 4. Dies tritt im englischen *self-production* besonders zutage.

⁴⁶ Nach Maturana und Varela können nur operational geschlossene Systeme, die aus der Differenzsetzung zur Umwelt kognitive Gewinne ziehen, erkennen, daß Erkennen ein selbstreferentieller Prozeß ist. In dieser Konsequenz ist Autopoiesis ein sich selbst tragendes Theoriegebäude, [Maturana + Varela, 1987], S. 36.

Den in der Natur auftretenden Strukturen ist gemeinsam, daß sie nicht von außen her einem System aufgeprägt und vorgegeben werden, sondern durch ein System selbst erzeugt werden, wobei sich die Ziehung der Systemgrenze mitunter schwierig gestaltet. Die Geometrie der Natur dabei ist grundsätzlich fraktal, und konstruierte Artefakte mit ihren Plänen, wie dem Goldenen Schnitt, ahmen die Formen der Natur in ihren wesensmäßigen Bestimmtheiten nach. Ähnlichkeit und Imagination laufen einander dabei entgegen. Rekursivität und Selbstreferenz ziehen eine Reihe von positiven Eigenschaften nach sich, die man für die Konstruktion anspruchsvoller Artefakte nutzen kann. Selbstreferenz ist auch einer der Kandidaten für ein Currikulum des guten Entwurfs. Eine ganze Reihe von Arbeiten rankt sich um das Verhältnis von Selbstreferenz und Fremdreferenz im Entwurfsprozeß.⁴⁷ Im Entwurf ist sonach die Reflexion eines Beobachter hinsichtlich Selbstreferenz und Fremdreferenz zu prüfen.

Aus der Vorschrift für den Initiator eines Lindenmeyersystems kann eine unter Umständen viel größere Form verstanden werden. Dies stellt hinsichtlich des Designs eine ideale Lösung dar, kann doch durch selbstreferente Formung eine Selbsterklärung von Produkten erreicht werden. Selbstreferenz kann dazu dienen, das reziproke Verhältnis zwischen Imagination und Ähnlichkeit zu sichern, indem eine gewisse Spannung erzeugt wird. Mithin entsteht durch Selbstreferenz eine zirkuläre Selbsterklärung: Das eben Gewesene ebenso wie das sogleich Kommende ist, wie gesagt, in der Konstruktionsvorschrift und in der Ausprägung einer selbstreferenten Form enthalten. Selbstreferenz sichert die Universalität von Formen; indem Formen eine starke Referenz auf sich selbst und nicht auf ein Anderes aufweisen, erlangen sie einen bestimmten Alleingeltungsanspruch. Diesen brauchen sie, um als *Gestalt* im Sinne von Abschnitt 3.2.5 wahrnehmbar werden zu können (*principle of similarity*). Auf den Beobachter üben solche Formen eine immense Faszination aus. Diese Faszination erklärt sich aus dem Standpunkt der Beobachters innerhalb der Maschinerie einer fortwährenden Selbsterklärung und einer prinzipiellen Unabschließbarkeit der zugehörigen Reflexion, so daß die Selbsterklärung zirkulär wird.

5.3.4 Ähnlichkeiten als Mittel zur Formerfassung

Eine der wichtigsten Möglichkeiten, Formen zu erfassen, ist der Vergleich. Ähnliche oder verwandte Formen werden mit der zu erfassenden verglichen. Metaphern, Vergleiche zwischen Objekten gleicher Form, sind ein tragendes Element der Literatur. Sie dienen zur Vermittlung von Zusammenhängen, die anders nur sehr aufwendig zu transportieren wären. Die genaueste Beschreibung einer Form ist diejenige, die unbekannte Formen erkennbar und bekannte Formen für möglichst viele Menschen wiedererkennbar macht. Die Beschreibung und die Erfassung von Formen aus einer Beschreibung heraus verlangt viel Einfühlungsvermögen. Die Form eines Gesichts mit Worten erkennbar wiederzugeben, ist z.B. extrem schwierig. Viel leichter ist es hingegen, die Form aus einer Photographie oder sogar aus einer Plastik abzulesen. Die Kunst des Karrikaturisten liegt in der Erfassung und Wiedergabe des Typischen der Form eines Gesichts. Je komplizierter eine Form ist, desto schwieriger ist auch der Transformationsprozeß. Das abstrahierte und das konkrete Modell müssen gewisse Ähnlichkeiten aufweisen.

Ähnlichkeiten und Analogien üben auf einen jeden Betrachter einen ganz speziellen Reiz aus; sie spielten bis zum Ende des sechzehnten Jahrhunderts eine tragende Rolle. Nach FOUCAULT waren Ähnlichkeiten bis zu diesem Zeitpunkt die *Formen des Wissens*.

⁴⁷Etwa: June H. [Park, 1994].



Abbildung 5.17: Ähnlichkeiten in der Form werden zur Erlangung von Wissen herangezogen. Noch heute behandelt die Medizin in China Krankheiten des Hirns und der Augen mit Walnußextrakten bzw. deren Dämpfen.

Die Erklärung von Formen kann, über Ähnlichkeiten vermittelt, durch eine Erwartung (Protention) der Form erreicht werden, da der Geist offenbar begierig ist, in der Erfahrung Analogien aufzuspüren. Bei Aristoteles entsteht die Kunst dann, wenn sich aus vielen durch die Erfahrung gegebenen Gedanken eine allgemeine Annahme über das Ähnliche bildet.⁴⁸ PLATON (z.B. Menon) deutet die Erkenntnis als Wiedererinnerung an Ideen, die die Seele vorgeburtlich geschaut hat (*anamnesis*)⁴⁹. Im Entwurfsprozeß sind Formen des Vergleichs unausbleiblich. Dabei sind die Ähnlichkeiten, die man mithin beobachtet, nicht immer auf den ersten Blick erkennbar; sie sind oft verhüllt oder verwirrt repräsentiert und bieten sich der Erkenntnis nicht immer an. Zudem ist Unordnung sich logischerweise selbst ähnlich. Das Raster, in denen sich die Ähnlichkeiten abspielen, ist dann nicht mehr klar, seine Transparenz ist wahrscheinlich vom ersten Moment an beeinträchtigt, so daß es an diesem Punkt die Aufgabe des Designers ist, dieses Raster wieder klar herauszustellen.

Das Serielle – Wiederholungen und Ähnlichkeiten – trägt maßgeblich zum Verständnis von Artefakten bei. Man könnte soweit gehen, zu sagen, jedes Artefakt sei eine Wiederholung, eine Widerspiegelung oder eine Re-Präsentation. Ein Hauptaspekt der menschlichen Natur liegt anscheinend gerade darin, daß es ihr gestattet ist, sich auszudrücken und zu repräsentieren, Wissenschaft zu betreiben und hiermit Bilder von der Natur zu zeichnen. Es ist aber die Frage, warum so viele Entwürfe, wie im folgenden Beispiel das Mehrzweck-Universitätsgebäude, nicht unsere Anerkennung finden:

„Woher kommt es, daß die Silhouette eines sturmgepeitschten, kahlen Baums vor einem winterlichen Abendhimmel schön anmutet, die Silhouette eines Mehrzweck-Universitätsgebäudes dagegen nicht, trotz aller Anstrengungen des Architekten?“⁵⁰

Für Benoît MANDELBROT und seine Nachfolger liegt der Grund klar auf der Hand. Einfache Formen seien unmenschlich. Sie fänden keinen Widerhall in der Art und Weise, wie die Natur aufgebaut ist und wie die menschliche Wahrnehmung die Welt erfaßt.⁵¹ Für Gert EILENBERGER ergibt sich die Antwort, wenn auch etwas spekulativ: „aus den neuen Einsichten in dynamische Systeme. Unser ästhetisches Empfinden wird angeregt durch das harmonische Gefüge von Ordnung und Unordnung, wie es uns in natürlichen Gegenständen

⁴⁸ [Aristoteles, 981a, 1984], S. 38.

⁴⁹ [Platon, 1993].

⁵⁰ Gert Eilenberger zitiert in: James [Gleick, 1988], S. 173.

⁵¹ *Ebenda*.

begegnet – in Wolken, Bäumen, Gebirgszügen und Schneekristallen. Ihre Formen gehen allesamt auf dynamische Prozesse zurück, die physikalische Gestalt angenommen haben, und besondere Formen von Ordnung und Unordnung sind typisch für sie.“⁵² Es gibt demnach in dynamischen nichtlinearen Systemen feste Proportionen zwischen Bereichen der Ordnung und der Unordnung.

5.3.5 Ähnlichkeiten innerhalb der Naturformen

Die herausstechendste Eigenschaft der Naturformen ist ihre Vielfalt. Selbst die auf den ersten Blick gleichen Kristalle, bei denen *alle möglichen* kristallinen Strukturen bekannt sind, die Blätter oder Schneeflocken erweisen sich als voneinander verschieden und individuell. Überraschend erscheint hingegen, daß diese Vielfalt doch einer strengen Beschränkung unterliegt. Trotz ständiger Veränderung, trotz unendlicher Möglichkeiten wiederholen sich sowohl die Konstruktionen selbst als auch die Abläufe, in denen eine Form in die andere übergeht. Die Beschränktheit der Formen ist das eigentlich Verwunderliche.

„Es zeigt sich, daß diese Muster und Formen auf überraschende Weise beschränkt sind, daß die immense Vielfalt der Natur aus der ständigen Wiederholung einiger weniger Grundthemen entspringt. Diese Beschränkung bringt Harmonie und Schönheit in die Natur.“ P. S. [Stevens, 1988, S. 9]

Die primäre Beschränkung der Formen liegt in der Struktur des Raumes. Obwohl Menschen davon normalerweise keine Notiz nehmen, legt die Architektur des Raumes den Dingen Forderungen auf. Aufgrund dieser Beschränkung auf relativ wenige Grundthemen kommt es in der Natur häufig zu Ähnlichkeiten über Größendimensionen hinweg. So kann es sein, daß ein Bakterium in der Tiefe des Ozeans und eine Supernova in der Weite des Universums weitgehend gleich ausschauen. Wenn sich zwei Formen verblüffend ähneln, scheint es, als wären beide demselben Konstruktionsplan entsprungen. Mikrokosmos und Makrokosmos erscheinen mitunter paritätisch mit Formen besetzt zu sein, es kann sein, daß sich Formen über Größendimensionen hinweg gleichen. Galaxien etwa verhalten sich wie Granatsplitter nach einer Detonation oder bestimmte Wolken sehen aus wie Blumenkohl. Objekte gleicher Form können auf diese Weise in ihrer absoluten Größe enorm variieren. Aufgrund der Symmetrie der physikalischen Gesetze hat vermutlich die Kugelform darin die größte Spreizung. Die Ähnlichkeiten sind eine der Auswirkungen der Natur. Die Entstehung der Ähnlichkeiten geschieht durch Naturgesetze, die stets und überall die gleiche Form besitzen. Diese müssen nicht unbedingt durch an Kräfte gekoppelte Mechanismen gegeben sein, sondern können sich u.U. auch anders darstellen. So sind bei der Zellteilung entstandene Tochterzellen mithin vollständig identisch: „Die Zellteilung bewirkt die Duplikation unter Wahrung der Eigenschaften der Ursprungszelle. Dies ist eine biologische Reproduktionsweise unter strikter Einhaltung der Selbstähnlichkeit, die sich bis in die molekulare Ebene fortsetzt.“⁵³

⁵² *Ebenda.*

⁵³ June H. [Park, 1994], S. 54.

Fazit

Naturformen bilden sich in der Natur generell aus Instabilitäten. Als Entstehungsweise von Formen ist die Bildung von Ordnung aus dem Chaos sehr intuitiv und besitzt in hohem Maße Plausibilität. Fraktale Formen erstrecken sich über einen weiten Bereich des uns umgebenden zeitlichen und räumlichen Geschehens. Die Bedeutung der Formen des Chaos liegt insbesondere in ihrer Universalität. Chaotische Systeme produzieren Informationen und erzeugen spontan Ordnungsmuster in der Welt. Dynamische Systeme sind gekennzeichnet von Fixpunkten, periodischen Schwankungen bzw. Attraktoren. Fraktale Geometrien spielen auch für unser Zeichenrepertoire eine herausragende Rolle. „Baumartige Verzweigungen“ oder ähnliche Metaphern dienen als Beschreibung von Systemeigenschaften. Über solche Ähnlichkeiten innerhalb der Formen, die uns umgeben, teilen wir unsere Umwelt ein. Neue sowie bewährte Entwurfskonzepte, wie der Goldene Schnitt, müssen so im Kontext der natürlichen Formentstehungsprinzipien betrachtet werden.

Kapitel 6

Prinzipien der Form

6.1 Minimalprinzipien

„Gott ist eine Differentialgleichung.“
nach Bertrand Russel

„Die Natur macht nichts umsonst,
und mehr ist umsonst, wenn weniger reicht;
denn die Natur liebt die Einfachheit
und mag nicht den Pomp überflüssiger Angelegenheiten.“¹
Isaac [Newton, *Principia*]

Das Analogon zum Optimierungsprinzip des Entwerfens findet sich in der Natur im Minimalformprinzip. Formen in der Natur entstehen gemäß den Naturgesetzen und werden so instantan von der Natur optimiert. Sucht man eine Theorie, die beansprucht, Form und Bewegung in unserer Welt zu erklären, wird man auf das Prinzip der Ökonomie der Mittel geführt, das seit Jahrhunderten im Naturverständnis eine wichtige Rolle spielt. Diese Theorie samt ihrer mathematischen Grundlage, der Variationsrechnung, entstand zur Zeit des Barock und Rokoko, im ausgehenden 17. und im gesamten 18. Jahrhundert.² Im Jahre 1744 formulierte der französische Wissenschaftler Pierre-Luis Moireau DE MAUPERTUIS seinen allumfassenden Weltenplan, der als *Prinzip der kleinsten Wirkung* bekannt wurde. Er veröffentlichte 1746 seine Ideen unter dem Titel *Die Gesetze von Bewegung und Ruhe, hergeleitet aus einem metaphysischen Prinzip*. Er behauptete in seinem *metaphysischen Grundsatz*, die Natur verfare stets mit größtmöglicher Sparsamkeit.³ Das MAUPERTIUSsche Prinzip ist in der Physik zumeist unter dem Namen *Prinzip der kleinsten Wirkung* bzw. *Hamiltonsches Prinzip der kleinsten Aktion* bekannt.

In der klassischen Mechanik folgt aus dem Prinzip der virtuellen Verrückungen nach d’ALEMBERT die Theorie der LAGRANGESchen Mechanik. Das Zeitintegral der LAGRANGESchen Funktion heißt dort die *Aktion* oder auch die Wirkungsfunktion W :⁴

$$W = \int_{t_0}^{t_1} L dt = \int_{t_0}^{t_1} (T - U) dt \quad (6.1)$$

Dabei ist t die Zeit, T die kinetische und U die potentielle Energie. Die ein System beschreibenden Größen werden in Bewegungsgleichungen ausgedrückt. Sie können in der Form

¹Isaak NEWTON zitiert bei [Hildebrand, 1983], S. 137.

²Vgl. Stefan HILDEBRAND und Anthony TROMBA, [Hildebrand, 1983], S. 11.

³Vgl. *ebenda*, [Hildebrand, 1983], S. 13.

⁴Diese Darstellung muß im Falle potentialloser Kräfte abgewandelt werden. [Joos, 1988], S. 129.

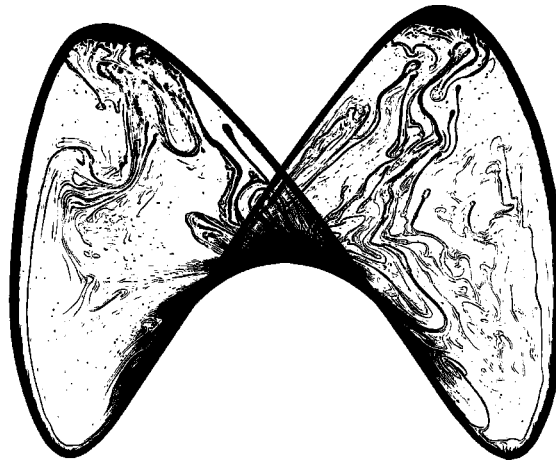


Abbildung 6.1: Minimalfläche in einer Kontur.

ausgesprochen werden: Die nach den Gesetzen der Mechanik ablaufende Bewegung eines Systems zeichnet sich dadurch aus, daß das zwischen zwei Lagen des Systems genommene Zeitintegral der LAGRANGESchen Funktion, die Wirkungsfunktion W , einen Extremwert annimmt, ein Minimum oder ein Maximum. Es gilt folglich:

$$\delta W = \delta \int_{t_0}^{t_1} L dt = \delta \int_{t_0}^{t_1} (T - U) dt = 0. \quad (6.2)$$

Man erhält die Bewegungsgleichungen durch Nullsetzen der Ableitung der Wirkungsfunktion. Die Wirkung besitzt die Dimension Energie mal Zeit. Ob auf die Newtonschen Gleichungen, die Maxwell'schen Gleichungen oder die Schrödingergleichung angewandt, Variationsprinzipien können in zahlreichen Gebieten der Physik benutzt werden, um Bewegungsgleichungen durch Nullsetzen der entsprechenden Ableitung zu erhalten. Benutzt man ein Variationsprinzip als Grundlage ihrer Formulierung, so ist eine strukturelle Analogie zu anderen demgemäß ausgedrückten Zusammenhängen die Folge. (Das fermatsche Prinzip, nach Pierre de FERMAT von 1662, ist das am einfachsten zu visualisierende Prinzip dieser Art.) Die Lösungen zu aus dem Minimalprinzip resultierenden Fragestellungen



Abbildung 6.2: Seifenblasen bilden Minimalflächen.

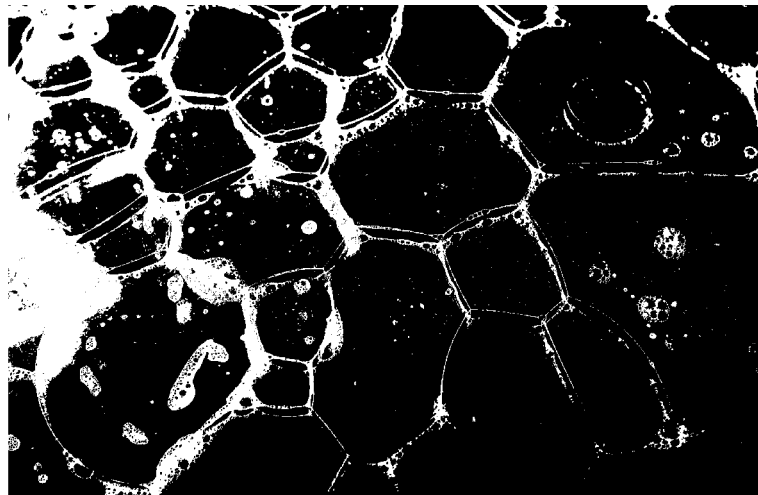


Abbildung 6.3: Minimalflächen in einem Schaum aus Seifenblasen.

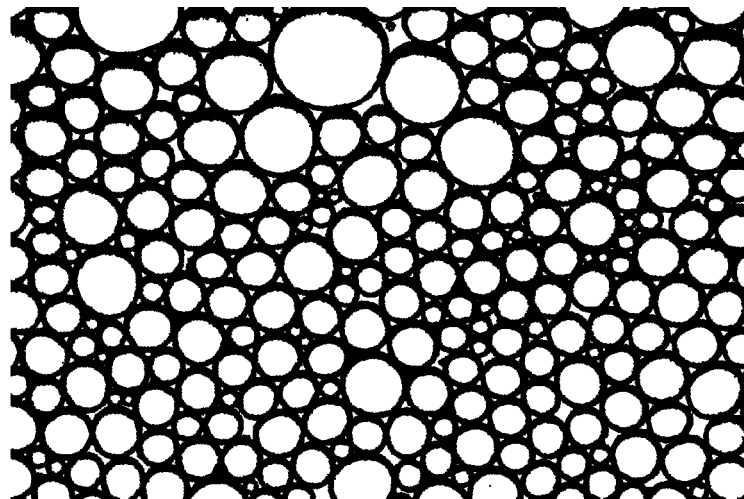


Abbildung 6.4: Struktur aus Seifenblasen.

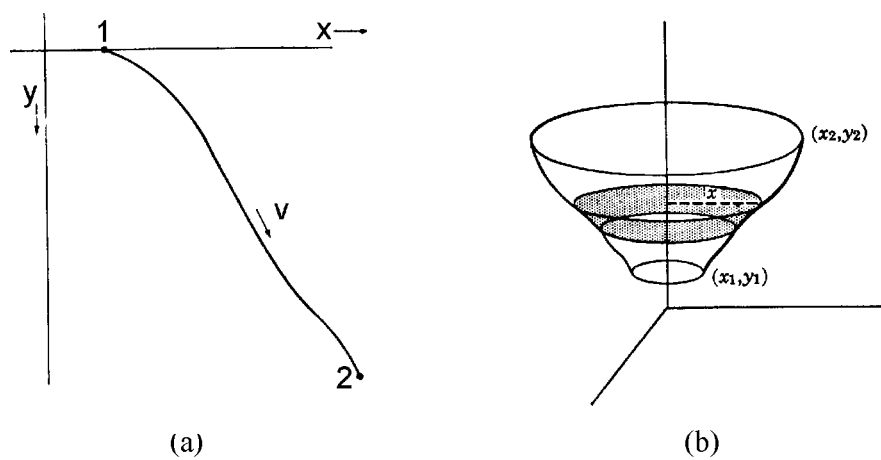


Abbildung 6.5: Beispiele für Minimalprobleme: (a) Das Brachistochronenproblem und (b) eine minimale Rotationsfläche.

können sehr unterschiedlich aussehen: Bewegungsgleichungen in der Dynamik oder etwa minimale Flächen bei statischen Problemen. Aus dem Minimalprinzip folgt bei räumlichen Problemen die Existenz von Minimalflächen – mathematische Flächen geringsten Inhalts. Das Problem der Minimalflächen ist von zahlreichen namhaften Mathematikern bearbeitet worden, so von EULER, LAGRANGE, RIEMANN, WEIERSTRASS, SCHWARZ und MORSE. Eine Minimalfläche besitzt einen kleineren Flächeninhalt als jede andere benachbarte Fläche, die in den gleichen Rand eingespannt ist. Durch das Minimalprinzip schränkt die Natur die möglichen Formen der Dinge ein. Die Minima des Flächeninhalts und damit der potentiellen Energie heißen stabile Flächen. Solche Flächen können experimentell etwa von Seifenhäuten modelliert werden, die man in eine Kontur einspannt (vgl. Abbildung 6.1). Der Mathematiker Hermann WEYL beschreibt die Formentstehung nach dem Minimalformprinzip folgendermaßen:

„Eine Seifenblase, in die ein Quantum Luft hineingeblasen wird, nimmt Kugelgestalt an, weil die Kugel ein gegebenes Volumen mit einem Minimum an Oberfläche umspannt. So nimmt es nicht Wunder, daß ein Schaum von zweidimensionalen Blasen gleichen Flächeninhalts sich nach dem hexagonalen Muster anordnet, denn unter allen Einteilungen der Ebene in Flächenstücke von vorgegebenem Inhalt ist dies diejenige, für welche das Randnetz die geringste Länge hat.“ Hermann [Weyl, 1955]

Bei Flüssigkeiten ist die Ausbildung von Minimalflächen eine Folge der gegenseitigen Anziehung der Moleküle. Diese Anziehung liefert an der Oberfläche, an der gleichartige Nachbarn nur einflächig existieren, als Resultierende eine nach innen gerichtete Kraft. Die daraus folgende Grenzflächenspannung wirkt bei Flüssigkeiten an der Oberfläche gegen den umschlossenen Gasraum und sucht die Oberfläche zu verkleinern. Diese Oberflächenspannung verursacht so z.B. die Kugelform kleiner Tropfen. Die Oberflächenspannung bei den meisten Flüssigkeiten nimmt ab mit zunehmender Temperatur. Sie kann zudem durch in der Flüssigkeit gelöste Stoffe, z.B. Tenside, zu- oder abnehmen. Werden Minimalflächen zu komplexeren Strukturen zusammengefügt, bilden sich ausgedehnte optimierte Strukturen. Das klassische natürliche Beispiel für eine in dieser Weise optimierte Struktur bildet die sechseckige Bienenwabe, die sich jedoch nicht als ganz optimal erweist, wenn man alle Randbedingungen betrachtet. Weitere Beispiele für dergestaltige, unter gewissen Umständen optimale natürliche Strukturen sind die hexagonale Kugelpackung, etwa die des Diamantgitters, oder die Fullereene.

6.1.1 Minimalflächen im Design

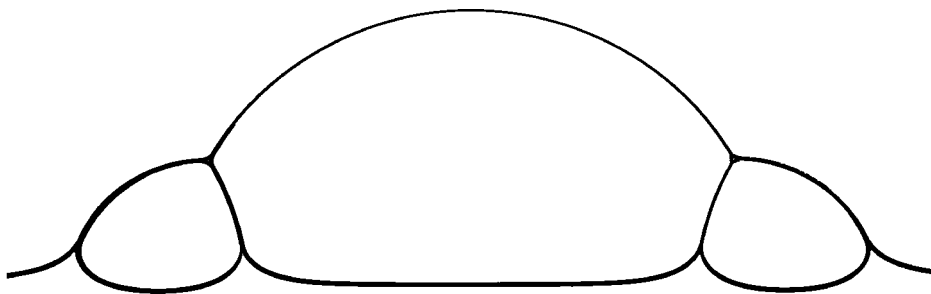


Abbildung 6.6: Minimalfläche aus drei Blasen.

Frei OTTO benutzte Seifenhäute als Modelle für seine architektonischen Entwürfe. Er ermittelte die Form von Dächern so auf experimentellem Wege. Das Konstruktionsprinzip von OTTO wurde insbesondere bekannt durch den deutschen Pavillon auf der Weltausstellung von 1967 in Montreal (zusammen mit Rolf GUTBROD) und durch das Dach des Münchner Olympiastadions. Weitere Beispiele für dem Minimalprinzip entsprungene Architektur finden sich u.a. in Entwürfen von Antoni GAUDI. In den aktuellen Entwürfen internationaler Architekten kann man zahlreiche minimalflächen-basierte Ansätze wiederfinden (z.B. Expo 2000, Frank Gehry). Die moderne Architektur wendet sich wieder der biologischen Form zu, die häufig von Minimalflächen umschlossen ist. In der Konsumgütergestaltung stellen sphärische Hüllflächen ein Ideal guter Formgestaltung dar.

Designfragestellungen

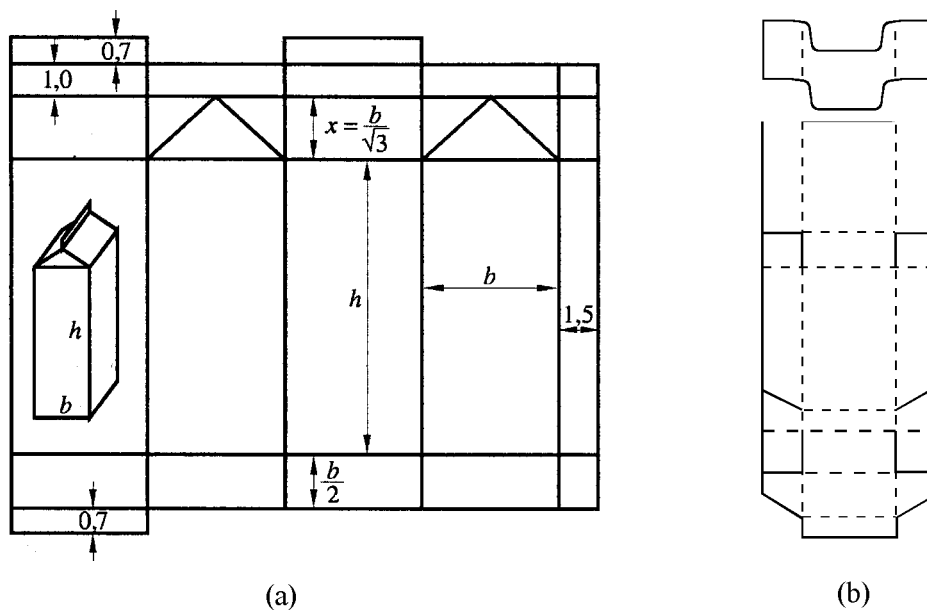


Abbildung 6.7: (a) Extremwertaufgabe für das Design einer Milchtüte. Das Problem ist zum einen dreidimensional zu lösen: Bei gegebenem Volumen (1 Liter) soll der Materialbedarf minimiert werden. Andererseits muß dies in dem Kontext betrachtet werden, daß mehrere Milchtüten aus einer Fläche geschnitten werden müssen. So muß nicht nur der Flächeninhalt berücksichtigt werden, sondern auch die „Lage im Raum“. Die Lösung führt auf das Problem der Parkettierung von Flächen. (b) Dergestaltige Lösung bei der Parkettierung von Standard-Zigaretenschachteln.

Typische Designfragestellungen, denen ein Minimalprinzip zugrundeliegt, sind: Wie muß ein Auto geformt werden, damit der Luftwiderstand bei geplantem Innenraum möglichst gering wird? Bei welcher Rumpfform ist ein Schiff am schnellsten? Wie muß ein Haus aussehen, um bei gegebenem Innenvolumen die kleinstmögliche Oberfläche zu erreichen und um somit den Wärmeverlust nach außen zu minimieren? Die Lösungen auf derlei Probleme äußern sich in den die Form begrenzenden Minimalflächen. Einfache Beispiele sind geometrisch schöne Körper, wie etwa im Zweidimensionalen Kreise und im Dreidimensionalen Kugeln. Nicht nur Naturformen sind von Minimalflächen umschlossen, sondern auch gerade die Flächen, die Menschen zum Einsetzen einer Grenze bei einem Gegenstand oder bei einer Architektur geschaffen haben. Das einfachste Beispiel bildet hier eine ebene Wand, jedoch auch kompliziertere Produkte werden durch Minimalflächen zur Außenwelt

abgegrenzt (Abb. 6.8).

Die Flächen, die eine Artefaktform einhüllen, sind unter den jeweilig gegebenen Bedingungen häufig Minimalflächen oder ähneln Minimalflächen stark. Die Definition geeigneter Bedingungen ist dabei ein wesentlicher Faktor im Designprozeß. Durch die Weiterentwicklung der Methoden der Designinformatik und höheren Rechenleistungen wird man hierzu die vorherrschend geometrische Formensprache um neue Elemente erweitern können. Die schöpferischen Möglichkeiten könnten erweitert werden durch eine geeignete Definition von Minimalflächen, etwa durch ihr Krümmungsverhalten oder auch durch Berücksichtigung von Rändern, die sich im Unendlichen befinden können. Eine in diese Richtung gehende Optimierungsmethode zum Formfindungsprozeß ist die Konstruktion mittels der Finite Elemente Methode (FEM). Sie wurde ursprünglich für den Flugzeugbau entwickelt, konnte ihren Anwendungsbereich jedoch deutlich ausdehnen. Eine Ausgangsform kann mit dieser Methode in eine Endform hinsichtlich verschiedener Nebenbedingungen (Materialfestigkeit, -steifigkeit, Zugbelastung, etc.) überführt werden. Die Strukturoptimierung wird innerhalb eines Netzes von bestimmten Kopplungskonstanten errechnet: Die Struktur wird unterteilt in einzelne Elemente, die über Steifigkeitsbeziehungen miteinander in Beziehungen stehen. Hierbei kann es auch sinnvoll sein, eine Struktur in eine Menge von Punkten aufzulösen, und diese dann mit topologischen Verknüpfungsvorschriften zu behandeln.⁵ Die FEM-Vorgehensweise der Strukturoptimierung ist heute weitestgehend perfektioniert worden, so daß nahezu jede Ausgangsform in jede Endform transformiert werden kann, was die alte Fragestellung aufbrechen lassen kann: „Man ist damit wieder auf die Frage zurückgeworfen: Was ist das Optimierungsziel?“⁶

Die Wirkung der Minimalformen

Minimalflächen üben auf den Betrachter einen immensen Reiz aus. Es ist die Frage, wie die ästhetische Qualität von Minimalstrukturen zustande kommt. Die Formen, die von Minimalflächen gebildet werden, versinnbildlichen nicht nur die Wirkung des natürlichen Optimierungsprinzips im Raum, sie sind auch gemäß der BIRKHOFFSchen Formulierung nach der Gleichung $M = O/C$ optimiert ästhetisch (Abschnitt 8.1.2). Da ihre Ordnung maximiert und ihre Komplexität minimiert wird, ist der Quotient aus beiden ebenfalls natürlich maximiert. Das BIRKHOFFSche Optimierungsproblem und das Minimalprinzip besitzen Strukturähnlichkeiten. Der Reiz, den die Minimalflächen in ihrer Wirkung auf den Menschen besitzen, mag in diesen Gesetzmäßigkeiten begründet liegen, insbesondere wenn, wie im Fall von Seifenblasen, noch das Moment der Bewegung hinzukommt, die sich bei großen Blasen aus Fortbewegung und Volumenschwingung zusammensetzt.

Man kann insbesondere im Bereich der Konsumgütergestaltung, an den modernen Industrieformen häufig Minimalflächen erkennen. Bedienelemente befinden sich bei Industrieprodukten oft auf einer ebenen Fläche angeordnet. Zur Überbrückung des Raums von nicht direkt der Bedienung ausgesetzten Flächen kann man die Minimalfläche mitunter als Optimallösung eines jeweiligen Designproblems ansehen. Ein gestaltetes Konsumgut ist daher meist von glatten Flächen umschlossen, so daß jede Kurve, die man über eine solche Form legt, stetig verläuft. Oft verlaufen auch die Ableitungen dieser Kurven stetig: Krümmung und Krümmungsrichtung ändern sich nie plötzlich, gebrochen oder überraschend. Die moderne Industrieform wirkt häufig geschliffen, etwa wie Instrumente, die man zur Weltraumexploration verwendet, um damit das Verletzungsrisiko der Astronau-

⁵Ralf [Höller, 1999], S. 207.

⁶Ralf [Höller, 1999], S. 209.

ten zu minimieren. Oder sie wirkt wie Steine am Strand. Gerade die neueren Serien scheinen so, als habe sie das Meer für den Handgebrauch geschaffen, was Jean BAUDRILLARD folgendermaßen beschreibt:

„Das verdeutlicht ein kieselförmiges Feuerzeug, das seit Jahren in Umlauf gesetzt wird: Es ist länglich, eirund und asymmetrisch, ‚äußerst funktionell‘; nicht etwa, weil es besser als andere zündet, sondern weil es ‚gut in die Hohlhand paßt‘. Das Meer hat es für den Handgebrauch geformt: Deshalb ist es etwas Vollendetes. Seine Funktionalität besteht nicht darin, Feuer zu entfachen, sondern handlich zu sein. Und seine Form ist wie von der Natur (dem Meer) zum ‚Hantieren‘ prädestiniert. Diese neue Finalität spricht für sich. Die Konnotation ist hier eine doppelte: Es ist ein Fabrikat mit den Eigenschaften eines handwerklichen Erzeugnisses, dessen Form gewissermaßen die Hand und die Geste ‚verlängert‘. Zudem führt uns die Anspielung auf das Meer zum Mythos von der dem Menschen dienlichen Natur, zu einer beseelten Natur, die hilfreich auch unseren bescheidensten Wünschen entgegenkommt.“⁷

Minimalflächen symbolisieren ein Minimum an Kraftaufwand. Beispielsweise sind wir es von Kind auf gewohnt, daß Gegenstände den kürzesten Weg zum Erdmittelpunkt nehmen, wenn man sie fallen läßt. Nach Nikolai HARTMANN haben sich uns genauso auch die andere Flugbahnen, die aufgrund des Prinzips der minimalen Wirkung entstehen, eingeprägt. Nach HARTMANN wird eine Form als schön empfunden, wenn sie ein formendes Prinzip erschauen läßt. Das formende Prinzip ist dabei nur auf der Grundlage der Naturgesetze zu erschauen.⁸ Die Gestik der Artefakte drückt, indem diese von Minimalflächen begrenzt werden, eine Verminderung des Anteils der Muskelenergie aus, die man zu ihrer Beherrschung benötigt. Die Designgeschichte veranschaulicht so in der Zuwendung zu abgerundeten oder stromlinienförmigen Formen den Weg fort von der kraftaufwendenden Geste hin zur Darstellung der Kontrolle des Menschen über die Natur.⁹ Die industrielle Form legt so Zeugnis ebenso über die Natur ab, als auch über die (nach BAUDRILLARD auch gesellschaftlichen) Produktionsverhältnisse ab, innerhalb derer sie entstanden ist. Sie spiegelt die wirkenden Kräfte und ihre Dynamik wider.

6.1.2 Felder und Kräfte

Wenn man so will, geschieht die Übertragung der Informationen, die für Minimalflächenkonstruktionen benötigt werden, durch Kräfte. Kräfte sind an und in jedem Seienden, sie durchziehen dabei auch das Vakuum, jeweils mit Lichtgeschwindigkeit. Jeder Körper wirkt zudem auf sich selbst durch Eigenkräfte, wie durch die Eigengewichtskraft und die Oberflächenkräfte. Jedes materielle Objekt hat die Fähigkeit, Kräfte zu übertragen. Diese Fähigkeit wird dabei durch das Material und die Form des Objekts mitbestimmt. Neue Formen im Design lassen sich so vorwiegend im Verbund mit neuen zur Verfügung stehenden Materialien entwickeln.¹⁰

Die Kräfte können mechanisch als Zug-, Druck-, Biege-, Schub-, Scher- und als Torsionskraft auftreten. Jeder flüssige oder feste Körper ändert unter der Einwirkung von Kräften seine Form. Nimmt der Körper nach Entlastung seine ursprüngliche Form wieder an, so spricht man von *elastischer* Formänderung, behält er sie bei, von *plastischer* Formänderung. Widersteht ein Körper äußeren Kräften, so spricht man von einer beharrenden festen Form. Allgemein sind in (technischen) Bauteilen plastische und elastische

⁷Jean [Baudrillard, 1991], S. 77.

⁸Nikolai [Hartmann, 1966], S. 253.

⁹Vgl. Jean [Baudrillard, 1982a], S. 77.

¹⁰Nach Wright offenbart jeder Werkstoff seine eigene Botschaft, in: [Hegemann, 1992], S. 31.

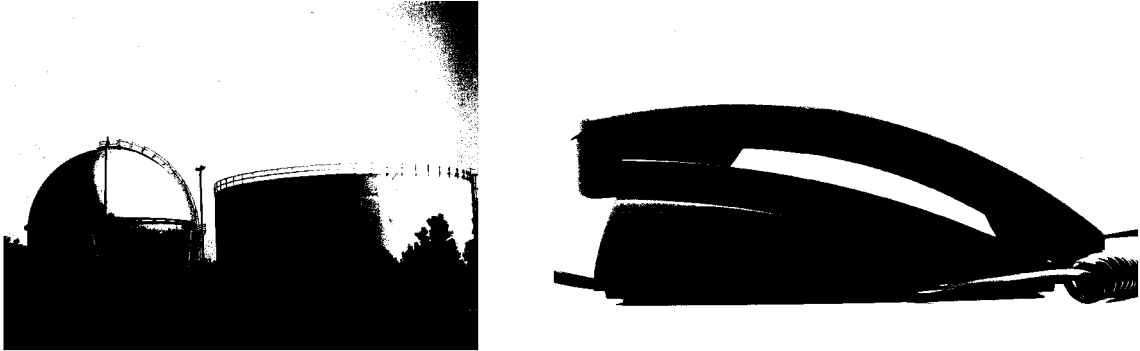


Abbildung 6.8: Durch die Funktion bedingte Minimalflächenformen (links) und ästhetische Minimalflächenform (rechts).

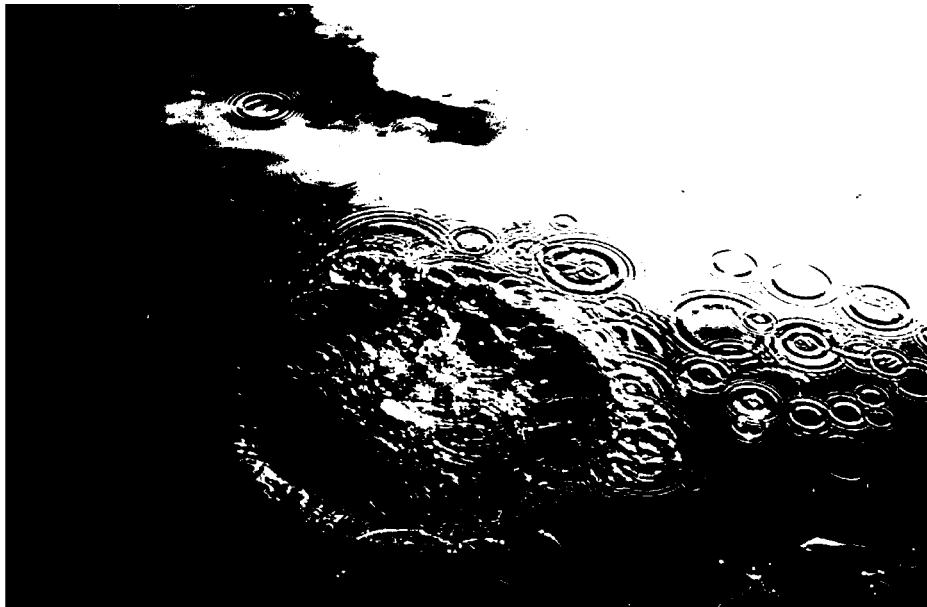


Abbildung 6.9: Wasserwellen bilden dynamische Minimalflächen.

Formänderungsbereiche zu finden. Innerhalb der Ingenieurwissenschaften werden die Zusammenhänge zwischen der Gestalt und der Dauerfestigkeit eines Bauteils in der sog. *Gestaltfestigkeitslehre* untersucht. Die Gestaltfestigkeit ist nach DIN 50 100 die durch die Nennspannung gekennzeichnete Dauerfestigkeit eines Bauteils beliebiger Gestalt. An einem vollkommen elastischen Körper verrichten die Zug- und Druckkräfte F längs eines Weges die *Formänderungsarbeit* W .¹¹

6.1.3 Form und Kraft nach D'Arcy W. Thomson

Ein Forscher, der das Konzept ursächlicher Kräfte auf Formen als Ganzheit zur Anwendung brachte, war D'Arcy Wentworth THOMSON. Seine Abhandlung *On Growth and Form* kann man diesbezüglich als Klassiker bezeichnen. Der Mathematiker und Zoologe betrachtet darin die Menge lebender Organismen als eine geschlossene Einheit und untersucht, ob deren Formen nicht auf ein System ursächlicher Kräfte zurückgeführt werden können. Dieser Ansatz besitzt große Bedeutung für die Erforschung organischer Strukturen; so bezieht sich etwa René THOM in seiner generalisierten Formbetrachtung ausdrücklich auf D'Arcy Wentworth THOMSON. Armando Aranda ANZALDO bezeichnet ihn als ersten Forscher, der ein mathematisches System zur Untersuchung von Transformationen der Formen entwarf.¹²

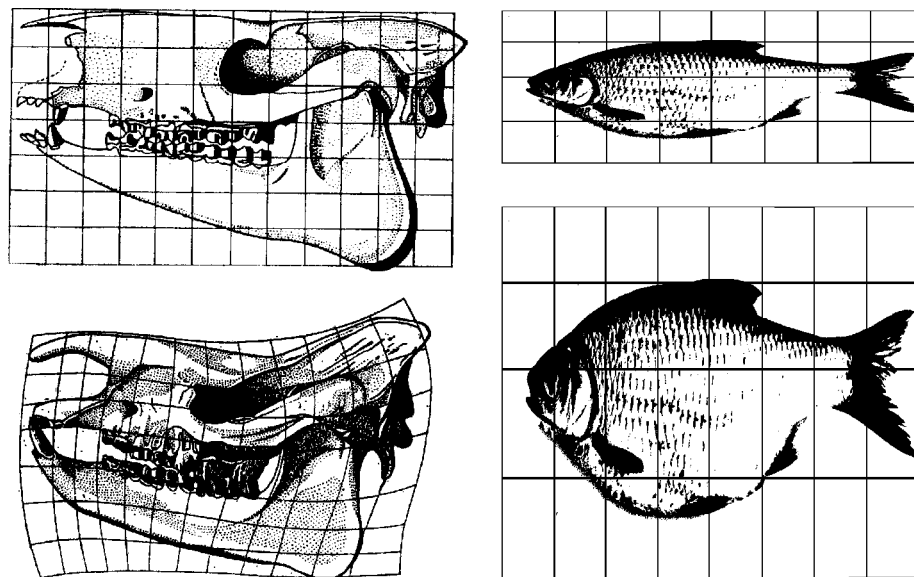


Abbildung 6.10: Kartesische Transformation nach der Methode von D'ARCY THOMPSON. Links: Vergleich zweier Säugetierschädel nach OSBORN bei [Thomson, 1973, S. 371]. Rechts: Schematischer Formvergleich zwischen den beiden einheimischen Fischarten *Rutilus rutilus* und etwa *Abramis brama*.

