Cornelius Frömmel

Das Flair der unendlichen Vielfalt

Ein Essay,
vorgetragen im Rahmen einer Antrittsvorlesung

14. April 1994

Humboldt-Universität zu Berlin
Medizinische Fakultät (Charité)

Herausgeber:
Der Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin
Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Meyer

Copyright: Alle Rechte liegen beim Verfasser

Redaktion:
Gudrun Kramer
Forschungsabteilung der Humboldt-Universität
Unter den Linden 6
10099 Berlin

Herstellung:
Linie DREI, Agentur für Satz und Grafik
Wühlischstr. 33
10245 Berlin

Heft 103

Redaktionsschluß: 24. 02. 2000

Vorbemerkungen

Vielfalt (im großen) und Vielfältigkeit (im einzelnen) besitzen aus erkenntnistheoretischer Sicht einen besonderen Reiz, stellen sie doch wesentliche Merkmale der natürlichen und gesellschaftlichen Umwelt des Menschen dar. Mit diesen Aussagen ist der Inhalt des folgenden Essays umschrieben, der sich einerseits mit den Problemen ‘Leben in praktisch unendlicher Vielfalt’, ‘Erkennen in praktisch unendlicher Vielfalt’ befasst und andererseits den Versuch wagt, einige Anregungen für die Theorie der Erkenntnis allgemein aus dem Reich der biologischen Makromoleküle (zu denen als sehr komplexe Beispiele die Proteine und Nukleinsäuren zu zählen sind) zu erhalten. Unter angemessener Berücksichtigung der Gefahren einer vergleichenden Betrachtung zwischen Natur und Gesellschaft, Sein und Denken lassen sich Anregungen zum Kausalitätsprinzip in hochdimensionalen Systemen, insbesondere zu seinen zeitlichen und räumlichen Limitationen und damit zu Grenzen und Möglichkeiten der Vorhersagbarkeit von Strukturen und Ereignissen, gewinnen. Eine wichtige Schlussfolgerung der Betrachtung ist die Annahme, dass in höherdimensionalen Systemen auf Dauer nur evolutionäre Systeme mit bestimmten Verhaltensnormen Chancen zu ihrem Bestand und ihrer Entwicklung haben.

Manche Gedanken übergibt man der Öffentlichkeit mit ungutem Gefühl. Der Grund hierfür liegt in der Unsicherheit ob der Antwort der Empfänger der Gabe. Das Risiko wäre für mich kleiner, spräche ich allein über mein Hauptarbeitsgebiet – die Proteinstrukturtheorie. Ich würde mir dann erlauben, dem Publikum einen bunten Strauß von interessanten Tatsachen und offenen Problemen auf den Tisch zu legen. Bei diesem Beitrag würde dieser oder jener ab und an bedenklich sein Haupt wiegen und ab und an (hoffentlich) zustimmend nicken. Aber ich hätte keine Angst, ich wür-

de es schon hinbiegen, dass ausreichend Neues erzählt wäre und dieses ist nun einmal relativ schwer angreifbar.

Mit dem Thema, das ich mir aber gewählt habe, wage ich mich in Regionen, die viel stärker der Diskussion ausgesetzt sind und in denen mein Wissen mir selbst etwas sehr begrenzt vorkommt. Ich wäre aber ein Dummkopf, wenn ich mich dieser Diskussion mit dem Publikum entziehen würde.

Die erste Frage, der ich Aufmerksamkeit widmen möchte, ist: Was ist überhaupt 'unendliche Vielfalt'? Im weiteren werde ich – und das wird leider zu oft kursorisch bleiben müssen, denn eine solche Vorlesung läßt nicht genug Platz dafür – einige Fragen, die sich aus der unendlichen Vielfalt ergeben, behandeln. Ich habe zur Gliederung die Überschriften aus der Rhetorik gewählt. In der Folge möchte ich Fragen so stellen, dass ich immer wieder vergleichbare Situationen in lebender Materie, in Proteinen, im Denken und sonstiger menschlicher Kultur aufsuchen möchte.

Des weiteren widme ich mich der Frage: Wie kann aber unendliche Vielfalt gestaltet werden? Wie kann man Unendliches in Angriff nehmen, und sofort, im Nachgang, ergibt sich die Frage: Wie kann man in der unendlichen Vielfalt leben, ohne sich zu 'zerkrümeln'? Und ich möchte zum Schluß in einigen Thesen Gemeinsamkeiten in vielfältigen Systemen vorstellen und damit meinen Vortrag beenden.

Was ist Vielfalt, was ist Vielfältigkeit? Ein Versuch, unendliche Vielfalt zu definieren

Bei der Auseinandersetzung mit schwierigen Tatsachen (schwierig meint meist komplex) ist es hilfreich, sich der Sprache zu bedienen und darüber hinaus nach dem Gegenteil eines Wortsinns zu fragen. Der Vielfalt steht im Deutschen die Einfalt gegenüber. Die letztere ist ein Begriff, der etwas himmelweit Verschiedenes und Anderes – nicht nur im Sinne von Gegenteil – als Nicht-Vielfalt beschreibt. Auffällig ist, dass 'Einfalt' sich auf eine Abstraktionse-

bene, nämlich auf ‘eine besondere Art zu denken’, bezieht. Lauscht man in dieses Wort genau hinein, hat man den Eindruck, dass es nicht nur schlichtes Denken bei bescheidener intellektueller Ausstattung meint, sondern eher lineares, einfaches Denken unter Verwendung zwar logischer, aber (unvernetzter) Kausalketten umschreibt. Damit ist nicht die Sache selbst, d.h. das Gegenstück zur Vielfalt gemeint, sondern das unkomplexe Denken in der Vielfalt. In diesen Bemerkungen ist das Spannungsfeld betreffs Vielfalt in meinem Vortrag deutlich geworden, nämlich, wie finden wir uns mit unserem (beschränkten?!) Denken in den unendlichen Möglichkeiten dieser Welt zurecht.

‘Vielfalt’ hat sich offensichtlich in der Sprache gegen ‘Vielheit’, ‘Vielfachheit’ oder ähnliches durchsetzen können, da dieses Wort offensichtlich die Tatsache genauer erfasst, dass bei umfänglicher Zahl der Möglichkeiten einer Welt deren Erkennbarkeit eingeschränkt oder verhindert ist, so wie es beim Falten von Papier oder Kleidungsstücken vorkommt: es gibt dunklere oder gar verdeckte Regionen. (Endliche Zeit lässt sich als ein wenig Vielfaches einer Eigenzeit eines Ereignisses, sei es die Existenz eines Dinges oder die Dauer eines Prozesses, definieren; wenig Vielfaches bedeutet tausendfach oder millionenfach aber auch milliardenfach länger. Damit wird klar, dass zeitliche Dimensionen nicht als an sich, d.h. unabhängig von den Dingen und Ereignissen, betrachtet werden, sondern auf diese projiziert werden.)

Gelingt es in endlicher Zeit nicht, alle Varianten durchzuprobieren, dann liegt, bezogen auf das Ding oder die betrachteten Ereignisse, eine unendliche, nicht im einzelnen durchforstbare, Vielfalt vor. Einige Beispiele mögen das verdeutlichen.

Wieviel verschiedene mögliche Proteine – bestehend im wesentlichen (fast ausschließlich) aus einer Kette miteinander verbundener Bausteine, den Aminosäuren – gibt es?

Die Proteine sollen eine Mindestgröße von etwa 50 Aminosäuren haben. Dabei müssen wir berücksichtigen, dass zwischen 50 und 100 Animosäuren eine Grauzone liegt, d. h. es ist nicht gewiss, ob sich

alle Peptidfäden dieser Länge mit Sicherheit zu einer kompakten Struktur falten. Ab 100 Aminosäuren wird es dann relativ sicher, dass es zur Faltung des Fadens im Raum kommt. Wenn wir ein Protein mit 100 Aminosäuren betrachten – ein kleines Protein, der längste bekannte zusammenhängende Peptidfaden ist 40 000 Aminosäuren lang –, so stellen wir fest, dass die Faltung in 2 Blöcken à 50 geschieht. Wir können weiterhin festhalten, dass Proteine in Hierarchien der Komplexität beschreibbar sind, das heißt, die Natur verwendet Bausteine in verschiedenen Komplexitätsebenen: erst die Aminosäuren selbst, deren Primärstruktur, dann sogenannte Sekundärstrukturen, dann die Domäne, späterhin Tertiär- und Quartärstruktur. Die (mittlere) Größe des Bausteins eines Proteins kann mit 50 Aminosäuren (Schwankung 30 – 150) angenommen werden. Und wenn wir bedenken, dass wir 20 natürliche Animosäuren[1] in den Proteinen haben, dann ergibt sich die Zahl solcher Bausteine mit 20^{50}, das ist eine untröstlich große Zahl, nämlich 10^{65}, eine 1 mit 65 Nullen. Es tut im Regelfalle noch nicht weh, das zu hören, aber stellen wir uns einmal vor, das Leben auf der Erde währt zur Zeit 10^{15} Minuten (= 3 Mrd. Jahre). Das ist auch eine relativ große Zahl, aber gegenüber 10^{65} ist sie verschwindend klein. Jetzt behaupten wir mal, dass in jeder lebenden Zelle 1 Million Domänen notwendig sind. (Das stimmt mit Sicherheit auch nicht, ganz so viel sind es nicht.) Seit Beginn des Lebens auf der Erde soll in jeder Minute je eine Mutation in jeder dieser Domänen entstehen. Die gesamte Biosphäre der Erde, von Mensch bis Einzeller, enthält maximal 10^{30} Zellen, mehr gibt das Wasser der Erde nicht her. Wenn wir diese Zahlen miteinander multiplizieren, ergibt sich trotz der unsinnig großen Annahmen, dass nicht alle von der Sequenz her möglichen Domänen getestet worden sein können:

Schema 1. Die Proteinwelt

Voraussetzungen:

- Protein-Domänen sollen 50 Aminosäuren enthalten (Anzahl möglicher Sequenzen $20^{50} = 1.13*10^{65}$)
- Leben auf der Erde gibt es seit etwa 10^{15} Min.
- Jede Zelle benötigt 1 Mill. Domänen
- pro Minute und pro Domäne entsteht eine Mutation

$$\mathbf{N_{getestet} = 10^{30} \cdot 10^{6} \cdot 10^{15} = 10^{51} << 10^{65}}$$

Daraus folgt, dass etwa 0,0000000000001% oder noch weniger aller möglichen Sequenzen überhaupt in der Evolution getestet werden konnten: niemals wird erfahrbar sein, ob all die nicht getesteten Sequenzfolgen Sinn ergeben oder nicht.

