

IV. DISKUSSION – FORTFÜHRUNG DER SCHRIFT INS DYNAMISCHE

1. Erweiterter Schriftbegriff

1.2 Prinzip der Verschriftung

Daß Schrift aufgrund ihrer mnemotechnischen Funktion ein Hilfsmittel der Wissenschaften ist, steht außer Frage. Die Auffassung, daß Schrift jedoch aufgrund ihrer systematisierenden Funktion Voraussetzung der Wissenschaften ist, wird kontrovers diskutiert. Dabei stellt sich die Frage, ob Schrift eine notwendige Voraussetzung der Logik wie der induktiven und deduktiven Beweisführung der Wissenschaften ist.¹ Billigt man der Schrift, wie dies in der Linguistik auf Anraten Ferdinand de Saussures geschah,² nur den Status eines abgeleiteten Zeichensystems zu, so muß sich jede Analyse metasprachlicher Funktionen wie logischer oder grammatischer Strukturen auf die Sprache selbst richten. Doch, so die These Florian Coulmas, „*Schrift ist Sprachanalyse*“³, auch wenn metasprachliche Funktionen nicht von der Schrift abhängig seien, so begünstige sie diese doch entscheidend. Die Schrift läßt sich also nicht so leicht als Supplement – als Abbild der Rede – abtun, denn bereits an ihrer historischen Entwicklung vom Piktogramm zum Alphabet ist der zunehmende Abstraktionsgrad gegenüber der Erfassung von Sprache ablesbar und verweist auf einen, der Schrift inhärenten Umgang mit den sprachlichen Entitäten. Die Schrift, als Wortschrift, Silbenschrift oder Lautschrift konzipiert, ist bereits ein Produkt sprachlicher Analysen.⁴ Erst der selbstverständliche Umgang mit einer spezifischen Schriftform wie dem Alphabet läßt diese als Abbild der Sprache erscheinen. Doch dieser Schein trägt. *„Sprache sichtbar machen, heißt, Einheiten der Sprache als solche zu identifizieren und sie somit aus dem instrumentellen Zusammenhang ihres Gebrauchs herauszulösen und der Reflexion zugänglich zu machen. ... In Schrift ist also, um diese ihre Eigenschaft auf einen Begriff zu bringen, nicht nur die*

¹ Marshall McLuhan, Jack Goody und David Ohlson vertreten diese Meinung. McLuhan, M.: *The Gutenberg Galaxy*, 1962; Goody, J.: *The consequences of literacy*, 1968; Ohlson, D.: *From utterance to text: the bias of language in speech and writing*, 1977

² „*Sprache und Schrift sind zwei verschiedene Systeme von Zeichen; das letztere besteht nur zu dem Zweck, um das erstere darzustellen. ... Aber das geschriebene Wort ist so eng mit dem gesprochenen, dessen Bild es ist, verbunden, daß es mehr und mehr die Hauptrolle für sich in Anspruch nimmt.*“ Saussure, F. de.: *Grundlagen der Allgemeinen Sprachwissenschaft*, 1967, S. 28. Die Schrift dient lediglich als Abbild der Rede und wird im Rahmen sprachwissenschaftlicher Untersuchungen als unwichtig eingestuft. Dies impliziert jedoch die Voraussetzung, daß Lautstruktur und Schriftstruktur isomorph sind. Vgl. Coulmas, F.: *Über die Schrift*, 1981, S. 23ff

³ Coulmas, 1981, S. 25

⁴ Die Idee Sprache mit Wortschriften, Silbenschriften oder Lautschriften zu repräsentieren basiert auf unterschiedlichen Prinzipien, die der jeweiligen Schrift inhärent sind, nicht unbedingt der Sprache. Allerdings begünstigen manche Sprachen spezifische Schrifttypen, wie beispielsweise das Chinesische – eine isolierende Tonsprache, die keine flektierende Sprache ist – die Wortschrift.

*flüchtige Rede, sondern auch Sprachbewußtsein aufgehoben.*⁵ Für den Zusammenhang zwischen Alphabetschrift und Wissenschaft ist zum einen die Verdinglichung der Sprache durch Schriftzeichen von Bedeutung, sowie deren Speicherfunktion wie Vervielfältigbarkeit; zum anderen die Verwendung endlich vieler, diskreter Zeichen, die Linearität der Zeichenabfolge und die Möglichkeit beliebige graphische Konfigurationen als Symbole für Begriffe oder Operationen einzuführen. Ein Schriftsystem kann unabhängig von seiner phonographischen Funktion verwendet werden und die Wissenschaften nutzen diese Möglichkeit auf vielfältige Weise, indem sie Schriftzeichen zur Generierung von Kodes, Notationen, Formeln, Listen oder Kalkülen einsetzen.

Welches Schriftverständnis liegt dieser Verwendungsvielfalt zugrunde? Denkt man Schrift nur von der Sprache her, läßt sich das umfangreiche Spektrum der Schriftverwendung nicht erfassen. Der Begriff der Schrift muß also wesentlich weiter gefaßt und unabhängig von einer einzigen Funktion, nämlich der Transkriptionsfunktion der Rede, gedacht werden. Es ist jedoch auch nicht damit getan, Schrift auf die Erzeugung *gewisser* graphischer Konfigurationen zu beschränken und die Sichtbarmachung als ihr Geschäft zu verstehen. Denn die Antwort auf die Frage, was da sichtbar gemacht wird, kann nur lauten: Schriftzeichen. Schriftzeichen, welche in einer zu bestimmenden Weise Bezug nehmen auf etwas. Diese Erklärung wäre jedoch selbstbezüglich und wenig aufschlußreich, denn sie würde in Abhandlungen über die Art der Bezugnahme, aber nicht über das Typische der Schrift enden. Ginge es nur um die Sichtbarmachung der Rede, so könnte man das Zustandekommen von ideographischen Zeichen wie Zahlzeichen – Symbole, die mit Namen belegt sind, um aussprechbar zu sein⁶ – nicht erklären, da Ziffern und viele andere Symbole nur indirekt die Rede von ihnen bezeichnen. Zudem bereitet es Schwierigkeiten, den vagen Ausdruck *gewisse* durch vergleichende Eigenschaftsbestimmungen zu definieren.

Was unterscheidet Schrift von anderen Symbolsystemen wie beispielsweise Bildern? Hier erweist sich Nelson Goodmans Symboltheorie als hilfreich, da verschiedene Symbolsysteme anhand ihrer syntaktischen Eigenschaften bezüglich ihres Symbolschemas unterschieden werden: im Falle von Schrift und Bild die syntaktische Disjunktheit und Differenziertheit der Schrift und die syntaktische Dichte der Bilder.⁷ Diese Kennzeichnung ist bereits so universell, daß sie sich mühelos auf diskrete Zustände verallgemeinern läßt, wobei in Goodmans Symboltheorie die Visualität der Schrift oder der Bilder als

⁵ Coulmas, 1981, S. 30

⁶ Das Zahlzeichen 2 ist nur über seine Namen aussprechbar: *zwei, due, two* etc.

⁷ Schrift und Bild unterscheiden sich laut Nelson Goodman vor allem bezüglich ihres Symbolschemas, weniger durch ihre Semantik. Bilder sind syntaktisch dichte Zeichensysteme, Schriften syntaktisch disjunkte und differenzierte. Vrgl. Goodman, N.: Sprachen der Kunst, 1995, S. 125ff

gegeben vorausgesetzt wird. Die Situation ist also kompliziert, und die Frage – Was ist Schrift? – ist neu zu stellen. Neu deshalb, da einerseits der erweiterte Anwendungsbereich der Schrift in den Wissenschaften über unser Sprach- und Alltagsverständnis von Schrift hinausführt, andererseits, da das augenfälligste Kennzeichen, die Visualität im Sinne von Sichtbarmachen immer ein Sichtbarmachen von etwas ist und von daher für bestimmte Schriftverwendungen problematisch ist. Die Frage also müßte lauten: Was ist das Prinzip der Verschriftung?

In einem allgemeinen Verständnis ist Schrift das Setzen von Marken, die typischerweise visuell realisiert sind. Und noch allgemeiner kann das Prinzip der Schrift als das Setzen von Marken bezeichnet werden, die diskret und voneinander wohlunterscheidbar sind. Solche Marken können abgeschlossene graphische Konfigurationen sein oder elektrisch realisierte, voneinander unterschiedene Maschinenzustände. Die Eigenschaft *diskret* bezieht sich dann entweder auf die graphische Abgeschlossenheit der Zeichen oder auf die eindeutige Unterscheidbarkeit elektrischer Zustände. Die Wohlunterscheidbarkeit ist in Bezug auf graphische Konfigurationen eine Erkenntnisleistung des Betrachters, in Bezug auf elektrische Zustände eine an die Maschine delegierte Identifikationsleistung, die sich aus der Ausführbarkeit der Zustände ergibt.⁸ Schrift in diesem Sinne verstanden ist so weit gefaßt, daß der Einwand erhoben werden könnte: alles was nicht als kontinuierlicher Zusammenhang erfaßbar wäre, sei Schrift, denn das Typische wäre die Darstellungsweise mit diskreten Entitäten, wie auch immer diese Entitäten beschaffen wären. Dieser Einwand ist insofern zutreffend, als er den immens erweiterten Anwendungsbereich der Schrift widerspiegelt. Denn auch wenn ein System diskreter Entitäten kein Schriftsystem sein muß, kann es dennoch mit einem belegt werden, ohne dabei lesbare Sinnzusammenhänge zu artikulieren. Das Prinzip der Schrift - die Darstellungsweise diskreter Entitäten - entwickelt sich in diesem allgemeineren Verständnis zum Kode, dessen diskrete Symbole Bezug nehmen auf andere Zeichen, Objekte oder Zustände. Als Beispiele ließen sich der genetische Kode und der Morse-Kode anführen: Während die Zeichen des genetischen Kodes Bezug nehmen auf isolierte chemische Substanzen, referieren die Zeichen des Morse-Kodes - Kombinationen aus Strichen und Punkten - auf die Buchstaben des Alphabets. Entscheidend ist jedoch, daß diskrete Entitäten auf diskrete Entitäten abgebildet werden und daß das Prinzip der Verschriftung verwendet wird, um einen Bereich entsprechend zu strukturieren und zu kennzeichnen. Da die Ordnung eines Kodes über eine konventionell festgesetzte Zuordnung Zeichen für Zeichen geschieht, kann ein Kode auch als ein Notationssystem im Sinne Goodmans verstanden werden.⁹ Schrift läßt sich also in einem notierenden

⁸ Ist die Wohlunterscheidbarkeit nicht gewährleistet, kann die Maschine also eine Zustand nicht eindeutig identifizieren, so kommt sie umgehend zum Stillstand.

⁹ „Kurz, die von einem Notationssystem geforderten Eigenschaften sind Eindeutigkeit, syntaktische und semantische Disjunktivität und Differenzierung.“ Goodman, 1995, S. 150

Sinne verwenden. Die einzelnen Zeichen werden dabei zu ideographischen Symbolen, deren phonographische Realisierung indirekt über die Benennung der Symbole mit Namen erfolgen kann. Doch das Prinzip der Schrift erlaubt darüber hinaus die Erfassung eines weiteren Phänomens, das sich aus der Emanzipation der Schrift von der Sprache ergibt, nämlich der formalen Verwendung von Schriftzeichen. Buchstaben, also phonographische Zeichen, oder jede beliebigen diskreten, wohlunterscheidbaren Konfigurationen - Zeichen oder Zustände - können in einem formalen System verwendet werden. Das Charakteristische dabei ist, daß das formale System nicht bezeichnet oder notiert. Es kann zwar auf einen Objektbereich interpretativ angewandt werden, doch es besteht auch ohne diese Anwendung als ein eigenständiges Zeichensystem. In einem formalen System verschiebt sich die Verwendungsweise von einer symbolisierenden auf eine operierende, insofern einige Zeichen, nämlich Operationszeichen, an intrasymbolischer Bedeutung gewinnen. Die Rede von der Formalisierung bezieht sich auf die formale Verwendungsweise der Variablenzeichen, die beliebig interpretiert werden können oder eben nicht.¹⁰ Operationszeichen hingegen besitzen im Rahmen eines Zeichensystems eine definierte Bedeutung. Sie sind ideographische Zeichen, die weder Wörter, noch Objekte bezeichnen, sondern eindeutig regelbasierte Operationen symbolisieren.¹¹

Formale Zeichensysteme wie in der Algebra oder der formalen Logik verwendet, lassen sich daher als *Operationsschriften* verstehen. Sie sind keine Begriffsschriften, die von der Bedeutung, Klassifikation oder Struktur von Begriffen handeln, sondern sie artikulieren den operativen Umgang mit Zeichen. Als Operationsschriften lassen sie sich algorithmisieren, insofern sich die Operationen in schrittweise auszuführende Instruktionen übersetzen lassen. Zusammenfassend bedeutet die Emanzipation der Schrift von der Sprache die Eröffnung neuer Verwendungsweisen wie die notierende oder die formal-operative. Indem zum einen von der phonographischen Funktion der Schrift und damit von ihrer direkten Lesbarkeit und zum anderen von ihrer ausschließlich visuellen Realisierung abstrahiert wird, erhält man einen Schriftbegriff, der wesentlich weiter gefaßt ist und auf das Prinzip der Schrift als ein endliches System diskreter Entitäten referiert, wie es für Alphabetschriften typisch ist. Dieses System kann phonographische, notierende und formal-operative Funktionen erfüllen. Die Semantik ergibt sich auf unterschiedliche Weise: Für die phonographische Verwendung aus der konventionell festgelegten Sinnhaftigkeit bestimmter Zeichenfolgen, für die notierende Verwendung aus der expliziten Zuordnung der einzelnen Zeichen zu anderen Zeichen, Objekten oder Zuständen und für die formal-operierende

¹⁰ Dies ist nicht ganz zutreffend wie bereits hingewiesen wurde, da Klassen von Variablen eines bestimmten Schrifttyps für spezifische abstrakte Klassen wie Namen, Argumente, Aussagen, Klassen von Objekten oder für bestimmte Parameter stehen.

¹¹ Operationszeichen besitzen keine extrasymbolische Bedeutung, aber eine eindeutig festgelegte intrasymbolische Bedeutung in Form von Regeln für den syntaktische Umgang mit Variablenzeichen.

durch die intrasymbolische Bedeutung mancher Zeichen als Operationszeichen. Lediglich Variablenzeichen besitzen keinerlei bedeutungskonstituierende Semantik.

1.2 Erweiterung des Zeichenbegriffs

Auf der Basis dieser Einteilung stellt sich die Frage nach dem Zeichenbegriff. In semiotischen, sprachphilosophischen und linguistischen Untersuchungen wird in der Regel von einem sinnhaften Zeichenbegriff ausgegangen, der sich aus der Sprache und dem Gebrauch der Wörter ableitet. Die Trennung von sinnhaften Schriftzeichen und Signifikanten erweitert jedoch die Transkriptionsfunktion der Schrift in Bezug auf die gesprochene Sprache und deren heterogene Signifikate. Texturen sind nicht mehr nur solche Zeichenkombinationen, die lautmalerisch artikuliert werden können. Texturen sind prinzipiell alle Artefakte, die als diskrete Zeichen oder Zustände gesetzt werden und die sich aufgrund ihrer syntaktischen Gestalt von anderen Symbolsystemen unterscheiden. Dabei verändert sich der Umfang des Zeichenbegriffs, der sich nicht mehr ausschließlich über die Sinnhaftigkeit des Wortes der Sprache und dessen direkte Lesbarkeit definieren lässt. Die Einheit des gesprochenen Wortes löst sich in ihre phonetischen bzw. phonographischen Teile auf, die zu *Atomen* der Schrift avancieren.¹² Die erweiterte Verwendungsweise löst unsere Aufmerksamkeit von den sinnhaften Einheiten als prototypische Zeichen und lenkt sie auf diese *letzten Einheiten*. In dem Maße wie die Sinnhaftigkeit (extrasymbolische Bezüge) schwindet, gewinnt der Objektcharakter der *neuen Zeichen* an Bedeutung, denn die Zeichen werden in einem von der Schrift geprägten Verständnis zum Material verschiedener Zeichenverwendungen, seien diese phonographischer, notierender oder formal-operativer Art. Zeichen können dementsprechend als Buchstaben, Kode-, Operations- oder Variablenzeichen verwendet werden. Lediglich in ihrer Verwendung als Buchstaben ist einerseits die Gestalt der Zeichen vorgegeben, andererseits sind sie direkt lesbar, da sie sprachlichen Lauten entsprechen.¹³ Alle anderen Zeichen können beliebige graphische Konfigurationen sein, die mit Namen belegt werden können. Je nach Verwendung der Buchstaben und Schriftzeichen entstehen Notationssysteme, Operationsschriften und andere Zeichensysteme, wie sie vor allem in den Wissenschaften zum Einsatz kommen. Die Fokussierung auf jene letzten Einheiten der Schrift und deren syntaktische Manipulierbarkeit zeigt sich auch in der Idee der Mechanisierbarkeit der Zeichenverwendung.¹⁴ Voraussetzung ist die operative

¹² „Die Isolierung von Phonemen als kleinste Einheiten der Sprache setzt also in der Tat eine gewaltige Abstraktionsleistung voraus.“ Coulmas, 1981, S. 33. Grundlage dieser Abstraktionsleistung ist die Entwicklung der alphabetischen Schrift mit ihrer Sichtbarmachung der Phoneme.

¹³ In diesem Sinne ergibt das Alphabet ein Notationssystem sprachlicher Laute innerhalb einer spezifischen Sprache.

¹⁴ Die Idee der Mechanisierbarkeit kann unterschiedlich umgesetzt sein. Zum einen in Form der Mechanisierung der Zeichenerzeugung durch den Buchdruck. „Das Revolutionäre an Gutenbergs Innovation im zweiten Drittel des 15. Jh.s ist die Erfindung

Verwendungsweise der Zeichen, die sich algorithmisieren und an eine Maschine delegieren läßt. Dazu werden die Operationen in maschinell ausführbare Instruktionen übersetzt. Die Instruktionen definieren eindeutige Übergänge von einem Maschinenzustand in den nächsten, wobei der Anfangszustand konkret definiert sein muß.¹⁵

Der Umgang mit den Zeichen, wie die Zeichen selbst, verändert sich dabei radikal. Das, was als *symbolische Maschine* mit Hilfe von Operationsschriften auf dem Papier konzipiert wurde, bedarf nun der Übersetzung in das maschinelle Medium des Computers: Operationszeichen werden zu Instruktionen, Variablenzeichen zu binärkodierten Zuständen. Dabei stellt sich die Frage, ob von Schrift überhaupt noch die Rede sein kann? Die Argumentation bezüglich dieser Frage hängt entscheidend davon ab, ob man Schrift als Medium versteht und was mit dem Begriff *Medium* gemeint ist? Oder anders gefragt: Wo genau vollzieht sich der mediale Wechsel bei der Mechanisierung der Schriftzeichen, wenn nicht mehr von Schrift die Rede sein soll? Das Problem resultiert aus der vagen Rede, daß Schrift ein Medium sei. Wenn, wie bislang, von der Realisierung eines Zeichensystems als medienspezifische Implementierung gesprochen wurde, die skriptographisch, typographisch oder elektronisch realisiert und präsentiert sein kann, dann wird unterstellt, daß Handschrift, Druckschrift und binärkodierte Zustände je eigene Medien seien. Doch hier gilt es zu differenzieren. Üblicherweise verläuft die Unterscheidung zwischen verschiedenen medialen Formen aufgrund der sinnlich wahrnehmbaren Konstitution - visuell, akustisch, taktil, olfaktorisch -, der materiellen Erzeugung - physikalisch, chemisch, elektrisch - oder der datenbezogenen Realisierung - digital, analog. Schrift wäre dementsprechend auf einem physikalischen Trägermedium (Tinte auf Papier) visuell realisiert. Ist die Schrift selbst aber Medium? Tatsache ist, daß Schrift ohne ein entsprechendes Trägermedium nicht existiert und über Schrift als Medium an sich deshalb kaum gesprochen werden kann. Mit dem Trägermedium *Tinte auf Papier* lassen sich jedoch auch andere Erzeugnisse verfertigen, wie etwa Bilder, und es ist intuitiv einsichtig, daß sich Bilder von Schriften unterscheiden. D.h., obwohl es ohne ein adäquates Trägermedium keine Schrift und kein Bild geben kann, liegt der entscheidende Unterschied zwischen beiden visuellen Formen nicht im Trägermedium begründet. Doch so ganz trifft das nicht zu, denn während für Schrift und Bild das selbe Papier verwendet werden könnte, ist die Art der graphischen Verwendung der Tinte eine unterschiedliche.

des Drucks mit beweglichen Lettern bzw. des Handgießgeräts zur Produktion von einzelnen gegossenen, nicht geschnitzten Typen.“ Hiebel, H.: Kleine Medienchronik, 1997, S. 15. Zum anderen bezüglich der mechanisierten Verarbeitung der Zeichen. „*The machine is supplied with a „tape“ (the analogue of paper) running through it, and divided into sections (called „squares“) each capable of bearing a „symbol“.*“ Turing, A.: On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, 1964, S. 116. Beiden Auffassungen ist jedoch die Zerlegung der Schrift in ihre elementaren Bestandteile sowie deren Verwendung als einzelne, abgeschlossene und isolierte Zeichen eigen.

¹⁵ D.h. Variablen müssen interpretiert werden (Typ, Wert und Adresse der Variable) und sind von daher auf Maschinenebene nicht mehr formal verwendet.

Der Erzeugungsprozeß ist entscheidend und besteht in der Verfertigung - wie Goodman sagen würde - syntaktisch differenzierter und disjunkter bzw. syntaktisch dichter Symbolschemata. Der Prozeß würde dann entsprechend als Schreiben oder Zeichnen betitelt werden und bestünde darin, auf Basis des Mediums eine gewisse Ordnung oder ein Gefüge zu realisieren, das wir als Schrift oder Bild identifizieren. Eine Ordnung, nach der etwas aufgebaut ist, oder ein Gefüge als einheitlich geordnetes Ganzes, sind jedoch charakteristische Kennzeichen eines *Systems*. Schrift als Aufschreibesystem und Bilder als Darstellungssystem oder beide als Symbolsysteme titulierte, erfassen den Zusammenhang besser, als der Begriff Medium. Dies würde bedeuten, daß die Funktion eines Trägermediums darin besteht, Basis der Implementierung eines Symbolsystems zu sein, daß also das Trägermedium Tinte auf Papier zur Implementierung schriftbasierter oder ikonischer Symbolsysteme genutzt wird und daß die Schrift oder das Bild an sich keine Medien darstellen, auch wenn wir im alltäglichen Sprachgebrauch beides gerne als Medium betiteln.¹⁶ Der Begriff Medium impliziert Passivität im Sinne von Vorhandensein, während der Begriff System ein strukturiertes Vorgehen, also eine Tätigkeit anzeigt. Doch darf dies nicht so gedeutet werden, daß Trägermedien keinen Einfluß auf Symbolsysteme haben. Die Konstitution des Trägermediums ist Bedingung der Möglichkeit spezifischer Symbolsysteme.¹⁷ Deutlich wird dies beispielsweise anhand der statischen versus einer dynamischen Realisierung von Symbolsystemen aufgrund unterschiedlicher Trägermedien wie Fotografie und Film oder Papier und Strom. Insofern ist das Medium auch für einen Teil der Botschaft verantwortlich, nämlich für jenen, der in der sinnlich wahrnehmbaren Konstitution und der materiellen Erzeugung begründet liegt und die Semantik unterstützt.¹⁸ Das bedeutet, daß mit einem visuellen Trägermedium wie Papier keine akustischen Symbolsysteme realisiert werden können und umgekehrt. Diese Trennung sinnlich wahrnehmbarer Konstitutionen wird durch die audiovisuellen Medien teilweise aufgehoben. Schließlich integriert das maschinelle Medium des Computers nahezu alle sinnlich wahrnehmbaren Konstitutionen der *Botschaften*.¹⁹

¹⁶ Als Indiz für diese Darstellungsweise kann folgende Überlegung dienen: Ein unbeschriftetes oder ungebildertes Papier wird eher als Objekt, denn als Trägermedium wahrgenommen. Ein beschriftetes oder gebildertes Papier wird eher als Trägermedium oder in objektorientierter Redeweise als Seite oder Bild gewertet, also aus Perspektive des Symbolsystems.

¹⁷ Dies kann zum einen so verstanden werden, daß bestimmte Symbolsysteme nur auf Basis bestimmter Trägermedien möglich sind (Schrift bedarf einer statischen, beschreibbaren Oberfläche) oder in einem sinnstiftenden Sinne, insofern gilt: „*Das Medium ist nicht einfach die Botschaft; vielmehr bewahrt die Botschaft die Spur des Mediums.*“ Krämer, S.: Das Medium als Spur und Apparat, 1998, S. 81. Sybille Krämer gibt dazu das Beispiel der Stimme als Trägermedium der Sprache, die nicht nur als Werkzeug der Rede dient, sondern anhand ihrer Modalität das Gesprochene untermalt und „... wie eine unbeabsichtigte Spur sich zum absichtsvollen Zeichen verhält.“ Krämer, 1998, S. 79. Dementsprechend ergibt sich der Unterschied zwischen Trägermedium und Symbolsystem als Unterschied zwischen unbeabsichtigter Spur und konventionalisiertem Zeichen.

