

Das Menschenbild in der Biologie

Informationstheoretische Metaphern vom Molekül zur Gesellschaft

Jürgen Bereiter-Hahn

Fragestellung

Letztlich ist alle Wissenschaft auf den Menschen bezogen, sei es, dass sie ihm zu besserem Weltverständnis, Nutzbarmachung von Ressourcen oder zum besseren Selbstverständnis diene. Mit fortschreitenden wissenschaftlichen Erkenntnissen, dem Wandel der Gesellschaft und dem Wandel der technischen Beherrschbarkeit von Welt (ich spreche hier von „Welt“, da die Raumfahrt einbezogen werden muss) wandelt sich auch unser Selbstbild.

Die Sprache der Vermittlung unserer Auffassungen der uns umgebenden Realitäten verrät vielfach diese Beziehung in Form von anthropozentrischen Begriffen, die über Assoziationen nicht nur das Verständnis erleichtern sollen sondern häufig, wenigstens unterschwellig, ontologischen Charakter tragen¹. Viele Begriffe der Evolutionsbiologie sind in dieser Hinsicht zumindest zweideutig. Solche Begriffe sind der der Anpassung², der Konkurrenz oder der Information, letzterer in der Biologie meist in Hinsicht auf genetische Information gebraucht. Inwieweit es sich bei „Information“ um eine anthropozentrische Projektion handelt oder ob dieser Begriff eine angemessene Beschreibung für Vorgänge bei Organismen darstellt, ist Gegenstand dieses Beitrages. Die Beantwortung dieser Frage beginnt mit einer naiven Übernahme des Informationsbegriffes und seiner Anwendung auf biologische Sachverhalte, wie dies in der biologischen Literatur akzeptiert ist. Dies soll einem Verständnis dessen dienen, was in

¹ Im Bereich der Physik hat Kanitscheider ausführlich auf diese Problematik aufmerksam gemacht (Kanitscheider 1991).

Das begriffliche Wechselspiel zwischen Physik und populärwissenschaftlicher Philosophie behandelt Hans-Dieter Mutschler sehr kritisch (Mutschler 2002).

² Der Begriff Anpassung hat zwei Wurzeln: ein Werkstück an ein anderes passend machen, oder auch aus dem menschlichen Verhalten, „sich anpassen“ an bestimmte Verhältnisse oder Anforderungen. Beides sind bewusste Prozesse. Inwieweit „Anpassung“ im Laufe evolutiver Vorgänge vom betroffenen Organismus aus gesehen etwas Aktives sein könnte, bleibt von Fall zu Fall zu untersuchen (s. epigenetische Änderungen, die in die folgenden Generationen wirken).

Konkurrenz ist aus dem Wirtschaftsleben bzw. menschlichem Sozialverhalten entlehnt, beruht dort meist, jedoch nicht unbedingt, auf einem Akt bewussten Handelns.

den Biowissenschaften unter Information verstanden wird. Erst dann kann der Begriff kritisch hinterfragt werden.

Beispiele für Trägermaterialien biologischer Information

Genetische Information

Gurdon (1968) und King u. Briggs (1956) entnahmen den Kern einer Darmepithelzelle des Krallenfrosches und injizierten ihn in eine unbesamte Eizelle eines anderen Krallenfrosches. Eine solche Eizelle war in der Lage, eine vollständige Kaulquappe zu bilden, die sich dann in einen Frosch weiterentwickelte. Mit diesem Experiment war ein entscheidender Durchbruch zur Lösung der Frage gelungen, ob jeder Zellkern eines Wirbeltierkörpers die „volle Information“ für den Aufbau des gesamten Organismus enthielt. Die genetische Information ist in der Biologie die Information schlechthin. Sie muss zugleich stabil und wandelbar sein. Stabil und speicherbar, um als Information Sinn zu haben, wandelbar um Änderungen für die Evolution zu ermöglichen. Die molekulare Basis hierfür ist die DNA. Die *Basensequenz* einer DNA ist zwar im weitesten Sinne Information, ihre Funktion erhellt sich jedoch erst im Rahmen eines Umsetzungsprozesses in Proteine, dadurch erhält die Basensequenz Bedeutung. Durch chemische Änderungen an den Purin- und Pyrimidinbasen kann das genetische Programm auch individuell als Antwort auf externe Einwirkungen geändert werden. Dieser Vorgang ist für die differenzierte Betrachtung von Anpassungsvorgängen wichtig, nicht hingegen für das Verständnis dessen, was genetische Information überhaupt ist.

Strukturen

Neben der genetischen Information gibt es noch andere Formen der Informationsübertragung. Dies sind die Strukturen, die als Matrize für Weiterentwicklung dienen können. Beispiele hierfür sind hoch komplexe Maschinen wie etwa die ATP-Synthase in Mitochondrien und Chloroplasten oder eine große Anzahl von Assoziationen verschiedener strukturbildender Moleküle, wie sie z. B. die Kollagenlagen in Fischschuppen und der Haut zahlreicher Tiere darstellen. Hierbei wirkt jede Lage von parallel angeordneten Kollagenfasern ordnend auf die Ablagerung der darauf folgenden Schicht ein (Bereiter-Hahn, Zylberberg 1993, Bereiter-Hahn 1994).

Innerhalb von Aggregaten haben viele Enzyme ganz andere Eigenschaften als im gelösten Zustand, biochemische Prozesse können so auf einen engen Raum konzentriert werden ohne dass dieser durch Membranen abgeschlossen sein müsste. Die Bildung dieser Aggregate beruht auf der wechselseitigen Bindungsfähigkeit der Bestandteile, wodurch auch Enzyme zu Strukturbildnern werden können oder bei Bindung an Strukturen (z. B. des Zytoskeletts die Dynamik dieser Strukturen verändern) (Wagner et al. 1999).

Ein anderes Beispiel sind die als Zytoskelett bezeichneten fädigen Elemente in Zellen, deren Anordnung über Polarität von Transportprozessen oder der Bewegung von Zellen bestimmt. Dies wird an einem weitgehend spiegelbildlichen Bewegungsmuster von Schwesterzellen nach einer Zellteilung deutlich (Albrecht-Bühler 1977). Solche Bewegungsvorgänge beruhen u. a. auch auf dem geordneten Anbau und Abbau der fädigen Elemente, also auf Polymerisations- und Depolymerisationsprozessen. Diese finden stets an vorgegebenen Strukturen statt und sind damit nicht nur von den Molekülen, die angelagert werden, und deren sie codierende DNA-Sequenz bestimmt, sondern von der Matrixstruktur, in die diese Moleküle eingeordnet werden.

In diesem Sinne gewinnt der Satz von Virchow „omnis cellula e cellula“ neue Bedeutung. Es besteht also eine gewisse Kontinuität zwischen Zellen durch ein „Fortschreiben“ vorhandener Strukturen. Zellen bilden nicht nur ihre inneren Strukturen fort, sondern reagieren auch auf externe Strukturen und Molekülanordnungen, so schmiegen sich Zellen in der Kultur an Riefen in einem Deckglas und strecken sich dabei sehr in die Länge, ja sogar quadratische Formen mit den entsprechenden Anordnungen der versteifenden Faserstrukturen können Zellen durch die Anordnung von Anheftungsstellen aufgezwungen werden (Karp 2005:Kap. 7).

Auch innerhalb eines kompliziert gebauten Moleküls, etwa eines Enzyms, kann die Faltung oder die Struktur bestimmend für die Funktion sein, gleich über welche Aminosäureabfolge diese Struktur erreicht wird.