Die sich ergebende Definition betreffs Vielfalt für die Proteine lautet: Die unendliche Vielfalt ist gegeben, da unter halbwegs vernünftigen Annahmen, in endlicher irdischer Zeit (und seien es Milliarden Jahre) alle denkbaren Möglichkeiten der Anordnung der Aminosäuren in der Primärstruktur weder in der Zeit noch im Raum der Erde niemals vollständig ausgetestet werden können.

Ein unendlich variantenreiches System aus Menschenhand, entstanden wohl auch mit dem Ziele der Eingrenzung der Möglichkeiten und trotzdem unendlich vielfältig, dient mir als zweites Beispiel: die Musik, gefasst in Töne. Versuchen wir wieder eine hierarchische Gliederung, was bekanntermaßen auf Grund von Satz- und Themenstruktur leicht möglich ist.

Erkenntlich ist die Länge einer Domäne in der Musik daran, dass Anfang und Ende gut hörbar (durch Betonungen, Kadenzen, Pausen usw.) sind. Zum Beispiel hat Türk (Periode der Frühklassik) geschrieben, dass der Beginn jeder neuen Floskel durch eine ordentliche Betonung markiert werden müsse. Neben der Selbsterkenntnis der Musiker gibt es auch weitere Belege für die Länge einer – „Musikdomäne". Wenn man die Musikstücke mit analytischen Methoden, z.B. mit Hilfe der Bestimmung von Entropien, untersucht, stellt man fest, dass sich Musikstücke aus Bausteinen der Länge von 4 oder 8 Takten zusammensetzen. Rechnen wir also 8 Takte mit 4 Noten, total 32, eine recht geringe Zahl. Die Auswahl der Noten geschieht aus einer diatonischen Skala von 2 Oktaven (= Umfang menschlicher Stimme, 24 Töne). Daraus ergibt sich die gigantische Zahl von mindestens 10^{41} Musikstücken der Länge von 8 Takten.[2] Das ist eine riesige Zahl, die wir wiederum mit dem, was möglich ist, vergleichen müssen. Die Musik auf der Erde soll jetzt schon seit 3 Millionen Jahren (unsinnig lange Zeit) währen. Das ergibt 1×10^{12} Minuten. Unter der Annahme, dass jeweils eintausend Blöcke Musik von 1 Mrd. Musikern in einer Minute verän-

dert werden (welch unglaubliche Produktivität, wenn man bedenkt, dass selbst der als Viel- und Gutschreiber bekannte Telemann für 1000 Takte 3 Tage brauchte), also genausolche unsinnigen Mutationsannahmen wie oben, dann folgt daraus, dass hier wieder viele Nullen nach dem Komma zu nennen sind, bevor überhaupt der durch die Menschheit hervorgebrachte und getestete Prozentsatz Musik folgen konnte, nämlich 0,0000000000000001%.

Es bleibt also festzuhalten: Es gibt in der Musik (einer künstlichen, durch den Menschen geschaffenen Welt) und in den Proteinen (einem Teil der Natur) gleichermaßen eine unendliche Vielfalt. Diese Art Vielfalt ist die natürliche Umgebung des Menschen. Bedenkt man, dass unter diesem Aspekt eine Umwelt auf unser Denken und Erkennen trifft, die schier alles kann, dann fragt man sich, wie es unseren begrenzten Sinnen und Nervenzellen möglich ist, sich in einer solchen vielfältigen Welt zurecht zu finden und wie es mit der Erkennbarkeit dieser Welt bestellt ist.

Die Gefahren vergleichender Betrachtung und die der Naturphilosophie

Seitdem uns philosophische Betrachtungen überliefert sind, ist zu konstatieren, dass vergleichende Betrachtungen zwischen dem Denken des Menschen, seinen gesellschaftlichen Verhältnissen und der Natur gemacht wurden. Diese vergleichenden Betrachtungen sind – obwohl eine Reihe von Höhepunkten zu beobachten ist – zu keiner Zeit der Menschheitsgeschichte aufgegeben worden. Einen solchen gab es um die Zeit der Aufklärung bzw. Frühklassik in Europa. Insbesondere für diese Zeit hat sich leicht pejorativ der Begriff ‘Naturphilosophie’ eingebürgert. Die etwas abwertende Bezeichnung ergab sich daraus, dass die Denker dieser Richtung (leider) oft kurzschlüssig von Naturereignissen auf menschliche Verhaltens- und Denkweisen schlossen. Teilweise wurde das sehr stark durch die Literatur, die naturphilosophische Gedanken bereitwillig aufnahm, gestützt. Zudem unterstützte eine bildhafte (archaische) Sprache – auch der Naturwissenschaftler –, mit der neue Erkenntnisse der Wissenschaft propagiert wurden, einen naturphilosophi-

schen Ansatz, einschließlich eines manchmal unzulässig simplifizierenden Vergleiches zwischen Vorgängen in der Natur und der Gesellschaft. Interessant ist, dass wenig später in der Übergangsperiode zwischen Klassik und Romantik Gedanken zu Determinismus und Chaos aufgegriffen wurden, die in der griechischen Klassik schon eine Rolle spielten und die im 20. Jahrhundert in starkem Maße wissenschaftlich untersucht worden sind. Genau auf diese Probleme werden wir bei näherer Betrachtung von komplexen biologischen Systemen zurückkommen müssen. Obwohl die Biologie im 20. Jahrhundert umfangreich als Grundlage für 'naturphilosophische' Betrachtungen verwendet wurde, ist es weniger auf diesen Problemkreis (Komplexes System) zurückzuführen (ich werden mich aber darauf im weiteren umfangreich beziehen), sondern eher auf die rasante Entwicklung der Biologie bis hin zur Gentechnik, die zu philosophischen Betrachtungen Anlaß gab. Selbstverständlich schwang dabei im Hintergrund die Problematik der Komplexität biologischer Systeme, welche eben ein wenig vergleichbar ist mit der Komplexität menschlicher Gesellschaften, mit, ohne dass für mich erkennbar eine 'Philosophie der Komplexität' sich eigenständig herausbildete. Wenn man die allgemeine Ähnlichkeit komplexer Systeme in menschlichen Gesellschaften und der Biologie betont, dann nähert man sich der Naturphilosophie und der Gefahr, dass Analogien für Beweise genommen werden, was gleichbedeutend damit ist, dass die Spezifika der einzelnen Bereiche nicht ausreichend berücksichtigt werden. Was aufzudecken ist, sind die wirklich inhärenten Äquivalenzen. Darum geht es hier. Und auf der anderen Seite möchte ich Anregungen aus den biologisch komplexen Systemen übernehmen, um auf typisch menschliche Phänomene vergleichend aufmerksam zu machen. Anders gesprochen: es muss die nötige Distanz vorhanden sein, um nicht aus oberflächlichen Ähnlichkeiten Gesetzmäßigkeiten ableiten zu wollen.

Von den Problemen der Vielfalt

Bei näherer Betrachtung der Wesensmerkmale vielfältiger Systeme fallen einige ausgeprägte Eigenschaften auf (die niedrigdimensionierte Systeme, z.B. lineare, nicht oder kaum aufweisen),

die in der Vielfalt besondere Schwierigkeiten bereiten. Im Folgenden beschränke ich mich exemplarisch auf drei Eigenschaften:

1. Die Selbst- oder Rückbezüglichkeit;
2. Die Intransitivität der Ähnlichkeit;
3. Die Schwierigkeit, bei Veränderungen in vielfältigen Systemen Vorhersagen zu treffen oder die Geschichtliche Dimension.

1. Selbstbezüglichkeit

Eine wichtige, dabei auch schwierige Besonderheit des Seins und Werdens in unendlicher Vielfalt ist die so genannte Selbstbezüglichkeit, die in allen komplexen Systemen und nur dort auftritt, wo ein System gegebener Dimensionalität die Grenzen dieser durchbrechen und in eine höhere Dimension 'aufsteigen' kann und zu sich selbst über die höhere Dimension zurückfindet. Als Beispiel, in dem Selbstbezüglichkeit deutlich wird, diene uns ein Gedicht von Erich Fried.

Es muss einen Ausweg geben
aus jenem Aberglauben,
der immer meint,
es muss einen Ausweg geben.

Der zweite Teil des Gedichts nimmt den ersten Teil auf, bezieht sich auf ihn und widerspricht ihm. Damit wird ein im 'System' des Gedichtes unlösbarer Widerspruch deutlich gemacht, der so nicht vorhersehbar war und dessen Unlösbarkeit den einfach logisch denkenden Menschen verwundert. Das Gedicht, oder besser dessen Aussage, entzieht sich der Beweisbarkeit. Dass das auch für Systeme in der Mathematik gilt, hat Goedel im ersten Drittel dieses Jahrhunderts bewiesen; beunruhigt hat das erst einmal niemanden.

Betrachten wir in diesem Zusammenhang biologische Makromoleküle: Proteine sind sehr komplizierte Gebilde mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen den Atomen. Im Prinzip durchstoßen sie zweifach Dimensionsgrenzen: die Sequenz ist ein eindimensionaler String und sie faltet sich, vergleichbar einem Wollfaden, zu einem dreidimensionalen Knäuel. Während dem

Wollfaden im Knäuel unendlich viele Anordnungen möglich sind, ist dem Peptidfaden eines Proteins praktisch nur eine 3-D-Anordnung erlaubt. Dieser zweifache Wechsel der Dimensionalität erschwert das Verständnis in besonderem Maße.