D'Arcy THOMSON untersucht die Entstehung und Änderung von Formen in der Natur insbesondere hinsichtlich ihrer Ursachen. Er unterscheidet dabei genau zwischen den Zweckursachen einerseits und den (physikalischen) Wirkungsursachen andererseits.¹³ Während die Zweckursache grundsätzlich antizipierenden Charakter besitzt, ist die Wirkungs-

¹¹Dazu etwa [Böge, 1977], S. 366, oder [Dubbel, 1999], F 15.

¹²Armando Aranda [Anzaldo, 1997], S. 126.

¹³James [Gleick, 1988], S. 285 f.

ursache physikalisch begründet und führt zu den Formen, wie sie im obigen Abschnitt 6.1 über Minimalprinzipien beschrieben sind.

D'Arcy THOMSON untersucht die wechselseitigen Beziehungen zwischen Wachstum und Form. Besondere Berücksichtigung findet hierbei die organische Form und dabei die Rolle der physikalischen Kräfte. Das berühmteste Kapitel des Werks von D'Arcy Thomson ist jedoch: *Über die Theorie der Transformationen oder den Vergleich verwandter Formen*. In diesem Kapitel ist die sogenannte Koordinatenmethode beschrieben:

„Die Gestalt jedes Teils der Materie, ob tot oder lebendig, und ihre Änderungen, die sich in ihren Bewegungen und ihrem Wachstum zeigen, lassen sich in allen Fällen gleichermaßen auf die Einwirkung von Kräften zurückführen. Kurzum, jede Gestalt kann in dem Sinn als ‚Kräftediagramm‘ aufgefaßt werden, daß wir durch sie die Kräfte beurteilen oder auf die Kräfte schließen können, die auf die Gestalt wirken oder sie hervorgebracht haben: In diesem strengen und besonderen Sinn handelt es sich um ein Diagramm – bei einem festen Körper derjenigen Kräfte, die bei der Entstehung auf ihn einwirkten, zusammen mit denen, die seine Gestalt zu bewahren helfen; im Fall einer Flüssigkeit (oder eines Gases) der Kräfte, die die angeborene Beweglichkeit der Materie einschränken oder gar im Gleichgewicht halten. In großen wie in kleinen Organismen müssen wir nicht nur die Natur der Bewegung lebender Materie (der Kinetik entsprechend) auf Kräfte zurückführen, sondern auch die Formung der einzelnen Organismen, deren Bestand oder Gleichgewicht sich, wie in der Statik beschrieben, als Wechselwirkung oder Balance von Kräften erklären läßt.“ D'Arcy W. [Thomson, 1973]

D'Arcy Wentworth THOMPSON zog mit Hilfe der Koordinatenmethode Vergleiche von Formen zwischen verschiedenen biologischen Arten. Er konnte zeigen, daß sich die Formen von genetisch verwandten Arten durch „lineare“ Transformationen ineinander überführen lassen. Bekannt sind insbesondere die Darstellungen von Fischen und Schädeln. D'Arcy THOMPSON konnte mit dieser Methode Ähnlichkeiten zwischen drei verschiedenen Fischarten feststellen. Er stellte Formen der zu vergleichenden Arten jeweils in einem Koordinatensystem dar. Durch Verzerrungen, Maßstabsveränderung der Koordinaten und Winkel ließen sich die Formen ineinander überführen. Diese Methode eignet sich, die Nähe der Verwandtschaftsbeziehungen von biologischen Formen zu prüfen. Zudem zeigt sie, daß topologische Invarianz bei der Entstehung der Formen des Lebens eine entscheidende Rolle spielt. Hinsichtlich der Topologie stellt die Koordinatenmethode einen Diffeomorphismus dar, so daß die damit untersuchten Formen topologisch äquivalent sind. (Dazu mehr in Abschnitt 6.2.) Nach D'Arcy THOMPSON lassen sich hier Grundmuster von Bauplänen finden, die recht weit variiert werden können. Derartige Veränderungen in der Form bedingen eine Stetigkeit der Übergänge zwischen benachbarten Bereichen der Formen. Es kommt zum Sonderfall von Formen: zur organischen Form, die durch *Wachsen* entsteht.

Über die Untersuchung der Kräfte als Ursache der Formänderungsarbeit hinaus äußert sich D'Arcy W. THOMPSON zu weiteren Form-Beziehungen: so zum Verhältnis von Längenausdehnung, Oberfläche und Volumen von Formen. Er stellt fest, daß Formen, soweit sie sich auf Materie stützen, nicht beliebig in ihrer Größe verändert werden können. Die Größe von Materieformen ist nur in einem fest definierten Bereich variabel: „Überall wirkt die Natur maßstabsgerecht, und alles hat dementsprechend seine richtige Größe. Menschen und Bäume, Vögel und Fische, Sterne und Sternsysteme besitzen ihre angemessenen Dimen-

sionen und ihren mehr oder weniger beschränkten Bereich absoluter Größe“.¹⁴ Zwischen Ausdehnung, Oberfläche und Volumen besteht ein nichtlinearer Zusammenhang. Es gilt ein quadratischer Zusammenhang zwischen Längenausdehnung L und Oberfläche O , so daß

$$L \sim O^2 \text{ gilt.} \quad (6.3)$$

Zwischen linearer Ausdehnung und Volumen V gilt ein kubisches Verhältnis:

$$L \sim V^3 . \quad (6.4)$$

Die Oberfläche kann bei Lebewesen als proportional zur Wärmeabstrahlung betrachtet werden, und das Volumen ist allgemein als Träger der Masse aufzufassen. Die Masse steigt daher mit der dritten Potenz der Längenausdehnung, so daß dies die entsprechenden Stabilitätsprobleme bei Vergrößerungen nach sich zieht. Die Größe von Formen ist so nicht allgemein skaleninvariant. Dies bedeutet auch, daß Formänderungen wahrscheinlich sind, solange ein Wachstum andauert.¹⁵ John Tyler BONNER, der auch D’Arcy THOMSON’s *On Growth and Form* in gekürzter Version neu herausgab, und Thomas A. MC MAHON wiesen Abhängigkeiten zwischen Größe und Form nach, indem sie die Proportionen von verschiedenen Tierarten untersuchten.¹⁶

Im Entwurf von Fahrzeugsitzen, Bedienelementen etc. spielt die Fragestellung zwischen Größe und Form eine erwähnenswerte Rolle, auch da sich die mittlere Längen- bzw. Höhenausdehnung von Menschen pro Jahr um ca. $+1\text{mm}$ ändert. Weitere Designbeispiele für nicht skaleninvariante Formen finden sich in der Typografie. Der Grad von Schriften kann i.a. nicht über einen weiten Bereich linear vergrößert oder verkleinert werden, ohne daß Schriften ihren spezifischen Charakter verlieren. Es findet dann ein Umschlag von einer Qualität in eine andere statt.

6.2 Topologie

Innerhalb einer Analyse von Formen kann die Topologie Beiträge von neuer Qualität liefern; topologische Betrachtungen können im entwerferischen Prozeß als ein hervorragendes Denkwerkzeug dienen: „Alles, was sich strukturieren läßt, Dingliches oder Gedankliches, läßt sich mit den Mitteln der Topologie behandeln.“¹⁷ Als selbständige mathematische Disziplin ist sie dabei noch relativ jung. Innerhalb der Topologie wird die mengentheoretische Topologie von der algebraischen Topologie unterschieden. Die mengentheoretische Topologie untersucht globale Eigenschaften von Punktfolgen, die unter stetigen Deformationen dieser Mengen erhalten bleiben. Die Topologie betrachtet Mengen bzw. Objekte als gleich und nennt sie äquivalent, wenn sie durch stetige Deformation ineinander überführt werden können. Es zeigt sich, daß die Eigenschaften von Punktfolgen beschrieben werden können durch ihre *topologische Struktur*. Die topologische Struktur wird dabei axiomatisch festgelegt: Wie in der Geometrie werden gewisse Punktfolgen durch geeignet gewählte Axiome ausgezeichnet. In der mengentheoretischen Topologie werden Formen von *Mengen* getragen bzw. aufgespannt. Der Vergleich zwischen den die Form tragenden Mengen geschieht dabei mit Hilfe von Abbildungen. Man vergleicht zwei Formen miteinander, indem

¹⁴D’Arcy W. [Thomson, 1973], S. 38.

¹⁵*Ebenda.*

¹⁶[Bonner + McMahon, 1995].

¹⁷Alfred [Hückler, 2000], S. 9–16.

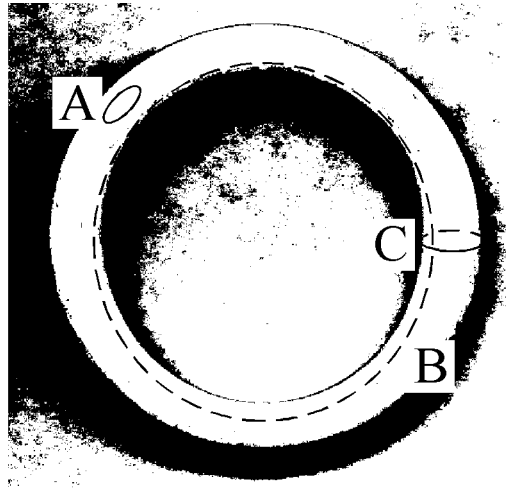


Abbildung 6.11: Drei Kurven A, B und C auf der Oberfläche eines Torus.

man eine Abbildung zwischen den beiden Trägermengen konstruiert. Existiert eine bijektive Abbildung zwischen den Trägermengen, so sind die beiden Formen mit topologischen Mitteln nicht zu unterscheiden: Sie sind homöomorph, d.h. von gleicher Form. Die vermittelnde Abbildung selbst heißt dann Homöomorphismus oder topologische Abbildung.

Beispielsweise unterscheidet sich der Torus von der Kugel dadurch, daß auf seiner Oberfläche Kurven existieren, die sich nicht auf einen Punkt zusammenziehen lassen. In Abbildung 6.11 sind drei Typen von Kurven dargestellt, die auf dem Torus vorkommen. Anders als die Kurve A, können B und C nicht auf einen Punkt zusammengezogen werden.¹⁸ Dies ändert sich auch bei stetiger Deformation des Torus nicht, nicht solange man ihn nicht verletzt. Die Deformation bezeichnet man hier auch als *elastische Verformung*, da sie umkehrbar ist. Die Umkehrbarkeit läßt sich als eine bijektive Abbildung mit speziellen Eigenschaften deuten: Gewisse Eigenschaften der Punktmenge bleiben erhalten. Beispielsweise bleiben Punkte, die sich am Rand oder auf der Oberfläche befinden, auch in ihrer Abbildung an der Umrandung. Benachbarte Punkte bleiben ebenfalls benachbart, und die Randkurve bleibt stets geschlossen.¹⁹ Hingegen bleiben Strecken, Geraden, Winkel und die mit ihnen assoziierten Gefüge nicht erhalten.

Analog zu den Klassen kongruenter bzw. ähnlicher Punktfolgen in der euklidischen Geometrie werden in der Topologie Klassen äquivalenter Punktfolgen gebildet, die sich durch elastische Verformungen auseinander erzeugen lassen. Damit gehören die Punktfolgen, die in Abbildung 6.12 gezeigt werden, derselben Klasse an und sind topologisch äquivalent. Dies ist immer der Fall, wenn sich durch elastische Verformung die eine Form in die andere überführen läßt. Elastisch bedeutet hier, daß keine neuen Risse oder Löcher entstehen. Eine Veränderung, die Risse oder Löcher entstehen ließe, würde man *nichttopologisch* nennen.

Besitzt eine Punktfolge topologische Eigenschaften, so besitzt auch jede Punktfolge diese Eigenschaften, die topologisch zu ihr äquivalent ist. In der Topologie heißen Eigenschaften, die einer ganzen Klasse topologisch äquivalenter Punktfolgen zustehen, *Eigen-*

¹⁸Vgl. Manuel Fernández [Labastida, 1998].

¹⁹In der mathematischen Ausdrucksweise sind die Zusammenhänge etwas komplizierter, so ist der Begriff der Nachbarschaft von Punkten zu klären. Auch ist der Begriff der Umgebung maßgebend u.s.w.



Abbildung 6.12: Topologische Äquivalenz zwischen Ring und Tasse nach [Romero + Boom, 1999].

schaften der Gestalt oder *innere Eigenschaften*, d.h. die Topologie stellt einen eigenen Gestaltbegriff zur Verfügung. Die inneren Eigenschaften sind dabei die Invarianten, die sich durch stetige topologische Abbildungen der Teilmengen des Raums erhalten lassen, ohne daß dabei der umgebende Raum abgebildet wird. Das heißt, die spezielle Lage der topologisch äquivalenten Punktmenge wird nicht in bezug auf ihre Lage im ganzen umgebenden Raum beurteilt. Als Beispiel diene hier Abbildung 6.13: Der Kreisrand und der Knoten (sog. Kleeblattschlinge) sind zwar topologisch äquivalent, lassen sich jedoch nicht durch eine topologische Abbildung des ganzen Raumes R^3 ineinander überführen. In diesem Fall sagt man: Knoten und Kreisrand besitzen unterschiedliche *Eigenschaften der Lage* bzw. *äußere Eigenschaften*. Bei topologischen Abbildungen von Punktmenge auftretende Lageeigenschaften sind daher auf den Raum bezogen. Am Beispiel des Knotens bedeutet dies, daß er sich eingebettet in den R^4 in einen Kreisrand überführen ließe, ohne zerschlagen werden zu müssen. Hinsichtlich des R^4 sind also nicht nur die Gestalteeigenschaften, sondern auch die Lageeigenschaften beider Punktmenge gleich.

Die Vergleichbarkeit von Formen führt in der Topologie zum *Homöomorphieproblem*, welches die Klassifizierung von topologischen Räumen zum Inhalt hat. Zu zwei topologischen Räumen ist dabei entweder eine entsprechende Abbildung anzugeben oder zu beweisen, daß eine solche nicht existieren kann. Ohne zusätzliche spezielle mathematische Forderungen an die (offenen) Mengen bleibt die Struktur topologischer Räume jedoch so allgemein, daß dies nachzuweisen im Einzelfall schwierig oder wenig ergiebig ist. Es bedarf weiterer Axiome (Trennungsaxiome), um zu speziellen Räumen zu gelangen, so daß man Verbindungen zu metrischen Räumen herstellen kann.

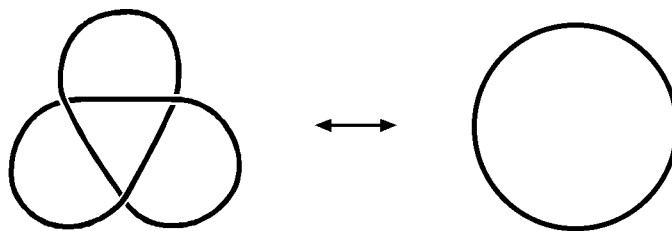


Abbildung 6.13: Knoten (sog. Kleeblattschlinge) und Kreisrand.

6.2.1 Systemtopologie

Mit der Topologie werden zudem Strukturen als abgegrenzte Mengen betrachtet, die unterschiedliche Grade von Nachbarschaft zueinander aufweisen. Eine Struktur entsteht aus topologischer Sicht mikroskopisch durch Bindungen. In der Grundlehre der HFG Ulm wurde dies reflektiert, und die Topologie wurde als Problem der räumlichen Ordnung, Konti-

nuität und der Nachbarschaft untersucht.²⁰ An der Arbeitsstelle für Designinformatik der HBK Braunschweig wird sie im Sinn einer Systemtopologie untersucht. Als Systemtopologie bedeutet sie eine prägeometrische Untersuchung des Raumes.²¹ Eine Beschränkung auf Raumformen ist hierbei nicht notwendig. Es kann vielmehr abstrahiert werden, und der Raum kann nach zwei Grundrichtungen hin gedacht werden: als geometrischer sowie als semantischer Raum.²² Der geometrische Raum wird nach ROMERO-TEJEDOR und VAN DEN BOOM durch alle Größen beschrieben, die quantifizierbar ins Design eingehen. Also z.B. die maßlich exakte Form oder die genau definierte Farbe etc. Wohingegen hier der semantische Raum durch die zukünftigen Merkmalsdefinitionen des zu entwerfenden Systems aufgespannt wird bzw. durch die Verbindung oder Verknüpfungen innerhalb dieses Systemkonzepts. Der Designprozeß vollzieht sich demgemäß in drei Schritten:

1. Die Reihe der Anforderungen bildet zunächst einen semantischen Raum. Die Forderungen an das zu entwickelnde Produkt werden in einer multidimensionalen Darstellung festgehalten. Sie bilden das Systemkonzept. (Das nach Christopher ALEXANDER in Abbildung 2.2 gezeigte Schema kann dabei als grober Anhalt verfolgt werden.)
2. Ein Handlungsschema wird durch topologische Überlegungen gebildet, indem die Anforderungen und Merkmale topologisch verschiedentlich transformiert werden. Innerhalb dieser Transformationen wird versucht, die Nachbarschaften zu erhalten, die sich im Systemkonzept ergeben, so daß hierbei ein gewisses Prinzip der Lokalität Verwendung findet. Bei den topologischen Transformationen nutzt man Invarianzen innerhalb der Form aus.
3. Ein Festlegen von Lagebeziehungen der Systemelemente steht am Ende des Entwurfsprozesses. Die Verwirklichung der Formen im geometrischen Raum, in dem die konkrete Lage der Systemkomponenten bestimmt wird, steht am Schluß des Prozesses, so daß die konkrete Lage der Träger der Funktionen eines Produkts auf diese Weise gefunden wird.

Die Systemtopologie dient zur Ausdifferenzierung der zu erschaffenden Gestalt aus dem Konzept bzw. den Anforderungen an das Produkt. Das System in dieser Darstellung ist zusammengesetzt aus Funktionen und Systemelementen. Ein einfacher semantischer Raum z.B. wäre nach ROMERO-TEJEDOR und VAN DEN BOOM aufgespannt zwischen den drei Dimensionen Ästhetik, Kosten und technische Realisierbarkeit.²³ Als Optimierungsproblem aufgefaßt müßte man eine Metrik innerhalb dieses Raumes definieren und eine Lösung mit möglichst geringem Abstand der drei sich ergebenden Punkte zueinander finden. In der Praxis ist das Finden der „richtigen“ Entwurfsdimensionen jedoch sehr schwierig. Bei Hinzunahme (oder Weglassen) einer weiteren Dimension wären zudem völlig neue Lösungen opportun, wie aus dem Beispiel der Kleeblattschlinge hervorgeht (Abbildung 6.13).

Es ergibt sich eine starke Evidenz dafür, daß die Topologie für die Entwicklung von Naturformen das grundlegende Instrument ist. Dicht benachbarte Beziehungen werden hier gegenüber weiter entfernten extrem bevorzugt. Die Geometrie kann bei der konkreten Ausprägung einer Form zwar nicht vernachlässigt werden, die Kontrolle von Formen durch die Topologie ist aber bei weitem strenger, da hier exakte und nachprüfbare Abbildungsvorschriften existieren. Topologische Transformationen spielen bei der biologischen Evolution von Formen eine tragende Rolle. So bleiben, indem benachbarte Gewebearten

²⁰Felicidad [Romero-Tejedor, 1999], S. 11.

²¹Felicidad [Romero-Tejedor, 1999], S. 12.

²²Vgl. Felicidad [Romero-Tejedor, 1999], S. 12.

²³Felicidad [Romero-Tejedor + Boom, 1999], S. 10.

benachbart bleiben, die topologischen Eigenschaften einer Form erhalten. Die Geometrie hingegen ist für Veränderungen während des Evolutionsprozesses bei weitem empfänglicher.

Für eine von der Topologie ausgehende Betrachtung von Entwurfsproblemen sprechen zudem Erkenntnisse aus der Kognitionspsychologie. Nach Jean PIAGET entspricht die topologische Herangehensweise der Art, wie kleine Kinder ihre Umwelt anfangs erfassen.²⁴ Topologische Betrachtungen bieten weiterhin die Möglichkeit, von der uns umgebenden Zeichenvielfalt zu abstrahieren: „Mit einer topologisch beginnenden Geometrie wird ein formlich unvoreingenommenes, nicht durch geometrische Archetypen vorgeprägtes, aber dennoch verbindliches Repertoire ermöglicht und freigesetzt.“²⁵ Eine Konzentration auf qualitative Eigenschaften der zu entwerfenden Gebilde sowie neue Kreativitätstechniken werden hiermit möglich.

6.2.2 Differentialtopologie: Kontinua und Katastrophen

Beim Erstellen unseres Weltbildes bedienen wir uns der Begriffe des Raumes und der Zeit. Meinen wir nicht das Ganze, sondern Bruchstücke daraus, so nennen wir diese Teile oder Phasen. Raum und Zeit sind dabei zunächst einmal *kontinuierliche* Parameter, die sich bei der Beschreibung der Welt bewährt haben.²⁶ Bei genauem Hinsehen scheint der Weltenlauf – der Aion – jedoch gar nicht so viel Kontinuität aufzuweisen: Diskontinuitäten ziehen unser Interesse auf sich, wie Quantensprünge, Mutationen, Phasenübergänge, Bekehrungserlebnisse, Katastrophen und Revolutionen.²⁷ „In den meisten Fällen kommt es jedoch nur auf die Auflösung an, mit der man einen Vorgang betrachtet. Aus der Nähe erweisen sich dann auch vermeintlich sprunghafte Vorgänge zwar als überdurchschnittlich schnell, aber doch als stetig.“²⁸ Bei einer groben Auflösung laufen die Vorgänge stetig entlang multidimensionaler Minimalflächen unter spezifischen Bedingungen.

Nichtsdestotrotz interessiert sich ein Gutteil der wissenschaftlichen Disziplinen gerade für die Punkte des Umschlagens von elementaren Systemeigenschaften ineinander. Mit der Behandlung von solchen Diskontinuitäten – Singularitäten – befaßt sich die mathematische Katastrophentheorie.²⁹ Sie kann als Bestandteil der Differentialtopologie, oder dort genauer als Teil der Singularitätstheorie betrachtet werden und weist zwei unterschiedliche Formen auf. Die eine entspricht der rein mathematischen Interpretation, die andere der Anwendung von mathematischen Resultaten auf die Untersuchung realwissenschaftlicher Probleme.³⁰ In ihrer Anwendung beschäftigt sie sich direkt mit den Eigenschaften der Diskontinuitäten und bezieht sich dabei erstaunlicherweise nicht auf die zugrunde liegenden Mechanismen. Es lassen sich damit z.B. Verbiegungen elastischer Strukturen, Überdimen-

²⁴ *Ebenda*, S. 13.

²⁵ Alfred [Hückler, 2000], S. 9–16.

²⁶ Gerhard [Vollmer, 1995], S. 34.

²⁷ *Ebenda*, S. 35.

²⁸ *Ebenda*.

²⁹ Eine *Strophe* verbindet mehrere Verse zu einem metrischen Ganzen, während eine *Katastrophe* die Wendung der Handlung in einer Tragödie bezeichnet. Die heutige Katastrophentheorie beruht auf topologischen Überlegungen. Im Gegensatz dazu wurde der Begriff Katastrophentheorie zu Anfang des 19. Jh. im Rahmen der Paläontologie in anderer Bedeutung geprägt. Georges Frédéric de Cuvier (1769–1832) vertrat die Theorie, wonach die Tier- und Pflanzenwelt nach Ablauf einzelner geologischer Abschnitte durch Naturkatastrophen vollständig vernichtet und erst durch Neuschöpfung oder außerirdische Einwanderung wieder entstand, Kurt [Ulbricht, 1994], S. 3.

³⁰ Vgl. Heinrich W. [Ursprung, 1982].

sionierungen oder Stabilität von Bauteilen, Schiffen etc. berechnen.³¹

Im Gegensatz zur herkömmlichen qualitativen Theorie dynamischer Systeme, die vor allem die dynamischen Stabilitätseigenschaften von Modellen betrachtet, analysiert die angewandte elementare Katastrophentheorie die Änderungen der qualitativen Systemeigenschaften. Den Grundgedanken bildet dabei, daß eine Katastrophe den Umschlag von einer Qualität in eine andere Qualität repräsentiert. Eine Folge von kleinen qualitativen Veränderungen führt zu einer plötzlichen, radikalen Veränderung eines Systemzustandes. Der mathematische Begriff der Singularität (Diskontinuität) einer Funktion repräsentiert hier den „Punkt“ des Umschlags.³² Dabei spielt der Stabilitätsbegriff eine dominierende Rolle. René THOM führte hier den Begriff der *strukturellen Stabilität* (*stabilité structurelle*) ein. Ein dynamisches System wird als strukturell stabil bezeichnet, wenn bei genügend kleinen Störungen der Systemstruktur das ursprüngliche Systemverhalten qualitativ erhalten bleibt. Strukturell instabile Systeme zeichnen sich also dadurch aus, daß beliebig kleine Änderungen im Aufbau des Systems einen Zusammenbruch der qualitativen Systemeigenschaften induzieren können, somit auch neue Systemeigenschaften hervorbringen können.

Auf ein betrachtetes Formproblem bezogen, bedeutet das Umschlagen der Systemeigenschaften die Erschaffung einer neuen Form. Eine Form, die fern der Singularität allenfalls eine stetige Veränderung erfahren dürfte, ändert an solcher Stelle ihre Eigenheit total; sie nimmt eine neue Form unter Aufgabe der alten an. Es kommt zur Bifurkation in der Systemdynamik. Die Katastrophentheorie von René THOM abstrahiert dabei vom Einzelfall der morphogenetischen Gegebenheiten, wie etwa den wirkenden Kräften. René THOM erklärt die Katastrophentheorie als unabhängig vom betrachteten System:

“The essence of our theory, which is that a certain understanding of morphogenic processes is possible without having knowledge of the properties peculiar to the substrates of the forms, or of the nature of the forces at work, may seem difficult to accept, especially on the part of experimenters used to work at the coal face, and continually struggling with a reality resistant to their efforts.”

René [Thom, 1983, S. 14]

Diese Idee gründet in der klassischen Abhandlung von D’Arcy Wentworth Thomson, *On Growth and Form*, und René THOM bezieht sich ausdrücklich auf dieses Werk. Die Kräfte D’Arcy Wentworth Thomsons sind bei René THOM durch ein morphogenetisches Feld (*morphogenic field*) gegeben. Der Zustand eines zu betrachtenden Systems ist zu jeder Zeit durch n -Zustandsvariablen (x_1, x_2, \dots, x_n) gegeben, wobei n eine endliche – vielleicht sehr große Zahl ist. In einem Modell des Gehirns z.B. kann n in der Größenordnung von einer bis hundert Millionen liegen.³³ Der Zustand des Systems wird zudem durch m unabhängige Kontrollvariablen (u_1, u_2, \dots, u_m) bestimmt. Allgemein wird in der angewandten Katastrophentheorie angenommen, daß m eine relativ kleine Zahl ist, üblicherweise nicht größer als fünf. Im Rahmen der Katastrophentheorie konnte bewiesen werden, daß die Anzahl der qualitativ unterscheidbaren Konfigurationen eines Systems, in dem Diskontinuitäten auftreten, *nicht* von der Anzahl der Zustandsvariablen, sondern von der allgemein kleinen Zahl der Kontrollvariablen *abhängt*. Insbesondere konnte bewiesen werden, daß, wenn es nicht mehr als vier Kontrollvariablen gibt, sich nur sieben³⁴ Arten von

³¹Vgl. Peter Timothy [Saunders, 1986], S. 178.

³²Vgl. Kurt [Ulbricht, 1994], S. 5.

³³Peter Timothy [Saunders, 1986], S. 2.

³⁴Diese Zahl begegnete uns bereits in Abschnitt 3.2.3 als Beschränkung der Kanalkapazität.

Katastrophen unterscheiden lassen (wovon nie mehr als zwei Zustandsvariablen betroffen sind). Die Systeme zeigen dabei Bimodalität, plötzliche Sprünge und Hysterese. Die Katastrophentheorie stellt damit ein wirksames Werkzeug zur Untersuchung der Komplexität in hochdimensionalen Systemen bereit. Die Voraussetzung an das System ist, daß zu seiner Beschreibung eine *Ljapunow-Funktion* existiert: Ihre Minima bestimmen das stabile Gleichgewicht des Systems. Dabei läßt sich die Katastrophentheorie anwenden auf Systeme, die durch partielle Differentialgleichungen beschrieben oder durch ein Variationsprinzip definiert sind (etwa Minimalflächenarchitekturen, vgl. Abschnitt 6.1). Ob eine Katastrophe in einer Situation bzw. in einem Prozeß stattfindet oder nicht, entscheidet der Verlauf eines Potentials $v(x)$, das eine Singularität besitzen muß. Die Singularität kann dabei auch nur durch eine Wahrscheinlichkeitsdichte gegeben sein. Beim Überschreiten des Punktes x kommt es zur Katastrophe, und die Systemeigenschaften ändern sich radikal. Ob es zur Katastrophe kommt, ist so davon abhängig, inwieweit ein System äußere Störungen verträgt. Dies hängt davon ab, ob die der Situation zugrundeliegende Funktion strukturell stabil oder instabil ist.

Die Ergebnisse der Katastrophentheorie verleihen dem Reduktionismus eine gewisse Berechtigung. Sie zeigen, daß ein komplexes System durch wenige Kontrollvariablen gesteuert werden kann. Eric C. ZEEMAN hat ein System gekoppelter Oszillatoren als Modell des Gehirns vorgeschlagen. In diesem Fall können Veränderungen seines Zustands als Katastrophensprünge in der Amplitude und Phase nichtlinearer Oszillatoren verstanden werden.³⁵ Die Katastrophentheorie kann dazu dienen, strukturelle Instabilitäten in einem System aufzufinden. Insbesondere eignen sich solche Systeme dazu, die durch Differentialgleichungen beschrieben werden können. Durch Beobachtung eines einfachen Mechanismus können zusätzliche Informationen über ein Systemverhalten gewonnen werden. Es sind dabei im wesentlichen quantitative Ergebnisse zu gewinnen. René THOM sieht das Ziel der Katastrophentheorie in der „Reduktion in der Willkür der Beschreibung.“³⁶

³⁵Peter Timothy [Saunders, 1986], S. 136.

³⁶THOM in: Peter Timothy [Saunders, 1986], S. 181.

6.3 Symmetrie

*„Die Ordnung und die Verknüpfung der Ideen ist dieselbe
wie die Ordnung und Verknüpfung der Dinge.“
(Spinoza in [Kunzmann, 1991, S. 109])*

Unsere natürliche Umwelt ist in Naturformen strukturiert. Zum *Erkennen* dieser Strukturen bieten sich, wenn man von Naturgesetzen ausgeht, besonders an: „Symmetrien, Invarianzen, topologische und metrische Strukturen, Wechselwirkungen, Naturgesetze, Dinge, Individuen, Systeme.“³⁷ Bis zu einem gewissen Grad können Invarianzen, Wechselwirkungen und Naturgesetze zusammengeführt werden unter dem Begriff Symmetrie. Die Frage nach dem Ursprung von Symmetrien stellt sich in erster Linie der Physik. Die Physik des 20. Jahrhunderts war in hohem Maße vom Streben nach einer Ästhetik motiviert, die von den zwei Prinzipien der Renormierung und der Symmetrie geleitet wurde. Der Symmetriegedanke nährt zudem die populärwissenschaftlichen Schriften, die das „Design des Kosmos“ zum Thema haben. Nach Hermann WEYL haben in der Physik alle a-priori-Aussagen ihren Ursprung in der Symmetrie.³⁸

*„Was die Relativitätstheorie mit Symmetrie zu tun hat [...]: bevor man im
Raum geometrische Formen auf ihre Symmetrie hin studiert, muß man die
Struktur des Raumes selbst unter dem gleichen Gesichtspunkt untersuchen.“
Hermann [Weyl, 1955, S. 128]*

Nach einer allgemeinen Definition sind diejenigen Objekte symmetrisch, die bezüglich einer Operation bzw. Transformation invariant sind, d.h. die Zustände dieser Objekte vor und nach der Operation sind ununterscheidbar.³⁹ Dabei können Objekte Symmetrien aufweisen hinsichtlich der Zeit und des Raumes bzw. seiner Transformationen (z.B. Phasenraum). Nachdem sich die zugehörige übergeordnete Analyse der Symmetrie, die mathematische Gruppentheorie, zunächst eigenständig entwickelte, zeigte sich ihre Stärke mit großen Erfolgen in anderen Anwendungsgebieten. Ihre besondere Leistungsfähigkeit liegt in der Kristallographie, Quantentheorie, Elementarteilchen- und Festkörperphysik.

Die Betrachtung von Symmetrieeigenschaften beinhaltet immer auch ein Ansehen des umgebenden Raums. Kräfte etwa verteilen sich von einem Punkt ausgehend symmetrisch im Raum, z.B. nach dem Coulomb-Gesetz. Der Divisor $4\pi r^2$ ist hier schließlich eine Folge der zugrunde gelegten Geometrie.⁴⁰ Um alle Invarianzen zu ermöglichen, muß das Substrat des Raumes glatt sein. Die Dimension des Raumes, in dem die Betrachtung angestellt wird, spielt zudem ebenfalls eine herausragende Rolle. Die Superstringtheorie bzw. die M-Theorie, sucht nach Symmetrien in zehn- bzw. elfdimensionalen Räumen (Calabi-Yau-Räume). Sie bildet einen einheitlichen Rahmen, in dem Symmetrie verstanden werden kann als Gleichberechtigung aller Bezugssysteme und aller Standpunkte von Beobachtern.⁴¹ „Symmetrien zeigen, daß Ordnung und Folgerichtigkeit in den Gesetzmäßigkeiten der Natur herrschen. Die Eleganz, mit der höchst vielfältige und komplexe Phänomene aus einer geringen Zahl von universellen Gesetzen hervorgehen, ist zumindest teilweise das, was Physiker mit dem Begriff ‚schön‘ meinen.“⁴² Die Stringtheorie führt dabei auf eine andere Erklärungsebene: Symmetrie ist mithin nicht allein eine Eigenschaft des Universums, in der sich das Universum ausdrückt, sondern vielmehr konstituiert sie den Kos-

³⁷ Gerhard [Vollmer, 1994], S. 29.

³⁸ Hermann [Weyl, 1955], S. 126.

³⁹ Vgl. Henning [Genz, 1987], S. 15.

⁴⁰ Heinz [Zemanek, 1992], S. 237.

⁴¹ Vgl. Brian [Greene, 2000], S. 432.

⁴² Vgl. Brian [Greene, 2000], S. 201.

mos. Gravitation resultiert demnach aus der absoluten Gleichberechtigung aller möglichen Beobachterstandpunkte.⁴³ Die physikalischen Kräfte resultieren in dieser Sicht aus Symmetrieprinzipien.

In der Kalkulation quantenmechanischer Effekte spielt das Symmetrieprinzip eine große Rolle. Die Existenz von Antiteilchen ist dort ein Beispiel für Symmetrie. Sie wurde von dem englischen Physiker Paul A.M. DIRAC bei der Rechnung an der relativistischen Schrödingergleichung aus Symmetriegründen vorausgesagt. Teilchen und Antiteilchen haben exakt die gleiche Masse, aber vertauschte Ladungen. Die offensichtliche Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie beschäftigt seit einiger Zeit die Forscher auf der Suche nach der Ursache der Existenz des Universums. Da die Natur weder Materie noch Antimaterie in irgendeiner Art bevorzugt, muß im Laufe der Entwicklung des Universums die mengenmäßige Symmetrie zwischen beiden Materiearten gebrochen sein. Die Existenz von Strukturen im All bedeutet daher eine Symmetriebrechung. Nach dem Standardmodell der Kosmologie hat das Universum in einem Zustand zu existieren begonnen, in dem Materiedichte und Temperatur unendlich groß waren. Es hat sich also im Zustand absoluter Symmetrie befunden, in dem Sinne, daß jeder Punkt des jungen Kosmos in jeden Punkt transformiert werden konnte, ohne daß sich etwas an dem Gesamtzustand geändert hätte. Im Zuge der Ausdehnung des Universums ist die Symmetrie des Kosmos immer weiter zerfallen. Es kam demnach immer wieder zur spontanen Symmetriebrechung, was weiterverfolgt werden kann bis hin zur Entstehung des Lebens auf der Erde. Formentstehung in diesem Bild kann aufgefaßt werden als iterativer Zerfall von Symmetrie.

6.3.1 Symmetrie als Entwurfsmuster

Die Designwissenschaft kann in Symmetrien zahlreiche Entwurfsmuster feststellen. Symmetrische Formen sind invariante Formen bezüglich einer Operation. Häufig anzutreffen sind Bewegungssymmetrien. Bewegungssymmetrisch heißen Objekte, die durch mindestens eine Bewegung außer der Identität in sich überführt werden können. Als Bewegung versteht man die Transformationen eines Raumes, die den Abstand zweier beliebig herausgegriffener Punkte unverändert lassen. Neben Rotationen und Translationen gelten daher auch Spiegelungen als Bewegungen. In diesem Sinne sind Menschen genau wie über 95% aller Tiere wenigstens äußerlich symmetrisch. Vergrößerungs- oder skalensymmetrisch heißen Objekte, die ohne Änderung um einen gewissen Faktor (u.U. unendlich) vergrößert werden können. Symmetrien im Sinne ganzzahliger Proportionen sind uns aus der Natur geläufig. Das Verhältnis 1 : 2 drückt sich in der lateralen Symmetrie des menschlichen Körpers aus: ein Körper und zwei Arme, Beine, Augen usw. Abweichungen in diesen Symmetrien (etwa durch Amputationen) ziehen besondere Aufmerksamkeit auf sich. In den zahlreichen ganzzahligen Proportionalitäten unseres Körpers können mannigfaltige Resonanzen zwischen inneren und äußeren Rhythmen widergespiegelt gesehen werden (Vgl. Abschnitt 5.3.2). Symmetrische Proportionen stellen ein Schönheitsideal dar, und schöne Menschen werden – psychologisch nachgewiesen – als intelligenter beurteilt.

Bei jeder Art von Gestaltung spielen Symmetrieüberlegungen eine hervorragende, wenn nicht sogar eine entscheidende Rolle. Symmetrie kann Schönheit und Ebenmaß bedeuten, aber auch Langeweile und Monotonie (z.B. Plattenbau). Sei es in der Literatur, Architektur, Musik, im Design, in der Bildenden Kunst oder in den Naturwissenschaften, in den unterschiedlichen Disziplinen menschlichen Schaffens findet sich stets ein eigenständiges Vokabular zur Kennzeichnung von Symmetrie-Eigenschaften. So spricht man z.B. von Ar-

⁴³Brian [Greene, 2000], S. 432.

kaden, Flügeln und Spitzbögen in der Architektur, verschiedenen Versmaßen in der Lyrik oder etwa von Hemiolen und Augmentationen in der Musik. Die Interpretation von Symmetrieelementen erlaubt es grundsätzlich, interdisziplinäre stilspezifische Zusammenhänge etwa zwischen Musik und Bildender Kunst aufzudecken. Ein perfektes Ebenmaß besitzt zwar eine gewisse Kurzzeitwirkung, ruft dann aber schnell Langeweile und Starre hervor. Erst im richtigen Verbund mit ihrem Widerpart, der Asymmetrie bzw. der Symmetriebrechung, können Spiegelungen, Isotropien und Gleichförmigkeiten zur Synthese von menschengerechten Artefakten verwendet werden. Symmetrie, demgemäß analysiert und entwickelt, kann als Entwurfsmuster für konsistente Artefakte dienen. Artefakte können analysiert werden als ein System von Symmetriebezügen.

Ein konkretes Beispiel: ein Verstärker

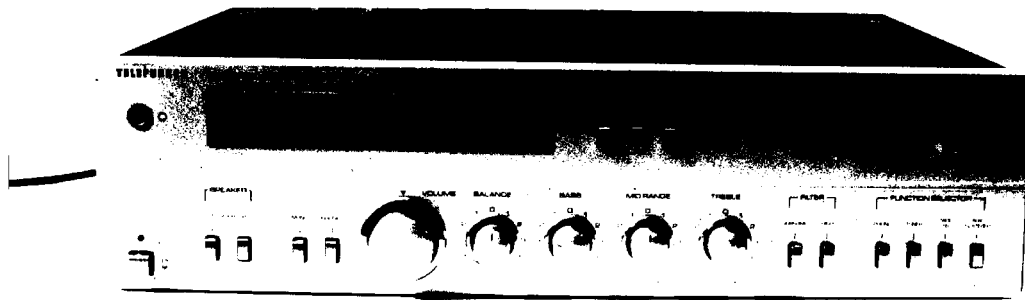


Abbildung 6.14: Hierarchische Gliederung der Schnittstelle bei einem Hifi-Verstärker (Telefunken RA 200).