Zusammenspiel von genetischer Information und Strukturen am Beispiel der Entwicklung eines Organismus

Wenn beide, genetische Information und strukturbasierte Information, Einfluss auf die Entwicklung eines Organismus nehmen können, so muss sich dies auch experimentell belegen lassen. Ein gutes Beispiel hierfür bietet die Rolle mechanischer Kräfte bei der Embryonalentwicklung von Organismen und Differenzierung von Zellen. Eine ausführliche Darstellung solcher Wechselwirkungen wurde von Belousov (1998) gegeben. Dies kann an einem klassischen Beispiel in der Auseinandersetzung um eine theoretische Fundierung der Biologie dargelegt werden, nämlich den Experimenten von Hans Driesch zur Entwicklung eines Seeigel-Eies. In den frühen Entwicklungsstadien teilt sich ein solches zunächst in zwei, dann in vier, dann in acht Furchungszellen u. s. w. Hans Driesch trennte nun solche Keime aus zwei, vier oder acht Furchungszellen und beobachtete, dass sich zumindest bis zum 4-Zellstadium jede der vier Furchungszellen zu einer vollständigen (wenn auch kleineren) Pluteuslarve (die Larvenform der Seeigel) entwickeln kann. Er schloss daraus auf die Existenz eines Ganzheit schaffenden, immateriellen Prinzips. Dieser Lösungsversuch des Neovitalismus widerspricht den Prinzipien naturwissenschaftlicher Erklärungen über physikalisch-chemische Reaktionen. Die durch die Versuche aufgeworfenen Fragen sind jedoch richtig gestellt und bedeutsam. Sie bedürfen einer Antwort im Rahmen des Kontextes naturwissenschaftlicher Erklärungs-

prinzipien: Die Entwicklung zur Seeigellarve verläuft über eine Hohlkugel, die Blastula. Die Zellen bilden die Wandung der Kugel, sie sind über spezielle Kontakte dicht miteinander verbunden und in der Lage, Ionen in den Hohlraum der Blastula zu pumpen, denen dann Wasser folgt das den Hohlraum ausfüllt, die Kugel „aufbläst“. Man versuche dieses nun mit einer „Halbkugel“, das ist mechanisch unmöglich. Da aber stets die durch Teilung auseinander hervorgegangenen Furchungszellen eng zusammen liegen, können sie sich zu einem abgrenzenden Epithel zusammenschließen, der Flüssigkeitstransport in den von den Zellen umhüllten Raum kann nach jeder Teilungsrunde direkt beobachtet werden. Das Ganzheit schaffende Prinzip ist also mechanischer Natur, ein komplexer Vorgang, an dem die Expression von Genen für die abdichtenden Membranproteine, deren ortsgerechter Einbau in die Plasmamembran, der Zusammenschluss der Zellen und der Flüssigkeitstransport, beteiligt sind. Von der Form einer Blastula ausgehend, erfolgen dann die weiteren Entwicklungsprozesse. Solange eine genügende Anzahl von Zellen zur Bildung der Blastula und der nachfolgenden Differenzierungsprozesse vorhanden ist, kann ein ganzer Organismus aus Zellen entstehen, deren Rolle im Rahmen der ungestörten Entwicklung sehr viel beschränkter gewesen wäre.

Tradition

Genetisches Material und Strukturen stellen materielle Träger für die Speicherung und Vermittlung von Informationen in biologischen Systemen dar. Alle Subsysteme wie Nervensystem, Hormone und das Immunsystem wirken auf der Basis solcher Trägermaterialien. Bei der dritten Form von Informationsvermittlung, der Tradition, erfolgt die Weitergabe nur indirekt substratgebunden, Zeichen oder Laute sind die Trägermaterialien. Es ist dies die schnellste Form von Informationstransfer und typisch für jegliche Formen von Kulturleistungen. Tradition ist damit typisch für Gesellschaften (nicht notwendig nur menschliche) innerhalb derer sich Wissen als Gemeingut oder in Form von Herrschaftswissen fortpflanzt.

Verbreitung und Änderungen all dieser Informationen lassen sich mathematisch wie Diffusionsprozesse behandeln. Das wurde z. B. an der Ausbreitung von genetischen Mutationen wie auch für kulturelle Errungenschaften aufgezeigt. Eine solche Beschreibung sagt uns jedoch weder etwas über den Informationsbegriff selbst noch über dessen Wirkungen.

Was bedeutet Information in biologischen Systemen? Evolution „biologischer Informationssysteme“

Das Verständnis biologischer Vorgänge muss stets den Aspekt des Gewordenseins im Rahmen der Evolution mit berücksichtigen. Lebewesen lassen sich danach in einer Gesamtheit aus der Kontinuität von Lebensprozessen verstehen. Dies zeigt sich in der weitgehenden Übereinstimmung

des genetischen Codes zwischen verschiedenen Organismengruppen, der Verwendung von einander sehr ähnlichen Enzymen und Steuervorgängen. Dieser Einsicht folgend, können Vorgänge auf organisatorisch niedrigerem Niveau Organisationsprinzipien „höherer“ Organismen erhellen. Daher sollen auch hier Informationsübertragungsvorgänge bei Organismen weit geringerer Komplexität als bei menschlicher Kommunikation zur Erläuterung des Informationsbegriffes in seiner Anwendung auf biologische Sachverhalte untersucht werden. Die Frage, die es hier zu beantworten gilt, ist die, inwieweit es sich bei den biologischen Vorgängen wirklich um Informationsübertragungsprozesse handelt oder ob dieser Begriff hier lediglich metaphorisch gebraucht ist.

Zunächst haben wir es bei Informationsübertragungsprozessen mit Signalen zu tun. Die einfachste Form des Informationsbegriffes ist die von Claude Shannon (1998), wonach alles Information ist, was über dem Rauschen liegt, eine Definition aus der Nachrichtentechnik, die im strengen Sinne den Begriff des Signals beschreibt, nicht den der Information. Erst durch einen Bedeutungszusammenhang wird ein Signal wirklich zur Information. Im Rahmen natürlicher Vorgänge, d. h. nicht humaner Artefakte, scheint dies erstmalig auf dem Komplexitätsniveau biologischer Systeme der Fall zu sein. Organismen empfangen Signale, sei es aus ihrer Umgebung, sei es aus ihren eigenen Untereinheiten, diese Signale werden verarbeitet und können sich im Rahmen solcher Verarbeitungsprozesse als Informationen entpuppen.³ D. h. sie erhalten im Rahmen der Signalverarbeitungsprozesse „Bedeutung“. Darüber steuern Signale Reaktionen, sei es die Synthese von Eiweißen, die Aktivierung oder Hemmung der Zellvermehrung, die Aktivierung von Nerven oder den Zelltod. Anthropomorph ausgedrückt, werden Signale durch die Transduktions-(Verarbeitungs-)prozesse im Organismus „interpretiert“ und dabei in eine Reaktion des Organismus umgesetzt. Im Rahmen dieses Prozesses entsteht das was wir als Information interpretieren. Dieses Sprachspiel ist insofern gefährlich, als es zu einer Art Ping-Pong-Effekt führt. Zunächst wird ein Begriff aus dem Bereich menschlicher Kommunikation auf Organismen übertragen, erhält dort bei Anwendung auf Signaltransduktionsvorgänge eine Biologie-relevante Bedeutung, diese lässt sich dann zur Interpretation menschlicher Kommunikationsvorgänge verwenden. Das Ergebnis ist die Gleichsetzung von Information bzw. Informationsverarbeitung im Kontext menschlichen Verhaltens mit Signalen und Signalverarbeitung, also eine biologistische Inter-

³ Solche Signale können sehr vielfältig sein und reichen etwa von der messenger RNA, die die in der Basensequenz der DNA gespeicherte Kodierung für eine Abfolge von Aminosäuren im Zytoplasma einer Umsetzung in ein Protein zugänglich macht. Andere Beispiele sind die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Rezeptoren und ihren Liganden, also z. B. verschiedenen Hormonen und deren Bindung an zellgebundene Eiweiße, die zahlreichen Moleküle zur Steuerung der Nervenzellaktivitäten (Neurotransmitter) wirken über Bindung an Rezeptoren an der Zellmembran und setzen dadurch eine Serie physiko-chemischer Reaktionen in Gang, die letztlich die Funktion der Zelle ausmachen.

pretation menschlicher Verhaltensweisen.⁴ Inwieweit diese Gleichsetzung gerechtfertigt ist, kann erst nach Kenntnis und Analyse der verschiedenen Vorgänge von „Informationsverarbeitung“ geklärt werden.