Etwas einfacher und überschaubarer können Strukturen der Nukleinsäuren sein. Insbesondere Desoxyribonukleinsäuren sind Substanzen, die wie ein Reißverschluss gebaut sein können. Der eine Strang findet über spezifische Wechselwirkungen (Watson-Crick-Basenpaarungen) ein Gegenüber, zu dem er perfekt passt. Dies ergibt ein Reißverschluss-ähnliches Gebilde. Die Zähnchen des Reißverschlusses entsprechen den Basen, das Band, an dem die Zähnchen befestigt sind, entspricht den Zuckerresten, die über Phosphat miteinander verknüpft sind. Bekannterweise bilden die Basen G (Guanin) und C (Cytosin) und A (Adenin) und T (Thymin) bzw. U (Uracil, nur in der RNA vorkommend) die Paare, die dann zu dem Reißverschluss führen. Nimmt man folgende Nukleinsäuresequenz an:

GGGCCCTTTXXXXXAAAGGGCCC,

so ergibt sich ein Maximum an Basenpaarungen:

```
A A A G G G C C C X X
| | | | | | | | | X X
T T T C C C G G G X
```

(denn ‘A’ mag ‘T’ und ‘G’ mag ‘C’). Wir sehen also ein System, was sich zu sich selber zurückfaltet, verbunden auf der rechten Seite durch eine einfache, nichtgepaarte Sequenz XXXXX. Dieses System ist damit im wahrsten Sinne des Wortes selbstbezüglich, es hat für sich wechselseitig selbst eine eigene Umgebung geschaffen. Die Sequenz auf der einen Seite fordert eine bestimmte Sequenz auf der anderen. Unter welchen Bedingungen bleibt diese Struktur im Prinzip stabil? Wieviel Fehlpaarungen, d.h. nichtwechselwirkende Basen nach Mutationspaarungen, verträgt diese Struktur? (Selbstverständlich bleibt die Struktur – bis auf allerkleinste Nuancen – gleich, wenn die Basen nur die Seiten wechseln, d.h. eine Mutation auf der einen Seite durch eine kompensa-

torische auf der anderen begleitet wird.) Welcher Anteil der Mutanten werden ähnliche (Raum-) Strukturen bilden? Es stellt sich in theoretischen Untersuchungen für etwas längere Sequenzen heraus, dass sich selbst unter Bedingungen umfangreicher 'Mutationen' bei etwa 1 bis 10% der Sequenzen Selbstbezüglichkeit findet, die sich zu einem definierten 2(3)-D-Gebilde zusammenfügen. Das heißt also, die komplizierte Energie-Landschaft ist nicht durch riesig breite Täler nichtfaltbarer Strukturen getrennt, sondern in 10% der Fälle finde ich nach Mutation eine vernünftige Struktur (*Fontana et al.*), d.h. einen Weg weg von einer gegebenen Struktur zum nächsten, anderen, der gangbar ist. Zusammenfassend lässt sich für Nukleinsäuren, die aufgrund ihrer Selbstbezüglichkeit definierte räumliche Gebilde aufweisen können, festhalten, dass aus der Vielzahl der Möglichkeiten (z.B. bei einer Kettenlänge von 2000 Basen $4^{2000} \sim \infty$) durch Mutationen mit hoher Wahrscheinlichkeit wieder stabil strukturierte Anordnungen gefunden werden. Betrachtet man im Raum der möglichen Sequenzen die Nukleinsäuren im Verlaufe einer Evolution, so kann sich Schritt für Schritt die Entwicklung vollziehen, ohne dass ständig ein Desaster zu erwarten ist, und wir sehen eine „Spur" der sinnvollen Nukleinsäuren wie Fußtapfen im Schnee (Geschichte, s.u.).

Eine weitere Form der Bezüglichkeit (im Sinne der Ganzheit Selbstbezüglichkeit) ist im Ablauf der Evolution zu beobachten. Nachdem erste Schritte getan sind, kommt es zu weiteren. Neue Organismen bilden sich, die teilweise erst durch die vorangegangenen ermöglicht werden, aber andererseits selbstverständlich die Spuren der Geschichte in sich tragen. Anschaulich belegt wird dies durch die jetzt als gesichert zu betrachtende Aussage, dass die Ontogenese ein Abriss der Phylogenese ist. Andererseits ist eine Reihe von Varianten durch die vorangegangenen Schritte undenkbar geworden (z.B. ist in der Musik nach 2 Oktavsprüngen ein dritter in einer Gesangsstimme wenig sinnvoll). Man kann es entweder als Informationsproduktion oder -gewinn im Laufe der Evolution (Phylogenese oder Ontogenese) oder als Selbstbezüglichkeit, d.h. Beziehung erster Teil und zweiter Teil eines Satzes zueinander, sehen. Und diese Selbstbezüglichkeit macht uns das Leben so schwer. Die Selbstbezüglichkeit im musikalischen System und im

System der Proteine zu erkennen, erscheint mir eine der wesentlichen Fragen zu sein, deren Antwort uns das Verständnis komplexer Strukturen und deren Entwicklung ermöglicht. Darüber hinaus führt uns die (Selbst)Bezüglichkeit ob der Kombinatorik in eine neue Dimension der Vielfalt. Schier alles scheint erlaubt (siehe oben, ein stochastischer welchselseitiger Tausch der Basen kann jede Ähnlichkeit auf einem Halbstrang verschwinden lassen, und trotzdem sind Strukturen ähnlich).

2. Von der Intransitivität der Ähnlichkeit in vielfältigen Systemen

Aus der Geometrie ist uns vertraut, dass, wenn Dreieck A und B ähnlich zueinander sind und ebenso Dreieck B und C, das Dreieck C mit A ähnlich ist. Leider gilt das im System mit vielfältigen Möglichkeiten nicht. Als Beispiel diene uns folgende Reihe von Wörtern, die sich immer um einen Buchstaben unterscheiden. Jedes Wort hat mit dem Nachbarn in der nächsten oder vorhergehenden Zeile große Ähnlichkeit, das erste und das letzte Wort haben an keiner Position einen gleichen Buchstaben. Welche Möglichkeiten gibt es, um von einem Wort (z.B. Hund) zum anderen (Maus) zu kommen?

Hund → Hand → Hans → Haus → Maus.

Zwischen jedem der Wörter ist jeweils ein Buchstabe geändert, eine Punktmutation. Die Reihe ließe sich natürlich fortsetzen (MASS → MAST → HAST. Dabei wird, wie auch schon oben, nur sinnvolle Mutation vorgenommen, d.h. solche, die ein neues Wort mit neuer Semantik hervorbringt, manchmal sogar eines mit zwei völlig unterschiedlichen Bedeutungen: MAST). Lässt man sinnlose Mutationen zu, d.h. hier solche, die zu Rechtschreibfehlern führen, z.B. bei MAST auf der letzten Position ein D, dann sind unsere Erkennungssysteme in der Lage, diesen Fehler erst einmal zu übergehen und das nächstliegende Wort mit Sinn als das wahrscheinlich richtige anzunehmen. Dieses Phänomen deutet wieder auf die Fehlerfreundlichkeit der Systeme hin, was natürlich die Gefahr von Doppeldeutigkeiten erhöht.

3. Von der Schwierigkeit, Veränderungen vorhersagen zu können

In den beiden vorangegangen Abschnitten ist eine weitere Tatsache implizit enthalten, die uns in vielfältigen Systemen in puncto Erkennbarkeit Kümmernis, in puncto Stabilität und Varianz Hochachtung abringt. Es sei hier an die weiter oben gestellte Frage angeknüpft: Wie viele Mutationen verträgt eine Struktur (bei Wörtern: wie viele Rechtschreibfehler verträgt ein Wort, bevor es seine Bedeutung ändert oder die Erkennbarkeit seines Inhalts verloren gegangen ist)? Wie viele Löcher verträgt eine Hose, bevor sie ihrer Funktion verlustig geht? Diese Beispiele belegen sofort, dass das jeweils von sehr vielen Randbedingungen abhängt. Je länger das Wort, um so mehr Mutationen verträgt es, aber andererseits wirkt sich auch bei einem langen Wort die Veränderung auch nur eines Buchstabens manchmal katastrophal auf dessen Verständnis aus. Wenn ein Rest in einem bestimmten Eiweiß wesentlich für Rückbezüglichkeit ist, hat dessen Veränderung ganz andere Auswirkungen als bei einem Rest, dessen funktionelle Bedeutung geringer ist. Auf einer höheren Integrations(Bezüglichkeits)ebene sei noch ein weiteres Beispiel hinzugefügt: Man kann Hunderte von Genen in der Hefe ausschalten, man sieht keinen Phänotyp, d.h. die Zellen zeigen kein geändertes Verhalten bzw. wir haben noch keine Bedingung gefunden, in der geändertes Verhalten zu beobachten wäre. Andererseits kann es sein, dass die Deletion (Ausschaltung) eines einzelnen Gens dazu führt, dass die Hefe nicht lebens- und teilungsfähig ist. Diese Beispiele, die verdeutlichen sollen, dass Vorhersagbarkeit von Ereignissen, Veränderungen der Bedingungen bzw. der Elemente der Vielfalt selbst von so vielen inneren und Randbedingungen abhängen und damit nur eingeschränkt möglich sind, lassen sich beliebig fortsetzen. Das bedeutet einerseits, dass man besser zu viel wissen muss, um die Vorhersage zu treffen und andererseits, dass ein komplexes vielfältiges System immer mehrere Möglichkeiten hat, auf Änderungen zu reagieren. Diesen Gedanken aufgenommen, kommt man dazu, dass zu einem gegebenen Betrachtungszeitpunkt eines komplexen Systems ein Zustand existiert, der einer von vielen möglichen und nicht der allein denkbare ist. Mit anderen Worten: Das, was beobachtbar ist, ist geworden aus Notwendigkeit und Zufall und nicht nur aus dem Zwang der

Naturgesetze, die in einfachen Systemen bei gegebenen Randbedingungen nur eine Lösung zulassen. Das Ohm'sche Gesetz hat dieses geschichtliche Element, das wir für die komplexen Systeme konstatieren müssen, nicht. Selbstverständlich schränkt die geschichtlich bedingte Lösung die für die Zukunft denkbaren Varianten ein, doch diese bleiben vielfältig genug (siehe unten).

Der Weg zur Vielfalt, die Wechselwirkungen in der Vielfalt. Gibt es eine Chance, dass alles Mögliche erkannt wird, d.h. gibt es die prinzipielle Chance, für jedes Protein ein Gegenprotein zu finden?

„Am Anfang war? das Wort der Sinn die Kraft die Tat ?“
und
„Das erste steht uns frei,
beim zweiten sind wir Knechte.“ (Goethe)

Zum Verständnis des Lebens in diesen Unendlichkeiten ist eine weitere wichtige Frage zu beantworten: Was war vor diesen heute existierenden Vielfalten? Was war der Ausgangspunkt des vielgestaltigen Ganzen? Warum und wie kann sich Vielfalt zu einem Item gestalten? Gab es einen Keim? Es sind uns zu diesem Thema vier Fragen in Goethes –„Faust“ überliefert: War das Wort, der Sinn, das Ziel, die Kraft oder die Tat zuerst?

Um vorab eine Antwort (ohne Begründung) zu geben, möchte ich sie wie folgt formulieren: Sowohl für die Musik als auch für die belebte Welt gilt, dass am Anfang, davor, nur ein Nichts in Bezug auf das, was später sein sollte zu beobachten ist. Es gab also kein Wort, keinen Sinn, kein Ziel; es gab kein Vorbild. Hanslik hat dies für die Musik sehr drastisch ausgedrückt. Er schrieb:

„Es gibt nichts, es gibt kein Naturschönes für die Musik, es gibt kein Vorbild.“
Und dann wird er noch drastischer, er schreibt:
„.... und das Tier, dem die Musik am meisten verdankt, ist nicht die Nachtigall, sondern das Schaf.“ (Hanslick)

Und das liegt nicht an dem schönen Blöken des Schafes, sondern an seinem Darm, der für die Saiten der Streichinstrumente verwendet werden kann.