Als einfaches, konkretes Beispiel für Gestaltung, Proportion und Symmetrie einer Schnittstelle zwischen Nutzer und Artefakt sei an dieser Stelle ein Hifi-Verstärker (Telefunken RA 200) beschrieben. Dieser soll hier als zweidimensionales Problem behandelt werden. Die Bedienungsschnittstelle ist nur an der rechteckigen Gehäusefront angeordnet. (Die korrespondierende Rückwand mit den Steckbuchsen für die Kabel sei hier außer acht gelassen.) Alle Bedienelemente sind so auf einer Fläche untergebracht. Die Hauptfunktion des Verstärkers ist es, wie der Name schon sagt, Signale zu verstärken. Die Signale können dabei aus fünf verschiedenen Kanälen zugeführt werden und auf zwei verschiedenen Wegen ausgegeben werden. Dabei sind jeweils nur entweder/oder-Entscheidungen möglich. Die Ausgabe selbst kann bezüglich ihrer Quantität verschiedentlich beeinflusst werden. Die Systemhierarchie bezüglich der einzelnen Bedienelemente kann hier schnell etwa über die Analyse der Benutzungshäufigkeit, der physiologischen Wirkung (z.B. WEBER-FECHNERSches Gesetz) oder der logischen Betrachtung des inneren Aufbaus (innere Schnittstelle) gewonnen werden. Die Systemhierarchie spiegelt sich wider in Größe, Anordnung und Form der Bedienelemente. Die Größe der Bedienelemente ist gemäß einer gewissen Bedeutungsperspektive gewählt: Funktionen, die eine große Wirkung besitzen, werden durch große Regler

dargestellt. Der größte Knopf ist so der Lautstärkereglern, da er der vermeintliche „Produzent“ der Lautstärke ist. Er stellt die Spitze in der Systemhierarchie der Bedienelemente dar. Unterstrichen wird diese „Gewichtung“ indem im Inneren des Verstärkers axial ein schweres ringförmiges Massestück um die Reglerachse angeordnet ist. Neben der Anmutung dient dies dazu, der Bewegung des Reglers eine gewisse Massenträgheit entgegenzusetzen. Die unterste Ebene der Hierarchie ist durch die Wahlschalter (Ein/Aus) bezüglich der Eingangs- und Ausgangskanäle gegeben: Sie stellen die Gliederungstiefe dar, bis zu der das System strukturiert werden muß. Diese Eingangs- und Ausgangsschalter sind daher gleichgroß und jeweils gruppiert nebeneinander angeordnet (vgl. *chunking*, Abschnitt 3.2.3). Dabei sind die Eingangs- und Ausgangsschaltergruppen voneinander getrennt, fast symmetrisch um den Lautstärkereglern in die Fläche eingelassen. Ebenfalls gruppiert und gleichgroß sind die vier Regler für die Balance und die Frequenzbereiche in der mittleren Hierarchieebene eingestuft. Die Bedienelemente werden in einer schon als fraktal zu bezeichnenden Proportion nach Größe differenziert. Bezüglich der Funktion lassen sich die einzelnen Elemente weiter unterscheiden: Es gibt Funktionen kontinuierlicher und diskreter Variablen; dies äußert sich in der Form der Knöpfe (formschlüssige Darstellung). Die Elemente, die Funktionen kontinuierlich beeinflussen, sind im Querschnitt rund (Lautstärke-Balance- und Frequenzbereichregelung). Die nur diskret (Ein/Aus) einstellbaren Schalter machen dies durch ihre rechteckige Form deutlich. Der Netzschalter hebt sich davon noch einmal leicht durch seinen quadratischen Querschnitt ab. Seine Stellung ist durch eine rote Leuchtdiode zudem optisch erfaßbar. Neben der Verstärkung zur akustischen Ausgabe der Signale kann der Pegel auch optisch kontrolliert werden. Dazu ist links-oben ein Leuchtdioden-Display angebracht. Das Display zeigt logarithmierte Werte an, um die Proportion empfundener Lautstärken (WEBER-FECHNERSches Gesetz) optisch widerzugeben und um auch im Bereich niedriger Lautstärke noch Unterschiede sichtbar zu machen.

Um die Systemhierarchie noch weitergehend zu beschreiben, muß auch die Beziehung der Elemente zum gesamten Objekt sowie der innere Schaltungsaufbau in ähnlicher Weise berücksichtigt werden. Wesentliche Aspekte zum Verhältnis zwischen Systemhierarchie und Proportion bei flachen Artefaktschnittstellen werden aus diesem Beispiel deutlich. Ganz ähnliche Schnittstellenprobleme finden sich bei der Gestaltung von Internetseiten oder Satzspiegeln (bei Printmedien). Beim Entwurf von HTML-Dokumenten (Anordnung und Größe von Frames, Buttons, etc.) und anderer typografischer Gestaltung (Spaltenlayouts, etc.) tauchen Fragestellungen auf, die man in ähnlicher Weise als zweidimensionales Problem auffassen kann. Konzepte, wie Bedeutungsperspektive, Gliederungstiefe, fraktales Strukturieren oder Formschluß, können bei zweidimensionalen Problemen zu einer schnellen Lösungsfindung auf konkrete Entwurfsprobleme beitragen.

6.4 Evolution

Genau wie der Symmetriegedanke verbindet auch der Evolutionsgedanke viele wissenschaftliche Systeme miteinander: „Indem der Evolutionsgedanke dazu anregt, die Entwicklung verschiedener Systeme als Teile oder Phasen einer *universellen* Evolution anzusehen und einzuordnen, trägt er zur Einheit der Wissenschaft bei [...]“⁴⁴ Der moderne evolutionäre Naturalismus beschäftigt sich mit Evolution als der Analyse des Langzeitverhaltens komplexer Vorgänge. Die Physik der dissipativen Strukturen zeigt den Weg zum Entstehen von Strukturen einer höheren Ordnung auf und versucht, diese Evolution als möglich zu beweisen. Nach der dergestalt universellen Evolutionstheorie hat die Welt nicht mit

⁴⁴Gerhard [Vollmer, 1995], S. 21.

einem extrem komplexen System begonnen, das anschließend nach und nach in immer kleinere Subsysteme zerfällt, sondern es bilden sich aus einfachen Bausteinen Systeme mit zunehmender Kompliziertheit. Die zusammengesetzten Systeme weisen dabei mitunter Eigenschaften auf, die keines der Teilsysteme je besaß. Höher organisierte Zustände evolvieren aus weniger komplexen Strukturen: „Evolution ist Chaos plus Rückkopplung.“⁴⁵ In der Fachliteratur wird dazu häufig das Beispiel des Schwingkreises angeführt: Weder Spule noch Kondensator lassen, für sich betrachtet, Rückschlüsse auf das Verhalten der Kombination von beiden zu. Das Auftreten neuer Systemeigenschaften nennt Hermann HAKEN *Emergenz*.⁴⁶

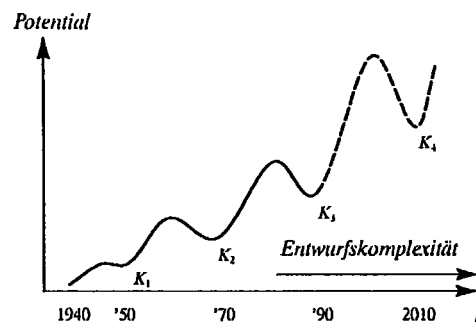


Abbildung 6.15: Beispiel zur Entwurfs-Evolution: Methodenentwicklung in der Informatik bei [Quibeldey-Cirkel, 1994, S. 147].

In der zeitlichen Betrachtung des Evolutionsprozesses lassen sich Gesetzmäßigkeiten feststellen: „Die zur Evolution einer komplexen Form aus einfachen Elementen benötigte Zeit hängt in kritischer Weise von der Anzahl und der Verteilung von möglichen stabilen Zwischenformen ab.“⁴⁷ Nach Herbert SIMON ist für jede Stufe eines hierarchischen Systems etwa der gleiche Zeitraum der Entwicklung anzusetzen.⁴⁸ Stabile Zwischenformen in der Entwicklung zu erreichen, ist sonach unabdingbares Erfordernis, um den Prozeß nicht abbrechen zu lassen.

6.4.1 Die Evolution des Designs

Entwerfen als Problemlösen weist selektive Zyklen des Suchens und Verwerfens auf. Bei den Artefakten lassen sich so scheinbar gleiche Entwicklungen fortzeichnen, die Charles DARWIN auch schon bei den biologischen Arten feststellte. Die Komplexität der Artefakte nimmt ständig zu; durch Design und Re-Design – Produktion und Reproduktion – entsteht die baumartige Verzweigung der Technikgeschichte.⁴⁹ Nach Ernesto GRASSI bekunden wir mit unseren Entwürfen immer neue Epochen der menschlichen Geschichte.⁵⁰ Aus der Gegebenheit, daß unser technologisches System infolge seiner ständig fortdauernden Evolution

⁴⁵ Joseph FORD, in: [Gleick, 1988], S. 433.

⁴⁶ Hermann [Haken, 1996].

⁴⁷ Herbert [Simon, 1990], S. 151.

⁴⁸ *Ebenda*.

⁴⁹ Die Technikgeschichte stellt dabei einen ganz wesentlichen Teil der Geschichte dar. Holger VAN DEN BOOM präzisiert: „Die eigentliche, die real greifbare Geschichte wird aber unbestreitbar von der *Technik* geschrieben; seine Technikgeschichte macht den Menschen zu genau dem, was er wesentlich ist: nämlich das Artefakt-entwerfende Wesen [...]. In unseren *Artefakten* haben wir uns eine technische Lebenswelt geschaffen, eine zweite Natur, die sich in atemlosem Wandel befindet“ Holger van den [Boom, 1987].

⁵⁰ Ernesto [Grassi, 1990], S. 128.

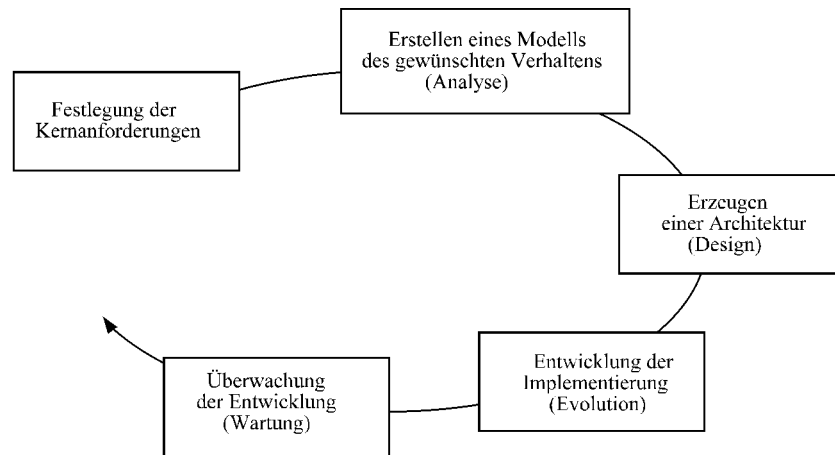


Abbildung 6.16: Produkt-Generationsprozeß nach Grady [Booch, 1994].

mit der Artefaktwelt als dessen Ausdruck so innig verwoben ist, folgt, daß das System der Gegenstände wissenschaftlich beschrieben werden kann, wenn es als Ergebnis einer ununterbrochenen Interferenz eines geordneten deterministischen Systems betrachtet wird.⁵¹ In seiner Abhandlung über das „System der Dinge“ bemerkt Jean BAUDRILLARD:

„Vermag man die unendliche Welt der Gegenstände genau so in Familien und Klassen einzuteilen wie das Pflanzen- und Tierreich mit seinen tropischen und glazialen Gattungen, mit seinen erstaunlichen Mutationen und aussterbenden Arten? In der städtischen Zivilisation sieht man, wie Generationen von Gegenständen, Apparaten und Gadgets (‘Mitbringsel’ technisch praktischer Art) einander in immer schnellerem Tempo ablösen, angesichts dessen sich der Mensch als eine besonders stabile Form bewährt.“⁵²

Entlang der technischen Zeitachse stellen wir ein Wachstumsverhalten der Entwurfskomplexität fest. Die Techneme sind sonach einem ständigen Wandel unterworfen, in dessen Folge sich Komplexes aus Einfachem entwickelt. Am Anfang der Artefakte wird gemeinhin ein einfaches Werkzeug wie der Faustkeil vermutet. Dieser Beginn läßt sich heute bei den wenigen Tierarten, die Werkzeuge benutzen, nachverfolgen. Eine weit größere Anzahl Tierarten baut sich Nester oder gräbt sich Höhlen. Die Form ihrer Behausungen scheint dabei genetisch festgelegt zu sein: Das Konstruktionsprinzip wird von ihnen auch dann verfolgt, wenn sie es nicht von ihren Eltern erlernen konnten. Im Gegensatz dazu deutet nach allgemeiner Lehrmeinung nichts darauf hin, daß die Formen des menschlichen Designs genetisch verankert sind. Nach John D. BARROW läßt sich unser ästhetisches Empfinden auf evolutionäre Prozesse zurückführen (mehr dazu in Abschnitt 8.1.3). Aus psychologischer Sicht resultiert der Wunsch nach technischen Produkten aus dem Streben nach einer Verlängerung, nach Perfektionierung und Ersatz der menschlichen Organe, d.h. nach einer vorgezogenen Evolution des Menschen. Dabei haben technische Produkte heute in sehr vielen Bereichen mit den Fähigkeiten der Menschen gleichgezogen, oft sind sie dem Menschen schon um Größenordnungen voraus. Was Maschinen heute noch nicht können, ist Entwerfen. So wie die Entwicklung der natürlichen Evolution zur natürlichen Intelligenz führte, führt die Entwicklung der Artefakte wohl zur artefaktischen Intelligenz. Auf den Entwurfsprozeß bezogen, zeigt dieses Geschehen Abbildung 6.17.⁵³ Bei der Ent-

⁵¹ Jean [Baudrillard, 1991], S.17.

⁵² Jean [Baudrillard, 1991], S. 9.

⁵³ J. H. [Armkreutz, 1976] skizziert die Evolution technischer Systeme im Kontext der Architektur.

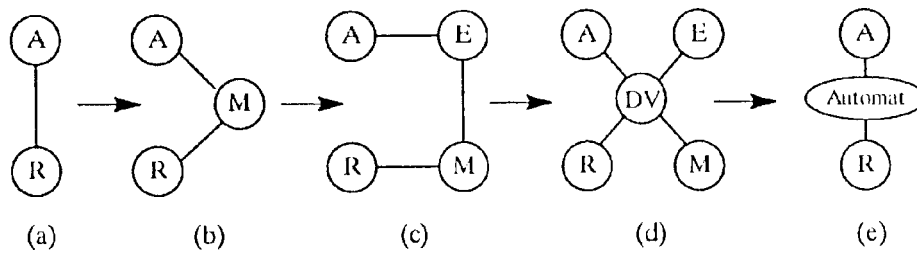


Abbildung 6.17: Die Evolution des Entwurfsprozesses nach ARMKREUTZ.

wicklung der Entwurfskomplexität sind dabei fünf Schritte festzustellen.⁵⁴ (a) Unbewußter Modellierungsprozeß, Entwurf und Herstellung sind eins. Beispiel: Bildhauerei ohne Vorlage. Später werden Artefakte nach und nach vom Mittel der reinen Lebenserhaltung zum Träger sozio-kultureller Informationen. Produkte werden durch Zeichen, wie Relief und Ornament ausgezeichnet. (b) Die steigende Komplexität macht es notwendig, den Entwurf abschnittsweise zu modellieren und zuvor einen Plan aufzustellen. Form und Konstruktion treten auseinander. Gefertigte Produkte werden durch Überformung nachträglich verziert. Eine neue Ästhetik und neue Qualitätsstandards bilden sich. (c) Der Entwurf muß an den Designer als Spezialisten abgegeben werden. Zusätzlich zur Entwurfskomplexität kommt das Problem der Kommunikation zwischen Designer und Auftraggeber. Inkongruenz von Wunsch und Wirklichkeit ist die Folge. (d) Der Entwurf muß selbst entworfen werden. Ein Designer allein kann die Komplexität nicht mehr bewältigen, so daß das Problem von einer Gruppe gelöst werden muß. Kommunikationsprobleme an den internen Schnittstellen der Gruppe erschweren einen guten Entwurf. (e) Gegenwärtig noch futuristisch: Abgabe des Entwurfs an einen Automaten.

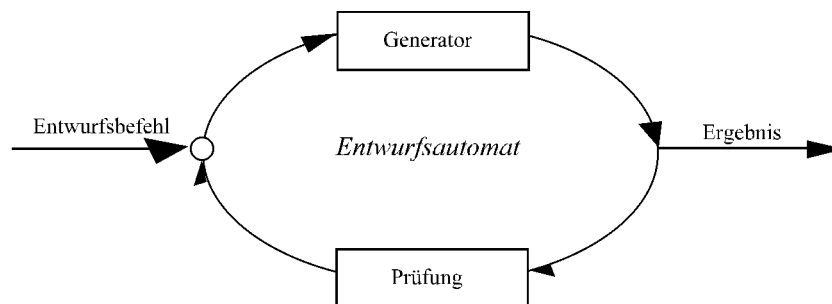


Abbildung 6.18: Schematische Darstellung eines Entwurfsautomaten.

An dieser Stelle läßt sich feststellen, daß der Entwurf wesentliche Entwicklungen der natürlichen Evolution durchläuft. Das Design komplexer Systeme ist ein inkrementeller und iterativer Prozeß. Er weist dabei die beiden Charakteristika auf, daß sich Komplexes aus Einfachem entwickelt und daß sich die erreichten Komplexitätsstufen hierarchisch gliedern lassen. Indem sich die komplexen Artefakte zunehmend aus einfacheren entwickeln, werden auch die Muster unseres Handelns geleitet, und diese müssen im Komplexitätsgrad gleichziehen. Weitere Betrachtungen zur Evolution finden sich in Abschnitt 7.1.1.

⁵⁴ *Ebenda.*

Fazit

Die Formentstehung in der Natur, der „Designprozeß“ der Natur, gehorcht bestimmten Prinzipien. Ein Prinzip in diesem Sinne ist ein Schema, nach dem etwas aufgebaut ist; der Begriff „Prinzip“ ist daher durchaus als homöomorph zu Design zu betrachten, er ist aber in den Naturwissenschaften der häufiger verwendete, wohingegen Design oder Architektur seine Rolle bei der artefaktischen Formentstehung übernimmt.

Minimalflächen fungieren in vielen Bereichen als Sinnbild des Naturformprinzips. Die Wirkungsursache ist physikalisch begründet und führt zu den Formen, die von Minimalprinzipien beschrieben werden. Die Größe von Formen ist darin nicht in voller Allgemeinheit skaleninvariant. Die zentralsymmetrische Geometrie von Kräften wirkt über das Minimalprinzip auf die Formen fort.

Ohne Instabilitäten erfahren Formen stetige Veränderungen. Mit der Koordinatenmethode von D'Arcy THOMSON können diese Veränderungen mehrdimensional untersucht werden. Die Form-Transformationen sind dabei topologisch invariant. Innerhalb einer Systemtopologie können solche Erkenntnisse auf den Entwurf komplexer Artefakte angewandt werden. Der Umschlag von einer Form-Qualität in eine andere wird von der mathematischen Katastrophentheorie reduktionistisch beschrieben. Die Prinzipien, die der Natur zugrundeliegen, verhalten sich häufig analog zu denen des Entwurfs. Kategorien, wie Symmetrie und Proportion, werden in der Natur und in der Ästhetik eher unscharf ausgedrückt. Bei der Formfindung muß dies berücksichtigt werden.

Kapitel 7

Spezielle Formausprägungen

7.1 Die Formen des Lebens

Die interessantesten Formen sind in der belebten Natur zu finden. Die Objekte der lebenden Natur unterscheiden *sich* aktiv von denen der nicht lebenden Natur: „Jedes Lebewesen spinnt seine Beziehungen wie die Fäden einer Spinne zu bestimmten Eigenschaften der Dinge und verwebt sie zu einem festen Netz, das sein Dasein trägt.“¹

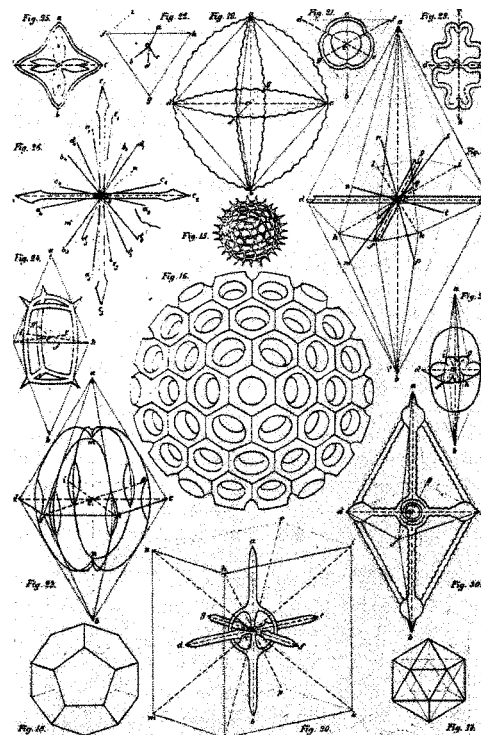


Abbildung 7.1: Ideale Grundformen, Polyaxonie und homopole Grundformen nach Ernst HAECKEL.

Bei Jakob VON UEXKUELL ist ein Organismus ein System von Funktionen, die sich gegenseitig bedingen. Kein Organismus läßt sich von seiner Umwelt abgelöst denken. Er existiert in Überschneidung mit einem äußeren System. Aufgrund seines Bauplans ist eine Pflanze oder ein Tier fähig, bestimmte Reize aus seiner Umwelt aufzunehmen. Diese Reize bilden nach VON UEXKUELL die Wirklichkeit, die für dieses Tier allein vorhanden ist.

¹Jakob von [Uexküll, 1970], S. 15.

Durch diese Schnittstelle schließt sich ein Tier gegen alle übrigen Daseinskreise ab.² Diese Schnittstelle bedingt die Form des Lebewesens; Lebewesen sind zumeist augenblicklich und intuitiv an ihrer Form erkennbar. Sie stellen einen besonderen Fall der Formentstehung dar: „Lebende Strukturen sind auf den ersten Blick äußerst kompliziert; sie sind aus vielen Teilen zusammengesetzt und deshalb in ihren Struktur-Funktionszusammenhängen schwer zu überschauen. Der Forscher kann deshalb ein Lebewesen nie in seiner Gesamtheit verstehen. Er kann allenfalls seine Gestalt erfassen und daraus indirekte Schlüsse auf Lebensweise oder Verhalten des Tieres, der Pflanze oder des Mikroorganismus ziehen.“³

Das Erschaffen der Form von Lebewesen während ihrer Entwicklung, der Morphogenese bzw. Morphogenie, steht momentan im Fokus der biologischen Forschung – Aspekte der Form können dazu dienen, ein vereinheitlichendes Licht auf die Biologie zu werfen.⁴ Die gesamte lebende Natur hat im Gegensatz zur nichtlebenden Natur in der biologischen Zelle ein einziges Urbauelement. Sie stellt die kleinste Baueinheit des Lebendigen dar, die zu selbständigem Sein fähig ist, und ist ein kleiner Pneu aus Zellmembran und Füllung, in sich ein komplexes konstruktives System.⁵ Die ersten Zellen entwickelten sich im Wasser. Die hochkomplizierten Moleküle, die die lebende Natur nutzt, bildeten wasserunlösliche Kolloide, die die Form von Bläschen (Mikrosphären) annehmen und aus denen zugleich Fäden und Fadennetze entstehen können. Für einfache Organismen ist die entscheidende formbildende Kraft daher die Oberflächenspannung, so daß diese von Minimalflächen umschlossen sind. Auch bei der Betrachtung komplizierterer Lebensformen spielen Minimalflächen eine entscheidende Rolle, so etwa bei der Abgrenzung von fasernetzgestützten Membranen als äußerer Hülle. Die *organische Form* ist gekennzeichnet durch Minimalflächen oder Minimalflächen ähnelnde Formen. Erst durch die Entwicklung von Hartschubstanzen (Außenskelett, Knochen, Wirbelsäule usw.) innerhalb des Evolutionsprozesses wurden wesentliche, neue Abweichungen von den einfachsten Minimalflächenformen, etwa der Kugelgestalt, möglich. Das System der Minimalflächenkonstruktion bleibt jedoch z.B. bei Schalentieren oder dem Knochenskelett erhalten.

Makroskopische nichtlebende Strukturen resultieren meist aus der Anwendung äußerer Kräfte auf das Ausgangsmaterial. Im Gegensatz dazu ist die Struktur von Lebewesen wohl eher als selbstbestimmt, von Innen heraus zu bezeichnen. Äußere Bedingungen können die Entfaltung eines lebenden Objekts behindern, aber nicht lenken, und sie können ihm seine Organisation nicht aufzwingen.

„Durch den autonomen und spontanen Charakter der morphogenetischen Prozesse, in denen sich ihre makroskopische Struktur aufbaut, unterscheiden sich die Lebewesen absolut von den Artefakten wie übrigens auch von den meisten natürlichen Objekten, deren makroskopische Morphologie zum großen Teil von der Einwirkung äußerer Kräfte herrührt – bis auf eine Ausnahme: Wieder sind es die Kristalle, deren charakteristische Geometrie die mikroskopischen Wechselwirkungen innerhalb des Objekts widerspiegelt.“ Jacques [Monod, 1971, S. 19]

²Vgl. Ernst [Cassirer, 1961b], S. 24.

³Friedrich [Cramer, 1988], S. 29.

⁴[Brooks + Wiley, 1988], S. 28.

⁵Dazu Frei [Otto, 1992], S. 112.

7.1.1 Zur Komplexität der Lebensformen

„Wenn wir nur herausfinden könnten, wie ein Hund funktioniert, wären wir schon ziemlich weit fortgeschritten. Hunde sind leichter zu verstehen, aber niemand weiß bis jetzt, wie Hunde funktionieren.“ Richard [Feynman, 1987, S. 57]

Für jedes Lebewesen ist eine Form, eine Gestalt, typisch. An dieser erkennen wir dieses Lebewesen und ordnen es in das Gesamtsystem unserer Umwelt ein. In der Biologie werden Formen schon seit Jahrhunderten erfaßt und in botanischen bzw. zoologischen Bestimmungsbüchern aufgezeichnet, um ein schnelles Bestimmen und Zuordnen der Arten zu ermöglichen. Die systematische Bestandsaufnahme der Vielfalt der Lebensformen und ihre wissenschaftliche Betrachtung führte zur Entwicklung der Taxonomie, die die Lebensformen aufgrund von Ähnlichkeiten und gemeinsamen Merkmalen in Taxons unterschiedlicher Kategorien klassifiziert. Aufgrund von Beobachtungen der taxonomischen Struktur der biologischen Arten konnte Charles DARWIN seine Evolutionstheorie entwickeln. Ernst HAECKEL verfolgte die Idee eines kristall-analogen Aufbaus organischer Formen und unternahm den Versuch einer umfassenden Klassifikation der Formen des Lebendigen. Seine biologische Systematik kristallografischer Einordnung nannte er *organische Stereometrie*. Er nutzte dabei ein System von Symmetriebezügen, in dem die Grundstrukturen des Lebendigen sich fortwährend in immer komplizierteren Mustern anlegen, so daß man hiermit eine Reihe von Formen erhält, die sich zunehmend auffächert.

Pflanzen und Tiere erfüllen alle Voraussetzungen, um sagen zu können, daß sie eine sehr hohe Komplexität aufweisen. Sie sind mehrzellige Organismen; die Komplexität manifestiert sich in ihren Strukturen und ihren Funktionen. Aus dem Zusammenwirken der einzelnen organischen Systeme resultieren komplexe Verhaltensweisen, wie etwa die Photosynthese bei Pflanzen oder die Ernährung bei Tieren. Die ungeheure Komplexität lebender Systeme versagt sich jeder umfassenden intuitiven Vorstellung. Das organische System mit der größten Komplexität ist wahrscheinlich das zentrale Nervensystem des Menschen.

Lebewesen sind offene Systeme

Lebende Systeme sind auf stete Energiezufuhr angewiesen; die hochentwickelten Organismen können als dissipative Strukturen fern vom thermodynamischen Gleichgewicht betrachtet werden. Thermodynamisch betrachtet sind sie Maschinen, die einen kontinuierlichen Bedarf an freier Energie besitzen, um sich selbst in einem gleichmäßigen Zustand zu belassen. Als solche Maschine produzieren die Organismen als Nebenprodukt nach dem zweiten Hauptsatz Entropie.⁶ Ludwig von BERTALANFFY beschreibt dies folgendermaßen:

„Als physikalisches System betrachtet entspricht ein lebender Organismus nicht den Systemen und Gleichgewichten, wie sie in der konventionellen Kinetik und Thermodynamik behandelt werden. Der Organismus ist kein geschlossenes System, das stets die identischen Bestandteile enthält; die elementare Tatsache des Stoffwechsels erweist ihn vielmehr als offenes System, das sich in einem ständigen Austausch von Substanzen erhält. Der Organismus ähnelt eher einer Flamme als einem Kristall. Für die Vorgänge im Organismus benötigt man daher eine Theorie, die offene Systeme und deren Eigenschaften beschreibt.“⁷

⁶[Brooks + Wiley, 1988], S. 33.

⁷Ludwig von [Bertalanffy, 1977], S. 1.

Er betrachtet organische Formen als Ausdruck eines geordneten Geschehensflusses und als Ausdruck eines geordneten Systems von Kräften innerhalb eines Fließgleichgewichts.⁸ Lebende Organismen sind dabei offene Systeme. Im Gegensatz zu geschlossenen Systemen erreichen lebende Organismen nie einen *zeitunabhängigen* Zustand, in dem alle makroskopischen Parameter ungeändert bleiben. Ilya PRIGOGYNE charakterisierte als erster die stabilen Zustände thermodynamisch, die offene Systeme einnehmen können. Er stellt fest, daß offene Systeme Zustände mit minimaler Irreversibilitätsleistung anstreben und daß bestimmte Prinzipien von geschlossenen auch auf offene Systeme *mutatis mutandis* im Zustand minimaler Entropieproduktion angewendet werden können.⁹

Biologische Evolution

In der Hierarchie der Komplexität kommt den Lebewesen infolge der *Evolution der Komplexität* (vgl. Kapitel 2.2.2) eine hohe Position zu. Ihr „Entwurf“ hat in der Natur sehr viel Zeit gebraucht. Der hohe Ordnungsgrad des Lebendigen ist informationstheoretisch ein extrem unwahrscheinlicher Zustand. Daß zwischen der Vielfalt und der Komplexität des Lebens Zusammenhänge bestehen, die sich gegenseitig bedingen, liegt nahe.¹⁰ Die Möglichkeit von Systemen oder Elementen, sich in einem betrachteten (Lebens-)Raum zu entwickeln, steht zudem in inverser Beziehung zur relativen Anzahl in diesem Raum schon vorhandener Systeme oder Elemente.

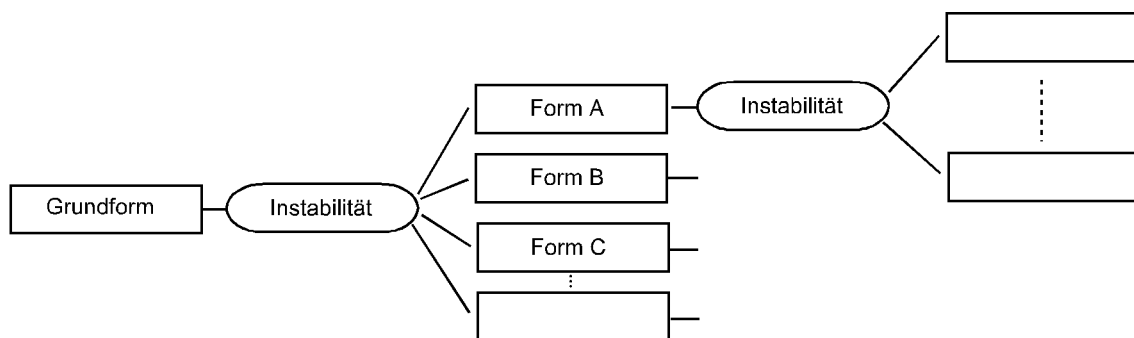


Abbildung 7.2: Formbildung durch Evolution.

Damit sich die komplexen biologischen Systeme entwickeln konnten, war es zunächst erforderlich, daß sich einfache stabile Systeme etablieren konnten. Dazu war es notwendig, daß sich die chemischen Bestandteile der Lebewesen, Nukleotide und Aminosäuren, unter den Bedingungen der Uratmosphäre bilden konnten. Diesen Prozeß kann man heute im Laboratorium nachbilden und nachvollziehen. Eine weitere Hürde auf dem Weg zur Erklärung des Ursprungsproblems des Lebens, die Bildung der ersten Makromoleküle, stellt einen weit unwahrscheinlicheren Zustand dar. Das Zustandekommen des „Moleküls des Lebens“ gilt in der wissenschaftlichen Diskussion als noch nicht restlos geklärt. Um diese replikativen Strukturen mußte schließlich ein teleonomisches System aufgebaut werden, das zur Urzelle führt. Ob es dabei eine oder mehrere Urzellen gab, gilt ebenfalls als noch nicht endgültig geklärt. Daß es in der lebenden Natur nur eine Richtung in der Chiralität der Moleküle gibt, gilt als Indiz dafür, daß es nur ein einziges Urmolekül gegeben haben

⁸Ludwig von [Bertalanffy, 1977], S. 26.

⁹Detailliert beschrieben wird dies bei Ludwig [Bertalanffy, 1977], S. 124 ff. und Ilya [Prigogine, 1992], S. 92 ff.

¹⁰Vgl. S. M. [Stanley, 1973], S. 1486-1489.

könnte. Ab dem Punkt der Existenz der Urzelle gilt die Theorie der Evolution jedoch als bestätigt. Abbildung 7.2 zeigt die Formentstehung aus dem Evolutionsprozeß schematisch. Aus einer Grundform, einem Archetypus, bilden sich infolge von Instabilitäten zahlreiche Unterformen, wovon sich nur einige als stabil gegenüber den äußeren Bedingungen erweisen. Aus diesen können sich schließlich weitere Differenzierungen herauslösen. Das Element des Zufalls spielt bei der Evolution der Lebensformen eine essentielle Rolle.¹¹ Produkte des Zufalls werden durch Selektion herausortiert. Die drei fundamentalen Prozesse der Evolution sind dabei Replikation, Mutation und Selektion, so daß aus wenigen Vorfahren durch genetische Rekombination und Übertragungsfehler im Zusammenwirken mit natürlicher Auslese ein immenser Polymorphismus an rezenten Lebensformen entstehen konnte. Dabei haben sich die Grundbauelemente des Lebens, die Zellen, auf immer neue Plätze in immer neuer Weise verteilt. Die Stammesgeschichte der lebenden Organismen ist die Geschichte der Selbstorganisation von Zellen. Wichtige Stationen auf diesem Weg können wie folgt skizziert werden:

- Erste Prokaryonten entstanden vor $2,5 \cdot 10^9$ Jahren.
- Erstes Auftreten von Eukaryonten vor $1,5 \cdot 10^9$ Jahren. Es gab mehr und mehr genetisches Material; es mußte schließlich verpackt werden.
- Erste Vielzeller bildeten sich vor $0,8 \cdot 10^9$ Jahren zunächst als einfacher Zusammenschluß von Zellen. Später wurden Aufgaben geteilt. Beispiel: Volvox.
- Erste Vertebrate lebten vor $0,4 \cdot 10^9$ Jahren. Die Entwicklung der Wirbelsäule war eine große Neuerung. Wesentlich neue Formen wurden erst durch diese Konstruktion möglich.

Im Zug der Evolution mußten sich die einzelnen Zellen organisieren, um einen höheren Komplexitätsgrad zu erreichen. Die Entwicklung führte von den Zellen zu Geweben, wozu eine Zellerkennung nötig war. Die zugehörigen sogenannten Sortierungsphänomene wurden im 19. Jh. entdeckt. So stellte man fest, daß sich Muskelzellen und Schwammzellen, die sich in der Farbe unterscheiden, bei bestimmten Lebewesen von allein trennen. Die einzelnen Zellen werden zusammengehalten mittels bestimmter Moleküle. Die moderne Biologie untersucht diese sog. Zelladhäsionsmechanismen und die zugehörigen Moleküle, die *cell-adhesion-molecules CAM's*, um das Trennen und Zusammenfinden von Zellen zu erklären. Dabei sind die *CAM's* in verschiedenen Klassen – Superfamilien – eingeteilt. Die *CAM's* leiten die Zellen in der Embryogenese, so daß sie „ihren Platz im Körper“ finden können. Damit sich definierte Strukturen, wie neuronale Netze, bilden können, müssen sich die einzelnen Bestandteile untereinander erkennen können. Die *CAM's* bilden einen Schlüssel zum Verständnis der Formbildung in der belebten Natur. So geht das Divergieren der Formen bei den Wirbeltieren mit einer Explosion der Anzahl der *CAM's* einher. Die Transformationen im Wachstumsprozeß sind als topologisch zu bezeichnen. Innerhalb des Entwicklungsprozesses weist die Anzahl der Transformationen daher eine Korrelation mit der Anzahl der *CAM's* auf.

7.1.2 Faktoren des Wachstums

Wie die Form eines so komplizierten Systems, wie ein Herz oder eine Leber, genau entsteht, ist heute noch gänzlich unbekannt. Über Formentstehung sind in der Biologie momentan nur wenige Erkenntnisse vorhanden. Es gibt nur eine Reihe von Näherungslösungen. Lebende Formen zeigen nach LUDWIG VON BERTALANFFY Wachstum, Differenzierung und

¹¹Die Bedeutung des Zufalls im Evolutionsprozeß betont besonders Tom [Stonier, 1992].

Altern.¹² Wenn ein System wächst, ändern sich die Proportionen seiner Teile zueinander. Die Form eines Systems oder eines Elements zu einem bestimmten Zeitpunkt ist das Ergebnis der Wachstumsgesetze des Systems oder des Elements bis zu diesem Zeitpunkt.¹³ Die morphogenetischen Veränderungen in wachsenden Organismen entstehen so hauptsächlich durch *relatives Wachstum*. Man versteht darunter das unterschiedliche Wachstum gewisser Teilbereiche eines Organismus zueinander. In verschiedenen Wachstumsstadien lassen sich zwischen den Teilen verschiedene Wachstumsraten feststellen. Die Raten des Wachstums unterscheiden sich mitunter in den verschiedenen Raumrichtungen. Die Änderung der Geometrie vollzieht sich dabei in der Regel stetig und topologisch äquivalent. Das Verhältnis der relativen Wachstumsraten zueinander kann man i.d.R. mit einer allometrischen Gleichung erfassen:

$$y = bx^\alpha . \quad (7.1)$$

Eine Wachstumsvariable y wird gegen eine andere x in doppeltlogarithmischem Maßstab aufgetragen. Für viele biologische Zusammenhänge findet man hierdurch lineare Abhängigkeiten, z.B. zwischen Pulsfrequenz und Körpermasse. Eine sich in doppeltlogarithmischer Darstellung ergebende Gerade hängt von den beiden Konstanten α und b ab. Das allometrische Prinzip und die hieraus erwachsenden Gesetze der Form werden bei John Tyler BONNER und Steve MC MANNON detailliert dargestellt [Bonner + McMahon, 1995]. Nach [Becker, 1973] sind weitere Faktoren, die für die Ausformung von Lebensformen verantwortlich zeichnen:

- Essentielle Gestaltungsfaktoren.
Dies sind die genetisch konstitutiv übertragenen Formbestimmungen, die auf den Bau der DNA zurückzuführen sind. Die DNA gilt als Basisprogramm, das die Information zur Form liefert. Neues entsteht durch Gen-Zerstücklung und Ausbreitung über das Genom. Der Selektionsprozeß wird anschließend durch die Umwelt geleistet. Dabei sind 90% der DNA in ihrer genauen Funktion z.Zt. noch unbekannt. Auch der genaue Begriff Gen ist noch nicht endgültig geklärt. Als Gen wird zumeist ein Stück der DNA bezeichnet. Kennzeichen der essentiellen Faktoren ist die völlige Gleichheit der Ausformung bei Ersatz durch Regeneration (etwa bei der Wundheilung; auch hier spielen die *CAM's* eine entscheidende Rolle).
- Funktionelle Faktoren.
Von der Funktion abhängige Gestaltfaktoren. Beispiel: Ein Muskel, der nicht mehr gebraucht wird, bildet sich zurück.
- Fakultative Faktoren.
Sie führen zu den Variationen der Form ohne Störung der essentiellen Gestaltungsfaktoren. Die Plastizität bezeichnet hier die Variationsbreite der Ausformung ohne Berührung der Essentiale.

Die Eigenschaften der Lebensformen führen dazu, daß sie in einer einheitlichen Formqualität erscheinen. Aus einer einzigen Zelle entwickelt sich ein Organismus, der mit allen anderen Organismen der Spezies übereinstimmt. Dieser Prozeß ist sehr stabil und gegen viele Veränderungen in der Umwelt resistent. Es gibt dabei drei herausragende Eigenschaften von Lebensformen:¹⁴

¹²Ludwig von [Bertalanffy, 1977], S. 23 ff.

¹³Vgl. mit dem Prinzip von D'ARCY THOMSON (Abschnitt 6.10).

¹⁴Jacques [Monod, 1971], S. 21.

1. Teleonomie

Lebewesen sind Objekte, die mit einem Plan ausgestattet sind, den sie gleichzeitig in ihrer Struktur darstellen und durch ihre Leistungen ausführen (zum Beispiel auch, indem sie Artefakte schaffen). Lebewesen unterscheiden sich durch die Eigenschaft der Teleonomie von allen anderen Strukturen im Universum.¹⁵

2. autonome Morphogenese

Die Beständigkeit von Formen innerhalb der Evolution ist eine herausragende Eigenschaft.¹⁶ Bei lebenden Wesen sind die Architekturen nicht permanent. Bei lebenden Wesen sind sie dynamisch und bewahren in dieser Dynamik ein hohes Maß an Stetigkeit.

3. reproduktive Invarianz.

Lebewesen sind in der Lage, ihre eigene Form *ne varietur* unverändert zu reproduzieren und zu übertragen. Diese Eigenschaft bezeichnet man als invariante Reproduktion oder einfach als *Invarianz*.¹⁷

7.2 Formen des Virtuellen

„Der Cyberspace wird die Praxis der Kommunikation wahrscheinlich – und sogar schon heute sichtbar – ebenso radikal beeinflussen, wie dies in der Zeit gewesen ist, als die Schrift erfunden wurde.“

Pierre [Lévy, 2000]

Das neue Musterbeispiel für Selbstorganisationsprozesse bildet das System der virtuellen Realitäten: das Internet. Ein guter Teil der Wirtschaftsleistung der Industrienationen, aber auch der von anderen Ländern (Beispiel Indien), so scheint es, erwächst heute dem Virtuellen. Produktion bedeutet so, Informationen zu konvertieren und zu transformieren, Botschaften zu schaffen und sie zu verschicken, das Wissen von Milliarden zu ändern und sich in Sekundenbruchteilen zu koordinieren. Die digitalen Netze ermöglichen den Menschen vollkommen neue Formen der Begegnung, Mitteilung und der Arbeit. Die wirtschaftlichen Aktivitäten und damit auch das Design bewegen sich so zusehends im Virtuellen. Das Virtuelle hierbei ist ein Begriff, der dazu geeignet ist, alles Ungenaue, Mystische oder Vorspiegelnde gekonnt zu umnebeln. In der Physik spricht man nach D'ALEMBERT vom Prinzip der virtuellen Arbeit. Die hochentwickelten Artefaktwelten werden vom Benutzer durch das Phänomen der Immersion nur noch als „virtuelle Realität“ wahrgenommen.

Das mediatisierte System der virtuellen Realitäten ist imstande, die gesamte wahrnehmbare und imaginäre Welt zu simulieren, so daß die Simulation zur Prothese der Wirklichkeit gerät. Bei Jean BAUDRILLARD bricht die „Agonie des Realen“ mit dem Zeitalter der Simulation an.¹⁸ Die Formen des Designs werden zunehmend zu einem Datenpaket verschnürt und damit immaterialisiert. Sie werden in den Hypertext eingehüllt und mit anderen Texten verknüpft, dienen als Vermittlung oder als Umgebung einer wechselseitigen, interaktiven, ununterbrochenen Kommunikation, in der alle Menschen und Maschinen mit allen verbunden sind. Sie werden jeweils ein Bruchstück des großen Ganzen. Die Informationsgesellschaft beschäftigt sich mit der Zusammenstellung unwahrscheinlicher Zeichenkombinationen und verbraucht dabei Unmengen an Energie durch Arbeit. Diese Arbeit

¹⁵ Jacques [Monod, 1971], S. 17.

¹⁶ Jacques [Monod, 1971], S. 152.

¹⁷ Jacques [Monod, 1971], S. 19.