Ich wähle hier bewusst Beispiele, die systemübergreifende Prozesse betreffen, einmal den Übergang von der Einzelligkeit zur Mehrzelligkeit bei einem Schleimpilz (Kasten 1) und zum anderen eine Hypothese zur Er-

Kasten 1

Aggregation von Schleimpilzamoeben

Schleimpilze sind Organismen, die sowohl als Einzelzellen vorkommen können als auch die Fähigkeit besitzen, vielzellige Körper zu bilden. Dadurch lässt sich eine Vielzahl auch philosophisch relevanter Fragen der Biologie an dieser Organismengruppe bearbeiten.

Schleimzell-Amöben, also die einzelligen Formen, schlüpfen bei günstigen Umgebungsbedingungen aus Sporen (Dauerformen). Sie ernähren sich dann auf fauligem Substrat und fressen Bakterien, die sich von diesem Substrat ernähren und intensiv vermehren. Solange genügend Bakterien vorhanden sind, vermehren sich diese Amöben. Ist der Vorrat an organischem Substrat, das die Bakterien abbauen können, erschöpft, so tritt Ressourcenmangel auf, d. h. die Nahrung wird begrenzend für die weitere Vermehrung der Schleimpilzamoeben. Dieser latente Hungerzustand löst die Veränderung des genetischen Programms der Zellen aus, Gene werden aktiviert, die vorher nicht aktiv waren, andere Genexpressionen werden heruntergefahren. Damit entsteht ein neuer physiologischer Zustand der Amöben: Sie beginnen nun mit der Synthese und Freisetzung von zyklischem Adenosinmonophosphat (cAMP), einem kleinen Signalmolekül. Gleichzeitig bilden sie Rezeptoren (Eiweiße) in der Zellmembran aus, die in der Lage sind, cAMP zu binden. Die Bindung des Liganden cAMP setzt eine ganze Reihe von Reaktionen in Gang, die zur Polarisierung der Zellen und deren Bewegung in Richtung der höchsten cAMP-Konzentration in der Umgebung führen. Zudem wird ein Enzym ausgeschieden, das das cAMP abbaut und somit den Konzentrationsgradienten des cAMP in der Umgebung steiler gestaltet und die Rezeptoren wieder von ihren Liganden befreit und damit für den cAMP-Gradienten empfindlich macht. Seitens der Einzelzelle sieht die Reaktion so aus, dass die Rezeptoren an der Membran in der Richtung besonders stark aktiviert werden, in der die höchste Konzentration des Gradienten vorliegt. Die Zellen wandern dann in diese Richtung. Wenn die meisten Rezeptoren cAMP gebunden haben, runden sich die Zellen ab, setzen nun

⁴ Diese Problematik wurde sehr klar und ausführlich von Peter Janich (2009) behandelt.

selbst cAMP frei und tragen so zur Entstehung des cAMP-Gradienten bei, der von Nachbarzellen wahrgenommen wird. Dann scheiden sie das abbauende Enzym aus und werden damit wieder empfindlich für den Gradienten u. s. w. Diese Abläufe funktionieren nur, wenn die Amöben in großer Zelldichte leben, also sich vorher sehr intensiv an einem Ort vermehrt haben. Amöben, die als erste mit der Sekretion von cAMP begonnen haben, stellen Aggregationszentren dar. Nahe beieinander liegende Aggregationszentren können dann um den Zustrom der weiteren Amöben konkurrieren und ggfs. miteinander verschmelzen. Nur solche Aggregate, die eine hinreichend große Anzahl von Zellen auf sich vereinigen konnten, sind in der Lage, die weitere Entwicklung zu einem vielzelligen Sporophor zu durchlaufen. Im Zuge dieses recht komplexen Differenzierungsprozesses ändert sich das Genexpressionsmuster der Zellen grundlegend und je nach der Position der Zellen innerhalb des Aggregates auch sehr unterschiedlich. So richtet sich das Aggregat über einen Stiel auf, dadurch entstehen drei Körperabschnitte, ein verankernder, ein Stielabschnitt, dessen Zellen absterben und feste Wände ausbilden, und darauf ein Sporophor, ebenfalls mit einer umhüllenden Schicht von absterbenden Zellen, die den Sporophor durch Bildung von Wandstrukturen schützend verfestigen. Im Inneren des Sporophors entstehen zahlreiche Sporen, nur diese Zellen haben die Möglichkeit einer weiteren Vermehrung bei Auftreten von günstigen Umweltbedingungen für die Vermehrung daraus ausschlüpfender Amöben (s. o.).

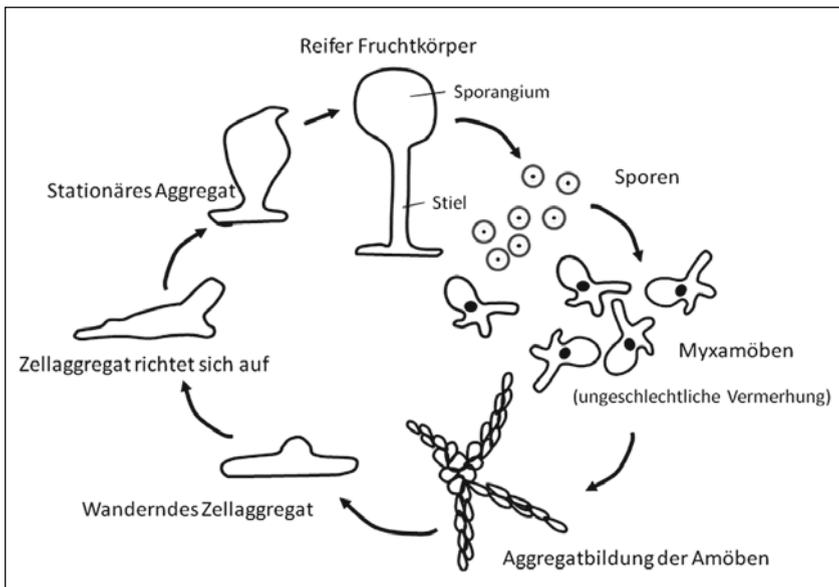


Abb. 1: Schema des Lebenszyklus von Schleimpilzen (*Dictyostelium*)

Welche Zellen mit der Sekretion des cAMP beginnen ist ein stochastischer Prozess, ebenfalls welche Amöben zu welchem Aggregationszentrum wandern und welches Schicksal sie innerhalb dieses Zentrums erfahren. Zwangsläufig ist jedoch jeder Teilschritt, die Reaktion auf den cAMP-Gradienten mit der Integration in ein Aggregationszentrum und dann die zeit- und lage-abhängige Differenzierung in einen der zur Bildung des Sporophors erforderlichen Zelltypen.

klärung wie in der Frühphase der Evolution genetischer Code und durch diesen kodierte Aminosäuren zusammengekommen sein könnten. Das erste Beispiel ist in sehr vielen Details hervorragend untersucht, beim zweiten Beispiel wirkt Hypothesenbildung mit chemischen Untersuchungen zur Assoziation der verschiedenen Moleküle zusammen. Es geht davon aus, dass bei abiotischem Ursprung von Peptiden (Zusammenschlüsse einiger Aminosäuren) und einfachen Nukleinsäuren (Oligonukleotide) die Oligopeptide wie auch die Oligonukleotide der ständigen Gefahr des Zerfalls durch Hydrolyse ausgesetzt waren. Aus den dadurch wieder frei werdenden Einzelbausteinen könnten dann erneut kurze Polymere aufgebaut werden. Nur die stabilsten Peptide und Oligonukleotide „überleben“ und haben somit die Chance, weiter an der Evolution teilhaftig zu werden. Stabilität ist damit auf dieser Stufe der Entstehung von Lebewesen ein zentraler Selektionsvorteil. Wie dieser erreicht werden kann, erläutert die Theorie des molekularen Erkennens („molecular recognition theory“), die in Kasten 2 kurz zusammengefasst wird.