¹⁸ Beispielsweise erlaubt ein elektrisches Medium die Realisierung einer dynamischen Botschaft. Insofern läßt sich auch Marshall McLuhans vielzitiertes Buchtitel verstehen „*The Medium is the Massage*“, der irtümlicherweise, nicht zuletzt aufgrund McLuhans gleichnamigen Artikels, als „*The Medium is the Message*“ zitiert wird. Medien *kneten* die Botschaft, sie sind jedoch nicht die Botschaft. McLuhan, M.: *The Medium is the Message. An Inventory of Effects*, 1967

¹⁹ Bis auf olfaktorische Eigenschaften lassen sich alle Sinneseindrücke mittlerweile mit Computern darstellen. War früher das Medium insofern mit der Botschaft identisch, als beide der selben sinnlich wahrnehmbaren Kategorie angehören mußten, so

Dies ist möglich, da die Eingabe, Verarbeitung und Speicherung der Botschaft von ihrer Präsentation und damit sinnlich wahrnehmbaren Konstitution getrennt und die unterschiedlichen datenbezogenen Realisierungen zu einer Form universalisiert wurden. Hans Hiebel spricht in diesem Zusammenhang von einer *sekundären Digitalität*,²⁰ die für ihn nichts mit der Unterscheidung zwischen digitalen Signifikanten der Sprache und analogen Daten zu tun hat. Sekundäre Digitalisierbarkeit wäre demnach die Übersetzung sprachlicher, akustischer oder optischer Elemente in eine vollkommen anders geartete *Stromstoß-Sprache*. Doch sind einerseits sprachliche Elemente nicht digital, sondern allenfalls diskret und insofern digitalisierbar,²¹ andererseits ist die Diskretheit, nicht die Digitalität, das entscheidende Kriterium schriftlicher Zeichen und elektrischer Zustände. Es läßt sich auch nicht von einer Stromstoß-Sprache sprechen, sondern eher von einer Stromstoß-Schrift.

Während sich die Diskretheit schriftlicher Zeichen aus deren abgeschlossener und voneinander abgegrenzter Gestalt ergibt und insofern nur für das Zeichen als Einheit gilt, resultiert die Diskretheit elektrischer Zustände aus der Modulation des Stromflusses.²² Diskretheit wird dabei im Sinne von Diskontinuität verstanden als unterbrochene Folge oder voneinander getrennte Elemente, während Digitalität *mit Ziffern darstellbar* meint.²³ Bezüglich der diskreten Zustände des Computers betrifft dies die Interpretation des Aus/An des Stromflusses mit 0/1 und dementsprechend die Übersetzung der binärkodierten Folgen in Zahlenwerte (Byte-Zahlen). Diese Folgen sollen *digitale Zeichen* genannt werden. Die Basis der digitalen Interpretation ist jedoch die Diskretheit der Zustände. Die Einführung einer subsymbolischen Ebene unterhalb der Zeichenträgerebene aufgrund der Mechanisierung der Zeichen separiert die Zeichenfunktion vom Zeichenträger und delegiert diese als Interpretationsleistung an ein Programm. Denn es hängt vom Programm ab, ob eine Bytezahl als Farbwert, Charakter oder Klang interpretiert wird. Die Platzierung des diskreten Symbolschemas und des digitalen Schemas unterhalb

wird diese Trennung nun im Computer aufgehoben. Allerdings verändert sich die datenbezogene Realisierung, die nunmehr ausschließlich digital ist.

²⁰ Hans Hiebel unterscheidet zwischen „... *primär-digitalen* (d.h. sprachgebundene bzw. in willkürlichen, diskret-abgesetzten Zeichen gebundene Daten) und *analogen Daten* (d.h. proportional übertragene Datenmengen akustischer und/oder visueller Natur) ... Die computerbedingte Digitalisierbarkeit (sekundäre Digitalität) jeglicher Form von schriftgebundener oder auch analog-akustischer oder analog-optischer Information hat mit der Basisdifferenz von digitalen Signifikanten - d.h. willkürlichen und diskreten Zeichen (geschriebener und gesprochener Sprachen) - und analogen - d.h. auf proportionalen Wiedergabeverhältnissen beruhend - Daten nichts zu tun. Die moderne Digitalisierbarkeit bedeutet die Möglichkeit, jegliches akustische, optische oder sprachliche Element in eine 0/1-„Sprache“ bzw. eine Stromstoß-„Sprache“ zu übersetzen und maschinenverarbeitbar zu machen.“ Hiebel, 1997, S.8

²¹ Allerdings sind nur schriftbasierte sprachliche Elemente diskret, gesprochene Sprache ist an sich nicht diskret, sondern stellt einen kontinuierlichen Fluß von Lauten dar.

²² Stromfluß unterhalb einer bestimmten Spannungsgröße (0,7 Volt) wird als *Aus* interpretiert, Stromfluß überhalb dieser Grenzen als *An*. Aus dieser Unterscheidung generiert sich die Diskretisierung des Stroms als diskontinuierliche Stromstöße.

²³ Nelson Goodman verwendet Digitalität im Sinne von Diskretheit: „*Ein Symbolschema ist analog, wenn es syntaktisch dicht ist; ein System ist analog, wenn es syntaktisch und semantisch dicht ist. ... Ein digitales Schema dagegen ist durchgängig diskontinuierlich.*“ Goodman, 1995, S. 154. D.h. die Schrift ist bezogen auf ihre isolierten Zeichen diskret, die Zeichen selbst sind jedoch syntaktisch dicht und von daher analog.

der Zeichenträgerebene kehrt die von Goodman eingeführte Einteilung für digitale Zeichen um. In seiner Konzeption ist das Symbolschema auf die Zeichenträgerebene bezogen und das Schema auf die Semantik der Zeichen. Dies ist für alle Zeichen außerhalb des Computers auch zutreffend. Der Vorteil der Umkehrung besteht jedoch in der Berücksichtigung der Erzeugungsebene der Zeichengestalt und damit in der Erfassung der semiotischen Besonderheit computerrealisierter Zeichen. Denn mit dem fluiden Trägermedium Strom ist die Generierung eines Symbolsystems möglich, dessen Symbolschema sich aus unanschaulichen, diskreten Zuständen zusammensetzt und dessen Schema in der digitalen Interpretation der diskreten Zustände besteht. Letzteres stellt die Basis für eine

An/Aus Zustand	diskretes Symbol- schema
↓	↓
0/1 Byte-Zahl	digitales Schema
↓	↓
Charakter Klang Farbwert	Gestalt (Zeichen- träger)

Abb. 22: Zeichen-Zustand-Relation

programmgesteuerte Interpretation der Zustände als anschauliche Zeichen dar. Dabei handelt es sich nicht um eine semantische Interpretation konventioneller Bedeutungen, wie sie für Sprachzeichen typisch ist, sondern um eine binärkodierte/numerische Interpretation. Doch sowohl die Diskretheit als auch die numerische Interpretation sind schriftbasierte Verwendungsweisen. Eine 0/1-Folge läßt sich im Computer realisieren und auch auf Papier anschreiben und verwenden.

Daraus läßt sich folgern, daß das Symbolschema der Schrift und das Symbolschema der digitalisierten Zustände prinzipiell ähnlich ist, daß aber die Trägermedien verschiedene sind und von daher die Realisierung und Präsentation der Symbolsysteme unterschiedlich ausfällt. Allgemein gesprochen bedeutet dies, daß das Medium Computer nicht nur Basis zur Implementierung eines Symbolsystems ist, sondern als Maschine den Implementierungs-, Erzeugungs- und Präsentationsvorgang von Zeichen in weiten Teilen programmgesteuert übernimmt. Dabei handelt es sich um ein Symbolsystem, dessen Symbolschema diskret und dessen Schema digital ist: Das Symbolschema, also die Konstitution der Zustände, ist syntaktisch disjunkt und differenziert und somit diskret. Allerdings ist das Symbolschema und das Schema auf Maschinenebene realisiert und von daher unanschaulich. Die Übersetzung der digitalen Zeichen benötigt als Referenz an unsere Anschauung die programmgesteuerte Interpretation und Präsentation der Zustände als anschauliche Zeichen, Farbwerte oder Klänge, welche die Träger semantischer Informationen sind. Es kann also von Schrift nur insofern noch die Rede sein, als dies das Prinzip der Verschriftung betrifft. Der mediale Wechsel im Falle der Mechanisierung der Schriftzeichen vollzieht sich in der Verwendung unterschiedlicher Trägermedien und zeigt sich in deren unterschiedlichem Einfluß auf die Realisierung und Präsentation der Zeichen. Der Begriff Schrift in diesem sehr weiten Sinne ist rein syntaktisch gefaßt und umfaßt die Darstellung von Inhalten in

einem spezifischen Symbolschema, das visuell auf Papier oder elektrisch im Medium Strom realisiert sein kann.²⁴ Die sekundäre Digitalität wäre demnach die Verschriftung akustischer, optischer und taktiler Inhalte, allerdings nicht in sprachlich-beschreibender, sondern in numerisch-notierender Weise, die im Rahmen eines Programms entsprechend interpretiert wird.²⁵ Diese Verwendungsweise der Schrift ist neu und erst mit der Mechanisierung der Zeichen gegeben. Sie entspricht dem, was wir gemeinhin unter Digitalisierung verstehen: Akustische, optische und taktile Inhalte werden in ein diskretes Symbolschema überführt und als Daten numerisch interpretiert neu strukturiert.²⁶ Das bedeutet, alles was sich auf diese Weise in einem diskreten Schema darstellen läßt, läßt sich semiotisch inkorporieren.

Dadurch erweitert sich das Spektrum dessen, was mit Schrift erfaßbar ist, erheblich. Es lassen sich nicht nur diverse Inhalte inkorporieren. Die Mechanisierung der Zeichen mit Hilfe des maschinellen Mediums Computer erlaubt darüber hinaus die Simulation akustischer, optischer und taktiler Inhalte. Zudem integriert die Mechanisierung der Zeichen eine neue Dimension, nämlich die der Bewegung. Der Computer stellt dabei das notwendige Trägermedium dar, indem er das fluide Medium Strom strukturiert. Bereits diese Strukturierung delegiert Teile des Symbolsystems, nämlich dessen Symbolschema, an das Medium und integriert damit in dieses ein gewisses Aktionspotential.²⁷ Das Verhältnis Trägermedium - Symbolsystem ist aufgrund der Mechanisierung bestimmter Vorgänge ein wesentlich komplizierteres als das Verhältnis Tinte auf Papier - Schrift, und die Frage stellt sich, wie es beschaffen ist. Das offensichtlichste Indiz für die Komplexität des maschinellen Mediums Computer ist die Vielschichtigkeit der Prozesse, die ablaufen, um eine Botschaft darzustellen. Ein Satz beispielsweise wird auf dem Papier während des Schreibprozesses zugleich erzeugt, gespeichert und präsentiert. Dazu müssen ein Blatt Papier und ein funktionierender Stift zur Verfügung stehen. Zudem muß der Schreibende der Schrift mächtig sein und die Zeichen so strukturieren, daß sie im Rahmen einer gegebenen Sprache lesbar sind.²⁸ Um den selben Satz im Computer erzeugen, speichern und präsentieren zu können, bedarf es wesentlich umfangreicherer Voraussetzungen.²⁹ Zum einen muß ein Computer mit einem entsprechenden Schreibprogramm zur Verfügung stehen, zum anderen muß der

²⁴ Angesichts der erweiterten Funktionalität der Schrift über die phonographische Funktion hinaus, bilden die syntaktischen Eigenschaften die einzige Basis, um diese Vielfalt überhaupt noch fassen zu können, weshalb Goodmans Unterteilung in Symbolschema und Schema zur Charakterisierung sich anbietet. Gleichwohl ist die syntaktische Differenziertheit auf dem Papier und im Computer unterschiedlich realisiert. Die Emanzipation der Schrift hat eine Diversifikation möglicher Kategorien von Bezugnahmen bis hin zur Null-Denotation zur Folge, so daß die Bezugnahme als Kennzeichnung nicht dienlich ist.

²⁵ So werden s/w-Bilder als Matrizen numerischer Werte dargestellt, welche den Intensitätsgrad eines Bildpunktes notieren.

²⁶ Die Daten beinhalten nicht nur numerisch-notierte Intensitätsgrade, sondern auch Informationen bezüglich der räumlichen Verteilung, der Farbuweisungen und mehr.

²⁷ Während auf Papier unterschiedliche Symbolschemata erzeugbar sind, läßt der Computer nur ein Symbolschema zu. Dies liegt in der Verschmelzung von Trägermedium und Symbolschema begründet.

²⁸ So lange der Satz auf dem Papier lesbar ist, fällt seine Präsentation mit seiner Speicherung zusammen. Erst wenn der Satz unleserlich würde, löscht sich damit sowohl seine Speicherung als auch Präsentation.

²⁹ Auch die Kompetenz des Schreibenden erfordert höhere Anforderungen, denn über den Umgang mit Schrift und Sprache hinaus, muß dieser mit der Arbeitsweise eines Computers und den entsprechenden Programmen vertraut sein.

puter mit einem entsprechenden Schreibprogramm zur Verfügung stehen, zum anderen muß der Rechner eingeschaltet und betriebsbereit sein. Mit Hilfe der Tastatur läßt sich dann der Satz auf Basis eines normierten und begrenzten Zeichenrepertoires (Tastaturbelegung/ASCII-Zeichen) schreiben. Der Schreibvorgang erzeugt einerseits eine Darstellung des Satzes auf Maschinenebene (0/1-Folgen), andererseits eine visuelle Präsentation auf dem Bildschirm. Speichern und Präsentieren werden im Rahmen des verwendeten Programms zu Funktionalitäten im Umgang mit den Zeichen. Da die Speicherung des Satzes auf unanschaulichen, binärkodierte Zustände im Speicher des Computers basiert, bedarf es für jede visuelle Präsentation des Satzes auf dem Bildschirm der Aktualisierung der entsprechenden Zustände. D.h. im Medium Computer fallen Erzeugung, Speicherung und Präsentation auseinander, und alle drei Zeichenfunktionen sind programmgesteuert. Damit eröffnen sich einige neue Umgangsweisen mit den Zeichen, denn zum einen ist die computerbasierte Speicherung nicht fixiert und von daher veränderbar, zum anderen benötigt die Aktualisierung und visuelle Präsentation des Satzes dasjenige Programm, mit dem der Satz erzeugt wurde. Darüber hinaus ist die Darstellungsrelation zwischen unanschaulichen Zeichen und anschaulicher Präsentation frei bestimmbar, d.h. ein Buchstabe kann als Farbwert oder Ton präsentiert werden. Oder anders gewendet: 0/1-Folgen sind manipulierbar, in ihrer sinnlich wahrnehmbaren Konstitution beliebig präsentierbar, aber nicht selbstexplikativ, und bedürfen einer programmgesteuerten Interpretation.³⁰

Der Schreibvorgang im Medium Computer wird zerlegt, und Schreiben reduziert sich auf die Inputeingabe normierter Zeichen. Die Zerlegung des Handlungsvorgangs ist nötig, um diesen an eine Maschine delegieren zu können. Im Zuge der Zerlegung des Schreibvorgangs wird die Botschaft, in diesem Falle der Satz, mit zusätzlichen Informationen angereichert, wie etwa bezüglich des verwendeten Zeichentyps oder des Ortes der Speicherung. Die Mechanisierung der Zeichen wie des Zeichenumgangs dynamisiert beide, denn das Medium selbst ist ein dynamisches. Während geschriebene Schrift auf dem Trägermedium Papier materiell fixiert ist und sowohl das Medium wie die Zeichen statische, in der Zeit relativ dauerhaft bestehende Entitäten sind, bedürfen die anschaulich präsentierten Maschinenzustände des Computers der kontinuierlichen Aktualisierung des Spannungsniveaus durch den Stromfluß. Dies ist nur durch die Integration der Zeitlichkeit möglich, sowohl bezüglich des Mediums als auch der Zeichen. Computerrealisierte Zeichen können also keine verdinglichten, dauerhaften Entitäten sein, sondern nur dynamische Zustände in der Zeit. Worin unterscheiden sich Zeichen von Zuständen? Ein Zustand besteht in der dynamischen Strukturierung eines abgegrenzten Systems, im

³⁰ Dies ist ein großes Problem im Zuge der Rekonstruktion alter Datensätze. Obwohl viel von der Universalität der binärkodierte Zustände die Rede ist, sind diese Zustände ohne das dazugehörige Programm und meist auch Hardware nicht entschlüsselbar. D.h. von Universalität kann nur bedingt die Rede sein, da die 0/1-Folgen bezüglich ihrer Zeichenfunktion nicht selbstexplikativ sind.

Falle des Computers in der Strukturierung des Spannungsniveaus im Rahmen der vorgegebenen Hardwareumgebung. Zur Aktualisierung und temporären Aufrechterhaltung der Struktur wird Energie von Außen benötigt. Die in der Struktur enthaltenen Informationen lassen sich interpretieren und veranschaulichen, d.h. in Zeichenzustände auf dem Monitor oder Drucker übersetzen. Zeichen, wobei hier von fixierten Zeichen wie Schrift- und Druckzeichen die Rede ist, materialisieren hingegen Strukturen, die zur Erhaltung keiner weiteren Energie bedürfen. Man könnte fixierte Zeichen als konservative Systeme zur Strukturierung von Informationen bezeichnen, während Zustände dissipative Systeme wären.³¹ Dissipative Systeme bedürfen der Energiezufuhr von Außen, um ihre Struktur stabil zu halten. Sie lassen sich jedoch in ihrer Strukturierung, die von der Energiezufuhr abhängig ist, verändern und in unterschiedliche Systemzustände überführen.³² Das entscheidende Kriterium ist die Dauerhaftigkeit konservativer Systeme in der Zeit, im Unterschied zur Abhängigkeit dissipativer Systeme von der Zeit, denn letztere unterliegen durch ihre energetische Kopplung mit der Umwelt oder in unserem Falle mit dem Trägermedium einer Zeitentwicklung. Ein Zustand, der nicht gespeichert wurde, vergeht bei Unterbrechung der Energiezufuhr unwiederrufbar, während die statische Fixierung materialisierter Zeichen sich nur durch ihre Zerstörung überwinden läßt.³³ Zeichen, als Zustände realisiert, die hier *Zeichenzustände* (digitale Zeichen) genannt werden sollen, sind als Maschinenzustände Teil eines Systems, einer Maschine. Ihr Symbolschema verschmilzt mit dem Trägermedium und kann insofern nur homogen gestaltet sein. Während das Symbolschema des Alphabets oder der Ziffern heterogen ist und sich aus voneinander unterscheidenden Zeichen zusammensetzt, wobei ein maßgebliches Kriterium darin besteht, daß zwei Zeichen eines Alphabets sich nicht gleichen dürfen, basiert das Symbolschema der computerrealisierten Zeichenzustände auf der homogen strukturierten Modulation des Trägermediums Strom: An/Aus, interpretiert als 0/1. Die Differenz zwischen den Zeichenzuständen ergibt sich aus der Sequenzierung der An/Aus-Folgen und deren Verschiedenheit (Byte). Dies hat zur Folge, daß zwar die Zeichenzustände als 0/1-Folgen wie die Zeichen syntaktisch differenziert,³⁴ also eindeutig voneinander unterschieden sind, daß das Symbolschema der Zeichenzustände aufgrund seiner Homogenität es jedoch ermöglicht, Zeichenzustände ineinander überzuführen. Die syntaktische Differenziertheit gilt zwar prinzipiell für die eindeutige Identifizierung der Zeichenzustände, sie ist jedoch anhand von Zeichenoperationen überwindbar und erlaubt die Möglichkeit, die Zustände

³¹ Diese systemtheoretische Beschreibung geht von einfachen, energetisch geschlossenen (konservativen) und energetisch offenen (dissipativen) Systemen aus und findet vor allem in der Physik zur Darstellung von Systemzuständen und -dynamiken Anwendung. Vrgl. Thomas, H./Leiber, T.: Determinismus und Chaos in der Physik, 1994

³² Ein faszinierendes Beispiel eines dissipativen Systems ist die Zhabotinski-Reaktion verschiedener anorganischer Substanzen. „Es kommt zu einem periodischen Bewegungsmuster aus interferierenden Kreisen, das so lange Bestand hat, als von außen energiereiche Substanzen zugeführt werden, um den Verbrauch („Dissipation“) von Energie auszugleichen.“ Mainzer, K.: Computer - Neue Flügel des Geistes, 1995, S. 212

³³ Gespeicherte Zustände lassen sich durch ihr Löschen zerstören.

³⁴ Es läßt sich bestimmen, zu welchem Charakter/0/1-Folge jede Marke/Zeichenzustand gehört. Das Symbolschema ist so konstruiert, daß die Inskriptionen nicht ineinander übergehen. Vrgl. Godmann, 1995, S. 128ff

direkt umzuformen, also *auf* ihnen zu operieren und zwar in Form von Verrechnungen. Im Unterschied dazu besteht die schriftbasierte Zeichenverwendung immer im Operieren *mit* den Zeichen, die während des Operierens nicht umgeformt, sondern in linearer Weise fortgeschrieben werden. Die Schriftzeichen dokumentieren die Operationen, zum einen in Form von Operationszeichen, zum anderen anhand ihrer Fortschreibung (Aufzeichnung). Die Operationen selbst werden jedoch von einer handelnden Person ausgeführt. Diese Handlung läßt sich mechanisieren, insofern die Operationen als maschinell ausführbare Instruktionen formulierbar sind. Die maschinelle Ausführung der Instruktionen besteht dann in der Umformung - nicht der Fortschreibung - der als Zustände realisierten Zeichen. Da uns die Kenntnis von diesen Zeichenzuständen und Operationen, nur durch anschauliche Zeichen vermittelt, vergönnt ist, erweitert sich die Form der als triadisch angenommenen Zeichenrelation,³⁵ denn sowohl die Syntax als auch die Semantik und Pragmatik werden zu komplexen Relationen. Die syntaktische Dimension des Zeichenprozesses kann nicht mehr von fixierten, heterogenen Gestalten ausgehen, sondern muß die Bedingungen der Digitalisierung und Dynamisierung der Zeichen als unanschauliche Zustände sowie die Emanzipation von der fixierten Darstellbarkeit der Zeichenzustände im Rahmen einer spezifischen, sinnlich wahrnehmbaren Konstitution berücksichtigen (intermodale Darstellbarkeit).

Mit anderen Worten: Die auf den Zeichenträger referierende syntaktische Dimension muß dessen Mechanisierung und Dynamisierung Rechnung tragen, die in der Zerlegung der Zeichen in homogene, maschinell darstellbare und verwendbare Einheiten besteht. Vor allem die Manipulierbarkeit der 0/1-Folgen, sowie deren automatisierbare Erzeugung sind zu beachten. Wesentlich komplexer gestaltet sich auch die semantische Dimension, da die Zeichenzustände sowohl einer intrasymbolischen Verwendung als auch einer extrasymbolischen Interpretation unterliegen. Zudem erschließt die intermodale Darstellbarkeit der 0/1-Folgen neue semantische Möglichkeiten. Schließlich erweitert sich die pragmatische Dimension aufgrund der Automatisierung von Handlungen im Rahmen des Zeichenprozesses und deren Delegation an den Computer. Aus einer anderen Perspektive dargestellt, ist das Zeichen als Zeichen-Zustand-Relation, die Zeichenbedeutung als semantisch-digitale Relation³⁶ und der Zeichenbenutzer als Mensch-Maschine-Relation zu denken. Man kann auch sagen, daß der computerrealisierte Zeichenprozeß einer maschineneigneten Syntax, Semantik und Pragmatik bedarf, die eine für den Menschen wahrnehmbare syntaktische, verstehbare semantische und nachvollziehbare pragmatische Extension aufweist.

³⁵ Vrgl. Morris, Ch.: Grundlagen der Zeichentheorie, 1998, S. 57ff

³⁶ Auch die Digitalisierung stellt bereits eine semantische Interpretation dar, allerdings als numerische Interpretation in einem sehr eingeschränkten Verständnis. Unter semantischer Interpretation soll hier die Bedeutungskonstitution aufgrund sinnlich wahrnehmbarer Zeichen verstanden werden.

1.3 Syntaktische Simulation

Aufgrund des digitalen Schemas, d.h. da die diskreten Zustände als 0/1-Folgen auf Maschinenebene numerisch interpretiert werden (Byte-Zahlen), besteht die maschinelle Verarbeitungsweise in der Verrechnung der Zeichen durch die Modulation der Zustände gemäß der Schaltalgebra. Die Zeichen werden in Form von Zeichenzuständen miteinander verrechenbar, insofern Verrechenbarkeit die regelbasierte Umformbarkeit der numerisch interpretierten Zeichenzustände meint. Diese Verrechenbarkeit macht zwar nur Sinn für Zeichenzustände, die als numerische oder logische Werte verwendet und präsentiert werden, lässt sich aber prinzipiell auch für Charaktere oder Farbwerte denken. Eine Folge des mechanisierten Zeichenumgangs und der Verrechenbarkeit der Zeichenzustände ist die Möglichkeit der numerischen Simulation, die allgemein als *syntaktische Simulation* betitelt werden kann. Im Unterschied zur semantischen Simulation, die anhand von Beschreibungen beliebige Szenarien und Welten nachbildet oder kreiert, handelt es sich um eine formal-operative Verarbeitung der Zeichen anhand algorithmisierter Instruktionen, gleichwohl am Ende des Simulationsvorgangs anschauliche Bilder stehen. Wie bereits hingewiesen, stellt der syntaktische Umgang mit den Zeichen deren Objektcharakter als semiotische Entitäten oder Atome in den Mittelpunkt, indem die Zeichen als Material der formal-operativen Zeichenverwendung dienen. Dabei lassen sich mit entsprechenden Kalkülen und Algorithmen unendlich viele dieser Atome erzeugen.³⁷

Im Unterschied zum Papier bietet der Computer für den formal-operativen Zeichenumgang zwei Vorteile: Einerseits einen rein quantitativen, da die Erzeugung und Verarbeitung neuer Entitäten sehr schnell erfolgen kann, andererseits einen qualitativen, da die Entitäten in ihrem Symbolschema homogen strukturiert und von daher ineinander überführbar sind. Der quantitative Aspekt zeigt sich in der Möglichkeit, enorme Mengen an Zeichenzuständen erzeugen und verarbeiten zu können. Dabei entsteht eine *semiotische Fülle*, die auf diskreten Zuständen basiert.³⁸ Der qualitative Aspekt erlaubt die direkte Ausführung der instruierten Operationen auf den Zuständen. Die syntaktische Simulation besteht primär in der regelbasierten Zeichenproduktion und nicht in der Darstellung von Inhalten, auch wenn die Resultate anschließend einer Veranschaulichung (Visualisierung) und semantischen Interpretation bedürfen. Die eigentliche Simulation spielt sich auf der Maschinenebene in Form numerischer Umformungen der Zeichenzustände ab und produziert enorme Mengen an Zeichen. Dabei stellt sich die Frage, was das Simulative an dieser Art der Zeichenverwendung ist und wofür man diese Massen an Zeichen benötigt? Simulieren, im Sinne von Nachbilden, kann auf verschiedene Ebenen

³⁷ Dazu bedarf es rekursiver Kalküle und Algorithmen.