¹⁸ Jean [Baudrillard, 1978].

der Informationsgesellschaft vollzieht sich in zwei Schritten: Im ersten wird die Form erarbeitet, im zweiten Schritt wird die Form einem Ding aufgeprägt. „In der ‚vollendeten‘ Informationsgesellschaft beschäftigen sich alle Menschen mit dem Entwurf der Form. Sie erzeugen Prototypen. Das Produzieren der Stereotypen, die sich wie unzählige eineiige Zwillinge über die Konsumenten ergießen, überlassen sie Maschinen.“¹⁹

Der Hypertext löst einen Text in ein Netzwerk von Knoten auf, welche Informationen durch statische und dynamische Medien darstellen und illustrieren. Objektorientierte Programmiersprachen wie *Java* lieferten dazu die Rahmenbedingungen.²⁰ Das Internet löst die bisherige Kommunikationspraxis auf, wie sie von der Schrift begründet wurde; so wurden hiermit die Voraussetzungen für neue Umgangsformen von Menschen geschaffen. Das Web macht es möglich, soziale Kontakte mit Menschen auf neue Weise zu pflegen. Emails bilden eine neue Zwischenform der Kommunikation, ermöglichen es, schwächere Bindungen zu erhalten, die sonst vielleicht verloren gingen. Da der Arbeitsaufwand für eine Email gering ist, kann man schriftliche Kontakte zu viel mehr Personen als bisher pflegen. Darin liegt aber auch die Gefahr, daß starke soziale Kontakte zunehmend durch schwächere ersetzt werden. Zwischen Sender und Empfänger gleichen Emails den Austauschteilchen einer schwachen sozialen Wechselwirkung. Sie ermöglichen es noch, Botschaften zu barattieren, wenn man sich weder am gleichen Ort befindet noch sich zur gleichen Zeit trifft. Hingegen: „In den mündlichen Gesellschaften wurden die linguistischen Botschaften stets zu der Zeit und an dem Ort empfangen, von denen aus sie gesendet wurden. Sender und Empfänger befanden sich in einer identischen Situation und meistens in einem ähnlichen Bedeutungsuniversum. Die Kommunizierenden nahmen ihr Bad im selben semantischen Becken, im selben Kontext, im selben lebendigen Fluß der Interaktion.“²¹

Die Formen des Virtuellen sind heute zumeist noch zweidimensional und befinden sich hintereinander geschachtelt auf der gleichen viereckigen Fläche. Da sie den Bildschirmen aufgeprägt werden, sehen sie alle gleich unterschiedlich aus; es gibt immer nur eine Vorderseite, was zu einer gewissen Surfaceästhetik führt. Diese Flächen können für den *User* jedoch beliebig herangezoomt, rotiert oder verschoben werden. Mitunter wird ihm ein Eintauchen in diese Flächen und ein Ansehen von innen und außen bei automatischer Änderung der Perspektive ermöglicht. Die Formen des Virtuellen sind oft kleine Kunstwerke, obwohl sie meist gar keinen Kunstanspruch erheben. Das Zeitalter der totalen und individualisierten Produktion von Artefakten ist somit angebrochen, so daß jeder seine eigenen Schöpfungen multiplizieren und massenhaft verteilen kann. Die Homepage dient auf diese Weise den Individuen als Bühne zur Selbstdarstellung. Auch greifen die Formen des Virtuellen über auf andere Designprodukte, wie etwa die Nachrichtensendungen im Fernsehen, die Badarmatur oder auch auf die Typografie, die uns umgibt. Eine gläserne Ästhetik mit vielen Ebenen. Die Differentiation der Formen scheint dabei auf der gleichen Hierarchiestufe stattgefunden zu haben, und den (wissenschaftlichen) Erkenntnissen folgt ihre Übersetzung in die praktikable Form technischer Produkte.

Der Cyberspace erfüllt die Bedingungen eines Raums, und Physiker prüfen Geometrie und Topologie des Cyberspace. Was zuerst als *capriccio* begann, weitet sich jetzt zu einer ernsthaften wissenschaftlichen Beschäftigung aus. Man geht von den Begriffen des Kanals und des Netzes zur Erfahrung eines weltweiten Raumes über. Die Informationsträger wären nicht mehr im Raum lokalisiert, sondern der ganze Raum würde durch eine Art topologischer Umkehrung zu einem interaktiven Kanal. Die Internetseiten bilden einen

¹⁹Martin TEUBER, *Die Urbanität der virtuellen Gesellschaft*, S. 56 f.

²⁰Klaus [Mainzer, 1999], S. 10.

²¹Pierre [Lévy, 2000].

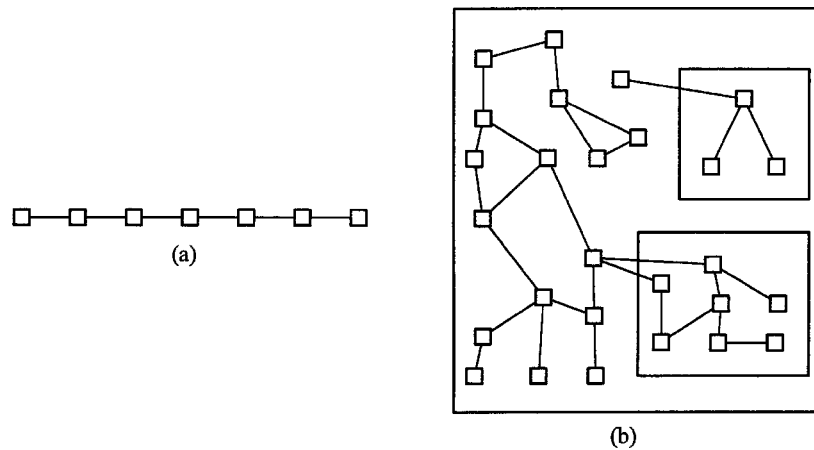


Abbildung 7.3: Textstruktur (a) in linearer Form und (b) in nichtlinearer Form bei einem Hypertext nach [Mainzer, 1999].

Raum, der zusammenhängend und offen ist. Er ist angefüllt mit einem absolut deterministischen Chaos aus Kommunikationsbeiträgen und besitzt mittlerweile eine immense Länge der Beschreibung. Dabei gibt es keine absolute Hierarchie und keinen obersten Designer, sondern das oberste Prinzip stellt die Selbstorganisation dar. Die besten und die schnellsten Dateiformate haben den Evolutionsvorteil auf ihrer Seite, können sich massenhaft vermehren, werden dabei aber auch anfällig für „Viruserkrankungen“. Auch die Weichen, die die einzelnen Links bilden, folgen fraktalen Geometrien, so daß die medialen Botschaften schließlich in den unendlich miteinander verstrickten Hypertexten zirkulieren können, und das ganze einem als neuronal zu bezeichnenden Netz gleicht. Die Webseiten sind zu ganz unterschiedlichen Bestandteilen eines Systems geworden, das durch chaotische und turbulente Prozesse gekennzeichnet ist. Die Dynamik, der in Echtzeit vernetzten Speicher, entsteht dabei aus Eruptionen, die durch eine kollektive Intelligenz hervorgerufen werden, so daß der Raum des Cyberspace ständigen Fluktuationen und begleitenden Resonanzen unterworfen ist. Als offener Raum des Zusammenhangs stellt das den Planeten überziehende Netz dabei eine Kopie des Wissens der Menschheit dar, so daß sich in den digitalen Netzwerken das Wissen von Milliarden Menschen verleblicht. Durch seine einheitliche Formqualität ist das Werk wieder zusammenhängend lesbar.²²

So haben sich die zentralen Metaphern zur Beschreibung von Formen im Zug der Entwicklung des Virtuellen gewandelt. Waren es früher eine „Gute Form“ oder die Platonischen Körper, die eine plastische Beschreibung verlangten, so verweist die Sprache heute immer mehr auf fraktale Formen: Navigatoren und Explorer dienen zur Durchdringung des Dschungels, und das Surfen deutet auf das Zurechtkommen mit Wellen, Strömungen und Strudeln auf dem unendlichen Ozean. Bei den Formen des Cyberspace ist eine semantische Schließung und eine unbewegliche Hierarchisierung nicht mehr möglich: „Der allgemeine Zusammenhang, die minimale Utopie und der primäre Motor des wachsenden Internet, entsteht als neue Form des Universellen. Aber Vorsicht! Der Prozeß des weltweiten Zusammenhangs verwirklicht wohl eine neue Form des Universellen, aber es ist nicht mehr derselbe wie bei der Schrift.“²³

²²Vgl. Peter BEXTE: „Erst die neuere Techno-Kultur hat uns den Barock wieder nahegebracht, seine Maschinen und seine Arc Combinatoria. Und vor diesem Hintergrund ist das Werk wieder zusammenhängend lesbar.“ Peter BEXTE in: William [Hogarth, 1995], S. 226.

²³Piere [Lévy], 2000].

Da die mediale Botschaft von Millionen weit verstreuter Menschen gelesen, gehört oder gesehen wird, gestaltet man sie so, daß sie auf den kleinsten gemeinsamen mentalen Nenner der Adressaten abgestimmt ist. Sie strebt bei den Empfängern ein relatives Minimum ihres Interpretationsvermögens an. Nach Marshall MCLUHAN ist zudem das Medium die Botschaft. Die Form des Wissens kann sich nicht von der Kommunikationsstruktur ablösen. Das universelle Wissen, wie es vom chaotischen Cyberspace begründet wird, entzieht sich einer semantischen Schließung. Das basisdemokratische, vielleicht anarchische Informationssystem ist durch eine offene Pluralität der Kontexte gekennzeichnet und verhindert aus seiner Struktur heraus jeden Versuch der Totalisierung. Da von den Botschaften auch Staatsgrenzen problemlos durchquert werden, leistet das Internet seinen Beitrag zur Demokratisierung der Welt. Jeder kann von jedem beliebigen Ort aus Zugang zu den verschiedenen virtuellen Organisationen und ihren Hervorbringungen haben, so daß sich eine weltumspannende Cyberkultur bilden wird, die auch eine große technische Vereinheitlichung realisiert. Das Design kommender Produkte wird an dieser allgemeinen Kompatibilität gemessen werden.

Es ist anzunehmen, daß sich die Formen unseres Wissens im Zug dieser Bewegungen wandeln werden. Die Kontur, auf der wir uns zukünftig bewegen, wird von den Wellen des selbstorganisierten Informationsmeeres gebildet. Das kollektive Wissen, der Cyberspace, bildet ein neues Universum bestehend aus Bedeutungen.

7.2.1 Künstliche Intelligenz und die Unabhängigkeit des Designs

In seinem Werk *Mentopolis* beschreibt der KI-Forscher Marvin MINSKY den Weg zur Erschaffung von künstlicher Intelligenz durch eine Kombination von spezialisierten Subsystemen, die er Agenten nennt. Er beschreibt das Entstehen kognitiver Strukturen durch Interaktion von informationstragenden Einheiten. Diese Strukturen sind in der Lage, Wissen zu akkumulieren und dieses Wissen zum Erlangen weiteren Wissens zu nutzen. Die Form dieser Wissensstrukturen und wie sie interagieren ist Gegenstand der Forschung. Die durch ihre Autonomie ausgezeichneten Objekte in der objektorientierten Programmierung kommen hierbei diesen Agenten schon recht nahe. Arbeitshypothese der KI-Forschung ist, daß eine Homomorphie zwischen Mensch und Maschine herrscht, d.h. daß eine strukturelle Ähnlichkeit zwischen elementaren kognitiven Prozessen und den Lese-, Schreib-, Lösch-, Erzeuge- Vergleichs- und Übertragungsprozessen in Rechnersystemen besteht.²⁴ Das Ziel dieser Forschung ist es, den Computer als intelligentes Gerät zu entwickeln.

Das Naturvorbild spielt hierbei eine wichtige Rolle. So ist ein Zusammenhang zwischen biologischen Gegebenheiten und entstehender Intelligenz zu vermuten. Dabei scheint es nicht hinreichend zu sein, das aussagenlogische Verhalten von Nervenzellen in neuronalen Netzen zu untersuchen. In den bisherigen vollständig deterministischen Computersystemen spielt das Moment des Zufalls keine Rolle. Es scheint daher plausibel, daß probabilistische Entscheidungsfindungen und Selektion zum Aufbau von intelligenten Systemen notwendig sind. Es drängt sich auf, daß fraktale Konstruktionsprinzipien hier eine tragende Rolle spielen. Ein hoffnungsvoller Ansatz ist dabei, intelligente Systeme in ihrer Interaktion als adaptive komplexe Systeme zu betrachten. Inwiefern Adaptivität oder Wachstum mit Intelligenz und mit Lernfähigkeit zusammenhängen, ist dabei noch weitgehend unklar. Was fehlt, ist die Komponente, die einer Maschine Bewußtsein verleiht und in einer Art Rückkopplungsschleife Kreativität hervorbringt.

²⁴G. FISCHER in: [Quibeldey-Cirkel, 1994], S. 138.

Die KI-Forschung sucht dergestalt nach der Simulation des gesunden Menschenverstands. Herbert SIMON und Allen NEWELL, die das psychologische Konzept der KI in den fünfziger Jahren entwickelten, führten dazu den Begriff „cognitive simulation“ ein. SIMON bringt das Konzept der „artificial intelligence“ auf die Formel: „Intelligence is mind implemented by any patternable kind of matter.“ Peter SCHEFE stellt fest, daß Simon damit den Ausdruck „artificial intelligence“ für tautologisch hält: „Die Wissenschaft von der Intelligenz ist eine Wissenschaft des Künstlichen, eine ‚science of the artificial‘“.²⁵

Wie in Abschnitt 6.4 geschildert worden ist, führt die Evolution der Artefakte zu immer komplexeren, intelligenten Artefakt-Systemen. Die Frage, ob artefaktisches Entwerfen als völlig losgelöst von der natürlichen Entstehung von Strukturen zu betrachten ist, führt zu der Frage, ob freier Wille an sich möglich ist. Verfügt der Designer überhaupt über die freie Entscheidung (im Sinne von George SPENCER BROWN: Triff eine Entscheidung), oder kann er nur aus einem vorbestimmten Repertoire eine von mehreren (evtl. schlechten) Möglichkeiten auswählen? Eine Lösung auf diese Frage kann im Rahmen der KI-Forschung gefunden werden. Wenn sich die projektierte Spitze in der Evolution der Artefakte, die künstliche Intelligenz, als existent erweisen sollte, bestätigte dies die These, daß ein Entwurf *jeder* Form möglich ist, d.h. die prinzipielle Unabschließbarkeit der artefaktischen Formentstehung erhält hierdurch seine Berechtigung. Besteht jedoch ein interner Zusammenhang zwischen Naturform und Artefaktform, so bedeutete dies, daß jedes Entwerfen nur ein Rezipieren und insofern Widerspiegeln von Naturformen ist (*mimesis*).

7.3 Dualität der Formen

*Komm, drücke mich recht zärtlich an dein Herz!
Doch nicht zu fest, damit das Glas nicht springe!
Das ist die Eigenschaft der Dinge:
Natürlichem genügt das Weltall kaum;
Was künstlich ist, verlangt geschloßnen Raum.*
Goethe, Faust II

*„Wenn wir von den Formen in der Natur
sprechen, so denken wir an solche, die besonders
vollkommen sind. Wenn wir von den Formen der
Technik sprechen, dann sind es nicht
irgendwelche Formen, sondern solche, die ganz
speziell als gültige Form empfunden werden.“*
Max [Bill, 1952, S. 6]



Abbildung 7.4: Dichotomie – Zweiteilung von Pflanzensprossen; der Haupttrieb teilt sich in zwei gleichstarke Nebentriebe.

Die chaotischen Prozesse, wie sie im Internet ablaufen, erscheinen uns schon als nahezu natürlich. In diesem Punkt ist die Ordnung des Kosmos eher eine Unordnung. Die erste Ahnung einer universellen objektiven Ordnung fand der Mensch im Wechsel von Tag und Nacht, im regelmäßigen Lauf der Gestirne und in der stetigen Wiederkehr der Jahreszeiten – das erste große Beispiel eines gleichförmigen Geschehens.²⁶ Der Mensch erkannte Rhythmen in der Natur, und diese schlugen sich nieder in seinen Sitten und Gebräuchen.

²⁵Peter [Scheffe, 1991], S. 2.

²⁶Nach Ernst [Cassirer, 1961], S. 1.

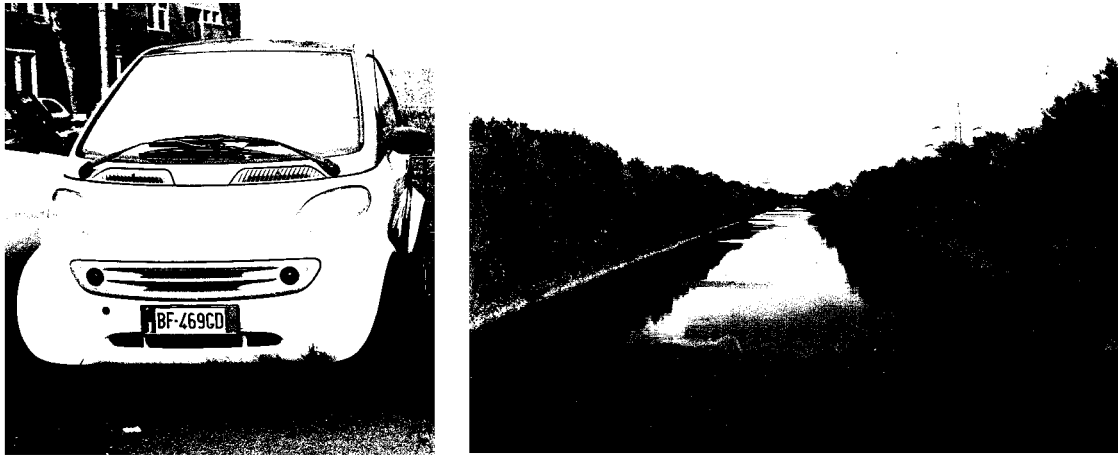


Abbildung 7.5: Artefaktformen: Auto (Smart) und Kanal.

Heute stellt sich die Frage: Ist die normative Kraft der Natur am Ende? Betrachtet man das Spektrum der uns umgebenden Formen, so stößt man auf eine Dichotomie: Naturformen und Artefakte (vgl. Abbildung 7.4 und 7.5). Naturformen werden von uns generell als gültige Formen empfunden, während dies bei Artefakten nur ausnahmsweise zutrifft. Das Natürliche und das Künstliche stehen offenbar, voneinander getrennt, auf zwei unvereinbaren Seiten unseres Denkens und, daraus folgend, unseres Handelns.

In der wissenschaftlichen Diskussion werden Artefakte dabei meist als Ergebnis des Entwurfs und somit als Produkt einer zielgerichteten Handlung angesehen: „Das Objekt verkörpert die Absicht, die schon vorher bestand und Ursache seines Daseins ist. Die Natur ist objektiv gegeben und nicht projektiv geplant. Wir stellen uns ein jegliches Objekt als künstlich oder als natürlich vor, weil wir uns auf unsere eigene bewußt geplante Tätigkeit beziehen, weil wir selber Artefakte erzeugen.“²⁷ Die Kunst und die Natur bilden in dieser Vorstellung jeweils einen in sich abgeschlossenen Bereich; sie sind die beiden elementaren Formen des Schöpferischen. Nach John D. BARROW entsprechen Wissenschaft und Kunst These und Antithese der Sicht der Welt: Objektivität versus Subjektivität. Dabei entspringen sie ein und derselben Quelle: der genauen Beobachtung der Dinge und der Faszination der Zusammenhänge der Dinge.²⁸

Die Unterscheidung zwischen Vertretern beiderlei Klassen erscheint in dieser Argumentationslinie unmittelbar und unzweideutig: Ein Fels, ein Fluß, eine Wolke sind sämtlich natürliche Formen, ein Auto, ein Kahn und ein Pflug sind künstliche Formen. Wenn man diese Aussagen nachprüft, findet man heraus, daß sie weder unmittelbare Tatsachenaussagen noch streng objektiv sind. So nimmt ein Fluß heute eher die Form eines Kanals als die eines Mäanders an, und die Form eines Autos scheint einem seltenen Lebewesen vom Mars nachempfunden.

Jacques MONOD stellt fest, daß immense Schwierigkeiten auftreten, will man einzig aufgrund der Form entscheiden, ob ein bestimmtes Objekt natürlichen oder künstlichen Ursprungs ist. Er stellt die Frage, ob es möglich ist, mit Hilfe objektiver und allgemeiner Kriterien die Merkmale von künstlichen Objekten als Produkte einer bewußt geplanten Tätigkeit zu definieren, so daß ein Gegensatz zu den natürlichen Objekten deutlich wird,

²⁷ Jacques [Monod, 1971], S. 11.

²⁸ Vgl. John D. [Barrow, 1997], S. 9.

wie sie aus dem freien Spiel der Naturkräfte hervorgehen. Er nennt zwei Kriterien zur Entscheidungsfindung:²⁹

- **Regelmäßigkeit**
Natürlich geformte Objekte weisen fast nie einfache geometrische Strukturen auf. Ebene Oberflächen, geradlinige Kanten, rechte Winkel und exakte Symmetrie sind zumindest tendenziell ein Merkmal von Artefakten. Ein Gegenbeispiel hierzu bilden allerdings die Formen der Kristalle.
- **Wiederholbarkeit**
Homologe Artefakte, die für eine gleichartige Verwendung bestimmt sind, verkörpern ein wiederkehrendes Projekt. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, viele Exemplare von Objekten zu erkennen, deren Gestalt genau festgelegt ist.

Diese beiden Kriterien gelten nur, wenn von makroskopischen und nicht von mikroskopischen Objekten die Rede ist. Strukturen im atomaren und molekularen Bereich weisen stets einfache und regelmäßige Strukturen auf.³⁰ Es ist, indem man von den äußerlichen Formen ausgeht und diese beiden Kriterien zugrundelegt, nicht zweifelsfrei möglich, zwischen natürlichen und künstlichen Formen zu unterscheiden.

Eine interessante Untersuchungsvariante wäre hierzu ein Umsetzen der geometrischen Daten von Formen in Schwingungsmuster. Das Verfahren der Fouriertransformation ist hier zu nennen. Es kann sein, daß in einer spektralen Darstellung³¹ viele Formen die gleichen Wellenlängenbereiche belegen, wenn man zuvor ein passendes Normierungsverfahren (etwa auf die Gesamtgröße der Form) fände. Das Spektrum der Formen, ihr Schwingungsmuster, weist wahrscheinlich auffällige Häufungspunkte auf.³² Hierzu könnten weitere Forschungsarbeiten interessante Ergebnisse erbringen. Natur- und Artefaktform ist ferner gemein, daß sie durch dieselbe Wirklichkeit geprägt werden; das Formprinzip schließlich ist zu suchen in jener, so Friedrich CRAMER, „Zone des Schönen“ zwischen der Unfreiheit der Natur und der Verwertungsökonomie der Arbeit. Kunst und Natur gemeinsam sei ihr antikatastrophisches, neg-entropisches Formprinzip; das unterscheide sie vom entropischen Verwertungsprinzip der industriellen Ökonomie.³³ Dieses Formprinzip ist anscheinend auch das gemeinsame Dritte des Naturschönen und des Kunstschönen: „Die lange philosophisch-ästhetische Tradition dieser Zwillingsskategorie wird durch moderne chaostheoretische Forschungen zum Formprozeß auch naturwissenschaftlich bestätigt.“³⁴ Ralf HÖLLER stellt fest: „Die begrifflichen Gegensatzpaare ‚künstlich versus natürlich‘ gehen in der Vorstellungs-Welt der Synergetik im Gegensatz von ‚deterministisch versus stochastisch‘ auf.“³⁵

Alle Formen in der Natur sind unter dem Einfluß von Kräften und Bewegung entstanden. Das Wachstum von Lebewesen, grundsätzlich chaotische Vorgänge – wie Wind und Wetter, mechanische Formänderungen – Fremd- und Eigenwirkung prägen jede uns umgebende Naturform nachhaltig. Einen Teil der Informationen über ihre Entstehung enthalten sie für uns noch visuell: Darin werden die Ergebnisse von dynamischen Prozessen für uns erkennbar. Die genaue Art des Prozesses durch die Anschauung zu erkennen, ist

²⁹ Jacques [Monod, 1971], S. 12 f.

³⁰ *Ebenda.*

³¹ Vgl. Theorie der Fouriertransformation.

³² Vgl. auch ästhetische Theorien, etwa William [Hogarth, 1995].

³³ Friedrich [Cramer, 1988], S. 45.

³⁴ So Hermann PFUEZE in: Zimmermann, Jörg (Hrsg.), *Ästhetik und Naturerfahrung*, [Pfuetze, 1997].

³⁵ Ralf [Höller, 1999], S. 100.

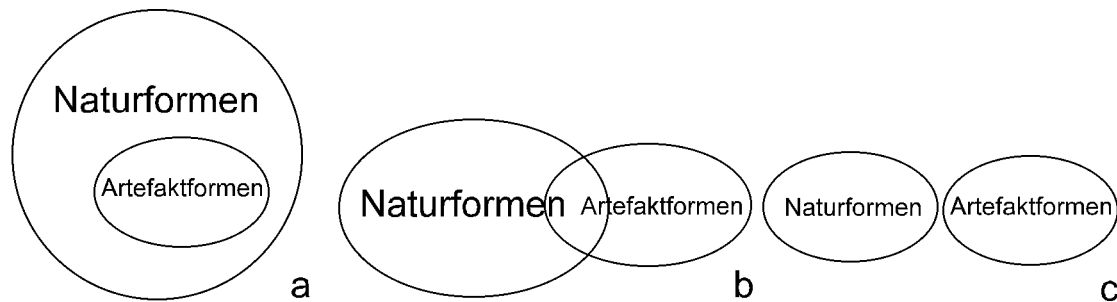


Abbildung 7.6: Naturformen und Artefaktformen schematisch als Mengen. Links: Artefaktformen sind nur ein Teil der Naturformen. Mitte: Es gibt eine Schnittmenge. Rechts: Beide Formprinzipien sind unvereinbar.

uns jedoch zumeist nicht möglich, und dies kann ihrerseits durch die Chaostheorie erklärt werden. Die Konnotationen und das Zeichenrepertoire, die natürliche Formen für den Menschen besitzen, wurzeln nach Jürgen WEBER in den visuell enthaltenen Informationen der Formen. Die Ausdruckskraft natürlicher Formen basiert auf den natürlichen dynamischen Prozessen der Formentstehung.³⁶ WEBER stellt fest, daß die schöpferische Tätigkeit des Künstlers in der Umkehrung des Wahrnehmungsprozesses liegt: „Während wir die Naturformen als Abbilder dynamischer Prozesse erkennen, erfindet der Künstler solche Vorgänge, durch die er die Gestalten der Natur oder seiner Vorstellung verwandelt. Insofern schafft der Künstler sein Werk wie die Natur.“³⁷ Den großen Unterschied zwischen Natur- und Artefaktform sieht er darin, daß Naturformen die dynamischen Prozesse, aus denen sie entstanden sind, nur undeutlich und widerspruchsvoll ausdrücken, während bei Kunstformen die Detailform und die dargestellte Gesamtbewegung aus gleichen anschaulichen Mitteln entstehen.³⁸ Die Ursache von Naturformen sieht er allgemein in der Bewegung. Bei einem Kunstwerk wird hingegen die Gesamtkomposition und jedes Detail von einem einheitlichen, in sich zusammenhängenden System verformt. Jedes Teil drückt hier das gleiche aus wie das Ganze, jedes Detail bietet eine neue Variation des Gesamtthemas. Dabei ist ein Kunstwerk von umso höherer Qualität, je besser es diese Einheit zum Ausdruck bringt. WEBER sieht in der gegenseitigen Determinierung von Gestalt, Farbe und Bewegung und ihren verschiedenen Über- und Unterordnungen das Ordnungsprinzip der Kunst.³⁹ Aus einer Form kann demnach die Bewegung abgelesen werden, die diese Form entstehen ließ und darüberhinaus erkannt werden, wie sich diese in Zukunft entwickeln wird. Je mehr eine Kunstform dies zu leisten imstande ist, desto besser wird sie ihrem Zweck gerecht.

³⁶ Vgl. Jürgen [Weber, 1984], S. 223.

³⁷ *Ebenda.*

³⁸ *Ebenda.*

³⁹ *Ebenda*, S. 224.

7.3.1 Mimesis und Bionik

Artefakte unterscheiden sich durch die (wirtschaftlich-technische) Zweckgerichtetheit von allen anderen Strukturen im Universum – dadurch werden ihrerseits Kunst und Design wissenschaftsfähig. Jean BAUDRILLARD stellt fest, daß Entwürfe bis zu einem gewissen Grade grundsätzlich Natur mit einschließen:

„Im Entwerfen oder Hervorbringen der Gegenstände macht sich der Mensch, mit Hilfe einer Form, die Kultur ist, zum Vollzieher einer Transsubstantiation der Natur. Die Abstammung der Substanzen, von Epoche zu Epoche, von Gestalt zu Gestalt, ist im Urschema des Schöpferischen vorherbestimmt: die Schöpfung ab utero, mit all der ihr eigenen dichterischen und metaphorischen Symbolik. (Auch das geistige und künstlerische Schaffen, als Eingebung, Inspiration, Genie hatte stets den gleichen Sinn.) Da nur Sinn und Wert, gemäß den Bedingungen der Form, aus der erblichen Übertragung der Substanzen hervorgehen, wird die Welt so aufgefaßt, wie sie zu sein scheint (so wird sie immer im Unbewußten und in der Kindheit erfaßt), und der Plan besteht darin, sie zu enthüllen und zu perpetuieren. Da also die Form den Gegenstand umhüllt, schließt sie immer auch ein Stück Natur mit ein, so wie im menschlichen Körper: Der Gegenstand wird somit grundsätzlich antropomorph.“ Jean [Baudrillard, 1991]

In dieser Sichtweise wird Natur technisch reproduziert.⁴⁰ Die Natur hat in der modernen Industrielandschaft vielfache Objektbedeutungen, die mit den Entwurfszielen der Menschen unaufhebbar verknüpft sind – als Material, als Rohstoff, als Energiequellen, als Grund und Boden, als Wald, als Ackerland, als Garten, Parkanlage und so weiter. Sie tritt mehr oder weniger geformt auf. Martin SEEL bemerkt: „Erst war die Natur das Vorbild, dann wurde sie zum Nachbild der Kunst.“⁴¹ Die Kunst ist teleologisch ausgerichtet und ahmt die Natur darin nach, daß etwas auf sein *télos* ausgerichtet ist.⁴² *Technae* ist die *Mimesis* der Natur. In diesem Sinne versucht *Bionik* den umgekehrten Weg in der Formfindung zu gehen. Der Begriff *Bionik* resultiert aus Biologie und Technik. Die *Bionik* erkennt ausdrücklich die konstruktive Leistung der Natur an, indem sie die Naturform für das Prinzip natürlicher Konstruktionen zu nutzen versucht. Sie analysiert die Strukturen und Prozesse bei Naturformen und gibt diese synthetisiert in Artefakten wieder aus. Aus Sicht der *Bionik* sind die Formen der Natur evolutiv optimiert sowie aufeinander abgestimmt. Sie orientiert sich daher in erster Linie an den Formen, die das Leben hervorgebracht hat. Dabei hat die *Bionik* durchaus einige Erfolge aufzuweisen, wenn es um die den Entwurf und die „Reintegration von Artefakten“ in die Natur geht. Es hat sich dabei jedoch gezeigt, daß diese Erfolge erzielt werden, wenn man nur das Prinzip der natürlichen Konstruktionen übernimmt (z.B. Leichtbau). Oft wird versucht, die gesamte Konstruktion von Naturformen (z.B. Insekten) nachzuahmen. Dies ist in der Regel zum Scheitern verurteilt, da man nicht so mikroskopisch genau wie die Natur arbeiten kann.

Mit Hilfe der Chaosforschung wird ebenfalls versucht, dem Prinzip natürlicher Konstruktionen auf die Spur zu kommen. Die Chaostheorie erklärt prinzipiell das Zustandekommen von fraktalen Gebilden und kann das Entstehen vieler Naturformen aus einfachen Grundregeln plausibel, jedoch nur im Sinne von Wahrscheinlichkeiten erklären. Als Entwurfsverfahren zur Formfindung wird mit der Chaostheorie eine große Anzahl von Entwurfsvarianten generiert. In der Regel geschieht dies über rechnergestützte Verfahren, die

⁴⁰ Vgl. Gernot [Böhme, 1992].

⁴¹ Martin [Seel, 1991], S. 11.

⁴² ARISTOTELES, *Poetik*, [Aristoteles, 1982].

sich der nichtlinearen Dynamik bedienen. Diese Verfahren sind damit zu einer theoretischen Untermauerung des Entwerfens aber nur bedingt geeignet. Wichtiger als das Erzeugen einer großen Anzahl von Varianten ist hier das Erzeugen qualifizierter Varianten.⁴³ Angesichts der zumeist sehr großen Anzahl in einer kurzen Zeit anfallender Entwurfsvarianten tritt das Problem der Bewertung auf.

Die mimetischen Entwurfsverfahren treten zumeist als Nachahmung des Naturschönen auf. Ob es das evolutive Ideal der *Bionik* ist oder die Fraktale der Chaostheorie, ein wesentlicher Antrieb für diese Entwurfsverfahren liegt in der Ästhetik natürlicher Konstruktionen.

Fazit

Mit den in der belebten Natur zu findenden Formen wurden die interessantesten Formen und ihre prinzipiellen Funktionszusammenhänge hervorgehoben. Die organische Form ist durch Minimalflächen oder Minimalflächen ähnelnde Formen gekennzeichnet. Die drei herausragenden Eigenschaften von Lebensformen Teleonomie, autonome Morphogenese und reproduktive Invarianz führen dazu, daß sie in einer vereinheitlichten Formqualität erscheinen.

Auch das globale System des Internets kann durch Selbstorganisationsprozesse beschrieben werden. Dergestaltige dynamische Formausprägungen wirken sich auf unsere Wahrnehmung sowie Beschreibung von Formen aus. Auch der Entwurfsvorgang muß in Zukunft in extremer Weise nichtlineare, chaotische Prozesse berücksichtigen. Eine Vereinheitlichung der Schnittstellen, Benutzung und Funktionen von Produkten müssen in einer neuen, absoluten Version kompatibel gestaltet werden, trägt entscheidend zu einer hohen Effizienz des Systems bei.

⁴³Ralf [Höller, 1999], S. 101.

Teil III

Ordnungsprinzipien

Das Problem der Bewertung

Kapitel 8

Ästhetik: Form und Wirkung

„Form ist alles, was wir im Raum begegnen. Form ist alles, was wir sehen können. Doch wenn wir das Wort Form hören oder den Begriff denken, dann bedeutet er doch mehr als nur ein Etwas, das zufällig besteht. Wir verbinden mit dem Begriff Form von vornherein eine Qualität. Wir unterscheiden, ob es eine häßliche Form sei oder eine schöne, wobei es uns viel selbstverständlicher erscheint, daß eine Form schön sei als häßlich.“

Max [Bill, 1952, S. 6]

Obwohl alle Kunstformen ein und derselben Qualität des Geistes entspringen, erkennen wir doch unterschiedliche Qualitäten der Formen darin. Design wird in Deutschland so im allgemeinen an Kunsthochschulen unterrichtet. Die Gründe hierfür liegen auf der Hand: Die Planung der Form hat nicht nur das praktisch Notwendige zu befriedigen, sondern auch die Sinne der Nutzer anzusprechen. Die häßliche Form, die sich schlechter verkauft, wird von der schönen im Wettbewerb verdrängt, jedoch kann das hierauf abzielende, bloße Kosmetisieren des Nützlichen nicht alleinige Aufgabe des Designs sein.¹

Ästhetizität bzw. Schönheit ist demnach heute eine der wichtigeren Entwurfsdimensionen. Sie wird zwar oft als Zusatznutzen abgetan, aber nach Max BILL ist Schönheit ebenbürtig der Funktion und gleichermaßen eine Funktion.² Ein Gutteil der Design Diskussion kreist seit jeher um diese Interdependenz: „Wie Nützlichkeit und Schönheit sich zueinander verhalten, darüber hatte wohl schon Sokrates nachgedacht. In einem von Xenophon überlieferten Gespräch hat er behauptet, das Nützliche sei nur in Bezug auf seine Gebrauchstüchtigkeit schön. Es sei deshalb ein seinem Gebrauch angemessen geformter Mistkorb schön, ein verzierter oder vergoldeter Schild dagegen häßlich.“³ Mattias GÖTZ präzisiert: „Daß Schönheit aus der Erfüllung funktionaler Bedingungen folge, macht die postulierte Identität zu einer gerichteten, insofern zwar Funktionalität Ästhetisches, keinesfalls dieses aber jenes zu bewirken imstande sei.“ Es stellen sich Fragen wie: Was ist das Spezifische der ästhetischen Form? Was trägt zu einer ästhetischen Form bei?

Schönheit geht seit jeher Hand in Hand mit dem Vollkommenen, teilweise sogar dem Göttlichen. Das Schöne ist somit stets ein Hinweis auf das Vollkommene, den Göttern

¹Holger VAN DEN BOOM formuliert folgenden Diagnoseversuch: „Was einem Objekt Attraktivität verleiht, indem der Blick auf es fällt, die Produkterotik, nennen wir Design: Wie der Freier den gemalten Lidschatten seiner Buhlerin als bewußt reizende Maßnahme will (und letztendlich auch bezahlt), verlangt der Käufer heute nach Produktkosmetik; er fordert Aufmachung. Design wird als die Anstrengung sichtbar, dem Objekt ästhetische Glätte wie schönen Glanz zu geben; Design nimmt das Rauhe und Rohe weg, das sonst dem Industrieprodukt anhaftete. Öffne dagegen die Motorhaube deines Autos, und du siehst die Abwesenheit von Design.“ [Boom, 1984], S. 4.

²Max [Bill, 1952], S. 6.

³Hans [Eckstein, 1985], S. 7.

gefällige und damit auch auf das sittlich Gute.⁴ Der Verweis von der Funktionalität auf das sittlich Gute ist nur ein Aspekt einer ästhetischen – äußeren und inneren – Form. Im folgenden ist nach dem Zusammenhang von Form und Ästhetik zu fragen.

8.1 Ästhetik als Entwurfsdimension

„Die Ästhetik als Theorie der freien Künste, als untere Erkenntnislehre, als Kunst des schönen Denkens und als Kunst des der Vernunft analogen Denkens ist die Wissenschaft der sinnlichen Erkenntnis“. A. G. [Baumgarten, 1983, S. 2]

Nach Alexander Gottlieb BAUMGARTEN ist Ästhetik die Wissenschaft der sinnlichen Erkenntnis (*cognitio sensitiva*). Im Schönen lassen sich zumindest Teile der Welt erkennen, da sich die Welt auch und gerade im Schönen dem Menschen entbirgt. Bei Edmund HUSSERL stellt die ästhetische Erfahrung den Prototyp einer phänomenologischen Reduktion dar.⁵ Das Ästhetische als Begriff zur Bezeichnung der sinnlichen Erkenntnis, so wie er von BAUMGARTEN eingeführt wurde, wird nach den verschiedensten Richtungen hin – und dabei zumeist aporetisch – entwickelt. Klassisch wird er in Richtung der „Schönheit“ verengt, doch: „Schönheit“ ist das ehrwürdigste Hauptwort der Ästhetik. Genau deshalb kommt es in vielen kunstwissenschaftlichen Abhandlungen kaum oder nur in Nebenrollen vor, denn man geht heute dem Schönheitsbegriff gern aus dem Weg.⁶ Ein Umgang mit Ästhetik fällt traditionell schwer. „Schön“ ist auch, wie „wahr“ und „gut“, ein Grenzbegriff.⁷ Der Grenzverlauf ist dabei nicht klar gezogen. Im Deutschen wird das Schöne von anderen Ausdrücken, wie dem Erhabenen, unterschieden. Im Französischen und Englischen gibt es Begriffe, die den zwiespältigen Charakter des Schönen auszudrücken vermögen: *ravir* bedeutet rauben und entzücken; *to ravish* entreißen, hinreißen, entzücken, vergewaltigen. Das Englische *ravishment* meint Entzücken und Vergewaltigung zugleich.

Das Schöne scheint mit einer ähnlich hohen Komplexität belegt zu sein wie der artefaktische Entwurf allgemein. Zur Beschreibung von etwas Schönerem benutzen wir oft Metaphern des Lichts; in der Schönheit liegt zudem auch Vertrautheit. Schönheit fließt mehr oder weniger intendiert in den Entwurf ein, oft ohne direkt als Entwurfsziel angesprochen zu sein. Ein Designer, der absichtsvoll „Schönheit“ in seinen Entwurf hineinlegen möchte, wird indirekt zum Forscher der eigenen und fremden Träume und Wünsche. Als Differenzierung wird interessanterweise auch der Begriff des *Designschönen* verwendet, und damit wird die Ästhetik des Designs von anderen Ausprägungen von Schönheit unterschieden, so daß sich diese damit als dritte Kategorie neben die des Kunst- und Naturschönen zu stellen scheint. Das Schöne im Design tritt uns auf diese Weise als das Designschöne entgegen. Doch wie kann eine Abbildung *Design* → *Ästhetizität* beschaffen sein? Immanuel KANT zufolge ist ein *ästhetisches Urteil* nach seinen Kategorien allgemeingültig, weil es anderen zumutet, ihm zu folgen, und notwendig, weil es einen Gemeinsinn aller Menschen in Anspruch nimmt. In ihm kommt ein interesseloses Wohlgefallen zum Ausdruck, das sich der Relation nach auf die Form der Zweckmäßigkeit bezieht. Schönheit ist die Form der Zweckmäßigkeit eines Gegenstandes, sofern sie, ohne Vorstellung eines Zwecks, an ihm wahrgenommen wird. Bei KANT ist das Schöne der Gegenstand, der nicht mehr heterogen ist. Er ist gekennzeichnet durch vollkommene Einheit, Mannigfaltigkeit und

⁴Ernesto [Grassi, 1990], S. 188.

⁵Bernhard WALDENFELS in seiner Analyse zu E. Husserl, Brief an Hofmannsthal, *Briefwechsel*, Bd. VII, S. 132–134; in: [Husserl, 1993], S. 235.

⁶Umberto ECO, in Georg [Nees, 1995], S. 24.

⁷Georg [Nees, 1995], *ebenda*.

Fülle. Das Vorbild dafür bilde die Natur, da die Natur ideal mit unserer Einbildungskraft übereinstimme. Ist Ästhetik sonach auf die Bezogenheit des Menschen auf das Seiende zurückzuführen?⁸ Für HEGEL bedeutet das Schöne das „sinnliche Scheinen der Idee“⁹, so daß Artefakte Erscheinungen einer in sie hineingesteckten Idee werden. Für SCHELLING hingegen bedeutet es „das Unendliche endlich dargestellt“¹⁰. Bei Alexander Gottlieb Baumgarten liegt das Ästhetische in der Übereinstimmung der Ordnung der Dinge mit einer gedachten Ordnung:

„Die allgemeine Schönheit der sinnlichen Erkenntnis ist, da es keine Vollkommenheit ohne Ordnung gibt, die Übereinstimmung der Ordnung, in der wir die schön gedachten Sachen überdenken, mit sich selbst und mit den Sachen, soweit sie in Erscheinung tritt, d. h. die Schönheit der Ordnung und der Disposition.“

A. G. [Baumgarten, 1983, § 19, S. 13]

In der Darstellung BAUMGARTENS läßt sich das erkennen, was man heute mit dem genannten Begriff *Selbstreferenz* benennen würde. Selbstreferente Abbildungen spielten seit jeher eine große Rolle bei ästhetischen Urteilen (Goldener Schnitt etc.) und dienten der Einordnung von geschaffenen Dingen in ein System, das eine Messung ihrer Ästhetizität erlauben sollte.

8.1.1 Ästhetik und Metrik

Die bisherigen Versuche, die Schönheit der Dinge bzw. ihre Ästhetizität zu messen, erreichten noch keine sehr große Genauigkeit. Die „Meßergebnisse“ können bislang nur als Näherungen betrachtet werden und liegen einer Objektivierbarkeit relativ fern. Einer der ersten auf der Suche nach der Meßbarkeit des Schönen mit physikalischen Mitteln war Gustav Theodor FECHNER. Der Psychologe untersuchte u.a. die ästhetischen Eigenschaften von Rechtecken, indem er Versuchspersonen Rechtecke unterschiedlicher Proportion zur Beurteilung vorlegte. Er erkannte Gesetzmäßigkeiten in der Fügung von Gestalten und Flächen. Das Ergebnis der Untersuchung zeigte, daß den Versuchspersonen das Rechteck mit den goldenen Proportionen am ehesten zusagte.¹¹ Als bedeutendsten Teil dieser Forschungen kann man das nach W. WEBER und G. Th. FECHNER benannte Gesetz betrachten, wonach die Wahrnehmungsintensität proportional dem Logarithmus der Reizintensität sei (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die den im Goldenen Schnitt geteilten Rechtecken innewohnende Eigenschaft der Selbstähnlichkeit ist tief in den Entstehungsgesetzen natürlicher Formen verwurzelt. Für den Physiker Ernst Peter FISCHER führt die Selbstähnlichkeit hier zu Schönheit.¹² Er stellt fest, daß gleichförmige Wiederholungen von Eindrücken in Raum und Zeit zu einer ästhetischen Wirkung führen.