Kasten 2

Protein-Protein und RNA-Assoziationen

Die „Molecular recognition theory“ von Blalock (Blalock 1995, Root-Bernstein 1993, Root-Bernstein, Holsworth 1998, Baranyi et al. 1995) ist ein Versuch, das Zustandekommen des genetischen Codes zu erklären. Es geht dabei um die Frage, welche Beziehungen zwischen den Code-Wörtern (den Code-Triplets) und den Aminosäuren, die sie kodieren, bestehen. Dieses Modell basiert zum einen auf Experimenten über die Assoziation von Polypeptiden aus einzelnen Aminosäuren (also z. B. Polylysin oder Polytyrosin) mit Oligonucleotiden immer wiederkehrender Sequenzen, sowie der Fähigkeit von Peptidketten, mit Ketten anderer Peptide Assoziationen einzugehen.

Die Grundlage bietet ein Charakteristikum des genetischen Codes, der zweite „Buchstabe“ (Base) in einem Triplet Codewort bestimmt, ob die codierte Aminosäure hydrophil oder hydrophob ist („binärer Code“), wobei A an der zweiten Stelle hydrophile Aminosäuren und U hydrophobe Aminosäuren codiert. Die ersten beiden Basen legen die jeweilige Aminosäure fest.

Wird also ein und dasselbe Codewort einmal vorwärts und einmal rückwärts gelesen, so bleibt der Grundcharakter (hydrophob oder hydrophil) erhalten, wenngleich zwei verschiedene Aminosäuren codiert werden. In beiden Leserichtungen einer RNA entstehen also zwei unterschiedliche Peptide, jedoch mit demselben Muster an polaren und unpolaren Aminosäuren und damit ähnlicher Faltungsstruktur. Komplementäre Faltungsstrukturen, d. h. mit komplementärer Anordnung von polaren und apolaren Aminosäuren, werden durch die jeweiligen Anticodons (RNA 2) kodiert. Solche korrespondierenden Muster liegen manchen Rezeptor-Liganden-Wechselwirkungen zugrunde und sind für die Struktur eines Proteins von größerer Bedeutung als die exakte Abfolge der einzelnen Aminosäuren, solche Muster wurden als "antisense homology box" beschrieben (Blalock 1990). Nukleinsäuren, in der Frühzeit der Entstehung von Lebewesen war dies die RNA, vermögen einander über die Assoziation der Basen (Codon/Anticodon) zu stabilisieren, die durch sie kodierten Peptide (gelbes und blaues Symbol in der Tabelle) sind ebenfalls in der Lage, miteinander Komplexe zu bilden und in einigen Fällen auch Komplexe mit den Nukleinsäuren. Wenn all diese Wechselwirkungen auftreten, entstehen molekulare Komplexe, die weitaus stabiler gegen hydrolytischen Zerfall sind als die Einzelelemente in Lösung, die Kooperativität stellt also ein striktes Selektionskriterium dar. Man kann daher davon ausgehen, dass diese oder ähnliche Prinzipien maßgebend für die Entstehung des genetischen Codes waren.

„Molecular recognition“-Theorie					
Peptid 1	▼				
Moderner Code	Phenylalanin	Tyrosin	Valin	Isoleucin	Asparagin
Binärer Code	+	-	+	+	-
	Leserichtung →				
RNA 1	UUU	UAC	GUC	AUG	GAC
	← Leserichtung				
Binärer Code (umgekehrte Leserichtung)	+	-	+	+	-
	Phenylalanin	Histidin	Prolin	Valin	Glutamin
RNA 2 (Anticodon)	AAA	AUG	CAG	UAC	CUG
Binärer Code (Anticodon)	-	+	-	-	+
Moderner Code	Lysin	Isoleucin	Glutamin	Tyrosin	Leucin
Peptid 2 (nach Anticodon)	M				

nach Blalock 1995

Was bedeuten die Beispiele zu Signalverarbeitung und molekularer Kooperation für den Informationsbegriff?

Beides sind Beispiele für Kooperation zwischen verschiedenen Partnern, als deren Ergebnis etwas Neues entsteht. Das Beispiel der molekularen Interaktion beinhaltet eine Hypothese zur Entstehung des genetischen Codes, das Beispiel der aggregierenden Schleimpilzamöben beleuchtet einen möglichen Vorgang zur Bildung mehrzelliger Organismen aus Einzellern. Beides sind Prozesse, die die Evolution von Organismen grundlegend geprägt haben.

Kooperation als Evolutionsfaktor

Die Evolutionstheorie ist Ausgangstheorie allen Verständnisses von Lebewesen (Lebewesen sind nur aus deren evolutiven Ursprung heraus zu begreifen). Das „Wie“ der Evolution, also ihre Ursachen und Erklärungen, wirkt unmittelbar auf unser Menschenbild. Das wird etwa daran deutlich, dass erst durch die Evolutionstheorie klar wurde, dass auch der Mensch Teil dessen ist, was wir als Natur bezeichnen und eine Auffassung von Mensch hier und Natur dort zwar unser reales Handeln angemessen beschreiben mag, nicht jedoch unserer evolutiven Vernetzung gemäß ist.

Nach klassischer, darwinistischer Auffassung bestimmen kleine genetische Differenzen, Nachkommenüberschuss, Konkurrenz, Ressourcenmangel und die daraus resultierende Selektion der „best-angepassten“ Organismen den Lauf der Evolution. Dies ist eine in mehrerer Hinsicht sehr verkürzte Beschreibung der Ursachen evolutiver Prozesse. Wie unzureichend diese Beschreibung ist, betont z. B. Gerhard Vollmer, der in der Evolutionstheorie keine voll ausgearbeitete Theorie sieht, sondern eher ein Forschungsprogramm (Vollmer 2003). Dies wird deutlich bei der Beantwortung der Frage, worin sich eigentlich Selektionsvorteile ausdrücken (der Fortpflanzungserfolg ist keine Erklärung eines Selektionsvorteils, sondern dessen Ergebnis).

Ein Selektionsvorteil misst sich an der Fähigkeit zur Kooperation

Kooperation ist die treibende Kraft für die Entstehung von Neuem und kommt deutlich vor der Konkurrenz. Nur die Fähigkeit zur Kooperation ermöglicht die Entwicklung immer komplexerer Systeme, sie ist die Grundlage für Vielzelligkeit, für die so genannte Höherentwicklung von Organismen wie auch der Bildung sozialer Verbände.

Auf diesem Hintergrund ist auch das Beispiel der Kooperation zwischen Molekülen zu lesen: erst über die Fähigkeit zum Zusammenwirken entstehen Gebilde, die miteinander in Konkurrenz treten können. In der Fähigkeit zum Zusammenwirken liegt die Grundlage zur Ausbildung von Individuen – eben unteilbaren Einheiten, die, wenn sie aufgeteilt werden, zentrale Eigenschaften verlieren. Durch die reziproke Bindung von Amino-

säuren (Oligopeptide) an RNA-Motive und dieser an deren komplementäre Motive und gleichzeitig an Aminosäuren, die an die Aminosäuren mit Affinität zum ersten Strang binden können, sind komplexe Einheiten entstanden und die Grundlagen für die Entstehung genetischer Kodierung, oder eben „Information“ gegeben (s. Kasten 2).