Etwas prosaischer haben das für lebende Systeme, insbesondere Nukleinsäure und Protein, Ebeling und Feistel ausgedrückt:

> *„Für reale Evolutionsprozesse ist natürlich die Zielsequenz (Reihenfolge der Bausteine in Proteinen und Nukleinsäuren, C.F.), sofern eine solche überhaupt existiert, nicht vorgegeben.“*

Wir stellen nochmals fest: Am Anfang von Musik und Leben können also weder Sinn noch Wort gewesen sein, eine Sinngebung und Ritualisierung (s. u.) folgten erst später. Wir kommen zur gleichen Ansicht wie Faust: zuerst waren die Kraft und die Tat, dann deren Produkt vorhanden. Übersetzt in die Physik der Proteine ergibt sich, dass die Wechselwirkungen zwischen den Atomen und Atomgruppen, die chemischen (Ver)Bindungen, die sich in der Zeit aufbauen (aus Kraft folgt Tat und dann Seiendes), als Ausgangspunkt des Werdenden zu betrachten sind. Für die Moleküle gibt es kein Ziel der Entwicklung, sondern nur Möglichkeiten, miteinander umzugehen, wechsel zu wirken. (Auch an dieser Stelle empfiehlt es sich, auf die Sprache zu achten: wechselwirken, wechselseitig aufeinander einwirken, a verändert b zu b’, dieses wiederum kann a zu a’ ändern usw., Stichwort Rückbezüglichkeit, siehe oben.) Im Folgenden werde ich Besonderheiten des Gestaltens im Raum der unendlichen Vielfalt im einzelnen vertiefen.

Schritt für Schritt

Konfrontiert mit der unendlichen Vielfalt ergibt sich die Frage, ob diese überhaupt gestaltbar ist. In diesem Kontext war eingangs festgehalten worden, dass eine Gestaltung mit Hilfe eines Ziels nicht möglich erscheint, da ein solches nicht existent ist. Zweitens: Ein eventuelles Ziel wäre darüber hinaus in die unendliche Vielfalt eingebettet und lässt sich nur schwerlich ohne besondere Vorkehrungen in endlicher Zeit finden und bleibt damit praktisch uner-

reichbar. (Nur, wenn wir eines erreicht haben, wissen wir, wie wir dahin gekommen sind und glauben, dass der Weg logisch oder stringent oder determiniert war.) Das schrittweise Entwickeln (in unendlicher Vielfalt) der Natur über etwa $3 \cdot 10^9$ Jahre hinaus bezeichnen wir seit Darwins Zeiten als Evolution. Die Evolution in der Musik ist viel, viel kürzer als die 3 Millionen Jahre, die ich oben, um große Zahlen zu erhalten, angesetzt hatte. Die etwa zehntausendjährige Musikgeschichte ist aber insbesondere in den letzten 300 Jahren viel besser dokumentiert, teilweise auch in ihrer Frühgeschichte, als die Evolution der Proteine.

Die Geschichte der frühen Orgelkunst ist wie die Entwicklung der Lebewesen in Form eines Baumdiagramms darstellbar. Es ergibt sich ein Schema, das sich im wesentlichen über mehr als 100 Jahre erstreckt. Die musikalischen Bezüge decken sich mit den Lehrer-Schüler-Beziehungen. Die Kunst des Orgelspiels ist seit etwa dem 12. Jahrhundert durch Notentexte belegt; davor gab es aber auch schon Instrumente. Die Begrenztheit der frühen Instrumente bestand in dem recht eingeschränkten Tonumfang (8 Töne) und entsprechend war die Musik. Aufgrund des Instrumentes (nicht aufgrund der Gesetze der Musik!) konnten nur Melodien, die 8 verschiedenen Töne umfassten, gespielt werden (vgl. im Falle der Proteine auch Uraminosäuren). Da wird ein ganz anderer Aspekt deutlich, nämlich der der Coevolution (siehe unten) und äußeren Bedingtheit. Nach dem 12. Jahrhundert waren die Orgeln schon mit ca. 2 Oktaven ausgestattet, was in etwa dem Umfang der Sängerstimme entspricht. Dies erschien den Musikanten als eine vernünftige Grenze.

Eine weitere Frage ist die Frage nach dem ‘Was bleibt?’, d.h. unter welchen Bedingungen sind die entstandenen Systeme, sprich Musikstücke bzw. Kompositionen, Proteine, stabil durchsetzungsfähig gegenüber anderen. Hätte ein reiner Epigone Mozarts ebenso wenig die Chance eines ‘evolutionären’ Vorteils (z.B. mit größerem Lebensraum seiner Musikstücke/häufige Aufführungen) als Schönberg mit seinen Innovationen zur Beethoven-Zeit? Bedenken wir das für die Proteine, ergibt sich ein vergleichbares Bild. Es erscheint einsichtig, dass ein neues (durch Mutation und andere Vorgänge geändertes) Protein sich

– einerseits ausreichend deutlich von seinem Vorgänger unterscheiden muss, um einen evolutionären Vorteil (größere Durchsetzungsfähigkeit, erhöhte Vermehrungsrate, größerer Lebensraum) für den Organismus zu haben;
– andererseits darf die Veränderung nicht zu groß sein, denn auch die neue Musik, das neue Protein muss sich (noch) in die alte Umgebung einpassen, die teilweise von ihm selbst bestimmt wird ((Rück)Bezüglichkeit).

Die Quantelung der Ereignisse

Wie kann sich in so einer unendlichen Vielfalt etwas Strukturiertes entwickeln? In solchen Systemen, die sich in unendlicher Vielfalt (Definition siehe oben) bewegen (sic!), ist eine schrittweise Entwicklung die einzige Möglichkeit, zu komplexeren Systemen zu kommen. Warum? In einer ersten Teilantwort ist daran zu erinnern, dass die Vielfalt sich aus der endlichen Zahl verschiedener Bausteine, die in großer Zahl zusammengefügt (sei es in einem Musikstück oder in einem Protein) werden, ergab. Das führt wiederum dazu, dass zwischen zwei verschiedenen Spezies eines Polymers (einer Sequenz) immer ein Austauschschritt eines/mehrerer Bausteine liegt. Die Schrittweite kann aber recht unterschiedlich sein. Ein weiterer Teil der Antwort ergibt sich aus der Tatsache, dass ein Ziel der Entwicklung nicht angebbar ist, was dazu führt, dass eine gezielte, ohne (zufälliges) Absuchen von Möglichkeiten, Entwicklung in der Vielfalt nicht möglich ist.

Und ein weiteres muss für die schrittweise Entwicklung als wesentlich festgehalten werden: Was verlieren wir an Freiheitsgraden, wenn die ersten Schritte getan sind? Selbst unter diesen Bedingungen haben wir die eingangs erwähnte unendliche Vielfalt wieder. Das heißt, selbst wenn wir den ersten Schritt getan haben, wenn wir also von 10^{65} Möglichkeiten auf 10^{62} gekommen sind (nicht mehr alle Schritte sind möglich), sind wir immer noch im Bereich der unendlichen Vielfalt, denn es bleiben noch viel mehr, als wir testen können. Die Zahl der Möglichkeiten nimmt natürlich mit der Zahl der getanen Schritte weiter ab. Trotzdem bleibt eine

noch ausreichend umfängliche Vielfalt, um mit hoher Wahrscheinlichkeit anstehende Probleme zu lösen.

Im weiteren müssen wir die Frage stellen: Welches sind die Randbedingungen für erfolgreiche Entwicklungen? Entwicklung heißt hier verändern, z.B. durch Mutationen (Schrittchen) oder 'Rekombination' von Vorhandenem (Schritte, es können Domänen der Proteine, aber auch ganze Organismen sein, z.B. Mitochondrien, die einmal unabhängige Einzeller waren und jetzt den meisten Zellen als Kraftwerke dienen) sind Veränderungen kleinerer und größerer Art möglich. Andererseits muss das System (zu sich selbst und zu anderen) fehlerfreundlich sein. Nicht jede Mutation darf das gesamte System zerstören. Wäre es so, gäbe es keinen weiteren gangbaren Weg, die Entwicklung wäre eingefroren. Existiert 'Fehlerfreundlichkeit', so können sich Mutationen im (fast) unveränderten System 'ansammeln', aus dem dann bei einer weiteren Mutation deutliche Änderungen desselben hervorgehen können: aus dem Epigonen Mozarts entstünde ein neuer eigenständiger Komponist. Aber auch Nukleinsäuren per se besitzen diese Eigenschaften der Fehlerfreundlichkeit in besonderem Maße. Aber auch Proteine tolerieren (von einzelnen unersetzbaren Aminosäuren abgesehen) Mutationen recht umfänglich. Zum Beispiel sind in der Proteinstrukturdatenbank Atomkoordinaten von ca. 100 künstlich hergestellten verschiedenen Mutanten des Enzyms Lysozym, aber praktisch jede Variante ist 'Lysozym' mit seinen entsprechenden Funktionen. Ursache ist die (unverstandene) Redundanz des Faltungscodes, womit das Stichwort für eine in hohem Maße notwendige Eigenschaft lebender Systeme, die mehrfache Absicherung von Systemelementen, gegeben wäre.

Die Trennung zwischen Funktion und Information

Ein Zweites, welches wir neben der schrittweisen Änderung bei der Entwicklung unendlicher Vielfalt als Rahmen(Rand)bedingung berücksichtigen müssen, ist die sogenannte Ritualisierung. Es reichen weder die Ereignisse, noch die Musikstücke, noch die Proteine selbst, sondern wir brauchen zusätzliche Informationen,

die von diesen abgeleitet werden und für die Ereignisse stehen. Anders sind komplizierte Netzwerke in Raum und Zeit nicht vorstellbar. Würde Musik in Stimme nur von einzelnen Musikern gespielt, wie könnte je ein Werk wie die h-Moll-Messe von J. S. Bach aufgeführt werden? Was passiert, wenn Informations- und Funktionsträger miteinander identisch sind?

Und damit komme ich zu der für die Entwicklung in unendlicher Vielfalt wichtigen Frage: Muss im Rahmen der Evolution komplexer Systeme in unendlicher Vielfalt eine Trennung in Funktion und deren Kodierung stattfinden? Dies zu beantworten, fällt innerhalb der Musik leicht. Wenn ich Musik mache, dann hört man etwas und hält es (möglicherweise) für Musik. Mit dem Verklingen der Töne ist aber das Ganze vorbei. Die Musik lebt so nur in der Gegenwart oder virtuell in der Erinnerung.[3] Das hat natürlich die Generationen vor uns sehr gestört, hatten sie noch keine Möglichkeit der äußeren Aufzeichnung der Musik entwickelt. Um sozusagen aus der Gegenwart zu flüchten, um Vergangenheit und Zukunft zu erhalten, musste die Musik kodiert werden, und zwar so, dass sie sich möglichst getreu an einem anderen Ort und zu einer anderen Zeit aufführen ließ.