³⁸ Diese Fülle ist nicht mit Goodmans syntaktischer Dichte identisch.

der numerischen Simulation bezogen sein. Inhaltlich, indem anhand der Visualisierung der Daten Objekte oder Prozesse mit semiotischen Mitteln anschaulich nachgebildet werden. Die Nachbildung besteht jedoch nicht in der Abbildung realer Objekte und Prozesse, sondern in der rein symbolischen Erzeugung von Objekten und Prozessen auf Basis formalisierter und mathematisch modellierter Beschreibungen naturgesetzlicher Abläufe (partielle Differentialgleichungen). Syntaktisch, indem die deduktive Verwendungsweise formal-operativer Zeichensysteme simuliert wird (Umformung der Gleichungen zur Lösungsfunktion). Diese Nachbildung unterscheidet sich jedoch in einigen Punkten grundlegend vom formal-operativen Zeichenumgang auf Papier und dokumentiert den Einfluß des Wechsels des Trägermediums: Im Gegensatz zur formal-operativen Zeichenverwendung nutzt die numerische Simulation an Stelle von Variablen konkrete numerische Werte als Operationsgrundlage. Die formale Darstellung ist eine allgemeine Darstellung, wohingegen die Simulation immer nur für ausgewählte Werte der Parameter, Anfangs- und Randbedingungen durchgeführt werden kann und damit lediglich ein eng umgrenztes Lösungsspektrum präsentiert. Probleme treten auf, wenn sich das, was ideographische Zeichen denotieren, nicht in Form von Instruktionen übertragen läßt; Zeichen, die beispielsweise das Unendliche oder unendliche Operationen symbolisieren und entsprechend approximiert werden müssen.³⁹ Das Hantieren mit Unendlichkeiten bleibt der symbolischen Zeichenverwendung vorbehalten, während Computersimulationen durch konkrete, endliche Bedingungen eingeschränkt sind. Ähnlich verhält es sich mit der typischen Verwendungsweise formal-operativer Zeichen, der Deduktion: Aufgrund der numerischen Operationsbasis der algorithmisierten Instruktionen und der endlichen Begrenzung wird eine Lösungsfindung simuliert, deren Resultate numerische Werte und keine formalen, exakten Lösungsfunktionen sind. Die Nutzung der numerischen Simulation zur approximativen Lösung der Gleichungen basiert dabei auf heuristischen Annahmen, insofern - wie für nicht-lineare Systeme meist der Fall - keine deduktive Handhabung bekannt ist.⁴⁰ Obwohl die Simulation auf regelbasierten Instruktionen zur Umformung der in die Gleichungen eingesetzten numerischen Werte beruht, lassen sich aufgrund der verwendeten Heuristiken nicht alle Verarbeitungsschritte - im Unterschied zur deduktiven Vorgehensweise - in ihrer Korrektheit belegen. Mit anderen Worten: Die syntaktische Simulation (numerische Simulation) bildet den Prozeß der Deduktion des formal-operativen Zeichenumgangs mehr oder weniger *gut* nach, wobei das Kriterium *gut* sich methodisch an der Verwendung analytisch nachvollziehbarer im Gegensatz zu heuristischen Operationsschritten orientiert, sich aber dann schwierig gestaltet, wenn keine analytisch nachvollziehbaren formalen Operationsschritte bekannt sind. Da der quantitative Vorteil der maschinellen Verarbeitung immer größer wird,

³⁹ Beispielsweise durch Auswahl- und Abbruchkriterien oder Diskretisierungsverfahren.

⁴⁰ Der Nutzen der numerischen Simulation zeigt sich in der Behandlung nichtlinearer Gleichungen, deren Lösungsfunktion nicht bekannt ist, da der formal-operative Weg von der Gleichung zur Lösung auf Papier bislang nicht gefunden wurde.

kann man mit Hilfe der numerischen Simulation eine immer umfangreichere Schar von Lösungen eines Gleichungssystems simulieren als auch Lösungen berechnen, die der exakten Lösung immer näher kommen. Die Masse an Daten dient dazu, qualitative Aussagen über das Lösungsverhalten zu erzielen, wenngleich deren Aussagekraft aufgrund der Heuristiken und Approximationen mit Vorsicht zu bewerten ist. Damit erlaubt die Simulation den Umgang mit formalen Strukturen in einer Weise, wie sie bislang aus den empirischen Wissenschaften in Form von Auswertungen umfangreicher Beobachtungs- und Experimentierdaten bekannt ist. Sie ermöglicht den experimentellen Umgang mit Zeichensystemen, insofern diese zeichenproduzierende Funktionen aufweisen, so daß sich die in der Gleichung enthaltenen Informationen strukturell entfalten. Dabei sind die formalen Gleichungen die Untersuchungsobjekte, die zur Analyse numerisch simuliert und in ihrem Verhalten anschaulich dargestellt werden. Der Begriff *Computereperiment* bringt diese neue Verwendungsweise der Zeichen zum Ausdruck.⁴¹

Im Grunde ist bereits die algorithmische Verarbeitungsweise der Computer eine Simulation spezifischer Handlungen,⁴² und die unanschaulichen Zeichenzustände sind in Kombination mit ihren programmgesteuerten Interpretationen Simulationen sinnlich wahrnehmbarer Zeichen. Meistens wird dieses Simulationspotential jedoch so genutzt, daß es möglichst nahe an unsere gewohnte Umgangsweise mit den Zeichen heranführt. So ersetzt die Seite auf dem Bildschirm in einem Schreibprogramm das Blatt Papier und wir tippen Sätze darauf wie auf einer Schreibmaschine. Oder das Interface eines Rechenprogrammes erlaubt es uns, wie auf dem Papier zu rechnen, mit dem Unterschied, daß nicht wir sondern der Computer die Berechnungen ausführt und die Resultate notiert. Die numerische Simulation hingegen eröffnet einen Zeichenumgang, wie er auf dem Papier kaum möglich wäre. Das entscheidende Kriterium dabei ist die Leistungssteigerung bezüglich der numerischen Anwendung formaler Strukturen, die als symbolische Maschinen in der Lage sind, Zeichen zu produzieren.⁴³ Metaphorisch gesprochen bedeutet dies, daß die maschinelle Realisierung symbolischer Maschinen diese tatsächlich zum Produzieren bringt.⁴⁴ Ihre Tätigkeit besteht in der regelbasierten Verarbeitung von Zeichenzuständen und ihr Output sind diskrete Zeichen. Die enorme Operationsgeschwindigkeit

⁴¹ „*Computational Science*“, die Theorie und Experiment qualitativ und methodisch - einer experimentellen Disziplin vergleichbar - ergänzt. *Computational Science ist synonym mit der Untersuchung komplexer Systeme; ihr Instrument ist der (Super)Computer, ihre Methode die Simulation.*“ Hoßfeld, F.: *Wissenschaftliches Rechnen - Motor der Rechenentwicklung*, 1992, S. 1

⁴² Eben solcher Handlungen mit Zeichen, die maschinell ausgeführt werden können.

⁴³ „Was ist unter einer „symbolischen Maschine“ zu verstehen? Einmal: diese Maschine gibt es nicht wirklich, sondern nur symbolisch. ... Zum anderen: diese Maschine macht nichts anderes, als Symbolreihen zu transformieren. ... Jedes Verfahren, das als Operation einer symbolischen Maschine darstellbar ist, kann - im Prinzip - von einer wirklichen Maschine ausgeführt werden. Das geschieht z.B., wenn bei der mechanischen Rechenmaschine die Symbolkonfigurationen durch eine entsprechende Konfiguration von Zahnradstellungen repräsentiert werden. Computer sind Maschinen, die jede beliebige symbolische Maschine imitieren können.“ Krämer, 1988, S. 2/3

⁴⁴ Die symbolische Maschine stellt nicht nur ein Verfahren dar, das zur Ausführung einer Person bedarf. Die Ausführung wird automatisiert, indem die symbolische Maschine in Form von Instruktionen in eine geeignete Hardware implementiert wird.

steigert die Produktivität dieser Maschinen in einem Maße, wie sie für eine Ausführung auf Papier durch eine Person nicht möglich wäre. Dadurch wird die nötige semiotische Fülle erzeugt, um Objekte und Prozesse numerisch zu modellieren.

Die Entwicklung der Schriftverwendung führt also von sinnhaften Zeichenfolgen, die auf sprachliche Einheiten referieren, zu formal oder ideographisch verwendeten Einzelzeichen als heterogene Einheiten, die auf nichts bzw. auf andere Zeichen, Objekte, Zustände oder Operationen referieren, schließlich zu homogen strukturierten Zuständen, die numerische Werte denotieren und als Einzelzeichen (Charaktere, Farben, Klänge) interpretiert werden können. War die Folge der Formalisierung die Einführung einer intrasymbolischen Ebene (Interpretationsfreiheit, Schematisierbarkeit, Schriftlichkeit),⁴⁵ so ist die Folge der Mechanisierung die Implementierung einer subsymbolischen Ebene der Zeichen (Homogenität, Formbarkeit, freie Präsentierbarkeit, dynamische Realisierung). Die Schrift emanzipiert sich dabei zum einen von der Sprache, zum anderen von ihrer fixierten Gestalt und sowohl aufgrund der frei wählbaren Präsentation der sinnlich wahrnehmbaren Konstitution der Zeichen als auch bezüglich des Übergangs von statischen Zeichen zu dynamischen Zuständen. Bestehen bleibt das Prinzip der Verschriftung, das sich aus der Verwendung diskreter, wohlunterscheidbarer Entitäten - heterogener Zeichen oder homogen strukturierter, numerisch kodierter Zeichenzustände - ergibt und das zur Kennzeichnung eines erweiterten Schriftbegriffs dient. Dessen Multifunktionalität zeigt sich in der Möglichkeit, auf der Basis dieses Prinzips Zeichensysteme zu erzeugen, die beschreibende, notierende, formal-operative und modellierende Funktionen erfüllen. Die anschaulichen Resultate sind Texte, Codes, Formeln und Kalküle sowie nun auch Bilder und Objekte.⁴⁶ Das Besondere dieser Bilder und Objekte ist, daß sie auf einer Fülle diskreter Zeichenzustände basieren, die als numerische Werte kodiert sind und als Farbwerte präsentiert werden. Sie lassen sich ikonisch oder als Kolonne von Zahlen darstellen.

⁴⁵ Vgl. Krämer, 1988

⁴⁶ Mit Objekten sind hier stereo 3D-Darstellungen gemeint, deren Objekthaftigkeit visuell durch Plastizität erzeugt wird.

13. Verlust des Symbolischen?

Der Begriff *Symbol*, der hier synonym für den Begriff Zeichen verwendet wird, umfaßt eine Vielzahl sinnlich wahrnehmbarer Entitäten, die sich dadurch auszeichnen, daß sie stellvertretend für etwas stehen, das sie symbolisieren. Ein Zeichen, das nichts symbolisiert, gilt in der Semiotik als unvollständiges Zeichen. Dennoch sprechen wir in Bezug auf graphische Entitäten, die formal verwendet werden, von Zeichen. Mit der Erweiterung der Funktionalität der Schrift und mit den unterschiedlichen Verwendungsmöglichkeiten der Zeichen stellt sich die Frage, ob sich nicht auch die Form der Bezugnahme diversifiziert?

2.1 Formen der Bezugnahme

Die vertrauteste Art der Bezugnahme ist die Verwendung von Sprache, also die Nutzung der konventionell kodierten Bezugnahme. Wir benutzen Wörter, Namen und Sätze, um Dinge, Sachverhalte oder Personen zu bezeichnen und zu beschreiben.⁴⁷ Die sinnhaften Zeichenfolgen beziehen sich dabei auf extrasymbolische Gehalte, die sie semantisch kodieren. Diese Kodierung basiert auf konventionellen Übereinkünften einer Sprachgemeinschaft, die wir erlernen und welche die Grundlage sprachlicher Kommunikation bildet. Wie aber verwenden wir nicht-sprachliche Zeichen? Mit nicht-sprachlichen Zeichen sind Variablen und ideographische Zeichen gemeint, die als Zeichenfolgen keine sinnhaften Zeichen oder Namen ergeben. Die Verwendung von Variablen geht davon aus, daß diese als Platzhalter für verschiedene Objekte möglicher Bezugnahmen fungieren. Sie sind Stellvertreter wie sinnhafte Zeichen, jedoch mit dem Unterschied, daß nicht festgelegt ist, wofür sie stehen. Prinzipiell läßt sich ihnen aber ein Designat zuordnen, d.h. die Variablen lassen sich auf Objektbereiche anwenden wie im Falle logischer, numerischer oder objektorientierter Interpretationen. Ihr Symbolgehalt ist leer bzw. sie weisen ein Null-Denotat auf. Allerdings symbolisieren sie etwas für den Benutzer und zwar daß sie als Zeichen zur abstrakten Klasse der Variablen gehören, deren Eigenschaft es ist, ohne extrasymbolische Interpretation im Zeichensystem verwendet zu werden. Die Identifizierung erfolgt durch eine metatextuell festgelegte Kennzeichnung anhand der Zeichengestalt.⁴⁸ Der Symbolcharakter von Variablen bezieht sich dabei lediglich auf die intrasymbolische Verwendung in einem Zeichensystem.

⁴⁷ Zeichen helfen uns beispielsweise „... eine Haltung gegenüber Gegenständen in absentia einzunehmen, welche als >denken an< oder >sich beziehen auf< bezeichnet wird. In dieser Eigenschaft gebraucht sind Zeichen nicht Symptome, sondern Symbole.“ Langer, S.: Philosophie auf neuem Wege, 1979, S. 39

⁴⁸ : „... I. Individualzeichen (meist griechische Buchstaben) ... II. Variable (lateinische Buchstaben) ... III. Zeichen zur Mitteilung (deutsche Buchstaben) ...“ Hilbert, D.: Neubegründung der Mathematik, 1965b, S. 165/166

Doch auch wenn keine extrasymbolischen Objekte oder Sachverhalte denotiert werden, muß dies dem Benutzer bekannt sein. Es bedarf des Wissens um die Form der Bezugnahme und im Falle der Variablen um das Fehlen einer Bezugnahme sowie der Möglichkeit der Interpretation. Da Variablen nicht repräsentieren und nicht Teil einer sinnhaften Zeichenfolge sind, läßt sich jede beliebige graphische Konfiguration als Variable verwenden. Die Entkopplung von einem vorgeordneten Objektbereich stellt eine Abstraktionsleistung dar, die das Zeichen in seiner sinnlich wahrnehmbaren Gestalt in den Blick der Aufmerksamkeit rückt. Anders verhält es sich mit den ideographischen Zeichen, die eindeutig Begriffe, Operationen, Objekte oder Zustände notieren und somit symbolisieren. Vor allem im wissenschaftlichen Schriftgebrauch finden sich ideographische Zeichen, die aufgrund ihrer Notationsfunktion im Rahmen von Theorien definierte Begriffe und Operationen symbolisieren und als relativ exakte Begriffs- oder Operationsschriften den Zeichengebrauch normieren. Abhängig von der Durchsetzung der Zeichen können manche von ihnen, wie die Symbole der Grundrechenarten, als nahezu universell verstehbar angenommen werden.

Die freie Gestaltbarkeit ideographischer Zeichen rückt diese in die Nähe von Piktogrammen. „A symbol scheme ... is pictographic, if it (a) adopts its constitutive features from a pictorial scheme but (b) organizes these constitutive features to form basic labels like a linguistic scheme ...“⁴⁹ Piktogramme sollten aufgrund ihrer Ikonizität selbsterklärend sein, so sieht zumindest Otto Neurath den Nutzen dieser Zeichenform, während ideographische Schriftzeichen in konventioneller Weise an die Begriffe, die sie notieren, gekoppelt sind.⁵⁰ Die Form der Bezugnahme ist die Notation von Begriffen oder Operationsvorschriften, die eine eindeutige Relation zwischen Zeichen und Begriff/Operation herstellt und die Grundlage von Begriffsschriften bzw. Operationsschriften darstellt. Denn obwohl die Bedeutung der ideographischen Zeichen konventionell vereinbart ist, ist diese Vereinbarung durch ihren Definitionscharakter relativ exakt. Als Beispiel ließe sich die Relation Ziffer - Zahlbegriffe anführen. Dabei wird deutlich, daß es sich um eine dreistellige Symbolrelation zwischen *ideographischem Zeichen* - *Name* - *Definition/Vorschrift* handelt, denn zahlreiche dieser Zeichen sind mit lesbaren Namen belegt.⁵¹ Freilich unterscheiden sich die Namen in den unterschiedlichen Spra-

⁴⁹ McDonell, N.: Are pictures unavoidable specific?, 1983, S. 93

⁵⁰ „Gerade durch ihre [Piktogramme] relative Neutralität und durch die Trennung von der Einzelsprache ist die bildhafte Darstellung jener in Worten überlegen. Worte trennen, Bilder verbinden.“ Neurath, O.: Bildhafte Pädagogik im Gesellschafts- und Wirtschaftsmuseum in Wien, 1991, S. 205. Piktographisch verwendete Bilder sollten die Kluft zwischen den Nationen und Sprachen überwinden und als universelle Bausteine dienen, mit welchen sich alles weitere konstruieren ließe. Das ISOTYPE-System von 1934 (International System of Typographic Picture Education) bringt Bild und Sprache in ihrer Funktion eng zusammen. Der philosophische Hintergrund des Positivismus des Wiener Kreises, dem Neurath angehörte, mit der Diskussion um einfache, grundlegende Sätze (Protokollsätze), und der enge Kontakt zum Bauhaus und dessen Streben nach einfachen, grundlegenden Konstruktionselementen, spiegeln sich in seinem Bildsprachenprojekt wieder. Ziel war die Aufklärung breiter Massen, indem wissenschaftliche Erkenntnisse mit Hilfe bildstatistischer Methoden allgemeinverständlich zugänglich würden. Die Zeichen des ISOTYPE-Systems sollten selbsterklärend sein und deshalb Objekte größtmöglicher Ikonizität darstellen.

legt.⁵¹ Freilich unterscheiden sich die Namen in den unterschiedlichen Sprachen, während die Zeichen universell verwendbar sind.⁵²

Zwei Zeichenklassen sollten aufgrund ihrer Besonderheit näher betrachtet werden: zum einen Operationszeichen, zum anderen Ziffern. Operationszeichen referieren als ideographische Zeichen eindeutig auf regelbasierte Operationsvorschriften, die angeben, wie mit Zeichen zu verfahren ist.⁵³ Der Symbolgehalt ist ein intrasymbolischer und bezieht sich ausschließlich auf die Verwendung innerhalb eines definierten Zeichensystems. Gegenstand der Operationen sind Zeichen, die in einem formalen System Variablen sind. Ein Kalkül kann als prototypische Kombination von Operationszeichen und Variablen gewertet werden.⁵⁴ Das Besondere dieser Zeichen ist ihr Symbolgehalt, der durch die Anwendung auf Zeichen Handlungsvorschriften zur Produktion neuer Zeichen angibt. Operationszeichen eines Kalkülsystems erlauben so die Konstruktion symbolischer Maschinen, die Zeichen produzieren, deren Symbolgehalt leer ist.⁵⁵ Dabei kann sich der Prozeß der Produktion unendlich gestalten, falls die Handlungsvorschriften iterative Elemente aufweisen. Die Iteration als Operation der Wiederholung eröffnet in operativ-selbstbezüglicher Weise die Integration des Unendlichen, insofern der Prozeß nicht von sich aus oder durch entsprechende Abbruchkriterien zum Ende kommt. Allerdings ist dieses Potential der Unendlichkeit ein symbolisches, da jegliche Realisierung bereits die Begrenzung beinhaltet.⁵⁶ Kalkülsysteme symbolisieren mit statischen Zeichen einen dynamischen Zeichenumgang und dokumentieren diesen in linearen Aufzeichnungsschritten. Die Deduktion kann als dessen dynamisches Muster aufgefaßt werden, das es erlaubt, sukzessive aus einem Schritt den nächsten abzuleiten.⁵⁷ Sukzessive Vorgänge handeln von der schrittweisen Ausführung regelbasierter Operationen und sind in ihrer zeitlichen Form diskret. Genau betrachtet vollzieht sich die Bewegung im Übergang von einem Zustand in den nächsten, wobei die Zustände als Zeichenfolgen fixiert sind. Die Zulässigkeit der Übergänge resultiert aus den gegebenen Vorschriften. Unter bestimmten Bedingungen sind

⁵¹ Beispielsweise so, wie Leibniz bei der Einführung des Begriffs des *Differentialquotienten* vorging: „In dieser Perspektive stellt nämlich das Symbol dx/dy keine bestimmte Größe, sondern eine operative Vorschrift dar ...“ Krämer, 1988, S. 71. Die Symbolrelation besteht aus dem Zeichen (dx/dy), dem Namen (Differentialquotient) und der operativen Vorschrift der Verwendung des Zeichens im Rahmen eines formal-operativen Zeichensystems.

⁵² Denn wie Rene Descartes hinweist „... bliebe jedoch das Problem der für diese Begriffe zu wählenden Laute, da manche Laute für das eine Volk angenehm und leicht aussprechbar und für ein anderes unangenehm sind. ... Wenn einer sich für die Elementarbegriffe der Synonyme in seiner eigenen Sprache bediente, würde er von den anderen Völkern nicht verstanden, es sei denn, er drückte sich schriftlich aus;“ Eco, U.: Die Suche nach der vollkommenen Sprache, 1997, S. 225

⁵³ Operationszeichen in diesem Sinne sind Kalkülzeichen. Es sind zwar Operationszeichen denkbar, die auf Handlungen mit extrasymbolischen Objekten referieren wie beispielsweise in einem Rezept, doch sind diese Operationen meist umgangssprachlich artikuliert und selten mit gesondert eingeführten ideographischen Zeichen notiert.

⁵⁴ Hinzu kommen Hilfszeichen wie Klammern, Trennstriche etc.

⁵⁵ „Da formalisierte Systeme als symbolische Maschinen zu behandeln sind, können wir über die Gegenstände dieser symbolischen Realitäten auch sagen: Die Gattung dieser Gegenstände ist dadurch ausgezeichnet, daß diese durch Operationen symbolischer Maschinen erzeugbar sind.“ Krämer, 1988, S. 183

⁵⁶ Die Begrenzung der Ressourcen spielen für die Realisierung unendlicher Prozesse eine entscheidende Rolle.

⁵⁷ „Die Deduktion oder Ableitung ist eine Umformung von Figuren nach Regeln, die sich nur auf die Form der Figur bezieht“ Stekeler-Weithofer, P.: Grundprobleme der Logik, 1986, S. 13. „Den Begriff der Deduktion, der aufruft auf einem schematisch verstandenen Regelsystem: Deduktionen sind `sukzessive` Anwendungen von Regeln ...“ Stekeler-Weithofer, 1986, S. 104

die regelbasierten Operationen mechanisierbar, d.h. in maschinell ausführbare Instruktionen transformierbar. Die Zustände sind dann nicht als Zeichenfolgen fixiert, sondern als Maschinenzustände gegeben, deren Umformung durch die Instruktionen artikuliert wird.⁵⁸

Die zweite Klasse ideographischer Zeichen sind Ziffern, die auf den abstrakten Bereich der Zahlen referieren. Allerdings verweisen sie nicht auf - wie auch immer gedachte - abstrakte Entitäten, sondern auf deren strukturelle Verfassung, die prinzipiell geordnet und maschinell erzeugbar ist.⁵⁹ Insofern lassen sich Zahlen als symbolische Maschinen formulieren, die maschinell realisierbar sind.⁶⁰ Ihr Symbolgehalt ist operativ erzeugbar, d.h. es sind Regeln formulierbar, um Zahlen zu erzeugen und ineinander überzuführen. Dies ist weder für Variablen noch für sinnhafte Zeichen der Fall, da deren Symbolgehalt entweder leer ist oder auf konventionellen Zuordnungen basiert. Es lassen sich also verschiedene Formen der Bezugnahme feststellen, indem der Symbolgehalt von Zeichen leer, operativ erzeugbar oder konventionell kodiert ist. Außerhalb des Computers ist die Art der Bezugnahme an entsprechende Zeichenklassen - Variablen, Ziffern, Wörter - gekoppelt. Doch die Zerlegung der Zeichen in numerisch kodierte Zeichenzustände erlaubt die operative Erzeugbarkeit und Verrechenbarkeit aller computerbasierten Zeichen, die allerdings für jene Zeichen wenig sinnvoll ist, deren Symbolgehalt konventionell kodiert ist.⁶¹ Mit der Verrechenbarkeit der Zeichenzustände sowie der wählbaren Präsentation als Charaktere, Farbwerte oder Klänge verschränken sich die Relationen zwischen Zeichenklassen und Formen der Bezugnahme. Deutlich wird dies bei der Visualisierung numerischer Simulationen, indem numerische Werte - farblich präsentiert - berechnete Bilder erzeugen.