Nun spielt sich nicht alles rein auf molekularer oder Einzelzellebene ab. Mit der Bildung mehrzelliger Organismen verliert die einzelne Zelle ihre Autonomie, sie wird versklavt für den Preis des Schutzes, der Ernährung und Vermehrung im Rahmen des Gesamtorganismus. Dabei bringen die zu einem vielzelligen Gebilde vereinigten Zellen ihre jeweiligen Fähigkeiten zur Signalaufnahme und Verarbeitung mit. Die Signale werden internalisiert, es tritt ein Funktionswandel ein. Was in einem evolutiv früheren Stadium zur Wahrnehmung der Umwelt diente, ist jetzt in den Dienst der Kommunikation zwischen den verschiedenen Organen gestellt. Auch hier gilt, Signale werden produziert, gelangen an einen Zielort, der durch das Vorhandensein entsprechender Transduktions- und Antwortmaschinerien gekennzeichnet ist – dort wird das Signal zur „Information“, was aber nur daran erkannt werden kann, dass eine bestimmte Antwort erfolgt. Im Falle der Schleimpilzamoeben kann man unmittelbar beobachten, wie ein Signal zur Information wird, auf der Basis eines sehr komplizierten Weges und eines strukturierten Plasmas, ja die Strukturänderung selbst ist die Reaktion, die Antwort auf die Information, die aus dem Signal cAMP und seinem Konzentrationsgefälle gezogen wird. In der Folge geben die Einzelzellen ihre Autonomie auf, wenn sie zu Stielzellen werden, sterben sie ab, wenn sie Sporen bilden, dienen sie der Fortpflanzung des Schleimpilzes und nur dessen genetisches Material wird weitergegeben.⁵

In allen komplexen Systemen kann es auch Teile geben, die sich nicht dem Gesamtsystem unterordnen, d. h. sie reagieren auf Signale aus dem übergeordneten System nicht so wie systemimmanent „erwartet“, und stören es dadurch. Im Falle vielzelliger Organismen sind Tumore und Autoimmunkrankheiten sehr gute Beispiele für das Entziehen von Einzelteilen aus dem Kontrollmechanismus des Ganzen, für einen Verlust der Kooperativität, wodurch die Existenz des Gesamtsystems gefährdet wird. In menschlichen Gesellschaften übernehmen Revolutionäre und „Verbrecher“ diesen Part.

⁵ Im Sinne der Vorstellung des „egoistischen Gens“ ist ein solcher Vorgang nur dann sinnvoll, wenn die Zellen untereinander eng verwandt sind, sie also von einer Ausgangszelle abstammen, einen Klon darstellen. Dies mag auch häufig der Fall sein, dennoch hat jede der einzelnen Amöben zahlreiche Teilungszyklen durchlaufen und hierbei immer wieder ihre DNA reproduziert. Dabei sind zwangsläufig Fehler aufgetreten, Mutationen, die genetische Unterschiede zwischen den aggregierenden Zellen bedingen. Solange die Funktionsfähigkeit zur Aggregation und Differenzierung in den Zelltyp gegeben ist, der jeweils ortsspezifisch in dem mehrzelligen Gebilde erforderlich ist, spielen diese genetischen Differenzen keine Rolle, sie sind also nicht Grundlage für irgendeine Konkurrenz und bleiben selektionsunwirksam.

Signal-induzierte Reaktion versus Information

Viele Signalverarbeitungsprozesse bei einzelligen wie mehrzelligen Organismen sind an bestimmte physiologische Voraussetzungen gebunden. In der Entwicklungsbiologie sprechen wir von raum-zeitlichen Mustern. Auch das ist sehr schön am Beispiel der Aggregation von Schleimpilzamöben zu sehen. Das cAMP stellt nur dann ein Signal mit „Information“ dar, wenn ein Rezeptor dafür vorhanden ist. Dieser Rezeptor wird erst unter Nahrungsmangel gebildet. Nur für solche Zellen hat cAMP Bedeutung, die zur Bindung über einen Rezeptor befähigt sind, und an den eine lückenlose Signaltransduktionskaskade angeschlossen ist. In diesem Fall hat die Amöbe keine andere Wahl, als dem Konzentrationsgradienten an cAMP zu folgen, ihr Verhalten ist strikt determiniert. Das weitere Schicksal der Einzelzelle hingegen ist ein zufälliger Prozess und wird erst durch die Lage innerhalb des Zellaggregates determiniert.

Andererseits kann selbst bei Vorhandensein von Rezeptoren und aller für die Signalverarbeitung erforderlichen Strukturen die Reaktion im Einzelfall stochastisch verlaufen, d. h. sie ist nicht determiniert im Sinne eindeutiger Vorhersagbarkeit des Einzelschicksals. Dies ist dann der Fall, wenn mehrere Signalverarbeitungsketten miteinander vernetzt sind, sie sich also wechselseitig beeinflussen. So kann etwa der programmierte Zelltod, die Apoptose, auf wenigstens drei verschiedenen Wegen ausgelöst werden, dies schließt aber auch die Möglichkeit ein, den Zelltod trotz eines auslösenden Signals zu umgehen, wenn ein konkurrierendes Signal vorliegt (s. Kasten 3). Unbeschadet dieser nur statistisch gegebenen Determiniertheit ist auch dies kein Beispiel, wonach die Signalverarbeitung einen autonomen Prozess darstellte, der seiner Zwangsläufigkeit entzogen wäre. All diese Beispiele sind daher mit dem Begriff „signal-induzierte Reaktion“ angemessen charakterisiert.

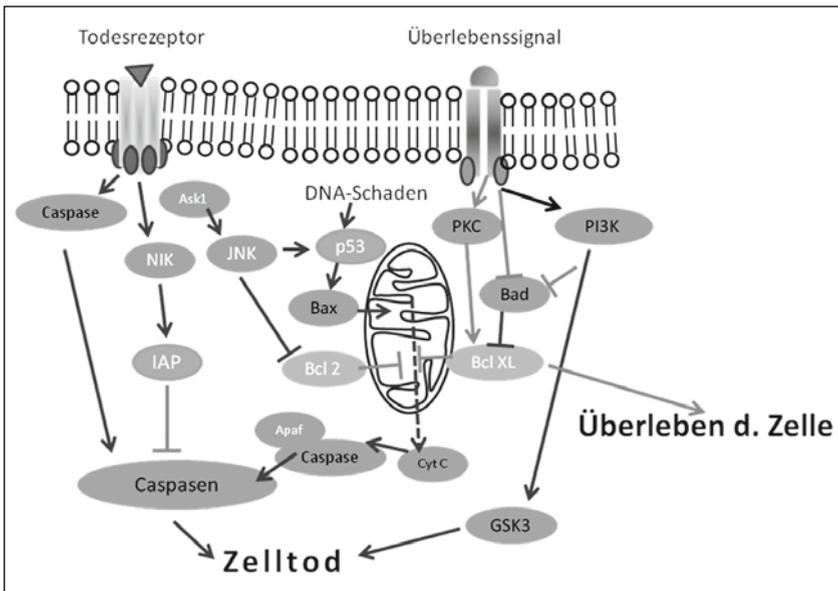
Bei Tieren wird im Rahmen evolutionärer Entwicklung die Wechselwirkung mit der Umwelt von der Einzelzelle zunehmend (z. B. von Quallen oder Schwämmen zu Säugern oder Insekten) auf dafür spezialisierte Sinnesorgane verlagert. Dies schafft ein hochspezialisiertes System von qualitativ differenzierten Signalaufnahmen, mit dem sich ein noch komplexeres System der Signalverarbeitung entwickelt, das Gehirn. Damit ist die Voraussetzung für völlig neue Phänomene entstanden, für Bewusstsein und Denken. Sie sind unmittelbare Folge entsprechend komplexer Gehirnstrukturen und Prozesse, also Emergenzen⁶.

⁶ Der Emergenzcharakter von Denken, Fühlen, Bewusstsein wird heute kaum noch bezweifelt. Daher kann auf eine Diskussion der dualistischen und monistischen Positionen zum Geist und Körper (-Gehirn)-Verhältnis hier verzichtet werden. Diese Themen wurden in der Vergangenheit von vielen Wissenschaftlern intensiv und kontrovers abgehandelt.