Wie entsteht nun so ein Code? Ein anschauliches Beispiel ist die Entwicklung der musikalischen Notierung. Wie oft in der Vielfalt, gab es mehrere Ansätze, so z.B. den der sogenannten Tabulaturen. Betrachten wir hierfür eine Flötentabulatur: Die Grifflöcher der Flöte wurden durchnummeriert, und wenn die Löcher entsprechend der Notierung, z.B. das 8., das 6., das 4., das 3., das 2., das 1., verschlossen werden, erklingt auf einer bestimmten Flöte ein F. Diese Art der Kodierung in Form der Griffnotation ist kompliziert und instrumentenspezifisch und hat die Musiker gezwungen, nach etwas Besserem zu suchen, das über ein bestimmtes Instrument hinaus gültig war (wichtig für komplexere mehrstimmige Musik bzw. für Instrumentalisten, die mehr als ein Instrument beherrschten oder für mehr als einen Typ komponierten). Und jetzt kommt wieder der Aspekt ‘Coevolution’, d.h. das Zurückgreifen auf Dinge, die ‘sich’ eigentlich zu einem anderen Zwecke entwickelt haben: Das gesprochene Wort als Informationsträger zwischen Menschen ist viel äl-

ter als die (entwickelte) musikalische ‘Sprache’. Die Schriftsprache ist auch älter als die musikalische Sprache, und damit konnten die Menschen auf die Idee kommen, die Schriftsprache, also Buchstaben (Notennamen) zur Kodierung der Musik zu verwenden. Die Kodierung der Musik in Form der Tabulatur war entstanden.

Die heute gängige Notation von Musik ist eine weitere Form der Kodierung, die, ebenfalls nicht perfekt, wohl aus der Welt der Saiteninstrumente kommt. Sie ist nicht ohne Nachteile, sie muss, wie jede Kodierung, unvollständig sein. Folgende Fragen klingen sofort an: Kann alles kodiert sein? Was ist kodiert? Was ist Semantik, was ist Grammatik? Was ist ‘co’-kodiert? Eine Kodierung wird erfunden, um für das Ereignis selbst zu stehen. Man kann jetzt Noten, ohne sie zu spielen, ohne dass die Musik erklingen muss, auf ihren musikalischen Gehalt prüfen. Dies geht aber nur, wenn man die Dekodierung versteht. Wir haben bei der Musik eine Kodierung gesehen, mit der, obwohl durch die Abstraktion einige Feinheiten (wie Lautstärke, exakter Rhythmus, Betonung im Detail, Spezifik des Instruments usw.) verlorenzugehen drohen, Vergangenheit überwunden und die Chance eröffnet wurde, die Musik auch in die Zukunft zu retten. Wie sieht das bei den Proteinen aus?

Der genetische Code der Proteine ist eine chemische Schrift, die im Dreier-Takt für Aminosäuren steht. Der Code ist praktisch universell, d. h. in jedem Organismus finden wir die gleiche Kodierung. Ein Dreibuchstaben-Wort der Nukleotide steht für eine Aminosäure, eine von den 20 (21) proteinogenen, d.h. die unmittelbar am Ribosom in das Protein eingebaut werden. Damit hat das einzelne Protein und auch das Lebewesen Vergangenheit (Vorfahren) und Zukunft (Nachkommen) bekommen und nicht nur Gegenwart. Jetzt können wir uns wiederum die Frage stellen, wie solch ein Code entstanden sein mag. Wir können eine Analogie zur Musik ziehen, wieder stehen reale Ereignisse am Anfang der Entstehung des Codes Musik. Ausgehend von einer mehr geometrischen Beschreibung beim Abgreifen eines Tones wurde ein ‘Ritual’ abgeleitet, das für den Ton steht. Im Falle der Proteine war es vielleicht so, dass bestimmte Eigenschaften der Aminosäuren zu bestimmten ‘Dreier-Worten’ der Nukleinsäuren passten.

Die Belege dafür sind, 3 Milliarden Jahre nach Entstehung des Codes, dünn gesät. Beispielsweise stellt man fest, wenn man die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Tripletts analysiert, dass bestimmte Ähnlichkeiten in den Eigenschaften der Aminosäuren allein durch die Ähnlichkeit der Tripplett-Worte gegeben sind. So bevorzugen die hydrophoben Aminosäuren Tripletts mit 'U' (Uracil) in der Mitte. Ergo können wir annehmen, dass der genetische Code eine Beziehung mit dem realen Geschehen hat, nämlich die Bindung einer Aminosäure an einer bestimmten Stelle, der Mitte von diesem Dreiercode, und dann folgt die Verknüpfung der Aminosäuren miteinander. Auf diese Weise haben wir ein primitives System der Kodierung auf der Grundlage des Prozesses selbst. Später entstand auch hier ein kompliziertes Ritual – die Proteinsynthese am Ribosom. Für primitive Lebensvorstufen mag der Mechanismus der Informationsübergabe bzw. -realisation durch unmittelbare Wechselwirkung zwischen Nukleotid und Aminosäure ausreichend gewesen sein. Für die komplizierte spätere belebte Welt musste dies alles wesentlich verbessert werden.

Welche neuen Möglichkeiten bot eine solche Codierung bzw. Ritualisierung? Neben der Möglichkeit, eine Brücke zwischen Vergangenheit und Zukunft zu schlagen (d.h. Informationen effektiv zu sammeln! und kompakt weiterzugeben), ergeben sich weitere Vorteile durch die Ritualisierung:

– Vervielfältigen und damit Parallelverarbeiten und -verändern einzelner Codierungen (Einheit von Variabilität und Konstanz auf einer neuen Ebene der Redundanz) z.B. auch Mutation auf 'stummen' Genen;
– Kombination von Genen und deren Bruchstücken;
– getrennte Optimierung von Informationssystem (Genotyp) und Phänotyp/Trennung des Erarbeitens der Komposition und des Realisierens der Musik.

Wie lässt sich in unendlicher Vielfalt beschränkt leben?

Ich möchte mich jetzt der letzten Frage zuwenden: Wie kann ich mich in so einer Welt der unendlichen Vielfalt überhaupt zurecht-

finden? Wie gelingt es einem Lebewesen, sei es noch so primitiv, sich in einer Welt zurecht zu finden, in der scheinbar alles möglich ist und in der man auf ‘alles’ vorbereitet sein muss? Und da nehme ich wieder eine Anleihe bei Goethe. Er schrieb in seinen Briefen zu „Dichtung und Wahrheit“, dass er dieses Buch eigentlich „Wahrheit und Dichtung“ genannt hat. Er hatte die beiden Begriffe vertauscht. „Dichtung und Wahrheit“ ist aber dann die Reihenfolge, die von ihm autorisiert wurde und einem besser gefällt – dass also nicht alles, was uns begegnet, ernst zu nehmen sei, sondern dass ein Faktum in unserem Leben nur dann etwas gilt, wenn es etwas zu bedeuten hat. Und damit kommen wir zu diesem Problem: Wie kann in einer unendlich vielfältigen Welt die Bedeutung eines Faktums erkannt werden? Die Chance, die wir besitzen, beruht auf dem, was bei den alten Griechen schon als Antizipation bekannt war. Ein Beispiel hierfür stammt vom Physikochemiker Ritter, einem Zeitgenossen Goethes, der sehr weitgehende Gedanken auch zur Strukturierung niedergeschrieben hat. In seinen etwa 700 Thesen (als Nachlaß veröffentlicht) findet sich der folgende Satz, den wir in entsprechend anderer Form auch in den Abhandlungen Kants unter dem Stichwort Antizipation in der „Kritik der Reinen Vernunft“ finden können:

> *Würde der Gottesverehrer die Bibel verstehen können,*
> *wenn er nicht, was in der Bibel stände, in sich selbst fände?*
> (Johann Wilhelm Ritter)

Das heißt also, wir verstehen die Welt nur, weil wir vorgebildete Strukturen dafür haben, sie zu verstehen. In der Musik kann ich das an einem weiteren Beispiel erläutern. Dazu könnte ein (verstimmtes) Instrument erklingen. Es möge ein Ausschnitt eines Noëls (Weihnachtsstück) von Daquin erklingen, wobei die einzelnen Töne bis zu 40 cent gegenüber den gleich schwebenden verstimmt sein sollen. Trotz dieser schmerzlich deutlichen Verstimmung träte die Melodie, die der Komponist in der Oberstimme (unbewusst) verwendet, die (Anfangs-) Melodie von ‚alle meine Entchen‘ deutlich zutage.

Das Lied „Alle meine Entchen“ hat der Komponist wahrscheinlich weder gekannt, noch würde es in ein Weihnachtsstück hineinpas-

sen. Trotz der Verstimmung gelingt es dem Zuhörer, die Töne ‘hinzuzwingen’ so dass er einen Ton, der zwischen Fis und F angesiedelt war, korrekt auf Fis projiziert. Also geht unser Hirn beim Hören vorstrukturiert vor, d.h. es hört ein bisschen das, was es hören will. Ähnliches findet bei bestimmten Erkennungsprozessen zwischen Proteinen statt. Tiere besitzen z.B. ein Abwehrsystem, das ihr Inneres gegen Eindringlinge schützt. Nichts Fremdes soll unerkannt Böses anrichten. Dieses Immunsystem muss mit Proteinen und anderen Molekülen rechnen, die es noch nie gesehen hat, also auch mit der unendlichen Vielfalt. Frage: Wie kann es praktisch alles erkennen? Stark vereinfacht passiert folgendes: Das Immunsystem ‘würfelt’ ein bisschen. Dieses Würfeln, sprich Mutieren und zufälliges Rekombinieren, führt zu etwa 10^7 bis 10^{10} Varianten, und diese Varianten sind eine Auswahl aus 10^{65} Varianten, also ein Teil aus der unendlichen Vielfalt. Dieser Teil aus der großen Gesamtheit ist offensichtlich in seinen Erkennungsmöglichkeiten so breit gestreut, dass er mindestens halbwegs Sachen irgendwie, wenn auch im Einzelfall gerade so greifen kann. Dann wird ein Mutationsprozess, ausgehend von diesen halbwegs greifenden Proteinen, in Gang gesetzt, bis eine perfekte Passung erreicht ist, d. h. bis das Immunsystem Moleküle besitzt, die eine Schraubstock-ähnlich feste Bindung an den Fremdling erreichen. Ich denke, dass man zeigen kann, dass ein solches Verfahren des Anpassens von vorhandenen halbwegs passenden Strukturen in perfekt passende das Sicherste ist, um Eigenes von Fremdem zu unterscheiden, ohne das Eigene mit Fremdem zu verwechseln. Alle anderen Varianten sind viel zu gefährlich für den Organismus, weil per Zufall völlig neu entwickelte Proteine, die Fremdes erkennen sollen, plötzlich Eigenes binden. Wir haben also hier wieder Antizipation, vorgebildete Proteinstrukturen, um etwas zu erkennen.