Die erweiterte Funktionalität der Schrift erlaubt nicht nur die Diversifikation ihrer Formen der Bezugnahme, sondern mit der Fortführung ins Dynamische die Verschränkung der verschiedenen Arten der Bezugnahme. Wie ist dies zu verstehen? Bisher verhielt es sich so: Wenn wir einen Sachverhalt numerisch artikulierten, war der Symbolgehalt an die Ziffern gebunden. Wenn wir etwas beschrieben, war der Symbolgehalt an sinnhafte Buchstabenfolgen gekoppelt. Und wenn wir etwas graphisch darstellten, so wurde der Symbolgehalt ikonisch präsentiert.⁶² Doch mit Hilfe des Computers ist es nun

⁵⁸ Dieser Zusammenhang zeigt sich theoretisch in der Äquivalenz zwischen Turingtafel und Turingmaschine.

⁵⁹ Die strukturelle Verfassung konstituiert sich durch die Geordnetheit kleiner, gleich, größer. Die Beschreibung *Zahl* suggeriert das Vorhandensein von Entitäten, zumindest abstrakter Entitäten. Die objektorientierte Betrachtungsweise läßt sich jedoch durch eine operative substituieren. Dann ist lediglich die strukturelle Ordnung von Belang, die sich ausschließlich in der regelbasierten Handhabung der Zeichen zeigt. Derart verallgemeinert lassen sich auch die Operationszeichen der Arithmetik, Algebra und Binärlogik unter der numerischen Verwendungsweise auflisten.

⁶⁰ Allerdings nur auf Basis des Zählkalküls natürlicher Zahlen. Die Realisierung anderer Zahlen zeigt sich im Computer in der Kennzeichnung und in der Art der Verrechnung. So zeigt das erste Bit einer Floating-point Zahl an, ob es sich um eine negative oder positive Zahl handelt. Diese Kennzeichnung wird im Rahmen der programmgesteuerten Interpretation und Verarbeitung berücksichtigt. Auf Maschinenebene sind alle Zahlen *positiv* als 0/1-Folgen realisiert.

⁶¹ Es ließen sich auch Buchstaben ineinander überführen, doch im Rahmen sinnhafter Zeichenfolgen macht dies wenig Sinn.

⁶² Die Form der Bezugnahme oder des Symbolgehalts besteht in der Konstitution der semantischen Dimension der Zeichen und ist außerhalb des Computers entscheidend von der sinnlich wahrnehmbaren Form der Zeichen geprägt. D.h. das Symbolsys-

möglich einen numerischen Sachverhalt nicht nur mit Ziffern darzustellen, sondern mit ikonischen Mitteln.⁶³ Es ließe sich also mit Bildern rechnen. Diese Verschränkung der Symbole mit bislang symboltypischen Formen der Bezugnahme hat Folgen, denn sie führt dazu, Zeichen in neuer Weise für Erkenntnisse zu nutzen. Berechnete Bilder besitzen eine andere Aussagekraft als gemalte. Für die Visualisierung numerischer Simulationen bedeutet dies, daß „... das, was formal beschreibbar ist, ikonisch repräsentiert werden kann. ... Bilder substituieren Formeln und zwar so, daß dabei die Anschauung Erkenntnisse zu vermitteln vermag, die in der Arbeit mit der Formel gerade nicht zu Tage treten.“⁶⁴ Um welche Erkenntnisse es sich dabei handelt, soll später diskutiert werden. Vorrangig ist jedoch die Frage, was es bedeutet, die Symbole selbst als Objekte der Handlungen zu verwenden und sie ihrer extrasymbolischen Vermittlerrolle zu entledigen? Die Doppeldeutigkeit des Begriffs des *Symbolischen* wird hier deutlich. Denn einerseits ist der Begriff im Sinne einer extrasymbolischen Stellvertreterfunktion zu verstehen, andererseits zeigt er die ausschließliche Verwendung von Symbolen an: ein Hantieren mit semiotischen Entitäten oder in rein semiotischen Welten, wie es in der Algebra oder der formalen Logik ist. Beide Deutungsweisen bedingen sich nicht gegenseitig und die numerische Simulation ist ein Beispiel dafür.⁶⁵ Basierend auf formalen Gleichungen, werden zum einen die mit den Operationszeichen symbolisierten Operationen ausgeführt, andererseits die Variablen durch konkrete numerische Werte ersetzt, die selbst als Operationen aufgefaßt werden können. Allerdings nur dann, wenn numerische Werte nicht auf abstrakte Entitäten referieren, sondern als operativ erzeugbare Zeichenzustände verstanden werden.⁶⁶ Die semiotische Fülle, die dabei generiert wird, besteht aus digitalen Zeichen, die einen operativ erzeugbaren Symbolgehalt aufweisen. Und dieser läßt sich rein formal verstehen ohne extrasymbolische Bezüge. Die Resultate numerischer Simulationen symbolisieren also lediglich die Struktur ihres Erzeugungsmechanismus, der formal in den Gleichungen angezeigt ist und während der Simulation zur Ausführung kommt. Oder anders gewendet: Die in den Formeln symbolisierten Strukturen entfalten sich durch die konkrete Ausführung im Rahmen der numerischen Simulation auf Basis operativ erzeugbarer Zeichen.

tem bestimmt maßgeblich die Form der Bezugnahme oder des Symbolgehalts. Oder anders gewendet: Einen Sachverhalt mit sinnhaften Zeichenfolgen zu beschreiben unterscheidet sich kategorial von dessen ikonischer Darstellung.

⁶³ Dies ist zwar seit Descartes Darstellung geometrischer Sachverhalte mit algebraischen Ausdrücken möglich, doch in einem wesentlich begrenzterem Umfange, so daß allenfalls von graphischen, aber nicht ikonischen Darstellungen die Rede sein kann.

⁶⁴ Krämer, S.: Philosophie und Neue Medien, 1995, S. 189

⁶⁵ Beide Deutungsweisen hängen nur dann zusammen, wenn für ein Symbol oder ein Zeichen notwendig das Repräsentieren als elementare Funktion verstanden wird. Doch es ist nicht einfach zu sagen, was die Symbolrepräsentation ist, wie die verschiedenen Symboltheorien dokumentieren. Dabei wird zwar meist der Fall fiktiver Symbole berücksichtigt, die keine Referenz aufweisen wie *Einhörner*, doch handelt es sich dabei immer noch um einen konventionell kodierten Symbolgehalt. Zeichen mit leerem oder operativ erzeugbarem (formalen) Symbolgehalt werden meist nicht berücksichtigt bzw. als unvollständige Zeichen abgetan, die allenfalls selbstbezüglich sind.

⁶⁶ Der Mechanismus der Erzeugung numerischer Werte läßt sich formalisieren und mechanisieren, bezieht sich also in keiner Weise auf extrasymbolische, abstrakte Entitäten und ist daher interpretationsfrei im Maschinellen verwendbar. Lediglich die Art ihrer Erzeugung und damit ihre Ordnung ist die signifikante Kennzeichnung numerischer Werte, die artikuliert als Erzeugungsvorschrift eine rein intrasymbolische Anwendung darstellt.

2.2 Semiotische Partikel

Ergibt sich ein Verlust des Symbolischen? Die Frage scheint berechtigt, denn die Zeichen werden im Falle der numerischen Simulation zu Objekten der Zeichenoperationen und zeigen selbst keine Objekte an. Vielmehr dienen sie als *semiotische Partikel* zur Erzeugung ikonischer Darstellungen, indem sie - farblich präsentiert - gestaltbildende Funktionen aufweisen. Die Rede vom Verlust des Symbolischen bezieht sich auf die fehlende extrasymbolische Referenzfunktion sowie die objektfokussierte Verwendungsweise der Symbole. Die Zeichen werden zu formbaren Partikeln der Zeichenmanipulation, die nichts repräsentieren als sich selbst bzw. ihre Zustandsdaten.⁶⁷ Die Folge der Formalisierung und Mechanisierung der Zeichenverwendung ist die Vergegenständlichung der Zeichen als Objekte eines schematischen Verfahrens. Dies ist nicht unbedingt in einem ontologischen Sinne aufzufassen, sondern als maßgebender Effekt eines Zeichenumgangs, der - als Verfahren konzipiert⁶⁸ - mechanisierbar ist. Voraussetzung dazu ist die Normierung der Zeichen und die Schematisierung ihrer Verwendung, wie dies auf Papier mit Variablen oder im Computer mit digitalen Zeichen der Fall ist.⁶⁹ Semiotische Partikel sollen allerdings nur jene digitalen Zeichen genannt werden, die im Rahmen eines Koordinatensystems (Raum-Zeit-Raster) eine definierte Position einnehmen und dort ihren numerischen Wert als farblich kodierte Information einbringen. Sie sind die charakteristischen Zeichen der Simulation und konstituieren deren Symbolsystem. Der Informationsgehalt entspricht dabei den Zustandsdaten der Partikel und ist direkt in Raum, Zeit und Farbe umgesetzt. Semiotische Partikel sind also Zeichen, die als Farbpunkte präsentiert eindeutig numerisch kodiert sind. Die intrasymbolische Kennzeichnung ist umfangreich, denn die Farbwerte repräsentieren numerische Werte, die wiederum eine spezifische 0/1-Folge repräsentieren, deren Gestalt oder Struktur im Falle der numerischen Simulation aus regelbasierten Umformungen resultiert. Zudem muß die 0/1-Folge im Rahmen einer Lokalisation in einem Raum-Zeit-Raster eingeordnet sein.⁷⁰ Erst die computerbasierte Zerlegung der Zeichen - in diesem Falle eines Bildpunktes - macht auf die Komplexität der Zeichen aufmerksam. Wenn wir beispielsweise von Schriftzeichen sprechen, setzen wir ihre adäquate Realisierung in Raum, Zeit und Farbe als selbstverständlich voraus, denn erst dann können wir sie überhaupt wahrnehmen und darüber reden. Die Lage der Zeichen, ihre Farbe und Dauer werden als kontingent für ihre Bedeutung

⁶⁷ Der Unterschied zwischen physischen und semiotischen Objekten besteht darin, daß letztere ihre Zustandsdaten - Position im Koordinatensystem, numerischer Wert etc. - im Rahmen eines Programms präsentieren.

⁶⁸ Bereits Rezepte und mehr noch Algorithmen und Kalküle weisen einen entsprechenden Verfahrenscharakter auf.

⁶⁹ Die Partikel sind diskrete, homogene Zustände, deren Differenzierung anhand numerischer Werte sich ins Farbliche transformieren läßt.

⁷⁰ Die 0/1-Folge muß in einer Matrize aufgelistet sein, die als Basis eines polygonalen Datensets dient. Der Farbwert enthält die Zuordnung zu einer bestimmten Aktivierung der Bildschirmpunkte (Pixel), die sich aus drei Werten für rot, grün und blau zwischen 0 und 255 zusammensetzt.

abstrahiert.⁷¹ Tatsächlich sind sie jedoch die Voraussetzung, um die Zeichen zu ermöglichen. Im Falle der semiotischen Partikel repräsentiert die Farbe, Lage und Dauer die anhand der numerischen Simulation entfalteten Informationen. Die Zerlegung der Symbole in digitale Zeichen, die als unanschauliche Zustände einer symbolverarbeitenden Maschine Genüge leisten, bedürfen für uns der sinnlich wahrnehmbaren Präsentation. Das, was wir bislang traditionell als Zeichenträger kennen - Charaktere (Zahlen, Buchstaben etc.), Farbpunkte, Töne - spaltet sich durch die Mechanisierung in verschiedene programmgesteuerte Interpretationsschritte auf: In die sinnlich wahrnehmbare Präsentation der numerischen Darstellung, die binärkodiert in diskrete Zustände umgesetzt ist. Da sich mit dem computerrealisierten Symbolsystem - seinem diskreten Symbolschema und seinem digitalen Schema - unterschiedliche Zeichenträger erzeugen lassen, die außerhalb des Computers auf unterschiedlichen Symbolschemata basieren, erhält die Wahl der sinnlich wahrnehmbaren Präsentation der digitalen Zeichen einen bedeutungskonstituierenden Faktor. Deutlich wird dies bei der Visualisierung numerischer Simulationen, denn der Effekt der Visualisierung numerischer Werte besteht genau darin, die Zahlenwerte eben nicht mit Ziffern darzustellen, sondern mit Farbpunkten. Dabei handelt es sich nicht um Farbpunkte, die aus Gestaltungsgründen gesetzt sind wie in der Malerei, sondern um solche, die operativ erzeugt sind und eindeutig numerische Werte repräsentieren. Die Substitution der Ziffern durch Farben führt zur Verschränkung der Form der Bezugnahme, denn die Farbdarstellung besitzt eine gestaltbildende Funktion im Ikonischen und ermöglicht somit neue Einsichten in formal-operative Zeichensysteme.⁷² Die Farbdarstellung ist eine qualitative im Unterschied zur Darstellung mit diskreten Ziffern in linearer oder tabellarischer Form. Mit der numerischen Simulation werden die Zeichen nicht konventionell symbolisierend oder notierend genutzt. Die Zeichenverwendung ist durch den operativen Charakter digitaler Zeichen geprägt, deren numerischer Wert gemäß den Instruktionen umgeformt wird. Die Zeichen werden zu semiotischen Partikeln, die als Symbolschema ikonischer Darstellungen dienen. Oder anders gewendet: Die numerische Simulation besteht in der regelbasierten Produktion semiotischer Partikel, die anschaulich umgesetzt eine raum-zeitliche Extension einnehmen.⁷³ Und damit lassen sich Strukturen erzeugen und modellieren, die als Bilder von Objekten oder Prozessen

⁷¹ „Dagegen haben die Gebilde, die wir Zahlzeichen nennen physische und chemische Eigenschaften, die von dem Schreibmittel abhängen. Man könnte sich denken, daß einmal ganz neue Zahlzeichen eingeführt würden, wie die arabischen z.B. die römischen verdrängt haben. Niemand wird im Ernste annehmen, daß man dadurch neue Zahlen bekäme, ganz neue Gegenstände der Arithmetik mit bisher noch unerforschten Eigenschaften. Wenn man also von den Zahlzeichen ihre Bedeutung unterscheiden muß, so wird man auch den Ausdrücken »2«, »1 + 1«, »3 - 1«, »6 : 3« dieselbe Bedeutung zuerkennen müssen ... Die verschiedenen Ausdrücke entsprechen verschiedenen Auffassungen und Seiten, aber doch immer derselben Sache.“ Frege, G.: Funktion, Begriff, Bedeutung, 1994, S. 20

⁷² „... der Computer [produziert] primär nur Zahlen- oder Symbolkolonnen, die in reale Bilder rückübersetzt werden müssen, da diese für den Menschen viel leichter faßbar sind. Man nennt diesen Prozeß Visualisierung.“ Neunzert, H.: Mathematik und Computersimulation: Modelle, Algorithmen, Bilder, 1995, S. 44/45

⁷³ Die Simulation selbst besteht in der rein numerischen Umformung gemäß den Instruktionen, die sich aus der simulierten Gleichung ableiten. Doch ohne die visuelle Umsetzung sind die Resultate für uns nicht zugänglich. Aufgrund der Fülle der erzeugten Zeichen würde aber auch eine auf Ziffern basierende Präsentation keinen Erkenntnisgewinn bringen. D.h. nur ein Zeichenverständnis wie das eben skizzierte erlaubt die anschauliche Darstellung der Resultate.

interpretiert werden.⁷⁴ Die semiotische Modellierung transformiert den statischen Objektcharakter des formalen Zeichenverständnisses ins Dynamische und eröffnet neue Möglichkeiten für den Zeichenumgang, indem sich dynamisch verändernde Objekte und Prozeßabläufe semiotisch erzeugen lassen. Beispiele sind die Simulation der Verformungskräfte auf ein Objekt in einer Chrashsimulation (Abbildung 16) oder die Simulation von Turbulenzen in einer Strömung (Abbildung 18). Dabei ist die Dynamik durch das Verfahren determiniert, d.h. die zeitliche Entwicklung ergibt sich aus der zugrundeliegenden Differentialgleichung bzw. deren numerischer Simulation für ein definiertes Raum-Zeit-Raster. Die ikonische Präsentation der numerischen Resultate bietet die Basis für verschiedene Interpretationsmöglichkeiten, denn sie stellt uns die semiotisch modellierten Objekte und Prozesse in Raum und Zeit vor Augen.⁷⁵ Erst die Interpretation der Werte als Werte physikalischer Parameter, Größen oder Kräfte gibt den Partikeln einen extrasymbolischen Gehalt.

3. Neue Einsichten

3.1 Semiotische Fülle

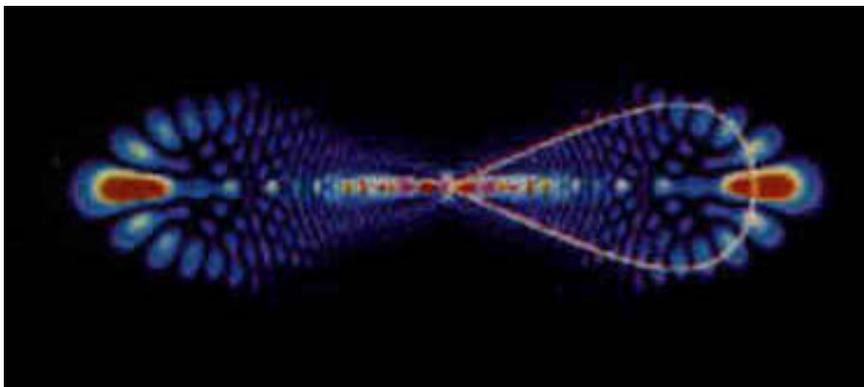


Abb. 23: Simulation der Elektronenverteilung eines Wasserstoffatoms. Jeder Farbpunkt stellt einen numerischen Wert dar, der auf Basis formalisierter Theorien und entsprechender Gleichungen berechnet wurde. Was zeigt diese Visualisierung? Bildet sie ein Wasserstoffatom ab? Oder symbolisiert sie die in den Gleichungen enthaltenen Strukturen, die nun anhand ihrer numerischen Konkretisierung in Raum und Zeit anschaulich werden?

Die numerische Simulation kann als ein Verfahren verstanden werden, das in der regelbasierten Produktion semiotischer Partikel besteht. Dabei wendet sich das Bemühen, mit Zeichen möglichst sparsam umzugehen, ins Gegenteil. Die semiotische Fülle der Simulation - anschaulich umgesetzt anhand

⁷⁴ Modellieren ist hier so zu verstehen, daß mit den semiotischen Partikeln raum-zeitliche Objekte oder Prozesse im Elektronischen erzeugt werden.

⁷⁵ „Natürlich könnte man die gewählte Farbcodierung rückübersetzen und Koordinaten Zahlenwerte zuordnen. Es wird aber klar, daß solche Form der Repräsentation bestimmter Ereignisse in aller Regel dazu führt, daß die Zusammenhänge, um die es geht, dann nicht mehr unmittelbar sichtbar wären.“ Hegselmann, R.: Die Chaostheorie - Eine Herausforderung für die Philosophie und Wissenschaftstheorie, 1995, S. 158/159. Es steht jedoch zu bezweifeln, ob aus Millionen von Zahlen die Zusammenhänge mittelbar erschließbar wären.

ihrer farbwertbasierten Visualisierung - erzeugt für den Betrachter die nötige Dichte, die typisch für ikonische Darstellungsformen ist.⁷⁶ Die Wirkung der semiotischen Fülle auf die anschauliche Modellierung von Objekten und Prozessen zeigt sich in der Verfeinerung des Berechnungsgitters in Abbildung 25 im Unterschied zu Abbildung 24. Ein ähnlicher Effekt war auch in Abbildung 20 zu sehen.

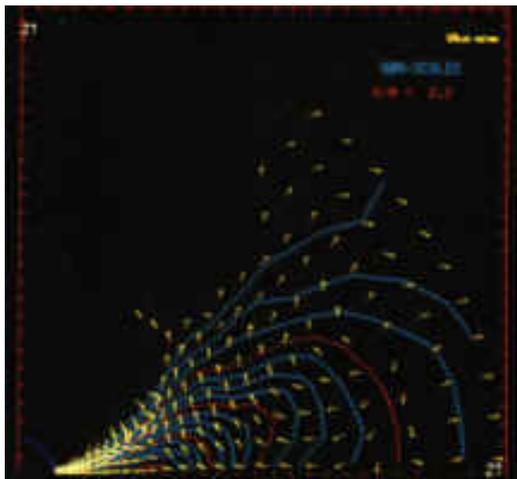


Abb. 24: Simulation eines Gasstroms in ein schwarzes Loch auf einem älteren Computer.

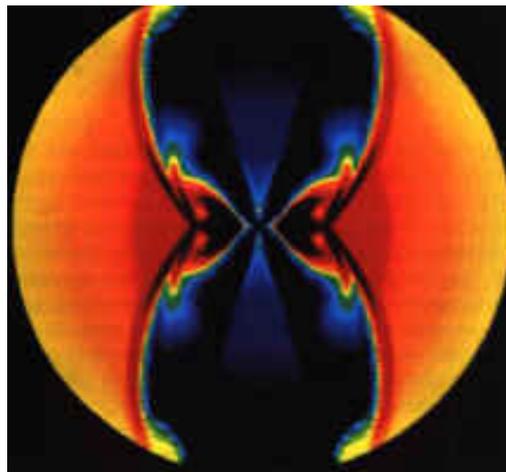


Abb. 25: Dieselbe Simulation mit einem erheblich verfeinerten Berechnungsgitter und für einen größeren Raumausschnitt auf einem 400mal schnelleren Computer.

Eine Struktur semiotisch zu modellieren bedeutet, auf Basis eines regelbasierten Erzeugungsmechanismus (z.B. partielle Differentialgleichung) eine Fülle digitaler Zeichen zu produzieren, die aufgrund ihres numerischen Wertes in Graustufen oder gemäß einer Farbskala in Farbwerte transformiert werden können. Die Gestalt ergibt sich dabei zum einen aus der Form des Berechnungsgitters, zum anderen aus der Datenstruktur. Die Objektivität resultiert aus der Plastizität der ikonischen Darstellungsweise und kann mit interaktiven, stereo 3D-Technologien soweit verstärkt werden, daß der Eindruck raumfüllender, beweglicher und manipulierbarer Objekte entsteht. Dabei wird die Interferenz von Wahrnehmungsraum und Realraum aufgehoben, da die raumfüllende Gestalt der Objekte ein rein simulativer Wahrnehmungseffekt ist. Prinzipiell sind semiotisch modellierte Objekte ausdehnungslose, unanschauliche Zeichenzustände. Je nach Präsentationstechnologie - Bildschirm, Stereo-3D-Equipment, CAVE-Anwendung - und Visualisierungssoftware entsteht aus der semiotischen Fülle eine anschauliche Darstellung. Wenn es zutreffend ist, wie argumentiert wurde, daß die formal erzeugten Partikel, aus welchen sich die Bilder zusammensetzen, keine extrasymbolische Bedeutung aufweisen,

⁷⁶ Vrgl. Goodman, 1995, S. 209ff

stellt sich folgende Frage: Was zeigen diese Bilder? Sicherlich sind es keine Abbildungen, die ähnlich wie Fotografien oder Tafelbilder Objekte und Sachverhalte repräsentieren.⁷⁷ Betrachtet man nur die Visualisierungen - beispielsweise in der Wetterforschung oder dem Molecular Modelling -, so könnte wohl der Eindruck entstehen, es handle sich um Abbildungen. Wenn „... *die Ergebnisse aufwendiger Berechnungen - scheinbar nichtssagende Zahlenfolgen - erst einmal in Computerbilder umgewandelt sind, kann man leicht sehen, daß sie wesentliche Merkmale vieler Naturerscheinungen richtig wiedergeben.*“⁷⁸ Wäre dies zutreffend, so hieße das, die Naturwissenschaften hätten einen Weg gefunden, die Dinge in ihrer Beschaffenheit zu entschlüsseln, und könnten sie nun mit semiotischen Mitteln imitieren, so daß beispielsweise die Wetterentwicklung „... *damit sehr genau unter die Lupe genommen werden [könnte], und die simulierte Wolke wäre wohl kaum noch von der wirklichen zu unterscheiden.*“⁷⁹ Doch die euphorische Sichtweise ist vereinfachend, wenn nicht gar falsch. Streng genommen transformieren die Partikel numerische Zusammenhänge, die sich aus der Simulation der Gleichungen ergeben, in farbliche Darstellungen. Die Geordnetheit numerischer Quantitäten wird dabei in eine farbliche Ordnung übersetzt, die entweder als Graustufen von hell bis dunkel - analog zu niedrig bis hoch - oder mit einer explizit vorgegebenen Farbabstufung skaliert ist. Was sich zeigt, ist die Strukturbildung, die sich durch den Erzeugungsprozeß der Zeichen, entsprechend den instruierten Operationen, ergibt. Sind keine Strukturen in den Farbzusammensetzungen identifizierbar, so spricht man von chaotischen Zuständen, denen jeglicher geordneter Zusammenhang fehlt. Das, was wir als Strukturen erkennen, sind farbbasierte Gestalten, die graphische oder ikonische Effekte aufweisen und dementsprechend Diagrammverläufe, Objekte oder Prozesse visuell erzeugen.⁸⁰ Zwar kann die Geometrie der Objekte durch die Strukturierung des Raum-Gitters geformt sein, doch trifft dies nur auf einen Teil der Simulationen und Visualisierungen zu.⁸¹ Entscheidend ist, daß auf Basis der Farbgebung keine Strukturen abgebildet, sondern erzeugt werden. Und zwar durch eine rein formale Zeichenverwendung. Den Bildern liegen Formeln zugrunde, und es stellt sich die Frage, ob sie es sind, die jene abbildende Funkti-

⁷⁷ „So stehen am Ende der Computersimulation wieder Bilder - natürlich manipulierte, vereinfachte, zweckbestimmte Bilder: Sie sollen der Vorhersage vorher festgelegter Aspekte dienen, nicht eine umfassende Wahrheit widerspiegeln. ... Vergißt man das, nimmt man diese virtuellen Bilder als Wirklichkeit, ist man leicht täusch- und manipulierbar.“ Neunzert, 1995, S. 55

⁷⁸ Kaufmann, W./Smarr, L.: Simulierte Welten, 1995, S. 14

⁷⁹ Kaufmann/Smarr, 1995, S. 31. Möglich würde dies, da folgendes angenommen wird: „Ein feineres Berechnungsgitter resultiert in einer genaueren Simulation, da es das räumliche und zeitliche Kontinuum der exakten Lösung besser annähert.“ Kaufmann/Smarr, 1995, S. 30. Wie hingewiesen sind der Verfeinerung jedoch Grenzen gesetzt, die sich aus der computerinternen Genauigkeit der Zahlendarstellung und der sich daraus ergebenden Fehlerbildung bei der Quotientenbildung gleich großer Zahlen resultieren. Die naive Vorstellung läßt sich aber auch so kommentieren: „Erhalten wir mehr „Realismus und Authentizität“ durch erhöhte Komplexität? Jeder Mathematikstudent kennt aus der Numerikvorlesung eine Reihe von Beispielen, wo z.B. die Verkleinerung der Schrittlänge nicht notwendig zu größerer Genauigkeit, sondern unter gewissen Umständen zu numerischen Instabilitäten und völlig irreführenden Ergebnissen führt. ... Der Kinderglaube, daß komplexere Modelle realistischer sind, daß das Ausgangsobjekt desto genauer erfaßt wird, je größer die Anzahl der Freiheitsgrade ist, muß also abgelegt werden.“ Booß-Bavenbek, B./Pate, G.: Magischer Realismus und die Produktion von Komplexität, 1992, S. 241/242

⁸⁰ Als Unterscheidung zwischen graphischen und ikonischen Darstellungen wurde die Identität von Farbe und Form für erstere genannt.