Kasten 3

Interagierende Signalwege: Beispiel zellulärer Suizid (Apoptose)

Aktivierung eines Todesrezeptors oder Schädigungen des Erbmaterials (DNA) können einen programmierten Zelltod, die Apoptose, auslösen. Von der Aktivierung der Rezeptoren oder dem Auftreten der DNA-Schäden bis zum Zelltod sind zahlreiche Einzelschritte zu durchlaufen, von denen in der Abbildung nur wenige dargestellt sind und mit den üblichen Abkürzungen gekennzeichnet wurden, deren Verständnis jedoch hier nicht erforderlich ist. Die Auslösung des programmierten Zelltodes kann über die Aktivierung von Todesrezeptoren an der Zellmembran, über Schädigung der DNA und über Schädigung der Mitochondrien ausgelöst werden. Andere Rezeptoren in der Zellmembran (z. B. Wachstumsfaktor-Rezeptoren) wirken als Gegenspieler und fördern das Überleben der Zellen.



Vereinfachtes Schema der Wechselwirkung von Signaltransduktionsvorgängen bei der Auslösung des Zelltodes. In der Plasmamembran von Zellen können sowohl Todesrezeptoren (graue Markierung des Rezeptors und der Folgereaktionen) sitzen als auch solche, deren Aktivierung das Überleben einer Zelle fördern (weiße Markierungen). Der Todesrezeptor ist im Bild durch Bindung eines Liganden (schwarz) aktiviert. Bindung z. B. eines Wachstumsfaktor an einen anderen Rezeptor kann als Überlebenssignal dienen. Als dritter Spieler ist in

der Zellmitte ein Mitochondrium dargestellt. Die Aktivierungsverläufe, die den Zelltod fördern, wurden grau dargestellt, wobei Pfeile für Aktivierung stehen, hemmende Reaktionen sind durch einen Querstrich gekennzeichnet. Es wirken also hemmende und fördernde Vorgänge zusammen. Die Vorgänge, die zu einer Verschiebung der Reaktionen in Richtung Überleben der Zellen führen, wurden durch unterbrochene Pfeile markiert. Der Verlust des Cytochrom c (Cyt c) aus den Mitochondrien (punktierte Linie) ist eine wichtige Voraussetzung für das Eintreten der Apoptose. Wird er gehemmt (z. B. über Bcl-Proteine) überleben die Zellen. Die Bcl-Proteine unterliegen aber ihrerseits wieder regulatorischen Einflüssen. Die Buchstaben sind Abkürzungen für die beteiligten Proteine, die weiße Schrift kennzeichnet Proteine, die an der Genregulation beteiligt sind. Manche Proteine, wie z. B. die PI3K wirkt sowohl fördernd auf des Überleben durch Hemmung von Bad als auch Zelltod-aktivierend über die Aktivierung von GSK3. Das Schema soll die Vernetzung verschiedener Reaktionswege von einem Rezeptor aus sowie die Wechselwirkungen zwischen Signalen verschiedener Rezeptoren veranschaulichen.

Exkurs: Emergenzen

Ausgehend von der Vorstellung, das Ganze sei mehr als die Summe der Teile, werden Begriffe wie Leben und Bewusstsein häufig als Emergenzen aufgefasst. Damit stellt sich die Frage nach der Bedeutung dieses Beschreibungsmodus und inwieweit Emergenzen sich auf Organismen beschränken. Eine Klärung dieser Frage erfordert zunächst eine Definition des Begriffs *Emergenz*. *Emergenzen sind Eigenschaften, die von den ihnen zugrunde liegenden Strukturen und Prozessen kategorial verschieden sind*. Sie entziehen sich damit grundsätzlich reduktionistischen Erklärungsmustern. Sie stellen so etwas wie die Inkarnation des Satzes dar, dass das Ganze mehr sei als die Summe seiner Teile, d. h. diese Definition ist bereits die Vorwegnahme der Richtigkeit dieses Satzes. Solch allgemeine Aussagen können nicht auf eine Gruppe von Erscheinungen, wie z.B. Lebewesen, beschränkt sein. Emergenzen treten auf allen Organisationsebenen auf: Zwei aufeinander-schlagende Steine, die einen Ton oder ein Geräusch erzeugen, stellen bereits ein emergentes System dar, wobei der erzeugte Ton (Schallwellen) etwas kategorial anderes ist als die Steine (Masse). Letztlich hat jede zusammengesetzte Struktur emergente Eigenschaften. In biologischen Systemen sind die Emergenzen weniger leicht durchschaubar und häufig auch nicht so klar mathematisch beschreibbar wie in Physik oder Chemie, aber bereits H_2O ist etwas anderes als H_2 und $\frac{1}{2}O_2$. Erst durch den molekularen Zusammenschluss ergeben sich Eigenschaften, die einer Mischung der beiden Elemente

nicht zukommt. Niemand würde hier auf die Idee einer vitalistischen Erklärung kommen, da die Interaktion der Elektronenfelder inzwischen (vollständig) verstanden ist und die Eigenschaften von Wasser als Wechselwirkung von Elektronenfeldern abgeleitet werden können. Vergleichbar präzise Darstellungen von einfachen Lebensprozessen (z.B. Etablierung eines genetischen Codes) fehlen, zeichnen sich jedoch derzeit ab. Von einem auch nur annähernden Verständnis von Bewusstsein und Denken als emergente Eigenschaften der Struktur und der vielfältigen dynamischen Prozesse des Gehirns sind wir noch weit entfernt.

Es geht bei dieser Betrachtung nicht darum, ein derzeit durch reduktionistische Forschung noch nicht hinreichend klar beschriebenes Phänomen in die prinzipielle Unerklärbarkeit zu entrücken, sondern deutlich zu machen, dass die Fähigkeiten, die Eigenschaften, von verschiedenen komplexen Systemen nur dann angemessen beschrieben werden können, wenn den kategorialen Differenzen zwischen den emergenten Eigenschaften und den zugrundeliegenden Strukturen und Prozessen auch bei der wissenschaftlichen Bearbeitung Rechnung getragen wird, die Erklärungen also systemtheoretisch erfolgen.

In den vorhergehenden Abschnitten wurde aufgezeigt, dass in einfachen biologischen Systemen der Begriff Information einer Signal-induzierten Reaktion gleichzusetzen ist, worin nur unser analysierender Verstand den Informationscharakter zu entdecken vermag. Erst mit dem Erwerb der Denkfähigkeit ist der Begriff der Information im strengen Sinne anwendbar. In dieser Vermischung von „quasi Information“ und echtem, d. h. auf kognitiver Ebene erfolgreichem Informationsfluss, liegt einer der Gründe für die Annahme der Determiniertheit aller geistigen Äußerungen, wie sie von vielen Neurobiologen vertreten wird. Die Bedingtheit kognitiver Prozesse durch neuronale Vorgänge ist hierbei nicht relevant. Ein Gedanke resultiert zwar aus neuronalen Vorgängen im Sinne einer Emergenz, ist aber als kategorial unterschieden mit diesen nicht identisch⁷.