Es scheinen weitere morphogenetische Eigenschaften natürlicher Formen einen Einfluß auf die Ästhetizität zu nehmen; so wird der Vorgang der Wahrnehmung erleichtert, wenn das avisierte Objekt in einer Weise symmetrisch ist. Die zu verarbeitende Datenmenge kann damit komprimiert werden: „Der menschliche Wahrnehmungsapparat ist offenbar

⁸Vgl. Wolfgang [Lörcher, 1972], S. 2.

⁹G.W.F. HEGEL, *Vorlesungen über Ästhetik*, Bd. I (12), S. 160.

¹⁰F.W.J. SCHELLING, *System des transzendentalen Idealismus*, S. 289.

¹¹Wie bei jeder Messung stellt sich hier die Frage, ob bei der Messung systematische Fehler gemacht wurden, innerhalb welcher Fehlergrenzen das Ergebnis betrachtet werden muß und welchen Aussagewert das Ergebnis damit hat.

¹²Ernst Peter [Fischer, 1997], S. 97.

so angelegt, daß Symmetrisches leicht seine Aufmerksamkeit erregt, und auf diese Weise auch attraktiver und damit letzten Endes auch schöner wirkt.¹³ In den Mittelpunkt unserer Aufmerksamkeit rückte so immer das, was sich bei Veränderungen nicht ändert. Natürliche Formen sind niemals vollständig symmetrisch; vielmehr finden wir hier, wie bei der Mehrzahl der Designprodukte, stets Fast-Symmetrien. Eine vollständige Symmetrie wirkt – zumindest auf Dauer – eher langweilig. Daher wirft der artefaktische Entwurf die Notwendigkeit auf, die Symmetrie wieder zu brechen und kleinere Störer in die Produkte einzubetten. Je höher das Maß an Symmetrie ist, desto größer ist auch der Bedarf an deren Brechung. Es kommt offenbar auf das richtige Verhältnis Symmetrie/Nichtsymmetrie an. Die bisherigen Theorien, die versuchten, die Ästhetizität meßbar zu machen, haben diesen Faktor nicht hinreichend berücksichtigt, sondern gingen von Idealen aus, die sich aus perfekter Symmetrie, wie z.B. den Platonischen Körpern, ableiteten.

Eine solche Methode, mit deren Hilfe die Komplexität einer Eigenschaft von Artefaktformen ihre Ästhetizität kalkulierbar werden läßt, soll nun vorgestellt werden. Diese Methode setzt objektive Maßeinheiten der Komplexität für Systeme auf der dritten Ebene nach FLOOD voraus.¹⁴

8.1.2 Ästhetische Messung nach Birkhoff

Ein Größe zu messen, heißt, sie direkt oder indirekt mit einer Maßeinheit zu vergleichen. Dazu bedarf es einer vorherigen Definition der zu messenden Größe durch eine ihrer (physikalischen) Wirkungen. So wird etwa die Lufttemperatur durch die mittlere kinetische Energie der Luftmoleküle *definiert*. Der Aufbau der Physik läßt eine anderes Meßverfahren als diese „operationelle“ Definition nicht zu. Ein tieferes Durchdenken der Frage nach der Definiertheit einer Größe führt schließlich zu sehr weitreichenden Ergebnissen, etwa zur Relativitäts- und Quantentheorie. Eingedenk des Wissens, daß Messen (physikalisch betrachtet) nur einen relativen Vergleich darstellt, kann der Prozeß des Messens auch auf andere als physikalische Zustände angewendet werden. So etwa auf den Bereich der Formen, aufgefaßt als Informations-Zustände und damit auf ästhetische Probleme.

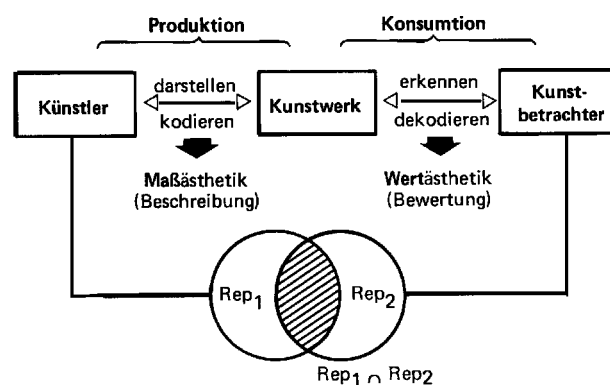


Abbildung 8.1: Ästhetische Kommunikation nach BENSE.

Max BENSE nennt jene Informations-Zustände *ästhetische Zustände*, findet seinen zentralen Begriff in diesem ästhetischen Zustand. Darunter versteht er den Zustand mehr oder

¹³ Ernst Peter [Fischer, 1997], S. 98.

¹⁴ Der Abschnitt 8.1.2 wurde weitgehend [Küster, 1999] entnommen.

weniger künstlerischer Provenienz, den ein System (Gegenstand, Ereignis etc.) einnimmt. Er versteht unter der Ästhetik eine „abstrakte ästhetik, die ihre anwendbarkeit auf jeden beliebigen bereich spezieller ästhetischer objekte impliziert [...]. sie ist keine philosophische ästhetik, da sie nicht in ein philosophisches system eingebettet ist, sondern eine wissenschaftliche ästhetik, indem sie die form der theorie anstrebt.“¹⁵ Nach Max BENSE kann der reale ästhetische Zustand eines Objekts nicht nur beobachtet und beschrieben, sondern auch eingeordnet und gemessen werden. Er unterscheidet hierbei zwischen dem ästhetischen Zustand und seinem Träger. Die Form trägt bei ihm die ästhetische Information. Deren Träger ist die materiale Gegebenheit, durch die der ästhetische Zustand verwirklicht wird (etwa ein Gegenstand oder ein Ereignis).¹⁶ In diesem Sinne *trägt* der Stoff nur die (hier ästhetische) Form, so daß sich hier Parallelen zum aristotelischen Hylemorphismus ziehen lassen.

Mit Hilfe der Informationsästhetik läßt sich somit – zumindest im Prinzip – eine Eigenschaft wie Schönheit als Quotient zweier Zahlengrößen ermitteln. Sollten sich ihre Folgerungen für ästhetische Beurteilungen als relevant erweisen, so könnte man damit Artefakte bezüglich einer bestimmten Qualität miteinander vergleichen. Metriken zur objektivierbaren Beschreibung der Ästhetizität von Formen entstanden zuerst im Rahmen der „analytischen Ästhetik“ des amerikanischen Mathematikers George David BIRKHOFF. In seiner Theorie sucht BIRKHOFF formal erfassbare Ordnungselemente von Artefakten quantitativ als „Invarianten der Form“ zu beschreiben. Seine Arbeiten führen auf ästhetische Maße für verschiedene Klassen ästhetischer Objekte. Für gewisse, z.T. recht eingeschränkte Klassen von menschlichen Erzeugnissen kann diese Theorie recht gut bestätigt werden. So zum Beispiel für einfache Graphiken, gesprochene Lyrik oder bestimmte musikalische Kompositionen. Zur Lösung des Problems der ästhetischen Wahrnehmung – die auffindbaren ästhetischen Parameter so festzulegen, daß man ihnen sinnvolle Zahlenwerte zuordnen kann, die numerische Vergleiche zulassen – verfolgt er einen methodisch sehr interessanten Lösungsweg. Der Begriff der Komplexität C taucht hier im Nenner auf:

$$M = \frac{O}{C}, \quad (8.1)$$

wobei M das ästhetische Maß eines Objekts und O seine zugehörige Ordnung genannt wird. Die Komplexität C wird in dieser Theorie weiter additiv aufgeschlüsselt:

$$C = \sum_i a_i C_i, \quad (8.2)$$

genau wie die die Ordnung repräsentierende Größe O weiterhin dargestellt wird:

$$O = \sum_j b_j O_j. \quad (8.3)$$

Hierbei sind die a_i bzw. b_j die einzelnen Elemente, die weiter aufgeschlüsselt werden, indem sie je nach Bedeutung unterschiedlich gewichtet werden. Der BIRKHOFFSche Ansatz nach Gl. 8.1 zeichnet sich durch die folgenden drei Schritte aus:

1. Zur Erfassung eines ästhetischen Objekts bedarf es einer Anstrengung der Sinnestätigkeit des Rezipienten. Die Anstrengung ist für unterschiedliche Objekte verschieden groß. Nach BIRKHOFF ist sie proportional zur Komplexität C des Objekts. Für die verschiedenen Klassen von Kunstwerken gibt er konkrete Vorschriften zur Messung der Größe C an: die Anzahl der Silben oder Phoneme eines Gedichts, die Anzahl der Töne einer musikalischen Komposition oder etwa die Anzahl der Geraden, auf der die Seiten eines Polygons liegen.

¹⁵Max BENSE, *Ästhetika*, S. 345 ff. Das Zitat ist im Original ebenfalls kleingeschrieben.

¹⁶Max Bense, *Ästhetika*, S. 346.

2. Der Rezipient eines Kunstwerks stellt fest (bewußt oder unbewußt), daß in dem betrachteten Objekt eine Ordnung liegt. Diese Hypothese bildet das Fundament für die ästhetische Erfahrung, d.h. das Gefallen am Kunstwerk. Dessen Ursache liegt demgemäß im Auftreten von Ordnungselementen, wie z.B. Endreim, Alliteration und Assonanz bei Gedichten. Nach BIRKHOFF macht die Entdeckung dieser Ordnungselemente die Wahrnehmung eines Kunstwerks erst lohnend, und die Ordnungselemente lassen sich durch ein entsprechendes Ordnungsmaß O empirisch messen.
3. In einem „Gefühl des Gefallens“ drückt sich nach BIRKHOFF das ästhetische Gefallen des Rezipienten aus. Dieses Gefühl wird durch das ästhetische Maß M gemessen und kompensiert i.d.R. die primäre Anstrengung, die zur Wahrnehmung des Objekts nötig war.

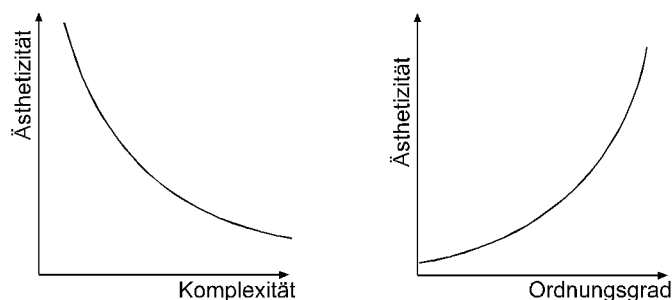


Abbildung 8.2: Ästhetizität in Abhängigkeit von Komplexität und Ordnung in schematischer Darstellung.

Interessant an dieser Theorie ist, daß sich die Ästhetizität von Artefakten nach BIRKHOFF mit steigendem Ordnungsgrad erhöht und mit steigender Komplexität fällt (vgl. Abbildung 8.2). Komplexität wirkt sich daher nach BIRKHOFF kontraproduktiv aus. Es scheint ein mehr oder weniger festes Verhältnis zwischen Komplexität und Integrität zu bestehen. Rolf [Garnich, 1976] führte damit Designprobleme (in diesem speziellen Fall den Entwurf von Kaffeekannen) über in Aufgabenstellungen im Sinne der mathematischen linearen Optimierung, vgl. Abschnitt 1.1.5. Die ästhetisch-mathematische Theorie George David Birhoffs, die in einigen weiteren Untersuchungen¹⁷ bestätigt werden konnte, wurde weiterentwickelt, bis man auf einige Parallelen zur Thermodynamik bzw. Informationstheorie verweisen konnte. Max BENSE erkennt im Gegensatz von ordnungsbildenden und ordnungsverbrauchenden Prozessen den Kontrast zwischen ästhetischen und physikalischen Weltprozessen¹⁸, was Rolf GARNICH folgendermaßen beschreibt:

„Die Prozesstendenz zwischen Funktion und Darstellungsform ist also bei physikalischen und ästhetischen Prozessen gerade umgekehrt; und dies scheint auch zweifellos der wesentliche Unterschied zwischen physikalischen und ästhetischen Weltbeschreibungen schlechthin zu bedeuten.“

Rolf [Garnich, 1968, S. 180]

Die Informationsästhetik beruft sich hier auf die Gleichheit der Prozesse mit umgekehrtem Vorzeichen. Es ist in diesem Zusammenhang festzustellen, daß bereits einige Versuche

¹⁷An der Hochschule für Gestaltung in Ulm wurden dazu gegen Ende der sechziger Jahre einige Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse heute jedoch mitunter ästhetisch verstiegen erscheinen. Dazu: Rolf GARNICH: *Konstruktion, Design und Ästhetik: Allgemeine mathematische Methode zur objektiven Beschreibung ästhetischer Zustände im analytischen Prozeß und zur generativen Gestaltung im synthetischen Prozeß von Design-Objekten*, Univ., Diss., Stuttgart: 1968, oder vgl. auch: GUNZENHÄUSER, Rul: *Die ästhetische Theorie G. D. Birkhoffs*, [Gunzenhäuser, 1962].

¹⁸Max [Bense, 1965], S. 153.

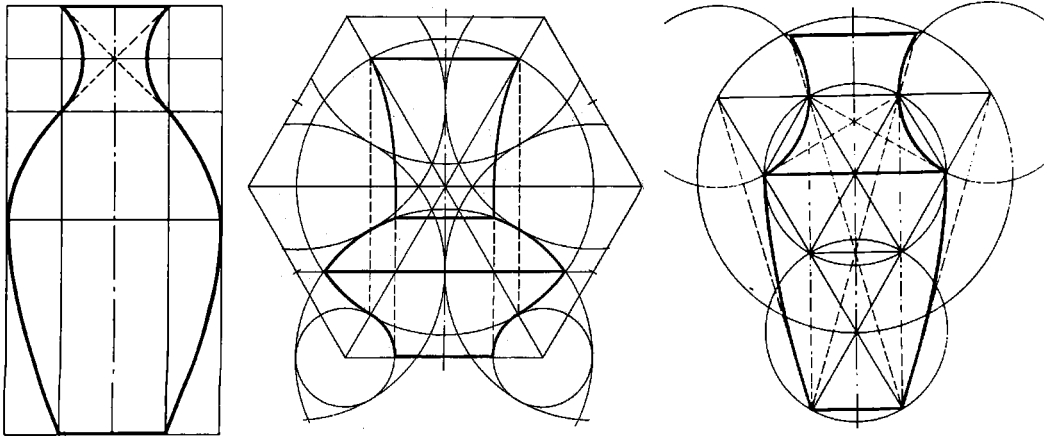


Abbildung 8.3: Konstruktion nach G. D. BIRKHOFF (links) und R. GARNICH.

unternommen wurden, reduktionistische Elemente in der Ästhetik mit aus der Thermodynamik stammenden Methoden zu etablieren. Das Maß M bildete damit aber nur eine Möglichkeit, Kunstwerke relativ zueinander zu vergleichen. Zudem ist seine Gültigkeit durch folgende drei wesentliche Einschränkungen begrenzt:

- Seine Anwendung beschränkt sich auf sehr nahe beieinander liegende ästhetische Klassen. Der Vergleich einer Vase mit einer Melodie wäre unzulässig. (Hingegen wären Vergleiche zwischen Äpfeln und Birnen zulässig.)
- Ästhetische Vergleiche, wobei M den bestimmenden Wert darstellt, werden sicher nur eine Bedeutung erlangen, wenn sie sich auf eine normale bzw. durchschnittliche Klientel von Betrachtern beziehen. Sie repräsentieren daher nur den idealisierten „normalen“ Betrachter.
- Eine quantitative Anwendung des Quotienten ist nur sinnvoll, wenn die Ordnungselemente in ihrer Hauptsache formal (Birkhoff) bleiben.

Zum Anwendungsbereich der Theorie schreibt Rolf GARNICH: „Moderne mechanische und elektromechanische Objekte – auch für den Hausgebrauch – scheidet von vornherein wegen der viel zu hohen Komplexität ihrer Elemente aus.“¹⁹ Hinzu kommt noch eine ganze Reihe weiterer Ausnahmeregelungen. Bei alledem ist zu bemerken, daß diese Berechnung der ästhetischen Wirkung genauso wenig frei von willkürlich gewählten Parametern ist, als das bei der herkömmlichen Messung der Fall ist. So ist die Zusammenstellung und Gewichtung der Ordnungs- und Komplexitätsparameter nach wie vor „Geschmackssache“. Auch kann man physikalische Experimente hier nur im Prinzip durchführen, und es gelten dabei die gleichen Einschränkungen, wie sie bei anderen Messungen zu machen sind. So könnte man immer wieder den gleichen Versuch durchführen, wie z.B. den Impuls eines Elektrons messen und dessen Wahrscheinlichkeitsfeld ausloten. Jede Messung bleibt dabei aber einmalig, und man kann eine Messung nie wiederholen. Jeder Versuch hinterläßt in diesem Fall seine Spuren, das menschliche Gehirn ändert seinen Zustand irreversibel. Aus diesem Grund wird man wohl nie in der Lage sein, das Wahrscheinlichkeitsfeld eines so komplexen Systems wie des Gehirns zu vermessen, und damit auch nicht das, was das Gehirn schön findet. Wenn man allerdings die von Max BENSE postulierte ästhetische Unbestimmtheitsrelation²⁰ berücksichtigt, kann man durch die Informationsästhetik

¹⁹Rolf [Garnich, 1969], S. 42.

²⁰Max BENSE, *Ästhetika*, S. 52 f.

zu ungefähren Einschätzungen der Ästhetizität von Artefakten gelangen. Mit Hilfe neuer Informations-Verarbeitungsgeräte könnte man die BIRKHOFFSche Theorie sicher auch auf viel komplexere Klassen anwenden, als das bisher der Fall war. Auf dreidimensionale Objekte bezogen, kann hier das Einlesen der Daten mittels eines 3-D-Scanners erfolgen. Zur Auswertung könnten die Daten einer Fourier-Transformation unterzogen werden.²¹ Versuche hierzu durchzuführen, erscheint lohnenswert.

Die bisherigen Messungen erfaßten bislang nur den rein geometrischen Aspekt bei Raumformen. Der in der Natur so wichtige Aspekt der fraktalen Geometrien bei Ordnungsmechanismen und den darin liegenden phänomenologischen Auswirkungen bleibt außen vor. Zudem bleibt die für die Bewertung ästhetischer Zusammenhänge so wichtige Stellung einer Produktform im System des kulturellen und sozialen Umfelds ausgespart. Michael HEGEMANN führt hierzu das Beispiel des von Bertoni gestalteten Citroen DS 19 aus dem Jahr 1955. Er wurde zunächst als „ehrliche Maschine“ bezeichnet und wegen seiner technischen Eigenschaften gelobt, aber als häßlich angesehen. Als Designklassiker wird der DS heute wegen seiner Ästhetik bewundert, aber wegen seiner Reparaturanfälligkeit nur von absoluten Liebhabern gefahren. Nach Michael HEGEMANN kann man den Schluß ziehen, daß die Schönheit der Zweckform genauso, wie die Schönheit der Technik, ihren Erfolg aus evtl. unbewußt angewandten Gesetzmäßigkeiten der Natur und ihren Formvorgaben zieht. Dabei seien polare Gegensätze festzustellen, aber eine gegenseitige Beeinflussung könne nicht geleugnet werden.²²

Die ästhetischen Maßstäbe des Einzelnen unterscheiden sich mitunter stark von denen eines Massenpublikums. Während die Kunst heute in ihrer Wirkung eher mit einem individualisierten Publikum arbeitet, richtet sich industrielles Design immer an eine große Menschenmenge in einem gewissen Querschnitt. Design orientiert sich daher an ästhetischen Mittelwerten; wenn es ästhetische Konfrontation sucht, sucht es sie auch an diesen Mittelwerten ausgerichtet. Wahrscheinlich ist es dieses Mitteln, was die Ästhetik überhaupt in die Reichweite einer Meßbarkeit schiebt. Es sind daher befriedigende Meßwerte überhaupt nur zu erwarten, wenn sie an einem repräsentativen Publikum gemessen werden. Eine Messung macht nur an einer Stelle Sinn, wo sich auf gemeinsame Werte bezogen werden kann.

8.1.3 Evolutionäre Aspekte der Ästhetik

Den Dingen eine Eigenschaft wie Ästhetizität zuzuordnen, scheint in der Natur des Menschen zu liegen: „Der natürliche Zustand, in dem sich die untern Erkenntnisvermögen ohne jede methodische Ausbildung durch bloße Ausübung entwickeln, läßt sich als natürliche Ästhetik bezeichnen.“²³ Es stellen sich die Fragen, woher die Eigenschaft der natürlichen Ästhetik stammt, inwiefern unser Sinn für Schönheit in den Naturgesetzen des Kosmos wurzelt und inwieweit Menschen mit ihren ästhetischen Empfindungen dadurch geprägt werden, daß sie gemeinsam im Universum leben. Die Zuordnung von Qualitäten oder Werten auf Zustände des So-Seins ist sicherlich eine der herausragenden Erfindungen der Natur. Man muß sich daher die Frage stellen, weshalb die Natur eine solche Eigenschaft in uns angelegt hat. John D. BARROW findet die einzig plausible Lösung auf diese Frage darin, daß diese unserem Überleben dienlich ist. Er stellt dar, daß es seit den sechziger Jahren modern gewesen ist, in den interessanten menschlichen Eigenschaften etwas zu sehen, das

²¹Eine nähere Beschreibung des Verfahrens findet sich in [Küster, 1999].

²²Michael [Hegemann, 1992]; vgl. auch W. [Braun-Feldweg, 1968], S. 79.

²³Alexander Gottlieb [Baumgarten, 1983].

durch den zwischenmenschlichen Kontakt in der sozialen Umwelt erworben wurde, und daß erst in jüngerer Zeit, im Zuge der Genforschung, dieses Paradigma gekippt wurde. Der Einfluß der Umwelt wurde demnach zunehmend zugunsten der Erbanlagen beurteilt. Zu welchen genauen Anteilen Menschen in ihren Eigenschaften von diesen beiden Quellen bestimmt werden, ist die Fachwelt noch uneins. Die Ästhetik betrachten John D. BARROW und LEROI-GOURHAN als einen Teil der menschlichen Evolution. LEROI-GOURHAN behauptet, daß sich die Ästhetik als Teil der menschlichen Entwicklung widerspiegelt in der Sprache und den Werkzeugen des Menschen.²⁴ Die sprachliche Aktivität sei in diesem Zusammenhang nicht von der motorischen Aktivität des Menschen zu trennen.²⁵ Aus evolutionärer Sicht gipfelt die Evolution bislang im menschlichen Geist, dessen Entwurf 15 Mrd. Jahre gedauert hat. „Es nimmt daher nicht Wunder, daß die Anpassung an uralte Umweltprobleme ihre Spuren auch im menschlichen Geist hinterlassen hat. Viele unserer Fähigkeiten und Schwächen sind das Zwischenergebnis der Evolution und nicht die Auswirkung einer „allumfassenden Intelligenz für alle Lebenslagen“²⁶. Die Komplexität des menschlichen Körpers und Geistes ist bei BARROW das Ergebnis der Anpassung an das Wesen der Welt.²⁷ Ein Beispiel für evolutiv entstandene Momente des Ästhetischen ist die Bedeutung von Farben als das Ergebnis der menschlichen Anpassung an das elektromagnetische Spektrum des Sonnenlichts.

Aus evolutionärer Sicht sind ästhetische Produkte Ausdruck einer Ordnungssuche in einer komplexen Umwelt. Man kann die Ästhetik als ein Moment der menschlichen Informationsverarbeitung beschreiben, wie sie ein komplexes adaptives System darstellt. Kennzeichen von Regelmäßigkeiten dienen dazu, daß ein System Informationen über seine Umwelt zu einem Schema verdichten kann. Ziel eines solchen Systems ist es, einen Überlebensvorteil gegenüber anderen gleichgelagerten Systemen zu erlangen. Die Ästhetik umfaßt so die Verdichtung der Wahrnehmungen, die Kodierung der Gefühle und ist an dieser Stelle mit der Anthropologie verwoben. Der folgende Abschnitt behandelt diese Thematik im Kontext des Systems des Marktes.

8.2 Warenästhetik und Leiblichkeit der Warenform

„Längst haben amerikanische Geschäftsleute entdeckt, daß Qualität und Nützlichkeit ihrer Waren, verglichen mit ihrer geschickten Präsentation, geradezu nebensächlich und die von Adam Smith und von Karl Marx verdammtten Prinzipien des Kapitalismus zur Hälfte hinfällig sind. Selbst die Japaner, die angeblich die besseren Autos bauen als die Amerikaner, wissen, daß Ökonomie weniger eine Wissenschaft als eine darstellende Kunst ist – der jährliche Werbeetat von Toyota bestätigt es.“ Neil [Postman, 1985, S. 13]

Grundlage der Kaufentscheidungen ist oft genug weniger der Zweck und die Funktion eines industriell produzierten Produkts, sondern sein Stellenwert im sozio-kulturellen Wertgefüge der Konsumgesellschaft. Die sozial-ästhetische Erwünschtheit beeinflusst das Urteil über die Waren nachhaltig. Dies wird schließlich in Absatzzahlen meßbar. Durch die scheinbare Überwindung der natürlich gegebenen Knappheit scheinen die Waren heute mehr als nur die Grundbedürfnisse der Käuferschicht befriedigen zu wollen. Ein gesellschaftliches Phänomen ist, daß vielmehr die Gestaltungsbedürfnisse der Menschen befriedigt werden müssen.

²⁴[Leroi-Gourhan, 1980].

²⁵Dazu Michael [Hegemann, 1992], S. 9.

²⁶John D. [Barrow, 1997], S. 14.

²⁷John D. [Barrow, 1997], S. 14.



Abbildung 8.4: Homogene Güter erscheinen in heterogenen Verpackungen. Zugleich ist dies ein Beispiel für die Evolution der Warenform.

In seiner „Kritik der Warenästhetik“ betrachtet Wolfgang Fritz HAUG hierzu den Designprozeß aus gesellschaftspolitischer und konsumkritischer Sicht.²⁸ Design wird darin in erster Linie als ein Manipulationsmittel angesehen und dient der sozialen Distinktion der Käufer, so daß Gestaltung auch in dieser Richtung mit Unterscheidung verbunden zu sein scheint. Michael HEGEMANN schreibt, daß HAUG damit entscheidende Beiträge zu einer Ideologisierung der Ästhetik leistete.²⁹

Nach HAUG wird die Schönheit den Waren nur zur Tauschwertrealisierung aufgesetzt. Er nimmt dabei für sich in Anspruch, den Begriff der Warenästhetik geprägt zu haben. Ihr Ästhetisches wird den Produkten als schöner Schein angeheftet, in der Absicht, das unaufgeklärte Bewußtsein des Käuferpublikums auszunutzen. Das Ziel ist dabei, einen möglichst hohen Tauschwert bei minimiertem Gebrauchswert zu erreichen:

„Es ist ja das Ideal der Warenästhetik: das gerade noch durchgehende Minimum an Gebrauchswert zu liefern, verbunden, umhüllt und inszeniert mit einem Maximum an reizendem Schein, der per Einfühlung ins Wünschen und Sehnen der Menschen möglichst zwingend sein soll.“ W.F. [Haug, 1971, S. 66]

Durch den Schein der Waren wird dem potentiellen Konsumenten ein „ästhetisches Gebrauchswertversprechen“ gegeben, das die Produzenten als Marketinginstrument einsetzen. Bei der Produktion der Waren wird so zweierlei produziert: ihr Gebrauchswert und die Erscheinung ihres Gebrauchswertes, so daß diesem Schein eine immense Bedeutung zukommt: „Schein wird für den Vollzug des Kaufakts so wichtig – und faktisch wichtiger – als Sein. Die Form des Produkts, der Warenkörper, seine Gebrauchsgestalt treibt es so in immer neue Veränderungen, um so den Forderungen der Produzenten nach Umsatzmaximierung gerecht zu werden.“³⁰ Motivation für die Formgestaltung ist nach HAUG die Sehnsucht der Produzenten nach dem Geld. Für ihn dient Industriedesign in erster Linie der ästhetischen Bearbeitung des „Warenleibs“, und Kommunikationsdesign gestaltet die vom Warenleib abgelöste Warenästhetik, bis sie den Käufer zum Tauschakt „zwingt“.

²⁸Das Buch von Wolfgang Fritz Haug stammt aus der Zeit der Studentenrevolte; es ist in der ersten Auflage 1971 erschienen und verfolgt die Ansätze von Adorno und Lucács.

²⁹Michael [Hegemann, 1992], S. 72.

³⁰Vgl. ebenda, S. 16.

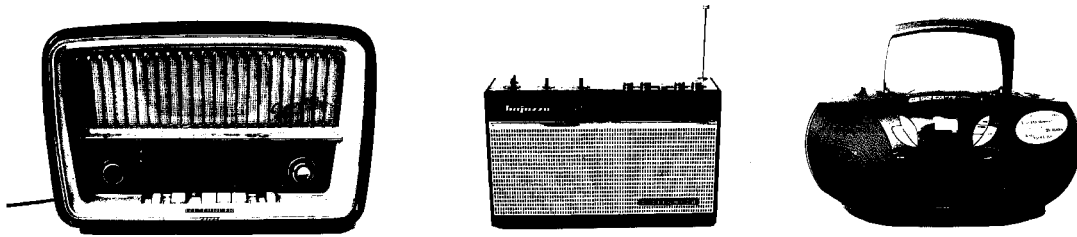


Abbildung 8.5: Evolution der Warenform in drei beispielhaften Stationen des Radios.

Die Sinnlichkeit der Form der Dinge wird im Zusammenwirken beider Designrichtungen immer neu modelliert, um so die Scheu der Menschen zu unterwandern und um sowohl deren Trieb- als auch Kaufkraft zu entfesseln. Formgestaltung bedeutet bei HAUG die *Modellierung der Sinnlichkeit* der Waren. Zur Tauschwertrealisierung wird nach HAUG die Warenform den Sehnsüchten des Käuferpublikums angepaßt in der Weise, daß die *Leiblichkeit* der Warenform die entscheidende Rolle spielt:

„So entlehnen die Waren ihre ästhetische Sprache beim Liebeswerben der Menschen. Dann kehrt das Verhältnis sich um, und die Menschen entlehnen ihren ästhetischen Ausdruck bei den Waren. Das heißt, hier findet eine erste Rückkopplung statt von der aus Verwertungsmotiven aufreizenden Gebrauchsgestalt der Waren auf die Sinnlichkeit der Menschen.“ W. F. [Haug, 1971, S. 20]

Für den Designer, der sich in Diensten des Kapitals befindet, bedeutet dies nach HAUG, daß er die emotionalen Defizite der Konsumenten zu erkennen und seine Erkenntnisse in die Formensprache zu übersetzen hat. Hat sich eine bestimmte Warenform – evtl. durch Zufall, d.h. Instabilität – als erfolgreich herausgestellt, so nimmt die Evolution der Formen ihren Lauf als Markentransfer: „Von der einzelnen Ware greifen die Erscheinungscharaktere der erfolgreichen Markenartikel über auf andere Waren. Aus der erfolgreichen Form des Radios und des Rasierapparats werden der Toaströster und der Fön.“³¹ Gelegentlich findet man die Bezeichnung *Produktdarwinismus* für dieses Phänomen, da die Ähnlichkeit der Abläufe mit denen der biologischen Evolution frappant ist: Formen werden massenweise in die Welt geworfen; während viele nur ein oder zwei Generationen überleben, schaffen es einige, sich zu behaupten, zu modifizieren und schließlich sich zu reproduzieren. „Die Krawatten erscheinen – nicht anders als die Röcke, Hemden, Hosen, Schuhe, Möbel usw. usw. – als Teil der *natura naturans* der Warenwelt. Die ästhetisch differenzierten Warengenerationen lösen einander naturartig ab, wie ein Wetter das andere.“³²

Eine besonders gute Überlebenschance in der Marktwirtschaft haben nach HAUG letztlich diejenigen Formen, die es geschafft haben, einen Markenartikel darzustellen. Diese Formen haben die Chance, sich vom Warenleib abzulösen und sich, via Werbung, in alle Winde zu verbreiten. HAUG spricht hier vom *ästhetischen Monopol* der Markenartikel: „Jede Ware intendiert so, aus evolutionärer Eigensinnigkeit, ein ästhetisches Monopol zu setzen.“³³

³¹ *Ebenda*, S. 34.

³² *Ebenda*.

³³ Vgl. *ebenda*, S. 50.

Durch Mutation der erfolgreichen Formen bilden sich Produktfamilien. Die Taktfrequenz der Produktgenerationen hat sich dabei seit der Zeit, in der HAUG seine Schrift verfaßte, deutlich erhöht. So werden die Produktzyklen immer kürzer, und die im Gebrauch befindlichen Waren werden immer schneller künstlich veraltet. Die Verkürzung der Lebenszeit der Generationen wurde unter dem Namen „künstliche Obsoleszenz“ diskutiert.³⁴ Während sich kleinere Merkmale rasch ändern, bleiben grundlegende Merkmale der Formen der Produkte dabei über einen z.T. langen Zeitraum erhalten. Sie werden immer weiter vererbt und leben so über die Generationen in Zuge eines fortlaufenden (Re-)Designs weiter. Bei bestimmten Ausprägungen von Markenartikeln ist dabei sogar unsicher, ob die Existenz ihrer Art jemals ein Ende finden wird, so etwa zur Ikone gewordene Ausprägungen, wie: Mercedesstern, Niveadose, Coca-Cola etc.

Ausgezeichnet durch eine besonders erfolgreiche und ständig modifizierte Form werden die Produkte in unserem heutigen Käufermarkt (zu HAUGs Zeiten war der bundesrepublikanische Markt wohl noch eher als Verkäufermarkt zu bezeichnen) an den Mann oder die Frau gebracht. Sie sollen, richtig gestaltet, zu „Automaten des Verkaufs“³⁵ werden. (Den sog. Warenhunger betrachtet HAUG als neurotisch.) Wie in Abschnitt 1.2.6 genannt, liegt in der Form ein Dialog; Form und Sprache der Formen sind tragende Elemente im Beziehungsnetz zwischen den einzelnen Individuen. Das Ideal der Formensprache der Gegenstände weist bei HAUG zwei grundsätzlich unterschiedliche Ausprägungen auf, je nachdem auf welcher Seite man sich befindet: Für den Konsumenten wird sie zur Dichtung und zu einer unbewußten Unterhaltung, und für den Produzenten wird sie zum Befehl, der die Gegenstände im Extremfall wie schon gekauft aussehen läßt. Als „Pegasus im Joch“ sucht der Industrie-Designer an dieser Schnittstelle nach einer Verständigung mittels der Formensprache.

Warenästhetik und sinnliche Form

Aus der warenästhetischen Sicht HAUGs versucht Design vermittels Formen, Herrschaft über Menschen zu erlangen. Die Herrschaft erscheint nicht unmittelbar, sondern in der Faszination ästhetischer Gebilde; die Formen des Designs nehmen Bezug auf die sinnlichen Bedürfnisse der Menschen. Durch diese Bezugnahme spiegeln sich die Realität, die Natur und der Mensch und dessen Phantasien in diesen Formen. Sinnlichkeit als Entwurfsdisziplin läßt der Phantasie ihren Raum, und diese Freiheit ist gewissermaßen Form. Aufgabe einer sinnlichen Form ist es, in irgendeiner Weise Begehren auszulösen oder Respekt einzuflößen. Die Bezugnahme der Form bedeutet, daß sie sich etwas entlehnt, sich an etwas anlehnt. Die Form als *Quidproquo* ist zu erklären als Rezeption von naturgegebenen Formen:

„Die Waren antworten darauf, indem sie von allen Seiten sexuelle Bilder spiegeln. Hier ist es nicht das Sexualobjekt, das Warenform annimmt, sondern tendenziell die Gesamtheit der Gebrauchsdinge mit Warenform nimmt in irgendeiner Weise Sexualform an, das sexuelle Bedürfnis und sein Befriedigungsangebot werden entspezifiziert.“³⁶

Heute muß das postmoderne Design mitunter das Unmögliche schaffen, einer satten, vom *information-overflow* bedrohten Käuferschaft einen letzten Rest Aufmerksamkeit abringen. Wolfgang Fritz HAUG nennt diese Form des Buhlens um Käufer den Ersatz von Ge-

³⁴So W. F. HAUG, S. 48.

³⁵W. F. HAUG, S. 83.

³⁶W.F. HAUG, S. 68.

brauchswertkonkurrenz durch Eindrucks konkurrenz.³⁷ Da dies in der Praxis oft nicht mehr möglich ist, begnügt man sich zunehmend mit der Simulation von Gestaltung. Design-Klassiker werden re-designed und einem Marken-Lifting unterzogen. Der VW-Käfer z.B. heißt jetzt New-Beetle und erscheint als neue alte Form auf einer Fahrwerks-Plattform des Golfs. In der Automobilindustrie sind zahlreiche weitere Beispiele rund um das „Plattform-Paradigma“ zu finden. Beim *covering* hingegen werden musikalische Kompositionen durch eine mächtige Musikindustrie immer wieder neu bearbeitet, so daß der alte Inhalt in immer neuen Verpackungen erscheint. Norbert Bolz nennt dies in Anlehnung an Schopenhauer: die Welt als Chaos und Simulation.³⁸

An dieser Stelle soll ein thesenartiger Abriß einer Ästhetik der Warenform stehen, da dies einen wesentlichen Aspekt bei der Formgestaltung darstellt:

- Die Form der Produkte unterliegt einem ständigen ökonomischen *Zwang der ästhetischen Innovation*, immer unter den Randbedingungen: (a) Die Form nicht zu verlieren. Eine Form, die durch Re-Design ihre Form verliert, verliert ihre Identität (ihr Gesicht – ihr Interface), und (b) trotzdem als neue Form auftreten zu müssen; sich als neue Form der alten gegenüber Geltung verschaffen zu können und damit einen Unterschied zu evozieren, der als Unterschied wahrnehmbar wird. Das System, die Menge der Dinge, muß dazu um ein Element erweitert werden.
- Die Waren nehmen als Zeichen „Sexualform“ an, um die Sinne des Konsumenten zu erregen. Es kommt damit zu einer Art *Leiblichkeit* der Formen.
- Die Warenformen konkurrieren miteinander. Sie unterliegen den Gesetzen des Produktdarwinismus. Die Rückkopplung erfolgt als Kontrolle über Umsatzzahlen.
- Erfolgreiche Formen können mutieren und/oder sich vom Warenleib ablösen. So bilden sich Produktfamilien bis hin zu CI's. Die konkurrenzfähigste Form ist die eines Markenartikels: Sie bildet ein ästhetisches Monopol.
- Durch künstliche Obsoleszenz wird die Evolution der Produkte solange angefacht, bis sie mit sich selbst negativ interferiert.
- Aus Sicht der Warenästhetik ist jedes Formereignis bereits im voraus konzipiert. Das gesellschaftliche System arbeitet wie ein gigantischer Medienkonzern, der die Welt quasi in einen (Werbe-)Film verwandelt.
- In einer gesättigten, posthistorischen Gesellschaft läuft das Verlangen der Menschheit (der Käuferschaft) leer. Wir sind von der Verfügbarkeit aller Formen als Zeichen besessen.³⁹ Formgestaltung endet in der Simulation des Naturprozesses, so daß Form wieder Natur wird.

In der Retrospektive wird erkennbar, daß in den Sichtweisen HAUGs zur Warenästhetik die planerische Wirksamkeit des Designs überbewertet wurde. Design wird jedoch auch heute noch häufig als Manipulationsmittel betrachtet. Der Akzent bei der Diskussion hat sich dabei verschoben, in die Richtung Design mehr als wirksames kulturbildendes Moment zu sehen. Design wird differenzierter eingeschätzt und als Ausdruck gesellschaftlicher Entwicklungsprozesse ernster genommen. Ihrer gesellschaftlichen Verantwortung sind sich die meisten professionell arbeitenden Designer im Grunde bewußt. Soziale Sensibilität

³⁷ W. F. [Haug, 1971], S. 41.

³⁸ Buchtitel von Norbert [Bolz, 1992].

³⁹ Vgl. Jean BAUDRILLARD, *Transästhetik*, in: Peter [Weibel, 1989], S. 113–132.

und gesellschaftliche Verantwortung ist als zu internalisierender Bestandteil des Selbstverständnisses des Designs jedoch weiterhin ausbaufähig.

Fazit

Als Musterbeispiel einer phänomenologischen Reduktion wurde in diesem Kapitel die Ästhetik betrachtet. Ihre Ästhetik ist entscheidend für Akzeptanz und Verständnis komplexer Produkte. Sie läßt sich als Abbildung von Weltzuständen auffassen. Die klassische Ästhetik verlangt, daß der Begriff der Schönheit in konsequenten lückenlosen Denkschritten zu einem vollständigen System von Beziehungen entfaltet wird, weil sich nur so beweisen lasse, daß das aufgestellte Prinzip der Ästhetik nicht nur für jede einzelne Kunstgattung gilt, sondern auch in der Lage ist, alle wirklichen Ausdrücke von Schönheit von nicht ästhetischen Produktionen abzugrenzen und so ein einheitliches System der künstlerischen Produktion zu bilden. Ein grundlegendes Verständnis des Ästhetischen ist hierbei aus dem Verhältnis zwischen Komplexität und Ordnung zu eruieren. Zwischen individualisierter und summierter ästhetischer Wirkung sind jedoch große Abweichungen festzustellen, wobei Design sich eher an die Maßstäbe einer gewissen Masse richtet. Eine zentrale Frage ist, ob die Ästhetik als Wissenschaft von der sinnlichen Erkenntnis ein Ordnungs- und Hierarchiesprinzip erkennen läßt, das in der Weltstruktur liegt, ob Design wesensmäßig an äußere oder innere Anschauungen gebunden ist. Nach BIRKHOFF ist die Komplexität von Artefakten zu minimieren. Der Mittelbereich zwischen Chaos und Ordnung, in dem komplexe adaptive Systeme arbeiten, kann daher mit der BIRKHOFFSchen Theorie neu verknüpft werden. Aufgabe zukünftiger Forschungen wird es dabei sein, die gemeinsamen ästhetischen Werte, auf die sich in der Artefaktform-Herstellung bezogen wird, neu zu bewerten im Kontext etwa fraktaler Geometrien oder Minimalprinzipien.