⁸¹ Die Form des Autos in einer Crashsimulation wäre ein solcher Fall. Doch die Form simulierter Moleküle ergibt sich beispielsweise aus den zugrundeliegenden Gleichungen und nicht aus der Gestalt des Raum-Gitters.

on aufweisen, die sich in den Bildern zeigt. Die Eigenschaft *abbildend* kann dabei sicherlich nicht im Sinne von *ikonisch abbildend* verstanden werden, denn Formeln stellen als formal-operative Zeichensysteme kein piktorales Symbolsystem dar. Sie können allenfalls abstrakte Abbilder schaffen, die in homomorpher Weise Bezug auf die Realität nehmen.⁸²

Was wird mit den Gleichungen abgebildet? Eventuell gewisse strukturelle Zusammenhänge dessen, was den Wissenschaftlern als Untersuchungsobjekt entgegensteht. Die Abbildungsrelation würde sich demnach aus folgenden Analogien ergeben: In einem definierten Untersuchungsbereich werden strukturelle Zusammenhänge identifiziert und theoretisch beschrieben. Diese Beschreibungen werden formalisiert - beispielsweise als partielle Differentialgleichungen - und anschließend simuliert. Die in den Visualisierungen zum Vorschein kommenden Strukturen stehen über die Formalisierung in direkter Relation zu den strukturellen Zusammenhängen, die beobachtet und mit Theorien beschrieben wurden. Die Visualisierungen wären demnach Bilder der Theorien, und da die Theorien Darstellungen realer Sachverhalte sind - empirisch und experimentell fundiert sowie technisch anwendbar -, wären die Bilder Abbildungen der Realität.⁸³ Allerdings Abbildungen, deren Bezugnahme kategorial verschieden wäre von Abbildungen wie Fotografien oder Tafelbilder, da sie nicht ikonische Strukturen ikonisch darstellen, sondern formal erzeugte Strukturen farblich präsentieren. Die Abbildungsrelation bestünde darin, daß Wissenschaftler die Wirkprozesse verschiedener charakteristischer Größen raum-zeitlicher Ereignisse im Untersuchungsbereich identifizieren und mit entsprechenden Meßverfahren aufzeichnen. Dabei findet eine Transformation der Ereignisse in isolierte Zustandsgrößen und diskrete Meßwerte statt, die als empirische Datengrundlage dienen. Die Identifizierung mit den reellen Zahlen schafft eine einheitliche Referenzbasis für Meßwerte und numerische Werte. Auf diese Weise werden die Zustandsgrößen quantifiziert, d.h. auf geordnete Zeichen angewandt. Die beobachteten und mit Theorien beschriebenen Regelmäßigkeiten, in Form von Wirkungen der Zustandsgrößen aufeinander, geben eine Interpretation der Strukturverknüpfungen zwischen diesen und lassen sich als strukturelle Beziehungen zwischen Variablen formalisieren und funktionalisieren. Schließlich werden

⁸² Dabei wird davon ausgegangen, daß algebraische Strukturen auf andere Strukturen abgebildet werden können.

⁸³ Computersimulationen setzen keinen empirischen Gehalt voraus. Die Schnittstelle zwischen ihnen und dem klassischen wissenschaftstheoretischen Modell liegt in dem uninterpretierten Kalkül K , das in Form mathematischer Gleichungssysteme die Grundlage der Simulationsmodelle bildet. Eine solche Simulation kann mit völlig beliebigen Werten der Parameter, Anfangs- und Randbedingungen Situationen erzeugen, die mit der Realität im Sinne einer empirischen Deutung nichts gemein haben. „*Computersimulationen müssen keine Naturgesetze berücksichtigen, sondern können fiktive physikalische Welten mit Alternativen und hypothetischen Gesetzen durchspielen. ... Insofern trägt der Computereinsatz zu einer erheblichen Erweiterung der experimentellen Wissenschaft bei.*“ Mainzer, K., 1995, S. 468. Das Erkenntnisinstrument Computersimulation knüpft im hypothetisch-deduktiven System der Wissenschaft genau an jener Stelle an, die sich durch die Formalisierung der Theorien auszeichnet und erweitert das klassische Modell an diesem Punkt. Während jedoch die empirische Deutung von Erklärungen, Prognosen und Retrodktionen durch Experimente beziehungsweise Messungen an einen vorgegebenen Phänomenbereich W_B (Untersuchungsbereich) gekoppelt ist, erzeugt die Visualisierung der Daten einen eigenen Phänomenbereich W_{Co} . Damit erweitert sie die klassischen Systematisierungen wissenschaftlicher Erkenntnis, sowohl für Prognosen als auch Erklärungen. Natürlich liegt es im Interesse der Wissenschaften durch Validierung den simulierten Phänomenbereich W_{Co} mit seinem korrespondierenden Realitätsausschnitt W_B zu korrelieren. Vgl. Carnap, R.: Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaft, 1986

die Wirkungen der Beziehungen auf die Variablen (Parameter, Zustandsgrößen, Randbedingungen) als funktionale Verknüpfungen - Addition, Multiplikation oder komplexere Verknüpfungen - interpretiert und die so formulierten Gleichungen mit entsprechenden Lösungsverfahren für konkrete Werte der Parameter, Rand- und Anfangsbedingungen simuliert. Das Lösungsverhalten entfaltet die strukturellen Beziehungen zwischen den numerisch konkretisierten Variablen. Die relevanten Strukturverknüpfungen der Zustandsgrößen der beobachteten Ereignisse werden strukturell mit einem formalen Modell artikuliert und als Instruktionen algorithmisiert. Das bedeutet, die beobachteten Erscheinungen werden, als quantifizierbare und formalisierbare Wirkprozesse interpretiert, auf den Umgang mit Zeichen übertragen! Die Simulation beschreibt nicht die Ereignisse, sondern bildet die ereigniskonstituierenden Wirkungen semiotisch nach. Insofern die strukturelle Angleichung zwischen Beobachtung, theoretischer Beschreibung, formalem Modell und algorithmisierten Instruktionen (Erzeugungsmechanismus) zutreffend ist, kann von einer Abbildung struktureller Zusammenhänge gesprochen werden.

Wie läßt sich das prüfen? Anscheinend nur anhand des Lösungsverhaltens, das sich aufgrund der Fülle an Daten farblich visualisiert erschließt: also über einen Bildvergleich zwischen Visualisierung und Beobachtung?⁸⁴ Dabei wird davon ausgegangen, daß sich die Wirkung der charakteristischen Zustandsgrößen eines Systems für ein Ereignis - beispielsweise Temperatur, Dichte, Druck und Geschwindigkeit in einem strömungsdynamischen Prozeß⁸⁵ - formal-operativ formulieren läßt und in der simulierten Wirkung der Zustandsgrößen aufeinander zum Ausdruck kommt, also in deren Verrechnung auf Basis numerischer Werte. Die Wirkung im beobachteten Prozeß und die computersimulierte Wirkung wären demnach strukturell identisch. Und diese Wirkungen zeigen sich in den beobachtbaren

⁸⁴ Zur Veranschaulichung soll als Beispiel eine Wettersimulation nach Kaufmann/Smarr, 1995 beschrieben werden: In jahrelangen Beobachtungen wurden die gemeinsamen äußeren Merkmale von Gewitterwolken identifiziert und mit Hilfe verschiedener Meßinstrumente gelang es, Aufschluß über die inneren Prozesse zu erhalten. Die ermittelten Daten wurden in eine Karte der Regenintensität und Windgeschwindigkeit für sechs verschiedene Höhen eingetragen. Verschiedenfarbige Pfeile, befestigt auf einem Drahtgitter, symbolisierten die Intensität der Wasserdichte und ihre Richtung die Windgeschwindigkeit. Durch die simultane Beobachtung beider Größen war es möglich, zusammenhängende Strukturen zu entdecken: In den mittleren Regionen befand sich ein »Haken«, der bereits von früher bekannt war. Die sogenannte Daumenregel prognostiziert in der Nähe eines solchen Hakens mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Windhose. Die Gründe hierfür konnten erst anhand der Radar-Daten und der Modelldarstellung ermittelt werden. „*Im hakenförmigen Regengebiet bildet sich nämlich ein riesiger Luftwirbel aus, der anfangs noch viel größer ist als jede mögliche Windhose. In der unteren Ebene ist ein großes niederschlagfreies Gebiet zu sehen (dunkelblau). Dort ändern die starken Winde bei Beginn des Regens abrupt ihre Richtung. Diese »Sturmfront« ist die Grenzlinie zwischen der absinkenden Kaltluft und der warmen Luft unterhalb des Unwetters.*“ Kaufmann/Smarr, 1994, S. 23/24. Der nächste Schritt bestand darin, ein Computerprogramm zu schreiben, das allein auf der Grundlage von Naturgesetzen die Entwicklung einer Wolke simulieren konnte. Die Gleichungen kompressibler Gasströme sowie die Phasengesetze von Wasser (Dampf, Flüssigkeit, Eis) für unterschiedliche Temperaturen und Drücke wurden berücksichtigt. Um die Entstehung eines Unwetters zu simulieren, berechnete der Computer das Verhalten von Wasser und Gas für verschiedene Variablen wie Luftdruck, Windgeschwindigkeit oder Temperatur. Die Bilder der Computersimulation zeigen Regengebiete, aufsteigende und absinkende Luftmassen. Pfeile veranschaulichen die waagrechteten Luftströmungen, die Sturmfront ist ebenfalls eingezeichnet und in der zweiten Höhenlage ist ein weiterer »Haken« erkennbar. Die simulierte Sturmfront und der Haken stimmten mit den Radarmessungen überein, ebenso die zeitliche Entwicklung des simulierten Unwetters. „*Damit war nachgewiesen worden, daß Computersimulationen in der Tat die wichtigsten Verhaltensmerkmale eines komplexen Gewittersystems wiedergeben können.*“ Kaufmann/Smarr, 1995, S. 26

⁸⁵ Die Eulergleichungen weisen als Differentialgleichung in Erhaltungsförm für reibungsfreie, nicht-wärmeleitende kompressible Gase vier unbekannt Zustandsgrößen auf: Dichte, Temperatur, x-Geschwindigkeit, y-Geschwindigkeit.

Strukturen wie im Falle der Strömungsdynamik in laminaren oder turbulenten Strömungen. Mit der numerischen Simulation scheint ein Instrument gefunden, das strukturelle Zusammenhänge, insofern diese formal darstellbar und algorithmisch erzeugbar sind, semiotisch nachbildet. Die Bilder wären die Belege dafür, daß die Theorien die Realität zutreffend beschreiben und daß die formal-operative Darstellungsweise das Wesen der Vorgänge strukturell erfassen können. Es scheint also gelungen, eine Brücke zwischen der Wahrnehmung von Ereignissen, ihrer theoretischen und formalen Beschreibung, hin zur semiotischen Modellierung und visuellen Darstellung zu schlagen. Doch das Problem besteht zum einen in der Abbildungsrelation zwischen der Struktur der empirisch identifizierten Wirkprozesse und deren formal-operativen Darstellung sowie numerischen Simulation, und zum anderen in der Validierung der Simulationen anhand des Bildvergleichs,⁸⁶ der mit der analytisch-deduktiven Vorgehensweise in den Wissenschaften bricht und allenfalls heuristische Funktion haben kann. Zudem werden oftmals Prozesse simuliert, die selbst unanschaulich sind, da sie sich zu schnell oder zu langsam vollziehen bzw. in mikro- oder makroskopische Bereiche führen.⁸⁷ In diesen Fällen kreiert die Simulation vollkommen neue Einsichten, und ein Bildvergleich läßt sich nicht vornehmen. Der Unsicherheitsfaktor ist beträchtlich, denn zum einen basiert die Simulation auf einem formal-operativen Modell, für das sich lediglich prognostisch belegen läßt, daß es die Wirkzusammenhänge adäquat widerspiegelt,⁸⁸ zum anderen stellt die Simulation kein rein analytisches Verfahren dar. Dadurch ist die Richtigkeit der Resultate nicht garantiert. Und schließlich sind die Resultate der Simulationsläufe nur singuläre Ergebnisse, die durch Induktionsschluß zu Aussagen verallgemeinert werden, die jedoch logisch nicht zwingend sind und dennoch als Erklärungen und Prognosen auf die Realität übertragen werden. „... die Anwendung der so gewonnenen Hypothesen auf die Wirklichkeit setzt voraus, daß die Homomorphie zwischen Modell und Realität intakt geblieben ist.“⁸⁹ Das bedeutet, daß die algorithmisierte Umsetzung der Gleichungen und deren Berechnung eine adäquate Transformation der formal-operativen Zeichenverwendung sowie der deduktiven Lösungsfindung sein muß. Doch auch dies läßt sich nicht mit Sicherheit belegen, da für nichtlineare Gleichungen oftmals keine Lösung bekannt ist, also auch kein deduktiv zulässiger Lösungsweg, und die Simulation auf heuristische Annahmen zurückgreifen muß, deren Zulässigkeit sich nicht beweisen läßt. Der experimentell-heuristische Charakter der Simulation samt des auf Ähnlichkeit basierenden Bildvergleichs mit allerlei Unzulänglichkeiten ist offensichtlich. Als Methode ist die Simulation schwächer als die Theorie, aufgrund ihres hypothetisch-deduktiven Charakters, und das Experiment, aufgrund seiner empirisch fundierten Datenbasis.

⁸⁶ Die Validierung besteht neben der Beurteilung der sichtbaren Struktureffekte in der Prüfung der Konsistenz des Programms sowie des Simulationsmodells anhand geeigneter Testläufe (Benchmark Tests) als auch in der Abstimmung der Anfangsdaten mit der experimentellen Datenbasis.

⁸⁷ Z.B. subatomare und atomare oder astrophysische Simulationen.

⁸⁸ Doch für komplexe Modelle ist die Simulation die einzige Möglichkeit Prognosen zu berechnen.

⁸⁹ Mückl, W.: Simulation als methodisches Problem, 1981, 203.

Als heuristisch verstandenes Instrument eröffnet sie jedoch neue Einsichten, und zwar deshalb, weil die Phänomene aufgrund der Visualisierung anschaulich werden.⁹⁰

3.3 Simulation als neue Zeichenverwendung

Die Resultate numerischer Simulation, so wurde argumentiert, symbolisieren die Struktur ihres Erzeugungsmechanismus, die Form ihres Symbolgehalts ist operativ erzeugt. Die semiotische Fülle der generierten digitalen Zeichen stellt die Grundlage der Dichte der Visualisierung dar, die charakteristisch für ikonische Darstellungen ist. Der Zeichenumgang der Simulation verwendet die Symbole bzw. deren unanschauliche Repräsentanten als formbare Objekte der Zeichenmanipulation und modelliert mit diesen formal-operativ formulierte Wirkprozesse. Die Extension der Symbole als digitale Zeichen und als Farbwerte wandelt die in Zahlenkolonnen verschlüsselten Strukturen in visuell wahrnehmbare Strukturen um. Die Verschränkung der Zeichen mit bislang symboluntypischen Formen der Bezugnahme erlaubt es, die Zeichen - in diesem Falle die Bilder - in neuer Weise für Erkenntnisse zu nutzen. Diese Bilder stellen keine Abbildungen ikonischer Vorbilder dar, sondern geben Einsichten in die berechneten Wirkungen der Symbole aufeinander. Sie geben Einsichten in semiotisch modellierte Welten. Allerdings sind es abstrakte Bilder, die einer extrasymbolischen Interpretation bedürfen. Da formale Zeichensysteme unterschiedlich interpretiert werden können, lassen sich dieselben Formeln und Simulationen für die verschiedensten Gegenstandsbereiche verwenden und bringen eine neue Strukturierung der Wissenschaften mit sich, die sich quer zu den Disziplinen etabliert.⁹¹ Dies ist eine Folge des Mangels eines extrasymbolischen Bezugs der Simulationen und Visualisierungen sowie deren freier Interpretierbarkeit und auch der funktionalen Sichtweise der Wissenschaften, die nicht auf die qualitative Beschreibung der Ereignisse gerichtet ist, sondern auf die Erfassung funktionaler Zusammenhänge, deren Wirkung die Ereignisse erzeugen.⁹² Mit der Simulation und deren Visualisierung

⁹⁰ „Heuristisches Denken ist nicht ein letztes und strenges, sondern vorläufiges und plausibles Denken, dessen Zweck es ist, die Lösung der vorliegenden Aufgabe zu entdecken. ... Heuristisches Denken beruht oft auf Induktion oder Analogie.“ Polya, G.: Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme, 1949, S. 119

⁹¹ „Die Universalität der Computer-Simulationen ist es, die zu denken gibt. John McLeod übertrug schon 1960 Simulationslösungen aus der Raketenleittechnik auf die Konstruktion einer Herz-Lungen-Maschine, später wandte er sich der Simulation sozialer Systeme zu. Es zeigt sich, daß bestimmte Methoden der Modellbildung und Simulation auf eine Vielzahl von Problemen zu passen scheinen, die dadurch zu „Problemklassen“ werden.“ Randow, G.v.: Computer-Simulation. Bild statt Welt, 1990, S. 122. Dadurch wird eine modulare Art der Theorienbildung möglich, „...derzufolge sich Stücke aus Theorien verschiedener Disziplinen herauslösen lassen, um sie als Bausteine einer neuen Theorie zu verwenden, wobei sich in den neuen Kombinationen deren Bedeutung wandelt“ Lüdtke, K.: Interdisziplinarität und Wissensentwicklung, 1995, S. 112. Allerdings ist diese modulare Art der Theorienbildung nur durch die Mathematisierung der entsprechenden Bereiche möglich und durch die freie Interpretierbarkeit formal-operativer Modelle. Dementsprechend läßt sich auch die Simulation relativ frei interpretieren. Beispielsweise lassen sich mit den Navier-Stokes-Gleichungen der Strömungsdynamik die Stoßwellen von Jets (Abbildung 19), die Strömungen in einer Methanflamme (Abbildung 18) oder die Blutströmung in einer Herzklappe (Abbildung 17) simulieren.

⁹² „Statt die Phänomene qualitativ zu beschreiben, werden sie in der Physik gemessen, also metrisch beschrieben.“ Tetens, H.: Modelle in der Physik, 1986, S. 171. Semiotisch gedeutet bedeutet dies, daß die Phänomene sich in Folgen diskreter Zeichen darstellen lassen, die einer formalisierbaren Ordnung unterliegen und somit berechenbar werden.

wird die formal-operative Zeichenverwendung - in ihrer algorithmisierten Umsetzung angewandt auf numerische Werte - anschaulich. Die numerische Simulation, als ein spezifisches Organisationsprinzip digitaler Zeichen, ist das Resultat der Ausführung mathematischer Strukturen auf mechanisierten, formbaren Symbolen, die sich aus der Fortführung der Schrift ins Dynamische ergeben. Die Simulation kann daher als eine Schriftform verstanden werden, die der Formulierung von Objekten und nicht von Begriffen dient. Wie läßt sich aber eine Schrift verwenden, die statt der Begriffe die Objekte anzeigt? Mit dieser Schrift würde es überflüssig werden, notationale Zeichen einzuführen, die das Wissen eindeutig indexieren, wie es Francis Bacon mit seinem *Abecedarium Novum Naturae* vorschwebte, denn die Objekte selbst werden sichtbar.⁹³ Darunter ist nicht die bildhafte Darstellung des entsprechenden Gegenstands oder Sachverhalts eines Begriffs zu verstehen, wie dies Otto Neurath mit seiner ISOTYPE zum Ziel hatte.⁹⁴ Es ist die direkte Erzeugung eines Gegenstands oder Sachverhalts gemeint, der freilich rein symbolischer Natur ist und als formal-operatives Ereignis aufgefaßt werden kann: als Zusammenwirken verschiedener Zustandsgrößen und Parameter unter definierten Randbedingungen, wobei sich die Wirkprozesse mit Operationszeichen und die Zustandsgrößen und Parameter mit Variablen formalisieren lassen. Die qualitative Dimension der Objekte und Sachverhalte, die in der Visualisierung zum Ausdruck kommt, wird mit einer formalen, quantifizierbaren und operationalen Textur erzeugt. Da diese Textur jedoch frei interpretierbar ist, bedarf es der operativen und quantitativen Verschlüsselung der konstitutiven Eigenschaften des Objekts,⁹⁵ allerdings nur insoweit, als durch die Simulation raum-zeitliche Eigenschaften sichtbar werden. Ob ein Objekt dann als Stoßwelle oder Strömung, als Wolke oder Molekül aufgefaßt wird, hängt von der extrasymbolischen Interpretation ab. Diese Darstellungsweise ermöglicht es, neben der üblichen Verwendung von Schrift zur Beschreibung oder Notierung von Objekten und Sachverhalten, diese semiotisch zu modellieren. Die Simulation stellt insofern eine *Objektschrift* dar.

⁹³ Aufgrund ihrer digitalen Kodierung sind die semiotischen Objekte eindeutig definiert.

⁹⁴ Vrgl. Eco, 1997, S. 218ff sowie Neurath, 1991

⁹⁵ Beispielsweise geht die Begrenzung eines Objekts - seine Form im zwei- oder dreidimensionalen - als Input in die Randbedingungen ein.

4. Wissenschaftliche Bilder

4.1 Verschränkung von Bild und Theorie

Die numerische Simulation, als Objektschrift verstanden, erzeugt mit ihrer Visualisierung abstrakte Bilder objekt- und prozeßartiger Strukturen, die Einsichten in ihren formal-operativen Erzeugungsmechanismus geben. Ohne einen Hinweis auf den extrasymbolischen Kontext der simulierten Gleichungen lassen sich die Bilder nicht deuten, denn es handelt sich nicht um ikonische Abbildungen visuell wahrnehmbarer Vorlagen, die aufgrund von Ähnlichkeit selbsterklärend wären. Doch die Verwendung der Simulationsbilder für Prognosen oder Erklärungen erschüttert das Bild von den Wissenschaften als theorielastiges Unterfangen. Dabei stellt die Nutzung der Simulationsbilder kein Novum dar, denn Bilder werden seit jeher in den Wissenschaften verwendet: Als Erklärungs- und Demonstrationshilfen, zur Illustration theoretischer Abhandlungen oder zur Veranschaulichung abstrakter Zusammenhänge. Untersucht man die wissenschaftlichen Bilder genauer, stellt man fest, daß sie nicht auf unmittelbare Einsichtigkeit ausgerichtet sind, sondern daß es eines umfangreichen wissenschaftlichen Hintergrundwissens bedarf, um sie verstehen zu können. Zudem zeigt sich, daß der zunehmende Einsatz technischer Geräte in unserem Jahrhundert zur Abstraktion der Bildinhalte führt: Während auf Zeichnungen früherer Jahrhunderte oftmals der Experimentator zu sehen ist, ist das für heutige Darstellungen von Experimenten unvorstellbar. Die Neutralität des Beobachters als wichtige Forderung wissenschaftlichen Handelns abstrahiert den einzelnen Forscher als Quelle der Wissensgewinnung. Mit Computern wird es gar möglich, weite Wissensbereiche mit Hilfe von Expertensystemen zu automatisieren. Durch diese Abstraktion entschwindet der situationsbezogene Kontext aus den Bildern. Übrig bleiben reine Farbe, Struktur und Form.⁹⁶

Unabhängig vom Abstraktionsgrad und technischen Aufwand, dienen und dienen wissenschaftliche Bilder dazu, raumzeitliche Ereignisse festzuhalten, sie zu interpretieren und im Rahmen einer Publikation zu vermitteln. Die Verwendung von Bildern kann sich dabei innerhalb einer wissenschaftlichen Untersuchung wandeln: Vom primären Beobachtungsmaterial, zum Analysematerial für Klassifizierung und Begriffsbildung und schließlich zum Illustrations- oder Demonstrationmaterial zur Vermittlung und Publikation des gewonnenen Wissens. Im Laufe dieses Wandels werden die Bilder mit zusätzlichen Informationen *angereichert*, die aus dem wissenschaftlichen Reflexionsprozeß resultieren.

⁹⁶ Doch auch ohne die Bedeutungsinhalte im wissenschaftlichen Kontext nachvollziehen zu können, macht die Ästhetik wissenschaftlicher Bilder, die in den späten 80er und frühen 90er Jahren mit der Dokumentation nichtlinearer Dynamiken und fraktaler Geometrien ihren Höhepunkt fand, diese für eine breite Öffentlichkeit interessant. Heute sind Computersimulationen und deren Visualisierung oder spektakuläre Meßbilder alltägliche Erscheinungen in Zeitschriften, Fernsehbeiträgen oder im Internet.