Auch mit der Entwicklung komplexer Sinnesorgane und Gehirne bleiben die bedingten Reaktionen erhalten und bestimmen über weite Bereiche Wahr-

⁷ An dieser Begrifflichkeit scheiden sich die Geister. Der Begriff der Emergenz wird in der Literatur im Sinne einer Identität zwischen Gehirn und Geist gebraucht und der Vorstellung geistiger Prozesse als Epiphänomenen neuronaler Vorgänge gegenüber gestellt. Folgt man jedoch der hier vertretenen Definition von Emergenz als systemisch bedingter, kategorial neuer Eigenschaft, fällt die logische Differenz zum Epiphänomen. Ein vergleichbares Phänomen liegt beim Begriff „Leben“ vor, es resultiert aus einer komplexen, dynamischen Struktur, ist aber nicht mit dieser identisch. Lebendigkeit ist nichts von einer Zelle unabhängiges, sie existiert nur im Rahmen eines voll funktionstüchtigen Organismus, ist diesem nicht als Epiphänomen übergestülpt und trotzdem nicht denselben Beschreibungsmodalitäten zugänglich wie die Struktur eines Organismus.

nehmung und Gehirnaktivitäten. Sie sind dafür verantwortlich, dass wir nur einen kleinen Ausschnitt von Wirklichkeit erkennen können und diesen oft noch falsch, wie an den zahlreichen Beispielen optischer und akustischer Täuschungsmöglichkeit demonstriert werden kann. Zur Information werden Signale aus der Umwelt, also Sinneseindrücke wie auch von Kommunikationsmedien menschlichen Ursprungs erst durch ihre Interpretation, also durch einen Denkvorgang. Der Unterschied zur Signalverarbeitung in Zellen und Geweben liegt nicht in der Möglichkeit zu unterschiedlichen Interpretationen, dies ist auf Einzelzellebene auch bereits zu finden, sondern er liegt darin, dass es sich um einen mentalen Prozess handelt, einen Prozess des Bewusstseins. „Ich“ beziehe das Signal auf mich. Solche Selbstreflektivität ist bei einer einfachen Rezeptor-Liganden Wechselwirkung nicht gegeben. Die Konsequenz zeigt sich in der Verarbeitung der Information. Nehmen wir eine rote Verkehrsampel als Beispiel. Ich sehe, die Ampel ist rot, d. h. mein Sensorium ist vorhanden, ich kann diese Information auch in ihrer Bedeutung deuten, aber ich muss nicht notwendig dem Signal folgen, sondern kann trotz der roten Ampel mit meinem Auto weiterfahren. Diese Chance des Verweigerns der Reaktion hat eine Schleimpilzamoöbe nicht, wenn Sie einem cAMP Gradienten ausgesetzt ist.

Die Möglichkeit, eine Information nicht als Maßgabe meines Handelns zu akzeptieren, also eine Willensentscheidung zu treffen⁸, bleibt unbeeinflusst von der Unvollkommenheit unseres sensorischen Apparates. Auch ein Denkkakt auf Grund falscher, irrtümlicher Sinneseindrücke bleibt ein Denkkakt. Die Einsicht in die Begrenztheit unseres Wahrnehmungsvermögens ist so neu nicht. Sie durchzieht die Philosophie gleich ob bei Augustinus, Spinoza oder Nikolai Hartmann. Letzterer hat dafür den sehr treffenden Ausdruck des transobjektiven Seins geprägt, also von Sein das noch nicht zum Gegenstand gemacht ist, vielleicht auch nicht dazu gemacht werden kann, den unser Erkennen sich noch nicht erarbeitet hat. Aber was bedeutet das für das Menschenbild? Das werden wir nur erfahren, wenn wir versuchen, den Ursprüngen und damit den Grenzen unseres Erkenntnisvermögens auf den Grund zu kommen. Dies ist das Feld der evolutionären Erkenntnistheorie (Vollmer 1980).

Auch das Phänomen Leben ist eine emergente Eigenschaft, die ab einem gewissen Komplexitätsgrad von Systemen auftreten kann. Das Erreichen der erforderlichen Komplexität setzt eine Mindestgröße voraus, d. h. für das Phänomen Lebendigkeit genügt nicht die Skala etwa einzelner Atome oder der Quantenphysik. Damit wird nicht bestritten, dass Quantenvorgänge bei Lebensprozessen eine wesentliche Rolle spielen. Nur das Gesamtsystem, gehört einer anderen Größenordnung an. Nach oben hin ist die Größe von Lebewesen auch begrenzt, da Leben ein kohärenter Vorgang ist, der Inter-

⁸ Auch hier liegt ein Dilemma vor, eine Handlung ist in aller Regel motiviert, dies schränkt die Freiheit in der Entscheidung dafür oder dagegen ein. – Siehe hierzu Bieri 2007.

aktion der Bestandteile innerhalb eines Systems voraussetzt.⁹ Damit entfällt auch die planetare oder stellare Skala für Lebewesen.

Das „Zurechtfinden“ von Lebewesen muss also im Rahmen einer mesoskalischen Welt beurteilt werden. Es kommen aus der ein Lebewesen (z. B. eine Amöbe) umgebenden Welt Signale, wenn sie wahrgenommen werden, lösen sie bestimmte Reaktionen aus, oder können im Falle von Bewusstsein und Denkfähigkeit hinsichtlich ihrer Bedeutung analysiert und interpretiert werden. Dass es dabei auch Irrtümer wie z. B. Sinnestäuschungen¹⁰ gibt, liegt an den Notwendigkeiten der Wahrnehmung und hat auf das Menschenbild insofern Einfluss als wir uns klar sein müssen, dass Wahrheit im Sinne der Erkenntnis der materiellen Welt ein sehr relativer Begriff ist. Relativ in Bezug auf die Erfordernisse im Rahmen evolutionärer Vorgänge.¹¹

Überwindung systemischer Subordination durch Informationsfluss

Die Vermischung der Informationsmetapher für Signaltransduktionsprozesse mit selbstreflexiver Informationsverarbeitung hat, wie wir gesehen haben, weitgehende Folgen für die Beurteilung der Frage nach freien Willensentscheidungen.¹² Sie hat aber auch weitgehende Folgen für das Ver-

⁹ Diese Interaktion findet zwar in verschiedenen Größenbereichen statt, auf molekularer Ebene durch intermolekulare Kräfte, im mesoskaligen Bereich durch Kraftwechselwirkungen (s. das Beispiel der Seeigelentwicklung), über elektromagnetische Signale und über kleine Moleküle, deren Diffusion oder Transport über Transportsysteme (z. B. Blutkreislauf, Nervensystem).

¹⁰ „Sinnestäuschungen“ gibt es auch schon auf der Ebene einer einzelnen Zelle, wenn etwa das natürliche Signal durch ein künstliches mit anderer Wirkung ersetzt wird oder ein Rezeptor blockiert wird und damit nicht mehr für seinen natürlichen Liganden zur Verfügung steht. Solche Verfahren liegen vielen pharmakologischen Interventionen zugrunde.

¹¹ Sinnestäuschungen werden im Rahmen der Evolution nur dann durch Selektion eliminiert werden, wenn sie akut die Überlebensfähigkeit eines Organismus gefährden, ansonsten lastet kein Selektionsdruck auf ihnen.

¹² Die Frage nach der Existenz eines freien Willen ist ein typisches Produkt einer Gesellschaft, die konsequenten Reduktionismus bereits in ihr kollektives Bewusstsein aufgenommen hat. Die Ablehnung geht aus von der Annahme voller Determiniertheit jeder geistigen Handlung, da alle neuronalen Prozesse deterministischen Naturgesetzen unterliegen. Bereits dieser Ansatz ist in Frage zu stellen, da das Verhalten einzelner Ionenkanäle quantenmechanisch verstanden werden muss und damit der neuronale Einzelvorgang nicht mehr strikt deterministisch abläuft. Zweifellos hat die Tätigkeit eines Zentralnervensystems auch unabhängig ob es die Möglichkeit zu interpretatorischem Denken und Bewusstsein fähig ist, für das Überleben eines Tieres große Bedeutung. Bei entsprechender Struktur und Dynamik erweist es sich jedoch als emergentes System mit diesen Fähigkeiten, die nach der vorgenannten Definition auch neue Beschreibungsmodalitäten verlangen, die sich nicht aus den Einzelaktivitäten der Neuronen ableiten lassen (sonst handelte es sich nicht um Emergenzen). Die Beurteilung von Determiniertheit oder Nicht-Determiniertheit von Denken und „Willensentscheidungen“ erfordert daher andere Kriterien als die der Elektrophysiologie und anderer Messmöglichkeiten.

ständnis menschlichen Sozialverhaltens: Die Subordination des jeweiligen Individuums unter das übergeordnete System¹³ führt auf der Ebene von Gesellschaften (Staaten) zu politischen Konsequenzen d. h. das Menschenbild geht unmittelbar in das Verhältnis von Individuum und Staat ein, wie die unterschiedliche Handhabung von Menschenrechten in verschiedenen Staatssystemen zeigt. Soweit wir wissen, ist die Subordination bei Insekten (z.B. Termiten, Bienen und Ameisen) hochgradig ausgeprägt, insofern z.B. Bienen während ihres Lebens unterschiedliche Aufgaben übernehmen (Brutpflege, Verteidigung, Futteraufbereitung, Sammeln), die alle hormonell und durch Genexpression gesteuert und damit determiniert sind. Gerade das kann aber in menschlichen Gesellschaften überwunden werden, hier stimmt die Gleichsetzung von Gesellschaften und Staaten von Insekten mit menschlichen durch Verwendung desselben Begriffes nur noch partiell.