An dieser Stelle sei die Bemerkung erlaubt, dass dieses Apriori, das Wissen im vorhinein, das Vorbereiten auf eine bestimmte, notwendige Wechselwirkung, das ‘Schon Wissen’, was da kommen könnte, was man eigentlich nicht wissen kann, dass dieses für die betreffende Struktur ein Aposteriori ist, d.h. gelernt und bewährt in der langen Entwicklungsreihe der Evolution. Dieselbe Relation (Aposteriori – Apriori) gilt für die Struktur des Menschen, die der

Erkenntnis und dem Verständnis dieser Welt dient, dem Gehirn: Ohne die kombinatorische Vielfalt überhaupt berechnen zu wollen (diese ist unvorstellbar, wenn man bedenkt, dass wir -zig Milliarden Nervenzellen haben, die mit hunderten bis tausenden beeinflussbaren Schaltstellen (Synapsen) ausgerüstet sind), ist es klar, dass das Gehirn für Speicherung und Verarbeitung von Information gewaltige Kapazitäten hat. Auch hier ist von unendlicher Vielfalt im Sinne der Eingangsdefinition zu sprechen. Aber auch hier wird vorstrukturiert, z.B. sind die Erkenntnisse langsam sicher, dass wir Grundvoraussetzungen in unserem neuronalen Netz Gehirn haben, um Sprache zu erlernen, gezielte Bewegungen durchzuführen, insgesamt also strukturelle Voraussetzungen besitzen, zu lernen, und zwar in einer Form, dass wir genau in der Umwelt, in der wir uns bewegen, mit ihrer Vielfalt zurecht kommen können. Natürlich hat das Apriori auch Elemente eines Vorurteils, doch offensichtlich sichert dieses die Lern- und Entscheidungsfähigkeit in der komplexen Umwelt. Wie schwer es ist, sich aus dem Aposteriori zu befreien, kann jeder nachvollziehen, wenn er versucht, sich 4-, 5-, 6- oder sonstwie dimensionale Räume vorzustellen. Sie sind uns mathematisch zugänglich, nicht aber für unser Gehirn vorstellbar. Festzuhalten bleibt, dass es wohl gelten kann, dass äußere Komplexität mit unendlicher Vielfalt in innerer Komplexität mit unendlicher Vielfalt, beides historisch vorstrukturiert, ihre Entsprechung findet.

Zu einigen weiteren Konsequenzen der unendlichen Vielfalt

Im folgenden Abschnitt sollen einige weitere, miteinander zusammenhängende Konsequenzen der unendlichen Vielfalt von (diskreten) Systemen und Subsystemen betrachtet werden. Die jetzt im Folgenden näher untersuchten Probleme der Ähnlichkeit in einer Unzahl der Koordinatensysteme und der Schwierigkeit, zu werten und zu wichten und von der Freiheitsmöglichkeit der Entscheidung sind entsprechend meinen Kenntnissen von der Komplexitätstheorie bisher beiseite gelassen worden, obwohl sie für die Wissenschaft, den einzelnen Menschen, aber auch für die menschliche Gesellschaft von großer Bedeutung zu sein scheinen.

Zur Intransitivität der Ähnlichkeit

Möglicherweise bedingt durch unsere Erziehung sind wir geneigt zu glauben, dass wenn ein Ding A mit einem anderen Ding B ähnlich ist (gleiche Form, gleicher Klang, gleiche Abfolge in der Zeit usw.) und ein weiteres Ding nach gleichen Kriterien ebenfalls mit einem von den beiden vorgenannten, z.B. B mit C ähnlich ist, dass dann A mit C ähnlich sein muss. Genau dies ist aber bei potenziell vielfältigen Dingen nicht der Fall. Als Beispiel dienen mir 3 Proteinsequenzen:

```
      ┌ MTYKLILNGKTLKGETTTEAVDAATAEKVFKQYANDNGVDGEWTYDDATKTFTVTE ┐
                                                                 ├50%
5,4%  ├ MTKKAILALNTAKFLRTQAAVLAAKLEKLGAQEANDNAVDLEDTADDLYKTLLVLA┤
                                                                 ├41%
      └ GTKQEKTALNMARFIRSQTLTLLEKLNELDADEQADICESLHDHADELYRSCLARF ┘
```

(Aus: *Dalal, S.; Balasubramanian, S.; Regan, L.:* Protein alchemy: Changing (b-sheet into (a-helix. Nature Structural Biology Vol. 4, No. 7 (July 1997), 548-552.)

Die direkt benachbart geschriebenen Sequenzen sind zu mehr als 40% ähnlich. Im Sinne der Proteinstrukturtheorie sind 40% Ähnlichkeit bei der gegebenen Länge ein sehr hohes Maß an Ähnlichkeit. Ähnlichkeit ist hier definiert als identischer Buchstabe eines Strings (ein Buchstabe steht für eine Aminosäure) an identischer Position. Auf den Menschen übertragen will das heißen, von 70 wichtigen Eigenschaften sind 28 identisch, d.h. sie sind wohl als Brüder und damit als sehr ähnlich zu bezeichnen. Vergleicht man die oben und unten geschriebenen Sequenzen (Strings), muss man feststellen, dass nur an 3 Positionen, d.h. bei 4% identische Reste an identischen Stellen stehen. Sie weisen praktisch keinerlei verwertbare Ähnlichkeit miteinander auf. Auf zwei Dinge ist hier aufmerksam zu machen:

1. Ein absolutes Maß der Ähnlichkeit ist offensichtlich verloren gegangen, es gibt viele Maßstäbe, Koordinatensysteme. Voraussetzung dafür ist bei den Proteinen, dass nämlich an jeder Position 20 verschiedene Aminosäuren stehen können.
2. Auf der Grundlage der diskreten unendlichen Vielfalt ist das Auftreten von Synonymen (Verschiedenes im Code steht für gleiche Bedeutung, Beispiel: ‘Geist’ und ‘Witz’)[4] und Ho-

monymen (gleicher Code, aber differierende Bedeutung, Beispiel: ‘Der Wetter, das Wetter, die Wetter’) möglich. In Proteinen können ähnliche Sequenzen zu ähnlichen Raumstrukturen führen, d.h. unterschiedliche ‘Texte’ ergeben Synonyme in der Struktur, aber auch Homonyme sind denkbar. Sie schauen gleich aus und bedeuten Unterschiedliches in der Sprache („Laster sind schwer zu bremsen“), die als gleichwertig empfunden werden können. Auffällig ist, dass es in den hier zur Diskussion stehenden Systemen eher Homonyme denn Synonyme gibt. Warum dem so ist (zu sein scheint), weiß ich nicht.

Zur Freiheit des Willens

Das Ohm’sche Gesetz hat weder die Freiheit, sich einmal so oder anders zu entscheiden, wie in Abhängigkeit von Widerstand und Spannung der Strom fließen soll, sondern es ist eindeutig, und es hat auch keine Geschichte, es ist immer gleich. (Nietzsche: „Wir können nur das definieren, was keine Geschichte hat.“) Beides hängt miteinander eng zusammen, beides meint hier: Geschichte haben und sich zwischen Möglichkeiten entscheiden können. Vielfältige Systeme haben prinzipiell die Möglichkeit, zwischen gleichwertigen oder nahezu gleichwertigen Zuständen (es wäre im Detail noch zu analysieren, wie gleichwertig, wie ähnlich sich die Zustände sein müssen, die als gleichwertig empfunden werden können) zu entscheiden oder zur Entscheidung gebracht werden, und zwar ohne dass die nach irgendeinem Wertesystem, und sei es ein allgemeines, beste Möglichkeit genutzt wird. Damit kommt etwas neues in die Landschaft der Gesetze – trotz strenger, deterministischer Gültigkeit ist der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung verwischt: Das Ergebnis eines deterministischen Einflusses ist nur eine von vielen, recht gleichwertigen Möglichkeiten; der Schnitt ist deterministisch (nur Erlaubtes wird getan), aber vieles ist gleichermaßen erreichbar.

Es hätte aber auch ganz anders werden können! Geschichte entsteht. Und im nachhinein ist man geneigt, entsprechend dem im Gehirn innewohnenden deterministischen Ansatz eine Logik zu

entdecken, oder besser gesagt, hinein zu interpretieren. Wenn durch die Vielfalt menschlichen Lebens solche gleichwertigen Möglichkeiten entstehen, dann hätte der Mensch (aber auch das Tier) freie Entscheidungsmöglichkeiten. Frei heißt, er kann so oder auch ganz anders handeln, ohne dass seine Existenz sofort in Frage gestellt ist. (Kann auch passieren.) Passend zu diesen Eigenschaften der Vielfalt ist unser Erkennungsinstrument und das der Tiere, das Gehirn, beschaffen. Es versucht, hinter die Kulissen zu schauen, die deterministischen Prozesse zu erfassen und ist ganz offensichtlich mit diesem Ansatz bis heute gut zurecht gekommen. Es hat sich etwa seit hundert Jahren der Problematik der Vielfalt genähert, um dann im Laufe des 20. Jahrhunderts den Laplace'schen Dämon oder die Descart'schen Vorstellungen langsam über Bord zu werfen. Trotz aller dieser Fortschritte kann sich das menschliche Denken nur schwer vom deterministischen Ansatz, der so erfolgreich seit der Aufklärung angewendet wurde, trennen und einer 'Netzwerk'verständigung zuwenden.

Vom Problem der Bewertung von Dingen und Ereignissen in vielfältigen Systemen

Bewerten stellt das Messen einer Eigenschaft in Bezug auf ein Koordinatensystem dar. In einfachen Systemen ist es leicht möglich, diese Messung in einem niedrigdimensionalen System vorzunehmen. Im Prinzip bleibt diese Eigenschaft auch in hoch komplexen Systemen erhalten, doch erscheint es wenig sinnvoll und praktikabel, für jede gegebene Dimension eine eigene Dimension eines Koordinatensystems vorzusehen, da die jeweilige Bedeutung der gewählten Eigenschaft im Bezugssystem des Dinges, des Ereignisses und zur Umgebung nicht bekannt ist. Diese Einschränkung macht deutlich, dass ein simpler Bewertungsmaßstab in hochdimensionalen Systemen ausgeschlossen ist. Einfach ausgedrückt, diese Eigenschaft von hoch komplexen Systemen lässt ebenso Raum für Moden (bestimmte Koordinaten werden passager als besonders wichtig angesehen) als auch Platz für Selektionsprozesse (bestimmte Koordinaten = Werte werden für so wichtig erachtet, dass das Überleben davon abhängt). [5]

Conclusio

1. *„Das Reich der Kunst ist eine zweite Welt,*
   Doch wesenshaft und wirklich wie die erste,
   Und alles Wirkliche gehorcht dem Maß.“ (Grillparzer)

2. Nur fehlerbegrenzte und fehlerfreundliche evolutionäre Systeme hoher Dimensionalität finden sich in unendlicher Vielfalt zurecht und können sie (beschränkt) erkennen.