Numerierungen, Farbwertkodierungen, Beschreibungen und mehr ermöglichen es, die Bildinhalte mit Hilfe verschiedener Verweisungssysteme mit den Theorien zu verknüpfen. Bildinhalte und theorieorientierte Verweisungssysteme wie Beschriftungen, Symbole, Legenden verschränken sich zunehmend zu einem komplexen wissenschaftlichen Bild.

4.2 Klassifizierung wissenschaftlicher Bilder

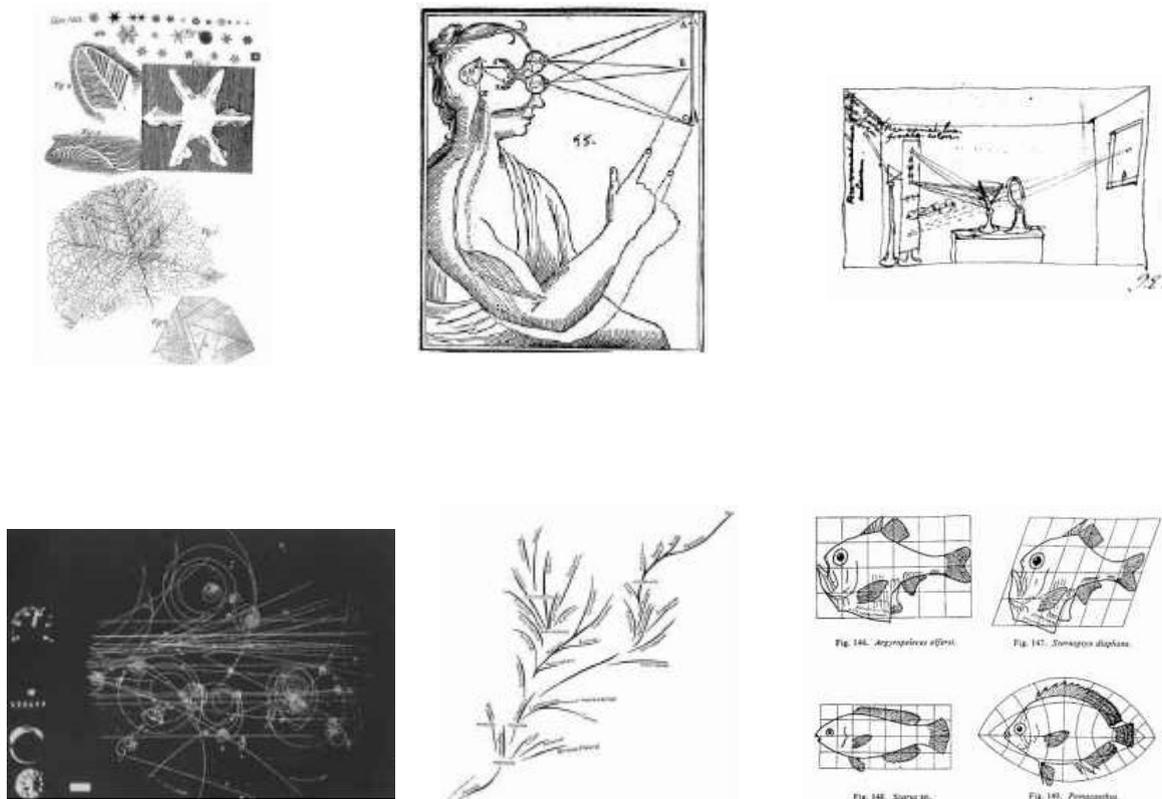


Abb. 26 - 31: Beobachtung: Mikroskopische Untersuchungen von Schneeflocken und Eisblumen von Robert Hooke, 1665. Induktion: Der Sehvorgang von René Descartes, 1664. Methodik: Versuche mit Licht und Farbe von Isaac Newton, 1665-66/1704. Selbstveranschaulichung: Teilchenspuren in einer Blaskammer des CERN, 1970. Klassifizierung: Skizze des Stammbaums von Charles Darwin, 1870. Begriffsbildung: Morphologie von Sir D'Arcy W. Thompson, 1917.⁹⁷

⁹⁷ Die Verwendung der Bilder in den Wissenschaften lässt sich systematisieren, und Harry Robin hat eine entsprechende Einteilung für wissenschaftliche Illustrationen vorgeschlagen: Beobachtung, Induktion, Methodik, Selbstveranschaulichung, Klassifizierung, Begriffsbildung: Die *Beobachtung* (Abb. 26) gibt möglichst originalgetreu das wieder, was beobachtet wurde. Zeichnungen von Pflanzen wie der *Vallisneria spiralis* (Erasmus Darwin 1789) und Tieren wie der Muskulatur des Pferdes (Carlo Ruini ca. 1598), von Schichten des Gehirns (Johannes Dryander 1537) oder geologischen Schnitten (William H. Holmes 1879) sind kunstvolle Beispiele. Die *Induktion* (Abb. 27) ergibt sich aus dem Bildmaterial in Form von Deutungen oder Erklärungen. Das Bild dient zur Demonstration von Vorgängen, wie sie vom Verfasser vorgestellt werden, so beispielsweise bezüglich des Wasserkreislaufs (Stephen Switzer 1729), der Entstehung des Regenbogens (René Descartes 1637), der Befruchtung von Blumen (Charles Darwin 1862) oder der Geometrie der Nautiluschale (Henry Moseley 1838). Die *Methodik* (Abb. 28) erlaubt es, kausale Zusammenhänge bildlich zu belegen oder widerlegen und Konstruktionsanweisungen für experimentelle Aufbauten zu leisten wie zur Beobachtung von Sonnenflecken (Christoph Scheiner 1611), zum Luftdruck (Robert Boyle 1680), zur Verarbeitung von Quecksilbererzen (Lazarus Ercker 1575) oder zu elektrostatischen Versuchen (William Watson 1749). *Selbstveranschaulichung* (Abb. 29) ist gegeben, wenn Naturvorgänge Spuren hinterlassen, die - bildlich eingefangen - von den Wissenschaftlern entschlüsselt werden. Spuren von Vorgängen zeigen sich im Querschnitt durch den Stamm einer Douglasfichte (Andrew Douglas um 1920), in Klangfiguren (Ernst Chladni 1785), Welleninterferenzen (Ernst Heinrich Weber 1825), Röntgenaufnahmen der Blutgefäße der Hand (Wilhelm Röntgen 1895-96), Stroboskopaufnahmen einer fliegenden Gewehrkugel (Harold Edgerton 1973) oder in Tomogrammen der Funktion der linken Gehirnhälfte (Michael Posner 1987). *Klassifizierungen* (Abb. 30)

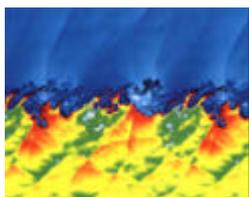
Die von Harry Robbin vorgeschlagene Systematik (Abbildung 26 bis 31) dokumentiert die unterschiedlichen Bildverwendungen, die sich aus der wissenschaftlichen Arbeitsweise und Intention - Darstellen, Erklären und Demonstrieren, Bestätigen und Widerlegen, Nachvollziehen natürlicher Vorgänge, Klassifizieren, Bilden von Begriffen - ergeben. Die Beispiele, vor allem im Bereich der Selbstveranschaulichung, deuten zudem an, daß sich mit wachsendem Technikeinsatz eine Entwicklung vollzieht, die neben der wissenschaftlichen Illustration bildgebende und bildgenerierende Verfahren hervorbringt. Der Begriff *Bildgebende Verfahren* bezeichnet Meßverfahren mit computergestützter Bildrekonstruktion, der Begriff der *Bildgenerierenden Verfahren* die Visualisierung der numerischen Simulation. Als ein Unterscheidungskriterium kann dabei gelten, daß bildgebende Verfahren als Beobachtungs- und Meßverfahren am Modell der Abbildung und Erfassung natürlicher Vorgänge in Echtzeit orientiert sind. Bei Robin entsprechen sie der Selbstveranschaulichung im Sinne einer wissenschaftlichen Tätigkeit als Entdecken gegebener, visuell oder meßtechnisch erfaßbarer und ikonisch rekonstruierbarer, realer Zusammenhänge. Die zu messenden Objekte wie auch der menschliche Körper werden als Signalerzeuger verstanden bzw. als geeignet, Strahlenfelder zu modulieren. Meßinstrumente detektieren die Signale nach vorgegebenen Bedingungen, indem sie für bestimmte Signalquellen und Maßverhältnisse (Parameter) spezifiziert werden. Die Meßresultate (Parameterwerte) lassen sich mit Hilfe unterschiedlicher Ausgabemedien aufzeichnen. Die Umwandlung der Meßdaten kann je nach Meßvorrichtung als konventionell vereinbarte Abbildfunktion durch eine Skaleneinteilung oder durch die Umwandlung der Meßwerte in Graphen erfolgen. Im Falle der bildgebenden Verfahren wird die Bildrekonstruktion durch mathematische Algorithmen unterstützt, deren Resultate Grauton- oder Farbtonverteilungen sind. Für menschliche Sinnesorgane nicht erfaßbare Wahrnehmungsbereiche rücken so in den Bereich des Sichtbaren.⁹⁸

Demgegenüber sind bildgenerierende Verfahren ikonisch präsentierte Exemplifikationen formaloperativer Zeichenverwendungen. Als deren Vorläufer ließen sich eventuell die von Robin als Begriffsbildung spezifizierten Bilder anführen, die Gedankenexperimente veranschaulichen. Charakteris-

dienen der Einteilung von Beobachtungen in ein System. So beispielsweise zur Systematik der Ameisen (Pierre-André Latreille 1802), zur Klassifizierung von Pflanzen nach geschlechtlichen Merkmalen (Karl von Linné 1737), zu den Chromosomen eines gesunden Mannes (J. Hin Tijjo und Albert Levan 1956) oder zur Tafel der Elemente (John Dalton 1808). Schließlich erlaubt die *Begriffsbildung* (Abb. 31) Gedankenexperimente zu veranschaulichen, sei es zu den Sphaera Mundi (John von Holywood 1220), dem Sonnensystem (Nicholas Koperinkus 1543), der Weltharmonik (Johannes Kepler 1619), der Substanz des Raumes (René Descartes 1640) oder der Entstehung von Kontinenten und Ozeanen (Alfred Wegener 1915). Vrgl. Robin, H.: Die wissenschaftliche Illustration. Von der Höhlenmalerei zur Computergraphik, 1992

⁹⁸ Die Röntgen-Computertomographie CT erlaubt es, überlagerungsfreie Schichtbilder zu erzeugen. Rekonstruktionsalgorithmen errechnen aus den einzelnen Meßwerten das Bild. Das Meßsystem, bestehend aus dem Detektor und der Meßwerterfassungselektronik, setzt die durch das Objekt geschwächte Röntgenstrahlung in computergerechte Meßsignale um, aus welchen anschließend das Bild rekonstruiert wird. Dies geschieht, indem die Verteilung der Schwächungskoeffizienten errechnet und auf Basis der Hounsfield-Skala interpretiert wird. Die Übertragung der Hounsfield-Skala (-1000 bis 3000) in 4000 Graustufen ergibt das CT-Bild. Für die CT-Bildrekonstruktion nimmt man an, daß das Objekt aus endlich vielen quadratischen Zellen besteht (Pixeln), die einer gleich großen Zahl von Meßdaten entsprechen. Vrgl. Bley, H.: Compendium Medizin und Technik, 1994, S. 320ff; Morneburg, H. (Hg.): Bildgebende Verfahren für die medizinische Diagnostik, 1995, S. 44ff

tisch ist die Nutzung dieser Bilder zur Veranschaulichung abstrakter Zusammenhänge theoretischer Annahmen, die zumeist einem heuristischen Gebrauch dienen. Während jedoch Gedankenexperimente subjektive Darstellungen präsentieren, die im Nachhinein theoretisch fundiert und experimentell bestätigt oder widerlegt werden müssen, stellen Visualisierungen eine neue Form der Sichtbarmachung von Theorien dar, die erst mit der Mathematisierung der Theorien und der Entwicklung der Computer möglich wurde. Sieht man nur die Bilder, so ist ohne entsprechendes Hintergrundwissen oft nicht entscheidbar, ob es sich um das Resultat eines Bildgebenden oder Bildgenerierenden Verfahrens handelt. Die Ästhetik beider Verfahren ist aufgrund der genutzten Computervisualistik ähnlich. Entscheidend ist jedoch, daß Bildgebende Verfahren indizierte Meßwerte anschaulich darstellen, während Bildgenerierende Verfahren die visualisierten Daten auf Basis formalisierter Theorien produzieren. Die Spezialisierung meßtechnischer Geräte auf spezifische sensorische Aufgaben erlaubt es, die Resultate als Datenmaterial der Anfangswerte, der Parameter und Randbedingungen zu verwenden.



Instabilitäten auf Basis der Euler-Gleichungen

Für wissenschaftliche Illustrationen als auch Bildgebende, aber mehr noch für Bildgenerierende Verfahren ist typisch, daß sie ohne entsprechendes theoretisches oder experimentelles Hintergrundwissen nicht verstehbar und somit nicht unmittelbar einsichtig sind. Zwar mag es durchaus möglich sein, intuitiv die dargestellten Objekte und Vorgänge zu erkennen, doch die wissenschaftliche Intention, einen bestimmten kausalen, strukturellen oder klassifizierenden Zusammenhang zu erfassen, ist auf die Theorien bzw. auf die fachliche Ausbildung und die Erfahrung im Umgang mit den Bildern angewiesen. Ein Laie wird auf einem CT-Bild kaum ein entsprechendes Krankensbild erkennen, noch die ästhetische Linienführungen der Zerfallsspuren von Teilchen auf Blasenkommer-Bildern deuten können. Doch auch für Fachwissenschaftler ist es unmöglich, ohne Angaben zur Meßmethode, zum zugrundeliegenden Gleichungssystem einer Simulation oder zu deren zeitlicher und räumlicher Auflösung eine fundierte Aussage zu einem Bildresultat zu geben. In dem Maße, wie Theorien nicht nur zur Erklärung ikonisch dargestellter Zusammenhänge dienen, sondern Basis der Bilder selbst sind, wird die Mittelbarkeit noch deutlicher.⁹⁹ Denn auch wenn der Bildinhalt intuitiv einsichtig wäre und einen scheinbar realistischen Zusammenhang wiedergeben würde, es handelt sich nur um die Visualisierung einer formalisierten und simulierten Theorie. So zeigt Abbildung 32 keinen sturmgepeitschten See, sondern die Visualisierung der Euler-Gleichungen für spezifische Parameterwerte, Anfangs- und Randbedingungen. Zur Deutung dieses Bildes ist die

⁹⁹ Das führt zur Forderung nach Offenlegung der Bedingungen der Bilderzeugung für eine intersubjektiv nachvollziehbare Nutzung von Bildern im wissenschaftlichen Diskurs. Dies geschieht in der Regel in der theoretischen Beschreibung zum Bild, aber auch durch Informationen, mit welchen das Bild *angereichert* wird (ideographische Zeichen, Farbkodierungen, Legenden).

Kennzeichnung des Gleichungssystems und der numerischen Bedingungen der Simulation notwendig, aber auch die extrasymbolische Interpretation, daß es sich um das Strömungsverhalten zweier Flüssigkeiten handelt. *Daß der Supercomputer solche vertrauten Formen aus den mathematischen Formulierungen der Naturgesetze errechnen kann, ist für die Wissenschaftler eine wichtige Bestätigung der Richtigkeit ihres Ansatzes.*¹⁰⁰

4.3 Bildvermittelte Erkenntnis

Welche Erkenntnisse resultieren also aus den berechneten Bildern? Diese Frage ist auf zweierlei Weise zu verstehen. Zum einen als allgemein philosophische Frage nach der typischen Darstellungsweise von Bildern. Zum anderen als spezifische Frage nach der Besonderheit der Darstellungsart computerbasierter Visualisierungen. Das bildtheoretische Feld ist von unterschiedlichen Standpunkten gekennzeichnet, und vor allem zwischen Vertretern einer Ähnlichkeitsrelation versus einer semiotisch motivierten Denotationsrelation ist die Diskussion entbrannt.¹⁰¹ Einig ist man sich darüber, Bilder als *Bilder von etwas* zu verstehen und in diesem Sinne als Repräsentationen. Gemeinhin wird auf die Frage, wie Bilder abbilden, geantwortet: Sie sind den abgebildeten Objekten ähnlich. Doch: „Die naivste Auffassung von Repräsentation“, vermerkt Nelson Goodman, *könnte man vielleicht folgendermaßen charakterisieren: »A repräsentiert B dann und nur dann, wenn A B deutlich ähnlich ist« beziehungsweise »A repräsentiert B in dem Maße in dem A B ähnelt«.*¹⁰² Da Ähnlichkeit als natürliche, subjektunabhängige sowie symmetrische Relation gilt, harmonisiert sie nicht hinreichend mit dem Repräsentationsbegriff, wie wir ihn intuitiv verstehen. Denn ein Bild repräsentiert eine Person, aber die Person repräsentiert nicht das Bild. Zudem führt die Tatsache, daß es abstrakte oder fiktive Bilder gibt, die ohne auf etwas zu referieren, dem sie ähnlich wären, für uns dennoch als Bilder fungieren, zu Problemen.¹⁰³ Folgt man Goodman, so sind darüber hinaus Bilder Bildern ähnlicher, als den dargestellten Objekten oder Ereignissen. Das eigentliche Problem einer Ähnlichkeitsrelation liegt jedoch in der Problematik, Abgrenzungskriterien relevanter Eigenschaften für Ähnlichkeit angeben zu können.

¹⁰⁰ Kaufmann/Smarr, 1994, S. 22

¹⁰¹ Vgl. Scholz, O.: Bild, Darstellung, Zeichen, 1991 sowie Boehm, G. (Hg.): Was ist ein Bild?, 1995; Gombrich, E./Hochberg, J./Black, M.: Kunst, Wahrnehmung und Wirklichkeit, 1977; Gombrich, E.: Bild und Auge, 1984; McDonell, N.: Are pictures unavoidable specific?; Hoffmann, U. et al. (Hg.): LogIcons, 1997; Jonas: Der Adel des Sehens 1954; Sonesson, G.: Pictorial Concepts 1989; Sebeok, Th./ Umiker-Sebeok, J. (Hg.): Advances in Visual Semiotics, 1995; Konersmann, R. (Hg.): Kritik des Sehens 1997; Mitchell, W.J.T.: Iconology: Image, Text, Ideology, 1986; Muckenhaupt, M.: Text und Bild, 1986; Schier, F.: Deeper into Pictures., 1986; Recki, B./ Wiesing, L. (Hg.): Bild und Reflexion, 1997; Wiesing, L.: Die Sichtbarkeit des Bildes, 1997; Steinbrenner, J./ Winko, U.: Die Philosophie der Bilder, 1997; Lopes, D.: Understanding Pictures, 1996

¹⁰² Goodman, 1995, S. 15. Auch Umberto Eco kritisiert den Ähnlichkeitsbegriff. Vgl. Eco, U.: Einführung in die Semiotik, 1968

¹⁰³ Der Ähnlichkeitsbegriff ist vielfältig kritisierbar. Oliver Scholz stellt fest: „Sowohl der Fall der (im Sachbezug) leeren Bilder, als auch der Fall der Bilder von Zukünftigem deuten darauf hin, daß das Bestehen einer bestimmten Beziehung zu einem Dargestellten Gegenstand nicht notwendig für die Bildbewandtnis ist. Es kann ein Bild sein, bevor oder ohne daß es eine Ähnlichkeitsbeziehung zu einem Gegenstand gibt.“ Scholz, 1991, S. 33

Eine Bestimmung folgender Art: *A ist B ähnlich, wenn A mit B folgende Eigenschaften gemeinsam hat* führt zu analogen Problemen wie für die zahlreichen Versuche, Umfangs- und Abgrenzungsbestimmungen von Begriffen zu geben.¹⁰⁴ Denn konstitutive und kontingente Eigenschaften zu unterscheiden ist weder allgemeinverbindlich, kontextinvariant noch subjektunabhängig. Die Forderung, alle Eigenschaften anzugeben, ist nicht durchführbar, und die nach mindestens einer Eigenschaft ist trivial. Zudem muß mindestens eine konstitutive Eigenschaft verifizierbar sein, die eine Unterscheidung zwischen Bild und Abgebildetem erlaubt, um überhaupt sinnvoll von Bildern sprechen zu können.¹⁰⁵ Bemühungen, Ähnlichkeit durch Isomorphie zu ersetzen, scheitern an der unverhältnismäßig engen Beschränkung der aus der Logik entlehnten Relation. Denn entweder werden Metakriterien in Relation gesetzt, die zur Bestimmung von Bildlichkeit wenig beitragen, oder es bedarf der Individuierbarkeit von Bildstrukturen. Doch dazu müßten die Bilder oder Teile davon eindeutig differenzierbar und im Rahmen der Isomorphie reproduzierbar sein, analog Alphabeten, Notationen oder geometrischen Figuren. Und dies ist nicht der Fall. Schließlich ist auch Isomorphie eine symmetrische Relation und so für Repräsentations nicht hinreichend. Andere Bildtheorien gehen von einer Ähnlichkeitsbeziehung zwischen sinnlicher Wahrnehmung des Bildes und sinnlicher Wahrnehmung des abgebildeten Objektes in Form einer ähnlichen Perzeption aus.¹⁰⁶ Aber auch hier wäre einzuwenden, daß entweder nicht mehr zwischen Bild und Abgebildetem unterschieden werden kann, und wenn doch, die Perzeption beider signifikant differenziert sein muß. All diese Argumentationen basieren auf der Annahme, Bilder seien *Abbildungen von etwas*. Doch sollte erstens der Abbildungscharakter und zweitens das *Etwas* hinterfragt werden, denn spätestens mit der abstrakten Malerei, Meßbildern und computergenerierten Visualisierungen ist der Repräsentationsbegriff zu spezifizieren.¹⁰⁷ Vor allem die unterschiedlichen Schwerpunkte in der Funktionalität der Bilder scheinen in diesem Zusammenhang entscheidend zu

¹⁰⁴ Wie beispielsweise für Abbildtheorien der Sprache sowie die strukturellen Kennzeichnungen von Begriffen und Objekten. In allen Fällen geht es um eine eindeutig spezifizierte Bezugnahme, die letztendlich aufgrund der Vagheit der natürlichsprachlichen Begriffe und visueller Objekte nicht gelingen kann. Dies läßt auch im Falle der Bilder nicht hoffen. Eine analytische Definition von Bezugnahme - gelänge sie - hätte einen Reduktionismus zur Folge, der letztendlich keinen Erklärungswert für das zu untersuchende Phänomen (hier die Bildlichkeit) aufweisen würde. Vgl. Wittgenstein, W.: *Tractatus logico-philosophicus*, 1963; Carnap, R.: *Logischer Aufbau der Welt*, 1961

¹⁰⁵ Wie leicht wir uns diesbezüglich täuschen lassen, hat uns René Magritte bereits 1948 mit „Human Condition“ und 1928 mit „Ceci n’est pas une pipe“ vor Augen geführt. Die Illusion der *Tromp l’œil* Bilder als gewichtiges Argument für Ähnlichkeit läuft dieser Forderung zuwider.

¹⁰⁶ Vgl. Steinbrenner/Winko, 1997; Blanke, B.: *Modelle des ikonischen Zeichens*, 1998

¹⁰⁷ Eine andere Einteilung von Bildern führt zur basalen Unterscheidung zwischen äußeren und inneren Bildern. Während äußere Bilder eines Mediums bedürfen, sind innere Bilder Vorstellungsbilder: Mental Images, Traumbilder oder vorgestellte Gedankenexperimente wären Beispiele. Aber auch Metaphern, Weltbilder, Leitbilder oder Urbilder sind flüchtige Vorstellungen, die durchaus zu Fixierungen tendieren. Die Philosophiegeschichte selbst kann nicht nur als Archiv verschiedenster Bildtheorien gelten, sondern von Bildern aller Art. Platons Urbild-Abbild Verhältnis, Nietzsches Metaphernwelt oder Wittgensteins logische Bilder sind Belege der Bedeutung *beredeter Bilder*. Vgl. Platon: *Timaios*, 1972; Nietzsche, F.: *Erkenntnistheoretische Schriften*, 1968; Wittgenstein, 1963. In den Bildtheorien werden singuläre und generelle, leere und fiktive, ästhetische und symbolische Bilder und etliche mehr unterschieden. Betrachtet man die verschiedenen Bildkonzeptionen näher, so fällt auf, daß die Autoren jeweils unterschiedliche Bilder und Bildfunktionen vor Augen haben, die sich im theoretischen Ansatz widerspiegeln. Bilder können unterschiedliche Funktionen erfüllen, allererst besitzen sie jedoch eine perzeptuelle oder mentale Funktion. Darüber hinaus können sie affektive, ästhetische, kommunikative und epistemologische Funktionen aufweisen. Tatsächlich sind Bilder multifunktionale Medien, deren einzelne Funktionen nur theoretisch separierbar sind.

sein. Wie bereits angedeutet, muß ein Bild in irgendeiner Weise gegeben sein. Entweder sinnlich als äußeres Bild mit Hilfe eines Mediums oder als inneres Bild durch eine Vorstellung. Auf das Bild angewendet bedeutet dies, daß es eine perzeptuelle und/oder mentale Funktion für uns als Betrachter aufweist. Vor allem wahrnehmungstheoretisch, empiristisch und erkenntnistheoretisch orientierte Ansätze rekurrieren auf die perzeptuelle Funktion. Dabei rücken sowohl der Gegenstandscharakter der Bilder als auch die Möglichkeit der Identifizierung der dargestellten Objekte in den Mittelpunkt, und weniger der Zeichencharakter mit seiner repräsentationalen Funktion oder die Frage, worin sich Bilder von den abgebildeten Objekten unterscheiden. Die Ähnlichkeitsrelation basiert maßgeblich auf der perzeptuellen Funktion von Bildern und der Erkenntnisleistung im Sinne einer Mustererkennung. Diese Form von Ähnlichkeit, deren logische Formulierung Symmetrie und Reflexivität fordert und die von Goodman als naivste Form von Repräsentation attackiert wird, führt zu der Annahme, das Verhältnis von Bild und Abgebildetem sei eine natürliche Relation. Als solche bedürfe sie keines Lernens. Mindestens für wissenschaftlich verwendete Bilder trifft dies nicht zu. Bilder jedoch als natürliche Zeichen zu behandeln, scheint wenig einleuchtend. Sie als konventionelle Zeichen aufzufassen, die im Gegensatz zur Schrift weniger arbiträr und stärker motiviert sind, scheint plausibler. *Freilich sind wir mit vielen Bildern und Bildsystemen inzwischen so vertraut, daß das Verstehen mancher Bilder fast so schnell und so 'automatisch' geht wie das Wahrnehmen von Gegenständen. Diesem Umstand verdankt sich wohl zum Teil der Eindruck, das Bildverstehen erfolge unmittelbar und ohne, daß etwas gelernt werden muß.*¹⁰⁸ Gelernt werden muß, zwischen Bild und Objekt überhaupt unterscheiden zu können.