Aus der Übertragung eines zu weit gefassten und damit unzutreffenden Informationsbegriffes („Informationsmetapher“) auf Tiergesellschaften und Reaktionen von Organismen aus egozentrisch-anthropozentrischer Sicht wurde die Determiniertheit menschlichen Verhaltens aus genetischen und anderen Ursachen abgeleitet. Eine solche Ableitung stützt hervorragend die Bedeutung des „egoistischen Gens“. Gleich ob die Beschreibung von Evolutionsvorgängen durch „Bestrebungen“ egoistischer Gene zutrifft oder nicht, auch sie kann optimalen Evolutionserfolg nur durch die Weiterentwicklung der Fähigkeiten zur Kooperation (als Testparameter für die Selektion) erreichen. Die Grundlage für Evolution ist nicht die Selektion, sie kann nur Vorhandenes bewerten. Es sind die schöpferischen Kräfte möglicher Kooperationen, die was „technisch“, d. h. im Rahmen einer einmal eingeschlagenen materialen Basis für Weiterentwicklung möglich ist, irgendwann im Laufe der Evolution verwirklichen und so als Gegenstand der Selektion schaffen. Nach diesem Prinzip bildeten sich Gehirne heraus mit der emergenten Fähigkeit zur Selbstreflexivität. Diese Herausbildung ist die Verwirklichung einer von vielen Möglichkeiten bei der Evolution von Lebewesen. Erst durch die Entwicklung eines Gehirnes mit den emergenten Eigenschaften von Bewusstsein und Denkfähigkeit ist die Voraussetzung zur individuellen Interpretation von Informationen gegeben.

¹³ Organelle, die von Bakterienzellen abstammen, sind in eukaryonten Zellen zusammengefügt und verloren ihre Eigenständigkeit; Einzelzellen in mehrzelligen Organismus verlieren ihre Eigenständigkeit im Rahmen der Evolution und unterwerfen sich einer ausgeprägten Arbeitsteilung (s. auch Kasten 1); Einzelorganismen sind Teile von Ökosystemen und existieren nur in deren Verband. In manchen Fällen entstanden Sozialsysteme (Staaten), die eine mehr oder weniger ausgeprägte Unterordnung der Einzeltiere erfordern, etwa Übernahme bestimmter Aufgaben bei sozialen Insekten, aber auch bei menschlichen Gesellschaften. Es können sich strikte Hierarchien herausbilden mit unterschiedlichen Freiheitsgraden der Individuen und auch unterschiedlichen Möglichkeiten, sich dem Sozialverband zu entziehen.

Die bisher erreichte höchste Stufe dieses Prozesses ist der Informationsfluss in menschlichen (ggfs. auch anderen) Gesellschaften. Informationsfluss aber kommt nur durch Kommunikation zustande. Kommunikation ist konstitutiv für alle Gesellschaften, wenngleich die Qualität der Kommunikation, also die Weitergabe von Informationen sehr unterschiedlich sein kann. Gerade hier zeigt sich die Notwendigkeit der Differenzierung zwischen signalinduzierter Reaktion und Information als Teil eines Denkprozesses solange der Begriff Gesellschaften in gleicher Weise für Ameisen wie für Menschen verstanden wird.

Wie konstitutiv Kommunikationsfähigkeit und damit der Informationsfluss zwischen den Mitgliedern einer Gesellschaft (und hier geht es zunächst nur um menschliche Gesellschaften) für die Zugehörigkeit zu eben dieser Gesellschaft ist, zeigt die aktuelle Diskussion um Sterbehilfe im Falle von Walter Jens. Der Verlust der Kommunikationsfähigkeit als mögliche Begründung für Sterbehilfe wird im Falle eines prominenten Mitgliedes der Gesellschaft intensiv diskutiert, trifft aber z. B. ebenso auf viele Menschen mit geistiger Behinderung zu, die genau deshalb nie die Chance haben, prominent zu werden. Auch Prominenz ist letztlich eine Frage der Kommunikation, der Informationsübertragung: „Ich sage etwas, was für andere Bedeutung hat.“ Wie aber ist es um unser Menschsein bestellt, wenn wir dazu nicht in der Lage sind?

Literaturverzeichnis

- Albrecht-Buehler G (1997) Daughter 3T3 cells. Are they mirror images of each other? *J Cell Biol* 72:595–603
- Baranyi L, Campbell W, Ohshima K, Fujimoto S, Boros M, Okada H (1995) The antisense homology box: A new motif within proteins that encodes biologically active peptides. *Nature Medicine* 1(9):8904–901
- Belousov LV (1998) The dynamic architecture of a developing organism. An interdisciplinary approach to the development of organisms. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Bereiter-Hahn J (1994) Mechanical basis of cell shape and differentiation. *Verh Dtsch Zool Ges* 87(2):129–145
- Bereiter-Hahn J, Airas J, Blum S (1997) Supramolecular associations with the cytomatrix and their relevance in metabolic control: Protein synthesis and glycolysis. *Zoology* 100:1–24
- Bereiter-Hahn J, Zylberberg L (1993) Regeneration of teleost fish scale. *Comp Biochem Physiol* 105A(4):625–641
- Bieri P (2007) Das Handwerk der Freiheit. Über die Entdeckung des eigenen Willens. Fischer Taschenbuch 15647, Frankfurt a. M.
- Blalock E J (1990) Complementarity of peptides specified by „sense“ and „antisense“ strands of DNA. *Trends in Biotechnology* 8:140–144
- Blalock E J (1995) Interactions of protein shape and interaction rules. *Nature Medicine* 1(9):876–878
- Gurdon J B (1968) The developmental capacity of nuclei taken from intestinal epithelial cells of feeding tadpoles. *J Embryol Exp Morphol* 10:622–640
- Janich P (2009) Kein neues Menschenbild. Zur Sprache der Hirnforschung. edition unseld 21, Suhrkamp Verlag Frankfurt a. M.
- Kanitscheider B (1991) Kosmologie, Geschichte und Systematik in philosophischer Perspektive. Reclam Verlag, Stuttgart
- Karp G (2005) Cell and molecular biology, Chapter 7 (opener). John Wiley & Sons
- King T J, Briggs R (1956) Serial transplantation of embryonic nuclei. *Cold Spring Harbour Symp. Qant. Biol.* 21:271–289
- Mutschler H-D (2002) Naturphilosophie. Grundkurs Philosophie Bd. 12 Kohlhammer-Urban Taschenbücher Bd. 396, Stuttgart
- Root-Bernstein R S (1983) Protein replication by amino acid pairing. *J Theoretical Biology* 100:99–106
- Root-Bernstein R S, Holsworth D D (1998) Antisense peptides: a critical mini-review. *J Theoretical Biology* 190:107–1119
- Shannon C (1998) Communication in the presence of noise. *Proceedings of the IEEE*, Vol 86 (2):447–457
- Vollmer G (2003) Was können wir wissen? Band 1:111, Hirzel Verlag Stuttgart
- Vollmer G (1980) Evolutionäre Erkenntnistheorie, S. Hirzel Verlag Stuttgart
- Wagner O, Zinke J, Dancker P, Grill W, Bereiter-Hahn J (1999) Viscoelastic properties of F-actin, microtubules, F-actin/a-actinin, and F-actin/hexokinase determined in microliter volumes with a novel nondestructive method, *Biophysical J* 76:2784–2796