3. Und das Ganze hat kein Ende: Die letzte Musik ist noch nicht geschrieben, ein letztes, neues Protein wird nicht sein solange, wie Welt ist, und der letzte Organismus – sei es Parasit oder Nützling aus Sicht einer Werteskala – noch nicht entstanden oder verschwunden.

Anmerkungen

1 20 (21) verschiedene Aminosäuren können am Ribosom während der Proteinsynthese in den wachsenden Proteinfaden eingebaut werden. Darüber hinaus können einzelne Aminosäuren nach dem Einbau noch modifiziert werden. Dies bleibt im Folgenden der Einfachheit halber unberücksichtigt.

2 Unberücksichtigt bleibt dabei, dass erstens Töne zur gleichen Zeit (Akkorde) erklingen und dass verschiedene Rhythmen verwendet werden können. Beides erhöht die Zahl der möglichen Anordnungen beträchtlich. Weiter wird die Zahl durch die größere Länge der Musikstücke gesteigert (die Taktzahl bewegt sich zwischen 16 bis 5000), wobei zu berücksichtigen ist, dass die Musikstücke sich im Regelfalle "rückbezüglich" verhalten (siehe unten), d.h. die größten Freiheitsgrade sind mit Sicherheit in den ersten Takten zu finden.

3 Die Aufzeichnung im Gedächtnis ist natürlich auch eine Codierung, aber, von wenigen Ausnahmen (Mozart!) abgesehen, eine recht unscharfe und zur Reproduktion der Musik ungeeignet.

4 An diesem Beispiel wird ein wahrscheinlich allgemeines Problem deutlich, nämlich dass es wirkliche Synonyme, d.h. wirklich gleiche Bedeutungen von differenten Worten, praktisch nicht gibt und hinsichtlich der Proteinstruktur einiges dafür spricht, dass die Zahl der Attraktoren für Proteinstrukturen als groß anzusehen ist. Viel Beweiskraft habe ich aber noch nicht zusammentragen können.

5 Eine Auswahl von Büchern, die mir wesentliche Anregungen gaben, sind die Folgenden: *Berendt, Joachim Ernst:* Das Dritte Ohr. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, 1985; *Cramer, Friedrich:* Chaos and Order. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft, 1993; *Ebeling, Werner; Engel, Andreas; Feistel, Rainer:* Physik der Evolutionsprozesse. Berlin: Akademie-Verlag, 1990; Ebeling, Werner; Feistel, Rainer: Chaos und Kosmos. Heidelberg-Berlin-Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, im Druck; *Hofstadter, Douglas R.:* Gödel Escher Bach. New York: Basic Books, 1979; *Mandelbrot, Benoît B.:* Die fraktale Geometrie der Natur. New York: W.H. Freeman and Company, 1977; *Ritter, Johann Wilhelm:* Fragmente aus dem Nachlasse eines jungen Physikers. Leipzig und Weimar: Gustav Kiepenheuer Verlag, 1984.

Cornelius Frömmel

1951 in Zwickau (Sachsen) geboren.
1971 bis 1976 Studium der Humanmedizin in Berlin.
1979 Promotion (Dr. med.).
1980 bis 1988 Institut für Biochemie (Charité) der Humboldt-Universität zu Berlin.
Zwischen 1985 und 1988 long term fellowship am Max-Planck-Institut für Medizinische Forschung Heidelberg bzw. am European Molecular Biology Laboratory (EMBL) Heidelberg.
Von 1984 bis 1986 Lehrauftrag für Aufführungspraxis Alte Musik.
1988 Habilitation (Promotion B) mit dem Thema: Stabilität von Proteinen.
Seit 1988 Direktor bzw. Prodekan für Forschung an der Medizinischen Fakultät (Charité) der Humboldt-Universität zu Berlin.
Seit 1994 Universitätsprofessor für Biochemie.

Ausgewählte Veröffentlichungen

Luthard, G.; Frömmel, C. (1994): Local polarity analyses – a sensitive method that discriminates between native proteins and incorrectly folded models. In: Protein Engin. 7:627-631.

Weißhoff, H.; Frost, K.; Brandt, W.; Henklein, P.; Mügge, C.; Frömmel, C. (1995): Novel disulfide-constrained pentapeptides as models for b-Via turns in proteins. In: FEBS Lett. 372:203-209.

Peters., K.P.; Fauck, J.; Frömmel, C. (1996): The automatic search for ligand binding sites in proteins of known three-dimensional structure using only geometric criteria. In: J. Mol. Biol. 256:201-213.

Eisenhaber, F.; Impriale, F.; Argos, P.; Frömmel, C. (1996): Prediction of secondary structural content of proteins from their amino acid composition alone. I. New Analytic Vector Decomposition Methods. Proteins: Struct. Funct. In: Genet., 157-168.

Schmidtke, G.; Kraft, R.; Kostka, S.; Frömmel, C.; Löwe, J.; Huber, R.; Kloetzel, P.-M.; Schmidt, M. (1996): Analysis of proteasome biogenesis: The Maturation of b-subunits is an ordered two-step mechanism involving autocatalysis. In: EMBO-J. 15: 6887-6898.

Goede, A.; Preißner, R.; Frömmel, C. (1997): Voronoi cell – a new method for the allocation of space among atoms: avoidance of errors in calculation of atomic volume and density. In: J. Comput. Chem. 18:1113-1123.

Preißner, R.; Goede, A.; Frömmel, C. (1997): Inverse sequence similarity in proteins and ist relation to the three-dimensional fold. In: FEBS Lett. 414:425-429.

Ebeling, W.; Frömmel, C. (1998): Entropy and predictability of information carriers. In: BioSystems 46:47-55.

Preißner, R.; Goede, A.; Frömmel, C. (1998): Dictionary of interfaces in proteins (DIP). Data bank of complementary molecular surface patches. In: J. Mol. Biol. 280:535-550.

Holzhütter, H.-G.; Frömmel, C.; Kloetzel, P.-M. (1999): Atheoretical approach towards the identification of cleavage-determining acid motifs of the 20S proteasome. In: J. Mol. Biol. 286:1251-1265.

Weißhoff, H.; Präsang, C.; Henklein, P.; Frömmel, C.; Zschunke, A.; Mügge, C. (1999): Mimicry of beta-II‘-turns of proteins in cyclic pentapeptides with one and without D-amino cells. In: Eur. J. Biochem. 259:776-788.

Preißner, R.; Goede, A.; Frömmel, C. (1999): Spare Parts for Helix-Helix interaction. In: Protein Eng. 12:825-831.

In der Reihe **Öffentliche Vorlesungen** sind erschienen:

1 *Volker Gerhardt:* **Zur philosophischen Tradition der Humboldt-Universität**

2 *Hasso Hofmann:* **Die versprochene Menschenwürde**

3 *Heinrich August Winkler:* **Von Weimar zu Hitler**
Die Arbeiterbewegung und das Scheitern der ersten deutschen Demokratie

4 *Michael Borgolte:* **„Totale Geschichte“ des Mittelalters?**
Das Beispiel der Stiftungen

5 *Wilfried Nippel:* **Max Weber und die Althistorie seiner Zeit**

6 *Heinz Schilling:* **Am Anfang waren Luther, Loyola und Calvin – ein religionssoziologisch-entwicklungsgeschichtlicher Vergleich**

7 *Hartmut Harnisch:* **Adel und Großgrundbesitz im ostelbischen Preußen 1800 - 1914**

8 *Fritz Jost:* **Selbststeuerung des Justizsystems durch richterliche Ordnungen**

9 *Erwin J. Haeberle:* **Historische Entwicklung und aktueller internationaler Stand der Sexualwissenschaft**

10 *Herbert Schnädelbach:* **Hegels Lehre von der Wahrheit**

11 *Felix Herzog:* **Über die Grenzen der Wirksamkeit des Strafrechts**

12 *Hans-Peter Müller:* **Soziale Differenzierung und Individualität**
Georg Simmels Gesellschafts- und Zeitdiagnose

13 *Thomas Raiser:* **Aufgaben der Rechtssoziologie als Zweig der Rechtswissenschaft**

14 *Ludolf Herbst:* **Der Marshallplan als Herrschaftsinstrument?**
Überlegungen zur Struktur amerikanischer Nachkriegspolitik

15 *Gert-Joachim Glaeßner:* **Demokratie nach dem Ende des Kommunismus**

16 *Arndt Sorge:* **Arbeit, Organisation und Arbeitsbeziehungen in Ostdeutschland**

17 *Achim Leube:* **Semnonen, Burgunden, Alamannen**
Archäologische Beiträge zur germanischen Frühgeschichte

18 *Klaus-Peter Johne:* **Von der Kolonenwirtschaft zum Kolonat**
Ein römisches Abhängigkeitsverhältnis im Spiegel der Forschung

19 *Volker Gerhardt*: **Die Politik und das Leben**

20 *Clemens Wurm:* **Großbritannien, Frankreich und die westeuropäische Integration**

21 *Jürgen Kunze:* **Verbfeldstrukturen**

22 *Winfried Schich:* **Die Havel als Wasserstraße im Mittelalter: Brücken, Dämme, Mühlen, Flutrinnen**

23 *Herfried Münkler:* **Zivilgesellschaft und Bürgertugend**
Bedürfen demokratisch verfaßte Gemeinwesen einer sozio-moralischen Fundierung?

24 *Hildegard Maria Nickel:* **Geschlechterverhältnis in der Wende**
Individualisierung versus Solidarisierung?