Kapitel 9

Implikationen des Artifiziiellen

In erster Linie kennt das Design bisher sowohl technisch-ästhetische, methodologische als auch historisch vergleichende Diskurse; wobei stets Argumente gefunden werden, deren Funktion in Beschreibung, Begründung oder Bewertung liegt. Wie bei einem irreversiblen Prozeß lassen sich die Endergebnisse des Entwerfens im Nachhinein erklären, wie und warum es zu einer spezifizierten Lösung kam. Zu einer gegebenen Form kann man u.U. die entsprechenden Regeln finden und von einer vorhandenen Form zu den ihr zugrundeliegenden Regeln gelangen. Man kann dazu das etwa bei James GLEICK erwähnte Verfahren nach BARNSELY anwenden.¹ Man beginnt mit einer Zeichnung der Form, die man reproduzieren will. Man läßt mit Hilfe eines Zufallsalgorithmus Punkte auf der Fläche entstehen. Wenn das Objekt fraktal strukturiert ist, dann wird es möglich sein, es mit wenigen Regeln zu decodieren. Ist das Bild kompliziert, so werden auch die entsprechenden Regeln kompliziert sein.² Es läßt sich hingegen nicht projektiv sagen, wie man zu einer konkreten Lösung gelangt. Was man sucht, ist eine Anzahl von Regeln, die irgendwie die fertige Form im voraus verkörpern. Die Kerbe klafft so zwischen Wunsch und Wirklichkeit: Das gedachte Endergebnis und die entstandenen Zwischenergebnisse entfalten den ihnen eigenen Raum. In seinem Durchmesser wird man in einem unbegrenzten Zickzackkurs zwischen dem Ähnlichen und dem ihm Ähnlichen Linien zu ziehen haben. Es entrollt sich ein Wechselspiel zwischen Schema und Korrektur. In der täglichen Entwurfspraxis zeigt sich das Problem schon im Kleinen: Gedanken und Taten verhalten sich zueinander irreduzibel; vergeblich zeichnet man das nach, was man in Gedanken vor sich sieht. Der Weg vom Kopf zur Hand scheint lang. Das, was man sagt, liegt nicht in dem, was man vor sich sieht, und vergeblich zeigt man durch Bilder, Metaphern oder Vergleiche das, was man zu sagen gewillt ist. Ähnlich dem, wie es sich verhält mit der Beziehung zwischen dem Denken und dem Sprechen. Ein dunkler Raum erscheint, den man fortschreitend und Energie kostend erhellen muß. Dort liegt die „Natur“ der Sache und um deren Erkenntnis muß man sich bemühen. Das Entworfen wird zum Zeichen der Gedanken des Entwerfers. Bezeichnete Form und bezeichnende Form sind hier Ähnlichkeiten, die nebeneinanderstehen. Damit Design als vorausgreifende Modellierung von Gestaltungsprozessen möglich wird, bedarf es einer Wissenschaft vom Künstlichen.

¹James [Gleick], S. 332.

²*Ebenda*, S. 332.

9.1 Die Wissenschaft des Entwerfens als „Synthesis of Form“

9.1.1 Ontologie des Entwerfens

Damit Design als kreativ-evolutionäres Anpassen, als Darstellung der Welt und als Welterschließung möglich wird, muß die Welt Voraussetzungen erfüllen. Für kognitive Systeme, in denen wir uns als Designer befinden und bewegen, sind die mächtigsten Schranken durch die Natur gesetzt. Das Universum erfüllt dabei erstaunlich genau die Bedingungen, die für erkennende Systeme notwendig sind. In der Formulierung des anthropischen Prinzips hat es jene Eigenschaften, die wir an ihm finden, nicht weil es kein anderes Universum geben könnte, sondern weil es uns in diesem anderen Universum nicht geben könnte. Die ontologischen Bedingungen an ein System, die Design ermöglichen, seien hier nach [Vollmer, 1995] genannt:

- **Quasi-Separabilität**
Unterscheiden muß möglich sein; eine Welt muß aus Teilsystemen zusammengesetzt sein. Die Teilsysteme müssen voneinander unterschieden und getrennt werden können. Ob diese Entscheidungen strukturellen Zwängen unterliegen, führt auch auf das Problem des freien Willens. Weitere Erkenntnisse hierzu sind von der KI-Forschung zu erwarten.
- **Stabilität**
Ohne eine gewisse Stabilität der Umwelt wäre Erkennen und damit Design nicht möglich. Abgesehen von der physikalischen Stabilität, etwa daß unsere Lebensdauer klein gegenüber der der Erde ist, wäre unserer Existenz ohne eine stabile Kultur das Fundament und der Nährboden entzogen. Gerhard VOLLMER nennt vier Voraussetzungen für die Zerlegbarkeit und die Stabilität der Welt:
 1. Gewisse Naturkonstanten weichen deutlich von 1 ab. Dabei sind insbesondere die Kopplungskonstanten der physikalischen Wechselwirkungen hervorzuheben.
 2. Die vier Grundkräfte haben untereinander deutlich unterschiedliche Stärken und Reichweiten (Potentialverläufe).
 3. Die relativ geringe durchschnittliche Energiedichte des Universums.
 4. Stark konzentrierten Energiequellen stehen große Entropiesenken gegenüber.³
- **Gleichheit und Wiederholbarkeit**
Als adaptive Systeme sind wir gezwungen über gleiche und sich wiederholende Strukturen erkennend mit unserer Umwelt in Wechselwirkung zu treten.
- **Relative Einfachheit**
Als diese erkennende Wesen sind wir darauf angewiesen, in einem Bereich zwischen Ordnung und Unordnung zu agieren. Als komplexes adaptives System sind wir gezwungen, Ordnungsstrukturen aus der Umwelt herauszulesen. Dieses hat weitreichende Auswirkungen auf die Ausformungen unserer Artefakte. Wir können nur mit strukturell determinierten Einheiten umgehen.
- **Projizierbarkeit.**
Wirklichkeitsstrukturen müssen abbildbar sein. „Teile der Welt müssen mit unserer Peripherie in Wechselwirkung treten, auf unsere Erfahrungs-„Ebene“ projizierbar sein. Andernfalls gäbe es gar keine empirische Wissenschaft, sondern nur apriorische Wissenschaften und reine Spekulation – falls es uns überhaupt gäbe.“⁴ Die Projektio-

³[Vollmer, 1995, S. 125].

⁴Gerhard [Vollmer, 1995], S. 120.

nen müssen deutlich hervortreten: „Das wahrhaft Seiende ist, sofern es ein einfaches Eines, sich selbst gleich und abgetrennt ist, ein Etwas oder Gegenstand. Die Einheit und Identität gewinnt aber normalerweise ein (Wissens-)Gegenstand daraus, daß wir ihn als das, was er selbst ist, aus allen Gegenständen herausheben und ihn dabei von dem, was er nicht ist, unterscheiden.“⁵

Eine Wissenschaft vom Künstlichen als *synthesis of form* forscht nach den Gesetzen, denen die Zuordnungen in Entwurfssystemen gehorchen. Inwiefern man die ontologischen Aspekte bei der Ordnung von Artefakten wiederfindet, inwiefern diese Ordnungen objektiven Charakter besitzen, ist noch nicht erforscht. Etwas einordnen heißt dabei, es auf mehr oder weniger allgemeine Werte zu beziehen. Ernst CASSIRER stellt fest, daß eine objektive Ordnung überall da vorhanden ist, wo verschiedene Subjekte sich auf eine gemeinsame Welt beziehen. Als Sich-mitteilen verlangt das Entwerfen eine Gemeinschaft in bestimmten Prozessen, so daß hier an einem Mannigfaltigen und Verschiedenen ein allgemeines Strukturgesetz sichtbar wird.⁶

9.1.2 Curriculum des guten Entwurfs

Was macht dabei einen Entwurf zu einem guten Entwurf, eine Architektur zu einer guten Architektur, ein Design zu gutem Design? Die kurze Antwort lautet nach Heinz ZEMANEK: Gutes Design ist konsistent. Er weist darauf hin, daß eine gute Software-Architektur architektonisch dokumentiert sein muß, und alle guten Eigenschaften selbst ein zweites Mal in der Dokumentation und der Struktur der Dokumentation auftauchen müssen.⁷ Zu den hierin liegenden, selbstreferenten Aspekten führt er mit VITRUV weitere Hauptzüge auf:⁸

- Ordnung (*ordinatio, taxis*), Maß und Proportion
- Anordnung (*dispositio, diathesis*), Struktur
- Eurhythmie, Ebenmäßigkeit und Schönheit
- Symmetrie, Übereinstimmung und Zueinanderpassen der Bestandteile
- Angemessenheit, Auswählen nach anerkannten Grundsätzen und Vorschriften
- Ökonomie (*distributio, oikonomia*), verschwendungsfreier Umgang mit Material und Raum.

Diese Kriterien selbst besitzen Konsistenz in hohem Maße über einen langen Zeitraum hinweg. Gleichbleibende Form-Qualitäten spielen hier eine große Rolle. Gerrit BLAAUW nennt hingegen folgende Kriterien: Vollständigkeit, Allgemeinheit, Offenheit, Orthogonalität, Klarkeit, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Effizienz.⁹ Wirtschaftlichkeit ist ein häufig genannter Aspekt, wenn es um die Definition eines guten Entwurfs geht. Das Gemeinsame einer Wissenschaft vom Künstlichen findet sich in einer Wissenschaft vom Entwerfen wieder. Der Prozeß des Entwerfens unterliegt dabei nicht streng der Optimierung etwa im Hinblick auf die Funktion. Läge das Ziel dieses Prozesses als Funktion fest, so wäre Design kein Problem, sondern nach DOERNER eine Aufgabe (siehe Abschnitt 1.1.3).

⁵Ursula WOLF im Vorwort zu [Aristoteles, 1994], S. 13.

⁶Ernst [Cassirer, 1961b], S. 13.

⁷So Heinz [Zemanek, 1992], S. 159.

⁸Heinz [Zemanek, 1992], S. 160.

⁹Gerrit BLAAUW zitiert in: Heinz [Zemanek, 1992], S. 160.

Was für das globale Ganze des Entwurfs gilt, ist dabei jedoch nicht für alle seine Teile gültig; einzelne Entwurfsabschnitte können durchaus im Sinne eines Algorithmus optimiert werden. Insgesamt ist Entwerfen nach Herbert SIMON durch das Suchen nach einer zufriedenstellenden Lösung charakterisiert. Er nennt sieben zentrale Themen für das Curriculum einer Wissenschaft vom Entwerfen [Simon, 1994, S. 116]:

1. Nutzentheorie und statistische Entscheidungstheorie als logischer Rahmen für die rationale Auswahl unter gegebenen Möglichkeiten.
2. Algorithmen und Heuristiken zum Finden satisfizierender Alternativen; der Bestand an Techniken zur Bestimmung der optimalen unter den gegebenen Möglichkeiten, wie z.B. Algorithmen der Linearen Programmierung, der Regelungstheorie oder der dynamischen Programmierung.
3. Anpassung der Standardlogik an die Suche nach Alternativen. Entwurfslösungen sind Ketten von Aktionen, die in mögliche Welten innerhalb der spezifizierten Schranken führen. Bei satisfizierender Zielvorgabe sind die gesuchten möglichen Welten selten einzigartig; die Suche gilt Aktionen, die für das Ziel hinreichend sind.
4. Das Ausnutzen von paralleler oder fast-paralleler Aufgliederung von Unterschieden. Die Mittel-Zweck-Analyse ist ein Beispiel für eine breit anwendbare Problemlöse-Technik, die diese Aufgliederung ausnutzt.
5. Organisation von Strukturen; Verteilung der Ressourcen zur Suche nach Alternativen und teilweise erforschten Handlungsabfolgen.
6. Die Organisation komplexer Strukturen und ihre Implikation für die Organisation der Entwurfsprozesse.
7. Alternative Repräsentationen für Entwurfsprobleme.

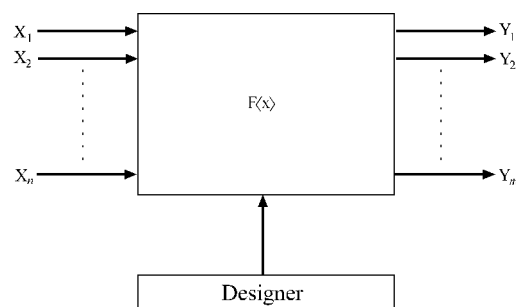


Abbildung 9.1: Der Designer transformiert bestehende Zustände in erwünschte.

Der Weg zu einer befriedigenden Lösung ist nach SIMON durch Suche gekennzeichnet. Als ein Suchproblem kann Design schon der begrenzten Ressourcen wegen nicht erschöpfend sein. Als Beschränkung wirken unsere kognitiven Fähigkeiten; einen adäquaten Zustandsraum gedanklich aufzuspannen und alle Möglichkeiten gedanklich durchzugehen, überschreitet, wie geschildert, unsere Verarbeitungskapazität. Zudem kommt die Beschränkung von Zeit und Mitteln. Ein Entwerfer hat sich so mit einer Lösung zufrieden zu geben, die den vorgegebenen Restriktionen – Suchraum, Suchzeit und Suchmittel – genügt. Aus den Ressourcen sind mit den vorhandenen Möglichkeiten die Anforderungen zu erfüllen (Abb. 9.2).

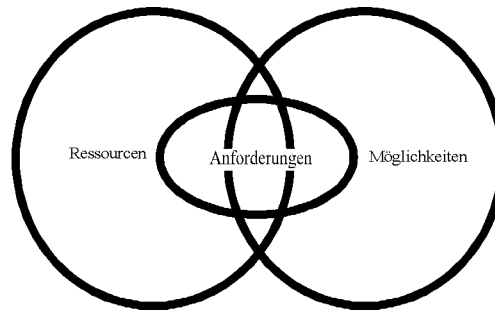


Abbildung 9.2: Anforderungen an das Design als Mengendiagramm.

Der Suchraum ist dabei im allgemeinen ein mehrdimensionaler Raum, der von den einzelnen Richtungen des Entwurfs aufgespannt wird, längs derer schließlich die Entscheidungen getroffen werden müssen. In sich bildet der Suchraum ein mitunter hochentwickeltes System von Verzweigungen und Verbindungen zwischen den Entwurfsparametern; man kann ihn als ein semantisches Netzwerk betrachten. Die Beschaffenheit des Suchraums und die Perspektive, aus der man ihn betrachtet, besitzt dabei entscheidende Auswirkungen auf das zu erschaffende Artefakt. Das Ziel ist es, die semantischen Verknüpfungen innerhalb des Netzwerks auf eine konkrete Form abzubilden. Dazu bedarf es einerseits einer genauen Lokalisierung innerhalb des Raums, in dem sich das Entwurfsproblem befindet, andererseits bedarf es einer heuristischen und epistemischen Struktur. Zudem gibt es einen dynamischen und einen statischen Anteil dieser Form, der sich in Sachverhalte und Operationen bzw. Akt und Potenz etc. aufschlüsseln läßt. Die Sachverhalte bilden dabei die Knoten eines Netzes und die Operatoren die Übergänge. Im Softwareentwurf werden beispielsweise die Operatoren durch die erlaubten Datenbanktransaktionen identifiziert, und die Daten werden als Sachverhalt gedeutet.

Die Beschreibung des Such-Raumes kann topologisch, geometrisch oder durch Ähnlichkeiten vermittelt geschehen. Topologische Transformationen innerhalb einer Systemtopologie können dabei sehr hilfreich sein. Innerhalb eines Raumes können topologische Operationen durchgeführt werden, die die Qualität der Entwurfsparameter und damit der zu entwickelnden Form nicht beeinträchtigen, wenn man innerhalb der Topologie des Suchraums (bzw. Suchkörpers innerhalb dieses Raums) keine neuen „Löcher“ oder „Risse“ entstehen läßt, so daß sich bietende Invarianzen ausgenützt werden.

Constraint-basiertes Entwerfen

“Computer architecture, like any other architecture, is the art of determining the needs of a structure and then designing it to meet those needs as effectively as possible within the economic and technological constraints.” (F. P. BROOKS in: [Zemanek, S. 127])

Um die Mannigfaltigkeit möglicher Lösungen auf eine zufriedenstellende einzuschränken, wird der *constraint*-basierte Entwurf propagiert.¹⁰ Horst RITTEL versteht darunter die alternierende Folge der beiden Elementarprozesse Varietätserzeugung und Varietätsreduktion (Abbildung 9.3). Um möglichst viele unsinnige Alternativen herauszufiltern, werden nacheinander verschiedene *constraints* als Filter eingeführt (Abbildung 9.3). Für den *constraint*-Begriff sind dabei auch zahlreiche weitere Bezeichnungen gebräuchlich: Restriktionen, Zwangs- und Randbedingungen, Einschränkungen oder Konstriktionen [Rittel,

¹⁰Horst RITTEL in: *Arbeitsberichte zur Planungsmethodik*, [Maser, 1972a], S. 17–31.

1992, S. 144]. Horst RITTEL nennt sechs verschiedene Arten von *constraints*:¹¹

- Logische *constraints* schließen Denkmöglichkeiten aus.
- Physische *constraints* eliminieren Verstöße gegen Naturgesetze.
- Technische *constraints* beziehen sich auf die Realisierbarkeit mit den vorhandenen Technologien.
- Ökonomische *constraints* beschreiben die Grenzen des zu betreibenden Aufwands.
- Kulturelle *constraints* werden durch die Grenzen bestimmt, die sich durch kulturelle Normen ergeben.
- Politische *constraints* beschreiben die Erwartung über die mögliche Durchsetzbarkeit von Lösungsmöglichkeiten.

Der *constraint*-basierte Entwurf dient dazu, eine Konsistenz des Ergebnisses zu erreichen. Die KI-Forschung sucht nach allen möglichen *constraints*, um Expertensystemshalen (*expert system shells*) zu füllen. Dazu müssen möglichst viele logische Widersprüche ausgeräumt werden, die mitunter für Menschen ganz offensichtlich sind: Hierin offenbart sich das sog. Inferenzproblem der KI. Die Formulierung der *constraints* hat so einen großen Einfluß auf ihre Wirksamkeit.

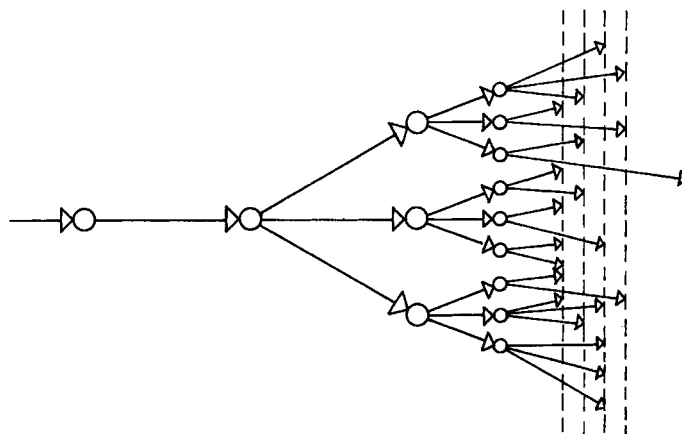


Abbildung 9.3: Die Elementarprozesse Varietätserzeugung und Varietätsreduktion mit *constraints* nach RITTEL.

Entwurfsmodelle

“The following argument is based on the assumption that physical clarity cannot be achieved in a form until there is first some programmatic clarity in the designer’s mind and actions; and that for this to be possible, in turn, the designer must first trace his design problem to its earliest functional origins and be able to find some sort of pattern in them.”

Christopher [Alexander, 1964, S. 15]

In einem *Modell* können Klassifizierungen und Charakterisierungen gefunden werden, die den Design-Raum repräsentieren. Nach Herbert STACHOWIAK gelangt man zu drei

¹¹ *Ebenda*, S. 26–27.

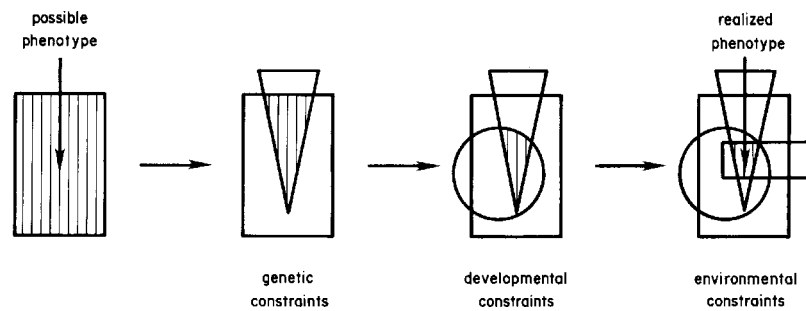


Abbildung 9.4: Darstellung einer Sequenz von *constraints* innerhalb eines genotypischen Potentials, das dazu dient, phänotypische Vielfalt zu erzeugen nach BROOKS und O'GRADY in: [Brooks, 1988].

Hauptmerkmalen, die ein Modell auszeichnen [Stachowiak, 1973]. Es sind dies das Abbildungsmerkmal, das Verkürzungsmerkmal sowie das Subjektivierungsmerkmal. Das Abbildungsmerkmal drückt aus, daß Modelle Abbildungen von Originalen darstellen; unter Originalen versteht man dabei natürliche oder künstliche Objekte. Das Verkürzungsmerkmal beinhaltet, daß das Original nicht in seiner vollen Komplexität abgebildet wird, sondern daß diese reduziert wird, indem die für den Betrachter relevanten Eigenschaften herausgefiltert werden. Abhängig vom Problem ist es in der Physik meist möglich, die komplexen Systeme in einfachere zu zergliedern; in anderen Wissenschaftsdisziplinen (besonders in der Biologie) ist dies nicht der Fall. Beim Aufstellen von Teilmodellen gehen hier wichtige Informationen verloren, die sich aus der Summe der Teile nicht additiv rekonstruieren lassen. Das Subjektivierungsmerkmal drückt die inhärente Subjektivität von Modellen aus, daß Modelle etwa nur für bestimmte Personen bedeutungsvoll sein können. Aufgestellte Modelle beeinflussen die Sichtweisen unter denen ein Entwurfsproblem betrachtet wird nachhaltig, Modellbildung ist sicher ein brauchbares Werkzeug zur Entwurfsstrukturierung. Als Abbildungen und Repräsentationen von natürlichen oder künstlichen Originalen vermitteln sich Modelle über Ähnlichkeiten. Eine Modellbildung bedient sich dabei phänomenologischer Unterschiede und Gemeinsamkeiten. Eine prägnante Gegenüberstellung von Formen innerhalb des Modellbegriffs kann daher durch Ähnlichkeiten gewährleistet werden. Ein beispielhafter Entwurfsprozeß könnte dann folgendermaßen aussehen:

1. Analyse

Die menschliche Wahrnehmung (Perzeption) der Wirklichkeit wird in ein formales Modell der wahrgenommenen Wirklichkeit transformiert.

2. Design

Das resultierende Modell wird seinerseits in ein Modell des Artefakts transformiert. Dieses wird durch eine formsprachliche Konstruktion beschrieben, die sich direkt auf die Implementierung abbilden läßt. Die Sprache kann ein tragendes Element dabei bilden, um ein Modell zu beschreiben.

3. Implementierung

Das Modell des Designprozesses wird realisiert. Ein Artefakt wird geschaffen und implementiert.

Ähnlichkeiten

Als das Gemeinsame zwischen der Anforderungsanalyse, der Modellierung und der Wissensrepräsentation gelten kognitive Operationen. Bestimmte Abstraktionsebenen stellen sich hierbei als Leistung unseres Gedächtnisses dar. Da solche kognitiven Abbildungen eine Interaktion von Wissensstrukturen bedeuten, ist die Informationsverarbeitung beim Problemlösen untrennbar mit einem Gedächtnis verknüpft. In der kognitiven Struktur unseres Langzeitgedächtnisses erkennt die KI-Forschung ein semantisches Netz, so daß dieses als Arbeitshypothese für die Beschreibung kognitiver Systeme und von Künstlicher Intelligenz verwendet wird. Im Rahmen des auf ARISTOTELES zurückgehenden *Assoziationismus* unterscheidet man Assoziationen aufgrund von Gleichzeitigkeit, Ähnlichkeit, Kontrast und des räumlichen Zusammenseins.¹² Nach Michel FOUCAULT können Formen und Dispositionen entweder durch Identifikation mit geometrischen Formen oder durch Analogien beschrieben werden.¹³ Die hierbei phänomenologisch orientierten Assoziationen treten als Prozeß der Sinnbildung auf. Ähnlichkeiten treten als Brückenglied auf und führen nach Edmund HUSSERL zu Sinnsteigerungen:

„Ähnlichkeiten, die als ‚Brückenglied‘ auftreten [...] und eine Identität in der Differenz darstellen, führen zu Steigerungsreihen, zu simultanen und sukzessiven Verkettungen, Verzweigungen und Verschmelzungen, so daß sich über die universale zeitliche Synthesis hinaus ein Mehrheits- und Ganzheitsbewußtsein herausbildet.“¹⁴

Er weist darauf hin, daß im Moment der Ähnlichkeit jede Form eingefangen werden kann: „Alles Bekannte verweist auf ein ursprüngliches Kennenlernen; was wir unbekannt nennen, hat doch eine Strukturform der Bekanntheit, die Form *Gegenstand*, des näheren die Form *Raumding*, *Kulturobjekt*, *Werkzeug* usw.“¹⁵

9.1.3 Design im Kontext von Subjekt-Objekt-Beziehungen

Design formt nach der Überzeugung der Mehrheit der Designer nicht primär Dinge, sondern Beziehungen: „Beziehungen, die brauchbar sein müssen.“¹⁶ Ein Produkt steht mit der Welt in einem Verweisungszusammenhang, der durch seine Verwendung erschlossen wird, und das „Wie“ der Welt eröffnet.¹⁷ Bestimmung und Bewertung von Beziehungen bildet für die Designwissenschaft zentrale Themen. Genauer lassen sich diese als Subjekt-Objekt-Beziehungen identifizieren.¹⁸ Wir gebrauchen Dinge, die uns ihrerseits nicht brauchen. Seine gegenständliche Bestimmung „an sich“ erhält ein (Design-)Objekt durch ein Subjekt, dem es passiv entgegensteht. Verfolgt man diese Ansätze weiter, so verlagern sich Entwurfsprobleme zusehends in den Bereich der Erkenntnistheorie. Zur Klärung des Wesens des Entwerfens werden Fragen aufgeworfen, die sich um den Subjekt-Objekt-Dualismus der Epistemologie ranken. Ein herausragendes Problem der Wissenschaft vom Entwerfen liegt – und dies ist auch im Zusammenhang mit dem Problem künstlicher Intelligenz zu betrachten – in der Modellierung des für die Problemlösung relevanten Wissens. Man

¹²Klaus [Quibeldey-Cirker, 1994], S. 141.

¹³Michel [Foucault, 1999], S. 176.

¹⁴Edmund HUSSERL, *Urphänomene und Urformen der Erfahrung*, Husserliana Bd. XI, *Analysen zur passiven Synthesis*, S. 133–139, in: [Husserl, 1993], S. 70–74.

¹⁵Edmund HUSSERL, *Aktive und Passive Sinn-genese*, Husserliana Bd. 1, *Cartesianische Vorträge und Pariser Vorträge*, S. 113, in: [Husserl, 1993], S. 201.

¹⁶Herbert [Malecki, 1969], S. 11.

¹⁷Vgl. Martin Heidegger in: [Kunzmann, 1991], S. 205.

¹⁸Holger van den [Boom, 1994], *Betrifft Design: Unterwegs zur Designwissenschaft in fünf Gedankengängen*, S. 103.

spricht, da diese Modellierung *symbolisch*, d.h. mit Hilfe einer *formalen Sprache*, erfolgt, in der KI-Forschung auch vom Problem der Wissensrepräsentation.¹⁹ Jede Subjekt-Objekt-Interaktion zeigt sich so als symbolisch vermittelt. Als Wissen wird hierzu eine Relation zwischen einem erkennenden Subjekt und einem Gegenstandsbereich bezeichnet. Wenn man von diesem Subjekt abstrahiert, so ist Wissen eine der drei Relationen in dem semiotischen Dreieck:

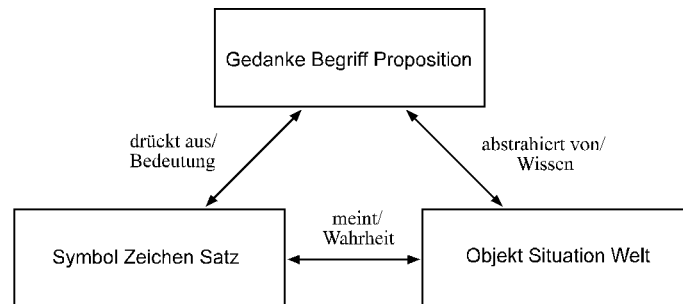


Abbildung 9.5: Semiotisches Dreieck nach SCHEFE.

Die beiden anderen Beziehungen werden durch die Bedeutung bzw. die Wahrheit gebildet. Innerhalb dieses Dreiecks erklärt sich die Bedeutung als Beziehung zwischen Symbolen oder Sätzen einerseits und Begriffen oder Propositionen andererseits. Die Umkehrrelation der Bedeutung ist hier die Repräsentation. In einem rationalistischen Erkenntnismodell sind dabei Wahrheit und Bedeutung objektivierbar. Nach der rationalistischen Position ist die Welt und damit der Geist rational, d.h. durch ein beliebiges Subjekt weitgehend vollständig und formal rekonstruierbar. Als herausragender Vertreter hierzu hat René DESCARTES versucht, die Welt des Menschen durchgehend rational zu konstruieren und stringent zu objektivieren. Dieses Forschungsinteresse wird heute von einer überwiegenden Mehrheit der KI-Forscher verfolgt.²⁰ Allenfalls einzuwenden ist dagegen, daß ebenfalls DESCARTES gezeigt hat, daß das Wesen des „Ich denke“ selbstreflexiv ist (vgl. Abschnitt 5.3.3) und insofern weder kausal determiniert noch objektivierbar ist. Ein jeder Reduktionismus, der anstrebt, das denkende Subjekt in Gänze zu erfassen, erweist sich so als ungeeignete Methode.

Die KI-Forschung stellt sich die Aufgabe, für Problemlösungen relevantes Wissen zu modellieren, und benötigt hierbei Methoden zur Darstellung des Wissens. Es hat sich gezeigt, daß sich Wissen mit den herkömmlichen Logiksystemen nur sehr aufwendig widerspruchsfrei darstellen läßt. Genauer ist dazu die Entwicklung natürlichsprachlicher Systeme (zur Rekonstruktion sprachlicher Handlungen) und/oder die Entwicklung und Anwendung von nicht-monotoner Logik, Fuzzy Logic etc. notwendig. Hierzu wurden verschiedentlich Versuche unternommen, Wissen in Expertensystemschalen logisch darzustellen. Eine umfassende Darstellung der komplexen Zusammenhänge würde hier den Rahmen sprengen; es gilt an dieser Stelle festzuhalten, daß trotz ihrer inzwischen immensen Rechenpower, geistige Leistungen von Computern nach dem *constraint*-Prinzip o.ä. noch ausgeblieben sind. Ein zukünftiges, funktionierendes Modell des menschlichen Geistes beschreibt Gerhard VOLLMER als die sechste von acht Kränkungen der Menschheit.²¹ Als Meilenstein auf diesem Weg wird die Niederlage von Garri Kasparov gegen den Schachcomputer Deep

¹⁹Peter [Scheffe, 1991], S. 13.

²⁰So Peter [Scheffe, 1991], S. 13.

²¹Gerhard [Vollmer, 1995], S. 55.

Blue empfunden. Auf eine Überwindung des Subjekt-Objekt-Dualismus (neben den anderen Dualismen: z.B. Geist-Materie, Leib-Seele, Innenwelt-Außenwelt) zielen diejenigen Theorien, die auf kausalen Modellen der Selbstorganisation, der Evolution und des Chaos basieren. Der Dualismus wird hier aufgehoben innerhalb der Struktur des Informierens. Die Auffassung von MATURANA und VARELA ist es, kognitive Funktionen als Teil der evolutionären Fähigkeit der Selbsterhaltung zu sehen. *Autopoiesis* ist ihr Konzept, nach dem die Realität von einem kognitiven System nur innerhalb seines Umfelds konstruiert wird und nicht objektiv gegeben ist. Wissen kann so keine objektive Erkenntnis sein, sondern wird nur intersubjektiv gewonnen. Objektivität ist hier *Intersubjektivität*, die aus einem Ausrichtungsprozeß der Orientierung von Individuen in einem kulturellen System entsteht.²²

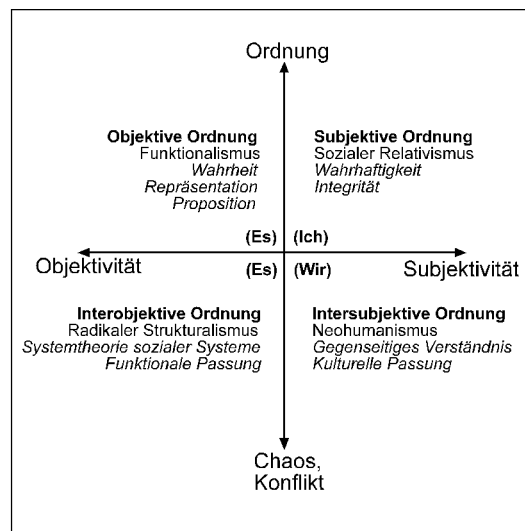


Abbildung 9.6: Die vier möglichen Systembetrachtungen adaptiert nach BURREL, MORGAN und WILBER. Zwischen Ordnung und Chaos sowie zwischen Objektivität und Subjektivität können verschiedene Systeme und systemtheoretische Ansätze begründet werden.

Verwandelt man ein Objekt nach Abbildung 9.5 systematisch in den Status des Zeichens, geht ein Designprodukt auf in der Beziehung zwischen Nutzer und Designobjekt. Dies hat die Modifikation in der Sichtweise auf die moderne menschliche Beziehung zu den Dingen zur Folge: So kann die Komsumption der Dinge betrachtet werden als Erfüllung dieser Beziehung. Das Produkt verspricht eine bestimmte Beziehung, diese wird jedoch in ihrem Verlauf verbraucht. Es wird so in aller Regel gar nicht das Produkt selbst verbraucht, sondern die Relation zwischen Nutzer und Objekt selbst geht zu Ende. Bei den meisten Interpreten des Subjekt-Objekt-Dualismus herrscht über die Uneinigkeit der Einzelpositionen hinaus Einigkeit, daß den beiden Kategorien eine herausragende Rolle zukommt für das Verhältnis des Menschen zur Natur im Zuge der Industrialisierung und der damit verbundenen Vorstellung von technischer Rekonstruierbarkeit. Aus den Standpunkten zur Subjekt-Objekt-Problematik leiten sich verschiedene Positionen in der Forschung nach Künstlicher Intelligenz ab, und insofern, da nach SIMON gilt, daß die Wissenschaft von der Intelligenz eine Wissenschaft des Künstlichen ist²³, liegt hier auch ein Angelpunkt der Designwissenschaft. Die Frage, ob eine Ordnung der Dinge völlig unabhängig von einem erkennenden Subjekt vorhanden ist, und ob diese mit der realen Welt etwas zu tun

²²Vgl. Peter [Scheffe, 1991], S. 15.

²³Vgl. Peter [Scheffe, 1991], S. 2.

hat, besitzt eine lange Tradition in der philosophischen Diskussion. In einer Sicht ist alles nur interne Konstruktion, in einer anderen haben die Dinge, die wir entwerfen, den Strukturen unseres Erkennens zu folgen. Das Schema nach Abbildung 9.6 adaptiert nach BURREL, MORGAN und WILBER verdeutlicht die Zusammenhänge in einer zweidimensionalen Darstellung. Der folgende Abschnitt vertieft die Frage nach den Strukturen unseres Entwerfens.

9.2 Projektionen – „form follows x“

Formen resultieren in der Natur aus den Naturgesetzen, in deren Notation Beziehungen zwischen verschiedenen Größen aufgestellt werden, wie etwa zwischen Wirkung, Energie und Zeit. Diese Beziehungen sind mehr oder weniger scharf determiniert und schaffen eine feststehende Ordnung. Die vom Design gestalteten Beziehungen sind ebenfalls – mehr oder weniger scharf – vorbestimmt. Über die Form der Entwürfe wird die Relation zwischen einem Produkt und seinem Gebraucher vorherbestimmt. Das Spannungsfeld bzw. die Beziehungen denen die Form folgt, existieren dabei ebenfalls räumlich, zeitlich und informell. Der traditionelle entwerferische Diskurs operiert hierbei mit den Grundbegriffen Form, Funktion und Materie, und eine Einheit Form-Materie-Funktion stellt darin das Ideal entwerferischer Praxis dar. Die ökonomisch-technologische, im Grunde aber formalästhetisch-moralische Diskussion in der Designgeschichte führte dazu immer wieder zu ideologischen Auseinandersetzungen. Die Beziehungen zwischen den Polen von Nutzer und Gegenstand erlegen den Dingen Ordnungsformen auf und definieren sie in ihrer eigenen Kohärenz. Eine Form dient als Ausdrucksmittel einer symbolischen Ordnung; der Gegenstand entfaltet seine Funktion im Raum. Die Form der Dinge wird so mitunter auf ihren einfachsten Entwurf reduziert. Was sich schließlich aus der Form herauschälte, war die Funktion. Ein Produkt, das klar erkennen läßt, wozu es dient, ist ein funktionales Produkt. Der Leitsatz des Funktionalismus, der die Gestalt eines Produkts allein durch dessen technische Funktion und industrielle Herstellungsweise bestimmt sieht, heißt *form follows function*. Das langgehegte Paradigma entwerferischer Praxis hat jedoch in vielen Bereichen der industriellen Produktion seinen zwingenden Anspruch durch die zunehmende Digitalisierung von vormals mechanischen Funktionen sowie durch Miniaturisierung vieler Produkte verloren.

Verfolgt man die momentane Orientierung des Designs aufmerksam, so stellt man fest, daß die Formen der Gegenstände zunehmend nach den sinnlichen Bedürfnissen der Menschen ausgerichtet werden. Die Oberfläche und mitunter der Sinn der Form reißen sich von der Funktion los. Wichtiger als die Funktion ist zunehmend die Emotion, die vom Produkt ausgeht: In den einschlägigen Printmedien liest man das Schlagwort *form follows emotion*. Ihren Anfang nahmen die heutigen Tendenzen durch das Design der Gruppe Alchimia Ende der 70er Jahre, dem Infragestellen der bisherigen Entwurfspraxis und dem Bruch mit funktionalistischen Design-Traditionen: Ettore SOTTASS und Alessandro MENDINI verursachten eine Bewegung, die einen absoluten Zusammenhang zwischen Form und Funktion verneinte und die Frage nach der emotionalen Beziehung des Menschen zu den Gegenständen stellte.²⁴ Ihre Objekte sollten eine neue sinnliche Beziehung zwischen Benutzer und Objekt herstellen. Im Gegensatz zu Alchimia waren die Möbel der Gruppe „Memphis“ (gegr. 1981) um Ettore SOTTASS, Matteo THUN und Andrea BRANZI ausdrücklich für die Serienfertigung gedacht. Sie wirkten rasch stilbildend für ein neues, oft ironisches wie zeichenhaftes Design, welches die Funktionsorientierung so nachhaltig

²⁴ „Studio Alchimia“, 1976 gegründet von Alessandro Guerriero und Alessandro Mendini [Brockhaus 2000].

wie nie zuvor infrage stellte. Im Blickpunkt des Designs stehen auch wieder zunehmend seit der zweiten Hälfte der 90er Jahre die Gefühle, die eine Form auslöst. Ein Produkt soll einen Erlebniswert darstellen. Dazu wird oft auf Bewährtes zurückgegriffen: Das aktuelle Retrodesign konzentriert sich auf ästhetische Beständigkeit. Die Methode dieses rückwärts(!) gewandten Designs ist das *Sampling*, wobei Anleihen bei Produkten der unterschiedlichsten Epochen gemacht werden. Das Design nährt sich mithin von assoziativen und regelhaften Schemata, die es zur Benutzerführung nutzt und an denen es nachfolgende Vorstellungen schult. Kraft Identifizierung und Nutzung vorgefaßter Ordnungsbilder sind Designer hiermit in der Lage, die Handlungen der Nutzer zu steuern. Im Designprozeß sind daher selektionsartige Phänomene zu beobachten. Für diese Schemata, Muster, kann man prinzipiell drei verschiedene mögliche Quellen ausmachen:

1. Zufällige Muster, in denen auf den ersten Blick keine prägnanten Regelmäßigkeiten zu erkennen sind. Es stellt sich aber die Frage, inwieweit der Zufall als Naturprozeß zu sehen ist.
2. Natürliche Muster, die im Zuge der natürlichen Evolution und des Anwachsens der Komplexität von adaptiven Systemen entstanden sind und die sich bis in die Formen der Artefakte fortpflanzen. Aufgrund ihrer enormen Komplexität können wir diese Strukturen nur noch teilweise erkennen. Sie entspringen einem natürlichen Selbstorganisationsprozeß.
3. Kulturelle Muster, die durch einen kulturellen Selbstorganisationsprozeß bestimmt werden und insofern als Rückkopplungseffekt dazu beitragen, Gesellschaften Identität zu verleihen – die entworfene Form teilt eine symbolische Ordnung mit.

Mischungen aus den drei Punkten sind ebenfalls zu finden; es gibt zudem Ordnungen, die in andere Ordnungen eingebettet sind. Die folgenden Abschnitte schlüsseln die beiden letzten Möglichkeiten und Sichtweisen näher auf.

9.2.1 Natürliche Muster

Als zur Rezeption geeignete Wirklichkeitsstruktur ist die Form auf Bezugnahmen angewiesen, die der Mensch zu entziffern imstande ist. Edmund HUSSERL formuliert: „Ich lebe so in einer Welt, die von anderen Subjekten miterfahren wird und mit ihnen gemeinsam ist. Die Welt ist somit für jedermann und damit intersubjektiv bestimmt.“²⁵ Nicht nur die Anforderungen der Formen müssen in einem Medium eingefangen werden, sondern auch die individuellen Ziele des Einzelnen und der Allgemeinheit. Die stärkste natürliche Bezugnahme bzw. Konnotation ist jene, die sich auf den Betrachter selbst als den zukünftigen Benutzer des Designprodukts richtet. Das Ding mit seiner Form muß dazu ein Stück weit als alter Ego erhalten, also in ungefähre Deckung mit einer vorgestellten Form des Betrachters bzw. seiner Einbildungskraft gebracht werden. Nach einer Transformations- bzw. Projektionshypothese bilden die Formen ein funktionell besonderes Zwischenwesen und ein Gegenbild zu verschiedenen Entitäten. In verschiedenen Sichtweisen bilden Formen hier ein natürliches Spiegelbild zu:

- dem Ich
Friedrich SCHILLER etwa erkennt in der Verwandlung der Gegenstände in Formen zugleich auch eine Vergegenständlichung des sich reproduzierenden Subjekts, so daß die Form damit zum Ausdruck der Subjektivität wird.²⁶ In der Ästhetik HEGELS

²⁵Edmund HUSSERL in [Kunzmann, 1991], S. 195.

²⁶Michael [Hegemann, 1992], S. 56.

heißt es, daß der Mensch zum Bewußtsein seiner selbst auf zweifache Weise gelange: auf theoretische und auf praktische Art, indem er sich durch praktisches Tun selbst hervorbringt.²⁷

- dem menschlichen Körper

Anthropomorphes Design bildet hier etwas, worin Menschen sich erkennen können. Das Bewußtsein der Existenz eines anderen Ich ergibt sich in dieser Sichtweise aus der eigenen Leib-Erfahrung. Aufgrund dieser nimmt das Ich wahr, daß die Erscheinungsweise bestimmter Körper sich im Leib eines anderen manifestiert. Die Philosophie von Maurice MERLEAU-PONTY verfolgt diese Richtung konsequent: „Der Mensch steht nicht gegenüber, sondern ist Teil des Leibes, in dem die Strukturen, der Sinn, das Sichtbarwerden aller Dinge gründen.“²⁸ Die Gefühlsdifferenzierungen werden in dieser Folge zu Formdifferenzierungen. In den Formen liegt zudem eine gewisse Vertrautheit.

- der Konstruktion der Naturformen

Die normative Kraft der Natur erstreckt sich hier bis in die Ausformungen der Artefakte hinein. Die Artefakte sind Zeugen des Logos.²⁹ Es erreicht eine Ursprünglichkeit der Darstellung: Die Natur, deren Formen wir als gültig betrachten, gibt das Muster unseres Erkennens, unseres Herstellens und Handelns vor.