Während äußere Bilder auf die Perzeption visueller Eindrücke angewiesen sind,¹⁰⁹ können Vorstellungsbilder durch Gedanken, Erinnerungen, Ideen, Träume, Klänge, Gerüche, Geschmack oder Sprache evoziert werden, aber auch durch visuelle Eindrücke. Vorstellungsbilder weisen keine perzeptuelle Funktion auf. Vor allem in der Philosophie des Geistes und den Kognitionswissenschaften, die mit dem mentalen Bildbegriff als Fortführung des metaphysischen arbeiten, führt die Analogiebildung zwischen mentalen und perzeptuellen Funktionen zu Mißverständnissen beziehungsweise zur Reduktion innerer Bilder auf die perzeptuelle Funktion äußerer. Der zwischen Zenon W. Pylyshyn und Stephen M. Kosslyn geführte Disput zu internen Repräsentationen basiert auf unterschiedlichen Interpretationen zu Modellen äußerer Repräsentationen. Die Analyse und Operationalisierung interner Repräsen-

¹⁰⁸ Scholz, 1991, S. 42

¹⁰⁹ Jakob Steinbrenner und Ulrich Winko fassen äußere Bilder mit einem materiellen Bildbegriff: „Während die Relata des materiellen Bildbegriffs in der Regel konkrete Bilder und Gegenstände sind ...“ und innere Bilder: „... können die Relata der metaphysischen Bildbeziehung - als zweistellige Relation verstanden - sowohl materielle als auch sprachliche, mentale oder abstrakte Gegenstände sein. Der metaphysische Bildbegriff unterscheidet sich vom materiellen Bildbegriff insbesondere durch seinen Anwendungsbereich und seine epistemischen und ontologischen Implikationen.“ Steinbrenner/ Winko, 1997, S. 20

tationen veranlaßt Pylyshyn dazu,¹¹⁰ Vorstellungsbildern keinen eigenen qualitativen Status zuzusprechen. Er macht geltend, daß Gedanken, Vorstellungsbilder oder andere interne Repräsentationen dieselbe modale, da neuronale Basis besitzen und kritisiert die Annahme, daß Vorstellungsbilder in derselben Weise reproduziert werden, wie äußere Bilder uns gegeben sind. Dem setzt Kosslyn entgegen: *„Der Fehler besteht darin, daß Vorstellungsbilder, anders als tatsächliche Bilder, keine fundamentalen Wahrnehmungsverarbeitungen, wie etwa die Konturverschärfung oder die Gestalt-Hintergrund-Kontrastierung, benötigen.“*¹¹¹ Dann wird es jedoch schwierig, sich aus dem Perzeptionsmodell äußerer Bilder Analogien für das *geistige Auge* zu borgen. Laut Kosslyn sollten Vorstellungsbilder Bildschirmdarstellungen ähnlich sein, die durch einen Kathodenstrahl erzeugt werden, also eine Art von Projektion. Mit unserem geistigen Auge können wir dieses räumliche Gebilde scannen, und experimentelle Untersuchungen belegen die zeitliche Differenz zwischen dem Abtasten naher beziehungsweise entfernter Elemente eines Vorstellungsbildes. An den experimentellen Belegen läßt sich zweifeln, vielmehr jedoch wird die Theorienbildung durch äußere Bildfunktionen und Metaphern geleitet und kaum einer inneren Bildfunktion gerecht.¹¹²

Äußere wie innere Bilder können Wohlgefallen, Mißfallen, Stimmungen und Gefühle hervorrufen. Während wissenschaftlich verwendete Bilder eine möglichst geringe affektive und ästhetische Funktion aufweisen sollten, nutzen die Kunst und die Massenmedien diesen Aspekt. Fragen nach dem Wohlgefallen oder dem Eindruck, hervorgerufen durch Bilder, sind mögliche Kriterien für eine ästhetische Funktion derselben. Während unter der affektiven Funktion ein unmittelbarer Eindruck gemeint ist, der durch ein bestimmtes Bild hervorgerufen wird, beispielsweise durch die Gewaltbilder der Nachrichten, scheint die ästhetische Funktion mittelbar durch einen Kontextzusammenhang gegeben zu sein, wie dies für die inszenierten Bilder des Golfkrieges der Fall war.¹¹³ Die Wirkung affektiver Funktionen kann sich durch Gewohnheit vermindern oder verstärken. Eventuell ließe sich sogar der Wille, ein Bild realistisch erscheinen zu lassen, vorrangig unter die affektive Funktion eines Bildes subsumieren. Die perfekte Illusion, die von realen Objekten nicht mehr unterscheidbar ist, erzeugt einen Eindruck, der sich im Nachhinein als trügerisch herausstellt: Der scheinbar unmittelbare Effekt stellt sich

¹¹⁰ Vrgl. Pylyshyn, Z.W.: *What the mind's eye tells the mind's brain*, 1973

¹¹¹ Kosslyn, S.M./Pomerantz, J.R.: *Bildliche Vorstellungen, Propositionen und die Form der inneren Repräsentanz*, 1992, S. 255

¹¹² Der Proband erhält eine Landkarte zur Ansicht. Schließlich wird er aufgefordert die Elemente (Häuser, Pflanzen, etc) aus der Vorstellung zu benennen. Der zeitliche Abstand der Antworten wird als Indiz eines Scannings des Vorstellungsbildes gewertet, das für auseinanderliegende Elemente mehr Zeit beansprucht. Die zeitliche Differenz kann viele Ursachen haben und die Korrelation zwischen Zeit und räumlicher Distanz ist m.E. wenig plausibel. Die Projektionsmetapher leistet hier genau das, was Hans Blumenberg für sie zur Erklärung im Falle des Psychologismus beschreibt, als: *„Einem Denkmuster nahezu unbezweifelbare Plausibilität zu verschaffen, dessen Hauptvorteil darin bestand, die Lokalisierung >außen< und >innen< verwechselbar zu machen.“* Blumenberg, H.: *Höhlenausgänge*, 1989, S. 684

¹¹³ *„Die wenigen autorisierten Bilder waren Videospiele täuschend ähnlich, um die Illusion vom `sauberen` Krieg zu schüren.“* Bredekamp, H: *Das Bild als Leitbild*, 1997, S. 229

nachrangig als mittelbare ästhetische Eigenschaft, als Wohlgefallen am Realistischen, heraus. Insofern könnte Ähnlichkeit nicht nur als logische Relation, sondern auch als Maß der Affektion des Realistischen und als ästhetische Kategorie gewertet werden. Damit wäre sie jedoch subjekt- und kontextabhängig und taugte nur wenig für eine analytische Definition von Bildlichkeit.

Schließlich dienen Bilder der Kommunikation und fungieren als visuelle Zeichen, indem sie etwas darstellen. Die auf Charles S. Peirce und Ferdinand de Saussure zurückreichende Semiotik und Sprachwissenschaft hat den konventionellen Zeichencharakter der Sprache wie auch der Bilder betont. Und dies scheint im Zeitalter technischer Reproduzierbarkeit und massenmedialer Verbreitung die vorrangigste Funktion der meisten Bilder zu sein. Neben der kommunikativen Funktion ist für wissenschaftliche Bilder die epistemologische Funktion von Bedeutung. Welche Art von wissenschaftlicher Erkenntnis ist mit Bildern möglich? Wie läßt sich der Erkenntniswert *bemessen* und belegen? Welche Rolle spielen dabei Konstruktion und Interpretation? Oliver Scholz unterteilt fünf Stufen des Bildverstehens: Wahrnehmung des Objekts; Erkennen als Zeichen; Erkennen als bildhafte Darstellung; Identifikation des Sachbezugs; Identifikation der kommunikativen Rolle.¹¹⁴ Für wissenschaftliche Bilder käme sicherlich noch eine Identifikation der Rolle des Bildes im Rahmen einer Theorie hinzu. Und es ist von Belang, ob die Bilder einen wahren Sachverhalt im Rahmen der theoretischen Annahmen darstellen.

Auf die Problematik der Wahrheit von Bildern wird unter anderem von Ludwig Wittgenstein und Ernst Gombrich hingewiesen, denn: „*Aus dem Bild allein ist nicht zu erkennen, ob es wahr oder falsch ist.*“¹¹⁵ Bilder wissenschaftlich zu verwenden bedeutet, sie in einen theoretischen Kontext zu integrieren, der aussagefähig und deshalb wahrheitsfähig ist. Der visuelle Wahrheitsbeweis im Sinne eines Vergleichs zwischen Bild und realweltlichem Ausschnitt ist jedoch ein Analogieschluß, der keine Beweiskraft hat.

Wie bereits angedeutet, wird ein semiotisch orientierter Bildbegriff favorisiert. Dies hat mehrere Gründe. Zum einen zeigt sich, daß für wissenschaftliche Bilder vor allem perzeptuelle, kommunikative und epistemologische Funktionen von Bedeutung sind und daß Bilder im Rahmen von Theorien und Messungen als Zeichen behandelbar sind. Vor allem dort, wo sie Unsichtbares sichtbar machen, fungieren

¹¹⁴ Vrgl. Scholz, 1991, S. 130 ff; Scholz, O.: *When is a Picture?*, in: *Synthese* 95, 1993, S. 9 – 106, Scholz, O: *Wahrheitshintergrund und Interpretation*, 1998, 27-54

¹¹⁵ Wittgenstein, 1963, 2.224 sowie „*Um zu erkennen, ob das Bild wahr oder falsch ist, müssen wir es mit der Wirklichkeit vergleichen.*“ Wittgenstein, 1991, 2.223. Doch so einfach ist der visuelle Wahrheitsbeweis nicht, denn wie sollte er begründet werden. „*But Gombrich insists that 'a picture can no more be true or false than a statement can be blue or green'*.“ Lopes, 1996, 56

Bilder zudem als Anzeichen mit Verweis auf theoretisch postulierte und simulierte oder indirekt gemessene Entitäten und Strukturen. Außerdem ist Wissenschaft ein durch die Schrift dominiertes Unterfangen, das Bilder in einen zeichenorientierten Kontext und Diskurs setzt. Und schließlich handelt es sich bei den Simulationsbildern um Bilder, die mindestens vom Symbolschema her mit der Schrift identisch sind. Die Gründe für einen semiotisch fundierten Bildbegriff sind also vielfältig, und Goodmans Symboltheorie ist darüber hinaus durch ihre Allgemeinheit von Interesse. In seiner Konzeption unterscheiden sich Schrift und Bilder in erster Linie aufgrund ihres Symbolschemas und weniger durch die Semantik. Bilder sind syntaktisch dichte Zeichensysteme, Sprachen syntaktisch disjunkte und differenzierte.¹¹⁶ Allerdings trifft diese Unterscheidung für Simulationsbilder nur bedingt zu, und zudem sind die von ihm getroffenen Annahmen gegen eine Ähnlichkeitsrelation zur Kennzeichnung von Bildlichkeit zu hinterfragen. Welche Form der Bezugnahme liegt nun vor, wenn auf Ähnlichkeit als Relation zwischen Bild und Abgebildetem nicht mehr unkritisch verwiesen werden darf? Goodman stellt zwar fest, daß Ähnlichkeit die naivste der Repräsentationsformen sei, doch die Argumente zur Fundierung dieser folgenreichen Aussage sind fraglich. Vor allem deshalb, da er einen intuitiven Repräsentationsbegriff gegen eine logische, zweistellige Ähnlichkeitsrelation stellt. Anhand von zwei Argumenten soll die Problematik skizziert werden. Erstens: *Bilder seien Bildern ähnlicher als den Objekten, die sie darstellten*. Um Bilder von den dargestellten Objekten signifikant unterscheiden zu können, müssen sie eine Eigenschaft aufweisen, welche sie eindeutig von dem Dargestellten unterscheidet - welche Eigenschaft dies auch immer sein mag -, und diese Eigenschaft ist allen Bildern inhärent. Von daher sind sie sich diesbezüglich ähnlich. Zudem zielt diese Version der Ähnlichkeit auf das Bild als Medium und nicht auf den Bildinhalt. Die eigentliche Frage jedoch lautet: Warum erkennen wir die Bildinhalte? Die Bezugnahme auf Objekte hat jedoch eine andere Ähnlichkeitsrelation zum Thema, nämlich die zwischen Bildinhalt und Abgebildetem, nicht jedoch die zwischen Bildmedium und Bildinhalt. Analog der semiotischen Differenz zwischen Zeichen und Bezeichnetem und der typisch sprachlichen Relation zwischen beiden, stellt sich in der Diskussion um das Bild die Frage nach der typisch ikonischen Relation zwischen Bildinhalt und Abgebildetem und nicht zwischen Bildern. Die Metaunterscheidung zwischen Zeichensystemen, beispielsweise zwischen dem griechischen und lateinischen Alphabet,

¹¹⁶ Dennoch sind Bild und schriftbasierte Sprache signifikant unterschieden. Die Unterscheidung in analog (syntaktische und semantische Dichte) und digital (syntaktische und semantische Differenziertheit) ist für die vorliegende Untersuchung von Bedeutung, wobei syntaktische Dichte kein hinreichendes Kriterium für ein Bildsystem ist. Bilder sind gedrängte Zeichensysteme und spannen anhand des Kriteriums der relativen Fülle den Bogen zu Diagrammen, Karten oder auch Piktogrammen. Ein weiterer Unterschied zwischen Bild und Sprache ergibt sich aus der unterschiedlichen Konstruktionsweise für Klassifikatoren. Klassifikatoren sind interpretierte Zeichen, die auf einen Gegenstandsbereich Bezug nehmen. Die Denotation eines Zeichens kann auf einen, mehrere oder keinen Gegenstand verweisen (Null-, einfach-, zusammengesetzte Klassifikatoren). Nun stellt sich folgende Frage: Wieviele konstitutive Züge müssen zusammenkommen, um einen einfachen Klassifikator zu bilden? Laut Neil McDonell sind für eine (natürliche) Sprache mehr konstitutive Züge nötig als für Bilder. „*The attraction of pictorial representations is that it enables us to concentrate on an array of classifications, and thus, an array of informations.*“ McDonell, 1983, S. 92. Sprachliche Klassifikatoren müssen mindestens Worte sein, wenn nicht Sätze. Ein Bild hingegen kann mehr einfache Klassifikatoren pro konstitutivem Merkmal bilden. Bilder sind gedrängte Zeichensysteme, während sprachliche Zeichensysteme weitschweifig sind. Oder, anders gewendet: Bilder können wesentlich mehr Informationen beherbergen als Texte.

aufgrund der inhärenten syntaktischen Disjunktivität und Differenziertheit der Zeichen sowie der Geschlossenheit eines Systems oder Klasse von Zeichen, ist auch für Bilder möglich, und zwar unabhängig von Ähnlichkeit. Allerdings läßt sich im Falle der Bilder die Geschlossenheit nicht unbedingt durch Endlichkeit einer Zeichenklasse bestimmen, sondern basiert möglicherweise auf Kriterien wie Abgrenzung (Rahmen).¹¹⁷ Zweitens: *Objekte seien sich in höchstem Maße selbst ähnlich, repräsentierten sich jedoch nicht selbst.* Dies trifft zu, wenn man, wie zuvor, von einer aus der Logik entlehnten Ähnlichkeitsrelation, die reflexiv, symmetrisch und zweistellig ist, und von einem intuitiven Repräsentationsbegriff ausgeht. Ob man beide in einer Aussage jedoch miteinander verbinden kann, ist fraglich. Vor allem wenn Ähnlichkeit wie folgt beschrieben wird: *„Repräsentationale Gewohnheiten, die für Realismus bestimmend sind, führen auch dazu, Ähnlichkeiten zu erzeugen.“*¹¹⁸ Ähnlichkeit in diesem Sinne ist durchaus nicht mehr subjektunabhängig, symmetrisch, reflexiv und zweistellig und vor allem keine logisch fundierte Relation, sondern eine im Laufe der Ontogenese eingenommene Position zur Generierung von Realismen und kontextabhängigen Ähnlichkeiten für Repräsentationen.¹¹⁹ Dieser Begriff steht im Widerspruch zum logischen Begriff von Ähnlichkeit, auf den sich Goodman maßgeblich in seiner Kritik stützt. Die Kritik an der Ähnlichkeit basiert auf einer formalen Ähnlichkeitsrelation, die anstelle eines mehrdeutigen Repräsentationsbegriffes gesetzt wird. Dies führt natürlich zu Widersprüchen, die es erlauben, Ähnlichkeit kurzer Hand ad acta zu legen. Das eigentliche Problem basiert jedoch auf dem zweideutigen Status der Bilder, der in der verkürzten Rede vom *Bild, das ein Objekt repräsentiert*, verschleiert wird. Denn zum einen sind äußere Bilder selbst physische Objekte der Welt und in derselben Bedeutungsebene wie Gegenstände angesiedelt (Tische, Personen, Bäume, Tafelbilder, Bücher); und zum anderen referieren sie auf diese Objektebene in einer nicht-symmetrischen Weise. Diese zweite Eigenschaft unterscheidet sie von nicht-zeichenhaften Objekten und bedarf einer konventionalisierten Erkenntnisleistung und Kennzeichnung. Repräsentation könnte eine solche Kennzeichnung sein. Die Frage nun stellt sich, in welchen Fällen Ähnlichkeit überhaupt relevant wird. Zum einen wohl zwischen Bildern als Objekten und zum anderen zwischen Bildinhalt und dargestelltem Objekt. Während im ersten Fall Repräsentation keine Rolle spielt,¹²⁰ ist der zweite Fall wesentlich komplexer. Ist die Repräsentation die Kennzeichnung, die einem Bild über seinen Ob-

¹¹⁷ Mangelnde Abgrenzung mentaler Bilder bedingt die Schwierigkeit, Vorstellungen von abstrakten Gedanken eindeutig zu trennen.

¹¹⁸ Goodman, 1995, S. 47. Wenn Realismus eine Frage der Gewohnheit ist und Ähnlichkeit in diesem Sinne das Problem ist, dann kann die Kritik nicht einem logisch fundierten Ähnlichkeitsbegriff gelten und dessen Eigenschaften wie Symmetrie und Reflexivität.

¹¹⁹ Interessant sind Fotografien junger Kinder, die scheinbar noch nicht die kulturdominanten Perspektiven und typischen Ansichten internalisiert haben. Personen auf diesen Bildern erkennen wir nur bedingt als ähnlich wieder, da Ähnlichkeitskonstitutive Elemente nicht berücksichtigt werden, sondern aus der Sicht sozialisierter Erwachsener kontingente Elemente gewählt wurden.

¹²⁰ Bild A ist Bild B ähnlich, und umgekehrt, bezüglich der Eigenschaft x = spezifisches Format; ohne daß A B repräsentiert oder umgekehrt. Aber auch Bild A ist Objekt B ähnlich, und umgekehrt, bezüglich der Eigenschaft x = spezifisches Format (z.B. Bildformat und Buchformat), ohne daß A B repräsentiert oder umgekehrt.

jektcharakter hinaus eine zusätzliche, nämlich zeichenhafte Bedeutung verleiht, dann besteht sie wohl darin, daß ein solchermaßen gekennzeichnetes Bildobjekt eine spezifische Eigenschaft aufweist, und zwar jene, daß es auf eine Relation hinweist und zu dem wird, was wir gemein hin als Bild von etwas bezeichnen (Bild plus sprachliche Verweissystematik). Der Hinweis auf eine Relation, also seine Darstellungsfunktion, muß nicht mit Ähnlichkeit einhergehen. Ähnlichkeit ist eine spezifische Form dieser Relation und wird dann interessant, wenn der Hinweis auf eine Relation implizit als gegeben vorausgesetzt wird, und zwar in Form einer Mustererkennung als automatisierte Erkenntnisleistung.¹²¹ Für das Bild eines Apfels wird vorausgesetzt, daß der Bildinhalt ohne Hinweis erkannt wird - zumindestens von Menschen eines bestimmten Alters - und diese Voraussetzung wird mit Ähnlichkeit erklärt. Und das, ohne daß der dargestellte Apfel unter Umständen dem Objekt Apfel ähnlich sein müßte im Sinne einer symmetrischen Relation. Ein solchermaßen dargestellter Apfel könnte Äpfeln in einer Weise ähnlich sein, ohne daß je ein konkreter Apfel dem dargestellten tatsächlich ähnlich wäre. Dieser intuitive Ähnlichkeitsbegriff scheint mit der Repräsentation als Kennzeichnung besser zu harmonieren als ein logischer Begriff der Ähnlichkeit basierend auf einer symmetrischen Abbildfunktion eindeutig differenzierter Merkmale. Ähnlichkeit in diesem Sinne wäre nicht-symmetrisch, indem für Bilddarstellungen wesentlich vagere Umfangsbestimmungen als für Objekte gelten. Während wir gegenüber Objekten kritischer im Umgang mit der Ähnlichkeit sind, sind wir gegenüber den Bilddarstellungen - im Sinne der künstlerischen Freiheit beispielsweise - großzügiger. Schließlich erlaubt ein expliziter Hinweis auf eine Relation, die ansonsten nicht erkennbar wäre, abstrakte, fiktive, symbolische und andere Formen der Repräsentation. Hinweis und Relation bedingen sich wechselseitig, je nachdem, um welche Form der Relation und um welchen Grad der Ähnlichkeit es sich handelt, wobei unter Ähnlichkeit eine spezifische Erkenntnisleistung verstanden wird. Wie bereits aufzuzeigen versucht wurde, führt diese Erkenntnisleistung unter Umständen auch zu Fehlinterpretationen, indem Bildinhalte nicht unbedingt so unmittelbar einsichtig sein müssen, wie sie auf den ersten Blick scheinen (Abbildung 32).

Statt Ähnlichkeit führt Goodman in seiner Symboltheorie *Denotation* ein.¹²² Doch Denotation allein genügt oftmals nicht, um ein Bild näher zu bestimmen, denn die Formen der Denotation können verschiedener Art sein. Sie basieren auf einem unterschiedlichen Sachbezug, der singulär, generell und leer sein kann. Von daher bedarf es der Bestimmung der Klassifikation, also dessen, was das Bild

¹²¹ Unter Mustererkennung wird die Erkenntnisleistung verstanden, bestimmte Strukturen als Objekte (Konglomerat konstitutiver und kontingenter Strukturen) zu identifizieren und diese unter Umständen mit Begriffen zu belegen.