25 *Christine Windbichler:* **Arbeitsrechtler und andere Laien in der Baugrube des Gesellschaftsrechts**
Rechtsanwendung und Rechtsfortbildung

26 *Ludmila Thomas:* **Rußland im Jahre 1900**
Die Gesellschaft vor der Revolution

27 *Wolfgang Reisig:* **Verteiltes Rechnen: Im wesentlichen das Herkömmliche oder etwas grundlegend Neues?**

28 *Ernst Osterkamp:* **Die Seele des historischen Subjekts**
Historische Portraitkunst in Friedrich Schillers „Geschichte des Abfalls der vereinigten Niederlande von der Spanischen Regierung“

29 *Rüdiger Steinlein:* **Märchen als poetische Erziehungsform**
Zum kinderliterarischen Status der Grimmschen „Kinder-und Hausmärchen“

30 *Hartmut Boockmann:* **Bürgerkirchen im späteren Mittelalter**

31 *Michael Kloepfer:* **Verfassungsgebung als Zukunftsbewältigung aus Vergangenheitserfahrung**
Zur Verfassungsgebung im vereinten Deutschland

32 *Dietrich Benner:* **Über die Aufgaben der Pädagogik nach dem Ende der DDR**

33 *Heinz-Elmar Tenorth:* **„Reformpädagogik“**
Erneuter Versuch, ein erstaunliches Phänomen zu verstehen

34 *Jürgen K. Schriewer:* **Welt-System und Interrelations-Gefüge**
Die Internationalisierung der Pädagogik als Problem
Vergleichender Erziehungswissenschaft

35 *Friedrich Maier:* **„Das Staatsschiff“ auf der Fahrt von Griechenland über Rom nach Europa**
Zu einer Metapher als Bildungsgegenstand in Text und Bild

36 *Michael Daxner:* **Alma Mater Restituta oder Eine Universität für die Hauptstadt**

37 *Konrad H. Jarausch:* **Die Vertreibung der jüdischen Studenten und Professoren von der Berliner Universität unter dem NS-Regime**

38 *Detlef Krauß:* **Schuld im Strafrecht**
Zurechnung der Tat oder Abrechnung mit dem Täter?

39 *Herbert Kitschelt:* **Rationale Verfassungswahl?**
Zum Design von Regierungssystemen in neuen Konkurrenzdemokratien

40 *Werner Röcke:* **Liebe und Melancholie**
Formen sozialer Kommunikation in der ‘Historie von Florio und Blanscheflur’

41 *Hubert Markl:* **Wohin geht die Biologie?**

42 *Hans Bertram:* **Die Stadt, das Individuum und das Verschwinden der Familie**

43 *Dieter Segert:* **Diktatur und Demokratie in Osteuropa im 20. Jahrhundert**

44 *Klaus R. Scherpe:* **Beschreiben, nicht Erzählen!**
Beispiele zu einer ästhetischen Opposition: Von Döblin und Musil bis zu Darstellungen des Holocaust

45 *Bernd Wegener:* **Soziale Gerechtigkeitsforschung: Normativ oder deskriptiv?**

46 *Horst Wenzel*: **Hören und Sehen – Schrift und Bild**
Zur mittelalterlichen Vorgeschichte audiovisueller Medien

47 *Hans-Peter Schwintowski:* **Verteilungsdefizite durch Recht auf globalisierten Märkten**
Grundstrukturen einer Nutzentheorie des Rechts

48 *Helmut Wiesenthal:* **Die Krise holistischer Politikansätze und das Projekt der gesteuerten Systemtransformation**

49 *Rainer Dietrich:* **Wahrscheinlich regelhaft. Gedanken zur Natur der inneren Sprachverarbeitung**

50 *Bernd Henningsen:* **Der Norden: Eine Erfindung**
Das europäische Projekt einer regionalen Identität

51 *Michael C. Burda:* **Ist das Maß halb leer, halb voll oder einfach voll?**
Die volkswirtschaftlichen Perspektiven der neuen Bundesländer

52 *Volker Neumann:* **Menschenwürde und Existenzminimum**

53 *Wolfgang Iser:* **Das Großbritannien-Zentrum in kulturwissenschaftlicher Sicht**
Vortrag anläßlich der Eröffnung des Großbritannien-Zentrums an der Humboldt-Universität zu Berlin

54 *Ulrich Battis:* **Demokratie als Bauherrin**

55 *Johannes Hager:* **Grundrechte im Privatrecht**

56 *Johannes Christes:* **Cicero und der römische Humanismus**

57 *Wolfgang Hardtwig:* **Vom Elitebewußtsein zur Massenbewegung – Frühformen des Nationalismus in Deutschland 1500 – 1840**

58 *Elard Klewitz:* **Sachunterricht zwischen Wissenschaftsorientierung und Kindbezug**

59 *Renate Valtin:* **Die Welt mit den Augen der Kinder betrachten**
Der Beitrag der Entwicklungstheorie Piagets zur Grundschulpädagogik

60 *Gerhard Werle:* **Ohne Wahrheit keine Versöhnung!**
Der südafrikanische Rechtsstaat und die Apartheid-Vergangenheit

61 *Bernhard Schlink:* **Rechtsstaat und revolutionäre Gerechtigkeit. Vergangenheit als Zumutung?** (Zwei Vorlesungen)

62 *Wiltrud Gieseke:* **Erfahrungen als behindernde und fördernde Momente im Lernprozeß Erwachsener**

63 *Alexander Demandt:* **Ranke unter den Weltweisen;**
Wolfgang Hardtwig: **Die Geschichtserfahrung der Moderne und die Ästhetisierung der Geschichtsschreibung: Leopold von Ranke**
(Zwei Vorträge anläßlich der 200. Wiederkehr des Geburtstages Leopold von Rankes)

64 *Axel Flessner:* **Deutsche Juristenausbildung**
Die kleine Reform und die europäische Perspektive

65 *Peter Brockmeier:* ***Seul dans mon lit glacé*** **– Samuel Becketts Erzählungen vom Unbehagen in der Kultur**

66 *Hartmut Böhme:* **Das Licht als Medium der Kunst.** Über Erfahrungsarmut und ästhetisches Gegenlicht in der technischen Zivilisation

67 *Sieglind Ellger-Rüttgardt:* **Berliner Rehabilitationspädagogik: Eine pädagogische Disziplin auf der Suche nach neuer Identität**

68 *Christoph G. Paulus:* **Rechtsgeschichtliche und rechtsvergleichende Betrachtungen im Zusammenhang mit der Beweisvereitelung**

69 *Eberhard Schwark:* **Wirtschaftsordnung und Sozialstaatsprinzip**

70 *Rosemarie Will:* **Eigentumstransformation unter dem Grundgesetz**

71 *Achim Leschinsky:* **Freie Schulwahl und staatliche Steuerung**
Neue Regelungen des Übergangs an weiterführende Schulen

72 *Harry Dettenborn:* **Hang und Zwang zur sozialkognitiven Komplexitätsreduzierung: Ein Aspekt moralischer Urteilsprozesse bei Kindern und Jugendlichen**

73 *Inge Frohburg:* **Blickrichtung Psychotherapie: Potenzen – Realitäten – Folgerungen**

74 *Johann Adrian:* **Patentrecht im Spannungsfeld von Innovationsschutz und Allgemeininteresse**

75 *Monika Doherty:* **Verständigung trotz allem. Probleme aus und mit der Wissenschaft vom Übersetzen**

76 *Jürgen van Buer:* **Pädagogische Freiheit, pädagogische Freiräume und berufliche Situation von Lehrern an Wirtschaftsschulen in den neuen Bundesländern**

77 *Flora Veit-Wild:* **Karneval und Kakerlaken**
Postkolonialismus in der afrikanischen Literatur

78 *Jürgen Diederich:* **Was lernt man, wenn man nicht lernt? Etwas Didaktik „jenseits von Gut und Böse“ (Nietzsche)**

79 *Wolf Krötke:* **Was ist ‘wirklich’?**
Der notwendige Beitrag der Theologie zum Wirklichkeitsverständnis unserer Zeit

80 *Matthias Jerusalem:* **Die Entwicklung von Selbstkonzepten und ihre Bedeutung für Motivationsprozesse im Lern- und Leistungsbereich**

81 *Dieter Klein:* **Globalisierung und Fragen an die Sozialwissenschaften: Richtungsbestimmter Handlungszwang oder Anstoß zu einschneidendem Wandel ?**

82 *Barbara Kunzmann-Müller:* **Typologisch relevante Variation in der Slavia**

83 *Michael Parmentier:* **Sehen Sehen.** Ein bildungstheoretischer Versuch über Chardins 'L'enfant au toton'

84 *Engelbert Plassmann:* **Bibliotheksgeschichte und Verfassungsgeschichte**

85 *Ruth Tesmar:* **Das dritte Auge.** Imagination und Einsicht

86 *Ortfried Schäffter:* **Perspektiven erwachsenenpädagogischer Organisationsforschung**

87 *Kurt-Victor Selge; Reimer Hansen; Christof Gestrich:* **Philipp Melanchthon 1497 – 1997**

88 *Karla Horstmann-Hegel:* **Integrativer Sachunterricht – Möglichkeiten und Grenzen**

89 *Karin Hirdina:* **Belichten – Beleuchten – Erhellen.** Licht in den zwanziger Jahren

90 *Marion Bergk:* **Schreibinteraktionen: Verändertes Sprachlernen in der Grundschule**

91 *Christina von Braun:* **Architektur der Denkräume**
James E. Young: **Daniel Libeskind's Jewish Museum in Berlin: The Uncanny Art of Memorial Architecture**
Daniel Libeskind: **Beyond the Wall**
Drei Vorträge

92 *Christina von Braun:* **Warum Gender-Studies?**

93 *Ernst Vogt, Axel Horstmann:* **August Boeckh (1785 – 1867). Leben und Werk**
Zwei Vorträge

94 *Engelbert Plassmann:* **Eine „Reichsbibliothek"?**

95 *Renate Reschke:* **Die Asymmetrie des Ästhetischen**
Asymmetrie als Denkfigur historisch-ästhetischer Dimension

96 *Günter de Bruyn:* **Altersbetrachtungen über den alten Fontane**
Festvortrag anläßlich der Verleihung der Ehrendoktorwürde

97 *Detlef Krauß:* **Gift im Strafrecht**

98 *Wolfgang Thierse, Renate Reschke, Achim Trebeß, Claudia Salchow:*
Das Wolfgang-Heise-Archiv. Plädoyers für seine Zukunft

99 *Elke Lehnert, Annette Vogt, Ulla Ruschhaupt, Marianne Kriszio:*
Frauen an der Humboldt-Universität 1908 – 1998
Vier Vorträge

100 *Bernhard Schlink:* **Evaluierte Freiheit?**
Zu den Bemühungen um eine Verbesserung der wissenschaftlichen Lehre

101 *Heinz Ohme:* **Das Kosovo und die Serbische Orthodoxe Kirche**

102 *Gerhard A. Ritter:* **Der Berliner Reichstag in der politischen Kultur der Kaiserzeit**
Festvortrag anläßlich der Verleihung der Ehrendoktorwürde mit einer Laudatio von Wolfgang Hardtwig