Konstruktionen der Natur werden auf Designprodukte übertragen (z.B. Bionik). Die Naturformen erscheinen uns in einer vereinheitlichten Qualität. Das Wesen und die Merkmale der natürlichen Morphogenese widerspiegelnde Formen sind bestimmt durch *Mimesis* – der Entleihung von Formmerkmalen von natürlichen Dingen. Der Kosmos der Kultur scheint in dieser Darstellung geschlossen und auf einen definierten Mittelpunkt bezogen. Karl MARX wird die Natur durch den Menschen nachgeahmt darin, das auch er Dinge hervorbringt. Nach MARX droht uns dabei die Entfremdung und der Verlust des Naturparadigmas. Die Kunst wird zum Residuum der Natur.³⁰ Da die Natur nur – relativ – wenige von den vielen möglichen Formen begünstigt, ist unser Repertoire an Formen begrenzt. Ein Vorteil naturorientierten Strukturierens ist, daß es eine gewisse Welterkenntnis ermöglicht, da es die Naturform-Prinzipien widerspiegelt. Das Muster, nach dem wir unsere Entwürfe ausrichten, ist hier nicht frei gewählt. Formen besitzen in diesem Bild eine natürliche Konnotation. Jean BAUDRILLARD etwa schreibt:

„Unter dem Gefüge der Formen wird immer versteckt ein indirektes Gespräch gepflogen. Die Form des Feuerzeuges bezieht sich über das Meer auf die Form der Hand; der Flügel des Wagens bezieht sich über das Flugzeug oder den Vogel auf den durchrasten Raum. In Wirklichkeit ist es sogar der Umweg, der über die Idee des Meeres, die Idee des Flugzeuges und des Vogels von einer Form zur anderen führt. Überall begegnen wir also der Idee der Natur, die unter verschiedener Gestalt (tierische, pflanzliche, menschliche Elemente) sich in die Artikulation der Formen einnistet.“³¹

- allen Naturformen (nach dem holografischen Paradigma)

Nach dem holografischen Paradigma sind alle Formen einzigartige Hologramme in sich selbst – selbstgenügsam, selbst-erzeugend und selbsterkennend. Innerhalb einer

²⁷G.W. F. [Hegel, 1987], S. 75.

²⁸Maurice MERLEAU-PONTY in: [Kunzmann, 1991], S. 195.

²⁹Holger van den [Boom, 2000].

³⁰Martin [Seel, 1991], S. 11.

³¹Jean [Baudrillard, 1991], S. 80.

Form sind die verschiedenen physikalischen, gesellschaftlichen, psychologischen und evolutiven Zusammenhänge lebendig. Naturformen und Artefaktformen sind hier nur Teilaspekte voneinander. Diese Sichtweise kann von der Idee der totalen Form nicht gelöst werden.

Gemeinsame Grundmuster zwischen Natur, Kunst und Design

Design bezeichnet gemeinhin die Gestaltung von Formen zur Nutzanwendung. Gestaltung ohne offenkundige Erkennbarkeit von Pragmatik heißt Kunst, wobei in diesem Begriff auch eine qualitative Wertung mit eingeschlossen ist. Kunst und Design bilden gesellschaftliche Prozesse ab. Die Übergänge zwischen beiden sind fließend. Menschen wie Kurt SCHWITTERS, Henry MOORE, Luigi COLANI, Constantin BRANCUSI, Keith HARING oder Piet MONDRIAN können beispielsweise beiden Richtungen zugeordnet werden. Es finden sich in ihren Werken zahlreiche Beispiele für ein naturorientiertes Strukturieren. Die holländischen Konstruktivisten in der Gruppe „De Stijl“ etwa versuchten, durch Reduktion der Gestaltungsmittel eine ästhetische Askese zu prägen. Die von ihnen etablierten Grundformen und -farben weisen sowohl formal geometrische Gestaltungsmerkmale auf als auch fraktal anmutende Kompositionen. Für „De Stijl“ ist Stil identisch mit jener Wirklichkeit, die allein die geistige Ordnung visuell ausdrückt³²:

„Das künstlerische Temperament, das ästhetische Sehen, erkennt den Stil; die gewöhnliche Sehweise dagegen erblickt Stil weder in der Kunst noch in der Natur. Diese alltägliche Sehweise ist die Sehweise des Individuums, das sich nicht über das Individuelle erheben mag. Solange die Materie individuell gesehen wird, kann Stil nicht erkannt werden.“ Piet Mondrian in [Wismer, 1985]

In Kenntnis der fraktalen Geometrien sind die Werke der „De Stijl“-Künstler und viele andere als abstrakt bezeichnete Kunstwerke heute sicher neu zu bewerten. Die Werke von Piet MONDRIAN lassen, obwohl sie auf den ersten Blick als künstlich erscheinen, in ihrem Konstruktionsprinzip fraktale und selbstreferente Momente erkennen. Das Verhältnis der künstlerischen Form zur Naturform kann dahingehend neu durchdacht werden.

Es lassen sich viele weitere Beispiele dafür finden, daß sich die Kunst der Fraktalität zuneigt. Hier sind nicht allein die Landschaftsmalerei bis zur Moderne, der Jugendstil oder Bilder von Jackson POLLOCK zu nennen. Die Adaption fraktaler Formen macht es möglich, „das Unendliche endlich darzustellen“. Bei ADORNO erscheint die imaginativ wahrgenommene Natur im Schein der Kunst.³³ Kunstwerke, die eine fraktal strukturierte diskursive Rezeption ermöglichen, erweisen sich oft als konsistent. Als weiteres Beispiel seien hier Bilder von Giorgio MORANDI erwähnt. Sie lassen trotz der Einfachheit ihrer Motive eine im Prinzip unabschließbare Reflexion zu. Einfache Beispiele finden sich in marmorierten Mustern, z.B. in den Hintergründe von Fernseh-Informationssendungen oder sogar in der beliebten Rauhfaser Tapete. Fraktale Muster machen es hier möglich, glatte Flächen räumlich aufzulösen. In konsistentem Design lassen sich so wesentliche Naturprozesse phänomenologisch wiedererkennen. Dergestaltige Eigenschaften, die dem natürlichen morphogenetischen Prozess erwachsen, sind:

- Fastsymmetrien

Ein schnelles Erfassen und effektive Datenkomprimierung wird ermöglicht. Lange weile, wie bei vollständiger Symmetrie, ist dagegen unwahrscheinlicher.

³²Michael [Hegemann, 1992], S. 39.

³³Martin [Seel, 1991], S. 181.

- Hierarchischer, kaskadenformiger Aufbau verbunden mit Selbstählichkeit
Ein selbstähnliches Design führt idealerweise zu Selbsterklärung. Gutes Design ist selbstreferent: Je nach Art der Ähnlichkeit sprechen wir von *Stilen*. Bei fraktalem Aufbau braucht man nur einen kleinen Teil des Problems zu verstehen. Der große Rest erklärt sich aus der Konstruktionsvorschrift des Ganzen infolge einer zirkulären Selbsterklärung.
Eine Beurteilung, welche Formen als selbstreferent gelten sollen, ist hierbei jedoch mitunter schwierig. In gewisser Sicht sind viele Formen selbstreferent. Kugeln z.B. ruhen in ihrem Mittelpunkt, sind abgeschlossen und in sich selbst vollkommen. Zwischen Kugeln besteht nach Ernst CASSIRER nicht nur eine Harmonie, sondern eine wahrhafte Identität.³⁴
- Minimalkonstruktion
Ein Spareffekt durch verringerten Verbrauch an Ressourcen wird möglich. Ein zusätzlicher Minimaleffekt ergibt sich bei der Wahrnehmung (z.B. wichtig bei Typographie). Durch infinitesimale Formänderungen erscheinen die Formen in einer einheitlichen Qualität.
- Beinahe-Zerlegbarkeit und operationale Geschlossenheit
Sie vereinfacht die Erkennbarkeit und die Beschreibung eines komplexen Systems. Sie erleichtert das Verständnis der Faktoren und reduziert die für den Entwurf eines Systems erforderliche Informationsmenge. Durch operationale Geschlossenheit wird ein System gebildet. Sie ist Voraussetzung für eine interne Strukturbildung. Operational geschlossene Systeme werden zudem mit dem Gedanken der Autonomie verbunden.
- Fraktalität
Formen, die aufgrund eines fraktalen Wachstums bzw. Zerfalls entstehen, lassen Spekulationen offen. Man kann niemals wissen, wie sich ein chaotisches System im nächsten Augenblick entwickeln wird. Daher bergen solche Formen Spannungen in sich, die den Menschen in seiner Perzeption nicht ungerührt lassen. Sie sind zudem im Prinzip unabschließbar. Die Formen des Chaos sind dabei unendlich differenziert, und doch entbehren sie nicht einer einheitlichen Struktur.
- Lokalität und Topologie
Über kurze Distanzen wirkende Beziehungen wirken stärker. Ein Prinzip der Lokalität beim Entwerfen durchzusetzen, scheint jedoch nur im Sinne einer Systemtopologie möglich.
- Evolution
Produktgenerationen entstehen evolutionär. Jede Epoche übernimmt von der vorhergehenden bestimmte Formen und gibt sie an die folgende weiter. Mit der Zeit bilden sich fest gefügte Strukturen. Die Formensprache gewinnt schließlich eine solche Stabilität, daß gewisse Themen mit bestimmten Weisen des Ausdrucks fest zu verwachsen scheinen.

Alle Naturformen entstehen nach dem Prinzip der kleinsten Wirkung. Es gibt Formen, die ein als fraktal zu bezeichnendes Wachstum aufweisen. Einige weisen als das prägnante Merkmal Minimalflächen auf. Aus dem Entstehen und der Entstehungsgeschichte resultieren in ihrer phänomenologischen Wirkung verschiedene Eigenschaften. Bei Raumformen

³⁴Ernst [Cassirer, 1961b], S. 5.

werden Spannung, Gleichförmigkeit, Langeweile, Glätte, Schwung bis hin zu Eleganz erzeugt. Spannung entsteht so etwa durch das richtige Verhältnis von Berechenbarkeit zu Unberechenbarkeit. Je nach Entstehungsweise kann man Wirkungen von Formen unterscheiden. Die Formen, die durch Minimalflächen begrenzt werden, finden ihre Entsprechung in der Dynamik. Sie sind formal berechenbar, und ihre Grenzen sind scharf definiert. Die Schnittstelle besitzt eine hohe Plausibilität. Man könnte in einer philosophischen Formulierung sagen, daß die fraktalen Formen auf sich selbst verweisen, während Formen, die aus Minimalflächen zusammengesetzt sind, auf ein Anderes verweisen. Es ist also wichtig, die verschiedenen Entstehungsweisen von Formen zu erkennen und zu differenzieren, da sie ein bestimmendes Regulativ der Wirkung der Form darstellen. Das Verständnis von Formen kann hierdurch deutlich verbessert werden.

9.2.2 Kulturelle Muster

Die kulturellen Muster, die durch den kulturellen Selbstorganisationsprozeß bestimmt werden, bilden auch Zeichensysteme. Die Ordnungen entstehen durch Überlagerungen von zufälligen Erscheinungen (z.B. Moden) und ihren Verfestigungen. In verschiedenen Sichtweisen bilden Formen hier ein mögliches kulturelles Spiegelbild zu:

- einer Idee
In den Formen dokumentiert sich das sinnliche Scheinen einer Idee: „Struktur ist die unauslöschliche Verbindung zwischen einer Idee und einer Existenz, das kontingente Arrangement, durch das Materialien einen Sinn annehmen [...]“³⁵
- mystischen Vorstellungen
Das Design der achtziger Jahre brachte eine Reihe von dergestaltigen Entwicklungen hervor. Der Ursprung eines Mythos wird dabei häufig zwischen Natur und Kultur angesiedelt.
- Symbolen
Ernst CASSIRER schreibt hierzu: „Ein und dieselbe Grundfunktion, die Funktion des Symbolischen als solche, entfaltet sich in ihren verschiedenen Hauptrichtungen und schafft innerhalb derselben immer neue Gebilde. Die Gesamtheit der Gebilde ist, was die spezifisch-menschliche Welt kennzeichnet und auszeichnet“³⁶.
- einem Ideal
Es wird in einer Gruppe übereingekommen, was ein Form-Ideal darstellt. Entwürfe werden schließlich nach den Idealen ausgerichtet. Beispielsweise ist die Häufigkeit „mathematischer“ Formen im Design erstaunlich.
- einem Archetypen bzw. Stereotypen
Als Ergebnis eines Generalisierungsprozesses beschreibt Helmut GRÖSSER Formen mit hohem Prägnanzniveau, die gleiche Reaktionsmuster hervorrufen als „Stereotyp“. Zwischen den Stereotypen kommt es zur Dichotomisierung (vgl. nächster Abschnitt).
- einem kompatiblen oder ästhetischen Standard
Immer mehr gesellschaftliche Bereiche und Prozesse werden rationalisiert und standardisiert. Als ein Urbild weltumspannender, perfekt organisierter und rationalisierter Prozesse wird dabei das Unternehmen McDonald's Corp. angesehen. Seine

³⁵Maurice [Merleau-Ponty, 1986], S. 232.

³⁶Ernst [Cassirer, 1961], S. 26f.

Produkte werden aufgefaßt als Sinnbilder einer sich global immer mehr vereinheitlichenden („McDonaldisierten“) Kultur.³⁷ Besonders deutlich zeigt sich diese Standardisierung anhand der (Pop-)Musikindustrie. Jedoch auch im Verlauf der Vernetzung von Datensystemen kommt es zunehmend zu einer weltweiten Kompatibilität von Produkten. Demnächst wird wahrscheinlich jedes Haushaltsgerät internetfähig und ständig überwachbar sein müssen. Ein solches Produkt bringt seine Position in der technische Gesellschaft zum Ausdruck: Es ist ein Objekt bzw. sogar ein Symbol für das Gesamtsystem kultureller Erzeugnisse.

9.2.3 Designklassiker als Archetypen der Form

Markenartikel und Markenzeichen sind ein fester Bestandteil unserer Produktwelt. Im Lauf der „Evolution der Artefaktform“ haben sich diese Formen als sehr erfolgreich herausgestellt. Designklassiker weisen eine Invarianz hinsichtlich der Zeit auf: Sie sind vor vielen Jahren entstanden und passen heute noch in die Zeit hinein. Sie eignen sich damit besonders gut zur Beurteilung hinsichtlich ihrer Formqualitäten. Markenartikel, die sich zumeist im Verlauf der letzten einhundert Jahre etablieren konnten, bilden gewissermaßen die Archetypen aller nachfolgenden Produktgenerationen. Es zeigen sich dabei Abhängigkeiten etwa zwischen der Verwendungshäufigkeit und der Dauer, bis sich ein Produkt anderen gegenüber als Markenartikel durchsetzt, oder dieser Dauer und der Häufigkeit bzw. Intensität des Informiertwerdens der Käuferschaft – im Zeitalter der Globalisierung scheint dies immer schneller voranzuschreiten. Strukturähnlichkeiten zwischen dem Durchsetzungsvermögen eines Artikels im Markt und anderen dissipativen Prozessen, dem Wachsen einer Phase in physikalischen Systemen o.ä., sind sicherlich nachweisbar. Hinsichtlich des Systems des Markts stellt ein Markenartikel ein komplexes adaptives System dar, das sich mittels seiner Form gegen die anderen Artikel durchzusetzen sucht. Der Wirtschaftswissenschaftler Helmut GRÖSSER untersucht den Markenartikel innerhalb des Begriffs *Stereotyp*. Nach Helmut GRÖSSER wirken Stereotypen als verfestigte Signalstrukturen handlungsleitend insofern, daß sie zur Strukturierung der Kontaktsituationen zwischen Konsument und Produktwelt beitragen.³⁸ Die zentralen Gestaltelemente des Designs mit produktkennzeichnender Funktion fungieren dabei als stereotypauslösende Stimuli, die den Wahrnehmungs- und Produktbeurteilungsprozeß maßgeblich entlasten und lenken. Die Stereotyp-Tendenzen in der Gestaltung der Markenartikel schränken die Form der Dinge rahmensetzend ein. Das Ergebnis seiner Untersuchung schildert er in einer Typologie der Gestaltung.

Einige Beispiele zeigt Abbildung 9.7. Gerade die extrem erfolgreichen Formen bringen sehr viele Analogien zu Naturformen zum Ausdruck. So sind hierin beispielsweise eine innere Geschlossenheit durch Minimalflächen (bzw. Minimalgrenzen), Selbstähnlichkeit, leicht gebrochene Symmetrien bzw. ein festes Verhältnis zwischen Symmetrie und deren Brechung nachzuweisen. Mittels durchdachter Dosierung von Symmetrie und Symmetriebrechung in ihrem Design werden Bildzeichen wirkungsvoll und unverwechselbar. Ihre Symmetrieelemente sind Symmetriezentren oder Symmetrieebenen, Rotationsachsen oder regelmäßige Netzwerke, die die Struktur des Markenzeichens umkippen lassen oder sie reflektieren, sie verschieben oder rotieren lassen. Die Analyse von Markenzeichen bietet reiches Reflexionsmaterial, wenn man sich über Symmetrie in der graphischen Sprache Gedanken machen will. Unter den „geheimen Überzeugungskünstlern“ der Bildsprache

³⁷Der amerikanische Soziologe George Ritzer beschreibt 1993 in seinem Buch „The McDonaldisation of Society“ (dt. 1995) den global ausgreifenden Trend moderner Wohlstandsgesellschaften [Ritzer, 1993].

³⁸Helmut [Größer, 1991], S. 311.

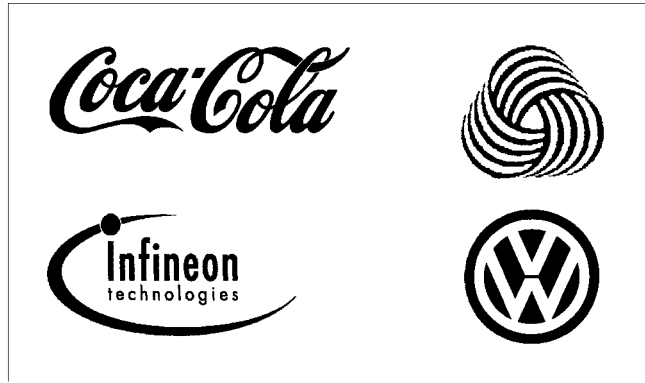


Abbildung 9.7: Markenzeichen als Designklassiker. Sie sind durch innere Geschlossenheit, Minimalflächen (bzw. Minimalgrenzen), Selbstähnlichkeit und leicht gebrochene Symmetrien bzw. ein festes Verhältnis zwischen Symmetrie und deren Brechung gekennzeichnet.

nimmt das Logo eine bevorzugte Stellung ein. Als Maßnahme der Corporate Identity soll es dazu beitragen, Unternehmen eine Identität zu verleihen. Sie sind extrem wirkungsvoll. Bevor Kinder Schrift erlernen, können sie ihre Umwelt schon aufgrund von solchen Firmensignets einteilen.³⁹

Das Warenzeichen mit dem momentan höchsten Marktwert ist Coca-Cola, gegründet 1886.⁴⁰ In dieser Wort-Bild-Marke lassen sich alle in dieser Schrift aufgezählten Merkmale klar verifizieren. Ein weiteres Beispiel in Abbildung 9.7 ist das Logo der Infineon AG, einer Tochter der Siemens AG, deren Aktien im Jahr 2000 bei ihrer Neuemission 33-fach (!) überzeichnet waren. Auch das Volkswagen-Markenzeichen ist selbstreferent. Weitere Beispiele für erfolgreiche Artefaktformen sind in der griechischen Architektur zu finden. Auch ihre Formen leitet sich bekanntlich von Naturformen ab. Säulen nehmen formale Merkmale eines Muskels an, worin sich die Funktion der Aufnahme von Kräften widerspiegelt, so daß dies eine anthropomorphe Form darstellt: Der Schnitt von Schriften in der Typografie besitzt ein recht exakt definiertes Minimalprinzip. Da die Lesbarkeit bei Schriften mit einem möglichst geringen Aufwand gegeben sein sollte, weisen alle Buchstaben eines Alphabets in einem doppeldeutigen Sinne einen gleichen Charakter auf (vgl. *character* – engl. Buchstabe bzw. *karakter* – gr.-lat. eingekerbtes Zeichen, das Eingeprägte). Von den Ausprägungen weniger Buchstaben leitet sich das Aussehen des ganzen Alphabets ab. Die neuen Bilder in den Bereichen Entwicklung, Produktion, Marketing und Werbung erweisen sich oft effektiver als Worte. Die Sprache des Designs und der Kunst ist hierbei oft frei von logischen Widersprüchen und kann mitunter den Zustand eines Systems effektiver beschreiben als gesprochene oder geschriebene Sprache.

Die Evolution der Produktform weist so zahlreiche Parallelitäten und Analogien zum natürlichen Formentstehungsprozeß auf. Diese Gleichförmigkeiten sind einerseits in der Dynamik der Entwicklung zu finden. Andererseits sind aber auch in den konkreten Ausprägungen der besonders erfolgreichen Formen des Designs phänomenologische Ähnlichkeiten zu Naturformen auszumachen.

³⁹So [Brügelmann + Brinkmann, 1998], S. 21.

⁴⁰Helmut [Größer, 1991], S. 62.

Fazit

Das Verhältnis zum Ungeordneten stellt ein Schlüsselproblem des Designs dar. Die Zuordnung von Wirkungen und Funktionen zu leisten ist die zentrale Aufgabe einer Wissenschaft vom Künstlichen. Modellbildung, *constraints*, Variationsbildung und -einschränkung usw. stellen ihrerseits Modelle dar, die hierzu Ordnung ins Chaos bringen. Sie sind ein Ausdruck der kognitiv-pragmatischen Bedeutung der Entwurfsproblematik, welches in der Bewertung von Lösungen bzw. ihrer Objektivierbarkeit liegt.

Bei der „Synthesis of Form“, der Formfindung, sind so die verschiedensten Orientierungen festzustellen, die in höchst unterschiedlicher Weise zur Entwicklung von Entwurfsmethodologien geeignet sind. Sie beruhen häufig auf massiven Projektionen. Diese in einer Theorie zu einem einheitlichen Bild zu fügen, wäre nur durch weitreichende Einschränkungen in ihrer Einsetzbarkeit möglich. Entwerfen bleibt ein kreativer und intellektueller Akt und nur abschnittsweise automatisierbar.

Eine „Analysis of Form“ ist hingegen sehr gut effektiv möglich. Formen können im Kontext der Naturformentstehung analysiert werden, und ihre Wirkungen werden hieraus plausibel. Bei der Analyse von als besonders gültig empfundenen Designklassikern konnten so weitreichende phänomenologische Ähnlichkeiten zu Naturformen festgestellt werden. Eigenschaften, wie innere Geschlossenheit, Selbstähnlichkeit, leicht gebrochene Symmetrien etc. charakterisieren erfolgreiche Formen. Dies sind erstaunlicherweise die prägnantesten Eigenschaften chaotischer Systeme, die hier zumindest anscheinend einen gemeinsamen Grund bilden.

Resümee und Ausblick

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit war die *Form der Dinge*. Vorrangig wurde der Betrachtungswinkel dabei auf den in der Literatur bisher nicht angemessen berücksichtigten Aspekt einer vereinheitlichenden Darstellung von Formen im Hinblick auf Design als Formen erschaffende Disziplin gerichtet: Die Form ist das wesentliche Gestaltungsmittel des Designs und nimmt in diesem eine Schlüsselrolle ein, neben dem Material, der Oberfläche, der Farbe und der Zeichenhaftigkeit der Dinge.

Die zugrunde liegende These ist, daß der Weg zur Konstruktion komplexer Artefakte über eine Theorie der Naturformen im Sinne natürlicher Systeme führt. Theoretisch kann davon ausgegangen werden, daß Naturformen und Artefaktformen auf zwei unterschiedliche Weisen entstehen und unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Hierzu diskutierte die Arbeit die unterschiedlichen Standpunkte führender Autoren. Die Erörterungen berührten dabei eine ausgedehnte Zahl von Themen, um Eigenschaften zu isolieren, die beiden Arten von Formen gemein sind. Das Ziel dieser Studie, designwissenschaftliche Grundlagen zu entwickeln, erforderte hierbei sowohl eine kritische Betrachtung historischer Theorieangebote als auch eine Rezeption aktueller Forschungsergebnisse.

Ein Hauptbeitrag dieser Arbeit liegt in der Status-quo-Analyse dieses Formkonzepts: In diesem Zusammenhang wurden die erprobten Einzelkonzepte verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen in einem durchgängigen sowie interdisziplinären Werk vereinigt. Die Arbeit verwertete dabei Ergebnisse der modernen Physik und Systemtheorie, des Designs und der Erkenntnistheorie, und sie diskutierte die Praxis des Entwerfens im Kontext der Kennzeichen natürlicher Systeme: Komplexität, Chaos und Dynamik, wie sie die globale Gesellschaft durchdringen. In diesem Kontext war es notwendig, eine Abgrenzung des Formbegriffs angesichts seiner Allgemeinheit und seiner inflationären Verwendung vorzunehmen. Die Verwendung des erweiterten und integrierenden Formbegriffs hat sich dabei als geeignet erwiesen, zur Weiterentwicklung der Designwissenschaft beizutragen. Die Arbeit hebt die entscheidenden physikalischen und systemtheoretischen Prozesse, die zur Entstehung von Formen hinführen, deutlich hervor. Auch wurde eine Abgrenzung von Formen betreffend Topologie und Geometrie im Hinblick auf den Designprozeß vorgenommen. Dabei wurden auch nichteuklidische Aspekte einbezogen, und Formen wurden als mathematische und physikalische Zustände gedacht. Dergestalt wurden mittels des Leitbildes natürlicher Strukturen Designformen betrachtet.

Es zeigte sich schließlich, daß aus schon sehr einfachen Gesetzmäßigkeiten in simplen Systemen hochkomplexe Gebilde entstehen können. Auch Design schafft so Informationszustände und modelliert unsere Beziehung zur Welt in einer ganz generalisierten und irreversiblen Weise. Als generalisierte menschliche Praxis lassen sich die Gegenstände de-

signwissenschaftlicher Überlegungen indes nicht eindeutig eingrenzen. Schlagwörter, wie „form follows function“ usw., haben darin eine Berechtigung – sie können jedoch nur ein rudimentäres Verständnis dessen, was hinter dem Begriff Entwerfen steht, vermitteln.

Alle Ausprägungen der Formen streben danach, sich gegen andere Formen durchzusetzen. Außerdem sind alle Gegenstände bestrebt, funktionell zu sein. Der Begriff der Form hat einen zwiespältigen Charakter. Von der Funktion deduziert, steht er in einem eindeutigen Verhältnis zu der wirklichen Welt und den Bedürfnissen der Menschen. Die vorliegende Analyse ergibt, daß die Design-Formen nicht unbedingt an einen Zweck adaptiert sein müssen, sondern vielmehr an ein wesentlich weiteres, normatives System angeschlossen sind. Design zeigt sich als Anpassungsprozeß mittlerer Komplexität zwischen Ordnungen verschiedener Systeme. Ein solches normatives System bildet ein grundlegendes Zeichenrepertoire, das im Designprozeß Verwendung findet. Als gültige normative Kraft scheint die Natur im Designprozeß durchgebildet zu werden. Eine Kopplung zwischen den Ausformungen der Naturformen und denen der Artefakte ist existent. Aus der Perzeption von Naturformen resultieren sehr spezifische Zwänge der Dekontextualisierung; die Vorschriften ihrer Deutung im Zug dieses Diskurses machen es notwendig, diese Zwangsbedingungen bei der Gestaltung von Produkten zur Anwendung zu bringen. Als komplexe adaptive Systeme können wir nur mit strukturell determinierten Einheiten umgehen; die Form ist zudem die Vermittlerin der ästhetischen Funktion. Die Struktur genau dieser Einheiten zu erforschen, ist ein entscheidender Baustein auf dem Weg zu einer Wissenschaft vom Künstlichen.

Es ist daher sinnvoll, von einem System auszugehen, das als Verwirklichungskontext die Formentstehung neben die Formrezeption stellt. Die vorgestellte physikalische Beschreibung der Formentstehung lieferte hierzu wertvolle Grundlagen. Der natürliche Formentstehungsprozeß eignet sich als methodischer Ansatz zur Entwurfsmodellierung und für allgemeingültige Konstruktions- und Designmethodologien zum kontrollierbaren Erfassen und objektiven Einordnen von Objekten der gestalthaften Umwelt. Eine Abbildung des natürlichen Formentstehungsprozesses auf den artefaktischen Entwurf ist – eingefaßt in eine Wissenschaft vom Entwerfen – zwar komplex, aber möglich. Die Arbeit stellte hierzu zahlreiche Querverstrebungen zu anderen Wissenschaftsdisziplinen her und prüfte diese auf ihre Operationalisierbarkeit hinsichtlich der praktischen Entwurfstätigkeit. Von dieser Arbeit ausgehend, eröffnen sich neue Perspektiven und Anknüpfungspunkte zur Fundierung einer Wissenschaft vom Artefakt.

Aufgabe zukünftiger Forschungen wird es sein, Aspekte, die bei der Naturbeschreibung eine entscheidende Rolle spielen, wie z.B. fraktale Geometrien oder das Prinzip der kleinsten Wirkung, auf die Analyse der Artefaktformentstehung anzuwenden. In der Zukunft sind hier entscheidende Beiträge speziell von der Erforschung emergenter Systeme im Zusammenschluß mit der KI-Forschung zu erwarten. Insbesondere die Untersuchungstechniken der Designwissenschaft sollten in dieser Richtung weiter verbessert werden, um ihren Anwendungsbereich auszudehnen, mit dem Ziel, komplexe Artefakte herzustellen. Weitere Untersuchungen hierzu sind notwendig und unaufhaltsam.

Teil IV
Anhang

Literaturverzeichnis

- [Abelson, 1991] ABELSON, Harold, SUSSMAN, Gerald Jay und SUSSMAN, Julie,
Struktur und Interpretation von Computerprogrammen,
Springer, Berlin [u.a.], 1991.
- [Adam + Hittmair, 1992] ADAM, Gerhard und HITTMAIR, Otto,
Wärmethorie,
Vieweg, Braunschweig, 4. Aufl., 1992.
- [ADI, 1998] ARBEITSSTELLE DESIGNINFORMATIK,
www.hbk-bs.de/Designinformatik, 1998.
- [Alexander, 1964] ALEXANDER, Christopher,
Notes on the Synthesis of Form,
Oxford University Press, London, 1964.
- [Andreasen, 1988] ANDREASEN, Mogens Myrup,
The Role of Artefact Theories in Design,
in: GRABOWSKI, H., RUDE, S., GREIN, G. (Hrsg.),
Universal Design Theory,
Shaker Verlag, Aachen, 3. Aufl., 1988, S. 57–70.
- [Ando + Simon, 1961] ANDO, Albert und SIMON, Herbert,
Aggregation of Variables in Dynamic Systems,
Econometrica, Jg. 29, 1961, S. 111-138.
- [Anzaldo, 1997] ANZALDO, Armando Aranda,
La complejidad y la forma,
Fondo de cultura Economia, Mexico, D.F., 1997.
- [Aquin, 1991] VON AQUIN, Thomas,
Über das Sein und das Wesen,
Wiss. Buchgesellschaft Darmstadt, Lat.-dt Übers. R. Allers,
orig. Titel: *de ente et essentia*, 2. Aufl., 1991.
- [Aristoteles, 1982] ARISTOTELES,
Poetik,
Reclam Univ. Bibliothek, Stuttgart, 1982.
- [Aristoteles, 1994] ARISTOTELES, WOLF, Ursula (Hrsg.),
Metaphysik,
Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2. Aufl., 1994.
- [Aristoteles, 1995] ARISTOTELES,
Physik, Vorlesungen über die Natur,
Philosophische Schriften in sechs Bänden, Nr. 6, Felix Meiner Verlag, 1995.
- [Armkreutz, 1976] ARMKREUTZ, J. H.,
Cybernetic Model of the Design Process,
Jg. H. 3, Computer Aided Design, 1976, S. 111-138.
- [Baecker, 1993] BAECKER, DIRK,
Kalkül der Form,
Suhrkamp-Verlag, Frankfurt am Main, 1. Aufl., 1993.
- [Baecker, 1998] BAECKER, Dirk (Hrsg.),
Die Autopoiesis der Information „Systemtheorie zwischen Autopoiesisbegriff und Formkalkül“,
unveröffentlichte Thesen zum Kolloquium mit Prof. Lothar Eley (Köln) an der Universität Witten/Herdecke, Juni 1998 (Ms).

- [Barrow, 1986] BARROW, John D. und SILK, Joseph,
Die asymmetrische Schöpfung,
Piper, München, New York, 1986.
- [Barrow, 1997] BARROW, John D.,
Der kosmische Schnitt, Die Naturgesetze des Ästhetischen,
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; Berlin, 1997.
- [Bateson, 1980] BATESON, Gregory,
Mind and Nature. A Necessary Unity,
Fontana, Glasgow, 1980.
- [Bateson, 1984] BATESON, Gregory,
Geist und Natur. Eine notwendige Einheit,
Übers. v. H.G. Holl, Suhrkamp, 4. Aufl., 1984.
- [Baudrillard, 1978] BAUDRILLARD, Jean,
Agonie des Realen,
Merve, Berlin, 1978.
- [Baudrillard, 1989] BAUDRILLARD, Jean,
Territorium und Technik,
in: WEIBEL, Peter (Hrsg.), *Philosophien der neuen Technologien*, Merve, Berlin, 1989.
- [Baudrillard, 1982a] BAUDRILLARD, Jean,
Das Jahr 2000 findet nicht statt,
Merve, 1982.
- [Baudrillard, 1982b] BAUDRILLARD, Jean,
Der symbolische Tausch und der Tod,
Matthes und Seitz Verlag, München, 1982.
- [Baudrillard, 1991] BAUDRILLARD, Jean,
Das System der Dinge: über unser Verhältnis zu den alltäglichen Gegenständen,
Campus Verlag, Frankfurt a. M., 1991.
- [Baumgarten, 1983] BAUMGARTEN, Alexander Gottlieb,
Theoretische Aesthetik: die grundlegenden Abschnitte aus der „Aesthetica“ (1750/58),
Philosophische Bibliothek; Bd. 355, Hamburg, Meiner, 1983.
- [Becker, 1973] BECKER, Volker,
Form, Gestalt und Plastizität, zur Theorie und Pathologie der Formbildung,
Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Springer, Berlin [u.a.], 1973.
- [Bense, 1965] BENSE, Max,
Aesthetica: eine Einführung in die neue Aesthetik,
Agis-Verlag, Baden-Baden, 2. Aufl., 1965.
- [Bense, 1969] BENSE, Max,
Einführung in die informationstheoretische Ästhetik,
Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 1969.
- [Bertalanffy, 1977] VON BERTALANFFY, Ludwig,
Biophysik des Fließgleichgewichts,
herausgegeben von LAUE, Reinhard und BEIER, Walter, Vieweg-Verlag, Braunschweig, 2. Aufl., 1977.
- [Bill, 1952] BILL, Max,
Form,
Karl Werner, Basel, 1952.
- [Birkhoff, 1928] BIRKHOFF, George David,
Quelque elements de l'Art,
Bologna, 1928.
- [Birkhoff, 1931] BIRKHOFF, George David,
A Mathematical Approach to Aesthetics,
Scientia, pp. 133-146, 1931.
- [Birkhoff, 1932] BIRKHOFF, George David,
A Mathematical Theory of Aesthetics,
The Rice Institute Pamphlet, V, 19, pp. 189-342, 1932.
- [Böge, 1977] BÖGE, Alfred, (Hrsg.).
Das Techniker-Handbuch,
Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 3. Aufl., 1977.

- [Boehm, 1987] BOEHM, Barry W. und SCHERLIN, William L.,
Megaprogramming,
Proc. DARPA, Software Technology Conference, 1987.
- [Boehme, 1992] BOEHME, Gernot,
Natürlich Natur: Über Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit,
Suhrkamp, Frankfurt a.M., 1992.
- [Bolz, 1992] BOLZ, Norbert,
Die Welt als Chaos und als Simulation,
Wilhelm Fink, München, 1992.
- [Bonner + McMahon, 1995] BONNER, John Tyler und MC MAHON, Thomas A.,
Form und Leben, Konstruktion vom Reißbrett der Natur,
Spektrum Verlag, 1995.
- [Booch, 1994] BOOCH, Grady,
Objektorientierte Analyse und Design,
Addison-Wesley, Bonn [u.a], 1994.
- [Boom, 1980] VAN DEN BOOM, Holger,
Philosophy: e. Einf.
Gunter Narr Verlag, Tübingen, 1980.
- [Boom, 1984] VAN DEN BOOM, Holger,
Ein designtheoretischer Versuch,
Schriftenreihe der Hochschule für Bildende Künste, Nr. 4, 1984.
- [Boom, 1987] VAN DEN BOOM, Holger,
Digitale Ästhetik: zu e. Bildungstheorie d. Computers,
Metzler, Stuttgart, 1987.
- [Boom, 1989] VAN DEN BOOM, Holger,
Industrial Design: Visionen für Zukunft und Ausbildung,
Bauwelt 80, Ausg. 25, 1989.
- [Boom, 1994] VAN DEN BOOM, Holger,
Betrifft Design: Unterwegs zur Designwissenschaft in fünf Gedankengängen,
VDG, Alfter, 1994.
- [Boom, 1997a] VAN DEN BOOM, Holger,
Das Design des Kosmos. Hatte der Demiurg eine Wahl?
Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 4, Mai 1997.
- [Boom, 1997b] VAN DEN BOOM, Holger,
Naturform und Artefakt. Zum Verhältnis von Physik und Design. Ein Beitrag zur Wissenschaftstheorie,
in: Langenhagen, Johannes (Hrsg.), *Objekt und Prozess*, 17. Designwissenschaftliches Kolloquium,
Halle/Saale Burg Giebichenstein; Hochschule für Kunst und Design, 1997.
- [Boom + Romero-Tejedor, 1998a] VAN DEN BOOM, Holger und ROMERO-TEJEDOR, Felicidad,
Arte Fractal: Estética del Localismo,
ADI, Barcelona, 1998.
- [Boom, 1998b] VAN DEN BOOM, Holger,
Grundzüge der Designwissenschaft. Ein Versuch zur Orientierung.
Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 7, 1998.
- [Boom, 2000] VAN DEN BOOM, Holger,
Prolegomena zu einer wissenschaftlichen Theorie der Form,
Öffnungszeitenpezial Nr. 2, 2000.
- [Braun-Feldweg, 1966] BRAUN-FELDWEG, Wilhelm,
Industrial Design,
Reinbek b. Hamburg, 1966.
- [Breidbach, 1997] BREIDBACH, Olaf,
natur der ästhetik - ästhetik der natur,
Springer-Verlag, Wien, 1997.
- [Brock, 1977] BROCK, Bazon,
Ästhetik als Vermittlung, Arbeitsbiographie eines Generalisten,
DuMont, 1977.

- [Brockhaus, 2000] MULTIMEDIALES LEXIKON, *Der Brockhaus multimedial 2000 premium*, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus, Mannheim, 2000.
- [Bronstein, 1987] BRONSTEIN, Ilya, *Taschenbuch der Mathematik*, BSB Teubner, Leipzig, 23. Aufl., 1987.
- [Brooks, 1987] BROOKS, Frederick P., *No Silver Bullet: Essence and Accidents of Software Engineering*, Computer, Jg. 20, H. 4, 1987, S. 10-19.
- [Brooks + Wiley, 1988] BROOKS, Daniel R. und WILEY, E. O. in: HULL, David L., *Evolution as Entropy: Toward a Unified Theory of Biology*, The University of Chicago Press, Chicago, London, 2. Aufl., 1988.
- [Brügelmann + Brinkmann, 1998] BRÜGELMANN, Hans und BRINKMANN, Erika, *Die Schrift erfinden*, Libelle, Lengwil am Bodensee, 1998.
- [Bublath, 1992] BUBLATH, Joachim, *Das neue Bild der Welt*, Ueberreuter, Wien, 1992.
- [Busch, 1974] BUSCH, Wilhelm, *Die schönsten Geschichten für die Jugend*, Südwest-Verlag, München, 1974.
- [Busch, 1998] BUSCH, Susanne, *Selbstorganisation und Morphogenese von Apatit-Gelatine-Kompositen unter biomimetischen Bedingungen*, Univ. Diss., TU Darmstadt, 1998.
- [Cagliotti, 1990] CAGLIOTTI, G., *Symmetriebrechung und Wahrnehmung*, Vieweg, 1990.
- [Cassirer, 1961a] CASSIRER, Ernst, *Freiheit und Form*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 3. Aufl., 1961.
- [Cassirer, 1961b] CASSIRER, Ernst, *Zur Logik der Kulturwissenschaften*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1961, 3. unveränderte Aufl.; erste Aufl. 1942.
- [Clausen, 1998] CLAUSEN, Ute, *Objektorientiertes Programmieren*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998.
- [Courtois, 1977] COURTOIS, P., J., *Decomposability, Queueing and Computer System Applications*, ACM monograph series, Academic Press, Inc., New York, 1977.
- [Courtois, 1985] COURTOIS, P., J., *On Time and Space Decomposition of Complex Structures*, In: Communications of the ACM, Jg. 28, H. 6, 1985, S. 590-603.
- [Cramer, 1988] CRAMER, Friedrich, *Chaos und Ordnung, Die komplexe Struktur des Lebendigen*, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1988.
- [Descartes, 1976] DESCARTES, René , *Meditationen über die erste Philosophie*, Universal-Bibliothek Nr. 2887. Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1976.
- [Deutsch, 1996] DEUTSCH, David, *Die Physik der Welterkenntnis: auf dem Weg zum universellen Verstehen*, Birkhäuser, Basel [u.a.], 1996.
- [Devlin, 1998] DEVLIN, Keith, *Muster der Mathematik: Ordnungsgesetze des Geistes und der Natur*, Spektrum, Heidelberg, Berlin, 1998.
- [Diels + Kranz, 1985] DIELS, H., KRANZ, W. (Hrsg), *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Fragment 2, griech-dt, Zürich 1985.

- [Dijkstra, 1979] DIJKSTRA, E,
Programming Considered as a Human Activity,
Classics in Software Engineering, New York, Yourdon Press, 1979.
- [Dörner, 1979] DÖRNER, Dietrich,
Problemlösen als Informationsverarbeitung
W. Kohlhammer, Stuttgart [u.a.], 2. Aufl., 1979.
- [Dubbel, 1999] BEITZ, W. und GROTHE, K.-H., (Hrsg.),
Taschenbuch für den Maschinenbau,
Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 19. Aufl., 1999.
- [Duff, 1998] DUFF, Michael J.,
Neue Welttheorien, von Strings zu Membranen,
Ausgabe 4/98 von: Spektrum der Wissenschaften, April 1998.
- [Eckstein, 1985] ECKSTEIN, Hans,
Formgebung des Nützlichen: Marginalien zur Geschichte der Produktgestaltung,
Edition Marzona, Düsseldorf, 1985.
- [Eco, 1977] ECO, Umberto,
*Wie man eine wissenschaftliche Abschlußarbeit schreibt: Doktor, Diplom- und Magisterarbeiten
in den Geistes- u. Sozialwissenschaften*,
C. F. Müller, Heidelberg, 1977.
- [Efetov, 1997] EFETOV, Konstantin,
Supersymmetry in Disorder and Chaos,
Cambridge University Press, 1997.
- [Eliade, 1977] ELIADE, M.,
Gefüge und Funktion der Schöpfungsmythen,
Vorwort zum Buch ohne Autor, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1977, zitiert in: [Voll-
mer, 1995, S. 6].
- [Evered, 1989] EVERED, David,
Cellular Basis of Morphogenesis,
herausgegeben von Ciba Foundation Symposium 144, John Wiley & Sons, 1989.
- [Feynman, 1987] FEYNMAN, Richard P.,
Vorlesungen über Physik,
herausgegeben von Leighton, Robert B. und Sands, Matthew, Oldenbourg, München, 1987.
- [Fichte, 1800] FICHTE, Johann Gottlieb,
Die Bestimmung des Menschen,
Philosophische Bibliothek Ausg. 226, Felix Meiner Verlag, Leipzig 1800, Neuaufl. 1944.
- [Fischer, 1997] FISCHER, Ernst Peter,
Das Schöne und das Biest: ästhetische Momente in der Wissenschaft,
Piper, München, 1997.
- [Flood, 1987] FLOOD, Robert L.,
Complexity: a Definition by Konstruktion of a Conceptual Framework,
Jg. 4, H. 3. Systems Research, 1987.
- [Flood, 1988] FLOOD, Robert L.,
Dealing with Complexity: an introduction to the theory and application of systems in science,
Jg. 4, H. 3. Plenum Press, New York, 1988.
- [Flusser, 1989] FLUSSER, Vilém,
Gedächtnisse,
in: WEIBEL, Peter (Hrsg.), *Philosophien der neuen Technologien*, Merve, Berlin, 1989.
- [Foucault, 1999] FOUCAULT, Michel,
Die Ordnung der Dinge. Eine Archäologie der Humanwissenschaften,
Suhrkamp, 15. Aufl., 1999.
- [Frank, 1970] FRANK, Helmar (Hrsg.),
Kybernetik, Brücke zwischen den Wissenschaften,
Umschau-Verlag, Frankfurt am Main, 7. Aufl., 1970.
- [Frank + Franke, 1997] FRANK, Helmar G. und FRANKE Herbert W.,
Ästhetische Information,
Institut für Kybernetik - Verlagsabteilung, Berlin; Paderborn, 1997.