¹²² „Ein Bild, das einen Gegenstand repräsentiert - ebenso wie eine Passage, die ihn beschreibt -, nimmt auf ihn Bezug und, genauer noch: denotiert ihn. Denotation ist der Kern der Repräsentation und unabhängig von Ähnlichkeit“ Goodman, 1995, S. 17. Der Vorteil dieser Sichtweise liegt darin, daß die scheinbar natürliche Relation von Bild und Abgebildetem aufgrund von Ähnlichkeit zugunsten einer konventionellen Relation aufgegeben wird. Damit wird der Zeichencharakter der Bilder unterstrichen.

repräsentiert.¹²³ Bilder lassen sich in diesem Sinne als pikurale Etiketten verstehen, die auf einen Gegenstand zutreffen, ihn etikettieren. Neben der Denotation gibt es weitere Weisen der Bezugnahme: Exemplifikation und Ausdruck. Die Exemplifikation verläuft in umgekehrter Richtung zur Denotation und ist Besitz plus Bezugnahme. Beispielsweise exemplifiziert ein Stoffmuster als Etikett im Sinne konkreter Inskriptionen nur jene Eigenschaften des Stoffes, die es besitzt. Eine weitere, besondere Form der Bezugnahme ist der Ausdruck. Bilder drücken etwas aus, ohne es zu denotieren. So kann ein Bild Trauer ausdrücken und fungiert als metaphorische Exemplifikation von Traurigkeit.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Zeichencharakter des Bildes in den Mittelpunkt rückt und daß die Relation zwischen Bild und Gegenstand nicht als natürliche Relation auf Basis von Ähnlichkeit gesehen wird, sondern als konventionelle. In diesem Zusammenhang wird die Systembezogenheit von Bildern für deren Interpretation wichtig, das heißt, Bilder erschließen sich nicht von selbst oder in einer kanonisierten Form wie Texte, sondern müssen einzeln *interpretiert* werden. Bildinterpretationen setzen eine entsprechende Kompetenz voraus, die erworben sein will. Bilder sind als syntaktisch dichte Zeichensysteme nicht alphabetisierbar, da sie unendlich viele Zeichen bereitstellen, von welchen keine zwei als syntaktisch äquivalent behandelt werden können. Sowohl Bilder als auch das Verfahren der Bildinterpretation können von daher nicht formalisiert werden, und hier liegt der Nachteil gegenüber der Schrift. Insofern sind auch der Reproduzierbarkeit Grenzen gesetzt. Während jedoch Sprache ihre Weitschweifigkeit mit Menge kompensiert, können Bilder viele Informationen auf einen Blick darstellen und lassen sich zur Datenreduktion nutzen.¹²⁴

Wie verhält es sich nun mit den Simulationsbildern? Diese Bilder besitzen einen besonderen Status, allein aufgrund ihrer formal-operativen Generierung. Zudem bilden sie nicht ab, sondern repräsentieren ihren eigenen Erzeugungsmechanismus. Und als Bilder sind sie relativ abstrakt. Falls überhaupt von Ähnlichkeit die Rede sein kann, handelt es sich allenfalls um eine strukturelle Ähnlichkeit von Formen und Gestalten. Die Erkenntnisleistung bestünde dann weniger darin, zu erkennen, daß es sich um ein bestimmtes Objekt handelt, als darin, eine ähnliche Struktur oder Verhaltensmuster zu identifizieren. Es geht also nicht darum, den Herzog von Wellington oder die Visualisierung als Mann-Bild zu erkennen, sondern um Gestalterkennung. Der Sachbezug ist in jedem Fall generell, denn falls

¹²³ „Ein Bild, das einen Mann repräsentiert, denotiert ihn; ein Bild, das einen fiktionalen Mann repräsentiert, ist ein Mann-Bild; und ein Bild, das einen Mann als Mann repräsentiert, ist ein Mann-Bild, das ihn denotiert. Während es also im ersten Fall darum geht, was das Bild denotiert, und im zweiten Fall nur darum, welche Art von Bild es ist, geht es im dritten sowohl um Denotation als auch um Klassifikation.“ Goodman, 1995, S. 37

¹²⁴ Da ein Bild mehr einfache Klassifikatoren pro konstitutivem Merkmal bilden kann, lassen sich mit einem Bild wesentlich mehr Informationen darstellen. Um dieselben Informationen textlich erfassen zu können, bedarf es wesentlich mehr sprachlicher Klassifikatoren (Wörter). Vgl. McDonell, 1983

eine extrasymbolische Deutung vorgenommen wird - im Rahmen einer wissenschaftlichen Theorie - handelt es sich nicht um die Interpretation der Visualisierungen als Darstellung eines spezifischen Moleküles oder Wetterphänomens. In welcher Weise lassen sich Visualisierungen im Rahmen einer semiotischen Bildtheorie beschreiben? Der Vorschlag hierfür lautet: Wissenschaftliche Visualisierungen sind digital (numerisch) generierte, analog präsentierte Symbolsysteme. Sie sind als Bilder syntaktisch disjunkt und differenziert generiert (Simulation) und semantisch dicht präsentiert (Visualisierung).¹²⁵ Visualisierungen sind eher weitschweifige Systeme, da sie in der Regel weniger einfache Klassifikatoren pro konstitutivem Merkmal erzeugen als Bilder. Selbst wenn Visualisierungen *realistisch* anmuten, sind sie im Vergleich zu konventionellen Abbildungen weitschweifige Darstellungen, denn der Realismus bezieht sich auf strukturelle Ähnlichkeiten und Gestalten und weniger auf ikonische Details. Sie erzeugen nur wenige Klassifikatoren, nämlich so viele, wie als Zustandsgrößen und Parameter bezüglich des Systemausschnittes formalisiert wurden. Das Mapping der Daten auf Geometrien und Farben erlaubt in der Regel nur einen Klassifikator pro konstitutivem Merkmal zu erzeugen. Visualisierungen sind keine notationalen Systeme. Sie sind jedoch mit Hilfe eines notationalen Verweisungssystems mit der Theorie verknüpft, d.h. Teile der Visualisierung können auf Basis eines notationalen Verweisungssystems eindeutig beschrieben werden. Symbole, Farbkarten und Legenden wären solche Mittel der Beschreibung. Das zugrunde liegende Datenmaterial resultiert aus den Simulationen mathematischer Gleichungen. In der Regel handelt es sich um partielle nichtlineare Differentialgleichungen zur Beschreibung klassisch-deterministischer Problemstellungen, um statistische Vielteilchenmodelle oder um quantenmechanische Berechnungen. Die große Menge der berechneten Daten (semiotische Fülle), die als binärkodierte Zeichen vorliegen, werden programmgesteuert in Farbwerte transformiert. Obwohl jedes Pixel einem Berechnungswert zugeordnet ist, der im Kontext der Theorie individuell interpretiert werden könnte, erhält das Datenmaterial erst in der analogen Präsentation seine ikonische Form und damit seinen epistemologischen Wert. Formal betrachtet werden Visualisierungen als Exemplifikationen mathematischer Modelle verwendet, indem sie Eigenschaften besitzen, die mit dem algorithmisierten Erzeugungsmechanismus dargestellt und durch die numerische Simulation entfaltet werden.¹²⁶ Da sich die Lösung einer partielle Differentialgleichung unter beliebig vielen Startbedingungen simulieren läßt, ist jeder Simulationslauf eine Exemplifikation der Gleichung unter spezifischen Bedingungen (numerische Fallunterscheidung). Phänomenologisch betrach-

¹²⁵ Dies unterscheidet Visualisierungen von herkömmlichen Bildern, die auch syntaktisch dicht sind. Allerdings betrifft die syntaktische Disjunktheit und Differenziertheit die binärkodierte Extension der Farbpunkte. Im Gesamtzusammenhang des Bildes ist deren Wirkung syntaktisch dicht.

¹²⁶ Dagegen ließe sich einwenden, daß Visualisierungen keine Exemplifikationen sein können, da eine Transformation der zu exemplifizierenden Eigenschaften vom Numerischen ins Ikonische vorliegt und dies der Forderung der Bezugnahme plus Besitz widerspricht. Doch da es sich um strukturelle Eigenschaften handelt, ist die Gleichheit der Form der Präsentation vernachlässigbar.

tet, repräsentieren Visualisierungen Eigenschaften der formalisierten und mathematisch modellierten Theorien. Da die Theorien Effekte und Ereignisse bestimmter Art als auch Struktur realweltlicher Systeme beschreiben und prognostizieren, kann die Visualisierung für heuristische Zwecke zum visuellen Vergleich mit den beschriebenen Effekten und Ereignissen herangezogen werden. Allerdings setzt dieser Vergleich die Annahme der Homomorphie zwischen mathematischem Modell, Simulation und Strukturen oder Verhaltensmuster realweltlicher Effekte und Ereignisse voraus.

Es muß also von zwei Arten der Repräsentation gesprochen werden. Erstens für den Fall der Verwendung der Bilder als Exemplifikationen mathematischer Modelle. Hier transferieren die Visualisierungen das simulierte Lösungsverhalten der Gleichungen ins Ikonische. Da die Abbildungsrelation durch eine eindeutige Zuordnung erzeugt ist - durch die programmgesteuerte Zuordnung von numerischen Werten und Farbwerten -, ist sie zum einen symmetrisch, zum anderen subjektunabhängig. Allerdings ist die Wahl der Art der Zuordnung - als Grauwert- oder Farbzuzuordnung sowie für letztere als Wahl zwischen unterschiedlichen Farbspektren - willkürlich.¹²⁷ Die Visualisierungen repräsentieren die numerischen Strukturen, doch da diese nicht bildlich sind, kann nicht von Ähnlichkeit die Rede sein. Zweitens für den Fall der Verwendung der Visualisierungen als Bilder von Theorien sowie deren beschriebenen oder postulierten Effekten und Ereignissen. Die Theorie dient hier als Klammer zwischen Visualisierung und realweltlichem Systemausschnitt und legitimiert die Nutzung der Bilder zum Vergleich struktureller Ähnlichkeiten. Die Theorien geben - verknüpft mit Messungen und Beobachtungen - den formalen, mathematischen Modellen einen empirischen Gehalt, der es ermöglicht, die Bilder nicht nur als Exemplifikationen, sondern als Abbildungen zu betrachten. Allerdings nicht als Abbildungen im Sinne von Fotografien oder Tafelbildern. Die Visualisierungen wären Abbildungen theoretisch beschriebener Effekte und Ereignisse, insofern sie Resultate semiotischer Nachbildungen der von den Theorien beschriebenen Prozesse sind. Da die Theorien Darstellungen der strukturellen Zusammenhänge sind, welche bestimmte Effekte und Ereignisse erzeugen, die visuell anhand spezifischer Strukturen identifizierbar sind, besteht die semiotische Nachbildung in der Erzeugung eben dieser Strukturen auf der Basis theoretisch bzw. mathematisch formulierter struktureller Zusammenhänge. Die Abbildung ist insofern eine indirekte. Dennoch läßt sich nur über den Bildvergleich feststellen, ob sie zutreffend ist. Gelingt also der Vergleich zwischen den Bildern und den realweltlichen Systemausschnitten - werden ähnliche Strukturen identifiziert -, so kann dies als Bestätigung der theoretischen Beschreibung, ihrer mathematischen Formalisierung und Simulation verstanden werden, allerdings

¹²⁷ Die Wahl ist nicht beliebig in dem Sinne, daß irgendeine Farbskala verwendet wird. Im Gegenteil, bei einigen Farbskalen werden manche Datenstrukturen nicht sichtbar. Doch es gibt kein formales Entscheidungsverfahren welche Wahl zu treffen ist, d.h. die Wahl ist dem Geschick desjenigen überlassen, der die Daten in Visualisierungen umsetzt

aufgrund der erwähnten Unsicherheiten nur für heuristische Zwecke. Und hier darf von Ähnlichkeit gesprochen werden, da sie strukturelle Aspekte betrifft, für die sich anhand der Theorie und deren Formalisierung konstitutive Merkmale angeben lassen.

Grundsätzlich läßt sich feststellen, daß Visualisierungen Bilder von Theorien sind, die sich je nach Intention unterschiedlich verwenden lassen: als numerische Experimente, zur Sichtbarmachung von Strukturen und Verhaltensmustern oder zur Prognose.¹²⁸ Steht die epistemologische Funktion zunächst im Mittelpunkt des Interesses, so wird dasselbe Bildmaterial später zur Dokumentation der Ergebnisse kommunikativ verwendet und in den theoretischen Diskurs eingebunden. Darüber hinaus sind Visualisierungen Resultate dynamischer Prozesse und Verfahren. Die Zeit spielt für Visualisierungen eine dominante Rolle. Zum einen wird das Verhalten eines simulierten Prozesses in der Zeit dargestellt, also seine Dynamik. Zum anderen basiert das Bildgenerierende Verfahren selbst auf einer spezifischen Form der Zeitlichkeit, wie sie mit rekursiven Funktionen und den dynamischen Zeichenzuständen gegeben ist.

5. Fazit

Die unterschiedlichen Verwendungsweisen der Schrift sowie ihre Fortführung ins Dynamische führen verschiedene Zeichenebenen ein. Eine lesbare Schrift verweist auf eine extrasymbolische, eine formal-operativ verwendete Schrift auf eine intrasymbolische und eine digitalisierte Schrift auf eine sub-symbolische Ebene. Die Formalisierung und Mechanisierung der Schriftverwendung erzeugen jeweils neue Symbolsysteme die neue Funktionen aufweisen. So ist es mit formal-operativen Zeichensystemen möglich, symbolische Maschinen zur Produktion von Zeichen und Zeichenfolgen zu gestalten. Mit der numerischen Simulation auf Basis der digitalisierten Schrift gelingt es, die symbolischen Maschinen zu mechanisieren, also mit Hilfe des Computers als symbolverarbeitenden und symbolgenerierenden Erzeugungsmechanismus zu automatisieren. Keine andere Computeranwendung nutzt dieses produktive Potential der Formalisierung und Mechanisierung so intensiv wie die numerische Simulation. Diese verfahrensmäßige oder instrumentelle Verwendung der Schrift kennzeichnet das Organisationsprinzip der Simulation. Möglich wird dies durch die Transformation formaler Strukturen in maschinell ausführbare Instruktionen sowie die Digitalisierung der Zeichen. Damit ist die Zerlegung

¹²⁸ Allerdings können die Experimente und Prognosen aus methodischen Gründen nur heuristischen Zwecken dienen. Vor allem der Prognostizierbarkeit sind Grenzen gesetzt.

der Zeichen auf Basis eines diskreten und digitalen Symbolsystems in einen subsymbolischen Zeichenzustand und die programmgesteuerte Interpretation der Zeichenfunktion gemeint. Für die Simulation bedeutet dies die Erzeugung eines spezifischen Symbolsystems von Zeichen, die semiotische Partikel genannt wurden. Die Partikel sind durch ihre numerisch erzeugte und determinierte Darstellung als Farbwerte in einem geordneten Raum-Zeit-Raster die Basis der sichtbar gewordenen Wirkprozesse der Zeichen aufeinander. Diese Art der Zeichenverwendung wurde semiotische Modellierung genannt. Die Syntax der semiotischen Modellierung besteht in der iterativen und rekursiven Anwendung der algorithmisch umgesetzten Produktionssysteme formaler Strukturen. Die Semantik ergibt sich aus der Dynamik der entfalteten und visualisierten Datenstrukturen (numerische Werte, Raum-Zeit-Lokalisation), die Aufschluß über die Wirkprozesse geben. Als ikonisch umgesetzte Exemplifikationen der Berechnungen dienen die Datenstrukturen als Grundlage qualitativer Aussagen über das Lösungsverfahren als auch das Lösungsverhalten. Darüber hinaus ergibt sich die Interpretation der visualisierten Datenstrukturen bzw. der Bilder, die aus den semiotischen Partikeln resultieren, im Rahmen der entsprechend formalisierten und mathematisch modellierten Theorie.

Der Erkenntniswert der Simulationsergebnisse besteht zum einen in der Beurteilung des Simulationsverfahrens selbst, zum anderen in der Erklärungs- oder Prognosekraft der zugrundeliegenden Theorie. Beide Male zeigt sich die Verschränkung der Art der Bezugnahme, wie sie mit den semiotischen Partikeln zur Anwendung kommt, als erkenntniserweiternde Eigenschaft, indem unanschauliche Prozesse und theoretisch formulierte, mathematisch modellierte Zusammenhänge intuitiv einsichtig werden. Methodisch besteht die Erweiterung in der numerischen Erkundung des Lösungsraums einer formalen Struktur. Besonders eindrucksvoll zeigt sich der Nutzen der Simulationsbilder für theoretisch beschreibbare, jedoch unsichtbare Objekte wie beispielsweise Atome, die nun sichtbar werden. Dabei ist die modellierte Sichtbarkeit eine theoretisch generierte: Nicht nur aufgrund des skizzierten Erzeugungsmechanismus der Simulationsbilder, sondern auch durch die künstlich geschaffene Oberfläche eines Atoms, die sich durch die nicht wahrnehmbare Elektronenverteilung ergibt. Die Simulationsbilder veranschaulichen die mit Theorien beschriebenen Objekte und Prozesse. Da die Art der theoretischen Beschreibung in der Formulierung der Wirkprozesse spezifischer Parameter aufeinander besteht, die als Resultat das Objekt oder den Prozeß konstituieren, ist sie prädestiniert formal-operativ und schließlich simulativ umgesetzt zu werden. D.h. sowohl die Objekte wie auch die Prozesse werden als *Maschinen* aufgefaßt und lassen sich dementsprechend formal mit symbolischen Maschinen darstellen als auch simulieren. Die vielzitierte und aufgrund komplexer Systeme totgesagte Maschinenmetapher zeigt sich deutlich in der Auffassung des instrumentellen Schriftbegriffs, wie er der formal-

operativen Zeichenverwendung und deren Implementierung und Algorithmisierung im maschinellen Medium des Computers zugrundeliegt.¹²⁹

Die Mathematisierung der Wissenschaften kann als Einführung eines instrumentellen Schriftverständnisses gewertet werden und die Umsetzung formaler Strukturen in algorithmisierte Erzeugungsmechanismen numerischer Simulationen macht dieses Verständnis sichtbar. Die numerische Simulation kann deshalb zu recht als Objektschrift zur Erzeugung theoretisch postulierter, semiotisch modellierter Objekte und Prozesse bezeichnet werden. Die Sichtbarmachung dieses Verständnisses ist gleichzeitig die Visualisierung des zugrundeliegenden wissenschaftlichen Weltbildes und der wissenschaftlichen Sichtweise der Dinge und Phänomene. Und die Richtigkeit dieser Sichtweise scheint sich durch den Vergleich zwischen Simulationsbild und Realweltauusschnitt zu bestätigen. Die Evidenz des Anschaulichen verlockt, den Kreis zwischen Beobachtung, Messung, Theorie und Simulation als erfolgreich geschlossen zu betrachten. D.h. die Bestätigung theoretischer Annahmen kann sich nun auch anhand der simulierten Darstellung vollziehen.

Aber kann es sich nicht auch um einen Zirkelschluß zwischen computergestützter Messung, formalisierter Theorie und numerischer Simulation handeln? Auf die methodischen Probleme der verwendeten Heuristiken und Approximationen wurde bereits hingewiesen. Auch auf die Tatsache, daß formale Strukturen beliebig verwendet werden können und sich nicht für die Darstellung spezifischer Inhalte auszeichnen. Doch als weitaus grundlegender stellt sich die Frage, ob es nicht das Zeichenverständnis ist, das diesen Zirkel ermöglicht? Ein Zeichenverständnis, dessen instrumenteller Charakter die Zeichenverwendung operationalisiert und mechanisiert und somit Zeichensysteme als Maschinen oder Apparate auffaßt. Der Unterschied zwischen einer Meßapparatur,¹³⁰ einer symbolischen Maschine und einer Simulationsmaschine bestünde lediglich in der medialen Realisierung, nicht jedoch in ihrer Produktionsweise. Dabei wird unter dem Begriff *Maschine* eine Vorrichtung für einen Vorgang verstanden, der regelbasiert von einem Maschinenzustand in den nächsten übergeht. D.h. die Zustände sind nicht beliebig, sondern determiniert. Indem dieser Schriftbegriff untersucht wird, lassen sich Rückschlüsse auf die Bedingung moderner Wissenschaft gewinnen. Eine Bedingung wäre die diskontinuierliche Strukturierung des Untersuchungsbereichs aufgrund der Diskretheit der verwend-

¹²⁹ Dabei ist die mechanistische Auffassung gemeint, die sich in der Maschinenmetapher artikuliert. Vor allem durch die Simulation komplexer Systeme und deren nichtlineare Dynamik wird immer wieder von der Überwindung des klassischen Determinismus gesprochen. Doch auch wenn die Entwicklung eines komplexen Systems nicht vorhersagbar ist, ist es dennoch in seiner Entwicklung determiniert und von daher formal-operativ darstellbar. Vgl. Booß-Bavenbek, B.: Rationalität und Scheinrationalität durch computergestützte mathematische Modellierung, 1990a; Thomas, H./Leiber, T.: Determinismus und Chaos in der Physik, 1994

¹³⁰ Selbst wenn man einem Meßinstrument lediglich die Detektion von Zuständen zubilligt, sind diese Daten ohne entsprechendes, mathematisch modelliertes Datenmodell nicht verwendbar.

ten Symbolsysteme der Schrift, des Computers sowie der Meßinstrumente. Eine andere Bedingung bestünde in der Linearisierung der Abläufe, die lediglich in Form von Visualisierungen in ihrer Gleichzeitigkeit präsentierbar sind. Eine weitere Bedingung wäre die Begrenztheit der Komplexität der Darstellung, da die Diskretheit der Zeichen und die Linearisierung der Abläufe es erlauben, lediglich einige Parameter und Zusammenhänge zu symbolisieren bzw. zu simulieren oder zu messen.¹³¹ Und schließlich wäre die Bedingung der Geordnetheit der Zeichen und Zustände zu nennen, die sich in der Ordnung der Meßwerte wie numerischen Werte zeigt. Zwar verweisen die Variablen der formal-operativen Zeichenverwendung auf keine Ordnungsstruktur, doch die Möglichkeit der Ausführung der symbolisierten Operationen setzt diese voraus.

Das Weltbild der Wissenschaften basiert demnach auf diskreten Entitäten, die nacheinander und jeweils einzeln aufeinander wechselwirken, wobei die Wirkungen einer quantifizierbaren Ordnungsstruktur unterliegen. Diese Sichtweise läßt sich symbolisch im Bild der Formel oder ikonisch im Simulationsbild synthetisieren. Dabei weist der formal-operative Zeichenumgang über den rein instrumentellen Charakter hinaus, insofern die Idee des Kontinuums und des Unendlichen symbolisierbar und operationalisierbar ist. Die Ausführung bedarf jedoch der diskreten und endlichen Umsetzung. War von der systematisierenden Form der Schrift für die Wissenschaften die Rede, so betrifft dies nicht nur logische Aspekte, sondern auch die grundlegende Strukturierung durch die verwendeten Symbolsysteme.¹³² Dementsprechend müßten sich durch die Einführung eines neuen Symbolsystems eine neue Strukturierung und damit neue Erkenntnisse ergeben. Dabei geht es nicht nur darum, wie René Descartes die Nutzung der Schrift für die Wissenschaften rühmt: *„Im Vertrauen auf seine [Schriftgebrauch] Hilfe werden wir hier überhaupt gar nichts dem Gedächtnis anvertrauen, ... und alles, was man sich merken muß niederschreiben, und zwar in sehr kurzen Zeichen, damit wir ... alles in einer blitzschnel-*

¹³¹ Selbst wenn durch die steigende Leistungsfähigkeit der Rechner immer komplexere Systeme simulierbar sind, ist die Anzahl der Parameter und funktionalisierten Zusammenhänge begrenzt. Gleiches gilt auch für die formal-operative Darstellung sowie für Meßinstrumente.

¹³² Rolf Zimmermann gesteht der Schrift auch ontologische Implikationen zu. *„Der formale Gegenstandsbezug gehört somit zur Funktionsbestimmung einer Aussagestruktur als Aussagestruktur.“* Zimmermann, R.: Der „Skandal der Philosophie“ und die Semantik, 1981, S. 77/78. Er verweist auf die Folgerungslücke zwischen Wahrnehmungsdaten und präsenzlokalisierenden Aussagen, die nicht durch eine logische Implikation verknüpft sind, hin und verlegt damit den Bezug auf die Welt in die Struktur der Aussageform. Diese Struktur ist eine schriftgebundene: *„Daß wir die externe Existenz dieser Gegenstände nachweisen können, ist kein Zufall, weil sie systematisch mit der Möglichkeit unseres Sprachgebrauchs zusammenhängen. Und daher gilt andererseits: Wenn unser Sprachgebrauch den Verwendungsbedingungen von Identifikation und Prädikation unterliegt, die sich in Gestalt von Sortalprädikaten und interdependenten singulären Termini manifestieren, dann muß es stabile raum-zeitliche Gegenstände geben.“* Zimmermann, 1981, S. 108. Die sprachanalytische Transformation der Ontologie rekuriert auf die vertikative Form des *ist*. Nicht das Sein im Allgemeinen, sondern das Sein als Existenz (\exists) mit seinem Behauptungsmoment ist leitend für die analytische Gegenstandstheorie und die Wissenschaften. Daher stehen assertotische Sätze mit ihrem Wahrheitsanspruch im Mittelpunkt, expliziert durch: *„Es ist der Fall, daß ...“* oder *„Es ist wahr, daß ...“* oder bei wie bei Gottlob Frege *“I—”*. Deutlich zeigt sich dies in der wissenschaftlichen Erklärung. *„Das zu Erklärende, welches Explanandum genannt werden soll, ist stets ein Sachverhalt p, der durch einen empirischen Satz s beschrieben wird, und die eigentlich Erklärung heischende Frage lautet: Warum ist es der Fall, daß p?“* Stegmüller, W.: Wissenschaftliche Erklärung und Begründung, Berlin 1969, S. 74

*len Bewegung des Denkens durchlaufen und intuitiv so viel wie möglich auf einmal fassen können.*¹³³

Es geht darum, alles so darzustellen, daß es intuitiv erfaßbar ist, da es anschaulich geworden ist. Es bedarf keiner blitzschnellen Bewegung durch formal artikulierte Zusammenhänge mehr. Die Zusammenhänge zeigen sich in den visualisierten Datenstrukturen und lassen sich quasi-empirisch überprüfen. Die in den Formeln symbolisch angezeigten Relationen werden durch die Simulation numerisch entfaltet und externalisiert. Als sichtbare Datenstrukturen werden sie in einem Ursache-Wirkungs-Verhältnis direkt manipulierbar.¹³⁴ Dabei simuliert der Computer die Gleichzeitigkeit der Prozeß- und Objektzustände durch die enorme Rechengeschwindigkeit. Der in den Wissenschaften vorherrschenden theorieorientiert-analytischen Darstellungsform wird mit der numerischen Simulation und der Visualisierung eine anschaulich-synthetische Darstellungsform beigelegt. Dies ist möglich geworden, da die Schrift auf sich selbst angewandt zum Gegenstand semiotischer Operationen avanciert und als Objektschrift zur semiotischen Modellierung von (Daten-)Objekten und (Symbol-) Prozessen im (virtuellen) Raum und in der Zeit dient.

¹³³ Descartes, R.: Regeln zur Ausrichtung der Erkenntniskraft, 1972, S. 75. Eben diese mnemotechnische Funktion der Schrift, die Descartes rühmt und als konstitutiv für eine analytische und klare Wissenschaft sieht, kritisierte Sokrates für die Philosophie: „Denn diese Kunst wird Vergessen schaffen in den Seelen derer, die sie erlernen, aus Achtlosigkeit gegen das Gedächtnis, da die Leute im Vertrauen auf das Schriftstück von außen sich werden erinnern lassen durch fremde Zeichen, nicht von innen heraus durch Selbstbesinnung.“ Vgl. Platon: Paidros, 1988c, S. 103

¹³⁴ Beispielsweise kann durch Änderung der Parameterwerte das Verhalten der Simulation getestet werden. Es ist aber auch denkbar, anhand der Simulationsbilder Manipulationen durchzuführen, wie dies im molecular modelling der Fall ist.