- [Franke, 1974] FRANKE, Herbert W.,
Phänomen Kunst: die kybernetischen Grundlagen der Ästhetik,
DuMont, Schauberg, Köln, 1974.
- [Frege, 1991] FREGE, Gottlob,
zitiert in: Peter [Scheffe, 1991], S. 101.
- [Gall, 1986] GALL, J.,
Systematics: How Systems Really Work and How They Fail,
Ann Arbor, MI: The General Systematics Press, 2. Aufl., 1986.
- [Garnich, 1968] GARNICH, Rolf,
Konstruktion, Design und Ästhetik,
Univ. Diss., Stuttgart, Quickborn bei Hamburg, 1968.
- [Garnich, 1976] GARNICH, Rolf,
Ästhetik, Konstruktion und Design,
Ravensburg: Otto Maier-Verlag, 1976.
- [Geerdts, 1982] GEERDTS, Hans Jürgen,
Zu Goethe und anderen: Studien zur Literaturgeschichte,
Philipp Reclam jun., Leipzig, 1982.
- [Gell-Mann, 1995] GELL-MANN, MURRAY,
Das Quark und der Jaguar. Vom Einfachen zum Komplexen – die Suche nach einer neuen Erklärung der Welt,
Piper, München, 3. Aufl., 1995.
- [Genz, 1987] GENZ, Henning,
Symmetrie – Bauplan der Natur,
Piper, München [u.a.], 1987.
- [Genz + Decker, 1991] GENZ, Henning und DECKER, Roger,
Symmetrie und Symmetriebrechung in der Natur,
Vieweg, Braunschweig, 1991.
- [Gerlich, 1990] GERLICH, G.,
Vorlesungsskript zur Quantenmechanik,
TU Braunschweig, 1990 (Ms).
- [Gierer, 1991] GIERER, Alfred,
Die gedachte Natur; Urprung, Geschichte, Sinn und Grenzen der Naturwissenschaft,
München, Piper, 1991.
- [Gleick, 1988] GLEICK, James,
Chaos – die Ordnung des Universums: Vorstoß in Grenzbereiche der modernen Physik,
Droemer Knauer, München, 1988.
- [Goethe, 1981] VON GOETHE, Johann Wolfgang,
Faust; Der Tragödie erster Teil,
Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1981.
- [Goethe, 1984] VON GOETHE, Johann Wolfgang,
Die Metamorphose der Pflanzen,
In: Gedichte und Interpretationen 3: Klassik und Romantik,
Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1984.
- [Goethe, 1979] VON GOETHE, Johann Wolfgang, STENZEL, Gerhard (Hrsg.),
Goethes Werke in drei Bänden,
Buch und Zeit, Düsseldorf, 1979.
- [Goetz, 1982] GÖTZ, Matthias,
Schein - Design, Die Form und ihre Planung in semiotischer Sicht, Univ. Diss. Stuttgart, 1982.
- [Goldstein, 1989] GOLDSTEIN, Herbert,
Klassische Mechanik,
Aula-Verlag, Wiesbaden, 10. Aufl., 1989.
- [Gouyet, 1996] GOUYET, Jean-François,
Physics and Fractal Structures,
Springer, Berlin [u.a.], 1996.
- [Grabowski, 1988] GRABOWSKI, H., RUDE, S., GREIN, G.,
Universal Design Theory,
Shaker Verlag, Aachen, 3. Aufl., 1988.

- [Grassi, 1990] GRASSI, Ernesto,
Kunst und Mythos,
Suhrkamp Verlag, 1990, erste Aufl. ersch. b. Rowohlt, Hamburg, 1957.
- [Große, 1983] GROSSE, Wilhelm und GRENZMANN, Ludger (Hrsg.),
Klassik und Romantik,
Klettbuch Nr. 34745. Klett, Stuttgart, 1983.
- [Größer, 1991] GRÖSSER, Helmut,
Markenartikel und Industriedesign; das Stereotypik-Konzept - Ursachen, Ausprägungen, Konsequenzen,
Reihe Produktentwicklung und Industriedesign; Inst. f. Absatzwirtschaft; Univ. München, Kyrill & Method Verlag, 1991.
- [Gunzenhäuser, 1975] GUNZENHÄUSER, Rul,
Maß und Information als ästhetische Kategorien,
Baden-Baden: Agris Verlag, 1975.
- [Gunzenhäuser, 1962] GUNZENHÄUSER, Rul,
Die ästhetische Theorie G. D. Birkhoffs,
Univ. Diss., TH. Stuttgart, 1962.
- [Haeckel, 1998] HAECKEL, Ernst,
Kunstformen der Natur,
Prestel, München, New York, 1998, Neudruck aus der Erstausgabe von 1904.
- [Haken, 1987] HAKEN, Hermann,
Die Selbstorganisation der Information in biologischen Systemen aus der Sicht der Synergetik,
R. Piper, München, 3. Aufl., 1987.
- [Haken + Haken-Krell, 1992] HAKEN, Hermann und HAKEN-KRELL, Maria,
Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung: Synergetik als Schlüssel zum Gehirn,
Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1992.
- [Haken, 1992] HAKEN, Hermann,
Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken,
Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 1995.
- [Haken, 1996] HAKEN, Hermann,
Der Synergetische Computer,
in: KÜPPERS, Günter (Hrsg.), *Chaos und Unordnung*, Reclam, Stuttgart, 1996.
- [Hartmann, 1966] HARTMANN, Nicolai, *Ästhetik*
Walter de Gruyter & Co., Berlin, 2. Aufl., 1966, 1. Aufl. 1953.
- [Haug, 1971] HAUG, Wolfgang Fritz,
Kritik der Warenästhetik,
Edition Suhrkamp Nr. 513, Suhrkamp Verlag, 1. Aufl., 1971.
- [Hausdorff, 1976] HAUSDORFF, Felix,
Zwischen Chaos und Kosmos oder vom Ende der Metaphysik,
herausgegeben von Bense, Max, Agis-Verlag, Baden-Baden, 1976, zuerst unter d. Synonym Paul Mongré erschienen.
- [Hawking, 1988] HAWKING, Stephen W.,
Eine kurze Geschichte der Zeit, die Suche nach der Urkraft des Universums,
Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg, 1988.
- [Hayward, 1990] HAYWARD, Jeremy,
Die Erforschung der Innenwelt,
Scherz, 1990.
- [Hegel, 1987] HEGEL, Georg Friedrich Wilhelm,
Phänomenologie des Geistes,
Reclam-Verlag, Stuttgart, 1987, Originalausgabe von 1807.
- [Hegel, 1987] HEGEL, Georg Friedrich Wilhelm,
Ästhetik,
Reclam-Verlag, Stuttgart, 1955.
- [Hegemann, 1992] HEGEMANN, Michael,
Ästhetik und Industriedesign,
Schriftenreihe Produktentwicklung und Industriedesign, Bd. 3, Akademischer Verlag, 1992, Zugl.: München, Univ., Diss., 1992.

- [Heiden, 1996] AN DER HEIDEN, Uwe,
Chaos und Ordnung, Zufall und Notwendigkeit,
 in: KÜPPERS, Günter (Hrsg.), *Chaos und Unordnung*, Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1996.
- [Heinzmann, 1994] HEINZMANN, Richard,
Thomas von Aquin; mit ausgewählten lateinisch-deutschen Texten,
 Kohlhammer, Stuttgart; Berlin; Köln, 1994.
- [Hildebrand, 1983] HILDEBRAND, Stefan und TROMBA, Anthony,
Panoptimum, Mathematische Grundmuster des Vollkommenen,
 Spektrum Bibliothek Nr. 12, Spektrum, Heidelberg, 1983.
- [Hirschheim, 1995] HIRSCHHEIM, Rudy, KLEIN, Heinz K. und LYTTINEN, Kalle,
Information Systems Development and Data Modeling,
 Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [Hofstadter, 1985] HOFSTADTER, Douglas,
Gödel, Escher, Bach: ein endlos geflochtenes Band,
 Klett-Cotta, Stuttgart, 1985.
- [Hogarth, 1995] HOGARTH, William,
Analyse der Schönheit,
 Verlag der Kunst, Dresden u. Basel, 1995.
- [Höller, 1999] HÖLLER, Ralf,
FormFindung: architektonische Grundlagen für den Entwurf von mechanisch vorgespannten Membranen und Seilnetzen,
 Ballistier, Mähringen, 1999.
- [Holzamer, 1961] HOLZAMER, Karl,
Philosophie, Einführung in die Welt des Denkens,
 Bertelsmann-Verlag, Gütersloh, 1961.
- [Hückler, 2000] HÜCKLER, Alfred,
Einige Design-topo-logische Ansichten einer Designgeometrie, Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 12, HBK-Braunschweig, 2000, to appear.
- [Husserl, 1991] HUSSERL, Edmund,
Ding und Raum; Vorlesungen 1907,
 Meiner, Hamburg, 1991.
- [Husserl, 1993] HUSSERL, Edmund,
Arbeit an den Phänomenen; Ausgewählte Schriften,
 Fischer Taschenbuch, Frankfurt a. M., 1993.
- [Jonas, 1994] JONAS, Wolfgang,
Design-System-Theorie, Überlegungen zu einem systemtheoretischen Modell von Design-Theorie,
 Designtheorie; Bd. 3., Die Blaue Eule, Essen, 1994; zugl.: Wuppertal, Univ., Habil.-Schrift.
- [Joos, 1988] JOOS, Georg,
Lehrbuch der Theoretischen Physik,
 Aula-Verlag, 15. Aufl., 1988.
- [Kant, 1993] KANT, Immanuel,
Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können,
 Philosophische Bibliothek Bd. 40, Felix Meiner Verlag, Hamburg, 7. Aufl., 1993.
- [Kastovsky, 1982] KASTOVSKY, Dieter,
Wortbildung und Semantik,
 Schwann-Bagel, Düsseldorf [u.a.], 1982.
- [Kepler, 1982] KEPLER, Johannes,
Weltharmonik,
 Übers. von M. Caspar, Oldenbourg, München, 1982.
- [Kim, 1996] KIM, Jan Tai Tsung,
Untersuchungen zur Evolution von morphologischer und taxonomischer Diversität und Komplexität anhand von Computermodellen,
 Univ., Diss., Köln, 1996.
- [Kittel, 1989] KITTEL, Charles,
Festkörperphysik,
 R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 8. Aufl., 1989.

- [Kittler, 1989] KITTLER, Friedrich,
Fiktion und Simulation,
in: WEIBEL, Peter (Hrsg.), *Philosophien der neuen Technologien*, Merve, Berlin, 1989.
- [Klir, 1985] KLIR, George J.,
Complexity: Some General Observations,
Systems Research, Jg. 2, H. 2, 1985, S. 131-140.
- [Koomen, 1982] KOOMEN, Cornelis Jan,
A Structure Theory for Communication Network Control, a Framework for System Design,
Univ. Diss., Technische Hogeschool Delft, 1982.
- [Krippendorf, 1998] KRIPPENDORF, Klaus,
Wenn ich einen Stuhl sehe – sehe ich dann wirklich nur ein Zeichen?,
formdiskurs, Zeitschrift für Design und Theorie 5, II, 1998.
- [Kuhn, 1970] KUHN, Thomas S.,
Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen,
Suhrkamp, Frankfurt am Main, 2. Aufl., 1970.
- [Kunzmann, 1991] KUNZMANN, Peter, BURKARD, Franz-Peter und WIEDMANN Franz,
dtv-Atlas zur Philosophie,
Deutscher Taschenbuch Verlag, 6. Aufl., 1991.
- [Küppers, 1993] KÜPPERS, Bernd-Olaf,
Wenn das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile,
in: *Geo-Wissen Nr. 3/83402*, 2. Aufl., Nov. 1993, S. 28-31.
- [Küppers, 1996] KÜPPERS, Bernd Olaf,
Der semantische Aspekt von Information und seine informationstheoretische Bedeutung,
Nova Acta Leopoldina Nr. 294, 1996.
- [Küppers + Paslack, 1996] KÜPPERS, Günter und PASLACK, Rainer,
Die natürlichen Ursachen von Ordnung und Organisation,
in: KÜPPERS, Günter (Hrsg.), *Chaos und Unordnung*, Reclam, Stuttgart, 1996.
- [Küster, 1998] KÜSTER, Rolf L.A.,
Symmetrie als Entwurfsmuster,
Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 6, 1998.
- [Küster, 1998] KÜSTER, Rolf L.A.,
Ästhetische Maßtheorien,
Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 7, 1998.
- [Küster, 1999] KÜSTER, Rolf L.A.,
Birkhoff und der 3D-Scanner,
Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 8, 1999.
- [Küster, 2000] KÜSTER, Rolf L.A.,
Minimalprinzipien in Natur und Design,
Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 10, 2000.
- [Küster, 2000] KÜSTER, Rolf L.A.,
Die Formen des Virtuellen,
Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft Nr. 11, 2000.
- [Labastida, 1998] DE LABASTIDA, José Manuel Fernández,
Knoten in der Physik,
Spektrum der Wissenschaft, Oktober 1998.
- [Lederman + Schramm, 1990] LEDERMAN, Leon M. und SCHRAMM, David N.,
Vom Quark zum Kosmos, Teilchenphysik als Schlüssel zum Universum,
Spektrum Akademischer Verlag, 1990.
- [Lengyel, 1985] LENGYEL, Stefan,
Ist die Bauhauspädagogik aktuell?
Rainer Wick (Hrsg.), Köln, König, 1985.
- [Levy, 2000] LÈSVY, Pierre,
Universalität ohne Totalität,
im Internet: www.heise.de/tp/, 2000.
- [Leroi-Gourhan, 1980] LEROI-GOURHAN, A.,
Hand und Wort,
Frankfurt/M., 1980.

- [Li, 1999] LI, Leshan,
Action Theory und Cognitive Psychology in Industrial Design: User Models and User Interfaces,
Univ. Diss., HBK-Braunschweig, 1999.
- [Lindsay, 1977] LINDSAY, Peter H. und NORMAN, Donald A.,
Einführung in die Psychologie: Informationsaufnahme u. -verarbeitung beim Menschen,
Springer, Berlin Heidelberg New York, 1977.
- [Lörcher, 1972] LÖRCHER, Wolfgang,
Ästhetik als Ausfaltung der Ontologie,
Verlag Anton Hain, Meisenheim am Glan, 1972.
- [Lukács, 1972] LUKÁCS, Georg,
Ästhetik in vier Teilen: erster Teil,
Hermann Luchterhand Verlag, Darmstadt, 2. Aufl., 1972.
- [Luhmann, 1975] LUHMANN, Niklas,
Soziologische Aufklärung 2,
Opladen: Westdeutscher Verlag, 1975.
- [Luhmann, 1993] LUHMANN, Niklas,
Die Paradoxie der Form
in: Dirk Baecker (Hrsg.), *Kalkül der Form*, Suhrkamp-Verlag, Frankfurt am Main, 1. Aufl., 1993, S.
197–212.
- [Mainzer, 1994] MAINZER, Klaus und SCHIRMACHER, Walter (Hrsg.),
Quanten, Chaos und Dämonen: erkenntnistheoretische Aspekte der modernen Physik,
BI-Wiss.-Verl., Mannheim [u.a.], 1994.
- [Mainzer, 1997] MAINZER, Klaus,
Gehirn, Computer, Komplexität,
Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1997.
- [Mainzer, 1999] MAINZER, Klaus,
Computernetze und virtuelle Realität: Leben in der Wissensgesellschaft,
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1999.
- [Malecki, 1969] MALECKI, Herbert,
Spielräume: Aufsätze zur ästhetischen Aktion,
Edition Suhrkamp Nr. 333, Suhrkamp Verlag, Frankfurt a. M., 1969.
- [Mandelbrot, 1991] MANDELBROT, Benoit B.,
Die fraktale Geometrie der Natur,
Birkhäuser, Basel [u.a.], 1991.
- [Maser, 1972a] MASER, Siegfried,
Arbeitsberichte zur Bauplanung,
Karl Krämer, Stuttgart, 3. Ausgabe, 1972.
- [Maser, 1972b] MASER, Siegfried,
Einige Bemerkungen zum Problem einer Theorie des Designs,
Abhandlung nach einem am 22. 4. 1972 vor dem VDID gehaltenen Vortrag.
- [Maturana + Varela, 1987] MATURANA, Humberto R. und VARELA, Francisco, J.,
Der Baum der Erkenntnis, Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens,
Goldmann Verlag, 1987.
- [McLuhan, 1968] ARISTOTELES,
Die magischen Kanäle – «understanding media»,
Econ-Verlag, Düsseldorf und Wien, 1968.
- [Merleau-Ponty, 1976] MERLEAU-PONTY, Maurice,
Das Sichtbare und das Unsichtbare,
Übergänge Ausg. 13, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1976.
- [Merleau-Ponty, 1986] MERLEAU-PONTY, Maurice,
Die Struktur des Verhaltens,
in: Graumann, C. F. und Métraux, A. (Hrsg.), Wilhelm Fink Verlag, München, 1986.
- [Metzger, 1986] METZGER, Wolfgang,
Gestalt-Psychologie: ausgew. Werke von 1950 -1982,
Kramer-Verlag, Frankfurt/Main, 1986.

- [Metzler, 1998] METZLER, Wolfgang,
Nichtlineare Dynamik und Chaos,
Teubner, Stuttgart, Leipzig, 1998.
- [Meurer, 1994] MEURER, Bernd (Hrsg.),
Die Zukunft des Raums,
Campus-Verlag, Frankfurt a. M., 1994.
- [Miller, 1956] MILLER, George A.,
The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information,
The Psychological Review, Jg. 63, H. 2, S. 81-97, 1956.
- [Miller, 1993] MILLER, George A.,
Wörter: Streifzüge durch die Psycholinguistik,
Spektrum, Akad. Verl., Heidelberg, Berlin, New York, 1993.
- [Milsum, 1972] MILSUM, John H.,
The Hierarchical Basis for General Living Systems, herausgegeben von Klir, George J., John Wiley & Sons, New York [u.a.], 1972, S. 145-187.
- [Minsky, 1985] MINSKY, Marvin,
The Society of Mind,
Simon & Schuster Inc, New York, 1985.
- [Minsky, 1990] MINSKY, Marvin,
Mentopolis,
Klett-Cotta, Stuttgart, 1. Aufl., 1990.
- [Mohapatra, 1992] MOHAPATRA, Rabindra N.,
Unification and Supersymmetry. The Frontiers of Quark-Lepton-Physics,
Springer, New York [u.a.], 1992.
- [Moles, 1971] MOLES, Abraham A.,
Informationstheorie und ästhetische Wahrnehmung,
DuMont, Schauberg, Köln, 1971.
- [Monod, 1971] MONOD, Jaques,
Zufall und Notwendigkeit,
R. Piper, München, 1971.
- [Montaigne, 1998] DE MONTAIGNE, Michel,
Essais,
erste mod. Gesamtübers. von Hans Stilett, Eichborn, Frankfurt a. M., 1998.
- [Mostow, 1985] MOSTOW, J,
Toward Better Models of the Design Process, *AI Magazine* 6(1) Aufl., 1985, S. 44, zitiert in: Grady [Booch].
- [Müller, 1995] MÜLLER, A. M. Klaus,
Diesseits und Jenseits der Wissenschaft,
TU Braunschweig, 1995.
- [Nees, 1995] NEES, Georg,
Formel, Farbe, Form: Computerästhetik für Medien und Design
Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 1. Aufl., 1995.
- [Nelson, 1965] NELSON, George,
Problems of Design,
Whitney Publications Inc., New York, Aufl., 1965.
- [Newell, 1972] NEWELL, Allen und SIMON, Herbert A.,
Human Problem Solving,
Prentice Hall, New York, 1972.
- [Norman, 1989] NORMAN, Donald A.,
Dinge des Alltags: gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände,
Campus-Verlag, Frankfurt/Main, New York, 1989.
- [Otto, 1987] OTTO, Frei (Hrsg.),
Seifeblasen - Forming Bubbles,
IL 18, Inst. f. leichte Flächentragwerke, Stuttgart, 1987.

- [Otto + Bach, 1988] OTTO, Frei und BACH, Klaus,
Form,
 Form-Kraft-Masse Nr. 22, Inst. f. leichte Flächentragwerke, Stuttgart, 1988.
- [Otto, 1992] OTTO, Frei et. al.,
Konstruktion – Structure,
 Form-Kraft-Masse Nr. 23, Inst. f. leichte Flächentragwerke, Stuttgart, 1992.
- [Park, 1994] PARK, June H.,
Design als Sinnkonstruktion: eine systemtheoretische Skizze des Design; ein Beitrag zur Kunst- und Medienwissenschaft,
 HBK Braunschweig, Univ., Diss., 1994.
- [Paul, 1990] PAUL, Jean,
Vorschule der Ästhetik,
 Henckmann, Wolfhard (Hrsg.), Felix Meiner, Hamburg, 1990.
- [Pfuetze, 1997] PFUETZE, Hermann,
Ästhetik und Naturerfahrung,
 herausgegeben von Jörg Zimmermann, Frommann-Holzboog, Stuttgart Bad Cannstatt, 1996.
- [Platon, 1993] PLATON, Reich, Klaus (Hrsg.),
Menon,
 Felix Meiner Verlag, Hamburg, 1993.
- [Popper, 1994] POPPER, Karl R.,
Logik der Forschung
 Mohr, Tübingen, 10. Aufl., 1994.
- [Postman, 1985] POSTMAN, Neil,
Wir amüsieren uns zu Tode, Urteilsbildung im Zeitalter der Unterhaltungsindustrie,
 S. Fischer Verlag, Frankfurt a. M., 3. Aufl., 1985.
- [Prigogine, 1992] PRIGOGINE, Ilya,
Vom Sein zum Werden; Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften,
 Piper, 6. Aufl., 1992.
- [Prigogine, 1998] PRIGOGINE, Ilya,
Die Gesetze des Chaos,
 Insel Verlag, Frankfurt am Main und Leipzig, 1998.
- [Prusinkiewicz + Lindenmayer, 1990] PRUSINKIEWICZ, P. und LINDENMAYER, A.,
The Algorithmic Beauty of Plants,
 Springer, New York [u.a.], 1990.
- [Quibeldey-Cirkel, 1994] QUIBELDEY-CIRKEL, KLAUS,
Objektorientierung als methodisch-operativer Ansatz zur Erstellung und Integritätssicherung von VLSI-Weltmodellen,
 Univ. Diss., Marburg, 1994.
- [Recki, 1996] RECKI, Birgit,
Das produktive Leben: über die ästhetische Faszination der Natur,
 in: *Ästhetik und Naturerfahrung*, herausgegeben von Jörg Zimmermann, Frommann -Holzboog, Stuttgart - Bad Cannstatt, 1996.
- [Richter, 1984] RICHTER, Karl,
Wissenschaft und Poesie „auf höherer Stelle“ vereint. Goethes Elegie Die Metamorphose der Pflanzen,
 In: *Gedichte und Interpretationen 3: Klassik und Romantik*, Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1984.
- [Richter + Scholz, 1987] RICHTER, Peter H. und SCHOLZ, Hans Joachim,
Der Goldene Schnitt in der Natur
 R. Piper, München, 3. Aufl., 1987.
- [Rittel, 1972] RITTEL, Horst W. J.,
Der Planungsprozeß als iterativer Vorgang von Varietätserzeugung und Varietätseinschränkung,
 in: [Maser, 1972a], S. 17–32.
- [Rittel, 1992] RITTEL, Horst W. J.,
Planen Entwerfen Design,
 Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 1992.
- [Ritzer, 1993] RITZER, George,
The McDonaldisation of Society,
 1993.

- [Romero-Tejedor + Boom, 1999] ROMERO-TEJEDOR, Felicidad und VAN DEN BOOM, Holger, *Systemtopologie: Vom Konzept zum Entwurf: über eine Schwierigkeit in der Designdidaktik, Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft* Nr. 8, 1999.
- [Romero-Tejedor, 1999] ROMERO-TEJEDOR, Felicidad, *Der Begriff der Topologie nach Jean Piaget und seine Bedeutung für den Designprozeß, Öffnungszeiten. Papiere zur Designwissenschaft* Nr. 9, 1999.
- [Ropohl, 1979] ROPOHL, Günter, *Eine Systemtheorie der Technik: zur Grundlegung d. allg. Technologie*, Hanser, München und Wien, 1979.
- [Rosen, 1995] ROSEN, Joe, *Symmetry in Science. An Introduction to the General Theory*, Springer, New York [u.a.], 1995.
- [Sachsse, 1974] SACHSSE, Hans, *Kybernetik*, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 1974.
- [Sartre, 1992] SARTRE, Jean Paul, *Drei Essays*, Ullstein Buch Nr. 304, Ullstein, 1992.
- [Saunders, 1986] SAUNDERS, Peter Timothy, *Katastrophentheorie*, Vieweg, Braunschweig, 1986.
- [Schefe, 1991] SCHEFE, Peter *Künstliche Intelligenz*, BI-Wiss.-Verl., Mannheim [u.a.], 1991.
- [Schelling, 1957] SCHELLING, F.W.J., *System des transzendentalen Idealismus*, Ph. B. Bd. 254, Hamburg, 1957.
- [Schmidt, 1996] Siegfried J. SCHMIDT, in *formdiskurs*, 1/1996.
- [Schürer, 1968] SCHÜRER, A., *Der Einfluß produktbestimmender Faktoren auf die Gestaltung*, Univ. Diss., Hannover, 1968.
- [Schubert, 1998] SCHUBERT, Martin, *Philosophie der Botanik: naturphilosophische und wissenschaftstheoretische Untersuchungen zur Morphologie und Physiologie der Pflanzen*, Spektrum Philosophie; Bd. 11. Ergon-Verlag, Würzburg, 1998.
- [Shannon + Weaver, 1976] SHANNON, Claude E. und WEAVER, Warren, *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*, R. Oldenbourg-Verlag, München, Wien, 2. Aufl., 1976.
- [Seel, 1991] SEEL, Martin, *Eine Ästhetik der Natur*, Suhrkamp, Frankfurt a. M., 1991.
- [Seidel, 1977] SEIDEL, Friederich, *Morphogenese der Tiere*, Fischer, Stuttgart, New York, 1977.
- [Simon, 1982] SIMON, Herbert, *The Sciences of the Artificial* MIT Press., 2. Aufl., 1982.
- [Simon, 1990] SIMON, Herbert, *Die Wissenschaft vom Künstlichen* Kammerer und Unverzagt, Berlin, 1990.
- [Sommer, 1993] SOMMER, Volker, *Das schöpferische Spiel*, in: *Geo-Wissen* Nr. 3/83402, 2. Aufl., Nov. 1993.
- [Spencer-Brown, 1994] SPENCER-BROWN, George, *The Laws of Form*, Cognizer, Portland. Or., 1994.
- [Spencer-Brown, 1997] SPENCER-BROWN, George, *Laws of Form, Gesetze der Form*, Bohmeier Verlag, Lübeck, 1997.

- [Stanley, 1973] STANLEY, S. M.,
An Ecological Theory for the Sudden Origin of Multicellular Life in the Late Precambrian,
 Proc. Natl. Acad. Sci 70, 1973, S. 1486-1489.
- [Stevens, 1988] STEVENS, P. S.,
Formen in der Natur,
 Oldenbourg, 1988.
- [Stonier, 1992] STONIER, Tom,
Information and the internal Structure of Nature,
 1992.
- [Stonier, 1997] STONIER, Tom,
Information and Meaning : an Evolutionary Perspective,
 Springer, London [u.a.], 1997.
- [Tarassow, 1993] TARASSOW, Lew,
Symmetrie, Symmetrie! Strukturprinzipien in Natur und Technik,
 Spektrum, Heidelberg, 1993.
- [Teichmann + Wilke, 1996] TEICHMANN, Klaus und WILKE, Joachim, (Hrsg.).
Prozeß und Form ‚Natürlicher Konstruktionen‘,
 Ernst und Sohn, Berlin, 1996.
- [Teuber, 1999] TEUBER, Martin,
Die Urbanität der virtuellen Gesellschaft,
 Magisterarbeit; HBK-Braunschweig, 1999.
- [Thom, 1983] THOM, René,
Mathematical Models of Morphogenesis,
 series on mathematics and its applications, R.Thom/Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1983.
- [Thomson, 1973] THOMSON, D'Arcy Wentworth,
Über Wachstum und Form,
 Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft Nr. 410, Frankfurt a.M., 1973.
- [Schulz v. Thun, 1981] SCHULZ VON THUN, Friedemann,
Miteinander reden, Störungen und Klärungen; Allgemeine Psychologie der Kommunikation,
 Rowohlt, 1981.
- [Tugenthat + Wolf, 1883] TUGENTHAT, Ernst und WOLF, Ursula,
Logisch-semantische Propädeutik,
 Universal Bibliothek Nr. 8206 (3). Philipp Reclam jun., Stuttgart, 1883.
- [Uexküll, 1970] VON UEXKÜLL, Jakob und KRISZAT, Georg,
Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen; Bilderbuch unsichtbarer Welten,
 S. Fischer Verlag, Stuttgart, 1970.
- [Uexküll, 1973] VON UEXKÜLL, Jakob,
Theoretische Biologie,
 Suhrkamp, Stuttgart, 1973.
- [Ulbricht, 1994] ULBRICHT, Kurt,
Über Katastrophentheorie und Anwendungen,
 Universitätsdruckerei, Neubiberg bei München, 1994.
- [Ursprung, 1982] URSPRUNG, Heinrich W.,
Die elementare Katastrophentheorie: eine Darstellung aus Sicht der Ökonomie,
 Lektüre Notes in Economics und Mathematical Systems Nr. 195, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,
 New York, 1982.
- [Vetter, 1998] VETTER, Max,
Objektmodellierung: eine Einführung in die objektorientierte Analyse und das objektorientierte Design
 Teubner, Stuttgart, 2. Aufl., 1998.
- [Vico, 1970] VICO, Giambattista,
Principj di una Scienza Nuova d'intorno alla Comune Natura delle Nazioni, unveränderter Nachdruck
 der Originalausgabe von 1859; erste Aufl. 1724, Nationales Druckhaus VOB National, Leipzig, 1970.
- [Vico, 1991] VICO, Giambattista,
Prinzipien einer neuen Wissenschaft über die gemeinsame Natur der Völker,
 zitiert in: [Kunzmann, 1991, S. 131].

- [Vollmer, 1994] VOLLMER, Gerhard, *Evolutionäre Erkenntnistheorie*, S. Hirzel, Stuttgart, 6. Aufl., 1994.
- [Vollmer, 1995] VOLLMER, Gerhard, *Auf der Suche nach der Ordnung: Beiträge zu einem naturalistischen Welt- und Menschenbild*, S. Hirzel, Stuttgart, 1995.
- [Weaver, 1948] WEAVER, Warren, *Science and Complexity*, American Scientist, Jg. 36, 1948, S. 536–544.
- [Weber, 1984] WEBER, Jürgen, *Gestalt, Bewegung, Farbe: Kritik der reinen Anschauung*, Westermann, Braunschweig, 3. Aufl., 1984, erste Aufl. 1975.
- [Weber, 1994] WEBER, Olaf, *Die Funktion der Form: Architektur und Design im Wandel*, Kovac, Hamburg, 1994.
- [Weibel, 1989] WEIBEL, Peter (Hrsg.), *Territorium und Technik*, Merve, ARS ELEKTRONICA, Berlin, 1989.
- [Weinberg, 1971] WEINBERG, Gerald M., *The Psychology of Computer Programming*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1971.
- [Weizsäcker, 1995] WEIZSÄCKER, Carl Friedrich von, *Diesseits und Jenseits der Wissenschaft*, TU Braunschweig in: [Müller, 1995].
- [Weyl, 1955] WEYL, Hermann, *Symmetrie*, Reihe Wissenschaft und Kultur Nr. 11, Birkhäuser, Basel, 1955.
- [Wiener, 1961] WIENER, Norbert, *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* M.I.T. Press and John Wiley Inc., New York, London, 2. Aufl., 1961.
- [Wilber, 1986] WILBER, Ken (Hrsg.) *Das holographische Weltbild: Wissenschaft und Forschung auf dem Weg zu einem ganzheitlichen Weltverständnis*, Scherz, 1986.
- [Wirfs-Brock, 1990] WIRFS-BROCK, Rebecca, WILKERSON, Brian und WIENER, Lauren, *Designing Object-Oriented Software*, Prentice-Hall, 1990.
- [Wisner, 1985] WISNER, Beat, *Mondrians ästhetische Utopie*, LIT-Verl., Baden, 1985.
- [Woodcock + Poston, 1985] WOODCOCK, A. E. R. und POSTON, T., *A Geometrical Study of the Elementary Catastrophes*, Lecture Notes in Mathematics. Springer-Verlag, Berlin [u.a.], 1985.
- [Zee, 1993] ZEE, Anthony, *Magische Symmetrie. Die Ästhetik in der modernen Physik*, Insel, Frankfurt a. M., 1993.
- [Zeeman, 1980] ZEEMAN, Eric C., *Catastrophe Theory : Selected Papers*, Addison-Wesley, London, 1980.
- [Zeleny, 1979] ZELENY, Milan, *Autopoiesis, Dissipative Structures and Spontaneous Social Orders*, American Association for the Advancement of Science, 1979.
- [Zeleny, 1981] ZELENY, Milan, *Autopoiesis: A Theory of Living Organisation*, The North-Holland series in general systems research. North-Holland Publ. Co., 1981.
- [Zemanek, 1992] ZEMANEK, Heinz, *Das geistige Umfeld der Informationstechnik*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1992.

Abbildungsverzeichnis

Nicht anders bezeichnete Abbildungen sind vom Verfasser fotografiert bzw. erstellt. In der elektronischen Version dieser Dissertation wurden die Abbildungen aus technischen Gründen komprimiert.

1.1	Die drei Komponenten eines Problems nach DOERNER in der Darstellung von [Quibeldey-Cirkel, 1994].	12
1.2	Neun-Punkte-Problem nach [Doerner, 1979]	13
1.3	Flußdiagramm: Try and Error	14
1.4	Entwurfsprozeß als Regelsystem nach [Armkreutz, 1976]	15
1.5	Informationsmodell nach [Shannon + Weaver, 1976, S. 68]	16
1.6	Iteratives Planungsmodell nach [Rittel, 1992, S. 83]	17
1.7	Das Artefakt zwischen innerer und äußerer Umgebung.	18
1.8	Die Artefaktform und ihre Gegenform – der Mensch – in schematischer Darstellung.	19
1.9	Wissenschaftliche Disziplinen im Formkontext	21
1.10	Aspekte der Produktnachricht nach [Schulz von Thun, 1981]	23
1.11	Gesetze des Formkalküls nach [Spencer Brown, 1994]	24
1.12	Form nach [Spencer Brown, 1994]	25
1.13	Herleitung des physikalischen Raums aus der Symmetrie des logischen Atoms bei [Müller, 1995].	27
1.14	Elementarteilchen aufgebaut aus Uren in der Darstellung von [Müller, 1995].	27
1.15	Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Wo fängt sie an? Wo hört sie auf?	29
1.16	Informationsaustausch zwischen Form und Umwelt	31
2.1	Design Co-ordination Framework nach [Andreasen, 1988]	37
2.2	Designproblem nach [Alexander, 1964]	38
2.3	Fitting, Form und Kontext bilden ein Artefakt.	39
2.4	Komplexitätsbegriff nach [Flood, 1987]	39
2.5	Zwei mögliche Konfigurationen für ein Kommunikations-System nach [Flood, 1987b, S. 177-185]	40
2.6	Pyramidale Hierarchie eines komplexen Systems	41
2.7	System-Hierarchie nach [Milsom, 1972]	42
2.8	Komplexität als Komponente einer Information	43
2.9	Variation der effektiven Komplexität mit dem <i>AIC</i> nach [Gell-Mann, 1995].	44
2.10	Komplexität von Sender und Empfänger nach [Küppers, 1996]	45
2.11	Funktionsweise eines komplexen adaptiven Systems nach [Gell-Mann, 1995]	46
3.1	Reduktion der Schnittstellenkomplexität.	49
3.2	Komplexitätsreduktion: Darstellung der thermodynamischen Zustandsfunktionen bei [Adam + Hittmair, 1992, S. 46]	50

3.3	Allgemeine Ordnungswissenschaft nach Michel [Foucault, 1999, S. 108]	51
3.4	Kreislauf des objektorientierten Entwurfs nach Grady [Booch, 1994].	55
3.5	Trotz sehr unterschiedlicher Formen werden diese Strukturen schnell der Klasse der Blumen zugeordnet.	56
3.6	Wilhelm Busch: Plisch und Plum, aus: Wilhelm Busch; die schönsten Geschichten für die Jugend, Südwest-Verlag, München, 1974	65
3.7	Tintenklecks zum projektiven Rorschach-Test.	66
3.8	Hysterese und Wahrnehmung.	68
3.9	Multistabilität der Wahrnehmung. Aus: [Haken + Haken-Krell, 1992].	68
3.10	Musterbildung und Mustererkennung als selbstreferenter Prozeß bei [Haken + Haken-Krell, 1992].	68
3.11	Beispiele für Prägnanz nach [Haken + Haken-Krell, 1992]	69
4.1	Die Entstehung des Gegenstandes aus Stoff und Form.	73
4.2	Einfaches Beispiel zu Potenz und Akt.	74
5.1	Buridans Esel	83
5.2	Differenzierung zwischen den Naturkräften im kosmologischen Standardmodell nach [Barrow, 1997]	84
5.3	Massenpunkt in verschieden stabilen Potentialen.	85
5.4	Sich selbst verstärkende (a) und vernichtende (b) Schwingungsformen (Interferenz).	86
5.5	Ordnung im Chaos: aus einer Zufallsfolge entstandenes Muster.	88
5.6	Darstellung der Mandelbrotmenge	90
5.7	Fraktale Strukturen in Holz.	91
5.8	Axiales Wachstum eines Baums nach [Prusinkiewicz + Lindenmayer, 1990]	92
5.9	Konstruktion einer triadischen Kochkurve aus Initiator und Generator nach [Prusinkiewicz + Lindenmayer, 1990].	92
5.10	Fraktale Strukturen erhalten aus einem Experiment mit Glasplatten und Flüssigkeit.	93
5.11	Kochbaum und Dolden der Schafgarbe <i>Achilléa millefólium</i>	93
5.12	Fraktale Strukturen in Wirsingkohl.	94
5.13	Ausdifferenzierung von fraktalen Formen in Sand.	94
5.14	Ljapunov-Diagramm [ADI, 1998]	95
5.15	Ljapunov-Diagramm [ADI, 1998]	95
5.16	Fünzfählige Symmetrie im PENROSE-Muster, dessen zwei Rhomboeder Diagonalen im Verhältnis des Goldenen Schnittes besitzen.	96
5.17	Computertomografie eines Gehirns und Bild einer Walnuß	100
6.1	Minimalfläche in einer Kontur.	104
6.2	Seifenblasen bilden Minimalflächen.	104
6.3	Minimalflächen in einem Schaum aus Seifenblasen.	105
6.4	Struktur aus Seifenblasen.	105
6.5	Brachistochronenproblem und minimale Rotationsfläche bei [Goldstein, 1989]	105
6.6	Minimalfläche aus drei Blasen nach [Otto, 1992]	106
6.7	Problembeispiel: Parkettierung von Flächen	107
6.8	Durch die Funktion bedingte Minimalflächenformen (links) und ästhetische Minimalflächenform (rechts).	110
6.9	Wasserwellen bilden dynamische Minimalflächen.	110
6.10	Kartesische Transformation nach D'Arcy [Thompson, 1973, S. 361]	119
6.11	Drei Kurven A, B und C auf der Oberfläche eines Torus.	119

6.12	Topologische Äquivalenz zwischen Ring und Tasse nach [Romero + Boom, 1999].	119
6.13	Knoten (sog. Kleeblattschlinge) und Kreisrand.	120
6.14	Hifi-Verstärker (Telefunken RA 200)	123
6.15	Beispiel zur Entwurfs-Evolution: Methodenentwicklung in der Informatik bei [Quibeldey-Cirkel, 1994, S. 147].	125
6.16	Produkt-Generationsprozeß nach Grady [Booch, 1994].	126
6.17	Evolution des Entwurfsprozesses nach [Armkreutz, 1976]	127
6.18	Schematische Darstellung eines Entwurfsautomaten.	127
7.1	Ideale Grundformen, Polyaxonie und homopole Grundformen. Tafel II aus <i>Generelle Morphologie der Organismen</i> , Bd. 1, 1866 in: [Haeckel, 1998] . . .	129
7.2	Formbildung durch Evolution.	132
7.3	Textstruktur (a) in linearer Form und (b) in nichtlinearer Form bei einem Hypertext nach [Mainzer, 1999].	137
7.4	Dichotomie – Zweiteilung von Pflanzensprossen; der Haupttrieb teilt sich in zwei gleichstarke Nebentriebe.	139
7.5	Artefaktformen: Auto (Smart) und Kanal.	140
7.6	Naturformen und Artefaktformen als Mengen	142
8.1	Ästhetische Kommunikation nach [Bense, 1969]	149
8.2	Ästhetizität in Abhängigkeit von Komplexität und Ordnung in schematischer Darstellung.	151
8.3	Konstruktion nach der Methode von G. D. BIRKHOFF aus: [Garnich, 1968].	152
8.4	Homogene Güter erscheinen in heterogenen Verpackungen. Zugleich ist dies ein Beispiel für die Evolution der Warenform.	155
8.5	Evolution der Warenform in drei beispielhaften Stationen des Radios. . . .	156
9.1	Der Designer transformiert bestehende Zustände in erwünschte.	163
9.2	Anforderungen an das Design als Mengendiagramm.	164
9.3	Varietätszerzeugung und Varietätsreduktion nach [Rittel, 1992]	165
9.4	Darstellung einer Sequenz von <i>constraints</i> innerhalb eines genotypischen Potentials, das dazu dient, phänotypische Vielfalt zu erzeugen nach BROOKS und O'GRADY in: [Brooks, 1988].	166
9.5	Semiotisches Dreieck nach [Scheffe, 1991]	168
9.6	Die vier möglichen Systembetrachtungen adaptiert nach BURREL, MORGAN in [Hirschheim, 1995, S. 48] sowie [Wilber, 1999]	169
9.7	Markenzeichen als Designklassiker. Sie sind durch innere Geschlossenheit, Minimalflächen bzw. Minimalgrenzen, Selbstähnlichkeit und leicht gebrochene Symmetrien bzw. ein festes Verhältnis zwischen Symmetrie und deren Brechung gekennzeichnet.	177